



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

TEMA:

**Reconversión del R22 por R290 en acondicionador de aire tipo ventana
para evaluar su razón de eficiencia energética en la ciudad de
Guayaquil.**

AUTOR:

Ing. Echeverría Parra Ricardo Xavier

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de

**MAGÍSTER EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN ENERGÍAS
RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**

TUTOR:

Ing. Bohórquez Escobar Celso Bayardo Msc.

Guayaquil, Ecuador

18 de noviembre del 2022



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Echeverría Parra Ricardo Xavier**, como requerimiento para la obtención del título de **MAGISTER EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**

TUTOR

f. _____

Ing. Celso Bayardo Bohórquez Escobar Msc.

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Celso Bayardo Bohórquez Escobar Msc.

Guayaquil, a los 18 del mes noviembre del año 2022



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Echeverría Parra Ricardo Xavier**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **“Reconversión del R22 por R290 en acondicionador de aire tipo ventana para evaluar su razón de eficiencia energética en la ciudad de Guayaquil”** previo a la obtención del título **Magíster Electricidad con mención energías renovables y eficiencia energética**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 18 del mes de noviembre del año 2022

EL AUTOR

f.  _____

Echeverría Parra Ricardo Xavier



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

AUTORIZACIÓN

Yo, Echeverría Parra Ricardo Xavier

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, “**Reconversión del R22 por R290 en acondicionador de aire tipo ventana para evaluar su razón de eficiencia energética en la ciudad de Guayaquil.**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 18 del mes de noviembre del año 2022

AUTOR:

f. 

Echeverría Parra Ricardo Xavier

INFORME DE URKUND

Document Information

Analyzed document	Tesis Final corregida.docx (D142586127)
Submitted	8/1/2022 7:03:00 PM
Submitted by	
Submitter email	ing.ricardoecheverria@hotmail.com
Similarity	2%
Analysis address	celso.bohorquez.ucsg@analysis.urkund.com

Sources included in the report

W	URL: http://refrigerationclub.com/es-es/r290-y-r600a/ Fetched: 8/1/2022 7:04:00 PM	 2
SA	Informe_JUE_Grupo1_Practica4.pdf Document Informe_JUE_Grupo1_Practica4.pdf (D90767024)	 2
W	URL: https://www.freon.com/es/products/refrigerants/r22 Fetched: 5/4/2021 3:58:18 PM	 1
SA	Taller individual 1.pdf Document Taller individual 1.pdf (D88466650)	 1

Conclusión: Reporte Urkund del Trabajo de Titulación denominado “Reconversión del R22 por R290 en acondicionador de aire tipo ventana para evaluar su razón de eficiencia energética en la ciudad de Guayaquil” del Ingeniero Echeverría Parra Ricardo Xavier. Una vez efectuado el análisis anti plagio el resultado indica 2% de coincidencia

Atentamente,



Ing. Bayardo Bohórquez Escobar, MSc.
DOCENTE-TUTOR

“Yo solo sé que nada se, solo soy un amigo del saber”.

Sócrates

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer principalmente a Dios por haberme permitido llegar y cumplir una etapa más en mi vida, por haberme dado salud para seguir en los momentos difíciles de la vida, por hacerme ver que siempre hay una solución ante cada problema no importa el tamaño que sea.

Agradecer a cada uno de los compañeros de aula en especial al Ing. Javier García que siempre nos estuvimos apoyando en todo el periodo de clases, a los docentes por todas sus enseñanzas, a mi maestro Dr. Reinaldo Javier Guillen Gordín por su conocimiento y tiempo incondicional para guiarme en el desarrollo de la investigación a pesar de la distancia, al Ing. Bayardo Bohórquez Escobar por el apoyo brindado a lo largo del proceso.

Agradecidos de todos, absolutamente todos los que de alguna u otra manera me brindaron su ayuda, su apoyo, y fueron parte de este proceso para mi formación profesional.

DEDICATORIA

A mi esposa Carmen del Rocío Cruz Alvear por su apoyo incondicional a lo largo de nuestras vidas a mis hijos Ing. Ricardo Echeverria Cruz, Ing. Jonathan Echeverría Cruz que siempre han sido mi fortaleza e inspiración para seguir adelante.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES Y
EFICIENCIA ENERGÉTICA.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

ING. BOHÓRQUEZ ESCOBAR, CELSO BAYARDO, M. Sc.

TUTOR

f. _____

ING. MAZZINI MUÑOZ, GUSTAVO MIGUEL, M. Sc.

REVISOR

f. _____

ING. BOHORQUEZ HERAS, DIANA CAROLINA, M. Sc.

REVISOR

f. _____

ING. BOHÓRQUEZ ESCOBAR, CELSO BAYARDO, M. Sc.

DIRECTOR DEL PROGRAMA

INDICE GENERAL

RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPITULO 1: Descripción general.....	1
1.1. Introducción	1
1.2. Problema.....	3
1.3. Justificación del problema.	3
1.4. Objetivo general.....	3
1.5. Objetivos específicos.	3
1.6. Variables.	3
1.7. Hipótesis.....	4
1.8. Metodología de la Investigación.	4
Capítulo 2: Fundamentación Teórica	5
2.1. Marco teórico conceptual sobre equipos de climatización.....	5
2.2. Eficiencia energética	5
2.3. Razón de eficiencia energética	5
2.4. Sistema de climatización.....	6
2.5. Aire acondicionado.....	6
2.6. Elementos básicos de un aire acondicionado y sus funciones	7
Figura 2.1 Diagrama de funcionamiento de aire acondicionado	7
2.7. Refrigerantes.....	7
2.8. Características de los refrigerantes.....	8
2.9. Características físicas.....	8
2.10. Características termodinámicas.....	9
2.11. Características químicas	9
2.12. Características de seguridad.....	10
2.13. Refrigerante R22.....	13
Compatibilidad con los materiales.	14
Toxicidad y almacenamiento.....	14
2.14. Hidrocarburos Refrigerantes.....	14
2.15. Propano (R290).....	15
2.16. Compatibilidad con los lubricantes.....	16
2.17. Normas de seguridad.....	17

2.18. Equipos de protección personal.....	17
Capítulo 3: Instalación experimental para la evaluación del aire acondicionado.....	19
3.1. Instalación experimental y criterios para la reconversión del aire acondicionado.....	19
3.2. Reconversiones realizadas de HCFC-22 a Hidrocarburos.....	19
3.3. Resultados de reconversión para bajas temperaturas.....	20
3.4. Comparación de rendimiento.....	21
3.5. Mezclas de refrigerantes.....	23
3.6. Capacidad de enfriamiento.....	24
3.7. Indicadores utilizados para la comparación de los sistemas reconvertidos.....	34
3.8. Criterios utilizados para la reconversión.....	34
3.9. Descripción de la instalación.....	38
3.10. Instalación experimental.....	39
3.11. Procedimiento de reconversión utilizado.....	39
3.12. Análisis de las condiciones de seguridad.....	41
Capítulo 4: CÁLCULO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA RECONVERSION.....	46
4.1. Cálculo de la capacidad frigorífica.....	47
4.1.1. Cálculo del área de salida del aire de impulsión.....	47
4.1.2. Cálculo del flujo del aire de impulsión.....	47
4.1.3. Cálculo de la variación de entalpía y capacidad frigorífica.....	48
4.2. Análisis del comportamiento de la potencia eléctrica demandada.....	50
4.3. Cálculo de la razón de eficiencia energética EER.....	53
4.4. Impacto económico de la reconversión.....	56
4.5. Impacto ambiental de la reconversión.....	57
CONCLUSIONES.....	59
RECOMENDACIONES.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	63
ANEXOS.....	69

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Diagrama de funcionamiento de aire acondicionado.....	7
Figura 3.1 Variación del COP (Coefficient of performance/ Coeficiente de rendimiento) con la temperatura de evaporación y condensación.....	21
Figura 3.2: COP y VRC de refrigerantes alternativos en relación con el R22.	22
Figura 3.3: visión general de diversos riesgos que implica el escape de refrigerante.	27
Figura 3.4: clasificación de seguridad de los refrigerantes.	30
Figura 3.5: triángulo de la combustión.	31
Figura 3.6: Desplazamiento necesario para diferentes refrigerantes.....	35
Figura 3.7: Temperaturas y presiones de saturación de algunos refrigerantes.....	35
Figura 3.8: Equipo de Aire acondicionado y manómetros con manguera para medir la presión y controlar el paso de refrigerante durante la carga con R290.	38
Figura 3.9: Instalación experimental.	39
Figura 3.10: Balanza y recipiente con R290 para suministrar el peso calculado.	40
Figura 3.11: Sistema de adquisición de datos.....	45
Figura 3.12: Placa de datos aportados por el fabricante.	45
Figura 4.1: Ventanilla de salida del aire de impulsión.....	47
Figura 4.2: Gráfico del comportamiento de la capacidad frigorífica.	50
Figura 4.3: Potencia eléctrica demandada por el aire acondicionado con R22 y R290.	52
Figura 4.4: Gráfico del comportamiento de la razón de eficiencia energética.	55
Figura 4.5: Comportamiento del consumo de energía.....	57

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Límite inferior de Inflamabilidad del propano.	16
Tabla 2.2: Aceites compatibles con R22.(Gas servei 2022).	16
Tabla 3.1: Características de inflamabilidad de algunos HC.	32
Tabla 3.2: Propiedades de los refrigerantes R22 y R290.	37
Tabla 3.3: Características del aire acondicionado objeto de estudio.	38
Tabla 3.4: Categorías de ocupación y ejemplos.	43
Tabla 4.1: Valores de capacidad frigorífica.	49
Tabla 4.2: Potencia demandada con R22 y con R290.	51
Tabla 4.3: Razón de eficiencia energética.	54
Siglas.....	61

RESUMEN

En el trabajo se realiza una importante revisión de bibliografía científica actualizada, que permite resumir los aspectos más importantes en cuantos términos, conceptos y procedimientos utilizados para la reconversión de equipos de climatización. Se describen las propiedades fundamentales de los refrigerantes y en particular del R22 y R290 por ser los fluidos utilizados en esta investigación.

Se selecciona e instrumenta un aire acondicionado tipo ventana con R22 y se reconvierte a R290 describiéndose el procedimiento que se aplica. Se evalúa en condiciones de operación reales en la ciudad de Guayaquil, se registrarán los parámetros de funcionamiento y se calculan los indicadores de desempeño principales tales como, potencia eléctrica demandada, capacidad frigorífica y razón de eficiencia energética para compararlos antes y después de la reconversión.

Como resultado se obtuvo una ligera disminución de la capacidad frigorífica en 1,6%, una disminución de 5,75% de la potencia eléctrica demandada y un incremento de la razón de eficiencia energética de 4,85%. Demostrándose la factibilidad de las ventajas de la reconversión desde el punto de vista energético y ambiental.

Palabras claves: Razón energética, energías renovables, reconversión, eficiencia energética

ABSTRACT

In the work, an important review of updated scientific bibliography is carried out, which allows to summarize the most important aspects in terms of terms, concepts and procedures used for the conversion of air conditioning equipment. The fundamental properties of refrigerants are described, particularly R22 and R290, as they are the fluids used in this research.

A window-type air conditioner with R22 is selected and instrumented and converted to R290, describing the procedure applied. It is evaluated under real operating conditions in the city of Guayaquil, the operating parameters are recorded and the main performance indicators are calculated, such as the demanded electrical power, cooling capacity and energy efficiency ratio to compare them before and after the reconversion.

As a result, a slight decrease in refrigeration capacity of 1.6% was obtained, a decrease of 5.75% in the demanded electrical power and an increase in the energy efficiency ratio of 4.4%. Demonstrating the feasibility of the advantages of reconversion from the energy and environmental point of view.

Keywords: Energy ratio, renewable energy, reconversion energy, energy efficiency

CAPITULO 1: Descripción general.

1.1. Introducción

Todas instalaciones de refrigeración y climatización funcionan con un refrigerante que en algunos casos se encuentran regulados por sus efectos perjudiciales al medio ambiente. Entre todos estos refrigerantes el más general y frecuente, que se viene utilizando desde los años 50 del siglo pasado es el R22, hasta que investigaciones científicas descubrieron que este tiene un gran efecto negativo en la capa de ozono. Este refrigerante es una de las sustancias reguladas por el Protocolo de Montreal, por ello se planificó su eliminación total en el año 2015 para los países desarrollados y para el 2030 en el resto de naciones (Echeverria 2019).

La mayoría de los especialistas en todo el mundo plantean la aplicación de la climatización con refrigerantes ecológicos que no afecten la capa de ozono, no provoquen efecto invernadero y, además, proporcionen una mayor razón de eficiencia energética; disminuyendo el consumo de energía para determinada capacidad frigorífica.

Las sustancias naturales que pueden utilizarse como refrigerantes ecológicos, son el agua, aire, dióxido de carbono, amoníaco e hidrocarburos. Entre las opciones, está el isobutano (R600a), butano (R600), propano (R290) y sus mezclas. Los equipos de climatización que usan como refrigerante el HCFC22 pueden ser reconvertidos con el R290, pues éste es un refrigerante con bajo GWP y tiene un ODP nulo, además de tener características de trabajo muy similares a las del R22.

En Asia, países como China, Indonesia, Singapur, Malasia, Tailandia, Filipinas, Japón, Taiwán, India y Sri Lanka van a la vanguardia en el uso de HC. En el continente africano, Sudáfrica es el país con mayores resultados en la reconversión de R22 a R290. En la zona geográfica de las Americas, el país que más ha avanzado en este tema es Jamaica, donde se han reportado noticias de algunas reconversiones en sistemas de acondicionamiento de aire. En Europa, Alemania y Gran Bretaña, entre otros países, han desarrollado la tecnología de hidrocarburos en equipos de climatización. Todos estos países

reportan ahorros energéticos entre 10 y 30 % en los sistemas reconvertidos o en las nuevas tecnologías con HC (Dahané 2011).

La utilización de los fluidos refrigerantes naturales está creciendo rápidamente en todo el mundo. Entre ellos, sobresalen los hidrocarburos R600a, y R290. Esas sustancias ya tenían una fuerte presencia en algunas regiones, especialmente en Europa, pero, en los últimos años, vienen ganando espacio en el mercado latinoamericano, por sus propiedades favorables. Desde el punto de vista ambiental, los hidrocarburos son óptimas opciones: no perjudican la capa de ozono y el impacto de calentamiento global es prácticamente cero (Embraco. 2017).

En Ecuador la gama de la temperatura ambiental es muy extensa, ya que, desde la cima de los volcanes hasta el litoral y la llanura amazónica, las medias van de 0°C a más de 26°C. En la región andina la temperatura está por lo general estrechamente ligada a la altura. Entre los 1500 y los 3000 metros sobre el nivel del mar los valores promedio varían entre 20°C y 8°C, mientras que los valores máximos absolutos oscilan entre 30°C y 22°C y valores mínimos absolutos de 5°C a -4°C.

En los flancos externos de las dos cordilleras se ha podido establecer el gradiente altitudinal de la temperatura promedio. Aunque la vertiente oriental presenta valores un tanto más elevado en la zona de Piedemonte y muy ligeramente inferiores en altura. En la región oriental, la zona del litoral y las islas Galápagos, la media anual se establece entre los 24°C a 25°C con extremos que apenas superan los 38°C y que rara vez descienden a menos de 13°C. El valor mínimo alcanzado en Zamora fue de 6°C en diciembre de 1973 y; en Puyo de 8,3°C en mayo de 1966, estos valores son verdaderamente excepcionales.

Las particularidades climáticas del territorio ecuatoriano expuestas anteriormente, implican que en las zonas del litoral sea muy frecuente el uso de equipos acondicionadores de aire domésticos, lo que provoca un elevado consumo de energía eléctrica y un alto inventario del gas refrigerante R22 en los equipos instalados (Anchundia and E. 2016).

En la actualidad en Ecuador la gran mayoría de equipos de aire acondicionado tipo ventana trabajan con el refrigerante R22 que produce un impacto ambiental negativo como es la disminución del espesor de la capa de ozono y un elevado potencial de calentamiento global. Por ello en este trabajo de investigación se usará otro tipo de refrigerante para evaluar la Razón de Eficiencia Energética que puede obtenerse, en este caso con el R290.

1.2. Problema.

Se desconoce la razón de eficiencia energética que pudiera obtenerse al reconvertir un aire acondicionado de ventana de R22 a R290 en determinadas condiciones climáticas en Guayaquil.

1.3. Justificación del problema.

Con el estudio del funcionamiento del aire acondicionado de ventana con cada refrigerante, se pretende justificar la factibilidad de la reconversión de R22 a R290 comparando la razón de eficiencia energética en ambos casos.

1.4. Objetivo general.

Reconvertir un aire acondicionado de ventana de uso frecuente en el litoral ecuatoriano y determinar su razón de eficiencia energética antes y después de la reconversión

1.5. Objetivos específicos.

- Revisar reconversiones de equipos de climatización de R22 a R290 y describir sus aspectos fundamentales
- Reconvertir un aire acondicionado tipo ventana de R22 a 290, y medir sus parámetros de operación.
- Determinar la potencia de demanda, la capacidad frigorífica y la razón de eficiencia energética antes y después de la reconversión.

