

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8.0035>

## RECONVERSIÓN DE GASES REFRIGERANTES EN EL INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO LUIS ARBOLEDA MARTÍNEZ

## RECONVERSION OF REFRIGERANT GASES AT THE INSTITUTE SUPERIOR TECNOLÓGICO LUIS ARBOLEDA MARTÍNEZ

Vélez-Moreira Víctor Hugo <sup>1</sup>, Tóala-Arcentales Galvin Antonio <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Estudiante del Instituto de Posgrado. Universidad Técnica de Manabí, del programa Maestría Académica en Mención de Eficiencia Energética I. Portoviejo, Ecuador. Correo: vmoreira3774@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7369-0952>.

<sup>2</sup> Profesor Titular Principal II, Tiempo completo. Departamento de Mecánica, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador. Correo: galvin.toala@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6934-267X>.

### Resumen

El objetivo del presente trabajo fue proponer una acción de innovación tecnológica basada en la reconversión de gases refrigerantes en los equipos de clima domésticos, que asegure una mayor eficiencia energética en el uso de los mismos. Los equipos de climatización doméstico convencionales presentan un alto consumo de energía eléctrica que, por la naturaleza de la generación originaria de la energía en Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez de Manta, por ello se analizó el consumo de energía de los equipos acondicionadores de clima convencionales, se estableció mediante el análisis teórico los gases refrigerantes que se encuentran disponibles en el mercado y que pueden resultar factibles su utilización con técnicas de reconversión para reducción el impacto ambiental, para ello se valoraron alorar las técnicas de reconversión de gases en equipos de climas convencionales que se han puesto en práctica con éxito en los últimos años y los resultados energéticos y ambientales asociados a la reconversión de los gases refrigerantes en función de disminuir las emisiones contaminantes y la preservación de los recursos naturales.

**Palabras clave:** innovación tecnológica, gases refrigerantes, energía, recursos naturales.

### Abstract

The objective of this work was to propose a technological innovation action based on the reconversion of refrigerant gases in domestic climate equipment, which ensures greater energy efficiency in their use. Conventional domestic air conditioning equipment has a high consumption of electrical energy which, due to the nature of the original generation of energy in the Luis Arboleda Martínez de Manta Higher Technological Institute, for this reason the energy consumption of conventional climate conditioning equipment was analyzed , it was established through the theoretical analysis the refrigerant gases that are available in the market and that their use with reconversion techniques to reduce the environmental impact may be feasible, for this purpose, they were evaluated by allocating the gas reconversion techniques in conventional climate equipment that have been successfully implemented in recent years and the energy and environmental results associated with the reconversion of refrigerant gases in order to reduce polluting emissions and preserve natural resources.

**Keywords:** technological innovation, refrigerant gases, energy, natural resources.

### Información del manuscrito:

**Fecha de recepción:** 28 de mayo de 2021.

**Fecha de aceptación:** 08 de julio de 2021.

**Fecha de publicación:** 09 de julio de 2021.

## 1. Introducción

Es muy probable que el primer método de enfriamiento utilizado por el hombre se basara en hielo natural y fuera practicado mucho antes de que se construyera cualquier máquina térmica (Puebla, J., 2016). Hay escritos chinos antes del primero milenio antes de Cristo, que describen ceremonias religiosas para llenar en invierno y vaciar en verano Sótanos de hielo (Rosillo, C., 2015). Los antiguos romanos utilizaron el hielo de los Apeninos. Otros escritos antiguos describen cómo los egipcios, (Arcentales, G.; Lucas, M; Guerrero, J; Gordín, R., 2017).

Pero, desde que Jacob Perkins en 1834 patentó la base fundamental de los sistemas de producción de frío por compresión de vapor, y que han llegado a nuestros días con mejoras en su realización, estos sistemas han sido y seguirán formando parte fundamental de nuestras vidas. De esta forma, el sistema de compresión de vapor es el método más extendido a nivel mundial para la producción de frío, utilizándose en gran parte de aplicaciones de refrigeración doméstica, comercial,

industrial y climatización (Taza, B., 2017).

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 (Arias, F., 2015). 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 gran 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 del planeta (Cero Grados, 2019).

Los refrigerantes 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 estado líquido a estado gaseoso cuando absorbe calor y vuelve a cambiar al estado líquido cuando pierde calor (Metrogas, 2018).

Un refrigerante funciona 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 (Taza,B., 2017). Este calor de vaporización se traduce en "A/C externo" (Gas Servei, S/f). 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.

El objetivo del presente trabajo fue proponer una acción de innovación tecnológica basada en la reconversión de gases refrigerantes en los equipos de clima domésticos, que asegure una mayor eficiencia energética en el uso de los mismos

(Gonzales,R., 2019). En esas condiciones los equipos de acondicionamiento del clima en interiores resultan una herramienta muy necesaria en función de lograr un adecuado clima organizacional para el desarrollo de las actividades productivas, administrativas, de servicios, docentes, de investigación y otras (López, N. B. C., Paula André Daza Jiménez, & Álvarez, M. T. G., 2015).

Los equipos de climatización doméstico convencionales presentan un alto consumo de energía eléctrica que, por la naturaleza de la generación originaria de la energía en el Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez de Manta, por ello se analizó el consumo de energía de los equipos acondicionadores de clima convencionales, se estableció mediante el análisis teórico los gases refrigerantes que se encuentran disponibles en el mercado y que pueden resultar factibles su utilización con técnicas de reconversión para reducción el impacto ambiental, para ello se valoraron alorar las técnicas de reconversión de gases en equipos de climas convencionales que se

han puesto en práctica con éxito en los últimos años y los resultados energéticos y ambientales asociados a la reconversión de los gases refrigerantes en función de disminuir las emisiones contaminantes y la preservación de los recursos naturales.

Por ello se formula: ¿De qué manera se puede llevar a cabo la reconversión de los gases en los equipos refrigerantes y obtener una mayor eficiencia energética en el trabajo de los equipos de climatización doméstico convencionales que presentan un alto consumo de energía eléctrica que, por la naturaleza de la generación originaria de la energía en el Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez de Manta, sin necesidad de invertir para adquirir un equipo nuevo?

