



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**IMPLEMENTACIÓN DE GASES REFRIGERANTES NATURALES HC EN
SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN COMO SUSTITUTO ECOLÓGICO DEL R- 22**

Byron Guillermo Sosa Milián

Asesorado por el Ing. Jorge Mario Muñoz Paz

Guatemala, julio de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE GASES REFRIGERANTES NATURALES HC EN
SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN COMO SUSTITUTO ECOLÓGICO DEL R- 22**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

BYRON GUILLERMO SOSA MILIÁN

ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO MUÑOZ PAZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, JULIO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

IMPLEMENTACIÓN DE GASES REFRIGERANTES NATURALES HC EN SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN COMO SUSTITUTO ECOLÓGICO DEL R- 22

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 02 de abril de 2014.



Byron Guillermo Sosa Milián

Ingeniero
Julio César Campos Paiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ing. Campos:

Respetuosamente me dirijo a usted, con el propósito de informarle, que luego de haber revisado el trabajo de graduación titulado:

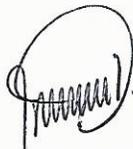
**IMPLEMENTACIÓN DE GASES REFRIGERANTES NATURALES HC EN SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN
COMO SUSTITUTO ECOLOGICO DEL R-22**

El cual fue presentado por el estudiante BYRON GUILLERMO SOSA MILIÁN, y después de haber realizado las correcciones pertinentes, considero que cumple con los objetivos que le dieron origen.

Por lo tanto, hago de su conocimiento, que en mi opinión, dicho trabajo llena los requisitos necesarios para ser sometido a discusión en su examen General Público y recomiendo su aprobación para el efecto.

Atentamente,

Jorge Mario Muñoz Paz
Ing. Mecánico Industrial
Col. 5396



Ing. Jorge Mario Muñoz Paz
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado No. 5396



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.296.2014

El Coordinador del Área Térmica, de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado **IMPLEMENTACIÓN DE GASES REFRIGERANTES NATURALES HC EN SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN COMO SUSTITUTO ECOLÓGICO DEL R-22**. Del estudiante **Byron Guillermo Sosa Millán**, recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Coordinador del Área Térmica
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, Noviembre de 2014.



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecánica.209.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Térmica, del trabajo de graduación titulado **IMPLEMENTACIÓN DE GASES REFRIGERANTES NATURALES HC EN SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN COMO SUSTITUTO ECOLÓGICO DEL R-22** del Estudiante **Byron Guillermo Sosa Milián**, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

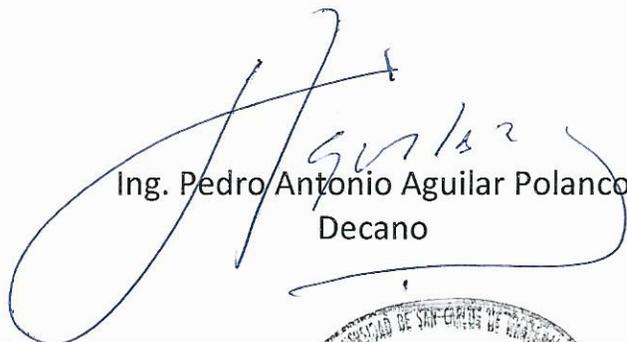


Guatemala, julio de 2015



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE GASES REFRIGERANTES NATURALES HC EN SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN COMO SUSTITUTO ECOLÓGICO DEL R-22**, presentado por el estudiante universitario: **Byron Guillermo Sosa Milián**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, 28 de julio de 2015

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

**Mi Dios, mi señor
Jesucristo**

Por guiar mi caminar.

Mis padres

Byron René Sosa y María del Carmen Milián, por su apoyo, amor y consejos.

Mis hermanas

Lourdes Sosa y Jennifer Sosa, por su compañía en esta aventura.

Mis amigos

Por el compañerismo, el tiempo y el apoyo compartido.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de
Guatemala** Por contribuir con mi formación académica.

**Facultad de
Ingeniería, Escuela
Ingeniería Mecánica** Por la excelente formación profesional.

Ing. Jorge Mario Muñoz Por su asesoría y apoyo.

**Ing. Jorge Pacheco y
su empresa Ecofreezer
Natural Refrigerants** Por su apoyo, consejos y amistad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	XI
OBJETIVOS.....	XIII
Justificación.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Refrigerantes	1
1.2. Hidroclorofluorocarbonos (HCFC)	2
1.2.1. Historia.....	2
1.2.2. Estructura química	3
1.3. Refrigerante R-22	4
1.3.1. Propiedades del R-22	5
1.3.2. Aplicaciones.....	7
1.3.3. Lubricación	8
1.4. Elementos causantes de agotamiento de ozono	10
1.5. Elementos causantes de incremento en efecto invernadero	12
2. TRATADOS Y LEGISLACIÓN.....	15
2.1. Tratados Montreal y Kioto.....	15
2.2. Aplicación de tratados en Guatemala	17
2.3. Leyes ambientales reguladoras en Guatemala	18
2.3.1. Decreto número 68-86.....	18
2.3.2. Decreto número 34-89.....	18
2.3.3. Decreto número 110-97	19

2.4.	Ministerio de ambiente y recursos naturales (MARN)	20
3.	SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO	21
3.1.	Elementos que forman un sistema de aire acondicionado	21
3.2.	Funcionamiento de las partes	21
3.2.1.	Compresor.....	21
3.2.2.	Condensador	22
3.2.3.	Evaporador	22
3.2.4.	Válvula de expansión	22
3.3.	Ciclo de refrigeración	23
3.3.1.	Evaporación del refrigerante	24
3.3.2.	Condensación del refrigerante	25
3.3.3.	Relaciones de refrigerante y aceite lubricante.....	25
4.	REFRIGERANTE NATURAL ECOFREEZER 22.....	29
4.1.	Propiedades	29
4.1.1.	Punto normal de ebullición	30
4.1.2.	Presión de saturación.....	31
4.1.3.	Calor latente de vaporización	32
4.1.4.	Densidad del líquido	33
4.2.	Inflamabilidad	34
4.3.	Capacidades	35
4.3.1.	Capacidad volumétrica	36
4.4.	Lubricación	37
4.4.1.	Lubricantes minerales	37
4.4.2.	Lubricantes sintéticos tipo alquilbenceno	38
4.4.3.	Lubricantes sintéticos tipo polioléster	38
4.5.	Buenas prácticas.....	39

5.	APLICACIÓN DE REFRIGERANTES NATURALES EN EQUIPOS DE CLIMATIZACIÓN.....	41
5.1.	Procedimientos de aplicación del Ecofreezer 22	41
5.2.	Equipo utilizado para la aplicación.....	42
5.2.1.	Recuperadora de refrigerante	42
5.2.2.	Manómetros de presión	43
5.2.3.	Termómetros	43
5.3.	Medición de resultados del Ecofreezer 22	44
5.3.1.	Análisis y comparación de resultados.....	44
5.3.1.1.	Cálculo de consumo energético en condiciones iniciales	44
5.3.1.2.	Cálculo de consumo energético en condiciones finales, Ecofreezer 22	46
5.3.1.3.	Comparación de resultados en ahorro energético.....	47
5.4.	Comparación de diagramas de Mollier para cada refrigerante ..	48
5.4.1.	Valores de rendimiento de refrigerantes	52
5.4.1.1.	Valores de rendimiento R-22	52
5.4.1.2.	Valores de rendimiento Ecofreezer 22.....	54
5.5.	Aplicación refrigerante Ecofreezer 22 en equipo tipo enfriamiento/calefacción (Inverter).....	57
5.5.1.	Prueba y sustitución en equipo Inverter modo enfriamiento	58
5.5.1.1.	Comparación Diagramas de Mollier prueba equipo Inverter, modo enfriamiento	60
5.5.1.2.	Valores de rendimiento R-22 (enfriamiento).....	63

5.5.1.3.	Valores de rendimiento Ecofreezer 22 (enfriamiento)	64
5.5.2.	Prueba y sustitución en equipo Inverter, modo calefacción	66
5.5.2.1.	Comparación diagramas de Mollier, prueba equipo Inverter, modo calefacción	69
5.5.2.2.	Valores de rendimiento R-22 (calefacción).....	72
5.5.2.3.	Valores de rendimiento Ecofreezer 22 (calefacción)	73
5.6.	Riesgos y medidas de seguridad	76
5.6.1.	Metodologías y prácticas utilizadas	76
5.6.1.1.	Recuperación	76
5.6.1.2.	Reciclado.....	77
5.6.1.3.	Reproceso	77
5.6.1.4.	Retroadaptación o <i>retrofit</i>	77
5.6.1.5.	<i>Drop-In</i>	78
CONCLUSIONES.....		79
RECOMENDACIONES		81
BIBLIOGRAFÍA.....		83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Envase del R-22	4
2.	Gráfica de presiones del R-22	7
3.	Presión de saturación del refrigerante Ecofreezer 22 y el refrigerante R-22 <i>versus</i> temperatura	32
4.	Calor latente de vaporización <i>versus</i> temperatura de saturación	33
5.	Densidad de los compuestos en fase líquida a diferentes temperaturas	34
6.	Capacidad volumétrica del Ecofreezer 22 en relación al R-22	36
7.	Equipo exclusivamente para recuperación	42
8.	Manómetros de presión	43
9.	Diagrama de Mollier, prueba en R-22	50
10.	Diagrama de Mollier, prueba en Ecofreezer 22	51
11.	Diagrama de Mollier, prueba equipo Inverter R-22, modo enfriamiento	61
12.	Diagrama de Mollier, prueba equipo Inverter Ecofreezer 22, modo enfriamiento	62
13.	Diagrama de Mollier, prueba equipo Inverter R-22, modo calefacción	70
14.	Diagrama de Mollier, prueba equipo Inverter Ecofreezer 22, modo calefacción	71

TABLAS

I.	Química del R-22 y algunos HCFC más utilizados	3
II.	Propiedades del refrigerante R-22.....	5
III.	Relaciones entre un aceite mineral y algunos refrigerantes	9
IV.	PAO de algunas SAO	11
V.	PAO y PCG de gases refrigerantes	13
VI.	Lubricantes apropiados para varios refrigerantes.....	26
VII.	Valores ambientales críticos y tiempos de vida atmosféricos de diversos gases refrigerantes.....	30
VIII.	Datos de punto de ebullición normal y valores críticos para el Ecofreezer 22 <i>versus</i> R-22	31
IX.	Código de clasificación de riesgos NFPA para Ecofreezer 22.....	35
X.	Condiciones iniciales equipo de prueba para sustitución Ecofreezer 22	44
XI.	Condiciones equipo de prueba con refrigerante natural.	46
XII.	Valores de rendimiento R-22	54
XIII.	Valores de rendimiento Ecofreezer 22.....	56
XIV.	Condiciones equipo de prueba con R-22, modo enfriamiento	58
XV.	Condiciones equipo de prueba con Ecofreezer 22, modo Enfriamiento.....	59
XVI.	Condiciones equipo de prueba con R-22, modo calefacción.....	67
XVII.	Condiciones equipo de prueba con Ecofreezer 22, modo calefacción.....	68

GLOSARIO

Antropogénico	Efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana.
Calor latente	Es el calor que sin afectar a la temperatura es necesario adicionar o sustraer a una sustancia, para el cambio de su estado físico.
Calor sensible	Es el calor empleado en la variación de la temperatura de una sustancia, cuando se le comunica o sustrae calor.
Cambio climático	Los cambios ambientales de alcance planetario.
Conducción	Transmisión de calor a través de un sólido.
Convección	Transferencia de calor efectuada por medio de la circulación de un vapor o líquido.
COP	Coeficiente de desempeño es la relación existente entre el calor generado o consumido por un sistema con el trabajo que se le administra al sistema.

Efecto invernadero	Fenómeno que se caracteriza por la elevación de la temperatura ambiental del planeta a causa de que por un exceso en la acumulación de gases en la atmosfera no es posible el retorno o reflejo de la radiación solar.
GEI	Gases de efecto invernadero, gases que atrapan el calor de la Tierra, contribuyendo así al calentamiento global del planeta.
Higroscópico	Propiedad de algunas sustancias de absorber y exhalar la humedad según el medio en que se encuentran.
Miscible	Fluido capaz de mezclarse con otros para formar sustancias homogéneas.
PAO	Potencial de agotamiento del ozono, número que se refiere a la cantidad de agotamiento del ozono causada por una sustancia. Relación de los efectos sobre el ozono de un producto químico en comparación con el impacto de una masa similar de CFC-11.
PEN	Punto ebullición normal, temperatura a la cual la presión de vapor del líquido es igual a una atmósfera.

PC	Presión crítica, característica de cualquier sustancia, que define el campo en el que esta puede transformarse en vapor en presencia de un sólido.
PCG	Potencial de calentamiento global.
Proceso isotérmico	La temperatura del gas se mantiene constante, esto se logra manteniendo el gas en contacto con una fuente externa de calor.
Proceso adiabático	Se produce una caída de presión sin que se efectúe ningún trabajo.
Proceso isoentrópico	Se suponen nulas las pérdidas de transmisión de calor, así como los efectos producidos por los rozamientos.
Punto de ebullición	Temperatura a la que un líquido empieza a hervir a una presión dada.
Punto de floculación	Temperatura a la cual el componente parafínico de un aceite mineral se solidifica.
Punto de inflamación	Temperatura a la que un líquido (bajo presión normal del aire) flamea brevemente al entrar en contacto con una llama (ignición externa), pero no sigue ardiendo automáticamente.

Refrigerante	Compuesto químico o natural utilizado en los sistemas de refrigeración para producir el cambio de temperatura que se desea obtener.
Serpentín	Componente en la parte de un sistema de aire acondicionado, tanto en el evaporador y condensador que funciona como intercambiador de calor.
SAO	Sustancias agotadoras de la capa de ozono.
TC	Temperatura crítica es la temperatura límite por encima de la cual un gas miscible no puede ser licuado por compresión. Por encima de esta temperatura no es posible condensar un gas aumentando la presión.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se exponen temas acerca de refrigeración, ecología y ahorro energético. Tomando como punto principal la sustitución del gas refrigerante R-22, utilizado actualmente en una gran variedad de equipos de climatización, pudiendo obtener resultados favorables tanto para el medio ambiente como para el económico.

Es por medio de refrigerantes ecológicos, conocidos como hidrocarburos (HC), como se logra la sustitución exitosa de los gases refrigerantes hidroclorofluorocarbonos (HCFC) en equipos de climatización de expansión directa. Logrando desplazar completamente la implementación de HCFC, que tanto contribuyen al calentamiento global, y desde 1990 han sido restringidas en producción y reducidas en utilización por el Protocolo de Montreal.

Se detallan los resultados obtenidos tras la implementación de refrigerantes naturales en equipos estándar, que originalmente funcionan con R-22 como fluido refrigerante, resalta el ahorro en consumo de energía eléctrica, ya que el refrigerante natural utilizado, conocido como Ecofreezer 22, posee similares características refrigerantes que el HCFC, pero a causa de que su estructura molecular es natural, cuenta con mejor estabilidad térmica, haciéndolo que posea insuperables propiedades físicas y químicas que hacen al sistema funcionar con mayor eficiencia y con presiones de trabajo mucho menores, obteniendo como consecuencia un menor consumo energético.

Con esta actualización ambiental en equipos de climatización, se logra un avance en la lucha contra la eliminación de sustancias que agotan la capa de ozono, y que contribuyen al cambio climático, ya que los refrigerantes naturales poseen mucho menor tiempo de vida en la atmósfera y un índice de potencial de agotamiento de ozono casi imperceptible.