1.6. Variables.

Independiente: Cantidad de R290 para sustituir la carga inicial de R22 reportada por el fabricante del aire acondicionado.

Dependiente: Los parámetros de funcionamiento del aire acondicionado, potencia eléctrica demandada, capacidad frigorífica y razón de eficiencia energética.

1.7. Hipótesis.

Con la sustitución del R22 por el R290 se mejorará la EER de un acondicionador de aire tipo ventana.

1.8. Metodología de la Investigación.

En este trabajo se aplica la investigación documental la cual es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos.

Se aplica también la investigación descriptiva que busca especificar, describir las propiedades, características de procesos, objetos o cualquier otro aspecto que se someta a un análisis (Hernández Sampieri, Fernández Collado et al. 2014).

Los resultados de los cálculos de esta tesis se interpretan desde una investigación explicativa, que se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa – efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de las causas, como de los efectos mediante la prueba de hipótesis. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más alto de conocimiento (Arias 2012).

La experimentación como método científico forma parte de este trabajo, constituyendo un aspecto indispensable para obtener los indicadores de desempeño del aire acondicionado que se evalúa.

Capítulo 2: Fundamentación Teórica

2.1. Marco teórico conceptual sobre equipos de climatización.

En este capítulo se abordan los conceptos y aspectos fundamentales utilizados para cambiar el refrigerante original de equipos de climatización por otro refrigerante, considerando los aspectos de seguridad, de funcionamiento, energético y ambiental.

2.2. Eficiencia energética

La eficiencia energética es la reducción del consumo de energía y de combustibles que se utiliza, pero conservando la calidad y acceso a los bienes y servicios. En otras palabras, usar la energía de forma eficiente, significa lograr que la energía sirva para el uso que se desea, disminuyendo o evitando pérdidas de la misma. Eficiencia energética no es ahorro de energía. El uso eficiente de la energía busca producir el efecto deseado que puede ser calor, luz, movimiento, etc. evitando que se pierda energía.

El ahorro de energía significa disminuir el consumo energético, dejando de realizar ciertas actividades, o reduciendo su frecuencia. El ahorro de energía está normalmente asociado a momentos de escasez, en esos casos se conoce como racionamiento. Dejar de usar energía aun cuando es necesario -como no usar la calefacción en el invierno o no usar suficiente iluminación durante la noche- no son formas eficientes de usar la energía, a pesar de que pueden significar importantes ahorros en el gasto energético. Por definición, un artefacto que no está funcionando no genera eficiencia. (Metrogas 2018)

2.3. Razón de eficiencia energética

La Razón de Eficiencia Energética, EER: es una calificación de rendimiento energético para, principalmente, dispositivos de enfriamiento, generalmente se visualiza en los datos que aporta el fabricante impreso en una placa adosado al equipo de aire acondicionado, evalúa la relación entre la capacidad frigorífica y la potencia eléctrica demandada por el equipo. Se expresa generalmente en Btu/Wh. También sus unidades pueden ser kW de potencia térmica o capacidad frigorífica, sobre kW de potencia eléctrica que demanda el equipo en su conjunto, y no solo la demandada por el compresor.

2.4. Sistema de climatización

La climatización es el proceso de tratamiento del aire que se efectúa a lo largo de todo el año, controla en los espacios interiores la temperatura, la humedad, la pureza y velocidad del aire, para así poder crear las condiciones adecuadas para la comodidad del usuario y lograr el intercambio de aire a los espacios que no pueden ser ventilados de manera natural o que también requieran condiciones especiales de temperatura controlada. También la climatización se emplea para garantizar los requerimientos tecnológicos de diversos equipos y procesos. El concepto de climatización incluye el tratamiento del aire tanto en verano como en invierno, de modo que puede tratarse de enfriamiento o calentamiento del aire, así el concepto de climatización incluye la calefacción.

2.5. Aire acondicionado

El acondicionador de aire es un equipo generalmente utilizado para controlar la temperatura de un entorno o espacio, posee muchas ventajas, entre las cuales se tiene el control de temperatura, eliminación de la humedad del local, control de la salida de aire, la limpieza y circulación de aire.

En la actualidad en el mercado existen varios tipos y marcas de acondicionadores de aire, para distintas funciones como sistemas de frío. - calor, frío, purificadores, etc.

Las dimensiones de capacidad frigorífica de los equipos e instalaciones de aire acondicionado se expresan en unidades de energía sobre unidades de tiempo, en el sistema inglés se utiliza Btu/h, en el sistema métrico Kcal/hr y en el sistema internacional kW. Cuando se trata de capacidades muy grandes se expresa en TR (Tonelada de Refrigeración), donde $1\text{TR} = 12\ 000\ \text{Btu/h} = 3020\ \text{Kcal/h} = 3,5\ \text{kW}$.

La energía se puede expresar en Btu, en Kilocaloría, o en kilo joule, Para poder realizar planes de instalación de acondicionadores de aire es indispensable determinar la cantidad de energía a extraer en la unidad de tiempo, ello determina la capacidad del equipo de aire acondicionado que se va a requerir para obtener la comodidad y confort deseado. Si la capacidad del equipo no es la adecuada, no se podrá obtener el clima deseado y a su

vez provocará un mal uso del sistema acondicionador de aire que con el tiempo le podría causar daño parcial o total del equipo.

2.6. Elementos básicos de un aire acondicionado y sus funciones

En la figura 2.1 se muestra un equipo básico de aire acondicionado conformado por los cuatro elementos fundamentales que funcionan en conjunto, estos son: compresor, condensador, elemento de expansión y evaporador.

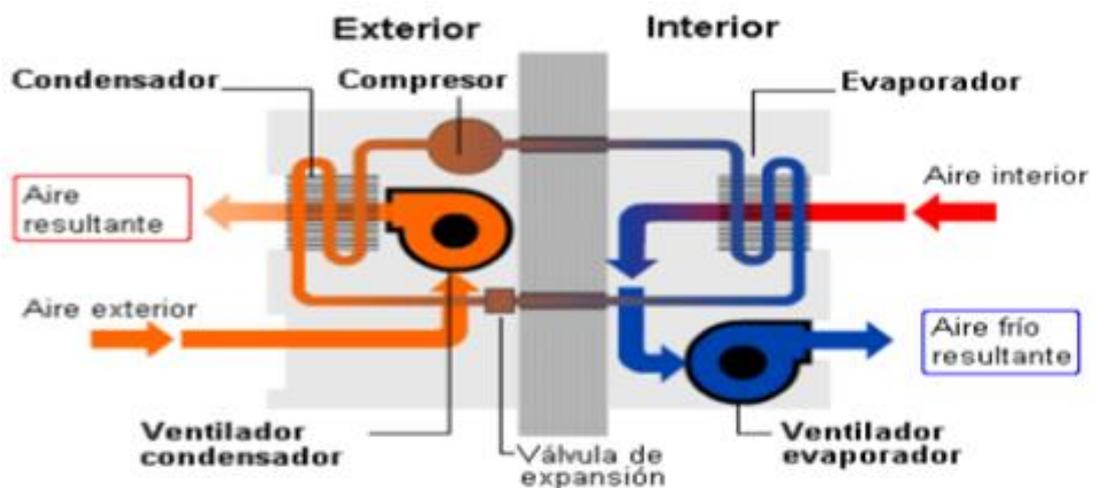


Figura 2.1 Diagrama de funcionamiento de aire acondicionado.

Fuente: (Lopez, Paula Andre Daza Jlmenez, & Alvarez, 2011)

2.7. Refrigerantes

Los refrigerantes son fluidos que transfieren calor de una zona a otra. En un sistema típico de compresión de vapor, se aprovecha el cambio de fase de líquido a vapor para extraer calor de la fuente fría o evaporador, y el cambio de fase de vapor a líquido para rechazar calor al ambiente en el condensador.

Para que un refrigerante sea apropiado y se pueda usar en el ciclo de enfriamiento, debe poseer ciertas propiedades físicas, químicas y termodinámicas que lo hagan seguro durante su uso. Los refrigerantes son los fluidos vitales en cualquier sistema de refrigeración por compresión, absorción y adsorción. Cualquier sustancia que cambie de líquido a vapor y viceversa, puede funcionar como refrigerante, y dependiendo del rango de

presiones y temperaturas a que haga estos cambios, va a tener una aplicación útil comercialmente.

No existe un refrigerante ideal ni que pueda ser universalmente adaptable a todas las aplicaciones. Entonces, un refrigerante se aproximará al ideal, en cuanto sus propiedades satisfagan las condiciones y necesidades de la aplicación requerida.

2.8. Características de los refrigerantes

Los refrigerantes deben cumplir con ciertas propiedades que les permiten ser recomendables para su uso en las diferentes aplicaciones, dichas propiedades son las siguientes: propiedades químicas, propiedades termodinámicas, propiedades físicas y también condicionamientos en el ámbito de seguridad. Se agrega a estas propiedades tradicionales nuevas exigencias relacionadas con el cuidado ambiental, en tal sentido es importante considerar los valores de ODP y GWP de cada refrigerante para realizar la selección adecuada y sostenible del mismo.

2.9. Características físicas

Un refrigerante puede ebullición a mayor temperatura cuando se eleva su presión, pero los compresores no pueden alcanzar cualquier presión y los evaporadores y condensadores no deben trabajar en condiciones de presión o depresión extremas.

Los refrigerantes deben tener un alto calor latente de vaporización (kJ/kg), ya que permitirá reducir el caudal másico circulante de refrigerante (kg/s), lo cual permitirá usar equipos más pequeños y de menor potencia. También deben tener un bajo volumen específico del vapor en la aspiración (m³/kg) para que pueda reducirse el tamaño del equipo (compresor y tuberías).

Las presiones de trabajo deben ser moderadas de modo que la presión de condensación debe ser menor a la presión crítica, lo cual permitirá el cambio de fase. La presión de evaporación debe ser mayor a la presión atmosférica, para evitar la entrada de aire y humedad.

La temperatura de descarga tiene que ser moderada para evitar la descomposición del lubricante y el asociado daño para el compresor (Meza, Ordoñez et al. 2017).

2.10. Características termodinámicas

Las características termodinámicas que debe tener un refrigerante son las siguientes:

Tensión de vapor: Refleja el equilibrio entre el fluido frigorífero líquido y gaseoso, para ello hay que controlar los siguientes parámetros:

Presión de evaporación, que debe de ser superior a la presión atmosférica y define la temperatura mínima que se alcanza en el ciclo.

Presión de condensación, que no debe ser muy elevada, permitiendo además el empleo de elementos constructivos con menores exigencias en cuanto a resistencia, está definida por la temperatura del medio hacia donde se rechaza el calor.

Relación de Compresión: Debe ser pequeña en las condiciones de funcionamiento pues la eficacia volumétrica varía inversamente con la relación de compresión. Por tanto, cuanto menor sea esta propiedad mejor rendimiento proporcionará la instalación.

Potencia frigorífica específica (SCP): Es la cantidad de calor que teóricamente absorbe el refrigerante por unidad de masa de refrigerante en el evaporador, es equivalente al calor latente de vaporización a la presión dada (Meza, Ordoñez et al. 2017).

2.11. Características químicas

Cuando un refrigerante contiene humedad, esta se combina con el fluido frigorífero dando lugar a la formación de compuestos corrosivos que pueden reaccionar con el aceite lubricante y con materiales del sistema.

Comportamiento frente a los materiales: No deben atacar a los materiales de las instalaciones. Por ejemplo, el amoniaco no se puede utilizar con cobre o aluminio. El tipo de refrigerante fija el material a usar en todos los elementos de la instalación.

Relación refrigerante-aceite: El refrigerante debe ser estable frente al aceite, existen tres grupos de refrigerantes teniendo en cuenta la miscibilidad con el aceite: Refrigerantes totalmente miscibles, en donde el aceite volverá al compresor, y por lo tanto no generará problemas. Refrigerantes miscibles con el condensado, lo cual reduce el grado de mezcla en el evaporador. y por último los refrigerantes no miscibles con el aceite (Rey Martínez and Velasco 2006).

2.12. Características de seguridad

Con relación al uso seguro, designación, colores de los tanques de refrigerantes etc. existen normas nacionales, regionales e internacionales, así por ejemplo las normas de la AHSRAE además de utilizarse en los Estados Unidos de América, se usa o sirve de base para otras normas en diferentes países, existen además normas europeas, asiáticas, etc. Por ejemplo la norma 34 de la ASHRAE clasifica los refrigerantes por su nivel de inflamabilidad y toxicidad. La norma europea EN 378 establece regulaciones para el uso seguro de HC refrigerantes.

La normativa aplicable en la utilización de los diferentes fluidos frigorígenos (refrigerantes) en función al grado de seguridad del refrigerante, de las exigencias de los locales, del tipo de ocupación o utilización y de las características de los sistemas de refrigeración empleados, se norman en algunos países, por ejemplo en la instrucción MI-IF-004 del Reglamento de Seguridad para Plantas e Instalaciones Frigoríficas del Ministerio de Industria y Energía de España del año 2001 se establece que la seguridad de cada fluido frigorígeno debe ser considerada desde los siguientes aspectos: toxicidad, inflamación o explosión, fugas y detección de fugas (Taza 2017).

Identificación de los refrigerantes.

En el reglamento de seguridad para plantas e instalaciones frigoríficas establece que todos los refrigerantes deben de tener una denominación, que utilizan una nomenclatura simbólica numérica, la cual es establecida de su fórmula química, teniendo en cuenta las siguientes reglas:

La primera cifra de la derecha, en los compuestos que carezcan de bromo, indicara el número de átomos de flúor de su molécula. A la izquierda de la anterior se indicará con otra cifra el número de átomos de hidrogeno de su molécula más uno. A la izquierda de la anterior se indicará con otra cifra el número de átomos de carbono de su molécula menos uno. Si resulta cero no se indicará. El resto de los enlaces se complementarán con átomos de cloro.

Si la molécula contiene átomos de bromo, se procede según lo indicado anteriormente, añadiendo luego a la derecha una B mayúscula, seguida del número de dichos átomos.

Los derivados cíclicos se expresarán según la regla general, encabezándolos con una C mayúscula a la izquierda del número refrigerante.

Los compuestos no saturados seguirán las reglas anteriores, anteponiendo el número 1 como cuarta cifra, contada desde la derecha.

Los azeótropos se expresarán mediante las denominaciones de sus componentes, intercalando, entre paréntesis, el porcentaje en peso correspondiente a cada uno. Los azeótropos también pueden designarse por un número de la serie 500 completamente arbitrario.

Los números de identificación de los refrigerantes de los compuestos inorgánicos se obtienen añadiendo a 700 los pesos moleculares de los compuestos (Machado 2021) .

Clasificación de los refrigerantes.

Los refrigerantes también se clasifican atendiendo a sus compuestos, seguidamente se describen las clasificaciones más importantes y otros aspectos de interés de cada grupo.

CFC: (Cloro, Flúor, Carbono): totalmente halogenado, no contiene hidrógeno en su fórmula química y por lo tanto es muy estable, esta estabilidad hace que la cantidad de refrigerante que sale al ambiente permanezca durante largo tiempo en la atmósfera afectando seriamente la capa de ozono y es además una de las causas del efecto invernadero. Como ejemplos de estos

refrigerantes se pueden citar al R-11, R-12, R-115, etc. Está prohibida su fabricación desde 1995.

HCFC: (Hidrógeno, Carbono, Flúor, Cloro), presenta en su estructura átomos de hidrógeno. La presencia de Hidrógeno le confiere menos estabilidad, en consecuencia, se descompondrá en la parte inferior de la atmósfera y no llegará a la estratosfera. Posee un potencial reducido de destrucción de la capa de ozono. Su desaparición está prevista para el año 2030. Se destaca en este grupo al R22 por su amplio uso.

HFC: Hidrógeno; Flúor; Carbono, es un Fluoro carbono sin cloro con átomos de hidrógeno sin potencial destructor del ozono dado que no contiene cloro. - R- 134a; 141b-, sin embargo, al contener flúor no se considera sostenible ya que puede en determinadas condiciones atmosféricas producir lluvias ácidas.

MEZCLA AZEOTRÓPICA: Es una mezcla líquida de dos o más compuestos químicos que a una presión determinada ebulen a temperatura constante y se comportan como si estuviesen formadas por un solo componente. Cambian de fase a temperatura constante, ejemplo la serie de refrigerantes de la serie R500.

MEZCLAS AZEOTRÓPICA: Se llama así a las mezclas formadas por dos o más componentes (refrigerantes puros) de diferente volatilidad. Cuando estas mezclas se evaporan o se condensan en un sistema de refrigeración, su composición y su temperatura de saturación cambian. Presentan deslizamiento o corrimiento de la temperatura, de modo que no ebulen a temperatura constante a una presión determinada, ejemplo la serie de refrigerantes R400.

EL AMONIACO R717 (NH₃), excelente refrigerante, sus inconvenientes son su elevada toxicidad y no es compatible con el cobre, necesariamente la construcción de los componentes tiene que ser de acero. Es un magnífico refrigerante para instalaciones de refrigeración industrial.