El presente trabajo investigativo surge ante la necesidad de mejorar los sistemas de compresión de vapor, que presentan un alto consumo de energía eléctrica que, por la naturaleza de la generación originaria de la energía en el Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez de Manta, que es el método más extendido a nivel mundial para

la producción de frío utilizándose en gran parte de aplicaciones en refrigeración doméstica, comercial, industrial y climatización.

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, L. & Franco, L., 2016).

La ausencia de una gestión energética de los sistemas de aire acondicionado en el Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez de Manta, 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. Así, 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.

Por ello la investigación, pretende realizar un procedimiento de reconversión de gases refrigerantes en los equipos de climatización doméstico convencionales que presentan un alto consumo de energía eléctrica en el Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez de Manta, con la finalidad de analizar desde el estudio de arte el consumo de energía de los equipos acondicionadores de clima convencionales, mediante 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 en este Instituto, debido que para que los hidrocarburos tengan combustión se necesita el combustible, energía de

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**

### **Caracterización de la institución y la tecnología escogida para el trabajo**

Para la realización de la investigación, se contó con tres apartados: en el primer apartado se realizó una caracterización del Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez de Manta. Mientras que en el segundo apartado se registró el inventario de los equipos de aire acondicionado por marca y por departamentos y áreas de estudios. Mientras que el tercer apartado se mostró la equivalencia energética del equipamiento de acondicionamiento de aire y se ofrece un estimado del consumo de energía por este equipamiento diaria, mensual y anual.

## **El Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez de Manta.**

El Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez (ISTLAM) tuvo su inicio el 18 de mayo de 1979, mediante el Decreto N° 3471 firmado por el presidente del Consejo Supremo de Gobierno Almirante Alfredo Poveda Burbano, el colegio experimental Luis Arboleda Martínez se transformó en Instituto Técnico Superior en el cantón de Manta, provincia de Manabí El 26 de septiembre del 2003 mediante acuerdo N° 141 del Consejo Nacional de Educación Superior (CONESUP), reconoce al Instituto Técnico Superior Luis Arboleda Martínez la categoría de Instituto Tecnológico Superior otorgándole licencia de funcionamiento en las carreras de: Electricidad Industrial con mención en Electricidad de Potencia y Electromecánica, Electrónica con mención en Comunicaciones y Electrónica Digital, Refrigeración y Aire Acondicionado con mención en Refrigeración Industrial y Marítima, Mecánica Industrial con mención en Torno y Fresadora, y Mecánica Automotriz con mención en Reconstrucción de Motores,

Sistemas de Inyección a Diesel y Sistemas de Inyección a Gasolina. Las autoridades, personal académico y administrativo del Instituto Tecnológico Superior Luis Arboleda Martínez eran las mismas de la Unidad Educativa Luis Arboleda Martínez funcionando como una especie de formación complementaria a la educación de nivel medio.

Tiene como misión formar profesionales técnicos y tecnólogos de excelencia, con pensamiento crítico e innovadores, éticamente orientados y comprometidos con la calidad académica, con la transformación social y el desarrollo sostenible y visión ser un referente en la formación técnica y tecnológica en Manabí, aportando nuevas alternativas socio-económicas, innovadoras y productivas, cuya sede es la ciudad de Manta y Jaramijó contando con 3.657 estudiantes y 487 docentes, así como 213 trabajadores en sus diferentes áreas administrativas.

Inventario de los equipos acondicionadores de aire y su impacto

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 en El Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez el por potencia de los equipos.

**Tabla 1.** *Inventario de equipos de enfriamiento de aire por marcas y potencia de enfriamiento en el Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez.*

No	MARCA	CANTIDAD	Potencia instalada (BTU)
1	AVANT	2	60.000
2	CARRIER	5	18.0000
3	CONFORT	3	108.000
4	CONFORT AIR	13	600.000
5	CONFORT STAR	17	600.000
6	DAEWOO	1	24.000
7	ECOX	1	24.000
8	FRIGIDAIRE	3	54.000
9	FRIGOSTAR	4	204.000
10	FUJITSU	2	24.000
11	GENERAL ELECTRIC	1	12.000
12	GOLSTAR	3	72.000
13	GOODMAN	1	6.000
14	HAIRE	1	36.000
15	INDURAMA	36	840.000
16	INSTENTAMATIE	1	12.000
17	LENNOX	14	576.000
18	LEONARD	4	96.000
19	LG	38	268.2.00
20	MAGICIC QUEEN	2	72.000
21	PANASONIC	18	420.000
22	PHILCO	1	12.000
23	PRIMA	11	318.000
24	SAMSUNG	9	204.000
25	SMC	6	126.000
26	SPLIT INVERTER	2	36.000
27	TCL	4	78.000
28	TEKNO	1	12.000
29	WESTINGHOUSE	1	36.000
30	Total	205	<b>5.240.000</b>

**Elaboración:** Autor de la investigación

En la tabla 2, se muestra el inventario de equipos de enfriamiento de aire por Direcciones, Departamentos y potencia de enfriamiento en el Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez.

**Tabla 2.** Inventario de equipos de enfriamiento de aire por Modalidades de Carreras y áreas administrativas.

No	Administrativo/Modalidades	Cantidad	Total BTU
1	Biblioteca Audio-Digital	2	42.000
2	Centro de Admisión y nivelación	8	156.000
3	Departamento de Bienestar Estudiantil	6	192.000
4	Departamento de Administrativo	6	72.000
5	Departamento de RR.HH.	1	24.000
6	Dirección Financiero	4	650.000
7	Carrera de Tecnología en Mecánica Automotriz	2	24.000
8	Carrera de Tecnología en Mecánica Industrial	12	528.000
9	Carrera de Tecnología en Electricidad	18	884.000
10	Carrera de Tecnología en Electrónica	14	183.2000
11	Carrera de Tecnología Superior en Refrigeración y Aire Acondicionado	31	228.000
12	Carrera de Técnico Superior en Mecánica y Operación de Máquinas	10	468.000
13	Carrera de Tecnología Superior en Logística Portuaria	25	828.000
14	Carrera de Tecnología Superior Seguridad y Prevención Riesgos Laborales	10	234.000
15	Carrera de Tecnología en Mecánica Naval	11	312.000
16	Carrera de Tecnología Superior en Procesamiento de Alimentos	6	240.000
17	Carrera de Tecnología Superior en Logística Multimodal	9	240.000
18	Carrera de Acuicultura y Pesca	14	342.000
19	Honorable Consejo Universitario	1	12.000
20	Departamento de publicidad	4	36.000
21	Salón de Conferencias	1	180.000
22	Total	205	5.240.000

*Elaboración:* Autor de la investigación.

