



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

## **SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE REFRIGERANTES**

**Jackeline del Rosario Salaverría Corzantes**

Asesorada por el Ing. Esdras Miranda Orozco

Guatemala, noviembre de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

## **SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE REFRIGERANTES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**JACKELINE DEL ROSARIO SALAVERRÍA CORZANTES**

ASESORADA POR EL ING. ESDRAS MIRANDA OROZCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA MECÁNICA**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2009.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultan Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio César Molina Zaldaña
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Sanabria Colchaga
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi Trabajo de Graduación titulado:

### **SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE REFRIGERANTES,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, el día 25 de febrero de 2009.



---

Jackeline del Rosario Salaverría Corzantes

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:

**SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE REFRIGERANTES**

El cual fue presentado por la estudiante JACKELINE DEL ROSARIO SALAVERRÍA CORZANTES, 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,



**Ing. Esdras Miranda Orozco**  
COLEGIADO 4637

---

Ing. Esdras Miranda Orozco  
Ingeniero Mecánico  
Colegiado No. 4637

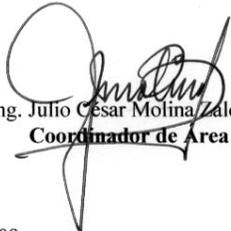
**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA**

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 SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE REFRIGERANTES, de la estudiante Jackeline del Rosario Salaverría Corzantes, recomienda su aprobación.

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

  
Ing. Julio César Molina Zaldaña  
Coordinador de Área

Guatemala, septiembre de 2009.

/behdei

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Térmica, al Trabajo de Graduación titulado SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE REFRIGERANTES, de la estudiante Jackeline Salaverría Corzantes, procede a la autorización del mismo.

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

Ing. Julio César Campos Paiz  
**DIRECTOR**



Guatemala, noviembre de 2009

JCCP/bhdei

Universidad de San Carlos  
De Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.490.2009

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: **SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE REFRIGERANTES**, presentado por la estudiante universitaria **Jackeline del Rosario Salaverría Corzantes**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, noviembre de 2009

/cc

## **DEDICATORIA A:**

### **Dios y la Virgen María**

Por ser la fuerza que guía mi vida.

### **Mis padres**

Antonio y Dora María. Por su amor y su esfuerzo.

### **Mi abuelita (†)**

Por sus enseñanzas y por el amor incondicional que siempre me brindó.

### **Miguel**

Mi esposo, mi gran amor.

### **Mis hermanos**

Jorge y María. Por su cariño y ánimo en los momentos difíciles.

### **Mis tías, primos y sobrinos**

Por su cariño y apoyo en todo momento.

### **Las Familias Armas Echeverría y Ortiz Armas**

Por su apoyo, cariño y confianza.

### **Mis amigos**

Por estar siempre presentes.

## **AGRADECIMIENTO A:**

### **Ing. Esdras Miranda Orozco**

Por su valiosa ayuda, asesoría y orientación en el desarrollo del presente trabajo de graduación.

### **David Enríquez Gómez**

Por su tiempo y dedicación.

### **La Escuela de Ingeniería Mecánica**

Por contribuir en mi formación académica.

### **Sra. Blanqui de Imeri**

Por sus consejos y apoyo brindado.

### **Dra. Ana Beatriz Vidal**

Por su apoyo incondicional.

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	VII
<b>GLOSARIO</b>	XI
<b>RESUMEN</b>	XVII
<b>OBJETIVOS</b>	XXIII
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XXV
<b>1. ANTECEDENTES</b>	<b>1</b>
1.1. La Tierra	1
1.1.1. Composición y estructura	2
1.1.2. La hidrosfera	6
1.1.2.1. Composición	8
1.1.3. Atmósfera	9
1.1.4. Capas de la atmósfera terrestre y la temperatura	11
1.1.5. Regiones atmosféricas	12
1.1.6. Efectos de daño a la atmósfera	12
1.1.6.1. Efecto invernadero	13
1.1.6.2. Lluvia ácida	15
1.1.6.3. Destrucción de la capa de ozono	18
1.1.6.4. El impacto del gas natural en el medio ambiente	20
1.2. Capa de ozono	22
1.2.1. Origen de la capa de ozono	23
1.2.2. El equilibrio dinámico del ozono	25

1.2.3. Problemas en la capa de ozono	26
1.2.4. Evolución del agujero mas allá de latitudes polares	27
1.3. Ozono	28
1.3.1. Descubrimiento	29
1.3.2. Aplicaciones	29
1.3.3. Ozono atmosférico	30
1.3.4. Ozono estratosférico	31
1.3.5. Ozono troposférico	33
1.3.6. Potencial de agotamiento del ozono	34
1.4. El CFC	34
1.5. Refrigerantes	36
1.5.1. Tipos de refrigerantes	37
1.5.2. Consideraciones sobre los refrigerantes, según el reglamento de seguridad para plantas o instalaciones refrigeradas	40
1.5.3. Refrigerantes tradicionales de CFC	42
1.5.3.1. Refrigerante R-11	42
1.5.3.2. Refrigerante R-12	43
1.5.3.3. Refrigerante R-502	44
1.5.4. Refrigerantes tradicionales de HCFC	47
1.5.4.1. Refrigerante R-22	47
1.5.5. CFC'S y la crisis del ozono	49
1.6. Pactos actuales	49
1.6.1. Convenio de Viena para protección de la capa de ozono	50
1.6.1.1. Preámbulo	50
1.6.1.2. Definiciones	51
1.6.1.3. Obligaciones generales	52
1.6.1.4. Investigación y observaciones sistemáticas	53