Los hidrocarburos, propano (R290), isobutano (R600a), butano (R600) y sus mezclas; su problema es su alta inflamabilidad, pero constituyen una alternativa excelente de uso mundial actualmente en equipos de climatización

y refrigeración domésticos. Son Incoloros, no son tóxicos, pero si anestésicos; no son corrosivos; son miscibles en aceites.

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.

EL CO₂ (R744): fue muy usado en las primeras aplicaciones de la refrigeración, opera con elevadas presiones de condensación. Dióxido de carbono: Su uso requiere de equipos muy pesados en virtud de la excesiva presión que se requiere, por lo que pueden resultar costosos; Es inodoros; Incoloro; difícil de detectar fugas; No es tóxico, sin embargo, en grandes concentraciones causa muerte por sofocamiento. No es inflamable; es químicamente estable.

CLOSOS FLUORADOS (CFCS): No son tóxicos; no son irritantes; no son inflamables; en condiciones normales no son corrosivos; son incoloros; inodoros; son químicamente estables; no afectan a los lubricantes ni son afectados ellos, aunque sean más o menos miscibles; mientras mayor sea el número de hidrógenos, más inflamables serán; poseen buenas cualidades térmicas. Son agresivos por excelencia de la capa de ozono (Miranda 2019).

2.13. Refrigerante R22.

El refrigerante R22 es un hidroclorofluorocarbono (HCFC) ampliamente usado en todos los sectores de la refrigeración y climatización, este refrigerante tiene un bajo valor de ODP (Potencial de destrucción de ozono) y unas excelentes propiedades termodinámicas que hacen que el mismo sea idóneo para aplicaciones de alta y media temperatura en instalaciones fijas, transporte refrigerado y aire acondicionado. El R22 está regulado por el Protocolo de Montreal y se eliminará por completo en el 2030. Actualmente ya existen sustitutos directos del R22 como son el R417A, R422A y R422D. Debido a sus excelentes propiedades termodinámicas el R22 se utiliza como componente en mezclas de refrigerantes como el R403B, el D136, D144, etc., para aplicaciones de media y baja temperatura.

Compatibilidad con los materiales.

El R22 es un refrigerante muy estable y se puede utilizar con la mayoría de los materiales usados normalmente en la refrigeración: sin embargo, se deben evitar metales como magnesio, zinc, y aleaciones de aluminio con contenidos de magnesio superiores al 2%. El R22 es compatible con la mayoría de plastómeros y elastómeros, pero normalmente su comportamiento con estos materiales dependerá también de la temperatura de trabajo y del tipo de aceite utilizado. Como norma general la compatibilidad del R22 con el Neopreno, la Goma Butílica es buena; entre los plastómeros, el PVC y el Nylon son los más recomendables para utilizar con R22. El R22 es miscible con los aceites minerales, alquilbencénicos y poliolésteres (Insignia. 2018, Junio 30).

Toxicidad y almacenamiento

El R22 es una sustancia con muy poca toxicidad, los envases de este refrigerante deben almacenarse en lugares frescos, secos y ventilados alejados de fuentes de calor. En caso de fuga de R22 los vapores son más pesados que el aire y se acumularán a nivel del suelo (Plusfroid 2006).

2.14. Hidrocarburos Refrigerantes.

Una alternativa para reemplazar refrigerantes halogenados es el uso de refrigerantes naturales, como los hidrocarburos los cuales son económicos y pueden cubrir casi todas las aplicaciones de refrigeración existentes. Además, tienen cero ODP y un GWP (Potencial de calentamiento) muy bajo. Más que eso, los hidrocarburos no solo son buenos para el medio ambiente, sino que también transfieren calor más eficientemente que los refrigerantes halogenados.

. Los hidrocarburos se pueden utilizar como; componentes individuales puros, mezclas de diferentes hidrocarburos y mezclas con refrigerantes halogenados -mezclas de HC/HFC. Los principales inconvenientes de estas sustancias son su potencial inflamabilidad y otros riesgos de seguridad. Sin embargo, tales inconvenientes pueden ignorarse para una carga mínima de refrigerante, mientras que las precauciones de seguridad se consideran e instalan en equipos de refrigeración de gran volumen. Varios escenarios de sustitución de hidrocarburos están disponibles en la literatura. El primero es el drop-in, donde

el refrigerante original se retira del sistema y se reemplaza por otro refrigerante alternativo. A veces, el proceso ocurre con algunas modificaciones menores en la configuración de control del equipo. El segundo es el reacondicionamiento, donde el refrigerante original se reemplaza con un refrigerante alternativo, a menudo acompañado de cambios de aceite y materiales debido a la compatibilidad. En ambos escenarios, es posible que no se logre el mismo rendimiento del sistema original debido a las características del compresor y los intercambiadores, excepto si los dos refrigerantes tienen propiedades similares (Harby 2017).

2.15. Propano (R290).

El propano o R290, es un hidrocarburo que se utiliza en algunos equipos de refrigeración, como bombas de calor, equipos de refrigeración comercial, etc. 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.(Grzebielec, Rusowicz et al. 2021).

También ocurre a veces, que, si el hidrocarburo no es de alta pureza, pueden ir mezclados con él otros hidrocarburos, pudiendo variar drásticamente las propiedades físicas y termodinámicas del hidrocarburo original. El propano que se utiliza en aplicaciones de refrigeración, no está olorizado como los de uso doméstico, el hidrocarburo doméstico para combustible, se oloriza para que sea rápidamente detectable en caso de fuga.

El R290, como el resto de los hidrocarburos refrigerantes es inflamable, por ello se recomienda la manipulación y uso del mismo cumpliendo las normas de seguridad que en lo fundamental van dirigidas a evitar la presencia al mismo tiempo de los elementos que conforman el triángulo de la combustión –el elemento combustible, el oxígeno y la fuente de ignición-. La tabla 2.1 muestra los valores del límite de inflamabilidad del R290 en peso y en % de volumen.

Tabla 2.1 Límite inferior de Inflamabilidad del propano.

Refrigerante R290 (propano)	Límite de inflamabilidad		Temperatura de auto ignición (°C)
	En volumen (%)	Peso (g/m ³)	
Inferior	2,1	38	470
Superior	9,5	177	470

2.16. Compatibilidad con los lubricantes.

El propano, y los demás hidrocarburos refrigerantes, tienen en general muy buena miscibilidad con cualquier tipo de lubricante. Debido a la buena solubilidad que existe entre los aceites minerales y estos refrigerantes, hay sistemas donde puede ser necesario utilizar aceites de mayor viscosidad para compensar ese exceso de solubilidad. La tabla 2.2, ilustra algunas características de lubricantes compatibles con R290.

Los lubricantes que contienen silicona o silicatos no son recomendables. En cualquier caso, se recomienda que utilicen los lubricantes recomendados por el fabricante del compresor.

Tabla 2.2: Aceites compatibles con R22.(Gas servei 2022).

LUBRICANTE	COMPATIBILIDAD
MINERAL (M)	Compatible con refrigerantes de tipo hidrocarburos. Presentan excesiva solubilidad en aplicaciones de alta temperatura. Se puede compensar esta situación utilizando minerales de mayor viscosidad.
ALQUIBENCENICOS (AB)	Totalmente compatible.
SEMISINTETICOS (M + AB)	La mezcla de aceite mineral y alquibencénico es la más apropiada para trabajar con este tipo de refrigerantes.
POLIOLÉSTER (POE)	Demasiada solubilidad con los hidrocarburos. Puede requerir utilizar POE de mayores viscosidades.
POLIALQUILENGLICOLES (PAG)	Solubles, dependiendo de las condiciones de trabajo.
POLIALFAOLEFINAS (PAO)	Solubles, recomendado para aplicaciones de baja temperatura.

2.17. Normas de seguridad.

Al igual que con otros gases refrigerantes, el manejo de envases de R290 exige el cumplimiento de un conjunto de reglas para mantener a salvo a las personas y evitar cualquier tipo de accidentes, por lo que debe verificar los siguientes puntos en caso de una fuga:

- Cerrar válvulas de paso del gas
- Verificar que no haya llamas ni chispas
- No encender las luces, ni utilizar aparatos electrónicos como celulares, teléfonos convencionales, etcétera
- Abandonar el área de inmediato y asegurarse de que nadie se mantenga en el lugar
- Dar aviso de fuga para que otras personas se pongan a salvo
- Facilitar la ventilación cruzada.
- Revisar el sistema para asegurarte de que no haya fugas.

2.18. Equipos de protección personal.

En algunos países se establecen normas que regulan el límite permisible de exposición en una jornada promedio de trabajo de ocho horas a 1000 ppm (1800 mg/m³) para el gas propano (Dahané 2011 noviembre 25). Considerando estas propiedades se recomiendan las siguientes medidas de protección:

- Protección respiratoria: para concentraciones menores al TLV (Threshold Limit Value- Valores límite de umbral) es recomendable utilizar un respirador de media cara con filtro para vapores orgánicos (debido al contenido de mercaptano que se usa como odorante). Para concentraciones superiores, en cambio, utilizar un respirador con línea de aire o equipo auto contenido, ya que no existe un filtro capaz de capturar propano.

- Ropa protectora: utilizar materiales que no produzcan cargas electrostáticas, por ejemplo, en polipropileno antiestático, algodón o cualquier otra fibra natural
- Protección visual: aunque el propano no produce efectos sobre los ojos es recomendable usar mono gafas o gafas de seguridad, debido a posibles irritaciones a causa del mercaptano
- Guantes: no necesarios cuando no se manipula propano líquido.

Capítulo 3: Instalación experimental para la evaluación del aire acondicionado.

3.1. Instalación experimental y criterios para la reconversión del aire acondicionado.

En este capítulo se muestran los aspectos fundamentales de la instalación experimental. En él se relacionan las características del equipo, cantidad de refrigerante, capacidad de refrigeración, parámetros eléctricos y los instrumentos utilizados para las mediciones, además se aportan las características del local para la evaluación del equipo.

3.2. Reconversiones realizadas de HCFC-22 a Hidrocarburos.

El propano es una alternativa muy conveniente para la refrigeración y el aire acondicionado, ya que es amigable con el medioambiente. No sólo ofrece una gran reducción de las emisiones directas, sino que también aumenta la EER y reduce las emisiones indirectas, lo que es un paso importante para sustituir y lograr la eliminación gradual de los HCFC.

En Asia países como China, Indonesia, Singapur, Malasia, Tailandia, Filipinas, Japón, Taiwán, India y Sri Lanka llevan la vanguardia en la reconversión de los refrigerantes perjudiciales para la capa de ozono (Colbourne 2015).

En la India, a partir de 2013 el R290 se establece como uno de los refrigerantes más importantes para utilizar en equipos de aire acondicionado. En dicho país se ha instaurado una nueva línea de producción de equipos de aire acondicionado que operan con el propano como refrigerante. Diseñado con base en las normas de seguridad europeas e internacionales, el R290 aporta mayor EER con un 23% menos de consumo, que otros equipos que operan en el país con R22 (Ruiz Cortines 2014).

Por otro lado, China, desde 2006 ha investigado sobre el R290 y, desde julio de 2011, se inició la producción de equipos de aire acondicionado que utilizan propano. Este equipo proporciona un 10 % de aumento en la EER y un menor costo en comparación con el R-410A (Ruiz Cortines 2014).

Malasia también se fijó como objetivo una reducción del 10% en el consumo de los HCFC a partir del 2016 con la prohibición del uso de R22 en los equipos de aire acondicionado y refrigeración de 7,03 kW o menos. En su lugar, se introduce el HFC 410A y los hidrocarburos (Koha, Zakaria et al. 2017).

En Europa, Alemania y Gran Bretaña entre otros países, han desarrollado la tecnología de hidrocarburos en equipos de climatización. En el continente africano, Sur África es el país con mayores resultados en la reconversión de R22 a R290. Todos estos países reportan ahorros energéticos entre un 10 y un 30 %. Para la reconversión del R22 a R290 solo es necesario cambiar el refrigerante, y el lubricante en caso que el fabricante del compresor lo especifique.

En el 2012 el Sr. Daniel Colbourne experto y consultante del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), fue contratado por Cuba para examinar la empresa FRIOCLIMA fundada en 1992, que diseña, produce y comercializa equipos de refrigeración y climatización con R22 para la reconversión a R290, el cual puede producirse nacionalmente. Las modificaciones requeridas son mínimas, y van dirigidas a medidas de seguridad.

Muchos investigadores y técnicos de diferentes partes del mundo han desarrollado investigaciones relacionadas con reconversiones a R290, para determinar el desempeño del sistema de refrigeración y climatización.

3.3. Resultados de reconversión para bajas temperaturas.

Por debajo de -30°C (Jürgensen 2016) estudió aparatos refrigerados comerciales y encontró que la EER y la fiabilidad del aparato que utiliza R290 es equivalente o mejor que la del equipo que utiliza R22.

(Saleh and Wendland 2016) Simularon el rendimiento de un sistema de refrigeración por compresión de vapor para temperatura de evaporación de -40°C y temperatura de condensación de 30°C trabajando con propano y propileno. Los resultados mostraron que el propano y el propileno son una alternativa adecuada para el R22.

3.4. Comparación de rendimiento.

En su estudio , (Shrivastava and Chandrakishor 2016) evaluaron experimentalmente las propiedades termo físicas y el rendimiento teórico del R22 y R290. El estudio mostró que el propano es mejor, tiene calor específico y conductividad térmica mayor, y valores de viscosidad y densidad más bajos. El rendimiento teórico del ciclo de ambos refrigerantes para el rango de temperatura variable de -30°C a 15°C muestra que el R290 es un refrigerante alternativo prometedor al R22.

(Copetti, Macagnan et al. 2015), analizaron teóricamente el rendimiento del propano y el isobutano en un sistema de refrigeración de 1kW para temperatura de evaporación entre -20°C y 10°C y temperatura del condensador de 40°C. Concluyeron que el hidrocarburo que presenta mejor rendimiento para sustituir al R22, en el rango de temperaturas analizadas, es el R-600a. El R290 presenta para el mismo rango de temperatura un rendimiento ligeramente inferior. En la figura 3.1 muestra la variación del COP (Coefficient of performance) con la temperatura de evaporación para R- 290 y R22 (Boumaza 2010), obtuvo características similares entre ambos refrigerantes. La figura 3.2 muestra el COP y la capacidad de refrigeración volumétrica (VRC) del R290 y otros refrigerantes alternativos en relación con el R22 (Saleh and Wendland 2016).

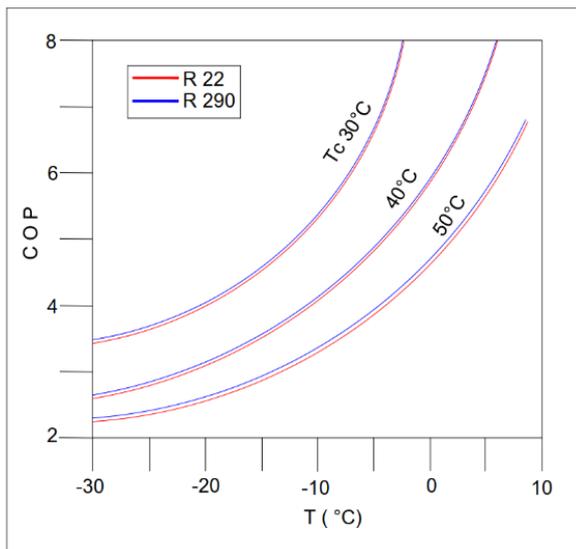


Figura 3.1 Variación del COP (Coefficient of performance/ Coeficiente de rendimiento) con la temperatura de evaporación y condensación

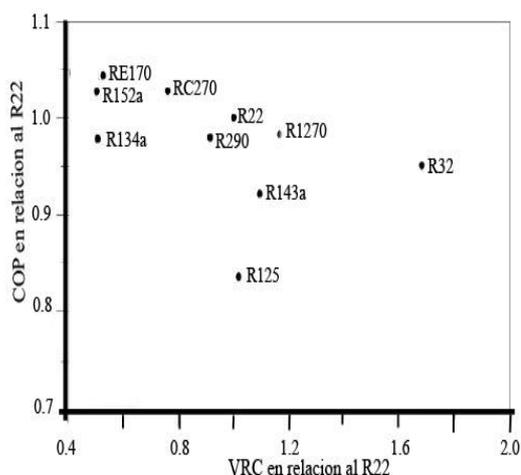


Figura 3.2: COP y VRC de refrigerantes alternativos en relación con el R22.

En un trabajo relacionado con el anterior, (Park and Jung 2018) probaron el rendimiento de R290 y R-1270 en un banco de pruebas de bombas de calor de 3,5 kW y sus resultados concluyeron que los COP de R290 y R-1270 son hasta 12% más altos que los de R22. Estos hidrocarburos proporcionan un buen rendimiento con un ahorro de energía razonable sin ningún problema ambiental.