OBJETIVOS

General

Dar a conocer la aplicación de refrigerantes naturales HC en el país, en equipos de climatización, mediante la sustitución específica del R-22, con base en resultados comprobables donde se obtienen beneficios como ahorro energético y alta eficiencia de trabajo. Esto en respuesta a la búsqueda e implementación de refrigerantes con menor impacto ambiental.

Específicos

1. Demostrar mediante la aplicación del refrigerante natural el aumento en la eficiencia de trabajo que estos pueden desarrollar en un equipo climatizador.
2. Resolver, principalmente interrogantes, a través de la explicación de qué es un refrigerante HC, sus propiedades, condiciones de trabajo y manejo de ellos.
3. Conocer los beneficios, tras el análisis de los resultados, en la aplicación del refrigerante natural en los equipos de climatización.
4. Romper paradigmas acerca del funcionamiento de un equipo de expansión directa que utiliza un hidrocarburo con propiedades de inflamabilidad, como refrigerante mediante aplicaciones reales en la industria.

5. Proveer de un documento que contenga información acerca de la implementación de refrigerantes naturales HC, como refrigerantes sustitutos, en equipos de climatización y refrigeración en Guatemala.

Justificación

La razón principal del presente trabajo consiste en la presentación de una nueva alternativa en el campo de la refrigeración y climatización de aire, mucho más amigable con el ambiente por no provocar contaminación alguna, ni contribuir al cambio climático, obteniendo adicionalmente, un ahorro considerable de costos por concepto de mantenimiento y consumo de energía eléctrica.

Se trata de la implementación de refrigerantes naturales (HC) como sustitutos ecológicos de los refrigerantes actualmente utilizados en el país (HC, HCFC y HFC), comprobando todas sus ventajas mediante pruebas y resultados reales, presentando una mejor eficiencia de trabajo y un ahorro energético notable en equipos de refrigeración y aire acondicionado de expansión directa, los cuales son utilizados tanto en la industria como en ambientes domiciliarios.

La capacidad de demostrar que, cuando sus aplicaciones y procedimientos de instalación se realizan bajo las normas de seguridad adecuadas y ambientes controlados, sus propiedades de inflamabilidad no representan ningún peligro como la sociedad cree.

Las aplicaciones de los refrigerantes naturales son muchas, sin embargo, el enfoque será la sustitución directa del refrigerante 22 utilizado comúnmente

en equipos de climatización y acondicionamiento de aire, contando con el apoyo de la empresa guatemalteca Ecofreezer Natural Refrigerants, aplicando en este caso el refrigerante natural Ecofreezer 22 como sustituto ecológico y autosustentable. Se cuenta con los recursos necesarios tanto bibliográficos como prácticos, ya que poseen la experiencia de trabajar y aplicar estos procedimientos en sistemas de refrigeración y climatización de aire que originalmente funcionan con el refrigerante R-22, los cuales se han sometido a pruebas de rendimiento y se han obtenido resultados reales de alta eficiencia como de una drástica disminución en el consumo eléctrico de estos equipos en su funcionamiento.

La aplicación de refrigerantes naturales, se da en respuesta a los Protocolos de Montreal y de Kioto, en su afán de aminorar la producción y utilización de productos que contaminan la atmósfera. La importancia de verificar el seguimiento que Guatemala está dando en el ámbito legislativo a estos tratados, como consumidor de estos productos, en cumplimiento a los acuerdos en los que el país se encuentra incluido.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, los sistemas de aire acondicionado han mostrado una gran evolución y perfeccionamiento para brindar al ser humano el máximo confort en el ambiente donde desarrolla sus diferentes actividades.

Como consecuencia a la evolución, estos sistemas de climatización han presentado cambios en los gases refrigerantes que utilizan como fluido de trabajo; debido a los elementos químicos que conforman dichos refrigerantes, es que actualmente existe una creciente contaminación ambiental.

Los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) encabezan la lista de las SAO (sustancias agotadoras de ozono) por su contenido de cloro (Cl) y son clasificados también, como potentes gases de invernadero y culpables directos del aumento del cambio climático en el planeta.

Esto ha dado como consecuencia acuerdos y tratados para eliminar el uso de estas sustancias en los países en desarrollo. Los Protocolos de Montreal y de Kioto, en busca de erradicar las sustancias que agotan la capa de ozono, acuerdan la eliminación de producción e importación de productos químicos que tienen potencial de calentamiento atmosférico y todos aquellos que son catalogados como gases de efecto invernadero.

En respuesta a la necesidad de obtener refrigerantes con elementos que sean amigables con el ambiente y en sustitución a los refrigerantes tradicionales, en el caso de los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), se han encontrado sustitutos que tengan un potencial cero de agotamiento del ozono y

un reducido (prácticamente nulo) potencial de calentamiento atmosférico; se presenta la ventaja de utilizar mezcla de gases naturales hidrocarburos (HC) que no dañan la capa de ozono.

El uso de refrigerantes naturales HC representa una ventaja al medio ambiente debido a su reducido valor de potencial de calentamiento atmosférico con respecto a los refrigerantes CFC, HFC y HCFC. En cuanto a lo operacional, se han realizado diversas investigaciones, en donde las capacidades caloríficas de los compuestos hidrocarburos (HC) han sido comparadas con los CFC, HFC y HCFC, teniendo resultados satisfactorios para los HC.

Los gases refrigerantes naturales HC aplicados en el país por Ecofreezer Natural Refrigerants, han demostrado tener un resultado satisfactorio, como sustituto ecológico del R-22. Sus capacidades caloríficas han sido comparadas con los HFC, quienes además de contar con un alto potencial de calentamiento global, presentan un mayor consumo energético en la mayoría de casos.

Se presenta la aplicación de refrigerantes naturales (HC) en equipos de climatización, como alternativa a problemas tanto ecológicos como económicos, demostrando altos índices de eficiencia que pueden alcanzar en dichos equipos.

1. ANTECEDENTES

1.1. Refrigerantes

Son todos aquellos fluidos que actúan como agentes de enfriamiento, conduciendo la energía calorífica desde el nivel de baja temperatura, al nivel de alta temperatura, donde pueden ceder su calor. Estos fluidos, si son utilizados en un sistema de compresión, tienen la propiedad de absorber calor al evaporarse a temperaturas y presiones bajas, y ceder calor al condensarse a temperaturas y presiones mayores.

“Estos fluidos son vitales en cualquier sistema de refrigeración mecánica. 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, así será su aplicación comercial”¹.

En el ciclo ideal, el rendimiento de todos los refrigerantes es el mismo dentro de ciertos límites de temperaturas, pero en la realidad existen variaciones, las cuales se deben al movimiento del flujo en un solo sentido a través de las válvulas de expansión y el aumento relativo de la compresión en la región de sobrecalentamiento.

Se identifican por números después de la letra R, que significa refrigerante. El sistema de identificación ha sido estandarizado por la American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE).

¹ ARMAS ECHEVERRÍA, Miguel Ángel. *Sistemas alternativos de refrigeración con bajo impacto en el ambiente*. 2009. p. 20.

Los refrigerantes tradicionales aplicados a la refrigeración doméstica, hasta mediados de 1990, fueron los clorofluorocarbonos (CFC). El uso de estos compuestos es una de las principales causas del agotamiento de la capa de ozono, por ello, su producción es controlada y limitada por etapas hasta el cese de la misma, a través de los términos del Protocolo de Montreal publicado en el 2000.

1.2. Hidroclorofluorocarbonos (HCFC)

Los hidroclorofluorocarbonos son compuestos formados por átomos de cloro, flúor, hidrógeno y carbono. Aunque son destructores de la capa de ozono, han sido introducidos temporalmente como sustitutos de los CFC, ya que su potencial de agotamiento del ozono (PAO) es menor.

1.2.1. Historia

A fines de 1920 fue desarrollada una familia de refrigerantes con características excepcionales. Una de las principales cualidades era la de su baja toxicidad, esto redundó en la rápida aceptación de uno de los refrigerantes, el cual sería utilizado en sistemas de climatización.

La principal fuente de contaminación de estas sustancias son los equipos de refrigeración, tanto en estado operativo como al final de su vida útil. También se encuentran presentes en aerosoles, pinturas, barnices, entre otros. No existen fuentes naturales de contaminación, ya que se trata de sustancias sintetizadas por el hombre. Los HCFC se usaron como sustitutos de los CFC debido a su menor toxicidad y persistencia en el medio ambiente, pero aun así son sustancias cloradas destructoras de la capa de ozono.

1.2.2. Estructura química

El análisis de las propiedades químicas de los refrigerantes es el que indica las características que este pueda tener. Por ejemplo, podría indicar con qué tipo de químicos o elementos, ya sea de otro ambiente o del mismo aire natural, este es capaz de reaccionar. A través de la estructura química se establecen cuáles son los resultados de las reacciones de los refrigerantes con otras sustancias.

Estos elementos han sido motivo de gran debate en los foros que tratan acerca de la protección ambiental, ya que forman parte de la gran gama de químicos que causan la reducción de la capa de ozono.

Tabla I. **Química del R-22 y algunos HCFC más utilizados**

Refrigerante	Composición (nº átomos)	Fórmula química	Nombre químico
	C / H / F / Cl		
R-22	1 / 1 / 2 / 1	CHClF_2	clorodifluorometano
R-123	2 / 1 / 3 / 2	CHCl_2CF_3	2,2-dicloro -1,1,1- trifluoroetano
R-124	2 / 1 / 4 / 1	CHClF-CF_3	1-cloro-1,2,2,2- tetrafluoroetano.
141b	2 / 3 / 1 / 2	$\text{CCl}_2\text{F-CH}_3$	1,1-dicloro-1-fluoroetano
142b	2 / 3 / 1 / 1	CClF-CH_3	1-cloro-1,1difluoroetano

Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno español. *Registro estatal de emisiones y fuentes contaminantes*. p. 12.

1.3. Refrigerante R-22

“Es un hidroc fluorocarbono (HCFC) ampliamente usado en todos los sectores de la refrigeración y climatización. Tiene un alto potencial de agotamiento del ozono (PAO) y, a pesar de poseer excelentes propiedades termodinámicas que hacen que este refrigerante sea idóneo para aplicaciones de alta y media temperatura en instalaciones fijas, transporte refrigerado y aire acondicionado, es catalogada como una las sustancias que más contribuyen al calentamiento global por efecto invernadero”².

Se restringió su utilización como refrigerante puro en la recarga de equipos e instalaciones existentes hasta el 2010. A partir de esta fecha está prohibida su utilización, y únicamente estará permitido el uso de R-22 reciclado hasta el 2015. Actualmente existen sustitutos menos ecológicos que el R-22, como: el R-417A, R-422A y R-422D, teniendo desventajas directas como altas presiones de funcionamiento, altas capacidades volumétricas y, por ende, un mayor consumo energético de los equipos, sin mencionar la alta contribución al calentamiento global y al cambio climático.

Figura 1. Envase del R-22



Fuente: R-22. www.climatemp.es. Consulta: abril de 2014.

² Gases refrigerantes, ficha técnica R-22. [en línea]. <<http://www.climatemp.es>>.

1.3.1. Propiedades del R-22

Es un gas incoloro, inodoro y no inflamable en condiciones normales. Es moderadamente soluble en agua y con un coeficiente de partición octanol/agua relativamente bajo, lo que indica un índice potencial de bioacumulación prácticamente nulo. Se utiliza en gran proporción como un intermediario químico, en la refrigeración y en equipos de aire acondicionado.

Tabla II. Propiedades del refrigerante R-22

<i>Número ASHRAE</i>	R22
<i>Peso molecular</i>	Peso molecular: 86.468 g/mol
<i>Temperatura de congelación</i>	-160 °C
<i>Fase sólida</i>	Punto de fusión: -157,42 °C Calor latente de fusión (1,013 bar, en el punto de fusión): 47.685 kJ/kg
<i>Fase líquida</i>	Densidad del líquido (1.013 bar en el punto de ebullición): 1409,172 kg/m ³ Equivalente líquido/gas (1,013 bar y 15°C (59 °F)): 379,1 vol/vol Punto de ebullición (1,013 bar): -40,81°C Calor latente de vaporización (1,013 bar en el punto de ebullición): 233,75 KJ/kg

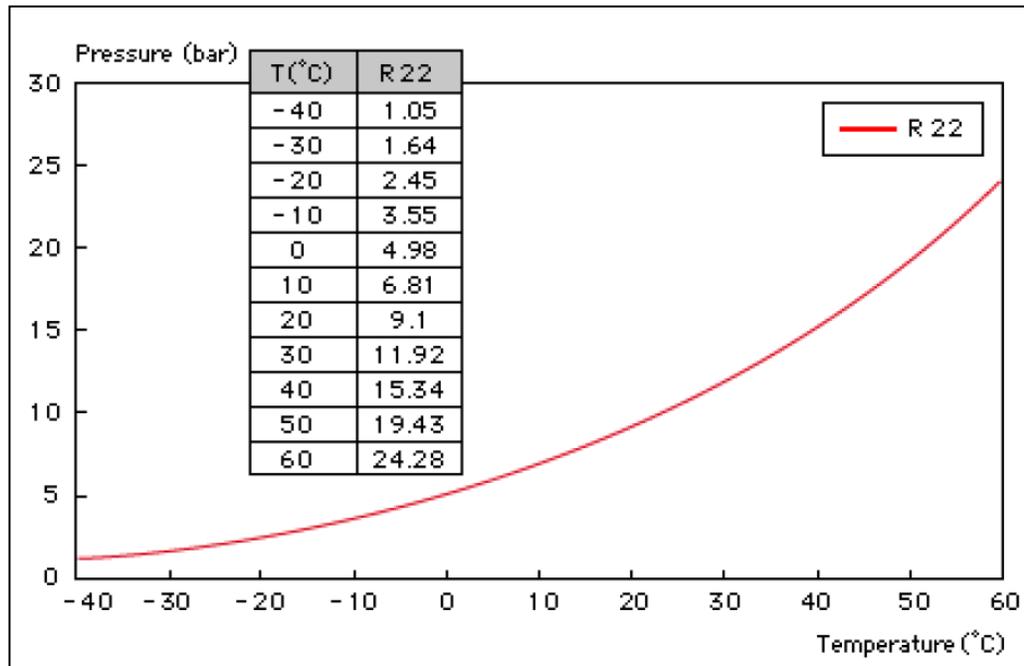
Continuación de la tabla II.

<i>Punto crítico</i>	<p>Temperatura crítica: 96,15 °C</p> <p>Presión crítica: 49,9 bar</p> <p>Densidad crítica: 523,842 kg/m³</p>
<i>Punto triple</i>	<p>Temperatura del punto triple: -157,42 °C</p> <p>Presión del punto triple: 2.547E-06 bar</p>
<i>Fase gaseosa</i>	<p>Densidad del gas (1,013 bar en el punto de ebullición): 4,7039 kg/m³</p> <p>Densidad del gas (1,013 bar y 15°C (59°F)): 3,7182 kg/m³</p> <p>Factor de compresibilidad (Z) (1,013 bar y 15°C (59°F)): 0,98352</p> <p>Gravedad específica (aire = 1): 3</p> <p>Volumen específico (1,013 bar y 21°C (70°F)): 0,2788 m³/kg</p> <p>Capacidad calorífica a presión constante (Cp) (1,013 bar y 25°C (77°F)): 0,0572 kJ/(mol.K)</p> <p>Capacidad calorífica a volumen constante (Cv) (1,013 bar y 25°C (77°F)): 0,0483 kJ/(mol.K)</p> <p>Razón de calores específicos (Gama:Cp/Cv) (1,013 bar y 25°C (77°F)): 1,1847</p> <p>Viscosidad (1,013 bar y 0°C (32°F)): 1,1533E-04 Poise</p> <p>Conductividad térmica (1,013 bar y 0°C (32°F)): 9,15 mW/(m.K)</p>
<i>Misceláneos</i>	<p>Solubilidad en agua (1 bar y 25°C (77°F)): 0,30%</p>

Fuente: *Enciclopedia de los gases*. www.encyclopedia.airliquide.com.