### El consumo de energía e impacto económico y ambiental

El Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez, 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 locales docentes, 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.

Equivalencia energética de la potencia instalada de los aires acondicionados por Departamentos

y carreras en el Instituto Superior  
 Tecnológico Luis Arboleda Martínez.

**Tabla 3.** Equivalencia energética de la potencia instalada.

Facultades/Departamentos	Potencia (BTU)	Equivalencia (kWh)
Biblioteca Audio-Digital	42.000	12
Centro de Admisión y nivelación	156.000	46
Departamento de Bienestar Estudiantil	192.000	56
Departamento de Administrativo	72.000	21
Departamento de RR.HH.	24.000	7
Dirección Financiero	650.000	190
Carrera de Tecnología en Mecánica Automotriz	24.000	7
Carrera de Tecnología en Mecánica Industrial	528.000	155
Carrera de Tecnología en Electricidad	884.000	259
Carrera de Tecnología en Electrónica	183.2000	537
Carrera de Tecnología Superior en Refrigeración y Aire Acondicionado	228.000	67
Carrera de Técnico Superior en Mecánica y Operación de Máquinas	468.000	137
Carrera de Tecnología Superior en Logística Portuaria	828.000	243
Carrera de Tecnología Superior Seguridad y Prevención Riesgos Laborales	234.000	69
Carrera de Tecnología en Mecánica Naval	312.000	91
Carrera de Tecnología Superior en Procesamiento de Alimentos	240.000	70
Carrera de Tecnología Superior en Logística Multimodal	240.000	70
Carrera de Acuicultura y Pesca	342.000	100
Honorable Consejo Universitario	12.000	4
Departamento de publicidad	36.000	11
Salón de Conferencias	180.000	53
Total	5.240.000	2205

**Elaboración:** Autor de la investigación.

Para el cálculo de la equivalencia energética se ha considerado:

$$1 \text{ BTU} = 0.0002930711 \text{ kWh}$$

El análisis de la información reflejada en la tabla 15 permite determinar que la potencia instalada en los equipos de acondicionamiento de aire en el Instituto Superior Tecnológico Luis

Arboleda Martínez, es de 2.205 kW de potencia, esto sería equivalente a disponer de una central eléctrica de 2,2 MW de potencia sólo para satisfacer la demanda de dicho equipamiento.

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 (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, M; Santamaría, E; Vega, R., 2015). Desde el punto de vista de la refrigeración mecánica por evaporación de un líquido y la compresión de vapor, se puede definir al refrigerante como el medio para transportar calor desde donde lo absorbe por ebullición, a baja temperatura y presión, hasta donde lo rechaza al condensarse a alta temperatura y presión (Anton Natural, 2017), de manera que si el refrigerante es de alta densidad al fluir en las tuberías tendrá mayor fricción y, por tanto, una caída de presión. Un refrigerante es una sustancia que permite la transición de calor, el cual absorbe calor al evaporarse a baja temperatura, y este lo cede al condensarse a alta temperatura y presión (Danfoss, 2016).

Según (Arcentales, G.; Lucas, M; Guerrero, J; Gordín, R., 2017) son los fluidos vitales en cualquier sistema de refrigeración mecánica. Entre los todos los sistemas de climatización el más utilizado es el de compresión de vapor, entre sus componentes tiene compresor que este posee un motor eléctrico y la energía que consume ese compresor representa al 95% de la total. Dentro de toda instalación de refrigeración y climatización funciona con un gas refrigerante que en algunos casos se encuentran regulados por sus efectos perjudiciales al medio ambiente (Anchundia, L.& Franco, L., 2016).

### **Características de los refrigerantes.**

No hay un fluido refrigerante que se considera ideal ni tampoco algún refrigerante que se pueda adaptar a todas las aplicaciones con las condiciones y necesidades que se requiera para lo que va a ser utilizado. (Taza,B., 2017) y la Agencia Internacional de Energía (2015),

### **Características físicas**

Los refrigerantes más adecuados poseen calores latentes muy altos y

densidades muy altas (Grajales, I., 2019). Por ello Gómez (2018), señala que 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, G., 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 (Reglamento de seguridad, 2016). Por tanto, cuanto menor sea esta propiedad mejor rendimiento proporcionará la instalación, señala, (Castillo Martínez,L;Mora Alvarado,W;Gonzales Cadillo,A,, 2020).

### **Características químicas**

Para (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, G. P., & Salgado, C. A., 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 Technologies<sup>TM</sup>, 2017). Dentro de la cual establece que la seguridad de cada fluido frigorífero debe ser considerada desde los siguientes aspectos: toxicidad, inflamación o explosión y detección de fugas. (Taza,B., 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

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).

**Tabla 4.** Clasificación de los refrigerantes según ASHRAE.

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, G., 2014), son de las principales causas del agotamiento de la capa de ozono (Scalofríos, 2014).

**Tabla 5.** 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	0,440	7 370
12	1	10 890
13	1	14 420
400	1	10 000
500	0,738	8 100
502	0,250	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 Technologies<sup>TM</sup>, 2017), (Tabla 6).

**Tabla 6.** 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 hidrofluorocarburos (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 7.** 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 8).