En el trabajo de ferrat y colaboradores comparan experimentalmente el rendimiento del R22 y de la mezcla de gas licuado de petróleo con 30 % de R290 y 70 % de R-600 en peso, en un split. Sus resultados mostraron que, aunque los sistemas que utilizaban mezcla de gas licuado de petróleo, tenían un COP más bajo y una capacidad menor que los que utilizaban R22, los primeros tenían las ventajas de mayor efecto de refrigeración, menor tasa de flujo másico, menor consumo de energía y menor temperatura en la descarga del compresor. (Farraj, Mallouh et al. 2012),

En una investigación desarrollado por Ajayi y otros estudian el ahorro de energía de los refrigerantes R22 y el R290 en un sistema de aire acondicionado doméstico los resultados mostraron que el R22 funcionó mejor que el R290 en términos de COP y de capacidad de refrigeración, mientras que el R290 tuvo mejor comportamiento por disminución de consumo de

energía y otras variables de rendimiento termodinámico(Ajayi, Okolo et al. 2019),.

El rendimiento teórico y experimental de un acondicionador de aire de tipo split de 2 TR(Toneladas de refrigeración), se evaluó con los refrigerantes R290, R-407C y R-410A por (Al Joudi and Al Amir 2014, Koh, Zakaria et al. 2017, Kalla, Arora et al. 2018). El HFC más popular para aire acondicionado, el R-410A, tiene una temperatura crítica más baja, lo que restringe su uso en sistemas de compresión que trabajan a temperaturas de condensación altas, para el R-407C se requiere un cambio en el lubricante sintético, mientras que el rendimiento del HC-290 es muy similar al del R22 y los problemas de inflamabilidad pueden superarse con el uso de un diseño eficaz.

3.5. Mezclas de refrigerantes.

En trabajos similares (K 2017, Elumalai, Vijayan et al. 2018), trataron el estudio experimental del sistema de aire acondicionado trabajando con una nueva alternativa para el R22 con vistas a reducir el efecto de calentamiento global. Las investigaciones se refieren a mezclas de refrigerantes con diferentes composiciones de masa de R-152a/R290/R-600. De las investigaciones, se encontró que la mezcla con R-152a-10% / R290-10%/ R-600 - 80% da un COP 5.27% más alto y un consumo de energía 5.22% más bajo que el del R22. Los resultados mostraron que, a pesar de sus características altamente inflamables, los hidrocarburos pueden ofrecer alternativas adecuadas a los refrigerantes halogenados desde el punto de vista del impacto ambiental, la eficiencia energética, el COP, la masa del refrigerante y las temperaturas de descarga del compresor.

En este artículo de Raiyan y colaboradores, investigan el rendimiento mecánico y la energía de un sistema de aire acondicionado tipo Split de una tonelada utilizando la mezcla del R22 y R290 en diferentes proporciones. Se prepararon dos mezclas de R22 y R290 denotadas como X6 y X7. Utilizando datos obtenidos experimentalmente, se calcularon el consumo de energía y el COP para las dos mezclas de refrigerante. Se concluyó que, durante el mismo período de observación, la mezcla X6 y X7 consumió menos energía eléctrica que el R22. Además, también se encontró que el COP es más alto para X6 y

X7 que para el R22. Finalmente, se calculó la destrucción total de exergía en todos los componentes para diferentes refrigerantes y se realizó un análisis comparativo (Raiyan, Ahamed et al. 2017).

3.6. Capacidad de enfriamiento.

Lampugnani y Zgliczynski investigaron el R290 como una alternativa para el R22 para aire acondicionado 1,8 kW y 3,5 kW de capacidad. Sus resultados revelaron que los compresores herméticos, diseñados para R22, cuando funcionan con propano muestran un gran beneficio en términos de fiabilidad general, debido a las menores cargas de los cojinetes y al menor nivel térmico (Lampugnani and Zgliczynski 2016)

En la India Investigaron experimentalmente el rendimiento con propano como alternativa al R22 en un acondicionador de aire de ventana de 5,13 kW a una temperatura de evaporación de 7,4°C y una temperatura de condensación de 35°C. Sus resultados mostraron que la capacidad de enfriamiento del R290 disminuye en un rango de 6,6 a 9,7%, mientras el consumo de energía disminuye en el rango de 12,4 a 13,5%. Las presiones de descarga del propano fueron menores en el rango 13,7-18,2%. (Devotta, Padalkar et al. 2015).

Los hidrocarburos, R290, R1270 y una mezcla de R290/R1270 de 15/85 % de peso se utilizan como refrigerante sustituto del R22 según (Sayed, El Morsi et al. 2017). El sistema de refrigeración consiste en un simple ciclo de refrigeración de expansión directa con un compresor adiabático con una eficiencia isoentrópica del 85%. La carga de refrigeración sugerida es de 1 kW. Se comparan las propiedades termodinámicas de todos los refrigerantes. Los hidrocarburos mostraron una capacidad específica de enfriamiento que es 68%-77% mayor que la del R22 con una tasa de flujo másico de refrigerante 39.7%-43.5% menor.

En un split (Tanaka, Fajar et al. 2018) evaluaron la capacidad de refrigeración, la masa de flujo, la energía consumida y el COP tanto del R22 como del sustituto propano. El experimento dio como resultado para la misma capacidad del compresor, la capacidad de refrigeración del R22 sigue siendo mayor que la del R290, el caudal de R290 es menor que el de R22, además

el consumo de energía de R290 es menor que el de R22 y el valor del COP del R290 es mayor que el de R22.

Consumo Energético.

En la tesis de maestría de (Rosillo Corrales 2011) defendida en el Centro de Energía y Refrigeración de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Oriente, Cuba, se demostró que con la reconversión de un aire acondicionado del R22 a R290, se logró disminuir el consumo energético, entre un 7% y un 10% con relación al R22. Además, la temperatura mínima alcanzada en el local con R22 fue de 17 °C y con R290 osciló entre 18 y 19 °C, respectivamente, lo cual muestra que se puede ahorrar energía sin alterar significativamente las condiciones de confort para el ser humano.

En la tesis de maestría (Hernández Rodríguez 2012) también realizada en el Centro de Energía y refrigeración de la Universidad de Oriente se instrumenta una instalación de aire acondicionado tipo split de 3.5 kW de potencia frigorífica y evalúa la misma con R22 y con R290 en condiciones climáticas de los meses Marzo-Abril en Santiago de Cuba. Se miden, se tabulan y grafican los valores de presión, temperatura, potencia, consumo de energía, humedad relativa y se realiza un análisis pormenorizado antes y después de la reconversión, confirmándose la disminución de la presión de condensación alrededor de 4 a 6 %, disminución de la potencia demandada entre un 6 a un 10 %, disminución del consumo de energía registrado entre 8 a 13 %, aumento de la EER en un 2 %.

Cambios en los componentes del sistema.

En un estudio (Chinnaraj, Govindarajan et al. 2011) experimentaron con el R22, el R-407C y el R290 en un acondicionador de aire de ventana de 3,5 kW usando una VEE (Válvula de expansión electrónica). Se demostró que la válvula de expansión electrónica tiene un buen rendimiento general comparando el sistema de tubos capilares. El coeficiente de rendimiento del R290 es el máximo entre los tres refrigerantes probados.

Padalkar y Mali estudiaron experimentalmente el rendimiento y la inflamabilidad del R290 en acondicionadores de aire tipo Split con

capacidades nominales de refrigeración de hasta 5,1 kW. Sus resultados concluyeron que, con el condensador de flujo paralelo, el HC-290 una EER más alta de 3,7, que es 37% más elevada que la del HCFC-22. La carga más baja del HC-290 utilizada en la prueba fue de 340 g, que está muy por debajo del límite inferior de inflamabilidad (Padalkar, Mali et al. 2014).

Basado en el índice TEWI.

Basado en la variación del índice **TEWI (Total environment warn impact/Impacto de advertencia de medio ambiente total)**, (Sarbu 2014) agrupó los posibles sustitutos del refrigerante R22 en tres categorías: a) con desviaciones del 2% (R417A, R407C, R427A, y R424A); b) con desviaciones del 30-45% (R134A, R410A, R290, R-600A, y R-152A); y c) con desviaciones del 50-70% (R507, R404A, R428A, y R422A). En el caso de los sustitutos que participan en los grupos b) y c), no se recomienda su uso porque la instalación funcionará con una disminución significativa de la potencia de refrigeración. El uso de tales sustitutos sólo es posible si se realizan algunos cambios en los componentes de la instalación.

Carga de Refrigerante.

Existen varios criterios para cargar el sistema con R290 o cualquier otro hidrocarburo, ya que la cantidad de refrigerante cargado en el sistema afecta su funcionamiento, si la cantidad de refrigerante es demasiado o muy poca la capacidad del sistema será más baja de lo esperado y el consumo de energía puede ser más alto. Para determinar dicha cantidad la literatura muestra cierta divergencia en cuanto a este aspecto. (Suwono 2008), se basa en que como la densidad del R290 es 41% aproximadamente del R22, la carga para un sistema de R22 con propano será poco menor de la mitad de la de R22. (Saravanan, Murugan et al. 2017), plantea que el R290 es una sustancia inflamable y por lo tanto, su carga debe reducirse en el sistema a un 48-50% de la de carga original con HCFC-22. (Colbourne and Huhren 2011) refiere que la nueva carga debe ser entre 40 o 50 % de la carga original.

Criterios de seguridad para todos los refrigerantes antes de reconvertir.

Para realizar una correcta reconversión se debe cumplir una serie de medidas puesto que todos los refrigerantes acarrear implicaciones de seguridad, se debe conocer los términos:

- ✘ *Asfixia*, en los casos en los que el desplazamiento de oxígeno provoca ahogamiento.
- ✘ *Quemadura por congelamiento*, en los casos en que el refrigerante frío provoca congelación al entrar en contacto con la piel.
- ✘ *Toxicidad aguda*, anestesia, sensibilización cardíaca crónica y daño hepático.
- ✘ *Inflamabilidad y explosión*, cuando coexisten el refrigerante inflamable, oxígeno suficiente y fuente de ignición.
- ✘ *Escape*, caso en el que puede producirse una onda, consecuencia de un escape rápido de gas.

Como se observa en la figura 3.3 , los riesgos asociados a los refrigerantes pueden considerarse en términos de sus consecuencias primarias y secundarias, según (Colbourne 2015). En esencia, tras un escape de refrigerante lo más probable es que se desencadene una secuencia de hechos que en última instancia se traduzca en lesiones personales y daños materiales.

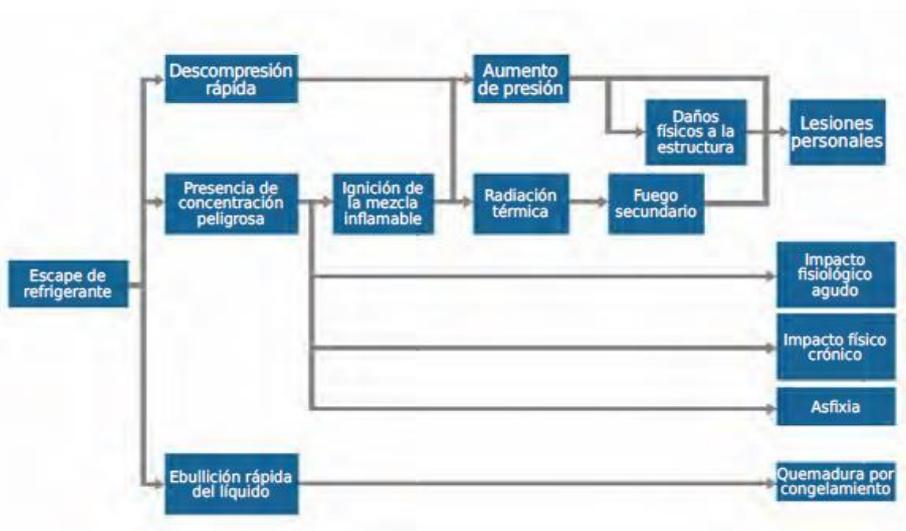


Figura 3.3: visión general de diversos riesgos que implica el escape de refrigerante.

Las consecuencias podrán ser muy variadas según el tipo de sustancia, las condiciones y el entorno donde se produzca el escape, es por esto que la seguridad es motivo de preocupación para la aplicación de cualquier refrigerante.

El uso de los HC refrigerantes plantea un peligro adicional, la inflamabilidad. Para utilizar HC refrigerantes que no ofrezcan este riesgo, es esencial prestar atención a la inflamabilidad, los peligros y los medios correspondientes para lograr un nivel adecuado de seguridad, según (Crincoli Rondón 2014).

Carga máxima y permisible de los HC.

Para determinar las limitaciones de carga de refrigerante en un sistema dado y sobre todo la carga máxima y permisible de un HC, se deben tener en cuenta la clasificación del mismo en base a cuatro aspectos, según versión actual de la (Norma EN 378 2017)

Referido al refrigerante:

1. Categoría de toxicidad del refrigerante.
2. Categoría de inflamabilidad del refrigerante.

Referido a la instalación:

3. Tipo de emplazamiento.
4. Clasificación del local donde se instalan los equipos.

Clasificación de los sistemas de refrigeración.

En primer lugar, los sistemas de refrigeración se clasifican de acuerdo con el método de extracción de calor, el enfriamiento, o cesión de calor, el calentamiento a la atmósfera o al medio a tratar, pudiendo ser:

Sistemas directos: cuando el evaporador o el condensador del sistema de refrigeración está en contacto con el medio que se enfría o se calienta.

Sistemas indirectos: cuando el evaporador o el condensador del sistema de refrigeración, situado fuera del local en donde se extrae o cede calor al medio a tratar, enfría o calienta un fluido secundario que se hace circular a través de

unos intercambiadores de calor, sin contacto directo del fluido secundario con el medio a enfriar o calentar.

Clasificación de seguridad de los sistemas de refrigeración.

A la mayoría de los refrigerantes se les asigna una clasificación de seguridad, que está en función de la toxicidad e inflamabilidad. El sistema de clasificación que se ha adoptado mundialmente es el estandarizado por el (Estándar 34 de ASHRAE 2010).

La clasificación de la toxicidad se basa en qué tanta toxicidad se ha identificado en concentraciones menores a 400 ppm, tomando en cuenta los datos utilizados para determinar el valor límite umbral (TLV), menos la concentración promedio en peso (TWA).

La toxicidad se clasifica en:

Clase A: Refrigerantes cuya TWA no tiene efecto adverso para la mayoría de los trabajadores al exponerse un día de labor de 8 horas y 40 horas a la semana cuando su valor es igual o por encima de 400 ml/m³ (400 ppm),(ppm(partículas por millón))

Clase B: Refrigerantes cuya **TWA (Time-Weighted Average/ Promedio ponderado en el tiempo)** no tiene efecto adverso para la mayoría de los trabajadores al exponerse un día de labor de 8 horas y 40 horas a la semana cuando su valor está por debajo de 400 ml/m³ (400 ppm).

La clasificación de la inflamabilidad depende de que las sustancias puedan o no encenderse en experimentos, y si es así, se debe conocer el LII (Límite inferior de inflamabilidad) y el calor de la combustión.

Hay tres clases de inflamabilidad (con un nuevo subgrupo en la clase 2):

Clase 1: son aquellos refrigerantes que no muestran propagación de la llama cuando se probó en el aire a 60 °C y a presión atmosférica normal (101,3 kPa).

Clase 2: en esta clasificación se encuentran los refrigerantes que presentan propagación de la llama cuando se analizaron a 60 °C y a presión atmosférica normal, pero tienen un LII superior a 3,5% en volumen, y un calor de combustión de menos de 19.000 kJ/kg.

Clase 2L: esta nueva clasificación de seguridad 2L, ha sido añadida a la Norma 34 de la (Estándar 34 de ASHRAE 2010). Los refrigerantes de esta clase cumplen con los requerimientos de la Clase 2 antes mencionadas y además ellos tienen una velocidad de combustión menor o igual a 10 cm/s. Estos refrigerantes son difíciles para ignición y forman una llama inestable que son fáciles de extinguir

Clase 3: contiene a los refrigerantes que también presentan la propagación de llama en las pruebas a 60°C y a presión atmosférica, pero tienen un LII igual o inferior a 3,5% en volumen, o tiene un calor de combustión igual o superior a 19.000 kJ/kg.

Una visión general de la clasificación de los grupos de seguridad de los refrigerantes se muestra en la figura 3.4, según (Ruiz Cortines 2014).

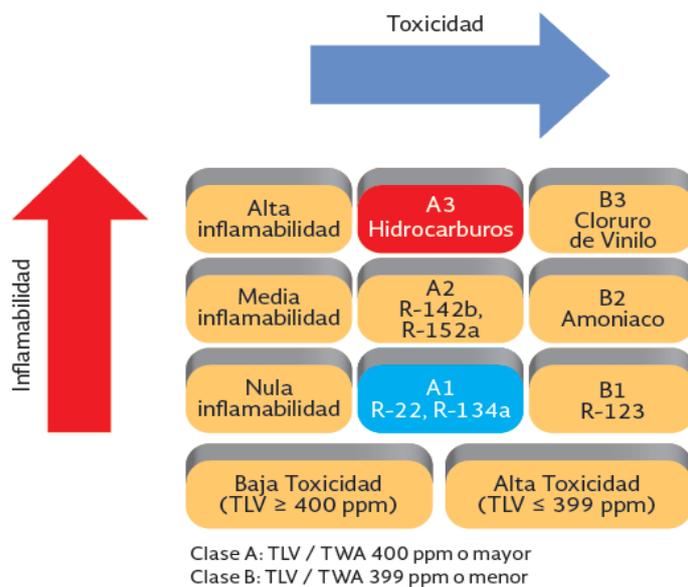


Figura 3.4: clasificación de seguridad de los refrigerantes.