Consulta: abril de 2014.

Figura 2. Gráfica de presiones del R-22



Fuente: Gases refrigerantes, ficha técnica R-22. www.climatemp.es.

Consulta: abril de 2014.

1.3.2. Aplicaciones

El R-22 es un ejemplo de un refrigerante HCFC, que se ha utilizado en todo el mundo por muchos años. La mayoría de los equipos pequeños de aire acondicionado, por ejemplo, el tipo ventana o el sistema dividido (minisplit), utilizan R-22.

Este refrigerante es similar al R-12 en sus características; sin embargo, tiene presiones de saturación más altas para temperaturas equivalentes. Tiene un calor latente de evaporación mucho mayor y un volumen específico inferior.

Por lo anterior, tiene una capacidad de refrigeración mucho mayor que otros. Esto permite el uso de menor desplazamiento en el compresor y, en algunos casos, se utilizan compresores más pequeños para obtener resultados comparables con R-12.

Por sus características a bajas temperaturas de evaporación y alto índice de compresión, la temperatura del vapor R-22 comprimido es tan alta, que frecuentemente daña el compresor. Por tal motivo, se recomienda para sistemas de un solo paso.

1.3.3. Lubricación

“La miscibilidad del aceite y el refrigerante juega un papel muy importante en el diseño de los sistemas de refrigeración. La miscibilidad del aceite con el refrigerante se puede definir como la capacidad que tienen estos para mezclarse.

Aunque la función del aceite es lubricar las partes móviles del compresor, no se puede evitar que algo de aceite se vaya hacia el sistema junto con el refrigerante, aun cuando se cuente con un separador de aceite. Por lo tanto, hay dos partes del sistema donde esta relación es de interés: el cárter del compresor y el evaporador.

Esta miscibilidad tiene sus ventajas y desventajas. Las principales ventajas son: la facilidad relativa para retomar el aceite al compresor, y la lubricación de diferentes partes del sistema, como válvulas. Las desventajas son: la dilución del aceite en el cárter del compresor, disminución de la transferencia de calor en el evaporador, falta de lubricación y problemas de control.

En la tabla III se muestran las relaciones de solubilidad entre un aceite mineral y los refrigerantes. Algunos son parcialmente solubles y otros son insolubles. Los ejemplos son soluciones que contienen 10 por ciento en peso de aceite mineral³.

Tabla III. **Relaciones entre un aceite mineral y algunos refrigerantes**

Refrigerante No.	Solubilidad	Separación de dos capas líquidas (°C)	Posición de la capa de aceite
12	Miscible	-68	Arriba
22	Buena	-9	Arriba
30	Miscible	---	---
123	Miscible	---	---
134a	Pobre	---	---
170	Miscible	---	---
500	Miscible	---	Arriba
502	Regular	82	Arriba
717	No	---	Abajo
718	No	---	Abajo

Fuente: *Manual técnico Emerson. Capítulo 12, Refrigerantes*. Consulta: abril de 2014.

³ *Manual técnico Emerson. Capítulo 12, refrigerantes*, 2013. p. 158-159.

1.4. Elementos causantes de agotamiento de ozono

En el Protocolo de Montreal están listadas y clasificadas las sustancias que agotan la capa de ozono, entre las que se encuentran: los clorofluorocarbonos (CFC), halones, hidroc fluorocarbonos (HCFC) y bromuro de metilo; utilizadas como gases refrigerantes, propelentes de aerosoles, solventes industriales, sustancias extintoras de fuego, y la última utilizada como plaguicida. Estas son las tres categorías más importantes que actualmente se utilizan en mayores cantidades, siendo asimismo, las más dañinas.

Las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO) están compuestas de elementos químicos que tienen el potencial de reaccionar con las moléculas de ozono de la estratosfera. Las SAO son básicamente hidrocarburos clorados, fluorados y bromados:

- Clorofluorocarboos (CFC)
- Hidroc fluorocarbonos (HCFC)
- Halones
- Hidrobromofluorocarbonos (HBFC)
- Bromoclorometano
- Metilcloroformo
- Tetracloruro de carbono
- Bromuro de metilo

La habilidad que estas sustancias químicas tienen para agotar la capa de ozono, se conoce como potencial de agotamiento del ozono (PAO). A cada sustancia se le asigna un PAO relativo al CFC-11, cuyo PAO por definición tiene valor de 1.

Tabla IV. PAO de algunas SAO

Sustancia	PAO
CFC- 11	1,0
CFC- 12	1,0
Halon- 1301	10,0
Tetracloruro de carbono	1,1
HCFC- 22	0,055
HBFC- 22B1	0,74
Bromoclorometano	0,12
Bromuro de metilo	0,6

Fuente: SEMARNAT. Gobierno de México. *Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado*. p. 24.

En la mayoría de los países en desarrollo, el sector más grande que aún sigue empleando SAO es el de mantenimiento de equipos de refrigeración y aire acondicionado, donde los CFC y los HCFC se utilizan como refrigerantes en los sistemas de refrigeración.

Las SAO, también los emplea como: agentes espumantes en la fabricación de espumas, solventes de limpieza en la industria de la electrónica, propulsores en los productos en aerosol, esterilizantes, agentes para combatir el fuego, fumigantes para controlar pestes y enfermedades, y como materias primas.

La reducción de sustancias que agotan la capa de ozono en la atmósfera se está realizando a través del cierre de la producción en los países industrializados, a partir de 1990 y mediante compromisos, también en países en desarrollo que tenían alta producción.

1.5. Elementos causantes de incremento en efecto invernadero

“El equilibrio dinámico entre la creación y la descomposición de las moléculas de ozono depende de la temperatura, la presión, las condiciones energéticas y la concentración de las moléculas. El equilibrio se puede perturbar, por ejemplo, por la reacción de otras moléculas con las moléculas de ozono, produciendo la consecuente destrucción de estas últimas. Si este proceso de destrucción es rápido y la creación de nuevas moléculas de ozono es demasiado lento, como para reponer las moléculas destruidas, se perderá el equilibrio. Como resultado, disminuirá la concentración de las moléculas de ozono. De todas las capas que tiene la atmósfera, solo en la más baja, llamada troposfera, hay clima. Esta capa tiene algunas peculiaridades: en ella está contenida toda el agua atmosférica y, como la mitad del clima está constituido por la humedad en forma de nubes, precipitación, heladas, etc., en las capas superiores de la atmósfera no hay clima.

El efecto invernadero es un fenómeno atmosférico natural que permite mantener la temperatura del planeta, al retener parte de la energía proveniente del Sol. El aumento de la concentración de dióxido de carbono (CO_2), proviene del uso de combustibles fósiles, provocado la intensificación del fenómeno y el consecuente aumento de la temperatura global, el derretimiento de los hielos polares y el aumento del nivel de los océanos, ya que el calentamiento mayor se da en las latitudes altas.

Los gases traza (GT) de la atmósfera son numerosos, sobresaliendo el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O) y los clorofluorocarbonos (CFC). El metano es producido, principalmente por el ganado y los arrozales; el óxido nitroso, por las bacterias y fertilizantes. Los CFC son famosos porque destruyen

la capa de ozono (O3) estratosférica, que protege a la Tierra de la radiación ultravioleta, pero también son responsables del efecto invernadero”⁴.

Tabla V. **PAO y PCG de gases refrigerantes**

Refrigerante No. ASHRAE	Potencial de agotamiento de ozono*	Potencial de calentamiento global horizonte a 100 años**	Años de vida en la atmósfera***
CFCs			
R-11	1,000	4600	45
R-12	0,820	10600	100,0
R-13	1,000	14000	640,0
R-113	0,900	6000	85,0
R-114	0,850	9800	300,0
R-115	0,400	7200	1700,0
HCFCs			
R-22	0,034	1700	11,9
R-123	0,012	120	1,4
R-124	0,026	620	6,1
R-141b	0,086	700	9,3
R-142b	0,043	2400	19,0
HFCs			
R-23	0	12000	260,0
R-32	0	550	5,0
R-125	0	3400	29,0
R-134a	0	1300	13,8
R-143a	0	4300	52,0
R-152a	0	120	1,4

Fuente: SEMARNAT. Gobierno de México. *Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado*. p. 26.

⁴ SEMARNAT, *Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado*. México, 2006, p. 19-23.

2. TRATADOS Y LEGISLACIÓN

2.1. Tratados Montreal y Kioto

El 16 de septiembre de 1987, en la ciudad de Montreal, Canadá, 24 países y la Comunidad Económica Europea (CEE) firmaron el Protocolo de Montreal. Este acuerdo estableció las fechas y los programas para la eliminación de las sustancias agotadoras de la capa de ozono. Al reconocer el problema de naturaleza global, casi todos los países convocados a esa reunión, y que eran considerados como los mayores productores y consumidores de CFCs y halones en el mundo, firmaron el acuerdo.

En 1990, en la reunión de Londres, los Estados Unidos y otras 55 naciones firmaron el acuerdo que actualizó y reforzó las condiciones iniciales del protocolo. El programa para la eliminación de los CFCs se expandió y se agregó también la cláusula donde los HCFCs quedaron incluidos. En 1992, en la reunión de Copenhague, se hicieron otras revisiones y actualizaciones al protocolo.

El protocolo estipula que, cada parte presente un informe anual sobre su producción, importación y exportación de cada uno de los productos químicos que se ha comprometido a eliminar. Contiene disposiciones de carácter comercial que prohíbe a las partes comerciar con sustancias que agotan el ozono con entidades que no son partes. Disposiciones conexas, que nunca se han utilizado explícitamente para impedir el comercio, han contribuido a que el protocolo haya logrado una participación casi universal.

El Protocolo de Montreal se basa en el principio preventivo que permite a la comunidad mundial tomar medidas para tratar el principal problema ambiental.

El Protocolo de Kioto tiene su origen en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático que fue aprobado en la sede de las Naciones Unidas, en Nueva York, el 9 de mayo de 1992.

En diciembre de 1997 se celebró en Kioto, Japón, la tercera COP (Conferece of the Parties, por sus siglas en inglés). Este protocolo marca un hito histórico para que, por primera vez, los países industrializados aprueben objetivos cuantitativos de reducción de emisiones jurídicamente vinculantes.

La convención sobre el cambio climático busca la estabilización de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Reconoce que el sistema climático es un recurso compartido que puede verse dañado por todas las actividades que emiten dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero (GEI).

A través del protocolo de Kioto, los países se comprometen a lograr objetivos individuales para limitar o reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero.

2.2. Aplicación de tratados en Guatemala

La protección del medio ambiente y el uso sostenible de los recursos naturales, como patrimonio de toda la sociedad guatemalteca, es un objetivo estratégico nacional del gobierno. La preocupación por dar solución a los problemas ambientales, teniendo en cuenta los intereses de las futuras generaciones, así como el alto grado de prioridad que se ha dado a la conservación del medio ambiente y el ser humano, como centro del desarrollo sostenible, se evidencia en las diversas acciones legislativas e institucionales emprendidas.

En la actual crisis económica mundial, Guatemala ha identificado el ahorro y uso eficiente de la energía y la promoción del uso de fuentes renovables como temas centrales de la política nacional. El país signatario de los principales acuerdos multilaterales ambientales, participa en el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM/GEF) y en el Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal (FMPPM). Así también, en convenios internacionales ambientales, principalmente sobre diversidad biológica, la Convención Marco de naciones unidas sobre el cambio climático, así como otros convenios internacionales ratificados por Guatemala, como el Protocolo de Montreal (sobre las sustancias que agotan la capa de ozono).

Con vistas a orientar la colaboración al desarrollo a través del sistema de las Naciones Unidas, las áreas de cooperación previstas para el período 2010-2014 elaboran el Marco de Asistencia de las Naciones Unidas para el Desarrollo de Guatemala (UNDAF, por sus siglas en inglés).

Como efectos directos del UNDAF, para el 2014, se ha fortalecido la gestión ambiental, con la participación organizada de la población, existe un

mayor aprovechamiento de la energía renovable, con énfasis en las poblaciones más vulnerables a los riesgos climáticos de Guatemala.

2.3. Leyes ambientales reguladoras en Guatemala

Guatemala, en su afán de colaborar con el medio ambiente, y cumpliendo con los tratados en los que se encuentra incluida, ha presentado leyes y decretos que promueven la protección y mejoramiento de su medio y sus recursos naturales.

A continuación se detallan algunos decretos:

2.3.1. Decreto número 68-86

“Que la protección y mejoramiento del medio ambiente y los recursos naturales y culturales es fundamental para el logro de un desarrollo social y económico del país, de manera sostenida.

Guatemala aceptó la declaratoria de principios de las resoluciones de la histórica conferencia de las Naciones Unidas, celebrada en Estocolmo, Suecia, en el año de 1972, y en tal virtud, debe integrarse a los programas mundiales para la protección y mejoramiento del medio ambiente y la calidad de vida en lo que a su parte territorial corresponde”.

2.3.2. Decreto número 34-89

Que el Gobierno de la República de Guatemala es parte del Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono de fecha 22 de marzo de 1985.

En el artículo 1 se acepta y aprueba el Protocolo de Montreal relativo a las sustancias agotadoras de la capa de ozono, suscrito en Montreal el 16 de septiembre de 1987.

2.3.3. Decreto número 110-97

Que Guatemala es signataria del convenio de Viena para la protección de la capa de ozono, Decreto número 39-97, asimismo, del protocolo de Montreal, relativo a las sustancias agotadoras de la capa de ozono, Decreto número 34-89, ambos del Congreso de la República de Guatemala.

Que la capa de ozono se encuentra en franco deterioro, el cual si no se detiene traerá consecuencias lamentables para la población en general.

Que los clorofluorocarbonos son sustancias utilizadas en equipos de enfriamiento y refrigeración doméstica e industrial, así como propelentes de productos medicinales y los alcanos halogenados en productos contra incendios; ocasionando contaminación al ambiente, destrucción y adelgazamiento de la capa de ozono de la atmósfera.

En su artículo 3 se establece un calendario para la eliminación y sustitución gradual de las sustancias que agotan la capa de ozono, tal como fue aprobada en la octava Reunión de las partes del Protocolo de Montreal.

Año 2006: eliminación total de sustancias clorofluorocarbonos totalmente halogenados CFC.

Año 2015: eliminación total de hidroclorofluorocarbonos HCFC (21, 22, 31, línea 100 y línea 200)

2.4. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)

Es la entidad del sector público que le corresponde proteger los sistemas naturales que desarrollen y dan sustento a la vida, fomentando una cultura de respeto con la naturaleza, preservando y utilizando racionalmente los recursos naturales.

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) cuenta con capacidades para desarrollar de forma participativa, políticas, planes y estrategias nacionales que conduzcan a la adaptación al cambio climático y a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, y el cumplimiento del protocolo de Montreal con la reducción de sustancias que agotan la capa de ozono.

Este busca el cumplimiento del país con sus obligaciones de reporte y consumo de CFC conforme el Protocolo de Montreal relativo a las sustancias agotadoras de la capa de ozono. Trazando metas como la eliminación total del consumo de CFC en 2010 y el cumplimiento con el calendario de la eliminación de HCFC para Guatemala establecido en el Protocolo de Montreal.

3. SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO

3.1. Elementos que forman un sistema de aire acondicionado

Se les denomina sistemas de expansión seca o directa debido a que la evaporación del refrigerante se lleva a cabo a través de su recorrido por el evaporador, encontrándose este en estado de mezcla en un punto intermedio del sistema.

El equipo de refrigeración comprende de un compresor de gas movido por un motor eléctrico, un intercambiador de calor con una tubería en forma de zigzag llamado condensador, otro con tubería en forma de serpentín llamado evaporador y una válvula de expansión, todos interconectados por tuberías de cobre formando un circuito cerrado. En el interior de la tubería se introduce el gas refrigerante por medio de una válvula de acceso.

3.2. Funcionamiento de las partes

Los elementos que forman un equipo de climatización deben de tener un funcionamiento óptimo que garantice un buen acondicionamiento del aire en el lugar en donde será instalado.

3.2.1. Compresor

Tiene como función: comprimir un gas y elevar la presión del fluido de trabajo para que pueda ser aprovechado en un determinado proceso. El transporte del gas natural y otros gases, se hace por medio de tuberías.

3.2.2. Condensador

Tiene como función, en un circuito frigorífico, condensar el vapor del refrigerante proveniente del compresor. Extrae el calor que trae el refrigerante, descargándolo, ya sea en agua de circulación o al aire ambiente. Esta operación se lleva a cabo, en el caso de aire, utilizando ventiladores, los cuales son movidos o impulsados por motores eléctricos haciendo pasar aire a temperatura ambiente por el serpentín, extrayendo así el calor del refrigerante que circula por los tubos del serpentín.

3.2.3. Evaporador

Tiene la función de sustraer el calor sensible y latente del aire aspirado. Extrae el calor del recinto para confort humano o para el acondicionamiento de un cuarto de máquinas. Los serpentines hacen posible mantener la velocidad apropiada y la caída de presión del refrigerante dentro de los límites definidos.

Este dispositivo de distribución debe ser útil tanto para el líquido como para el vapor, debido a que la entrada de refrigerante es una mezcla de los dos. Cuando el aire del espacio a climatizar tiene una temperatura superior a la del refrigerante, se pierde calor y por lo tanto se enfría, con esto entrega la energía calorífica al fluido frigorífico, este llega a la temperatura de ebullición, con lo cual pasa del estado líquido al gaseoso, transformándose en vapor.

3.2.4. Válvula de expansión

Es un dispositivo de control de flujo, restringe el flujo que provoca la caída de presión del refrigerante y lo regula de acuerdo con la carga, y se usa en los evaporadores de expansión seca o directa.

Su función es mantener un sobrecalentamiento constante en la salida del evaporador, lo que admite tener el evaporador completamente lleno a cualquier carga y, además, evita la posibilidad de que entre líquido al compresor. También da lugar a la regulación del paso de refrigerante líquido desde un estado de presión más alto a otro más bajo, utilizando el método de expansión de un líquido a elevada presión a una mezcla de líquido y gas húmedo a baja presión, en la proporción exacta a la velocidad de evaporación en el evaporador.

3.3. Ciclo de refrigeración

El ciclo que se utiliza en refrigeración es el de Carnot invertido. Trabaja en forma totalmente reversible entre dos depósitos de calor; para que el ciclo sea totalmente reversible, todos los procesos deben ser internamente reversibles y todos los procesos de transferencia de calor se deben llevar a cabo de manera reversible.

Un ciclo de Carnot, que puede operar ya sea como un sistema de flujo estacionario o como un sistema cerrado, está compuesto por dos procesos isotérmicos reversibles y dos procesos adiabáticos reversibles.

Al trabajar el compresor eleva la presión del gas que llega caliente debido a la energía calorífica que tomó del recinto. Cuando el gas llega a valores de presión y temperatura prevista, le corresponde al gas pasar por el condensador a la fase líquida emitiendo calor latente de fusión. El condensador está provisto de aletas que transmiten el calor que pasa por las paredes de la tubería al aire. El fluido refrigerante pasa entonces, por la válvula de expansión, ya en el interior del recinto pierde presión. Al llegar al evaporador el gas está frío y sin presión, le corresponde volver a su estado gaseoso. Necesita calor latente de

evaporación. Este lo toma de la tubería de cobre que, por ello se enfría y este a su vez toma calor del aire, con ayuda de un ventilador se establece una corriente de aire caliente del recinto que pasa por el serpentín del evaporador. El gas llega caliente al compresor completando el circuito.

3.3.1. Evaporación del refrigerante

Proceso que da lugar en el evaporador, en donde el refrigerante hierve con el calor que se extrae del medio que lo rodea. Por lo general, el evaporador está arrollado en forma de embobinado, ida y vuelta o sobre sí mismo, varias veces.

En este proceso la velocidad es esencial, pues el refrigerante debe tener fuerza suficiente para vencer el rozamiento de las paredes del serpentín, a fin de evitar que se adhiera a las paredes una película de refrigerante y aceite lubricante. Mientras mayor es la superficie de conducción del calor desde el producto hasta el refrigerante en el evaporador, mayor será la transferencia posible de calor; al aumentar el área superficial de evaporador, se aumenta su capacidad.

Cuando el aire pasa por el serpentín de enfriamiento cede su calor y, por lo tanto se enfría. Al enfriarse se contrae, su volumen es menor y pesa más que un volumen igual de aire más caliente. Así se establecen las corrientes de convección de aire, que se llevan consigo el calor del recinto que se va a climatizar.

3.3.2. Condensación del refrigerante

En este proceso se lleva a cabo la condensación del líquido frigorífico que sale del compresor en el sistema de refrigeración. Se elimina del sistema la energía absorbida en el evaporador y el compresor.

El refrigerante circula a través de un serpentín y el aire pasa por el exterior de los tubos. El movimiento del aire es originado por efectos de convección natural, pudiendo colocar un ventilador para aumentar la velocidad de este con lo que se aumenta la capacidad. Por lo general, los condensadores por aire se instalan en el exterior.

3.3.3. Relaciones de refrigerante y aceite lubricante

Todos los equipos de refrigeración requieren de aceites altamente especializados y de alta calidad para proveer la lubricación necesaria al compresor. Algo del aceite circula constantemente en el sistema, junto con el refrigerante. La alta calidad del aceite es importante, ya que un cambio de aceite pudiera ser utilizado durante toda la vida útil del sistema.

El tipo particular de lubricante utilizado en el sistema de refrigeración, depende del refrigerante y aplicación del sistema, ya que el primero opera a diferentes presiones y temperaturas, el lubricante debe tener propiedades compatibles.

Los lubricantes se deben mezclar de una manera apropiada con el refrigerante, a esto se le llama miscibilidad del aceite. A medida que el aceite circula con el refrigerante, está presente en el evaporador y condensador del sistema. Si los dos fluidos se mezclan adecuadamente, el aceite es llevado de

regreso al depósito del compresor. Si el refrigerante y lubricante no se mezclan adecuadamente, problemas de operación pueden ocurrir, ya que el aceite puede acumularse en el condensador o evaporador. Aceite sin mezclar en el intercambiador de calor, puede reducir la tasa de transferencia de calor y reducir el flujo de refrigerante. También en aplicaciones de baja temperatura, el aceite se puede congelar cerca del dispositivo de expansión y causar problemas de operación”⁵.

Tabla VI. **Lubricantes apropiados para varios refrigerantes**

Tipo de refrigerante	Lubricante apropiado		
R-11		AB	MO
R-12	POE	AB	MO
R-22	POE	AB	MO
R-123		AB	MO
R-134a	POE, PAG*		
R-401A	POE	AB	
R-401B	POE	AB	
R-401C	POE	AB	
R-402A	POE	AB	MO
R-402B	POE	AB	MO

⁵ ROMÁN COYOY, Elder Rodolfo. *Impacto de los nuevos refrigerantes en equipos de aire acondicionado y refrigeración*. 2003. p. 93-94.

Continuación de la tabla VI.

R-403B	POE	AB	MO
R-404A	POE		
R-407A	POE		
R-407B	POE		
R-407C	POE		
R-410A	POE		
R-500	POE	AB	MO
R-502	POE	AB	MO
R-503	POE	AB	MO
R-507A	POE		
R-717			MO

Fuente: ALTHOUSE, Andrew. *Modern refrigeration and air conditioning*. p. 362.

*PAG: Usado principalmente en la industria automotriz. POE= polioléster.

AB= alquilbenceno. MO= aceite mineral. PAG= glicol poli alcalino.

4. REFRIGERANTE NATURAL ECOFREEZER 22

Los refrigerantes HC han sido aplicados desde 1867, y junto con el amoníaco fueron los más utilizados antes de la implementación de los refrigerantes químicos a partir de 1930. Los gases naturales son muy usados como agentes presurizadores en envases propelentes (insecticidas, aromatizadores, aerosoles, entre otros).

Hace 15 años la industria mundial de la refrigeración y el aire acondicionado comenzó a enfrentarse con la necesidad de una reconversión forzada, a causa de que los refrigerantes utilizados (CFC, HFC, HCFC) resultan dañinos para la capa de ozono y, además contribuyen en exceso con el efecto invernadero, por ello, se lograron establecer acuerdos globales de protección ambiental.

Los refrigerantes naturales presentan muy bajo impacto ambiental en comparación con los anteriores y son compatibles con el cobre y el aceite mineral. Como sustancias de reemplazo se necesitan realizar muy pocos cambios en el sistema y en sus componentes, sin embargo, se deben tomar las medidas de seguridad necesarias para evitar que la inflamabilidad sea un problema.

4.1. Propiedades

A continuación se detallan las propiedades del refrigerante natural HC Ecofreezer 22, para compararlas con las propiedades del refrigerante R-22, que actualmente es utilizado en la industria.

Tabla VII. **Valores ambientales críticos y tiempos de vida atmosféricos de diversos gases refrigerantes**

	No. de refrige.	Nombre Químico	T. de vida en la atm (Años)	PAO	PCA
CFC	R11	Triclorofluorometano	50	1	3800
	R12	Diclorodifluorometano	102	1	8100
HFC	R22	Clorodifluorometano	12.1	0.55	1500
	R134a	1,1,1,2-tetrafluoroetano	14.6	0	1300
Gases Naturales	R290	Ecofreezer 22	<1 hora	0	0
	R400	Ecofreezer 400s	<1 hora	0	0
	R600	Ecofreezer 600a	<1 hora	0	0
	R717	Amoniaco	N/A	0	0
	R744	Dióxido de carbono	N/A	0	1

PAO: Potencial de agotamiento de ozono. Referido al R-11.
 PCA: Potencial de calentamiento global. Referido al CO₂

Fuente: Ecofreezer Natural Refrigerants.

Aplicación de refrigerantes naturales. p. 12.

4.1.1. Punto normal de ebullición

Se refiere a la temperatura a la cual el refrigerante ebulle a una presión total de una atmósfera. Parámetros como la temperatura y presión, determinan el punto crítico de un fluido. Los valores de la temperatura y presión por encima del punto crítico no son válidos para un ciclo simple de compresión, entendiendo que por encima de este punto la fase líquido y vapor no existen, y por lo tanto, no se puede llevar a cabo el fenómeno de condensación.

En las siguientes tablas se pueden observar los valores del punto de ebullición normal (°C), de la temperatura crítica (°C), de la presión crítica (bar) del refrigerante natural y del refrigerante R-22, donde se observa que existe gran similitud entre valores críticos.

Tabla VIII. **Datos de punto de ebullición normal y valores críticos para el Ecofreezer 22 versus R-22**

Propiedad	Ecofreezer 22	R-22
PEN (°C)	-42,1	-40,8
T.C. (°C)	103,98	96,2
P.C. (bar)	42,99	49,9

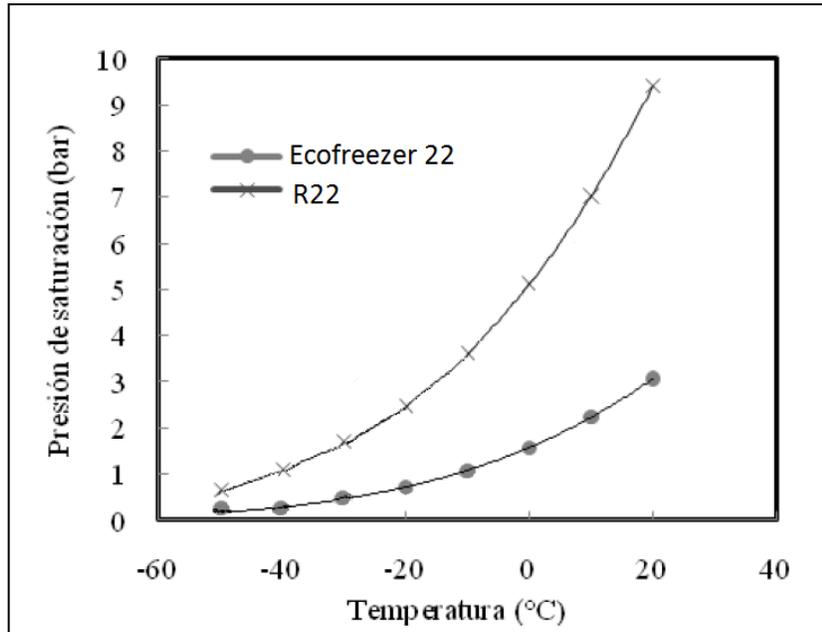
Fuente: Ecofreezer Natural Refrigerants.
Aplicación de refrigerantes naturales. p. 13.

4.1.2. Presión de saturación

El nivel de presión y la temperatura crítica son casi como las del R-22. Sin embargo, la temperatura de descarga es mucho más baja. Esto da la oportunidad de trabajar a relaciones de presión más altas, lo cual significa temperaturas de evaporación más bajas a temperatura de gas de aspiración más alta.

El refrigerante R-22 y el natural Ecofreezer 22 poseen una tendencia similar en el incremento de la presión de saturación a través del aumento de la temperatura. Lo que implica que el Ecofreezer 22 tendrá menores presiones de operación que el R-22, en referencia a una temperatura.

Figura 3. **Presión de saturación del refrigerante Ecofreezer 22 y el refrigerante R-22 versus temperatura**



Fuente: Ecofreezer Natural Refrigerants.
Aplicación de refrigerantes naturales. p. 15.

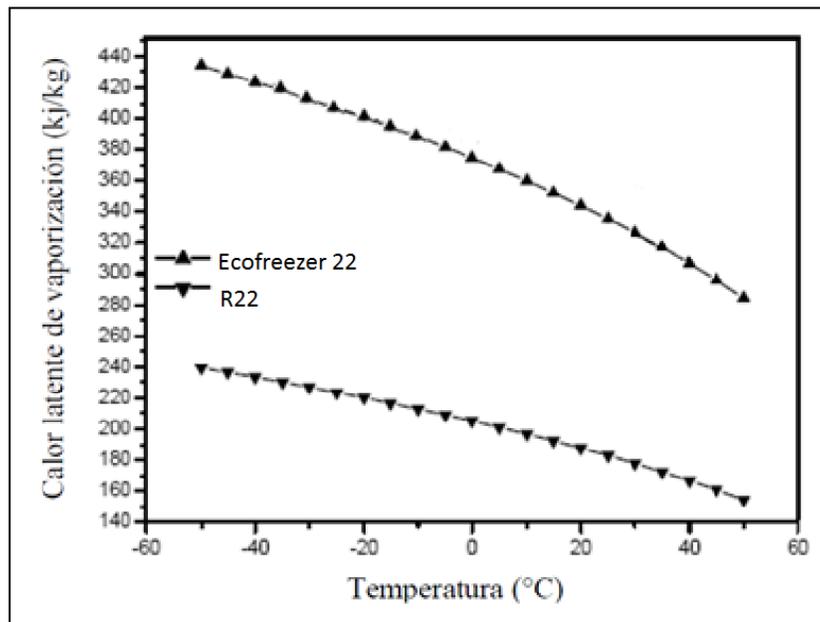
4.1.3. **Calor latente de vaporización**

El calor latente de vaporización es la diferencia en entalpías entre el líquido saturado y el vapor saturado de una sustancia a una presión o temperatura dada. Este valor determina el calor de condensación o evaporación disponible por cada kilogramo de fluido a ciertas condiciones de presión y temperatura.