**Tabla 8.** 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 9).

**Tabla 9.** Valores de PAO Y PCG de refrigerantes Azeotrópicas.

Número R	Componentes	PAO	PCG*
404A	R125/R143a/R134a (44/52/4)	0	3 900
407A	R32/R125/R134a (20/40/40)	0	2 100
407B	R32/R125/R134a (10/70/10)	0	2 800
407C	R32/R125/R134a (23/25/52)	0	1 800
407D	R32/R125/R134a (15/15/70)	0	1 600
407E	R32/R125/R134a (25/15/70)	0	1 600
410A	R32/R125 (25/25)	0	2 100
413A	R218/R134a/R600a (9/88/3)	0	2 100
417A	R125/R134a/R600a (46,6/50/3,4)	0	2 300
419A	R125/R134a/R170 (77/19/4)	0	3 000
421A	R125/R134a (58/42)	0	2 600
421B	R125/R134a (85/15)	0	3 200
422A	R125/R134a/R600a (85,1/11,5/3,4)	0	3 100
422B	R125/R134a/R600a (55/42/3)	0	2 500
422C	R125/R134a/R600a (82/15/3)	0	3 100

422D	R125/R134a/R600a (65,1/31,5/3,4)	0	2 700
423A	R134a/R227ea (52,5/47,5)	0	2 300
424A	R125/R134a/R600a/R601a (50,5/47/0,9/0,6)	0	2 400
425A	R32/R134a/R227ea (18,5/69,5/12)	0	1 500
426A	R125/R134a/R600a/R601a (5,1/93/1,3/0,6)	0	1 500
427A	R32/R125/R143a/ R134a (15/25/10/50)	0	2 100
428A	R125/R143a/R290/R600a (77,5/20/0,6/1,9)	0	3 600
429A	RE170/R152a/R600a (60/10/30)	0	20
430A	R152a/R600a (76/24)	0	110
431A	R290/R152a (71/29)	0	53
434A	R125/R143a/R134a/R600a (63,2/18/16/2,8)	0	3 100
435A	RE170/R152a (80/20)	0	27
437A	R125/R134a/R600a/R601a (19,5/78,5/1,4/0,6)	0	1 700
507A	R125/R143a (50/50)	0	3 800
508A	R23/R116 (39/61)	0	13 000
508B	R23/R116 (46/54)	0	13 000

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

\* Estos valores corresponden a PCG en 100 años.

## Hidrocarburos (HC)

Estos refrigerantes tienen buenas características, pues no son

sustancias corrosivas, sin embargo, presentan problemas serios por la alta inflamabilidad (Pisco,L., 2019) (Tabla 10).

**Tabla 10.** Valores de PAO Y PCG de refrigerantes Hidrocarburos.

Número R	Componentes	PAO	PCG*
1150	Etileno	0	NA
1270	Propileno	0	NA
120	Etano	0	3
290	Propano	0	3
600	Butano	0	3
600a	Isobutano	0	3

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

\* Estos valores corresponden a PCG en 100 años.

## Refrigerantes inorgánicos

Los refrigerantes inorgánicos son elementos químicos, que se encuentran en la tabla periódica, los cuales no contienen el elemento de carbono, con la excepción del CO<sub>2</sub> (Tabla 11).

**Tabla 11.** Valores de PAO Y PCG de refrigerantes inorgánicos.

Número R	Componentes	PAO	PCG*
702	Hidrogeno	0	NA
704	Helio	0	NA
717	Amoniaco	0	0
718	Agua	0	0
729	Aire	0	NA
744	Dióxido de carbono	0	1
764	Dióxido de azufre	0	300

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

\* Estos valores corresponden a PCG en 100 años.

### 3. Resultados

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  $-25^{\circ}\text{C}$  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 12).

**Tabla 12.** Comparación entre refrigerantes

Refrigerante	R 290	R 134a	R 404A	R 22	R 600a
Nombre	Propano	1,1,1,2-Tetra-fluoro-etano	Mezcla R 125 R 143a R 134a	Cloro-difluoro-metano	Isobutano
Formula	$\text{C}_3\text{H}_8$	$\text{CF}_3\text{-CH}_2\text{F}$	44/ 52/ 4	$\text{CHF}_2\text{Cl}$	$(\text{CH}_2)_3\text{CH}$
Temperatura crítica en $^{\circ}\text{C}$	96.7	101	72.5	96.1	135
Peso Molecular en kg/kmol	44.1	102	97.6	86.5	58.1
Punto normal de ebullición en $^{\circ}\text{C}$	-42.1	-26.5	-45.8	-40.8	-11.6
Presión a $-25^{\circ}\text{C}$ en bar (absoluto)	2.03	1.07	2.50	2.01	0.58
Densidad del líquido a $-25^{\circ}\text{C}$ en $\text{kg/l}$	0.56	1.37	1.24	1.36	0.60
Densidad vapor a to $-25/+32^{\circ}\text{C}$ en $\text{kg/m}^3$	3.6	4.4	10.0	7.0	1.3
Capacidad volumétrica a $-25/55/32^{\circ}\text{C}$ en $\text{kJ/m}^3$	1164	658	1334	1244	373
Entalpía de vaporización a $-25^{\circ}\text{C}$ en $\text{kJ/kg}$	406	216	186	223	376
Presión a $+20^{\circ}\text{C}$ en bar (absoluto)	8.4	5.7	11.0	9.1	3.0

**Fuente:** (Danfoss, 2016)

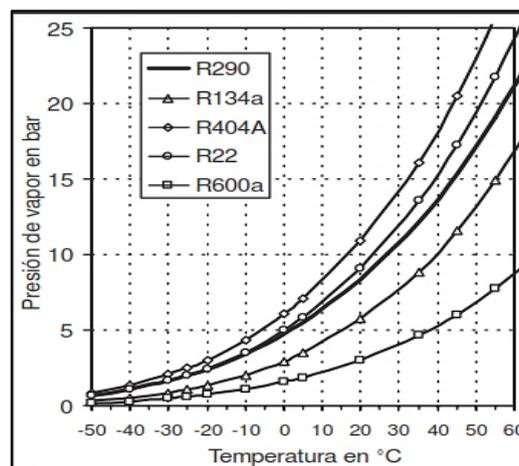
Los hidrocarburos (HC's), propano (R290), butano (R600) y sus mezclas; su problema es su alta inflamabilidad el agua (R718) es un excelente fluido de trabajo, por todas las propiedades que presenta, como su gran calor específico, elevado calor latente de vaporización, reducida viscosidad, etc. CO<sub>2</sub> (R744) fue muy usado en las primeras aplicaciones de la refrigeración (Taza,B., 2017).

Poseen buenas cualidades térmicas. Son agresivos por excelencia de la capa de ozono, (Emerson Climate TechnologiesTM, 2017).