Dado que los HC refrigerantes más comunes (R290, R600, R1270) tienen un (TLV / TWA) de 1000 ppm o más (dependiendo de la fuente de información), tienen una clasificación de Clase A de toxicidad. Sin embargo, estos refrigerantes no presentan propagación de la llama bajo condiciones atmosféricas normales, y el LII es un 2 % del calor de la combustión, que es alrededor de 50.000 kJ/kg. Así que la clasificación de inflamabilidad es de Clase 3.

Para provocar una llama deben existir tres elementos: aire suficiente, combustible en la concentración adecuada y una fuente de ignición. La forma más ilustrativa es el triángulo de la combustión como se muestra en la figura 3.5. Cuando falta uno de los elementos no puede ocurrir la combustión, se rompe el triángulo.

Para encender la mezcla aire/hidrocarburo, la fuente de ignición debe poseer una temperatura superior a 460°C, según (Colbourne 2013). Para el caso de las instalaciones de climatización se puede disminuir la probabilidad de la presencia de chispa y combustible, según (Norma EN 378 2017).

Figura 3.5: triángulo de la combustión.



Además, hay otra medida para la aplicación de los refrigerantes, llamada la concentración practica límite (PL o Praticce limit). Esto representa el nivel más alto en las concentraciones de un espacio ocupado, que no dé lugar a un incidente de escape. Por lo tanto, es principalmente, la más baja "peligrosa" concentración de un refrigerante, con un factor de seguridad aplicable. La estimación de PL se basa en las normas siguientes:

1. Límite de exposición para la toxicidad aguda (ATEL); máxima concentración de refrigerante recomendada destinada a reducir los riesgos de una peligrosa intoxicación aguda de las personas en caso de fuga de refrigerante.
2. Límite de privación de oxígeno (ODL); Concentración de refrigerante que provoca un desplazamiento del oxígeno del ambiente, ocasionando por tanto una insuficiencia para la respiración normal.

3. 20% del límite inferior de inflamabilidad.

Dado que, para los HC refrigerantes, el 20% del LII representa la concentración más baja, esta es la característica para determinar el PL. El PL se expresa normalmente en términos de masa por unidad volumen, y para los HC refrigerantes más comunes se aproxima a 0.008 kg/m^3 , u 8 g/m^3 . En la tabla 3.1, se observan las características de inflamabilidad de algunos hidrocarburos. En consecuencia, la cantidad de HC refrigerante permitidos tienden a ser mucho menos que la mayoría de los CFC, los HCFC y los HFC, según (Colbourne 2013).

Tabla 3.1: Características de inflamabilidad de algunos HC.

Refrigerantes	Clasificación	Límite Inferior de Inflamabilidad		Limite práctico (kg/m3)	Temperatura de ignición (°C)
		En volumen (%)	En peso (kg/m3)		
R600A	A3	1.8	0.043	0.008	470
R290		2.1	0.038	0.008	460
R1270		2.5	0.043	0.008	455

La tipología de los sistemas de refrigeración en base a su emplazamiento puede ser:

Tipo 1: Todas las partes que contengan refrigerante (compresor, condensador, expansión, evaporador, etc.) estén situadas en un espacio ocupado por las personas.

Tipo 2: Compresores, recipientes y condensadores que están a presión, están situados en salas de máquinas no ocupadas por las personas o al aire libre. En este tipo los enfriadores, tuberías y las válvulas pueden ocupar los espacios ocupados por las personas.

Tipo 3: Todas las partes que contengan refrigerante estén situados en una sala de máquinas no ocupada por personas o al aire libre.

Tipo 4: Todas las partes que contienen refrigerante están situadas en el interior de una envolvente ventilada.

Atendiendo a los criterios de seguridad, los locales en los que se ubican las instalaciones frigoríficas se pueden clasificar en 3 categorías, atendiendo a su accesibilidad:

Categoría A: Acceso general, no hay control del número de personas, los ocupantes pueden no conocer las precauciones de seguridad (viviendas, hoteles, hospitales, residencias, pública concurrencia, etc.).

Categoría B: Acceso supervisado, aforo limitado y alguna de las personas conocen las precauciones de seguridad (oficinas, laboratorios, lugares de trabajo en general, etc.).

Categoría C: Acceso autorizado, solo tiene acceso, personas que conocen las precauciones de seguridad (centros de producción, industrias específicas, áreas restringidas de supermercados, etc.).

El anexo 1 muestra el límite de carga basada en la toxicidad del refrigerante y en el anexo 2 se observa el límite de carga para sistemas de refrigeración basados en la inflamabilidad según, (Norma EN 378 2017). Además, se emplean también unos factores tope a modo de límites, bien inferior, o bien superior de la carga admisible en un recinto. Existiendo 3 factores tope (m_1 , m_2 , y m_3).

Volumen de los locales.

Para el cálculo de las cantidades máximas de refrigerante se usará el volumen ocupado cerrado más pequeño.

El espacio en cuestión será todo local en el cual se ubique cualquier parte del sistema de refrigeración conteniendo refrigerante o al que pueda llegar el refrigerante en caso de fuga.

Para determinar la citada carga máxima también se podrá emplear como volumen de cálculo, el volumen total de todos los locales en donde se emplacen componentes del sistema frigorífico que contenga refrigerante, siempre y cuando se utilice aire para su calefacción y refrigeración, y que el caudal de aire de impulsión a cada uno de los locales sea en todo momento igual o superior al 25 % del nominal.

El estudio bibliográfico confirma que el R290 es uno de los refrigerantes más viables para la reconversión, aunque no el único en sistemas de aire acondicionado con R22, es un sustituto directo y es una solución factible, rápida y económica para eliminar sustancias agotadoras del ozono que requiere poco o ningún cambio del sistema original. Las reconversiones realizadas reportan ahorros de energía, en algunos casos el COP aumenta y en otros disminuye, mejora de la capacidad específica de enfriamiento y mantienen aproximadamente las condiciones para las que fue diseñado el sistema. La característica de ser un refrigerante inflamable queda minimizada debido a los criterios de seguridad que se han de tener en cuenta. Así como la carga máxima y permisible que tendrá el sistema reconvertido.

3.7. Indicadores utilizados para la comparación de los sistemas reconvertidos.

Para realizar la investigación es necesario establecer cuáles son los indicadores que permiten realizar una comparación sustancial antes y después de la reconversión. Usualmente estos indicadores son: cantidad en peso de refrigerante con la que se carga el sistema, capacidad frigorífica del sistema, potencia eléctrica demandada por el sistema y razón de eficiencia energética (Avella Campos 2011).

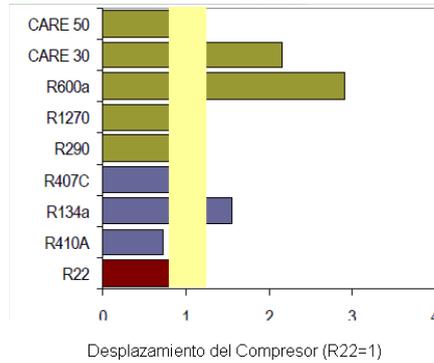
3.8. Criterios utilizados para la reconversión.

Ante de reconvertir un sistema es necesario un análisis detallado de dicha instalación. Se debe determinar si la instalación en cuestión es capaz de asimilar el nuevo refrigerante, los parámetros fundamentales que aprueban dicha reconversión son la naturaleza de los materiales con que están construida la instalación, los parámetros geométricos y dinámicos del compresor, compatibilidad del nuevo refrigerante con el aceite, rango de presiones en las que debe operar la nueva sustancia de trabajo para tratar de mantener los valores de los parámetros fundamentales de explotación incluidas las capacidades de transferencia de calor y masa de los equipos, el beneficio ecológico, económico y la sostenibilidad (Coulborne 2008).

En los sistemas que trabajan con R22 los materiales utilizados son compatibles con el R290 (Aryadi Suwono. "" .PDF. October 8 2008). En cuanto

a los parámetros geométricos y dinámicos del compresor se puede observar en la figura 3.6. el desplazamiento necesario del compresor para diferentes tipos de refrigerantes (Clemanda, Keedwell et al. 2009).

Figura 3.6: Desplazamiento necesario para diferentes refrigerantes.



De este gráfico se puede apreciar que el desplazamiento necesario para el R22 y el R290 es aproximadamente el mismo.

Generalmente el lubricante utilizado por los sistemas de climatización es aceite mineral, y el propano es compatible con estos tipos de aceites.

Las presiones a las que deberá trabajar el R290 para alcanzar las temperaturas de evaporación y condensación en la instalación reconvertida se puede observar en la figura 3.7.

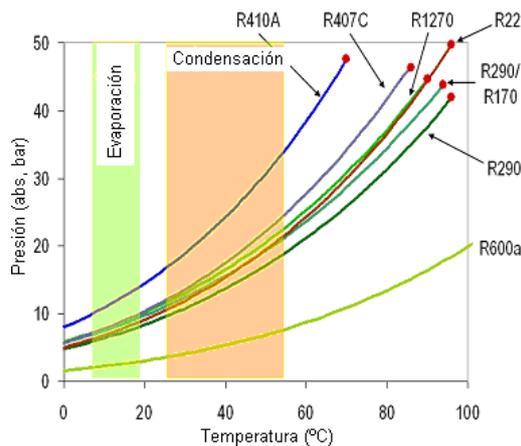


Figura 3.7: Temperaturas y presiones de saturación de algunos refrigerantes.

Como se puede apreciar el R290 presenta características de trabajo en cuanto a temperaturas y presiones muy parecidas a las del R22.

Al reconvertir un sistema es necesario conocer si con la nueva sustancia de trabajo es capaz de remover igual cantidad calor, observando que la capacidad de transferir calor de los equipos puede variar al operar con otra sustancia que tiene diferentes propiedades termo físicas de la original. En el caso del sistema estudiado solo se cambia el refrigerante, mientras por el lado exterior del condensador y el evaporador se mantiene el aire.

Del análisis de las propiedades de los refrigerantes empleados se puede concluir que las propiedades termo físicas del R290 favorecen una mejor transferencia de calor que las del R22, avalado fundamentalmente por la mayor conductividad térmica del vapor y líquido del R290.

El principal beneficio ecológico de la reconversión es que se elimina una sustancia agotadora de ozono, la nueva sustancia de trabajo, presenta un bajo potencial de calentamiento global (GWP), su potencial de destrucción del ozono (ODP) es nulo. En la tabla 3.2, se presenta un resumen de las principales propiedades de los refrigerantes R22 y R290.

Los beneficios económicos están dados fundamentalmente por el ahorro de energía que se obtiene, no es necesario realizar cambios significativos de la tecnología, la reconversión se realiza con técnicas básicas y el costo del R290 es menor que el R22.

Tabla 3.2: Propiedades de los refrigerantes R22 y R290.

NOMBRE COMERCIAL	R22	R290
FÓRMULA QUÍMICA	CHF ₂ CL	C ₃ H ₆
TEMPERATURA CRÍTICA EN (°C)	96.1	96.7
PESO MOLECULAR EN (KG/KMOL)	86.5	44.1
CAPACIDAD VOLUMÉTRICA (KJ/M ³)	1244	1164
PUNTO DE EBULLICIÓN NORMAL (°C)	-40.8	-42.1
ENTALPÍA DEL LÍQUIDO SATURADO (KJ/KG)	203.34	370.61
PRESIÓN DE SATURACIÓN A 2 °C (BAR)	5,3	5
DENSIDAD DEL LÍQUIDO EN (KG/M ³)	1278,77	521,1
DENSIDAD DEL VAPOR EN (KG/M ³)	22,72	10,98
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL LÍQUIDO EN (W/M K)	0,099	0,1
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL VAPOR EN (W/M K)	0,0095	0.01
VISCOSIDAD DEL LÍQUIDO SATURADO (KG/M.S)	2.3*10 ⁻⁴	10 ⁻⁴
VISCOSIDAD DEL VAPOR EN (KG/M.S)	12*10 ⁻⁶	7.39*10 ⁻⁶
CAPACIDAD CALORÍFICA DEL LÍQUIDO A PRESIÓN CTE (KJ/KG K)	1.17	2.46
CAPACIDAD CALORÍFICA DEL VAPOR A PRESIÓN CTE (KJ/KG K)	0.73	1.18
PRESIÓN DE CONDENSACIÓN A 44 °C (BAR)	16,8	14,9
DENSIDAD DEL LÍQUIDO EN (KG/M ³)	1113.58	463.17
DENSIDAD DEL VAPOR EN (KG/M ³)	72.9	33.22
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL LÍQUIDO EN W/M K	0.07	0.08
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DEL VAPOR EN (W/M K)	0.012	0.02
VISCOSIDAD DEL LÍQUIDO EN (KG/M.S)	18*10 ⁻⁵	9.73*10 ⁻⁵
VISCOSIDAD DEL VAPOR EN (KG/M.S)	14.6*10 ⁻⁶	9.36*10 ⁻⁶
CAPACIDAD CALORÍFICA DEL LÍQUIDO A PRESIÓN CTE EN (KJ/KG K)	1.35	2.88
CAPACIDAD CALORÍFICA DEL VAPOR A PRESIÓN CTE EN (KJ/KG K)	0.99	2.38
CLASIFICACIÓN DE SEGURIDAD	A-1	A-3
POTENCIAL DE DESTRUCCIÓN DEL OZONO ODP	0.55	0
POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL GWP	1810	20

3.9. Descripción de la instalación.

La instalación objeto del estudio es un aire acondicionado de ventana instalado en un local aledaño a un taller de refrigeración y climatización en la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas, Ecuador. El equipo se encuentra en perfectas condiciones técnicas, y posee todos los componentes, partes y piezas originales de su fabricación. La figura 3.8 muestra el equipo durante su preparación para los ensayos.



Figura 3.8: Equipo de Aire acondicionado y manómetros con manguera para medir la presión y controlar el paso de refrigerante durante la carga con R290.

Este equipo presenta las características que se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3: Características del aire acondicionado objeto de estudio.

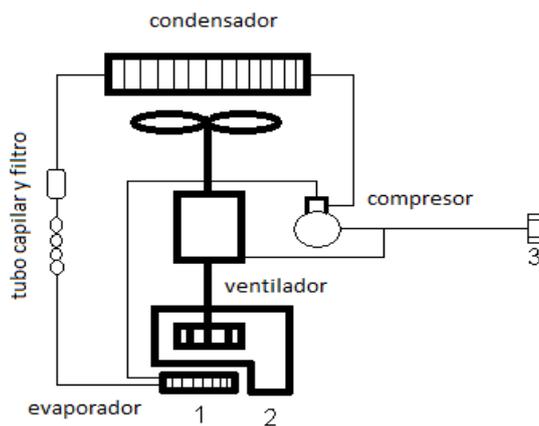
MARCA	SUNBEAM
MODELO:	SCA083RWC1
PAÍS DE FABRICACIÓN	CHINA
CAPACIDAD FRIGORÍFICA (Btu/h)	8000
POTENCIA ELÉCTRICA (W)	815
CORRIENTE (A)	7,4
VOLTAJE (V)	115
REFRIGERANTE	R22
CARGA DE REFRIGERANTE (G)	390
EER Btu/Wh	9,8

Tres de las paredes del local y el techo están contruidos de paneles de poliuretano expandido y la otra de bloques de hormigón revestidos de cemento con un espesor aproximado de 0,2 m. Este local tiene un área de piso de 9 m² y una altura de 2,5 m. La misma limita al Norte con una oficina climatizada de características similares, al Sur con un almacén propio de la entidad, al Este se encuentra un pasillo y al Oeste limita con un área de recepción para los clientes. Dentro del local hay instalada una lámpara de 40 Watts y una computadora.

3.10. Instalación experimental.

La instalación experimental para el cumplimiento del objetivo de este trabajo se Instrumentó como se muestra en la figura 3.9.

Figura 3.9: Instalación experimental.



En el punto 1 se midieron los valores de temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo referente al aire de retorno aspirado por el equipo. En el punto 2 se midieron los valores de temperatura de bulbo seco, bulbo húmedo y velocidad del aire de impulsión. En el punto 3 se midieron los valores de potencia eléctrica demandada por el aire acondicionado. El termostato del equipo se reguló para que el compresor se desconectara cuando el local alcanzara la temperatura más baja posible, garantizándose así la medición de la potencia demandada con mayor facilidad.