De la figura 4 se obtiene que los refrigerantes naturales HC tienen alrededor de dos veces el calor latente que el R-22. Esto indica que el flujo másico requerido para circular a través del sistema de refrigeración con

refrigerantes naturales será siempre, aproximadamente la mitad del requerido por un sistema de refrigeración con R-22.

Figura 4. **Calor latente de vaporización *versus* temperatura de saturación**

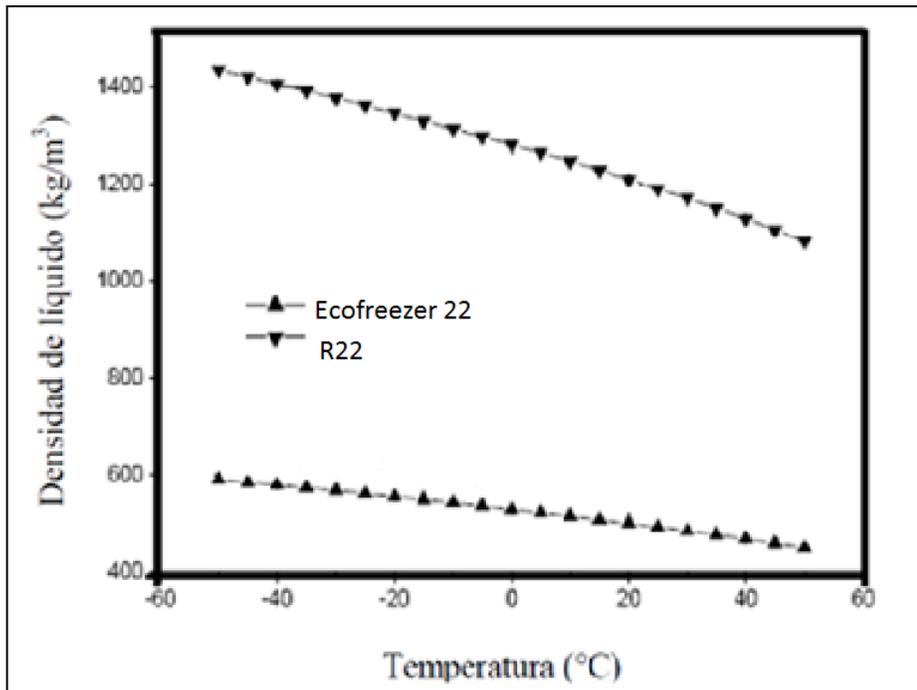


Fuente: Ecofreezer Natural Refrigerants.
Aplicación de refrigerantes naturales. p. 16.

4.1.4. Densidad del líquido

Esta propiedad permite establecer la relación entre la masa de refrigerante que circula en un volumen determinado del sistema. En la figura 5 se muestra la densidad del refrigerante natural Ecofreezer 22 y del R-22. Se observa que el Ecofreezer 22 presenta menor densidad que el refrigerante R-22, lo que implica que el primero requiere de menos carga en los sistemas de refrigeración que el HCFC.

Figura 5. **Densidad de los compuestos en fase líquida a diferentes temperaturas**



Fuente: Ecofreezer Natural Refrigerants.
Aplicación de refrigerantes naturales. p. 16.

4.2. **Inflamabilidad**

Esta propiedad proporciona los datos necesarios para realizar el diseño seguro de los sistemas de refrigeración que utilizan refrigerantes naturales HC. Algunos parámetros que se pueden calcular a través de estas propiedades son: la carga de refrigerante, el flujo de ventilación y la determinación del rango de temperaturas de operación de los componentes del sistema.

Los límites de inflamabilidad definen las concentraciones mínimas y máximas del vapor o gas en mezcla con el aire, en las que son inflamables.

Según las condiciones de confinamiento, cantidad, intensidad de la fuente de ignición, entre otros, varía la velocidad de la combustión. Los valores del límite inferior y superior de inflamabilidad delimitan el llamado rango o campo de inflamabilidad.

Tabla IX. **Código de clasificación de riesgos NFPA para Ecofreezer 22**

Salud	1
Inflamabilidad	3
Reactividad	0
Riesgo especial	0
Temperatura de autoignición (°C)	515

Fuente: Ecofreezer Natural Refrigerants.
Aplicación de refrigerantes naturales. p. 11.

4.3. Capacidades

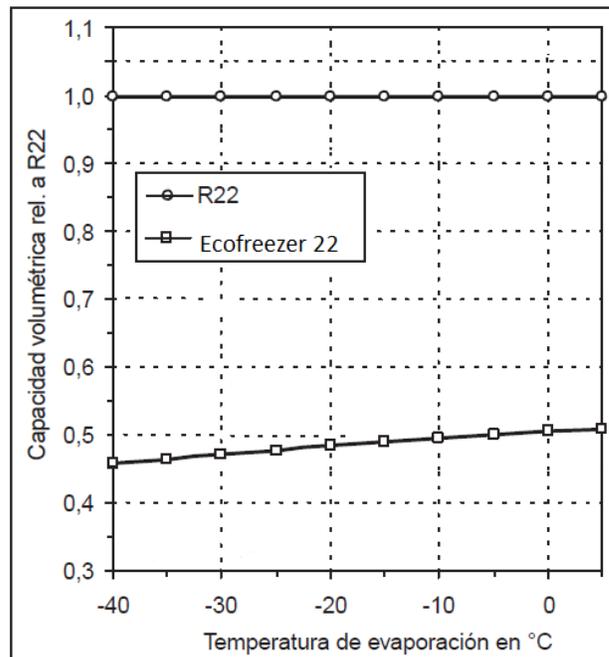
Los refrigerantes naturales son inocuos al ambiente, por ser naturales no dañan la capa de ozono ni contribuyen con el calentamiento global, además no son tóxicos para los seres humanos, por lo que se presentan como los más probables sustitutos de los hidroclorofluorocarbonos.

Los refrigerantes sustitutos HC son sustancias obtenidas del gas natural y de la destilación de crudos, tienen capacidades en su utilización como refrigerantes y por su alta eficiencia, ya que reducen la energía utilizada en los sistemas de acondicionamiento de aire. Son capaces de reemplazar a los sistemas actuales de refrigeración que utilizan R-22, sin la necesidad de cambiar sus componentes.

4.3.1. Capacidad volumétrica

El Ecofreezer 22 tiene aproximadamente un 55 por ciento de la capacidad volumétrica del R-22. Es necesario, por lo tanto, un compresor con un desplazamiento volumétrico cercano a este HCFC. Es por esto, que la elección de los refrigerantes naturales, lleva a diseños de sistemas variados debido a los diferentes flujos volumétricos necesarios para la misma necesidad de refrigeración. Son seguros de usar con el manejo apropiado, además de ser económicamente rentables, pues el costo de operación es mucho más bajo que el de otro sistema de climatización.

Figura 6. **Capacidad volumétrica del Ecofreezer 22, en relación al R-22**



Fuente: Ecofreezer Natural Refrigerants.
Aplicación de refrigerantes naturales. p. 17.

4.4. Lubricación

Los compresores de refrigeración requieren de un lubricante que, además de mantener aceitadas las partes mecánicas del compresor, sirva como barrera para separar el gas del lado de la descarga, del de la succión.

En un sistema hermético o semihermético, en donde el motor eléctrico es expuesto al gas refrigerante y al aceite, se requiere un lubricante con propiedades dieléctricas. El refrigerante va transportando una pequeña porción de lubricante a lo largo del sistema de refrigeración. Este lubricante debe de regresar al compresor rápidamente y debe de ser capaz de fluir en bajas temperaturas, estar libre de partículas suspendidas o de elementos tales como: la cera, que pudieran tapar el control del flujo, o quedarse depositadas en el evaporador y afectar la transferencia de calor.

4.4.1. Lubricantes minerales

Los lubricantes minerales obtenidos por destilación del petróleo, deben ser especialmente seleccionados para poder soportar diversas condiciones de trabajo, además de tener excelente comportamiento y mantenerse estable ante altas temperaturas. Sus niveles de saturación de humedad son del orden de 100 partes por millón (ppm).

Tienen la capacidad de mezclarse adecuadamente con el refrigerante (miscibilidad) de manera que la proporción de aceite que viaja por el sistema, transportado por el gas refrigerante, permanezca unido a él y regrese al cárter del compresor. Poseen un índice de viscosidad alto, sin que al bajar su temperatura en el evaporador, aumente su viscosidad y tienda a quedarse

atorado en el mismo separándose del refrigerante que vuelve al compresor, además de tener buena higroscopicidad.

4.4.2. Lubricantes sintéticos tipo alquilbenceno

Los lubricantes sintéticos tipo alquilbenceno, debido a sus características sobresalientes en propiedades lubricantes y sobre todo a su alta estabilidad química y térmica, y la ausencia de parafinas, han sustituido a los aceites minerales en sistemas operados con gases CFC o gases HCFC. El hecho de ser altamente higroscópicos es considerado por los fabricantes de compresores como una variable manejable, mediante la implementación de medidas de control de humedad durante la producción y carga del lubricante, y la creación de las condiciones aceptables en un sistema, para alcanzar niveles de deshidratación máximos, que se logran mediante el empleo de filtros secadores de suficiente capacidad, y un efectivo procedimiento de deshidratado del sistema mediante un proceso de alto vacío. Sus niveles de saturación de humedad son del orden de 200 partes por millón.

4.4.3. Lubricantes sintéticos tipo polioléster

Los lubricantes sintéticos denominados polioléster son muchísimo más higroscópicos que los aceites minerales, aun comparados con los sintéticos tipo alquilbenceno. Sus niveles de saturación de humedad son del orden de 1000 partes por millón. Por lo tanto, las precauciones necesarias durante su carga, así como los niveles de humedad requeridos son igualmente estrictos y deben de emplearse métodos cuidadosamente controlados durante su uso.

4.5. Buenas prácticas

Es importante que se sigan las mejores prácticas al momento de realizar algún tipo de reparación en los equipos, en este caso, ya que el fluido refrigerante es de origen hidrocarburo se debe considerar su inflamabilidad.

La carga de refrigerante deberá recobrase con los procedimientos adecuados y en los cilindros de recuperación correctos. Luego, deberá purgarse el sistema con nitrógeno para que la unidad esté segura. Para realizar la purga debe romperse el vacío del sistema con nitrógeno y llenarse hasta que se alcance la presión de trabajo. Luego, se debe despresurizar hacia la atmósfera y por último, eliminarse para recuperar el vacío. El proceso deberá repetirse hasta que exista la seguridad de que no hay refrigerante de hidrocarburo en el sistema. Se debe verificar que la salida de la bomba de vacío no se encuentre próxima a alguna fuente de ignición y que exista una buena ventilación.

La carga de los sistemas de refrigeración con refrigerantes naturales es similar a aquellas que se realizan con refrigerantes halogenados. Al igual que con todos los refrigerantes mezclados, los refrigerantes naturales también deberán cargarse en estado líquido, y mantener la composición correcta de la mezcla.

Debe ser indispensable, para todo trabajo con cualquier tipo de refrigerante, el uso de equipo de protección personal adecuado para evitar el contacto, pues el mismo, con refrigerantes líquidos puede causar quemaduras que deben ser tratadas con atención médica inmediata.

5. APLICACIÓN DE REFRIGERANTES NATURALES EN EQUIPOS DE CLIMATIZACIÓN

5.1. Procedimientos de aplicación del Ecofreezer 22

El procedimiento de carga, correspondiente a los refrigerantes naturales, se debe llevar a cabo por personal previamente capacitado, calificado y certificado en el correcto manejo y aplicación de estos refrigerantes.

La carga del refrigerante natural Ecofreezer 22 es muy parecido al que se utiliza para cualquier otro tipo de refrigerante en los sistemas de climatización, sumando únicamente, a las medidas de seguridad, un plan de mantenimiento preventivo y correctivo que contenga información sobre los procedimientos que son realizados a los equipos.

Se debe de tener en consideración que, al momento de cargar el refrigerante sustituto, el equipo debe contar ya con la limpieza total del sistema de refrigeración, el cual para el presente caso, consiste en la correcta descarga del refrigerante R-22, en su debido cilindro de almacenaje y la puesta en vacío del sistema, buscando la eliminación de cualquier resto de refrigerante, humedad y partículas que pueden ser nocivas al sistema de refrigeración por medio de una bomba de vacío.

La carga se efectúa en fase vapor, conectando la manguera central de los manómetros al cilindro de gas refrigerante, se purga y se satura de gas el sistema, una vez se equilibran las presiones se arranca el equipo frigorífico y se abre la válvula del analizador de baja presión, de manera que el propio sistema

va introduciendo el gas en el equipo. Este método es muy utilizado, ya que se puede ir midiendo el recalentamiento y subenfriamiento que ofrece el circuito frigorífico.

5.2. Equipo utilizado para la aplicación

En el momento en que se lleve a cabo la sustitución del refrigerante en el equipo de climatización es necesario que el personal técnico cuente con el siguiente equipo de trabajo.

5.2.1. Recuperadora de refrigerante

Actúan como estaciones de recuperación, sin ventilación hacia la atmósfera. En ella el refrigerante es removido en su condición presente y almacenado en un cilindro transferible. Esta unidad remueve el aceite del refrigerante, y puede manejar vapor o líquido en un tiempo muy rápido.

Figura 7. **Equipo exclusivamente para recuperación**



Fuente: Emerson Climate Technologies. Manual técnico 2013. p. 25.

5.2.2. Manómetros de presión

Los manómetros de presión, uno de color azul, indicará la baja presión, su rango suele ser de 0 a 10 bar e incorpora varias escalas en relación presión-temperatura de los gases más característicos (R-22). El otro manómetro será de color rojo, este indicará la alta presión, su rango suele ser de 0 a 30 bar, y como el manómetro de baja, también incorpora varias escalas de temperatura. El acople de rosca del analizador debe ser el apropiado para el gas que se utiliza.

Figura 8. Manómetros de presión



Fuente: *Instrumentos de presión*. www.portuguese.alibaba.com.

Consulta: abril de 2014.

5.2.3. Termómetros

De este instrumento se colocan dos, uno antes del evaporador, después del sistema de expansión (midiendo la temperatura de saturación) y otro en la tubería de aspiración antes del compresor. Como el refrigerante Ecofreezer 22 es una sustancia azeotrópica, la diferencia de temperaturas es constante.

5.3. Medición de resultados del Ecofreezer 22

Los resultados del comportamiento que se obtienen durante el funcionamiento del equipo con un refrigerante natural sustituto, basado en las características del equipo y las condiciones de trabajo del mismo.

5.3.1. Análisis y comparación de resultados

Estudio de la implementación de refrigerante natural Ecofreezer 22 en sustitución del refrigerante HCFC R-22.

5.3.1.1. Cálculo de consumo energético en condiciones iniciales

Descripción del equipo sometido a la prueba tomando en consideración la compatibilidad entre refrigerantes y mecánicamente no necesitar más que el cambio del R-22 por su sustituto.