### El uso eficiente de la energía

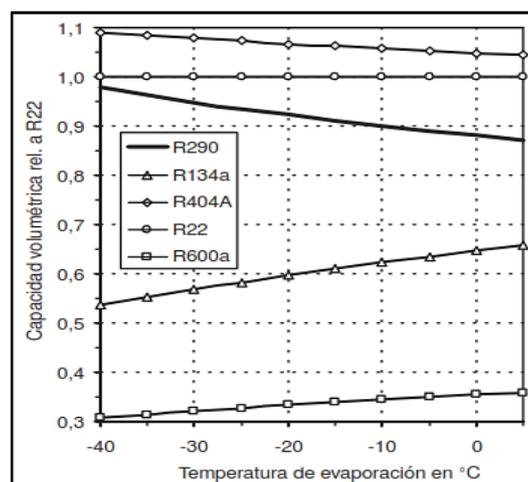
El ahorro de energía está normalmente asociado a momentos de escasez, en esos casos se conoce como racionamiento, (Botero, G., 2014).

**Gráfico 1.** Presión de vapor para diferentes refrigerantes frente a temperatura.



**Fuente:** (Danfoss, 2016)

**Gráfico 2.** Capacidad volumétrica del R290, R134a, R404A y R600a al R22.



**Fuente:** (Danfoss, 2016)

**Gráfico 3.** Especificaciones de R290 de acuerdo con DIN 8960 – 1998.

	Especificación	Unidad
Contenido en refrigerante <sup>1</sup>	≥ 99.5	% masa
Impurezas orgánicas <sup>2</sup>	≤ 0.5	% masa
1,3-Butadieno <sup>3</sup>	≤ 5	ppm por masa
n-hexano	≤ 50	ppm por masa
Benceno <sup>4</sup>	≤ 1	ppm por sustancia
Azufre	≤ 2	ppm por masa
Deslizamiento de temperatura evap.	≤ 0.5	K (desde 5 a 97 % destil)
Gases no condensables	≤ 1.5	% vol. Fase vapor
Agua <sup>5</sup>	≤ 25	ppm por masa
Contenido en ácidos	≤ 0.02	mg KOH/g neutralización
Residuos de evaporación	≤ 50	ppm por masa
Partículas/Sólidos	no	Revisión visual

- 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 los refrigerantes

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 (Vinuesa, D., 2016). El denominado refrigerante técnico de 99.5%, también conocido como 2,5, se utiliza ampliamente (Pérez-Zegarra, C., 2017).

Sin embargo, la temperatura de descarga es mucho más baja (INTE/ISO, 2015). Esto da la oportunidad de trabajar a relaciones de presión más altas, lo cual significa temperaturas de evaporación más bajas o temperatura de gas de aspiración más altas (Emerson Climate Technologies™, 2017). Es por esto, que la elección de estos refrigerantes, R600a y R290, lleva a diseños de sistemas diferentes

debido a los diferentes flujos volumétricos necesarios para la misma necesidad de refrigeración (ClimaConfort, 2015). Por definición, un artefacto que no está funcionando no genera eficiencia. (Metrogas, 2018). Por ello, la refrigeración forma parte de una de las ramas de la ciencia, su función es de reducir y mantener la temperatura de un espacio o producto más que baja que su alrededor (IPCC, 2016). Es muy importante cuando se trabaja con refrigerantes del tipo hidrocarburos que estos sean de alta pureza, ya que cualquier proporción con otras impurezas, como sulfuros, agua, etc., pueden contribuir a la degradación de los aceites lubricantes de la instalación, rotura de compresores, etc. (Refecol, 2016). Dado que procede del petróleo, se le considera un refrigerante natural (Guía Práctica para la Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía, 2015). El R290 se ha utilizado anteriormente en plantas de refrigeración y todavía se sigue utilizando en algunas plantas industriales (Taza, B., 2017). El propano, R290 es un posible refrigerante para esta aplicación, con buen rendimiento, pero debe tratarse

con cuidado debido a su inflamabilidad (Gasr Servei, 2017). El propano 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 (Gasr Servei, 2017).

### **El refrigerante propano, características y aplicaciones**

Es muy importante cuando se trabaja con refrigerantes del tipo hidrocarburos que estos sean de alta pureza, ya que cualquier proporción con otras impurezas, como sulfuros, agua, etc., pueden contribuir a la degradación de los aceites lubricantes de la instalación, rotura de compresores, etc. (Rubio, J., 2015). El propano 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).

**Gráfico 4. Propiedades físicas.**

Peso Molecular	44,1
Temper. De ebullición (°C)	-42,1
Temp. Critica (°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/m<sup>3</sup>)

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 (kg/m<sup>3</sup>)

Densidad del vapor en (Cond. Evap.): 10.98 (kg/m<sup>3</sup>)

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 (kg/m<sup>3</sup>)

Densidad del vapor en (Cond. Condens.): 33.22 (kg/m<sup>3</sup>)

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)

Capacidad calorífica del vapor a presión cte. en (Cond. Condens.): 2.38 (kJ/kgK) (Anton Natural, 2017).

**Gráfico 5. Inflamabilidad del propano.**

Refrigerantes	Límite inferior de inflamabilidad		Temperatura de auto ignición (°C)
	En volumen (%)	Peso (kg/m <sup>3</sup> )	
R290 (propano)	2,1	0,038	470

**Fuente:** (Anton Natural, 2017).

Los equipos que con el tiempo operen y la posibilidad de someterse a una reconversión para que puedan seguir en funcionamiento, además que el grupo de hidrocarburos como el propano, isobutano, butano

presentan un potencial de cero en la destrucción de la capa de ozono y con un bajo potencial de calentamiento global (Gasr Servei, 2017).