1.6.1.5. Firma	53
1.6.2. Protocolo de Montreal	54
1.6.2.1. El protocolo de Montreal relativo a sustancias que agotan la capa de ozono de 1987	58
1.6.2.2. Medidas de control	61
1.6.2.3. Firma	64
1.6.2.4. Entrada en vigor	64
1.6.2.5. Calendarización	66
1.7. Refrigeración	67
1.7.1. Aplicaciones de la refrigeración	69
1.7.2. Métodos de enfriamiento	70
1.7.2.1. Refrigeración por compresión	71
1.7.2.2. Refrigeración por absorción	72
<b>2. SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE REFRIGERANTE</b>	<b>75</b>
2.1. Equipo para recuperar refrigerante	76
2.2. Métodos de recuperación de refrigerante	78
2.2.1. Métodos de recuperación sin equipo	78
2.2.1.1. Método de migración de carga	78
2.2.1.2. Método de recuperación pasiva acelerada	79
2.2.2. Métodos de recuperación con equipos	81
2.2.2.1. Los de accionamiento manual	82
2.2.2.2. Los de accionamiento eléctrico	82
2.2.2.2.1. Recuperación de refrigerante de un sistema, utilizando el método de transferencia de vapor	84

2.2.2.2.	Recuperación de refrigerante de un sistema, utilizando el método de transferencia de líquido	85
2.2.2.3.	Recuperación de refrigerante de un sistema, utilizando el método Push-Pull	87
2.3.	Limpeza interior de circuitos refrigerantes	87
2.3.1.	Lodos, cascarillas, soldaduras, etc.	88
2.3.2.	Agua	88
2.3.3.	Ácido, aceite	89
2.4.	Principios de funcionamiento del sistema de limpieza	90
2.5.	Prototipo recuperador de refrigerantes	92
2.5.1.	Elementos del prototipo	93
2.6.	Cilindros para recuperar refrigerantes	95
<b>3.</b>	<b>SISTEMA DE RECICLAJE DE REFRIGERANTE</b>	<b>97</b>
3.1.	Equipo para reciclar refrigerante	97
3.2.	Máquina de limpiar circuitos de refrigeración y reciclar refrigerante	99
3.3.	Ventajas del proceso de recuperación y reciclaje	100
3.4.	Fri3 oil system	102
3.4.1.	Cumplimiento de las leyes	103
3.4.2.	Aprovechamiento de los residuos	105
3.4.3.	Minimizar la producción el CO <sub>2</sub>	106
3.4.4.	Simplificación y menor costo	107
3.4.5.	Abaratamiento por la compra	107

<b>4. MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO</b>	<b>109</b>
4.1. Manual de uso	109
4.2. Manual de mantenimiento	110
<b>5. GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO</b>	<b>113</b>
5.1. Práctica 1: Descripción de los componentes de la unidad de recuperación y su funcionamiento	113
5.2. Práctica 2: Recuperación de refrigerante	115
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>117</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>119</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>121</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>125</b>



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1. Modelos de la estructura de la tierra	5
2. Efecto invernadero	15
3. Destrucción de la capa de ozono	20
4. La capa de ozono	22
5. Esquema de la distribución de ozono en la atmosfera	23
6. Ciclo del ozono	26
7. Esquema de la acción de los clorofluorocarbonos	35
8. Comparación de presiones de R-502, R-409 y R-507	45
9. Comparación energética del R-502, R-409 y R-507	46
10. Sistema de refrigeración por compresión	72
11. Sistema de refrigeración por absorción	73

12. Diagrama presión entalpia para el recuperador	76
13. Equipo de recuperación	77
14. Recuperación por migración de carga	78
15. Recuperación pasiva acelerada	80
16. Cilindro de recuperación	80
17. Equipo de recuperación manual	82
18. Equipo de recuperación eléctrico	83
19. Recuperación de refrigerante de un sistema utilizando el método de trasferencia de vapor	84
20. Recuperación de refrigerante de un sistema utilizando el método de trasferencia de líquido	86
21. Funcionamiento del sistema	91
22. Prototipo recuperador	95
23. Componentes de un cilindro para recuperar refrigerante	96

## **TABLAS**

<b>I. Composición de la tierra</b>	<b>5</b>
<b>II. Código de colores para los contenedores de algunos refrigerantes comunes</b>	<b>48</b>
<b>III. Sustancia controladas</b>	<b>65</b>
<b>IV. Cronograma de eliminación SAO</b>	<b>66</b>



## **GLOSARIO**

### **ARI**

American Refrigeration Institute. Instituto que otorga una certificación a quienes fabrican productos utilizados en la refrigeración y el aire acondicionado, que les permite vender en los Estados Unidos de Norteamérica.

### **Asignación de los colores ARI**

La Directriz N del ARI es una medida voluntaria que la industria emplea para asignar colores en una forma uniforme a los recipientes que se emplean para almacenar refrigerantes nuevos o regenerados, que satisfacen las especificaciones de pureza de la Norma 700 del ARI.

### **Azeótropo**

Mezcla que hierve a una temperatura constante. Mezcla única, de dos o más sustancias químicas, que destila a una cierta temperatura constante y tiene una composición constante a una presión determinada. Un azeótropo se comporta como un fluido puro.

**Bromuro de metilo**

Sustancia química compuesta por carbono, hidrógeno y bromo que se utiliza principalmente como plaguicida y fumigante agrícola. El bromuro de metilo tiene un PAO elevado.

**CFC**

Clorofluorocarbonos, sustancias químicas orgánicas compuestas por cloro, flúor y carbono. Estas sustancias completamente halogenadas se usan comúnmente en refrigeración, espumados, aerosoles, esterilizantes, solventes de limpieza y en una variedad de aplicaciones. Los CFC tienen el potencial de destruir las moléculas de ozono en la estratosfera y son una de las principales causas del agotamiento de la capa de ozono.

**D.O.T.**

Departamento de transporte de E.E.U.U. Institución que se asegura de un sistema de transporte rápido, seguro, eficiente, accesible y conveniente.

**Estratosfera**

Región de la atmósfera superior, ubicada entre la troposfera y la mesosfera, que se extiende desde los 10 a 20 km. por encima de la superficie de la Tierra y continúa hasta una altura aproximada de 40 a 50 km.