Tabla X. **Condiciones Iniciales equipo de prueba para sustitución Ecofreezer 22**

Condiciones iniciales	
Equipo	Tipo ventana
Capacidad	8000 BTU/H
Refrigerante	R-22 [HCFC]
Temperatura de evaporación (°C)	21
Presión de evaporación (psi)	60

Continuación de la tabla X.

Temperatura entrada de condensador (°C)	70
Presión de condensación (psi)	240
Temperatura salida de condensador (°C)	39
Voltaje de trabajo (V)	232
Consumo energético (A)	5,7

Fuente: Ecofreezer Natural Refrigerants.

Aplicación de refrigerantes naturales. p. 20.

Cálculo de potencia en Kw:

$$P = \frac{(232 \times 5,7)}{1,000} = 1,3224 \text{ Kw}$$

Valor aproximado en quetzales por Kw-h:

Q.1,91

Costo en quetzales por hora de funcionamiento del equipo:

Q.2,53

5.3.1.2. Cálculo de consumo energético en condiciones finales, Ecofreezer 22

Una vez ya cargado el refrigerante natural al sistema, se toman los datos que refleja el equipo puesto ya en marcha.

Tabla XI. Condiciones equipo de prueba con refrigerante natural

Condiciones finales	
Equipo	Tipo ventana
Capacidad	8000 BTU/H
Refrigerante	Ecofreezer 22 [HC]
Temperatura de evaporación (°C)	21
Presión de evaporación (psi)	40
Temperatura entrada de condensador (°C)	57
Presión condensación (°C)	180
Temperatura salida de condensador (°C)	34
Voltaje de trabajo (V)	232
Consumo energético (A)	3,5

Fuente: Ecofreezer Natural Refrigerants.
Aplicación de refrigerantes naturales. p. 21.

Cálculo de potencia en Kw:

$$P = \frac{(232 \times 3,5)}{1,000} = 0,812 \text{ Kw}$$

Valor aproximado en quetzales por Kw-h:

Q.1,9152

Costo en quetzales por hora de funcionamiento del equipo:

Q.1,55

5.3.1.3. Comparación de resultados en ahorro energético

Se considera una reducción notable tanto en la presión de evaporación con 20 psi menos con el refrigerante natural y la reducción de 60 psi para la presión de condensación. Tomando las temperaturas como nuestro parámetro de referencia, pues el objetivo es que al realizar la sustitución, el equipo de climatización pueda mantener el mismo confort con el refrigerante natural que con el refrigerante HCFC.

Al momento en que se percibe esta reducción en las presiones de trabajo se refleja, a su vez. una baja en el consumo de corriente del equipo, y es una diferencia de 2.2 amperios la que se logra obtener en la sustitución. Esto no solo beneficia en el consumo de energía, sino que también extiende la vida útil del equipo, en su programación de mantenimiento preventivo, ya que el compresor logra trabajar más holgado.

Resalta el porcentaje total de ahorro energético obtenido mediante:

$$Q.2,53 - Q.1,55 = Q.0,98 = 38,74 \text{ por ciento de ahorro energético}$$

Considerando que el equipo de climatización trabaja 8 horas al día, se estaría obteniendo un ahorro monetario mensual. Tomando el promedio de 39 por ciento de ahorro energético se podrá saber claramente que el usuario obtendrá un retorno de su inversión a un plazo no mayor a 10 meses, por la aplicación y el servicio dado a la unidad de climatización, que consiste en limpieza previa de la unidad, cambio, carga y regularización del refrigerante estándar R-22 al refrigerante natural Ecofreezer 22 y puesta en marcha del equipo; sin mencionar el ahorro por extender la vida útil de la unidad y la disminución en gastos por mantenimiento.

5.4. Comparación de diagramas de Mollier para cada refrigerante

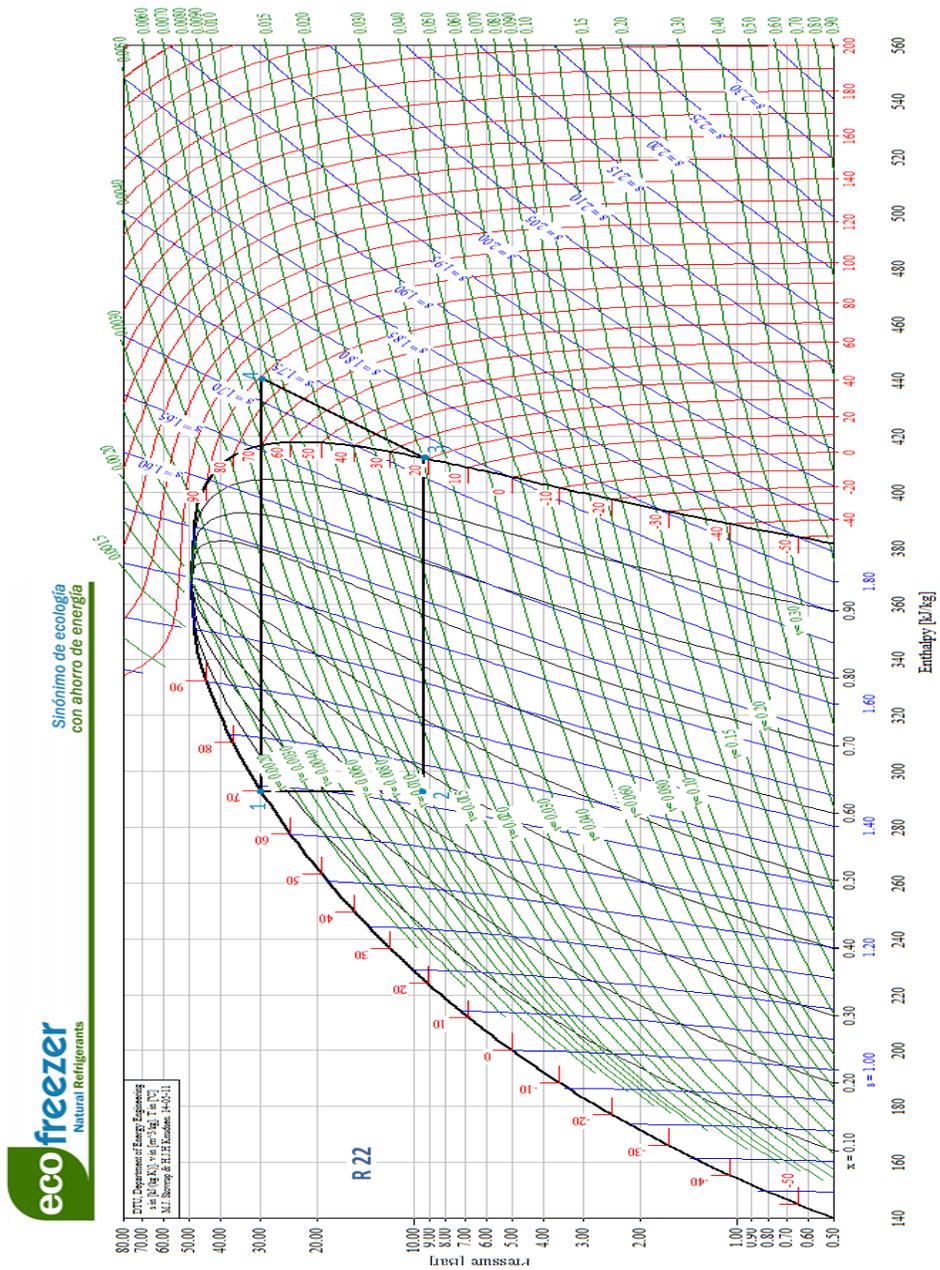
El Diagrama de Mollier, no es más que una sencilla representación gráfica de los cambios de estado, de temperatura y presión a los que está sometido el refrigerante según su circulación a través del sistema de refrigeración.

Contiene líneas de presión, las cuales son horizontales y corresponden a las presiones absolutas, representando los cambios de estado a presión constante tanto en el condensador como en el evaporador.

- Líneas de entalpía, son líneas verticales en las que el refrigerante tiene el mismo calor.
- Líneas de temperatura, llamadas isotérmicas.

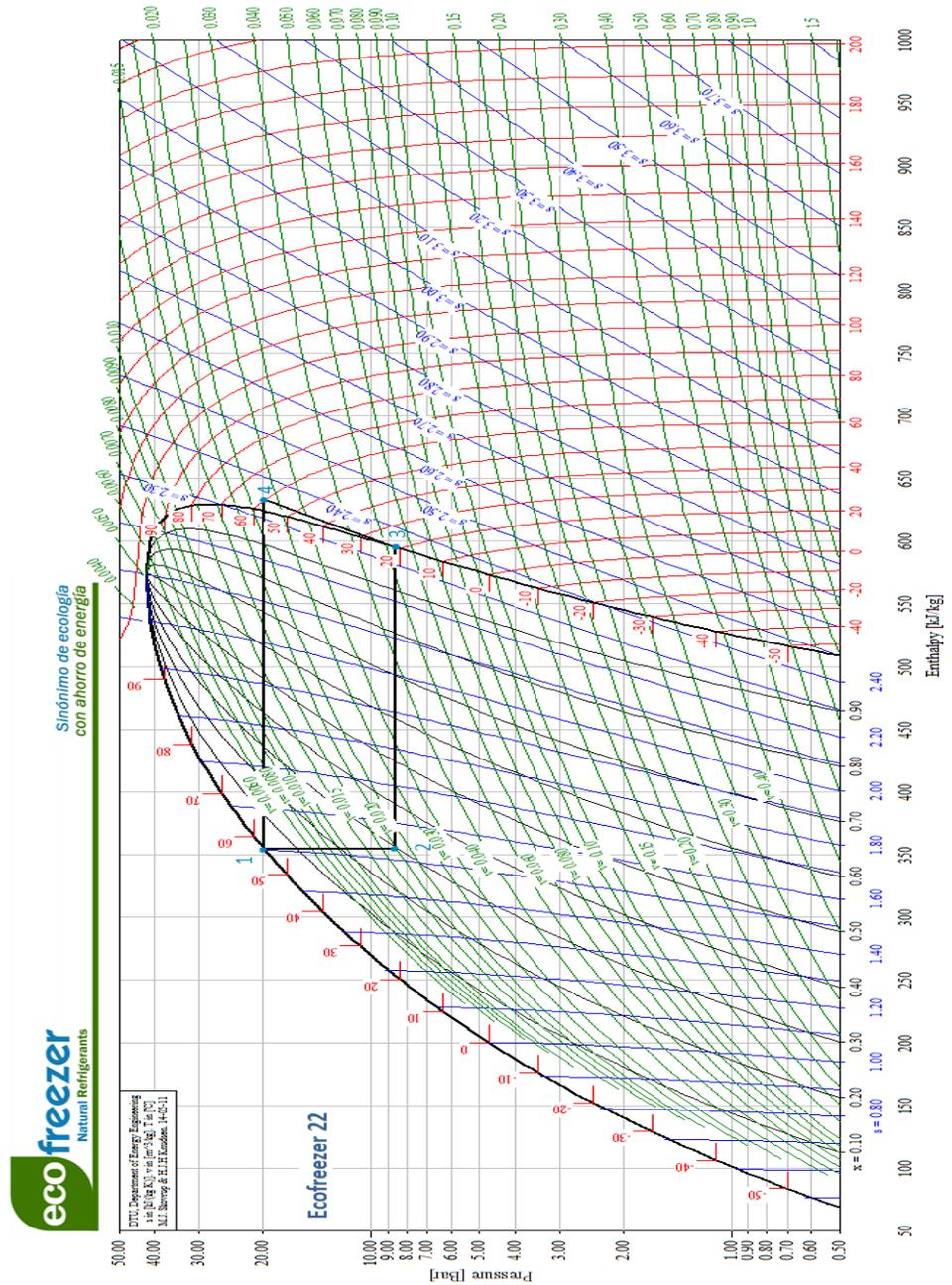
- Líneas de calidad, son oblicuas y casi verticales en el interior de la campana, indican el porcentaje de líquido y vapor existente en la mezcla.
- Líneas de volumen específico, permiten conocer el volumen que ocupa un kilogramo de refrigerante que ya está totalmente evaporado, bajo unas condiciones de trabajo específicas.
- Líneas de entropía constante, son casi verticales, algo inclinadas a la derecha del diagrama, que se emplean para el trazado de los procesos de compresión.

Figura 9. Diagrama de Mollier, prueba en R-22



Fuente: Ecofreezer Natural Refrigerants.
 Aplicación de refrigerantes naturales. p. 22.

Figura 10. Diagrama de Mollier, prueba en Ecofreezer 22



Fuente: Ecofreezer Natural Refrigerants.
 Aplicación de refrigerantes naturales. p. 23.

5.4.1. Valores de rendimiento de refrigerantes

Permiten conocer la eficiencia de trabajo del refrigerante convencional, en el presente caso, la buena comparación entre fluidos de trabajo.

5.4.1.1. Valores de rendimiento R-22

Valores entálpicos en gráfica:

$$h_{1,2} = 293,03 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_3 = 412,21 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_4 = 440,88 \text{ [KJ/Kg]}$$

- Expansión isoentálpica: proceso mediante el cual se disminuye la presión a la cual se encuentra el refrigerante mediante una estrangulación. Disminuye la temperatura de evaporación que tiene el refrigerante cuando se encuentra a alta presión.

$$h_1 = h_2 \text{ (KJ/Kg)}$$

$$h_1 = 293,03 \text{ [KJ/Kg]} = h_2$$

- Vaporización isobárica: proceso en el cual el refrigerante gana calor desde el espacio refrigerado, debido a que la temperatura de evaporación del refrigerante es menor a la del espacio refrigerado.

$$Q_e = \text{efecto refrigerante o calor de salida}$$

$$Q_e = h_3 - h_1 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_e = (412,21 - 293,03) \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_e = 119,18 \text{ [KJ/Kg]}$$

- Compresión isoentrópica: proceso donde el refrigerante, evaporado por completo, es comprimido desde la presión a la cual se evaporó hasta una presión tal, que la temperatura de evaporación sea superior o al menos igual a la temperatura del medio circundante. Es considerado como el trabajo que le toma al compresor elevar la presión del refrigerante en el sistema.

$$Q_w = h_4 - h_3 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_w = (440,88 - 412,21) \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_w = 28,67 \text{ [KJ/Kg]}$$

- Condensación isobárica: este proceso sucede cuando el refrigerante que está sobrecalentado, respecto a la temperatura de saturación, es enfriado mediante la pérdida de calor por diferencia de temperatura que existe entre este y el medio a su alrededor.

$$Q_c = h_4 - h_1 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_c = (440,88 - 293,03) \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_c = 147,85 \text{ [KJ/Kg]}$$

- Coeficiente de rendimiento: medida que da la proporción de energía que se elimina en el evaporador, respecto de la energía suministrada al sistema, necesaria para poder comprimir el vapor y que el ciclo vuelva a comenzar.

$$\text{COP} = \frac{\text{efecto refrigerante}}{\text{calor de compresión}}$$

$$\text{COP} = \frac{(h_3 - h_1)}{(h_4 - h_3)}$$

$$\text{COP} = \frac{(412,21 - 293,03)}{(440,88 - 412,21)}$$

$$\text{COP} = 4,15$$

Tabla XII. **Valores de rendimiento R-22**

R-22	
Expansion isoentálpica	293,03 [KJ/Kg]
Efecto refrigerante	119,18 [KJ/Kg]
Trabajo de compresión	28,67 [KJ/Kg]
Calor de condensación	147,87 [KJ/Kg]
Coeficiente de rendimiento (COP)	4,156

Fuente: Ecofreezer Natural Refrigerants.