**Tabla 13.** Propiedades Termo físicas de los gases R-22 Y R-290.

Nombre comercial	R-22	R-290
Fórmula química	CHF <sub>2</sub> CL	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
Temperatura crítica en °C	96.1	96.7
Peso molecular en kg/kmol	86.5	44.1
Capacidad volumétrica kJ/m <sup>3</sup>	1244	1164
Punto de ebullición normal en °C	-40.8	-42.1
Entalpia de vaporización. a 2 °C kJ/kg	203.34	370.61
Condiciones de evaporación (Cond. Evap.)	t <sub>0</sub> = 2 °c p=5.3 bar	t <sub>0</sub> = 2 °c p=5 bar
Presión absoluta en bar a 2 °C	5.3	5
Densidad del liquido en (Cond. Evap.) kw/m <sup>3</sup>	1278.77	521.1
Densidad del vapor en (Cond. Evap.) kg/m <sup>3</sup>	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 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>
Viscosidad del vapor en (Cond. Evap.) kg/ m s	12*10 <sup>-6</sup>	7.39*10 <sup>-6</sup>
Capacidad calorífica del líquido a presión cte. en (Cond. Evap.) kJ/kgK	1.17	2.46
Capacidad calorífica del vapor a presión cte. en (Cond. Evap.) kJ/kgK	0.73	1.8
Condiciones de condensación (Cond. Condens.)	t <sub>0</sub> = 44°c p <sub>k</sub> =16.8 bar	t <sub>0</sub> = 44°c p <sub>k</sub> =14.9 bar
Presión absoluta en bar a 44 °C	16.8	14.9
Densidad del liquido en (Cond. Condens.) kg/ m <sup>3</sup>	1113.58	463.17
Densidad del vapor en (Cond. Condens.) kg/m <sup>3</sup>	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 <sup>-3</sup>	9.73*10 <sup>-3</sup>
Viscosidad del vapor en (Cond. Condens.) kg/ m s	14.6*10 <sup>-6</sup>	9.36*10 <sup>-6</sup>
Capac. Calorífica del líquido a presión cte., en (Cond. Condens.) kJ/kgK	1.35	2.88
Capac. Calorífica del vapor a presión cte., en (Cond. Condens.) kJ/kgK	0.99	2.38
Toxicidad	baja	media
Inflamabilidad	nula	Alta
Potencial de destrucción del ozono ODP	0.55	0
Potencial de calentamiento global GWP	1810	20

**Fuente:** (Emerson Climate TechnologiesTM, 2017)

En muchos detalles están basados en las regulaciones para instalaciones de gases licuados y se aplican especialmente en las

proximidades a las zonas de carga, donde se manejan con frecuencia los conectores de gas y se realiza la

carga de las distintas aplicaciones (Álvarez,D., 2015).

### Diferencia entre las presiones alta y baja del sistema de aire acondicionado

Por su parte, la justificación de haber escogido la temperatura de evaporación ya mencionada se debe

a que de forma general para equipo de aire acondicionado doméstico ésta variable debe oscilar en el rango desde los -10 hasta los 10°C (como lo recomendación de los fabricantes), escogimos una temperatura apropiada para este caso (Álvarez,D., 2015).

**Tabla 14.** Diferencia entre las presiones alta y baja del sistema de aire acondicionado.

Refrigerante	Tcondensación=40°C	Tevaporación=7°C	$\Delta P$ [Mpa]	Porcentaje %
	Pbaja [MPa]	Palta [MPa]		
R-22(original)	1.5280	0.6182	0.9098	100%
R-290 (sustituto)	1.3671	0.5779	0.7892	86.7

**Fuente:** (Anton Natural, 2017).

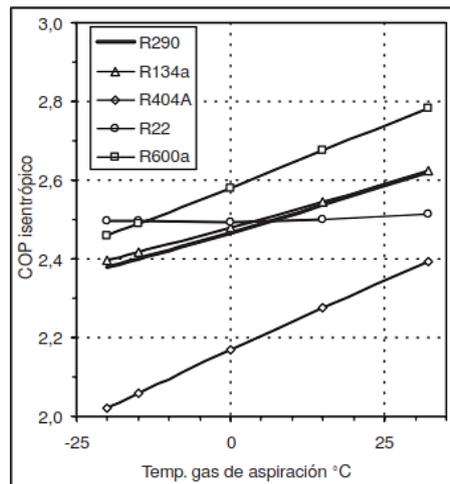
En algunos países, las reglas para el manejo de R290 en contenedores pequeños, son menos estrictas (Alarcón,C., 2015). Dado que la refrigeración mecánica se basa en la evaporación y la consiguiente condensación del fluido para absorber y disipar el calor (Menéndez,M;Santamaría,E;Vega,R., 2015), donde un refrigerante debe cumplir con características físicas para que pueda repetir el ciclo líquido a gas y gas a líquido, como son una adecuada temperatura y presión de servicio y buen efecto refrigerante (Castillo Martínez, L;

Mora Alvarado, W; Gonzales Cadillo, A, 2020).

### 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, G., 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 6.** Eficiencia del sistema de refrigeración.



**Fuente:** (Emerson Climate Technologies<sup>TM</sup>, 2017)

El efecto de refrigeración de un 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 (Taza, B., 2017). La presión crítica también debe estar por arriba de la presión de condensación (Vinueza, D., 2016), pues constituye el punto de partida de las aplicaciones de los hidrocarburos en esta especialidad. (ClimaConfort, 2015).

### **Propiedades de los refrigerantes como fluidos de transporte**

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 (Sosa Milián, B., 2015) y las propiedades medioambientales que ponen de manifiesto la interacción del refrigerante con el medio ambiente (Anton Natural, 2017). Estas propiedades se expresan de la manera siguiente (Gasr Servei, 2017), rango de presiones de condensación relativamente bajas para posibilitar consumos de energía que no sean excesivos (Plazas, P., 2015). Las mismas muestran de cómo puede funcionar un aire acondicionado con ambos refrigerantes, según se expresa en la tabla de propiedades termo físicas (Danfoss, 2016).

## El uso de los gases refrigerantes y su impacto ambiental

Cuando se le permite al líquido expandirse a gas de nuevo, absorbe calor y enfría ese espacio (Rubio, J., 2015).

**Tabla 15.** Compromiso de reducción de sustancias destructoras del ozono, según el Protocolo de Montreal.

Compuesto	Porcentaje de reducción en países desarrollados	Porcentaje de reducción en países en vías de desarrollo
CFC	100 % 1996	0% 1999 50% 2005 85% 2007 100% 2010
CCl <sub>4</sub>	100 % 1996	85% 2005 100% 2010
Halones	100% 1996	0% 1996 50% 2005 100 % 2010
Metil cloroformo	100% 1996	0 % 2003 30 % 2005 70% 2010 100 % 2015
HBFC	100 % 1996	0% 2016 100 % 2040
HCFC	0% 1996 35 % 2004 65 % 2010 90% 2015 99,5 % 2020 100% 2030	0 % 2016 100 % 2040

**Fuente:** (Botero, G., 2014).

Los freones comenzaron a desarrollarse básicamente en la década de 1930, como sustitutos estables no tóxicos y no inflamables del amoníaco gaseoso utilizado hasta el momento en la refrigeración (Alarcón,C., 2015). El papel de los CFC's se ha extendido mucho en los últimos sesenta años y se continúa utilización en los equipos de refrigeración y en los aparatos de

aire acondicionado, empleándose también como: solvente; propelente de aerosoles para productos tales como laca del pelo y desodorantes; agentes espumantes para aislamiento en la industria de la construcción y embalajes para alimentos precocidos (Pérez-Zegarra,C., 2017).