<b>Gas efecto invernadero</b>	Gas que atrapa el calor en la atmósfera de la Tierra, contribuyendo así al calentamiento global del planeta.
<b>Halón</b>	Sustancia química bromada, relacionada con los CFC que se emplea para extinguir incendios y tiene un PAO muy alto.
<b>HCFC</b>	Hidroclorofluorocarbono. Familia de sustancias químicas hidrogenadas relacionadas con los CFC, que contienen hidrógeno así como cloro, flúor y carbono. El hidrógeno que contienen hace que su vida en la atmósfera se reduzca haciendo que, a largo plazo, los HCFC sean menos nocivos que los CFC.
<b>HFC</b>	Hidrofluorocarbono. Familia de sustancias químicas hidrogenadas relacionadas con los CFC, que contienen hidrógeno así como flúor y carbono, pero no cloro y, por consiguiente, no agotan la capa de ozono.
<b>Metanol</b>	Compuesto químico también conocido como alcohol metílico o alcohol de madera, es el alcohol más sencillo.
<b>Mezclas zeotrópicas</b>	Se llaman así a las mezclas formadas por dos o más componentes (refrigerantes puros) de diferente volatilidad.

**Miscible**

Propiedad de algunos líquidos para mezclarse en cualquier proporción, formando una solución homogénea. En principio, el término es también aplicado a otras fases (sólidos, gases), pero se emplea más a menudo para referirse a la solubilidad de un líquido en otro. El agua y el etanol, son miscibles en cualquier proporción.

**Molécula de ozono**

Molécula que contiene tres átomos de oxígeno y cuya presencia en la estratosfera constituye la capa de ozono.

**Número ASRHAЕ**

El número ASHRAE se aplica a los refrigerantes y se define en el Estándar ASHRAE 34 sobre "Designación de número y clasificación de los refrigerantes de acuerdo a la seguridad" (Number Designation and Safety Classification of Refrigerants). La designación de los números para refrigerantes hidrocarburos e hidrocarburos halogenados es sistemática, y permite la determinación de la composición química de los compuestos, a partir de los números del refrigerante.

**Número CAS**

El número de registro CAS (No. CAS) es un número asignado por el Chemical Abstracts Service de los Estados Unidos para identificar una sustancia química. El número CAS es específico para sustancias químicas simples y para algunas mezclas. Contiene de 5 a 9 dígitos que están separados en tres grupos mediante guiones.

**Número UN (United Nations)**

El número de identificación de sustancia de las Naciones Unidas (número NU) es estándar a nivel internacional, contiene cuatro dígitos que identifican una sustancia química específica o un grupo de sustancias químicas.

**PAO**

Potencial de agotamiento del ozono. Medida de la capacidad que posee una sustancia para destruir el ozono estratosférico, que se basa en su duración en la atmósfera, estabilidad, reactividad y contenido de elementos que pueden atacar al ozono. Todos los PAO se basan en una medida de referencia, que es 1 para el CFC-11.

**PCG**

Potencial de calentamiento global. Define el efecto de calentamiento integrado a lo largo del tiempo que produce una liberación instantánea de 1kg de un gas de efecto invernadero, en comparación con el causado por el CO<sub>2</sub> está basado en un tiempo horizonte de 100 años.

**SAO**

Sustancia que agota la capa de ozono. Toda sustancia controlada conforme al Protocolo de Montreal y sus Enmiendas. Las SAOs incluyen CFCs, HCFCs, halones, tetracloruro de carbono, metilcloroformo, bromoclorometano y bromuro de metilo. Las SAOs tienen un potencial de agotamiento del ozono mayor que 0 y pueden agotar la capa de ozono estratosférica.

## RESUMEN

La Tierra es el tercer planeta del Sistema Solar (contando en orden de distancia de los ocho planetas al Sol), y el quinto de ellos según su tamaño. Está situada a unos 150 millones de kilómetros del Sol. Hasta 2009, es el único planeta en el que se conoce la existencia de vida. La Tierra se formó al mismo tiempo que el Sol y el resto del Sistema Solar, hace unos 4570 millones de años. El volumen de la Tierra es más de un millón de veces menor que el Sol y la masa de la Tierra es nueve veces mayor que la de su satélite, la Luna. La temperatura media de la superficie terrestre es de unos 15 °C (59°F). En su origen, la Tierra pudo haber sido sólo un agregado de rocas incandescentes y gases.

El 71% de la superficie de la Tierra está cubierta de agua. Es el único planeta del Sistema Solar donde el agua puede existir permanentemente en estado líquido en la superficie. El agua ha sido esencial para la vida y ha formado un sistema de circulación y erosión único en el Sistema Solar. La Tierra tiene una estructura compuesta por cuatro grandes capas: la geosfera, la hidrosfera, la atmósfera y la biosfera.

La Tierra, vista desde el espacio, tiene un aspecto azulado. Este color se debe a que la superficie de la Tierra está mayoritariamente cubierta por agua. La presencia del agua en la superficie terrestre es el resultado de la desgasificación del manto, que está compuesto por rocas que contienen en

disolución sólida cierta cantidad de sustancias volátiles, de las que el agua es la más importante.

En los niveles superiores de la atmósfera la radiación solar provoca la fotólisis del agua, rompiendo sus moléculas y dando lugar a la producción de hidrógeno (H) que termina, dado su bajo peso atómico, por perderse en el espacio. El agua migra de unos a otros compartimentos por procesos de cambio de estado y de transporte que en conjunto configuran el ciclo hidrológico o ciclo del agua.

La Tierra es el único planeta en nuestro Sistema Solar en el que está presente de manera continua el agua líquida, cubriendo el 71% de su superficie. La hidrosfera incluye los océanos, mares, ríos, agua subterránea, el hielo y la nieve.

La atmósfera terrestre es la capa gaseosa que rodea a la Tierra. Protege la vida de la Tierra absorbiendo en la capa de ozono parte de la radiación solar ultravioleta, reduciendo las diferencias de temperatura entre el día y la noche, y actuando como escudo protector contra los meteoritos.

Las regiones atmosféricas son ozonósfera, ionósfera, magnetósfera, capas de airglow. Los efectos del daño a la atmósfera son el efecto invernadero, la lluvia ácida, destrucción de la capa de ozono y el Impacto del gas natural en el medio ambiente.