3.11. Procedimiento de reconversión utilizado.

Existen varios criterios para reconvertir una instalación de R22 a R290 (J., Keedwell et al. 2009). La principal coincidencia entre ellos está en las condiciones de seguridad y el conocimiento de la carga de refrigerante original del equipo. Las

condiciones de seguridad están reguladas por normas en algunas regiones como por ejemplo en Europa. Algunas de las recomendaciones para la reconversión son: la sustitución de todo dispositivo que produzca chispa, por elementos semiconductores, instalar detectores de gas, utilizar luminarias a pruebas de explosión, garantizar la ventilación ya sea natural o artificial del local, suspensión de las unidades condensadoras del nivel del piso, colocación de extintores, garantizar fácil acceso al local donde se encuentran los equipos reconvertidos y la colocación de señalización de gas inflamable (Horace 2011).

Conocer la carga de refrigerante inicial de la instalación es importante, ya que a partir de ese valor se puede determinar la cantidad de R290 que es necesario para la reconversión. Para determinar dicha cantidad la literatura muestra cierta diferencia de criterios en cuanto a este aspecto, ya que por ejemplo Jiao Tong recomienda que la carga sea el 90 % de 1/3 de la carga original, Colbourne hace referencia a que la nueva carga sea el 41 o 42 % de la carga original mientras que en otro artículo de Coulborne, Sukumar y Padalkar plantean que este valor debe ser el 50 %, Para esta investigación se utilizará la carga de R290 que corresponde al 45% de la carga original de R22 (Coulborne 2008),(Colbourne and Hühren 2011).

La carga original de R22 del aire acondicionado que se reconvierte en este trabajo es de 390 g. Al utilizar el criterio de 45% antes expuesto se obtiene que la carga de R290 para la reconversión es de 175 g. Este criterio fue el seleccionado para este trabajo. La figura 3.10. muestra la balanza y contenedor de R290 para medir la carga de refrigerante suministrada al equipo.



Figura 3.10: Balanza y recipiente con R290 para suministrar el peso calculado.

Además la masa de refrigerante que se utilizó está por debajo del límite inferior de inflamabilidad que es de 39 g/m³ (Proklima 2011).

Se puede determinar la cantidad de refrigerante por metro cúbico dividiendo la masa de refrigerante utilizada en la reconversión por el volumen del local donde está el aire acondicionado. Este local tiene un volumen de 22.5 m³ por lo que de ocurrir una fuga habría en el local aproximadamente 9.77 g/m³. También se escogió este criterio porque a partir de él se pueden hacer otras evaluaciones con menores cargas de refrigerante.

En el caso que se evalúa la carga de refrigerante de R290, se determina con un criterio intermedio al planteado en la bibliografía, en este caso como el 45% de la carga original de R22. Siguiendo la reconversión en el siguiente orden:

- 1) Recuperación del R22
- 2) Pruebas de hermeticidad.
- 3) Proceso y verificación de vacío (se realizó con la bomba de vacío que se muestra en el anexo 1).
- 4) Asegurar contactos eléctricos y proteger componentes eléctricos para evitar formación de chispas.
- 5) Carga con R290.
- 6) Comprobación de los parámetros eléctricos.

Se destaca que a la instalación no se le realizaron cambios en ningunos de sus componentes tales como compresor, evaporador, condensador, ni dispositivos de expansión de refrigerante.

3.12. Análisis de las condiciones de seguridad.

Las características de inflamabilidad y toxicidad del R290 deben tenerse en cuenta para obtener condiciones de seguridad para la explotación de la instalación. Es importante determinar si ante un escape la mezcla aire-refrigerante alcanza la zona de inflamabilidad. Para determinar esta se mide el volumen del local a climatizar, el cual es de 22,5 m³. Si se escapa la carga de refrigerante (220 g) en el volumen antes mencionado la concentración sería de 9,77 g/m³. Esta concentración sería menor que el límite inferior de inflamabilidad del R290 que es de 39 g/m³, por lo que la existencia de un accidente por incendio

queda minimizada. El condensador del aire acondicionado de ventana queda expuesto al aire exterior, por lo que la posibilidad de un accidente por incendio queda aún más reducida.

En caso de locales climatizados en los que pudiera ocurrir escape de refrigerante inflamable, y que el local tenga la posibilidad de establecer un flujo cruzado de aire al ocurrir el escape, se recomienda utilizar un ventilador portátil para el movimiento forzado del aire, y en este caso dicho ventilador debe manejar un flujo teórico que se determina por la ecuación 2.4, esta fórmula se propone en la guía de reconversión de PROKLIMA, y no debe considerarse una expresión exacta, pues se determinó para condiciones concretas en un rango de mediciones establecidas.

$$V_{av} = \frac{0.004 \times M}{LFL} = 0.02 m^3/s \quad (1)$$

Reemplazando, resulta: $V_{av} = (0,004) \times (175 \text{ gr}) / (39 \text{ gr/m}^3) = 0,0179$ es decir:

$$\underline{V_{av} = 0.02 \text{ m}^3 / \text{s}}$$

Dónde:

V_{av} : Volumen de aire que debe mover el ventilador portátil (m^3/s).

M: Carga de refrigerante (kg).

LFL: Límite inferior de inflamabilidad.

Es necesario conocer las características de los locales en cuanto a funcionalidad y ocupación, ya que en dependencia de ello se puede determinar la cantidad máxima de refrigerante que puede tener el sistema, es decir, la carga de refrigerante está limitada por la categoría de ocupación de un local, que pueden ser A, B y C como se muestra en la tabla 3.4.

Tabla 3.4: Categorías de ocupación y ejemplos.

Ocupación	Descripción	Ejemplos
Categoría A	Habitaciones, partes de edificios, locales donde las personas duermen, donde las personas están limitadas en su movimiento o donde el número de personas presentes no está controlado. Cualquier persona tiene acceso sin estar contabilizada.	Hospitales, prisiones, casa de enfermeras, teatros, supermercados terminales de transporte, salas de lectura, habitaciones, restaurantes, vehículos de pasajeros, etc.
Categoría B	Habitaciones, partes de edificios o edificios donde un limitado número de personas pueden ser congregadas, algunas de ellas advertidas con precauciones de seguridad personal	Oficinas de edificios, laboratorios, lugares de trabajo, lugares para manufacturas generales, etc.
Categoría C	Habitaciones, partes de edificios, edificios donde solamente personas autorizadas tienen acceso y los cuales no están abiertos al público. Personas autorizadas serán actualizadas con las medidas de seguridad del establecimiento.	Áreas no públicas de supermercados almacenes refrigerados, áreas para facilidades de producción, por ejemplo, comidas, helados, etc.

Si existe la posibilidad de más de una categoría de ocupación escoger la más estricta, por ejemplo, escoger la categoría de ocupación A en favor de la categoría de ocupación B, o la categoría de ocupación A en favor de la categoría de ocupación C.

La masa de hidrocarburo refrigerante dentro de un circuito refrigerante está limitada de acuerdo al tipo de sistema, local y el tamaño del lugar, particularmente respecto al área ocupada. Para instalaciones que usen hidrocarburos refrigerantes y se encuentren completamente dentro de locales ocupados por personas, no se puede superar en esos casos la carga de refrigerante dispuestas por normas.

Dos restricciones se aplican al tamaño de la carga de refrigerante:

- La primera es la máxima cantidad de refrigerante ($M_{\text{máx}}$), la cual es función del tipo de local y su ocupación.
- La segunda es la cantidad admisible de la carga (M_{ad}), la cual es función del tamaño del área que ocupará el refrigerante en caso de fuga.

El tamaño de la carga admisible está típicamente basado en que se asume en el peor de los casos que la carga entera de refrigerante de un circuito penetrará en un espacio casi instantáneamente donde el vapor es más denso que el aire, este lo desplazará y se estratificará. Así para la carga admisible normalmente se estima por adopción un 20% de margen de seguridad. En ciertos casos este margen de seguridad se amplía hasta valores cercanos al 25%. No se debe utilizar cargas arbitrarias de refrigerante inflamable, puede existir una proporción de ocurrencia de eventos con el incumplimiento de normas al respecto.

El local donde se encuentra el aire acondicionado de ventana que se evalúa se encuentra dentro de la categoría de ocupación B por lo que se puede calcular la máxima cantidad de refrigerante según la fórmula que plantea.

3.13. Instrumentos y mediciones realizadas

Para llevar a cabo la investigación se utiliza instrumentos certificados cuya escala y sensibilidad es adecuada para el rango de valores de los diferentes parámetros que se requieren medir, garantizándose con ello la precisión y exactitud de los valores medidos.

Vatímetro digital:

Marca: True RMS. Modelo: PROTEK 305.

Sensibilidad: 0.01 W

Escala de Potencia 0 – 1 kW.

Termómetro digital:

Marca: CPS. Modelo: TMINI 12

Sensibilidad: 0.1 °C

Escalas de temperatura: - 40 a 60 °C.

Anemómetro-psicrómetro digital MASTERCOOL

Sensibilidad de velocidad: 0,1m/s

Sensibilidad de humedad relativa: 0,1%

Balanza digital CAMRY

Escala de 5 kg

Sensibilidad: 1 g

Mediante un sistema de adquisición de datos que se muestra en la figura 3.11. Se registraron los valores de los diferentes parámetros en hojas Excel.

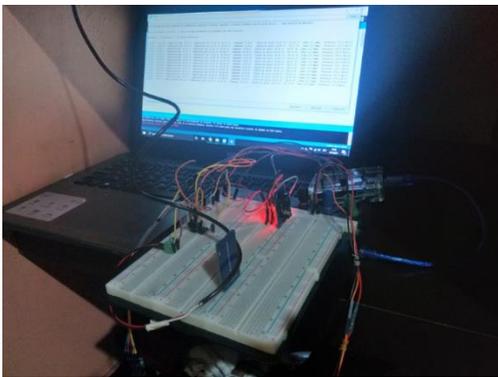


Figura 3.11: Sistema de adquisición de datos.

El valor original de la carga de R22 se tomó de los datos del fabricante del aire acondicionado, así como otros parámetros de interés que se visualizan en la placa de datos que aporta el fabricante del equipo evaluado lo cual se se muestra en la figura 3.12.



Figura 3.12: Placa de datos aportados por el fabricante.

Capítulo 4: CÁLCULO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA RECONVERSION.

En este capítulo se presentan los cálculos fundamentales de la investigación a partir de las mediciones realizadas. También se interpretan los resultados obtenidos de los diferentes indicadores y parámetros de funcionamiento del aire acondicionado evaluado.

Debido a que los parámetros ambientales no se pueden controlar, para poder realizar la comparación de los indicadores de desempeño con ambos refrigerantes, se filtraron los datos de los ensayos para iguales condiciones de temperatura exterior en la ciudad de Guayaquil, se seleccionaron entonces 15 experimentos en los cuales se registró 30 °C de temperatura exterior tanto en las mediciones realizadas con R22 como las realizadas con R290, tales condiciones se alcanzaron en diferentes horas y días, el sistema de adquisición reportó los datos cada 5 minutos. Aunque hubo muchos registros en los que coincidieron diferentes valores de las temperaturas exteriores para ambos refrigerantes, los cálculos se realizan para 30 °C por considerarse una condición severa de operación del equipo, donde la presión y temperatura de condensación alcanzan valores superiores a los que se obtienen cuando la temperatura exterior está por debajo de 30 °C lo que suele ocurrir frecuente y sostenidamente.

Para el R22 los datos se reportaron en el periodo del 13 al 18 de junio del 2021, y para el R290 en el periodo del 13 al 20 de julio del 2021. Durante la evaluación con R22 se alcanzó una temperatura ambiente exterior mínima de 24 °C el 20 de junio a las 6:14 am y máxima de 32,5 °C el 23 de junio a las 3:36 pm, mientras que para la evaluación con R290 la mínima temperatura exterior fue de 23,25 °C el 15 de julio a las 3:18 am y la máxima de 32,25 °C el 13 de julio a las 3:10 pm. En todos los casos la temperatura alcanzada en el interior del local climatizado no tuvo diferencia significativa durante la evaluación con ambos refrigerantes.

4.1. Cálculo de la capacidad frigorífica.

Para calcular la capacidad frigorífica del aire acondicionado de ventana se necesita conocer algunos parámetros, los cuales se obtuvieron a través de mediciones. El procedimiento para realizar las mediciones y cálculos que permiten determinar la capacidad frigorífica antes y después de la reconversión se presenta seguidamente.

4.1.1. Cálculo del área de salida del aire de impulsión.

En el aire acondicionado que se estudia, el aire de impulsión sale por la ventanilla que se encuentra en la parte superior, la cual consta de varias rejillas como se muestra en la figura 4.1, la velocidad del aire se mide con el anemómetro que se observa en el anexo 2.



Figura 4.1: Ventanilla de salida del aire de impulsión.

Es necesario calcular el área de flujo de la ventana por donde sale el aire de impulsión cuya abertura consta de 4 secciones horizontales y 8 verticales. Las rejillas horizontales tienen 44,2 cm de longitud por 6,7 cm de alto. Descontando el área de las divisiones, resulta un área de flujo de 243,1 cm² ó 0,0243 m²

4.1.2. Cálculo del flujo del aire de impulsión.

El flujo gravimétrico del aire de impulsión se determina a partir de la siguiente ecuación conociendo el área de flujo, la velocidad y densidad del aire:

$$G = \rho * V * A \quad (2)$$

G : Flujo másico de aire (kg/h)

ρ : Densidad del aire (1.2 Kg/m³).

V : Velocidad del aire de impulsión (m/s).

A: Área de la sección de salida del aire de impulsión (0.02431 m²).

4.1.3. Cálculo de la variación de entalpía y capacidad frigorífica

La variación de entalpía se determina como la diferencia entre las entalpías específicas del aire de retorno y el aire de impulsión, para ello los valores de temperatura de bulbo seco y la humedad relativa del aire en la aspiración y la impulsión se miden y se usan como datos de entrada en el programa "CYTsoft Psychrometric calculator" que simula la carta psicrométrica, de este modo se obtienen los puntos que representan el estado del aire a la entrada y salida del evaporador, obteniendo los valores de entalpías de ambos puntos.

Con las entalpías específicas determinados para cada corrida experimental se calcula la capacidad frigorífica que es uno de los parámetros que se utiliza para comparar el desempeño del equipo antes y después de la reconversión. La capacidad frigorífica se puede determinar mediante el producto del flujo gravimétrico del aire de impulsión por la variación de entalpía del aire según la siguiente ecuación.

$$Q_0 = m * \Delta h \quad (3)$$

Dónde:

Q_0 : Capacidad frigorífica (kW)

m : Flujo gravimétrico de aire de impulsión (kg/s).

Δh : Variación de entalpía (kJ/kg).

Es importante destacar que la variación de entalpía considera el calor sensible y el calor latente del cambio de fase del vapor de agua contenido en el aire, al condensarse cuando se pone en contacto con la superficie de intercambio de calor del evaporador, que se encuentra a una temperatura inferior a la temperatura de rocío.

En la tabla 4.1, se presentan los valores de capacidad frigorífica, calculados por la ecuación de la capacidad frigorífica para las diferentes condiciones de operación en se evaluó el equipo con R22 y R290.

Tabla 4.1: Valores de capacidad frigorífica.

# Experimento	Cap. Frigoríficas (Btu/h)	
	R22	R290
1	7978	7856
2	7980	7856
3	7976	7858
4	7987	7856
5	7980	7855
6	7988	7859
7	7988	7861
8	7989	7857
9	7985	7861
10	7979	7858
11	7983	7858
12	7985	7852
13	7988	7860
14	7984	7856
15	7976	7859
Promedio	7983	7857
% Variación		-1.60%

En la figura 4.2, se puede observar el comportamiento gráfico de la capacidad frigorífica, destacándose que en todos los casos este indicador se mantiene ligeramente inferior para el propano.

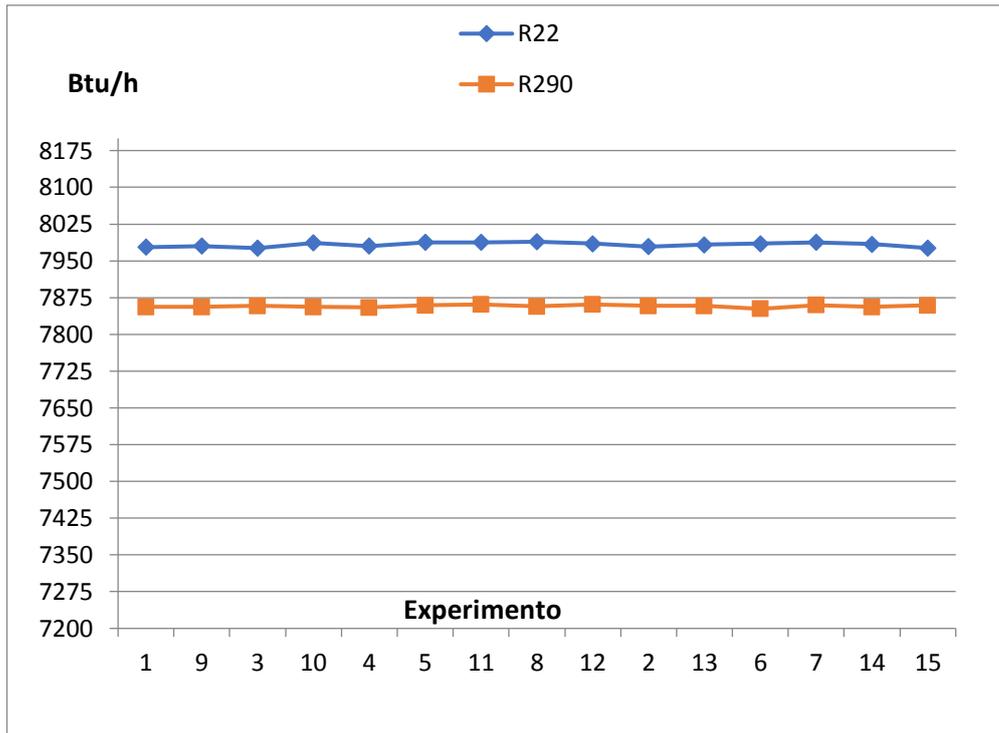


Figura 4.2: Gráfico del comportamiento de la capacidad frigorífica.