## **Metodología para la 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, debido al riesgo ambiental y técnico que implica, de no aplicarse las medidas adecuadas en la realización de los trabajos se obtendría un resultado no deseado.

El refrigerante R22 que será el gas sustituido posee propiedades muy agresivas para la capa ozono de la atmósfera, constituyendo uno de los agentes que más contribuye al calentamiento global, por lo que tanto su extracción controlada, captura y almacenamiento debe considerarse como una prioridad principal dentro de las tareas técnicas durante el proceso de reconversión.

El refrigerante R290 que constituye el sustituto, este no presenta peligros ambientales, pero requiere un ser manipulado bajo estrictas medidas de control técnico, debido a sus características que tiene de ser inflamable, se debe garantizar un

vaciado perfecto del sistema y la inyección del gas en ausencia total de oxígeno.

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. En la compilación digital de la (Emerson Climate Technologies<sup>TM</sup>, 2017), se ofrecen elementos teóricos esenciales sobre la metodología a seguir para realizar un proceso de reconversión de R-22 a R-290, y otros, 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 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.
- Eliminar toda fuente de ignición.
- Control de fugas final.



Además, la temperatura mínima que se puede alcanzar en un local con R-22 fue es 17 C y con R-290 oscila entre 18 y 19 C, 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:

#### Resultados del proceso de reconversión.

Parámetros a Evaluar.	R-22	R-290
Consumo eléctrico horario (KW/h).	1	0.9 – 0.93
Temperatura mínima del local. ( C ).	17	18 - 19

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 la metodología propuesta anteriormente, se puede lograr disminuir el consumo energético del aire acondicionado, entre un 7% y un 10% con relación al R-22.

#### 4. Conclusiones

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, G., 2014) y (Sánchez,H., 2016).

El punto de ebullición de un refrigerante a la temperatura ambiente es fundamental a la hora escoger el equipo requerido y el tipo de servicio en el cual será utilizado (Environmental Protection Agency, 2015). El coeficiente de comportamiento (C.C.) de un refrigerante es la medida de su eficiencia en utilizar la energía gastada en el compresor, en relación con la energía absorbida durante la

evaporación (Echeverría, J., 2019). Mientras menos energía necesite el refrigerante para comprimirse, mayor será el C.C del sistema (Álvarez, D., 2015). Si el refrigerante es de alta densidad al fluir en las tuberías tendrá mayor fricción y, por tanto, una caída de presión. Por esto los refrigerantes de baja densidad tienen más ventajas y pueden ser un factor importante a la hora de su elección.

El efecto refrigerante es igual al calor de evaporación menos el calor perdido en enfriar el líquido desde la temperatura al entrar en el evaporador a la temperatura final. Mientras más pequeño sea el calor específico del refrigerante líquido, mayor será el efecto de refrigeración (Taza, B., 2017).

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. La presión crítica también debe estar por arriba de la presión de condensación (Danfoss, 2016).

Mientras que la mayoría de los refrigerantes tienen un punto de congelación menor que el punto de congelación del agua (-20°F a +10°F), cuando se requieren temperaturas extra bajas, se debe tener mucho cuidado al escoger el refrigerante.

El punto de congelación de un refrigerante debe ser bastante menor que la más baja temperatura obtenida en el evaporador. Los refrigerantes deben reunir las siguientes características técnicas (ClimaConfort, 2015):

- Estables ante continuos cambios de presión y temperatura.
- Estables a la descomposición por contaminación con Aire, aceite o agua.
- No deben ser corrosivos (alguno refrigerantes como el amoníaco reaccionan con la humedad formando el hidróxido de amonio que reacciona con las tuberías de hierro, cobre u aleaciones).
- Deben ser químicamente 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. Este refrigerante sostenible y ecológico, permite un ahorro energético considerable para las condiciones climatológicas del Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez de Manta. 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, existen muy pocas experiencias en la aplicación de refrigerantes hidrocarburos en los sistemas de acondicionamiento de aire. En la provincia de Manabí y específicamente en Manta 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.

El parámetro de inflamabilidad que tendría el equipo al que se le aplicaría la metodología para la reconversión del gas refrigerante R22 por el R-290 sería reducida a un riesgo mínimo si se lo efectúa con buenas prácticas técnicas de refrigeración tales como realizar una buena soldadura, un adecuado barrido de nitrógeno al sistema junto con su proceso de vacío estrictamente necesario mediante la utilización de los equipos apropiados, que encuentre correctamente calibrados para dicha operación, lo que por medio de esto garantizara a la final que no se presente fugas de refrigerante en el sistema. En el caso de existir fugas con el equipo en funcionamiento estas se verán evacuadas por el movimiento del ventilador ubicado dentro del equipo.

## Bibliografía

- Agencia Internacional de Energía. (2015). Indicadores de Eficiencia Energética. Bases esenciales para el establecimiento de políticas. París, Francia: Editoria, Lión.
- Alarcón, C. (2015). Tratado práctico de refrigeración automática Nº12. Barcelona, España: Editorial Marcombo Boixareu.
- 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.
- Anton Natural. (2017). Anton Natural 290. Lima, Perú: Manuscrito.
- Arcentales, G.; Lucas, M.; Guerrero, J.; Gordin, R. (2017). valuation for the Reduction of NH<sub>3</sub> Contamination Risks. La Habana, Cuba: International Journal of Life Sciences.
- Arias, F. (2015). El Proyecto de Investigación. Recuperado de <https://docplayer.es/69983158-EI-proyecto-de-investigacion-6aedicion.html>.
- ASHRAE. (2015). Designation and safety Clasification of Refrigerants. Atlanta: Atlante.
- Botero, G. (2014). Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado. Oregón, USA: Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
- Castillo Martínez, L.; Mora Alvarado, W.; Gonzales Cadillo, 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. <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/UTP/3158>. Lima, Perú: Universidad Tecnológica del Perú.
- Cero Grados. (2019). El R-290 y su manejo. Revista Cero Grados. Disponible en: <https://0grados.com.mx/r-290manejo/>, Pág.65.
- ClimaConfort. (2015). Prohibición de recarga de refrigerantes R22. Recuperado de