La capa de ozono, es la zona de la estratosfera terrestre que contiene una concentración relativamente alta de ozono. El ozono es una forma alotrópica del oxígeno, que sólo es estable en determinadas condiciones de presión y

temperatura. Es un gas compuesto por tres átomos de oxígeno (O<sub>3</sub>). El ozono actúa como filtro, o escudo protector, de las radiaciones nocivas, y de alta energía, que llegan a la Tierra permitiendo que pasen otras como la ultravioleta de onda larga, que de esta forma llega a la superficie.

La disminución de la capa de ozono provocará el aumento de los casos de cáncer de piel, de cataratas en los ojos, supresión del sistema inmunológico en humanos y en otras especies. Para preservar la capa de ozono hay que disminuir a cero el uso de compuestos químicos como los clorofluorocarbonos, CFC; (refrigerantes industriales, propelentes), y fungicidas de suelo (como el bromuro de metilo, BrCH<sub>3</sub>) que destruyen la capa de ozono a un ritmo 50 veces superior a los CFC.

La fabricación y empleo de CFC fueron prohibidos por el protocolo de Montreal, debido a que los CFC destruyen la capa de ozono. Sin embargo, pese a ello, la reciente producción de CFC repercutirá en efectos negativos sobre el medio ambiente por las próximas décadas. El mecanismo a través del cual atacan la capa de ozono es una reacción fotoquímica: al incidir la luz sobre la molécula de CFC, se libera un átomo de cloro con un electrón libre, denominado radical Cloro, muy reactivo y con gran afinidad por el ozono, rompiendo la molécula de éste último.

Hasta hace poco tiempo, los CFC-11 y CFC-12 se usaban comúnmente en enfriadores de líquido de baja presión, sistemas de refrigeración doméstica y comercial, así como en acondicionamiento de aire.

Durante la década de los 90 casi todos los países firmaron y ratificaron el protocolo de Montreal de las Naciones Unidas y sus correcciones posteriores.

Este acuerdo incluye una escala de tiempo estricto para la desaparición de refrigerantes que atacan el ozono y permite su uso provisional hasta su sustitución por refrigerantes que no dañen el ozono.

**Recuperación de refrigerantes.** Recuperar es extraer un fluido refrigerante de un sistema con el fin de ser almacenado, reciclado, regenerado o transportado. Las operaciones de recuperación implican la utilización de tres clases de material: recipientes específicos, equipos de recuperación, materiales y herramientas conexas. Los equipos de recuperación pueden clasificarse en función de los modos de transvase, líquido o gaseoso. La mayoría de las unidades de recuperación están diseñadas para el vapor ya que el líquido podría dañar la unidad, sin embargo existen máquinas para recuperar por fase líquida.

El refrigerante es removido en su condición presente y almacenado en un cilindro desechable o transferible. Esta unidad remueve el aceite del refrigerante, y puede manejar vapor o líquido en un tiempo muy rápido. Después, el refrigerante puede reciclarse en el centro de servicio o enviado a una estación de reproceso para reutilizarlo posteriormente. Utilizando un dispositivo de recuperación de refrigerante, el técnico es capaz de remover refrigerante de sistemas pequeños de aires acondicionados, comerciales, automotrices y residenciales.

Los cilindros para recuperar refrigerante deben de cumplir con las especificaciones DOT. Los pequeños (13.6 Kg. y 22. Kg.) deben estar pintados de amarillo en el área del hombro del tanque (guarda de la válvula "Y"). El resto del cilindro debe ser de color gris. Sólo los cilindros para recuperar gas están

identificados para utilizar refrigerantes usados. No utilizar cilindros diseñados para refrigerantes nuevos.

**Reciclaje de refrigerantes.** Reciclar implica limpiar el refrigerante para volverlo a utilizar, para lo cual hay que separarlo del aceite y pasarlo una o varias veces a través de dispositivos, tales como filtros deshidratadores de tipo recargable de bloques desecantes, que reducen la humedad, la acidez y las impurezas. La máquina recicladora de un solo paso, procesa el refrigerante a través de un filtro deshidratador o mediante el proceso de destilación. Lo pasa una sola vez por el proceso de reciclado a través de la máquina, para luego transferirlo al cilindro de almacenamiento. La máquina de pasos múltiples, recircula varias veces el refrigerante a través del filtro deshidratador. Después de un período de tiempo, o determinado número de ciclos, el refrigerante es transferido hacia el cilindro de almacenamiento.

Los sistemas de recuperación y reciclaje hacen viable la reutilización de los refrigerantes, de tal manera que contribuyen a reducir la necesidad de refrigerantes vírgenes a base de CFC y permiten que los equipos que operan con CFC sigan funcionando hasta el final de su vida útil. Con los cursos de buenas prácticas de refrigeración, la capacitación oportuna y de alta calidad es indispensable para que los técnicos de refrigeración y aire acondicionado estén preparados para enfrentar los próximos cambios, y para que puedan influir en el futuro desarrollo de su sector. Ya que sólo mediante la aplicación de las buenas prácticas de refrigeración, se podrán evitar las emisiones innecesarias de refrigerantes a base de CFC a la atmósfera durante las actividades de servicio, mantenimiento, instalación, puesta en marcha o desmantelamiento de sistemas de refrigeración y/o aire acondicionado.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar y elaborar un prototipo de recuperación de refrigerantes funcional para el desarrollo de pruebas, en los laboratorios del Área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

### **Específicos:**

1. Analizar los beneficios y desventajas de los refrigerantes clorofluorcarbonados y los hidroclofluorcarbonados contra los sustitutos propuestos en el medio.
2. Dar a conocer los reglamentos y normas establecidos en los distintos convenios para la recuperación y reciclaje de los refrigerantes clorofluorcarbonados e hidroclofluorcarbonados, así como su eliminación de la producción y consumo.
3. Dar a conocer los elementos adecuados para la elaboración de una máquina recuperadora de refrigerante.
4. Crear un manual de usuario para especificar el uso correcto del prototipo de recuperación de refrigerantes.