4.2. Análisis del comportamiento de la potencia eléctrica demandada.

La potencia demandada por la instalación es la suma de la potencia del ventilador y del compresor, los parámetros eléctricos se midieron con los instrumentos que se observan en anexo 3. La tabla 4.2, muestra los valores de potencia eléctrica para R22 y R290 durante los ensayos realizados, se observa en la tabla el valor promedio de las potencias demandadas en ambos casos, y lo más importante a destacar es la menor potencia promedio demandada por el R290 con relación al R22, alcanzando una disminución del 5,75 %.

Tabla 4.2: Potencia demandada con R22 y con R290.

# Experimento	Potencia (W)	
	R22	R290
1	812	760
2	816	762
3	814	768
4	815	765
5	814	770
6	812	766
7	812	766
8	812	768
9	811	763
10	810	765
11	809	760
12	809	769
13	809	767
14	808	762
15	808	761
Promedio	811	765
% Variación		-5.75%

El gráfico de la figura 4.3, muestra el comportamiento de la potencia demandada por la instalación con R22 antes de la reconversión y con R290 una vez reconvertido el equipo. Para ambos refrigerantes el comportamiento de la potencia demandada se puede apreciar que mantuvo un comportamiento estable.

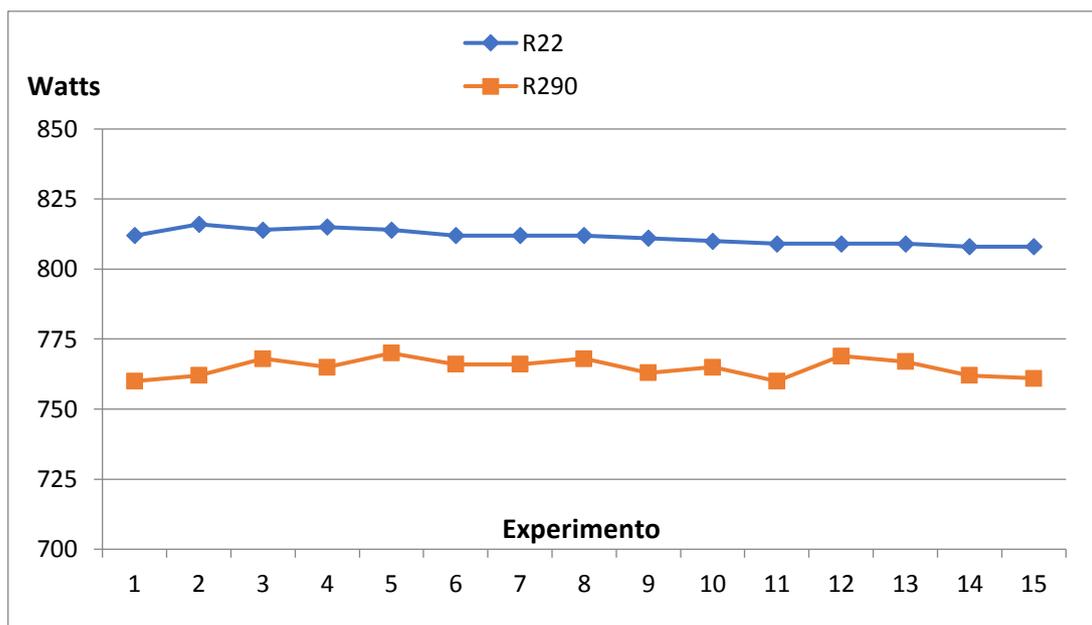


Figura 4.3: Potencia eléctrica demandada por el aire acondicionado con R22 y R290.

La disminución de la potencia demandada está justificada por las siguientes razones. Al reconvertir un equipo de R22 a R290 el compresor maneja menos flujo másico de refrigerante que el necesario para la capacidad de diseño original del equipo. La potencia demandada por un compresor de un sistema de refrigeración está estrechamente relacionada con las presiones de succión y descarga del refrigerante con el que esté operando, pues de este depende la diferencia de entalpía al inicio y final de la compresión además de los esfuerzos de los pares cinemáticos del compresor. En el epígrafe 3.8, en la tabla 3.2 y figura 3.7, se observa que la presión de succión es similar y la presión de descarga a la misma temperatura de condensación es un 11.3 % menor para el R290 que para el R22, lo que justifica en buena medida la disminución de la potencia demandada. Otro aspecto importante a tener en cuenta es que la potencia demandada por el compresor de un aire acondicionado de ventana está definida por las caídas de presión que se producen en el condensador, dispositivo de expansión, evaporador y válvulas de succión y descarga, de las cuales la que no debe mostrar variación es la del dispositivo de expansión que es la encargada de producir el efecto Joule Thompson, sin embargo es conveniente que las demás tengan un valor lo más bajo posible, pues si este aumenta se eleva la potencia demandada. El valor

de la caída de presión está estrechamente ligado a la viscosidad del fluido que se está manejando. En la tabla 3.7.1 se observa que la viscosidad para el líquido en condiciones de evaporación es un 43.5 % menor para el R290 y para el vapor es un 38.4 % menor que la del R22. En condiciones de condensación la viscosidad del líquido es un 45.9 % menor para el R290, mientras que la viscosidad del vapor del R290 es inferior a la del R22 en un 35,9%. Esto justifica en buena medida la disminución de la potencia demandada.

Un último aspecto importante relacionado con los indicadores calculados es el consumo de energía, que se calcula según la ecuación de consumo de energía.

$$C_e = P_e * \tau \quad (4)$$

Dónde:

C_e : Consumo de energía.

P_e : Potencia eléctrica.

τ : Tiempo.

Se observa que, si disminuye la potencia demandada, disminuye la energía consumida por la instalación de manera directamente proporcional, de aquí la importancia de disminuir en la medida de lo posible la potencia demanda, pues el otro factor que influye es el tiempo de funcionamiento.

4.3. Cálculo de la razón de eficiencia energética EER.

La razón de eficiencia energética está definida como el cociente entre la capacidad frigorífica y la potencia demandada por la instalación. Utilizando los valores medidos y calculados de ambos parámetros, se puede calcular por la ecuación de Razón de eficiencia energética, este indicador es un elemento a tener en cuenta para seleccionar un equipo de aire acondicionado, en la medida que se incrementa el mismo denota mejor desempeño en la extracción de calor del local a climatizar por unidad de potencia eléctrica demandada. La

capacidad frigorífica se convierte de kW a Btu/h para expresarla en las mismas unidades del fabricante del equipo. $1\text{kW} = 3412,142 \text{ Btu/h}$.

$$EER = \frac{Q_0}{P_e} \quad (5)$$

Dónde:

EER: Razón de eficiencia energética en Btu / hW

La tabla 4.3, muestra los resultados del cálculo durante los 15 ensayos seleccionados de la razón de eficiencia energética del aire acondicionado obtenida en las condiciones de operación antes de la reconversión funcionando con R22, y luego de la reconversión funcionando con R290.

Tabla 4.3: Razón de eficiencia energética.

# Experimento	ERR (Btu/Wh)	
	R22	R290
1	9.8	10.3
2	9.8	10.3
3	9.8	10.2
4	9.8	10.3
5	9.8	10.2
6	9.8	10.3
7	9.8	10.3
8	9.8	10.2
9	9.8	10.3
10	9.9	10.3
11	9.9	10.3
12	9.9	10.2
13	9.9	10.2
14	9.9	10.3
15	9.9	10.3
Promedio	9.8	10.3
% Variación		4.85%

La figura 4.4, muestra el comportamiento gráfico de la razón de eficiencia energética en correspondencia con los valores reportados en la tabla 3.4.1 donde se observa que a diferencia de los gráficos anteriores aquí la línea superior corresponde al R290, y la inferior al R22 denotando ello que, aunque la capacidad frigorífica con el propano disminuyó, la razón de eficiencia energética se incrementa debido a que la potencia con R290 disminuyó más.

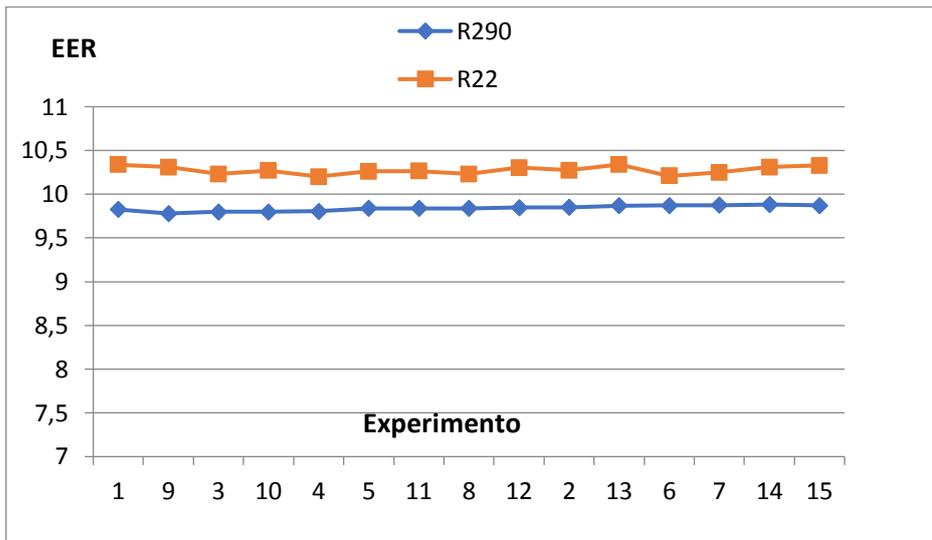


Figura 4.4: Gráfico del comportamiento de la razón de eficiencia energética.

Se refleja los indicadores que se calcularon y comparan, destacándose que en las condiciones de explotación de los 15 experimentos seleccionados los valores promedios de los indicadores reflejan que la capacidad frigorífica disminuyó en 1,6% después de la reconversión, la potencia eléctrica demandada disminuyó en 5,75%, y la razón de eficiencia energética se incrementa en 4,85% lo cual se corresponde con la tendencia de los reportes realizados por diversas publicaciones científicas en revistas de reconocido prestigio internacional. En esta investigación los resultados que se presentan corresponden al equipo evaluado, lo cual no necesariamente coincide con los valores reportados para equipos de otras marcas modelos y capacidades de refrigeración.

4.4. Impacto económico de la reconversión.

La reconversión de equipos de climatización de R22 a R290 constituye un proceso que se puede lograr con rapidez. La matriz energética de Ecuador necesita usar racionalmente la energía para poder llevar a cabo su programa de desarrollo con la mayor eficiencia posible. Las ventajas que proporciona el proceso de reconversión deben constituir una motivación que promueva las buenas prácticas de refrigeración y aire acondicionado, y la sostenibilidad de tecnologías limpias, el uso del R290 como refrigerante en la reconversión y en las nuevas tecnologías transita por una alternativa eficiente y ecológica.

Las principales ventajas económicas que reporta la reconversión de R22 a R290 son:

- No se requiere cambiar ni modificar los componentes del sistema.
- Aprovechamiento del mismo lubricante que utiliza el sistema con R22.
- Disminución de la carga de refrigerante de R290. En este caso se utilizó el 50% de la carga de R22.
- Menor precio de costo del R290.
- Posible producción en el país del R290.
- Disminución del consumo de energía.
- Uso de un refrigerante con ODP nulo y despreciable GWP.

En instalaciones de pequeña capacidad como el caso de esta investigación solo consiste en el reemplazo del refrigerante. En Ecuador es factible la reconversión en instalaciones con características similares al objeto de esta investigación, el costo de la reconversión será amortizado en un corto tiempo por concepto de uso racional de la energía.

Considerando la potencia promedio demanda por cada refrigerante, y un tiempo de explotación diario de 8 horas durante un mes de 30 días, se puede estimar la disminución del consumo.

Consumo de energía para un periodo de un mes con R22.

$$C_e = 811,4 * 8 * 30 = 194 \text{ kWh} \quad (6)$$

Consumo de energía para un periodo de un mes con R290.

$$C_e = 764,8 * 8 * 30 = 183 \text{ kWh} \quad (7)$$

De modo que, por cada mes de trabajo del equipo, se reporta luego de la reconversión del mismo una disminución del consumo de energía de 11kWh, lo que representa el 5,75% de energía dejado de consumir por concepto de racionalidad en el uso de la energía. La figura 4.5, muestra la tendencia para ambos refrigerantes, donde se observa claramente la diferencia en el tiempo de la energía dejada de consumir al reconvertir el aire acondicionado.

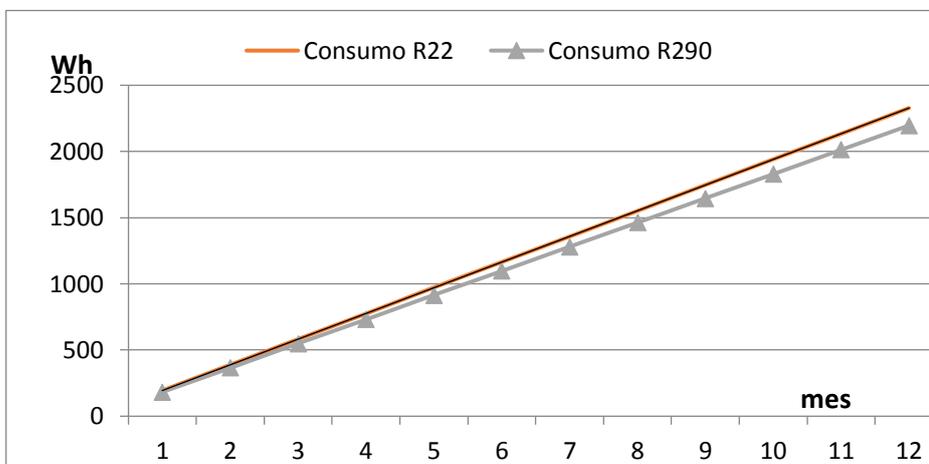


Figura 4.5: Comportamiento del consumo de energía.

Es importante indicar que mientras más horas de uso, el ahorro energético es mucho mayor, tal como se detalla a continuación:

$$C_e = 811,4 * 10 * 30 = 243 \text{ kWh}$$

$$C_e = 764,8 * 10 * 30 = 229 \text{ kWh, es decir una disminución de 14 kWh-mes}$$

$$C_e = 811,4 * 12 * 30 = 292 \text{ kWh}$$

$$C_e = 764,8 * 12 * 30 = 275 \text{ kWh, es decir una disminución de 17 kWh-mes}$$

4.5. Impacto ambiental de la reconversión.

Los esfuerzos de la comunidad científica internacional en la actualidad están fundamentalmente dirigidos al desarrollo de técnicas que coexistan de manera amigable con el medio ambiente. Hay una serie de protocolos, leyes, proyectos y tecnologías con el propósito de proteger el medio ambiente, muestras de ello son el Protocolo de Montreal, que regula mundialmente la

eliminación de las sustancias agotadoras de la capa de ozono, y el protocolo de Kioto que regula los aspectos del calentamiento global. Una de las alternativas para proteger el ambiente es la reconversión de equipos que usan sustancias que dañan el ambiente. Hasta el momento se han dado una serie de argumentos que avalan la viabilidad de la reconversión. Aquí se realiza un estimado del impacto de la reconversión en el medio ambiente debido fundamentalmente a la eliminación de una sustancia dañina para el mismo que además de afectar el ozono estratosférico produce efecto invernadero.

La emanación de CO₂ a la atmósfera depende de la fuente de generación eléctrica, que para el caso de centrales térmicas puede ser gas, combustible líquido o carbón. Para cada caso existen indicadores que permiten calcular la emisión de CO₂ a la atmósfera por el concepto de quema de combustible para la generación de electricidad.