Aplicación de refrigerantes naturales. p. 20.

5.4.1.2. **Valores de rendimiento Ecofreezer 22**

Estos valores permiten comprobar la alta eficiencia de trabajo que presenta el refrigerante natural en comparación con el refrigerante convencional trabajando bajo exactamente las mismas condiciones.

Valores entálpicos en gráfica:

$$h_{1,2} = 355,21 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_3 = 594,97 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_4 = 633,57 \text{ [KJ/Kg]}$$

- Expansión isoentálpica:

$$h_1 = h_2 \text{ (KJ/Kg)}$$

$$h_1 = 355,21 \text{ [KJ/Kg]} = h_2$$

- Vaporización isobárica:

$$Q_e = \text{Efecto refrigerante o calor de salida}$$

$$Q_e = h_3 - h_1 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_e = (594,97 - 355,21) \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_e = 239,76 \text{ [KJ/Kg]}$$

- Compresión isoentrópica:

$$Q_w = h_4 - h_3 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_w = (633,57 - 594,97) \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_w = 38,6 \text{ [KJ/Kg]}$$

- Condensación isobárica:

$$Q_c = h_4 - h_1 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_c = (633,57 - 355,21) \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_c = 278,35 \text{ [KJ/Kg]}$$

- Coeficiente de rendimiento:

$$\text{COP} = \frac{\text{efecto refrigerante}}{\text{calor de compresión}}$$

$$\text{COP} = \frac{(h_3 - h_1)}{(h_4 - h_3)}$$

$$\text{COP} = \frac{(594,97 - 355,21)}{(633,57 - 594,97)}$$

$$\text{COP} = 6,21$$

Tabla XIII. **Valores de rendimiento Ecofreezer 22**

Ecofreezer 22	
Expansion isoentálpica	355,21 [KJ/Kg]
Efecto refrigerante	239,76 [KJ/Kg]
Trabajo de compresión	38,6 [KJ/Kg]
Calor de condensación	278,35 [KJ/Kg]
Coeficiente de rendimiento (COP)	6,21

Fuente: Ecofreezer Natural Refrigerants.
Aplicación de refrigerantes naturales. p. 21.

Es notable la diferencia existente entre la comparación de las gráficas de ambos refrigerantes. Se observa que para el Ecofreezer 22, se alcanza una presión de condensación de 20 bar en contraste con los 30 bar del R-22, y una temperatura, en el punto de la salida del condensador justo antes del dispositivo de expansión, mucho menor que la del R-22 que alcanza hasta los 70 °C.

Es importante resaltar que, para el Ecofreezer 22, el ciclo de refrigeración trazado se aproxima al modelo ideal de refrigeración, puesto que se reduce el tramo al final de la compresión, donde el vapor comienza a perder temperatura aun conservando su estado físico. Mientras que en la gráfica del R-22 se observa que dicho tramo es mucho más extenso, por lo que se concluye que el refrigerante HCFC posee una mayor diferencia de entalpías entre estos dos puntos, que hacen que el inicio de desprendimiento de calor sensible al medio condensante sea más prolongado.

5.5. Aplicación refrigerante Ecofreezer 22 en equipo tipo enfriamiento/calefacción (Inverter)

Se presenta la sustitución del refrigerante R-22 por el refrigerante natural Ecofreezer 22, en un equipo de climatización que posee la capacidad de invertir su ciclo de refrigeración yendo de un modo de enfriamiento a un modo de calefacción.

Cuando se trabaja en el ciclo de refrigeración, el refrigerante sale del compresor y se dirige hacia una válvula de cuatro vías que le dirige al condensador, donde se desprende del calor que ha ganado en el evaporador más el que le ha añadido el compresor al comprimirlo, posteriormente a través del tubo capilar llega al evaporador extrayendo el calor del recinto a climatizar.

Cuando se varía la circulación del refrigerante, este sale del compresor y se dirige hacia la unidad interior desprendiendo los dos calores que lleva, para seguidamente llegar a la unidad exterior y realizar la evaporación a través del intercambio de calor que encuentra en el aire ambiente. Uno de los elementos principales es un acumulador de succión, el cual está instalado en la línea de succión entre la válvula inversora y el compresor, impide la llegada del refrigerante líquido al compresor.

5.5.1. Prueba y sustitución en equipo Inverter modo enfriamiento

La sustitución de refrigerante R-22, para este equipo, se llevó a cabo inicialmente tomando lectura de los datos en funcionamiento normal con refrigerante HCFC en modo frío.

Tabla XIV. **Condiciones equipo de prueba con R-22, modo enfriamiento**

Equipo	Tipo ventana [Inverter]
Capacidad	8,000 BTU/H
Modo	Enfriamiento
Refrigerante	R-22 [HCFC]
Temperatura de evaporación (°C)	19
Presión de evaporación (psi)	73
Presión condensación (°C)	260
Temperatura salida de condensador (°C)	52
Voltaje de trabajo (V)	232
Consumo energético (A)	5,6

Fuente: Ecofreezer Natural Refrigerants.
Aplicación de refrigerantes naturales. p. 20.

Cálculo de potencia en Kw:

$$P = \frac{(232 \times 5,6)}{1,000} = 1,2992 \text{ Kw}$$

Valor aproximado en quetzales por Kw-h:

Q.1,91

Costo en quetzales por hora de funcionamiento del equipo:

Q.2,48

Una vez realizada la sustitución del R-22 por el refrigerante natural Ecofreezer 22, en el equipo tipo Inverter, se tomó lectura de los datos del equipo en funcionamiento en modo frío.

Tabla XV. **Condiciones equipo de prueba con Ecofreezer 22, modo enfriamiento**

Equipo	Tipo ventana [Inverter]
Capacidad	8,000 BTU/H
Modo	Enfriamiento
Refrigerante	Ecofreezer 22 [HC]
Temperatura de evaporación (°C)	19
Presión de evaporación (psi)	55
Presión condensación (°C)	210
Temperatura salida de condensador (°C)	44
Voltaje de trabajo (V)	232
Consumo energético (A)	4,2

Fuente: Ecofreezer Natural Refrigerants.
Aplicación de refrigerantes naturales. p. 21.

Cálculo de potencia en Kw:

$$P = \frac{(232 \times 4,2)}{1,000} = 0,9744 \text{ Kw}$$

Valor aproximado en quetzales por Kw-h:

Q.1,91

Costo en quetzales por hora de funcionamiento del equipo:

Q.1,86

Resalta el porcentaje total de ahorro energético obtenido mediante:

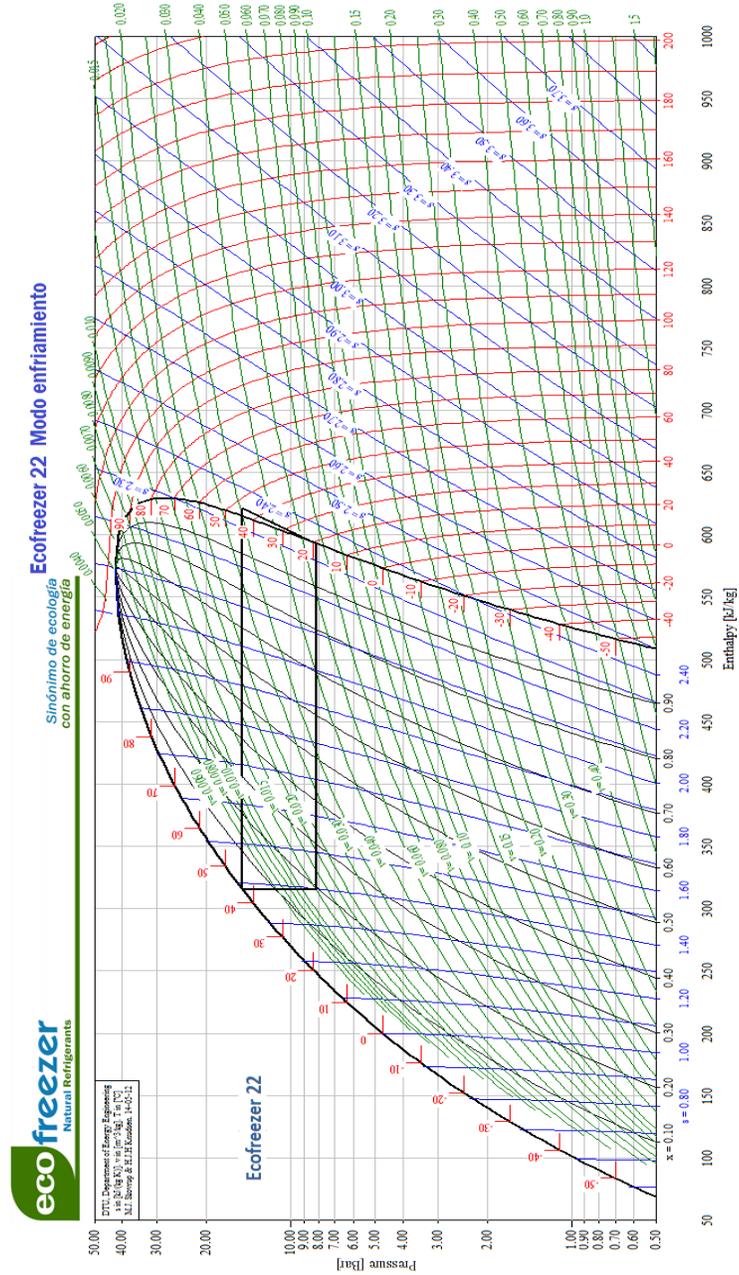
$$Q2,487 - Q.1,866 = Q.0,621 = 25 \text{ por ciento de ahorro energético}$$

La sustitución en este tipo de equipo de climatización se realizó con éxito, tomados los resultados de la prueba en modalidad de enfriamiento, se obtuvo un 25 por ciento de ahorro reflejado en una disminución de la presión tanto de evaporación como de condensación, así como también un descenso en el valor de la corriente eléctrica.

5.5.1.1. Comparación diagramas de Mollier prueba equipo Inverter, modo enfriamiento

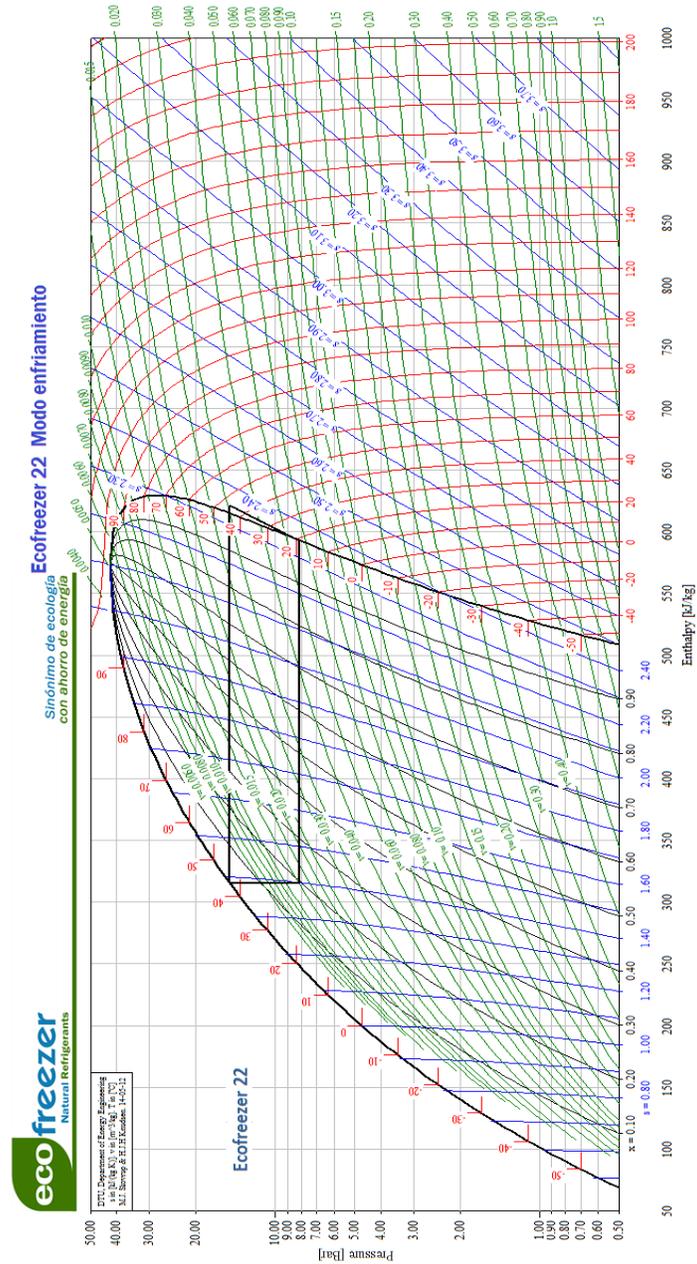
Tal y como se explicó anteriormente, el diagrama de Mollier permite visualizar el comportamiento del refrigerante dentro del ciclo de refrigeración. A continuación la comparación de las pruebas tanto con refrigerante HCFC R-22 como con el sustituto Ecofreezer 22.

Figura 11. Diagrama de Mollier, prueba equipo Inverter R-22, modo enfriamiento



Fuente: Ecofreezer Natural Refrigerants.
 Aplicación de refrigerantes naturales. p. 24.

Figura 12. Diagrama de Mollier, prueba equipo Inverter Ecofreezer 22, modo enfriamiento



Fuente: Ecofreezer Natural Refrigerants.
 Aplicación de refrigerantes naturales. p. 25.

5.5.1.2. Valores de rendimiento R-22 (enfriamiento)

Tomando en consideración un equipo con capacidad para enfriamiento y calefacción, se determinan las variables del refrigerante convencional para el modo de enfriamiento del equipo de climatización.

Valores entálpicos en gráfica:

$$h_{1,2} = 266.051 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_3 = 411.639 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_4 = 431.997 \text{ [KJ/Kg]}$$

- Expansión isoentálpica:

$$h_1 = h_2 \text{ (KJ/Kg)}$$

$$h_1 = 266,051 \text{ [KJ/Kg]} = h_2$$

- Vaporización isobárica:

$$Q_e = \text{Efecto refrigerante o calor de salida}$$

$$Q_e = h_3 - h_1 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_e = (411,639 - 266,051) \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_e = 145,588 \text{ [KJ/Kg]}$$

- Compresión isoentrópica:

$$Q_w = h_4 - h_3 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_w = (431,997 - 411,639) \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_w = 20,357 \text{ [KJ/Kg]}$$

- Condensación isobárica:

$$Q_c = h_4 - h_1 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_c = (431,997 - 266,051) \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_c = 165,946 \text{ [KJ/Kg]}$$

- Coeficiente de rendimiento:

$$\text{COP} = \frac{\text{efecto refrigerante}}{\text{calor de compresión}}$$

$$\text{COP} = \frac{(h_3 - h_1)}{(h_4 - h_3)}$$

$$\text{COP} = \frac{(411,639 - 266,051)}{(431,997 - 411,639)}$$

$$\text{COP} = 7,15$$

5.5.1.3. Valores de rendimiento Ecofreezer 22 (enfriamiento)

Tomando en consideración la funcionalidad del equipo de climatización se toman los valores de rendimiento del refrigerante natural para el modo enfriamiento del equipo de climatización.