5. Crear un manual de mantenimiento para la máquina recuperadora de refrigerante.
  
6. Proponer una guía para el desarrollo de prácticas de laboratorio.

## INTRODUCCIÓN

La problemática ambiental generada por el escape indiscriminado hacia la atmósfera de refrigerantes clorofluorocarbonados y los hidroclorofluorocarbonados (CFC y HCFC), cuyo contenido de cloro está ocasionando el deterioro de la capa de ozono; la cual cumple un papel importante como filtro de los rayos ultravioleta y como gas de efecto invernadero; ha generado un amplio movimiento mundial para remediar el daño hecho hasta ahora. En 1987, los gobiernos de todos los países del mundo acordaron firmar el protocolo de Montreal cuyo objetivo es la regulación y reducción de la producción y consumo de sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAOs). Actualmente, el protocolo de Montreal cuenta con 191 países afiliados, y es considerado el acuerdo internacional más exitoso en la historia de la Organización de las Naciones Unidas.

El proceso de reducción de la producción y el consumo de SAOs se inició a principios de 1996 en los países desarrollados. Por su parte, el protocolo contempla plazos de reducción gradual del consumo de SAOs para los países en desarrollo, aplicando el principio de responsabilidad compartida. La disminución del consumo de CFCs se determinó tomando en cuenta como base el consumo promedio de los años 1995-97, y a partir de ese consumo las reducciones se fijaron de la siguiente forma; el 50% de reducción en 2005. El 85% de reducción para 2007 y en 2010 está prevista la eliminación definitiva.

El mejor sistema de reducción del uso de los CFCs y HCFCs en el sector de refrigeración y aire acondicionado, consiste en sustituir o convertir equipos viejos al uso de sustancias que no agotan la capa de ozono, así como la aplicación de buenas prácticas para la recuperación, reciclado y disposición final de dichas sustancias.

El presente documento tiene como objetivo brindar los conocimientos básicos para el buen manejo de los refrigerantes, a través de los diferentes procesos de recuperación y reciclaje. Asimismo, utilizar la unidad recuperadora para poner en práctica el método y procedimiento correcto de recuperación y almacenaje de los refrigerantes; minimizando el daño a la capa de ozono y conservando el ambiente.

# 1. ANTECEDENTES

## 1.1. La Tierra

La Tierra es el tercer planeta del Sistema Solar (contando en orden de distancia de los ocho planetas al Sol), y el quinto de ellos según su tamaño. Está situada a unos 150 millones de kilómetros del Sol. Hasta 2009, es el único planeta en el que se conoce la existencia de vida. La Tierra se formó al mismo tiempo que el Sol y el resto del Sistema Solar, hace unos 4570 millones de años. El volumen de la Tierra es más de un millón de veces menor que el Sol y la masa de la Tierra es nueve veces mayor que la de su satélite, la Luna. La temperatura media de la superficie terrestre es de unos 15°C (59°F). En su origen, la Tierra pudo haber sido sólo un agregado de rocas incandescentes y gases.

A la forma de la Tierra (entendida como la altura media del mar o que adoptaría el mar en los continentes) se le denomina geoide. El geoide es una superficie similar a una esfera achatada por los polos (esferoide). Su diámetro es de unos 12700 km ( $41.66 \times 10^6$  ft). Al conjunto de disciplinas que estudian los procesos de diversas escalas temporal y espacial que gobiernan este planeta se le llama geociencias o ciencias de la Tierra.

El 71% de la superficie de la Tierra está cubierta de agua. Es el único planeta del Sistema Solar donde el agua puede existir permanentemente en

estado líquido en la superficie. El agua ha sido esencial para la vida y ha formado un sistema de circulación y erosión único en el Sistema Solar.

La Tierra es el único de los planetas del Sistema Solar que presenta una placa tectónica activa; Marte y Venus quizás tuvieron una placa tectónica en otros tiempos pero, en todo caso, se ha detenido. Esto, unido a la erosión y la actividad biológica, ha hecho que la superficie de la Tierra sea muy joven, eliminando por ejemplo, casi todos los restos de cráteres, que marcan muchas de las superficies del Sistema Solar.

La Tierra posee un único satélite natural, la Luna. El sistema Tierra-Luna es bastante singular, debido al relativo gran tamaño del satélite.

Uno de los aspectos particulares que presenta la Tierra es su capacidad de homeóstasis que le permite recuperarse de cataclismos a mediano plazo.

### **1.1.1. Composición y estructura**

La Tierra tiene una estructura compuesta por cuatro grandes capas: la geosfera, la hidrosfera, la atmósfera y la biosfera. Estas capas poseen diferentes composiciones químicas y comportamiento geológico. Su naturaleza puede estudiarse a partir de la propagación de ondas sísmicas en su interior, y a través de las medidas de los diferentes momentos gravitacionales de las distintas capas, obtenidas por diferentes satélites orbitales.

Los geólogos han diseñado dos modelos geológicos que establecen una división de la estructura terrestre:

El primero es el **modelo geostático**:

- **Corteza.** Es la capa superficial y tiene un espesor que varía entre los 12 km (39370 ft) en los océanos, hasta los 80 km (262467 ft) en cratones (porciones más antiguas de los núcleos continentales). La corteza está compuesta por basalto en las cuencas oceánicas y por granito en los continentes.
- **Manto.** Es la capa intermedia entre la corteza y el núcleo que llega hasta una profundidad de 2900 km ( $9.51 \times 10^6$  ft). El manto está compuesto por peridotita. El cambio de la corteza al manto está determinado por la discontinuidad de Mohorovicic. El manto se divide a su vez en manto superior y manto inferior. Entre ellos existe una separación determinada por las ondas sísmicas, llamada discontinuidad de Repetti (700 km =  $2.3 \times 10^6$  ft).
- **Núcleo.** Es la capa más profunda del planeta y tiene un espesor de 3475 km ( $11.4 \times 10^6$  ft). El cambio del manto al núcleo está determinado por la discontinuidad de Gutenberg (2900 km =  $9.51 \times 10^6$  ft). El núcleo está compuesto de una aleación de hierro y níquel, y es en esta parte donde se genera el campo magnético terrestre. Éste se subdivide a su vez en el núcleo interno el cual es sólido, y el núcleo externo que es líquido. El núcleo interno está a su vez dividido en dos, externo (líquido) e interno (sólido, debido a las condiciones de presión). Esta división se produce en la discontinuidad de Wiechert-Lehman-Jeffreys (5150 km =

$16.9 \times 10^6$  ft). Tiene una temperatura de entre 4000 y 5000 °C (7232 y 9032°F).