- <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.
- DITECA. (2017). Guía para la elaboración de acciones en cambio climático. Recuperado de [http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/documentos/guia\\_elaboracion\\_inventario\\_gas\\_es\\_efecto\\_invernadero\\_v1.0\\_0.pdf](http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/documentos/guia_elaboracion_inventario_gas_es_efecto_invernadero_v1.0_0.pdf).
- Echeverría, J. (2019). Metodología para el uso del R290 en sustitución del R22 en acondicionadores de aire tipo ventana ubicados en la facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la UCSG para mejorar su eficiencia energética.
- Emerson Climate TechnologiesTM. (2017). Refrigerants for commercial refrigeration applications. USA: Refrigerants for commercial refrigeration applications.
- Environmental Protection Agency. (2015). Basic information. Recuperado de <http://www3.epa.gov/climatechange/basics/>.
- Gas Servei. (S/f). Ficha Técnica R-290 propano.
- Gasr Servei. (2017). Ficha Técnica de R-290 Propano. México D.F.: Editorial Labores.
- 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.
- Gonzales, R. (2019). rediseño del sistema eléctrico general del conjunto residencial Valdivia bloque 8. Guayaquil, Ecuador.
- Grajales, I. (23 de Mayo de 2019). El TEC se convierte en la primera Universidad Pública Carbono Neutroa del país. Recuperado de [/www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2019/02/27/tec-se-convierte-primerauniversidadpublicacar-bono-neutral-pais](http://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2019/02/27/tec-se-convierte-primerauniversidadpublicacar-bono-neutral-pais).
- Guía Práctica para la Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía. (2015). Recuperado de <https://open.unido.org/api/documents/4676845/download/Gu%C3%ADa%20Pr%C3%A1ctica%20para%20la%20Implementaci%C3%B3n%20de%20un%20Sistema%20de%20Gesti%C3%B3n%20de%20la%20Energ%C3%ADa>.

- Huebes, J. (2016). Refrigeration, air conditioning and foam blowing sectors technology roadmap. Alemania: Giz Proklima.
- INTE/ISO. (28 de Marzo de 2015). Sistema de Gestión de la Energía. Recuperado de [http://biblioteca.tec.ac.cr/exlibris/aleph/a23\\_2/apache\\_media/EI1PXF4YRG1HC46838AD ED1XHAEFMI.pdf](http://biblioteca.tec.ac.cr/exlibris/aleph/a23_2/apache_media/EI1PXF4YRG1HC46838AD ED1XHAEFMI.pdf).
- IPCC. (12 de Septiembre de 2016). Guidelines For National Greenhouse Gas Inventories. Recuperado de [http://doi.org/http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2\\_Volume2/V2\\_3\\_Ch3\\_Mobile\\_Combustion.pdf](http://doi.org/http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf).
- López, N. B. C., Paula André Daza Jiménez, & Álvarez, M. T. G. (2015). Manula básico de sistemas de aire acondicionado extracción de uso comun en arquitectura. Guayaquil, Ecuador: Universidad Católica de Guayaquil.
- 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.
- Metrogas. (2018). Qué es la eficiencia energética. Recuperado de [http://www.metrogas.cl/files/Que\\_es\\_EE.pdf](http://www.metrogas.cl/files/Que_es_EE.pdf).
- MINAE. (2014). Manual de Buenas Prácticas en Refrigeración. Turrialba, Costa Rica: Editorial Turrialba.
- Pérez-Zegarra, C. (2017). Detailed thermodynamics of hermetic reciprocating compressors. Philadelphia, USA: International Journal of refrigeration.
- Pisco, L. (2019). El TEC se convierte en la primera Universidad Pública Carbono. Recuperado de <http://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2019/02/27/tec-se-convierte-primerouniversidadpublicacarbono-neutral-pais>.
- Plazas, P. (2015). Los refrigerantes el medio ambiente. Recuperado de [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/16336/Memoria\\_PFC\\_Plazas\\_Monroy\\_Juan\\_Pablo.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/16336/Memoria_PFC_Plazas_Monroy_Juan_Pablo.pdf).
- Plusfroid. (2016). Ficha Técnica del refrigerante R-22. Recuperado de <http://plusfroid.pt/wp-content/uploads/2015/04/R22.pdf>.
- Puebla, J. (2016). Manual de Buenas Práctias de Refrigeración. (V. FONDOIN, Ed.) Recuperado de E-mail: [fondoin@cantv.net](mailto:fondoin@cantv.net), [www.fondoin.com.ve](http://www.fondoin.com.ve) ISBN: 980-12-1448-1.

- Refecol. (2016). Ficha Técnica del Refrigerante R-290. México D.F.: Editorial Refecol.
- Reglamento de seguridad. (23 de Mayo de 2016). Reglamento de seguridad para plantas e instalaciones frigoríficas. Recuperado de <http://iesmachado.org/web%20insti/depart/produccion/apuntes/files/Reglamentos/RSIF.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.
- Rosillo, C. (2015). Metodología para la sustitución del refrigerante R-22 por el propano en un aire acondicionado. Red de Monografía. México D.F.: El Centro de Tesis, Documentos, Publicaciones y Recursos Educativos más amplio de la Red.
- Rubio, J. (2015). Refrigeración cinamónico. Recuperado de <http://www.mundohvacr.com.mx/mundo/209/03/refrigeracion-con-amoniaco/>.
- Sánchez, H. (2016). Diagnóstico energético para 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.
- Scalofríos. (2014). Ficha Técnica R22. Recuperado de <http://www.scalofrios.es/frio/Refrigerantes/fichastecnicas/HFCs.pdf>.
- 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>.
- Taza, B. (2017). Razón de flujo de gas refrigerante en estado dinámico en un sistema de refrigeración por compresión de vapor. (U. N. Perú, Ed.) Recuperado el 14 de Mayo de 2021, de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3797/Quispe%20Meza%20Taza%20Ordo%c3%b1ez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- 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-UC-0010003-2017.pdf>.