CONCLUSIONES

A partir de las publicaciones sobre reconversión de aires acondicionados consultadas, de los conceptos, características y medidas de seguridad, del amplio número de mediciones registradas durante los días de evaluación, de los cálculos, tablas, gráficos e interpretaciones de cada uno de estos aspectos. Se arriban a las siguientes conclusiones:

- La razón de eficiencia energética del aire acondicionado durante los días que fue evaluado con R22 alcanzó valor promedio de 9,8 Btu/hW coincidiendo con el reportado por el fabricante en la placa (anexo 8) de datos adosada al equipo.
- La razón de eficiencia energética del equipo al evaluarlo con R290 alcanzó un valor promedio de 10,3 Btu/hW lo cual significó un incremento de este indicador de 4,85%.
- La capacidad frigorífica promedio con R22 fue de 7983 Btu/h, mientras que con R290 resultó ser 7857 Btu/h de modo que disminuyó en 1,6%, lo cual es prácticamente imperceptible para la aplicación de este tipo de aire acondicionado sin afectar el confort deseado.
- La potencia eléctrica promedio demandada con R22 resultó ser de 811 W, y con R290 este parámetro fue de 765 W, representando ello una disminución de 5,65 %.
- Con los parámetros obtenidos antes y después de la reconversión se determinó el consumo de energía eléctrica para un mes en ambos casos, resultado para el R22 de 194 kWh y para el R290 de 183 kWh lo que significa una disminución mensual de 11 kWh, se considera que a mayor horas de uso el ahorro es mayor.
- Se demuestra con los resultados obtenidos la factibilidad de reconversión de equipos de aire acondicionado tipo ventana de R22 a R290 en la ciudad de Guayaquil.
- Se dispone con esta tesis de un material bibliográfico y una nueva experiencia que sirve como guía y base para investigaciones

inmediatas y su aplicación en la Universidad católica de Santiago de Guayaquil.

RECOMENDACIONES

- Evaluar el comportamiento tribológico (fricción – desgaste- lubricación) del equipo antes y después de la reconversión, y realizar un análisis del ciclo de vida.
- Elaborar un artículo técnico que contribuya a la visibilidad de los resultados alcanzados en este trabajo.
- Ampliar la tecnología de reconversión a otros equipos de mayor capacidad frigorífica.

Siglas

<i>Símbolo</i>	<i>Designación</i>
ASHRAE	Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado.
CFC	Cloro-fluor-carbono
HC	Hidrocarburo
HCFC	Hidro-cloro-fluor-carbono
GWP	Potencial de calentamiento
ODP	Potencial de destrucción de ozono
R290	Refrigerante 290 (Propano)
R-600a	Refrigerante 600a (Isobutano)
R-600	Refrigerante 600 (Butano)
R22	Refrigerante 22 (Clorodifluorometano)
R417A	Refrigerante 417
R407C	Refrigerante 407
R427A	Refrigerante 427
R424A	Refrigerante 424
R134A	Refrigerante 134
R410A	Refrigerante 410
R152A	Refrigerante 152
R507	Refrigerante 507
R404A	Refrigerante 404
R428A	Refrigerante 428

R422A	Refrigerante 422
EER	Razón de Eficiencia Energética
COP	Coeficiente de rendimiento
VEE	Válvula de expansión electrónica
TEWI	Impacto de advertencia de medio ambiente total.
TWA	Promedio ponderado en el tiempo
LII	Límite de inflamabilidad inferior
PPM	Partes por millón
TLV	Valor límite de umbral
PL	Límite de practica
LII	Límite inferior de inflamabilidad
VRC	Capacidad de refrigeración volumétrica
TR	Tonelada de Refrigeración
PVC	Policloruro de Vinilo
CO2	Dióxido de carbono.
ATEL	Límite de exposición para la toxicidad aguda
ODL	Límite de privación de oxígeno
PDF	Formato portátil de documento

REFERENCIAS

- Ajayi, O. O., T. I. Okolo, E. Y. Salawu, F. T. Owoeye, D. K. Akinlabu, E. T. Akinlabi, S. T. Akinlabi and S. A. Afolalu (2019). "Performance and Energy Consumption Analyses of R290/Bio-Based Nanolubricant as a Replacement for R22 Refrigerant in Air-Conditioning System." 103-112.
- Al Joudi, K. A. and Qusay R. A. Al Amir (2014). "Performance evaluation of small scale air-conditioning system using R22 and alternative refrigerants." 20(1): 62-77.
- Anchundia, S. A. and F. L. E. (2016). Reconversión de los gases refrigerantes R22 a R290 en tres modelos de aires acondicionados, tipo split con diferente capacidad de enfriamiento en la Universidad Técnica de Manabí Tesis Titulación, Universidad Técnica de Manabí.
- Arias (2012). "Metodología de la investigación." Episteme, C.A <https://www.slideshare.net/juancarlos777/el-proyecto-de-investigacion-fidias-arias-2012-6a-edicion>.
- Aryadi Suwono. """.PDF. October 8, 2008. (2008). Experience in conversión of various HCFC-22 systems to hydrocarbon. The Use of Hydrocarbon Refrigerants in Air-Conditioning Systems. . Bangkok.
- Avella Campos, J. C. (2011). Curso de Eficiencia Energética. UNIFEI, MG, Brasil. Octubre.
- Boumaza, M. (2010). "Performances assessment of natural refrigerants as substitutes to CFC and HCFC in hot climate." 1(2): 125-130.
- Chinnaraj, C., P. Govindarajan and R. Vijayan (2011). "Influence of electronic expansion valve on the performance of small window air conditioner retrofitted with R-407C and R290." 15(suppl. 2): 327-339.
- Clemanda, D. J., R. K. Keedwell and S. R. Adams (2009). "Use of hydrocarbons as dropin replacements for HCFC-22 in on-farm milk cooling equipment." International Journal of Refrigeration 32.

- Colbourne, D. (2013). "Review of conversion of Frioclima chillers from R22 to R290."
- Colbourne, D. (2015). "Uso seguro de alternativas a los HCFC en la refrigeración y el aire acondicionado."
- Colbourne, D. and R. Huhren (2011). "Operation of split air conditioning systems with hydrocarbon refrigerant."
- Colbourne, D. and R. Hühren (2011). Operation of split air conditioning systems with hydrocarbon refrigerant Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- Copetti, J. B., M. H. Macagnan, M. Geyer and R. Oliveski (2015). The use of hydrocarbons propane and isobutane in refrigeration systems. 18 th International Congress of mechanical Engineering-COBEM.
- Coulborne, D. (2008). Opportunities for the use of hydrocarbon refrigerants in air conditioning applications. The Use of Hydrocarbon Refrigerants in Air-Conditioning Systems. . G. Proklima. Bangkok, Thailand.
- Coulborne, D. (2008). Safety performance for room air-conditioners using Hydrocarbon Refrigerants China household electrical appliances. China household electrical appliance association 26th to 28th November. Guangzhou. R. P. China.
- Crincoli Rondón, C. A. (2014). "Refrigerantes hidrocarburos como alternativa para los sistemas de refrigeración."
- Dahané, J. (2011). "Metodología para la sustitución del refrigerante R22 por el propano R290 en un aire acondicionado de ventana " Revista Cero Grados(noviembre).
- Dahané, J. (2011 noviembre 25). "Metodología para la sustitución del refrigerante R22 por el propano R290 en un aire acondicionado de ventana." Revista Cero Grados <https://0grados.com.mx/metodologia-para-la-sustitucion-del-refrigerante-R22-por-el-propano-R290-en-un-aire-acondicionado-de-ventana/>.

- Devotta, S., A. S. Padalkar and N. K. Sane (2015). "Performance assessment of HC-290 as a drop-in substitute to HCFC-22 in a window air conditioner." 28(4): 594-604.
- Echeverria, 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. Tesis Titulación, Universidad Católica Santiago de Guayaquil
- Elumalai, P., R. Vijayan and V. Subburam (2018). "Experimental investigation of future HFC/HCs blended refrigerants for use in small capacity window air-conditioner." 14: 1921-1931.
- Embraco. (2017). " R290 Y R600a." Club de La Refrigeracion. <http://refrigerationclub.com/es-es/r290-y-r600a/> . .
- Estándar 34 de ASHRAE (2010). Designación y clasificación de seguridad de los refrigerantes,.
- Farraj, A., M. A. Mallouh, A.-R. Kalendar and A. J. J. Al-Rzaq (2012). "Experimental Study of Solar Powered Air Conditioning Unit Using Drop-In Hydro Carbon Mixture to Replace R22." 6(1).
- Gas servei, s. f. (2022). Ficha tecnica R290 propano. <https://gas-servei.com/shop/docs/ficha-tecnica-R290-gas-servei-sa.pdf?msclkid=567c2902af0011ecb72b6eea0aa5702c>.
- Grzebielec, A., A. Rusowicz and A. Szelaḡowski (2021). "Safety aspects for the R290 (propane) as working medium in small air conditioning installations
" Inżynieria Bezpieczeństwa 2: 22-29.
- Harby, K. (2017). "Hydrocarbons and their mixtures as alternatives to environmental unfriendly halogenated refrigerants: An updated overview." Renewable and Sustainable Energy Reviews 73: 1247-1264.

- Hernández Rodríguez, J. C. (2012). Estudio de la conversión de un split con refrigerante R22 a R290, Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad de Oriente.
- Hernández Sampieri, R., C. Fernández Collado, P. Baptista Lucio, S. Méndez Valencia and C. P. Mendoza Torres (2014). Metodología de la investigación. M.-H. Education. McGraw-Hill Education. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>.
- Horace, N. (2011). Hydrocarbons Refrigerantes the Jamaica Experience. Taller Alternativa al R22. L. Habana.
- Insignia., E. (2018, Junio 30). Gases refrigerantes, <https://blog.elinsignia.com/2018/06/30/gases-refrigerantes/>.
- J., C. D., R. K. Keedwell and S. R. Adams (2009). "Use of hydrocarbons as dropin replacements for HCFC-22 in on-farm milk cooling equipment." International Journal of Refrigeration 32.
- Jürgensen, H. (2016). "Propane as R22. Replacement in Commercial Appliances." 1-4.
- K, H. (2017). "Hydrocarbons and their mixtures as alternatives to environmental unfriendly halogenated refrigerants: An updated overview." 73: 1247-1264.
- Kalla, S. K., B. B. Arora and J. A. Usmani (2018). "Alternative refrigerants for HCFC 22-A review." 4(3): 1998-2017.
- Koh, J. H., Z. Zakaria and D. Veerasamy (2017). "Hydrocarbons as Refrigerants-A Review." 34(1): 35–50.
- Koha, J., Z. Zakaria and D. Veerasamy (2017). "Overview of the use of hydrocarbon refrigerants in air conditioning systems." 56: 1849-1854.
- Lampugnani, G. and M. Zgliczynski (2016). "R290 as a Substitute of R-502 and R22 in Commercial Refrigeration and Air Conditioning."
- Machado, I. (2021). Reglamento de seguridad para plantas e instalaciones frigoríficas.

<http://iesmachado.org/web%20insti/depart/produccion/apuntes/files/Reglamentos/RSIF.pdf>.

Metrogas (2018). "¿Qué es eficiencia energética? ." http://www.metrogas.cl/files/Que_es_EE.pdf.

Meza, Q., T. Ordoñez and B. D. Rocío (2017). Tesis para optar el título profesional de ingeniera químico industrial PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA QUÍMICO INDUSTRIAL, Universidad Nacional del Centro de Perú.

Miranda, A. (2019). Manual Técnico de refrigerantes. Madrid.

Norma EN 378 (2017). "Sistemas de refrigeración y bombas de calor – Seguridad y requisitos medio ambientales."

Padalkar, A. S., K. V. Mali and S. Devotta (2014). "Simulated and experimental performance of split packaged air conditioner using refrigerant HC-290 as a substitute for HCFC-22." 62(1): 277-284.

Park, K. J. and D. Jung (2018). "Performance of R290 and R-1270 for R22 applications with evaporator and condenser temperature variation." 22(3): 532-537.

Plusfroid (2006). "Ficha técnica del refrigerante R22. ."

Proklima, G. (2011). Guidelines for the safe use of hydrocarbon refrigerants. Federal ministry for economic cooperation and development. Germany.

Raiyan, M. F., J. U. Ahamed, M. M. Rahman and M. A. Salam (2017). "Performance and exergetic investigation of a domestic split air conditioner using blends of R22 and R290." 14(2): 4125-4139.

Rey Martínez, F. J. and E. Velasco (2006). "Bombas de calor y energías renovables en edificios. Ficha Técnica R22." Thomson-Parainfo. Scalofrios. Ficha Técnica R22 <http://www.scalofrios.es/frio/Refrigerantes/fichastecnicas/HCFCs.pdf>.

- Rosillo Corrales, F. J. (2011). Metodología para la sustitución del refrigerante R22 por el propano (R290) en un aire acondicionado de ventana, Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad de Oriente.
- Ruiz Cortines, A. (2014). Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos. México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Saleh, B. and M. Wendland (2016). "Screening of pure fluids as alternative refrigerants." 29(2): 260-269.
- Saravanan, A. L., R. S. Murugan and D. M. Lal (2017). "Investigations on charge reduction strategies to use R290 as an alternative to R22 in a split air conditioner." 30(2): 126-138.
- Sarbu, I. (2014). "A review on substitution strategy of non-ecological refrigerants from vapour compression-based refrigeration, air-conditioning and heat pump systems." 46: 123-141.
- Sayed, A. R., M. El Morsi and N. A. Mahmoud (2017). "Thermodynamic analysis of a simple refrigeration cycle using hydrocarbon refrigerants as substitute to R22." 2(2): 245-274.
- Shrivastava, A. P. and C. S. Chandrakishor (2016). "Evaluation of refrigerant R290 as a replacement to R22." 2(3): 739-747.
- Suwono, A. (2008). "Experience in conversion of various HCFC22 systems to hydrocarbon."
- Tanaka, I. R., B. Fajar, T. S. Utomo, E. Yohana and Mustaqim (2018). "Experimental Study Performance R22 AC Split Retrofitted With Propane." 159: 1-6.
- Taza, B. (2017). Razón de flujo de gas refrigerante en estado dinámico en un sistema de refrigeración por compresión de vapor Tesis, Universidad Nacional Centro de Peru

ANEXOS

Anexo 1. Bomba de vacío. Flujo 4 CFM (113,21 l/min). Marca ROBINAIR. Modelo SPX. País. Estados Unidos de América. Utilizada para evacuar vapores remanentes de R22 antes de cargar con R290..



Anexo 2. Medición de la humedad relativa y la velocidad del aire de impulsión.



Anexo 3. Multímetro para medir parámetros eléctricos de la instalación



Anexo 4. Psicrometro para medir la humedad relativa del aire de impulsión y aspiración del aire.





Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Echeverría Parra Ricardo Xavier** con C.C: 0908414915 autor del trabajo de titulación: **Reconversión del R22 por R290 en acondicionador de aire tipo ventana para evaluar su razón de eficiencia energética en la ciudad de Guayaquil**, previo a la obtención del título de **Magíster en Electricidad con Mención Energías Renovables y Eficiencia Energética** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 18 de noviembre de 2022

f.

Nombre: **Echeverría Parra Ricardo Xavier**

C.C: **0908414915**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TEMA Y SUBTEMA:	Reconversión del R22 por R290 en acondicionador de aire tipo ventana para evaluar su razón de eficiencia energética en la ciudad de Guayaquil.		
AUTOR	Ricardo Xavier Echeverría Parra.		
REVISOR/TUTOR	Ing. Gustavo Mazzini Muñoz, Mgs; Ing. Diana Bohórquez Heras, Mgs; Ing. Bayardo Bohórquez Escobar Msc		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
CARRERA:	Maestría en Electricidad		
TITULO OBTENIDO:	Magister en Electricidad con Mención Energías Renovables y Eficiencia Energética.		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	18 de noviembre del 2022	No. PÁGINAS:	DE 69
ÁREAS TEMÁTICAS:	Ingeniería térmica, Climatización		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	<i>Refrigerantes, Ahorro Energético, Reconversión, Refrigeración, Climatización, Medio Ambiente.</i>		
RESUMEN/ABSTRACT: En el trabajo se realiza una importante revisión de bibliografía científica actualizada, que permite resumir los aspectos más importantes en cuantos términos, conceptos y procedimientos utilizados para la reconversión de equipos de climatización. Se describen las propiedades fundamentales de los refrigerantes y en particular del R22 y R290 por ser los fluidos utilizados en esta investigación. Se selecciona e instrumenta un aire acondicionado tipo ventana con R22 y se reconvierte a R290 describiéndose el procedimiento que se aplica. Se evalúa en condiciones de operación reales en la ciudad de Guayaquil, se registrarán los parámetros de funcionamiento y se calculan los indicadores de desempeño principales tales como, potencia eléctrica demandada, capacidad frigorífica y razón de eficiencia energética para compararlos antes y después de la reconversión. Como resultado se obtuvo una ligera disminución de la capacidad frigorífica en 1,6%, una disminución de 5,75% de la potencia eléctrica demandada y un incremento de la razón de eficiencia energética de 4,85%. Demostrándose la factibilidad de las ventajas de la reconversión desde el punto de vista energético y ambiental.			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +59397543297	E-mail: ing.ricardoecheverria@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo		
	Teléfono: 0995147293		
	E-mail: celso.bohorquez@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			