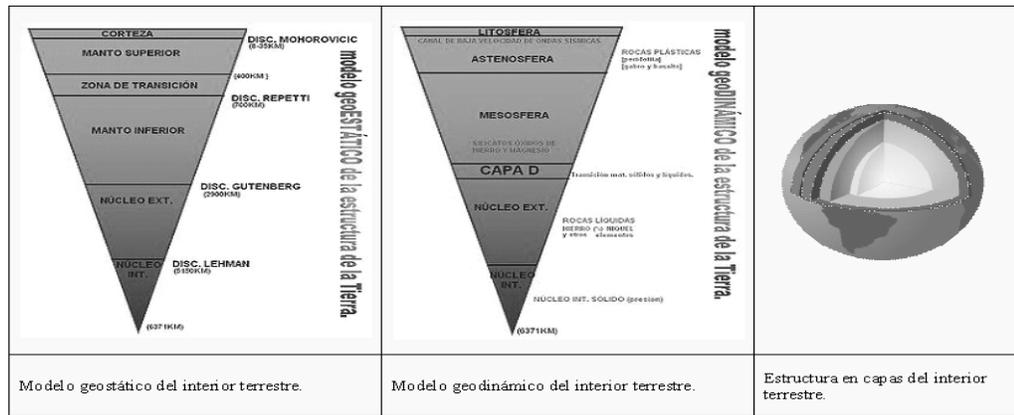
La Tierra, vista desde el espacio, tiene un aspecto azulado. Por este motivo también es conocida como «el planeta azul». Este color se debe a que la superficie de la Tierra está mayoritariamente cubierta por agua.

El segundo modelo de división de la estructura terrestre es el **modelo geodinámico**:

- **Litosfera.** Es la parte superficial que se comporta de manera elástica. Tiene un espesor de 250 km (820210 ft) y abarca la corteza y la porción superior del manto.
- **Astenosfera.** Es la porción del manto que se comporta de manera fluida. En esta capa las ondas sísmicas disminuyen su velocidad.
- **Mesosfera.** También llamada manto inferior. Comienza a los 700 km ( $2.3 \times 10^6$  ft) de profundidad, donde los minerales se vuelven más densos sin cambiar su composición química. Está formada por rocas calientes y sólidas, pero con cierta plasticidad.
- **Capa D.** Se trata de una zona de transición entre la mesosfera y la endosfera. Aquí las rocas pueden calentarse mucho y subir a la litosfera, pudiendo desembocar en un volcán.

- **Endosfera.** Corresponde al núcleo del modelo geoestático. Formada por una capa externa muy fundida donde se producen corrientes o flujos y otra interna, sólida y muy densa.

**Figura 1. Modelos de la estructura de la Tierra.**



Fuente: [www.kalipedia.com](http://www.kalipedia.com)

**Tabla I. Composición de la Tierra.**

Elemento químico	%
Hierro	34,6
Oxígeno	29,54
Silicio	15,2
Magnesio	12,7
Níquel	2,4
Azufre	1,9
Titanio	0,05
Otros	3,65

Fuente: [www.kalipedia.com](http://www.kalipedia.com)

### 1.1.2. La hidrosfera

La hidrosfera (del griego *hydros*: agua y *sphaira*: esfera) describe en las ciencias de la Tierra el sistema material constituido por el agua que se encuentra bajo, y sobre la superficie de la Tierra.

El agua que conforma la hidrosfera se reparte entre varios compartimentos que en orden de mayor a menor volumen son:

- Los océanos, que cubren dos tercios de la superficie terrestre con una profundidad típica de 3000 a 5000 metros (9842.5 a 16404 ft).
- Los glaciares, que cubren parte de la superficie continental. Sobre todo los dos casquetes glaciares de Groenlandia y la Antártida; pero también glaciares de montaña y volcán, de menor extensión y espesor, en todas las latitudes.
- La escorrentía superficial, un sistema muy dinámico formado por ríos y lagos.
- El agua subterránea, que se encuentra embebida en rocas porosas de manera más o menos universal.
- En la atmósfera en forma de nubes.
- En la biosfera, formando parte de plantas, animales y seres humanos.

La presencia del agua en la superficie terrestre es el resultado de la desgasificación del manto, que está compuesto por rocas que contienen en disolución sólida cierta cantidad de sustancias volátiles, de las que el agua es la más importante. El agua del manto se escapa a través de procesos volcánicos e hidrotermales. El manto recupera gracias a la subducción, una parte del agua que pierde a través del vulcanismo.

En los niveles superiores de la atmósfera la radiación solar provoca la fotólisis del agua, rompiendo sus moléculas y dando lugar a la producción de hidrógeno (H) que termina, dado su bajo peso atómico, por perderse en el espacio. A la larga el enfriamiento del planeta debería dar lugar al final del vulcanismo y la placa tectónica conduciendo, al asociarse con el fenómeno anterior, a la progresiva desaparición de la hidrosfera a través de la gran superficie tan exacta que hay entre dos ángulos.

El agua migra de unos a otros compartimentos por procesos de cambio de estado y de transporte que en conjunto configuran el ciclo hidrológico o ciclo del agua.

La Tierra es el único planeta en nuestro Sistema Solar en el que está presente de manera continua el agua líquida, cubriendo el 71% de su superficie.