Valores entálpicos en gráfica:

$$h_{1,2} = 316,385 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_3 = 593,009 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_4 = 621,244 \text{ [KJ/Kg]}$$

- Expansión isoentálpica:

$$h_1 = h_2 \text{ (KJ/Kg)}$$

$$h_1 = 316,385 \text{ [KJ/Kg]} = h_2$$

- Vaporización isobárica:

Q_e = Efecto refrigerante o calor de salida

$$Q_e = h_3 - h_1 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_e = (593,009 - 316,385) \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_e = 276,625 \text{ [KJ/Kg]}$$

- Compresión isoentrópica:

$$Q_w = h_4 - h_3 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_w = (621,244 - 593,009) \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_w = 28,234 \text{ [KJ/Kg]}$$

- Condensación isobárica:

$$Q_c = h_4 - h_1 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_c = (621,244 - 316,385) \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_c = 304,859 \text{ [KJ/Kg]}$$

- Coeficiente de rendimiento:

$$\text{COP} = \frac{\text{efecto refrigerante}}{\text{calor de compresión}}$$

$$\text{COP} = \frac{(h_3 - h_1)}{(h_4 - h_3)}$$

$$\text{COP} = \frac{(593,009 - 316,385)}{(621,244 - 593,009)}$$

$$\text{COP} = 9,80$$

5.5.2. Prueba y sustitución en equipo Inverter, modo calefacción

Antes de la sustitución del refrigerante R-22 se tomaron datos del equipo tipo Inverter puesto en marcha en modo calefacción.

Tabla XVI. **Condiciones equipo de prueba con R-22, modo calefacción**

Equipo	Tipo ventana [Inverter]
Capacidad	8,000 BTU/H
Modo	Calefacción
Refrigerante	R-22 [HCFC]
Temperatura de evaporación (°C)	42
Presión de evaporación (psi)	60
Presión condensación (°C)	225
Temperatura salida de condensador (°C)	23
Voltaje de trabajo (V)	232
Consumo energético (A)	5,2

Fuente: Ecofreezer Natural Refrigerants.
Aplicación de refrigerantes naturales. p. 27.

Cálculo de potencia en Kw:

$$P = \frac{(232 \times 5,2)}{1,000} = 1,2064 \text{ Kw}$$

Valor aproximado en quetzales por Kw-h:

$$Q.1,9152$$

Costo en quetzales por hora de funcionamiento del equipo:

$$Q.2,31$$

Posterior a la toma de datos, se procedió a realizar la prueba en el equipo utilizando ya el refrigerante natural Ecofreezer 22 en el equipo de climatización, en modalidad de calefacción.

Tabla XVII. **Condiciones equipo de prueba con Ecofreezer 22, modo calefacción**

Equipo	Tipo ventana [Inverter]
Capacidad	8,000 BTU/H
Modo	Calefacción
Refrigerante	Ecofreezer 22 [HC]
Temperatura de evaporación (°C)	42
Presión de evaporación (psi)	50
Presión condensación (°C)	210
Temperatura salida de condensador (°C)	21
Voltaje de trabajo (V)	232
Consumo energético (A)	4.1

Fuente: Ecofreezer Natural Refrigerants.

Aplicación de refrigerantes naturales. p. 29.

Cálculo de potencia en Kw:

$$P = \frac{(232 \times 4,1)}{1,000} = 0,9471 \text{ Kw}$$

Valor aproximado en quetzales por Kw-h:

Q.1,9152

Costo en quetzales por hora de funcionamiento del equipo:

Q.1,8136

Resalta el porcentaje total de ahorro energético obtenido mediante:

$$Q.2,31 - Q.1,8136 = Q.0,4964 = 21,21 \text{ por ciento de ahorro energético}$$

En la modalidad de calefacción, la sustitución con el refrigerante natural Ecofreezer 22 da como resultado un 21,21 por ciento de ahorro energético, el cual se puede reflejar en la disminución del consumo de corriente eléctrica, asimismo, en unas presiones mucho más bajas como la de evaporación y condensación.

5.5.2.1. Comparación diagramas de Mollier, prueba equipo Inverter, modo calefacción

Al realizar el análisis en la comparación de los diagramas de Mollier, tanto para el refrigerante R-22 como para el sustituto natural Ecofreezer 22, se pudo constatar que el ahorro energético como resultado del anterior, con un valor por debajo del promedio de las anteriores pruebas se debe a que al obtener menores presiones de trabajo en compresión, se produce un menor aumento de temperatura, por lo que el equipo, en modalidad de calefacción, no genera la temperatura equivalente como cuando trabaja con el HCFC R-22, puesto que no poseen las mismas propiedades caloríficas.

Es claro y se puede corroborar en las gráficas, ya que la escala de entalpías para el Ecofreezer 22 se presenta un tanto distinta y con valores mayores que para el R-22.

5.5.2.2. Valores de rendimiento R-22 (calefacción)

Los valores permiten conocer la eficiencia del refrigerante convencional en el equipo bajo la modalidad de calefacción.

Valores entálpicos en gráfica:

$$h_{1,2} = 252,34 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_3 = 412,76 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_4 = 424,51 \text{ [KJ/Kg]}$$

- Expansión isoentálpica:

$$h_1 = h_2 \text{ (KJ/Kg)}$$

$$h_1 = 252,34 \text{ [KJ/Kg]} = h_2$$

- Vaporización isobárica:

$$Q_e = \text{Efecto refrigerante o calor de salida}$$

$$Q_e = h_3 - h_1 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_e = (412,76 - 252,34) \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_e = 160,425 \text{ [KJ/Kg]}$$

- Compresión isoentrópica:

$$Q_w = h_4 - h_3 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_w = (424,514 - 412,765) \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_w = 11,748 \text{ [KJ/Kg]}$$

- Condensación isobárica:

$$Q_c = h_4 - h_1 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_c = (424,514 - 252,34) \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_c = 172,173 \text{ [KJ/Kg]}$$

- Coeficiente de rendimiento:

$$\text{COP} = \frac{\text{efecto refrigerante}}{\text{calor de compresión}}$$

$$\text{COP} = \frac{(h_3 - h_1)}{(h_4 - h_3)}$$

$$\text{COP} = \frac{(412,765 - 252,34)}{(424,514 - 412,765)}$$

$$\text{COP} = 13,66$$

5.5.2.3. Valores de rendimiento Ecofreezer 22 (calefacción)

La calidad de eficiencia que podemos obtener con un refrigerante natural al someterlo a trabajos en un equipo de climatización en modo de calefacción y los valores que obtenemos como respuesta.

Valores entálpicos en gráfica:

$$h_{1,2} = 310.648 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_3 = 594.970 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_4 = 618.647 \text{ [KJ/Kg]}$$

- Expansión isoentálpica:

$$h_1 = h_2 \text{ (KJ/Kg)}$$

$$h_1 = 310,648 \text{ [KJ/Kg]} = h_2$$

- Vaporización isobárica:

$$Q_e = \text{Efecto refrigerante o calor de salida}$$

$$Q_e = h_3 - h_1 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_e = (594,970 - 310,648) \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_e = 284,322 \text{ [KJ/Kg]}$$

- Compresión isoentrópica:

$$Q_w = h_4 - h_3 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_w = (618,647 - 594,970) \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_w = 23,677 \text{ [KJ/Kg]}$$

- Condensación isobárica:

$$Q_c = h_4 - h_1 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_c = (618,647 - 310,648) \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_c = 307,998 \text{ [KJ/Kg]}$$

- Coeficiente de rendimiento:

$$\text{COP} = \frac{\text{efecto refrigerante}}{\text{calor de compresión}}$$

$$\text{COP} = \frac{(h_3 - h_1)}{(h_4 - h_3)}$$

$$\text{COP} = \frac{(594,970 - 310,648)}{(618,647 - 594,970)}$$

$$\text{COP} = 12,01$$

En todos y cada uno de los casos anteriores se observa que se obtiene un mejor coeficiente de rendimiento, y esto gracias a que las propiedades de los refrigerantes naturales provocan que el trabajo de compresión sea más bajo y, como resultado, una temperatura en la compresión que no se eleva, por lo que el calor que es suministrado al sistema es bajo y se posee mayor cantidad de energía para eliminar en el evaporador.

5.6. Riesgos y medidas de seguridad

La manipulación de elementos como lo son los refrigerantes, viene acompañada de una serie de recomendaciones hacia el personal que se involucra en el manejo de estos. Métodos desarrolladas permiten que la salud física y mental de quien manipula los refrigerantes no se vean afectadas.

5.6.1. Metodologías y prácticas utilizadas

Los refrigerantes naturales HC son inflamables al ser mezclados con el aire y una fuente de ignición, por lo tanto, se debe tener cuidado en la selección de los elementos y los procesos de servicio y mantenimiento. Deben ser realizados por personas capacitadas en buenos procedimientos de refrigeración que conozcan las recomendaciones del fabricante, requerimientos y posibles peligros del refrigerante. Debido a las leyes que gobiernan la liberación de refrigerantes hacia la atmósfera, se ha tenido como consecuencia el desarrollo de procedimientos para recuperar, reciclar y volver a utilizar los refrigerantes.

5.6.1.1. Recuperación

La industria ha adoptado definiciones específicas para algunas de las prácticas más utilizadas en el campo.

La recuperación es remover el refrigerante de un sistema en cualquier condición que se encuentre, y almacenarlo en un recipiente externo, sin que sea necesario hacerle pruebas o procesarlo de cualquier manera.

5.6.1.2. Reciclado

Limpiar el refrigerante para volverlo a utilizar, para lo cual hay que separarle el aceite y pasarlo una o varias veces a través de dispositivos, tales como: filtros deshidratadores de tipo recargable, lo cual reduce la humedad, la acidez y las impurezas. Este término, generalmente se aplica a procedimientos implementados en el sitio de trabajo, o en un taller de servicio local.

5.6.1.3. Reproceso

Reprocesar el refrigerante hasta las especificaciones de un producto nuevo por medios que pueden incluir la destilación. Esto requerirá análisis químicos del refrigerante, para determinar que se cumplan con las especificaciones apropiadas del producto. Muchas compañías han desarrollado el equipo necesario para los técnicos de servicio, a fin de evitar la liberación innecesaria de refrigerantes a la atmósfera.

5.6.1.4. Retroadaptación o *retrofit*

Proceso mediante el cual se reemplaza a los refrigerantes HCFC con refrigerantes que no agotan la capa de ozono, en los equipos existentes de refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor. Este procedimiento normalmente requiere modificaciones, como por ejemplo, cambio de lubricante, reemplazo del dispositivo de expansión o del compresor. Los refrigerantes sustitutos que se agregan directamente no requieren mayores modificaciones.

5.6.1.5. Drop-In

Es más que la sustitución del refrigerante existente en la unidad de climatización por otro, sin realizar ningún tipo de modificaciones al sistema. Se debe recuperar el refrigerante del sistema a convertir registrando el peso del refrigerante recuperado. Realizar una prueba de hermeticidad y detección de fugas, verificar todos los componentes eléctricos, y posterior a eso realizar el vacío al sistema. Se carga el refrigerante HC, de acuerdo con las proporciones especificadas, estabilizando el sistema y sellando la conexión de carga.

CONCLUSIONES

1. La implementación en la sustitución de gases refrigerantes naturales es una propuesta de cambio y mejora frente a la amenaza de los efectos atmosféricos, que tras años de contaminación ambiental se han incrementado y, que a pesar del desarrollo de tratados y leyes internacionales no se ha logrado erradicar el uso de refrigerantes que dañan la atmósfera.
2. Se ha logrado demostrar la remarcada diferencia que existe entre un refrigerante del tipo HCFC y un refrigerante natural HC, utilizados en un equipo estándar de climatización en condiciones equivalentes de trabajo, así mismo las ventajas que conlleva el cambio de refrigerante que beneficia al usuario proveyéndole el ahorro reflejado en un menor consumo de energía eléctrica y una extensión en la vida útil de su equipo de climatización.
3. La explicación de lo que es un refrigerante natural, sus propiedades y condiciones de trabajo así como la manipulación de estos, se ha dado a conocer con la finalidad de eliminar los paradigmas que existen en la utilización y práctica de estos refrigerantes. Se trata de entrar en el pensamiento de los usuarios y hacerles ver que los refrigerantes HCFC son transitorios, y que la implementación de refrigerantes naturales es una excelente opción a considerar.

4. Se detalla en este documento la información necesaria de lo que son refrigerantes naturales basados en HC y su aplicación directa en equipos de aire acondicionado, y que con el apoyo de la empresa guatemalteca Ecofreezer Natural Refrigerants, pionera en la implementación de dichos refrigerantes, busca no solo erradicar sino también proveer a la industria de sistemas de refrigeración económicos y saludables al medio ambiente.

RECOMENDACIONES

1. Promover la implementación de refrigerantes naturales como sustitutos potenciales de refrigerantes transitorios HCFC, en equipos de climatización y refrigeración por medio de charlas técnicas y demostraciones prácticas en equipos de climatización, logrando obtener resultados comprobables en la eficiencia de dichos equipos, reducciones notables en consumos de energía y el reemplazo de refrigerantes dañinos a la capa de ozono y contribuyentes al calentamiento global.
2. Tomar en cuenta los correctos procedimientos para la carga y el manejo de los refrigerantes naturales. Capacitando a los técnicos que tienen contacto directo con los equipos de climatización, evitando en todo momento cualquier tipo de percance que tenga relación con los refrigerantes HC.
3. Impulsar el uso de refrigerantes naturales HC, ya que debido a las características de su naturaleza, los equipos de climatización convencionales no necesitan ser modificados de ninguna manera para adaptarse al uso de este tipo de refrigerantes.

4. Fomentar en la sociedad e industria una cultura de conservación ambiental, con el fin de implementar procedimientos cada vez más ecológicos y que a su vez ayuden a todos aquellos que utilizan cualquier tipo de equipo de refrigeración y aire acondicionado, a bajar sus costos en relación al ahorro energético y mantenimiento que la implementación de refrigerantes naturales les ofrece.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARMAS ECHEVERRÍA, Miguel Ángel. *Sistemas alternativos de refrigeración con bajo impacto en el ambiente*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería 2009. 131 p.
2. *Diccionario de la Construcción R-22*. Construnario. [en línea].
<[http://www.construnario.com/ebooks/6730/fluidos%20frigor%C3%ADficos/gases%20refrigerantes%20\(hcfc\)/r22/ficha%20t%C3%A9cnica/files/publication.pdf.com](http://www.construnario.com/ebooks/6730/fluidos%20frigor%C3%ADficos/gases%20refrigerantes%20(hcfc)/r22/ficha%20t%C3%A9cnica/files/publication.pdf.com)>. [Consulta: 11 de abril 2014].
3. Ecofreezer Natural Refrigerants. *Aplicación de refrigerantes naturales*. [en línea]. <<http://www.ecofreezer-gt.blogspot.com>>. [Consulta: 9 de abril 2014].
4. Emerson Climate Technologies. *Manual técnico de refrigeración y aire acondicionado*. 2013. 284 p.
5. *Gases Refrigerantes, Ficha Técnica R-22*. [en línea].
<<http://www.climatep.es/documentospdf/articulos/gases%20refrigerantes/fichatecnicar22.pdf.com>>. [Consulta: 11 de abril 2014].
6. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado*. México: SEMARNAT, 2006. 208 p.

7. *Resumen del Protocolo de Kioto de la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*. Euskadi. [en línea]. <http://www.stopco2euskadi.net/documentos/Protocolo_Kyoto.pdf>. [Consulta: 9 de abril 2014].
8. RÍOS HERNÁNDEZ, Juan Carlos. *Diferencias entre sistemas de refrigeración que utilizan refrigerantes convencionales y los que utilizan refrigerantes ecológicos y análisis de la estructura molecular de los refrigerantes*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2004. 129 p.
9. SALAVERRÍA CORZANTES, Jackeline del Rosario. *Sistemas de recuperación de refrigerantes*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2009. 125 p.