La masa total de la hidrosfera es aproximadamente  $1.4 \times 10^{21}$  kg ( $3.08 \times 10^{21}$  lb).

### **1.1.2.1. Composición**

La hidrosfera incluye los océanos, mares, ríos, agua subterránea, el hielo y la nieve. Los océanos cubren aproximadamente tres cuartas partes de la superficie terrestre, con una profundidad promedio de 3.5 km (11483 ft), lo que representa el 97% del total de agua de nuestro planeta. En ellos se han encontrado al menos 77 elementos, siendo los más importantes el sodio y el cloro, que junto con el magnesio y el bromo, son de los pocos que se explotan comercialmente a partir del agua de mar. En la actualidad, se supone que prácticamente todos los elementos están presentes en los océanos.

Aunque propiamente no del agua de mar, sino debajo de ella, del lecho marino del Pacífico Central, cerca de las islas de Hawai, se han iniciado las investigaciones para extraer nódulos de manganeso, Mn (del tamaño de una pelota de golf o una papa pequeña). Estos nódulos son una fuente renovable de minerales, ya que se forman a partir del manto al ritmo de entre 6 y 10 toneladas al año y contienen principalmente Mn y Fe, además de cantidades pequeñas de níquel, Ni; cobre, Cu; cobalto, Co; zinc, Zn; cromo, Cr; uranio, U; volframio, W y plomo, Pb.

El agua dulce representa 3% del total y de esta cantidad aproximadamente 98% está congelada, de allí que tengamos acceso únicamente a 0.06% de toda el agua del planeta.

### 1.1.3. Atmósfera

La atmósfera es la envoltura gaseosa que rodea a la Tierra. Comenzó a formarse hace unos 4600 millones de años con el nacimiento de la Tierra. La mayor parte de la atmósfera primitiva se perdería en el espacio, pero nuevos gases y vapor de agua se fueron liberando de las rocas que forman nuestro planeta.

La atmósfera de las primeras épocas de la historia de la Tierra estaría formada por vapor de agua, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y nitrógeno (N), junto a muy pequeñas cantidades de hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) y monóxido de carbono (CO) pero con ausencia de oxígeno ( $\text{O}_2$ ). Era una atmósfera ligeramente reductora hasta que la actividad fotosintética de los seres vivos introdujo oxígeno ( $\text{O}_2$ ) y ozono ( $\text{O}_3$ ) (a partir de hace unos 2 500 ó 2000 millones de años) y hace unos 1000 millones de años la atmósfera llegó a tener una composición similar a la actual.

También ahora los seres vivos siguen desempeñando un papel fundamental en el funcionamiento de la atmósfera. Las plantas y otros organismos fotosintéticos toman  $\text{CO}_2$  del aire y devuelven  $\text{O}_2$ , mientras que la respiración de los animales y la quema de bosques o combustibles realiza el efecto contrario: retira  $\text{O}_2$  y devuelve  $\text{CO}_2$  a la atmósfera.

- El contenido de humedad de la atmósfera, como vapor de agua y gotas de líquido o cristales de hielo, cambia de manera significativa con el lugar y el tiempo. El contenido de agua de la atmósfera, en la saturación, aumenta con rapidez al aumentar la temperatura. La atmósfera tiene una frontera inferior perfectamente definida y a la vez bastante desigual, la superficie de la Tierra y los océanos. Su frontera superior no está tan

bien definida; se enrarece cada vez más al aumentar la altura, hasta llegar al espacio exterior. La mitad de la masa de la atmósfera hasta 3.4 millas (17952 ft) de la superficie; el 99% está hasta aprox. 20 millas (105600 ft) de la superficie. Si la atmósfera se desprendiera de la Tierra y se juntaran sus bordes tendría un espesor aproximado de 20 millas (105600 ft) y un diámetro de 16000 millas ( $84.48 \times 10^6$  ft).

Este gran ancho y poca profundidad significan que la mayor parte de sus movimientos deben ser horizontales. Excepto por las tormentas muy intensas, los movimientos verticales de la atmósfera son menores en uno o dos órdenes de magnitud que los horizontales. De manera análoga, las tormentas y los sistemas atmosféricos son delgados; una tormenta tropical tiene 200 millas (105600 ft) de lado en a horizontal y 10 millas (52800 ft) de su parte superior hasta abajo.

La atmósfera terrestre es la capa gaseosa que rodea a la Tierra. Está compuesta por oxígeno (20,946%) y nitrógeno (78,084%), con pequeñas cantidades de argón (0,93%), dióxido de carbono (variable, pero alrededor de 0,033% ó 330 ppm), vapor de agua (aprox. 1%), neón (18,2 ppm), helio (5,24 ppm), kriptón (1,14 ppm), hidrógeno (5 ppm) y ozono (11,6 ppm).

Protege la vida de la Tierra absorbiendo en la capa de ozono parte de la radiación solar ultravioleta, reduciendo las diferencias de temperatura entre el día y la noche, y actuando como escudo protector contra los meteoritos. El 75% de la atmósfera se encuentra en los primeros 11 km (36089 ft) de altura desde la superficie planetaria.

#### 1.1.4. Capas de la atmósfera terrestre y la temperatura

La temperatura de la atmósfera terrestre varía con la altitud. La relación entre la altitud y la temperatura es distinta dependiendo de la capa atmosférica considerada:

- Tropósfera: 0 - 9/18 km (0 – 29520/59040 ft), la temperatura disminuye con la altitud.
- Estratosfera: 9/18 - 50 km (29520/59040 - 164000 ft), la temperatura permanece constante para después aumentar con la altitud.
- Mesosfera: 50 - 80/90 km (164000 – 262400/295200 ft), la temperatura disminuye con la altitud.
- Termosfera o Ionosfera: 80/90 - 600/800 km (262400/295200 –  $1.97 \times 10^6 / 2.62 \times 10^6$  ft), la temperatura aumenta con la altitud.
- Exosfera: 600/800 - 2.000/10.000 km ( $1.97 \times 10^6 / 2.62 \times 10^6$  –  $6.56 \times 10^6 / 32.80 \times 10^6$  ft).

Las divisiones entre una capa y otra se denominan respectivamente tropopausa, estratopausa, mesopausa y termopausa.

### 1.1.5. Regiones atmosféricas

- **Ozonosfera:** región de la atmósfera donde se concentra la mayor parte del ozono. Se encuentra en la baja estratosfera, entre los 15 y 32 km (49200 y 104960 ft), aproximadamente. Esta capa nos protege de la radiación ultravioleta del Sol.
- **Ionosfera:** región ionizada por el bombardeo producido por la radiación solar. Se corresponde aproximadamente con toda la termosfera.
- **Magnetosfera:** Región exterior a la Tierra donde el campo magnético, generado por el núcleo terrestre, actúa como protector de los vientos solares.
- **Capas de Airglow:** Son capas situadas cerca de la mesopausa, que se caracterizan por la luminiscencia (incluso nocturna) causada por la reestructuración de átomos en forma de moléculas que habían sido ionizadas por la luz solar durante el día, o por rayos cósmicos. Las principales capas son la del OH, a unos 85 km (278800 ft), y la de O<sub>2</sub>, situada a unos 95 km de altura, ambas con un grosor aproximado de unos 10 km (32808 ft).

### 1.1.6. Efectos del daño a la atmósfera

- Efecto invernadero.
- Lluvia ácida.
- Destrucción de la capa de ozono.
- El impacto del gas natural en el medio ambiente.

### **1.1.6.1. Efecto invernadero**

El 46% de la radiación solar u onda corta (por tratarse en su mayor parte de radiación con longitudes de onda menor de  $4 \mu\text{m} = 1.3 \times 10^{-5} \text{ ft}$ ) que llega a nuestro planeta, es absorbida por la superficie terrestre. Una cantidad menor (23% del total) es absorbida por distintos componentes de la atmósfera, como el aire, el polvo o las nubes y el resto (31% del total) es reflejada por las nubes y la superficie terrestre, o dispersada hacia el espacio por las moléculas de aire.

La dinámica de la atmósfera y los océanos permite una redistribución de las diferentes cantidades de energía recibidas desde el sol en diferentes latitudes. Las superficies de los océanos y continentes pierden constantemente energía irradiando hacia el espacio exterior en longitudes de onda que dependen de sus respectivas temperaturas, en su mayor parte superiores a  $4 \mu\text{m} (1.3 \times 10^{-5} \text{ ft})$  (por lo que se la denomina radiación terrestre o de onda larga). Parte de la radiación de onda larga emitida por la superficie terrestre, es absorbida y vuelta a emitir en todas direcciones, incluso nuevamente hacia la Tierra, por algunos gases que componen la atmósfera (especialmente, vapor de agua, dióxido de carbono,  $\text{CO}_2$ ; metano,  $\text{CH}_4$ ; clorofluorocarbonos, CFC; y ozono,  $\text{O}_3$ ).

La presencia de estos gases reduce la pérdida efectiva de calor por la superficie terrestre, y eleva substancialmente su temperatura. Este proceso es comúnmente conocido como efecto invernadero, y los gases que intervienen activamente en él se designan en su conjunto gases invernadero. Esta expresión proviene del hecho que los mencionados gases atrapan parte de la energía infrarroja y reducen el enfriamiento de la Tierra como en un invernadero. Aunque en este último el menor enfriamiento se debe mayormente

a una disminución de la pérdida de calor por los movimientos convectivos del aire contenido en su interior.

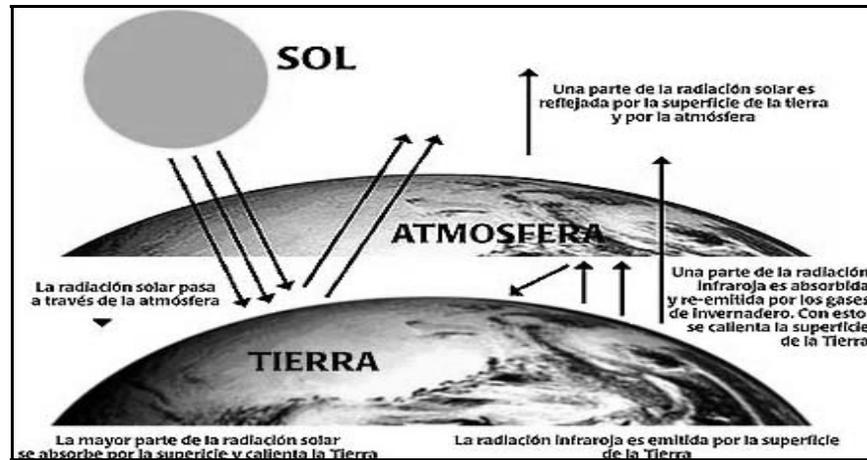
Si la concentración de gases invernadero se incrementara, tanto la superficie terrestre como las capas bajas de la atmósfera aumentarían su temperatura. Como consecuencia de esto aumentaría la cantidad de radiación generada en la Tierra hasta llegar a un nuevo equilibrio entre los flujos de radiación, en el que el total de la energía recibida por la radiación solar incidente en unidad de tiempo sería nuevamente igual a la del total de energía emitida por la Tierra en unidad de tiempo. La magnitud del efecto invernadero depende de la concentración de cada uno de los gases, y de la forma en que esa concentración varíe con la altura.

El CO<sub>2</sub> atmosférico es producido por todos los organismos que obtienen su energía del consumo del oxígeno y por los procesos de combustión natural de origen humano. La principal fuente de consumo de CO<sub>2</sub> atmosférico es el proceso de fotosíntesis que transcurre en los vegetales. Por eso, las principales causas del aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico son: el aumento de su generación, como consecuencia del uso de combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) y la disminución de su consumo como consecuencia de los cambios en el régimen de explotación de la Tierra, en particular, la deforestación de las selvas tropicales húmedas.

Otra fuente importante de CO<sub>2</sub> es la producción de cemento. Entre las fuentes de producción del metano (CH<sub>4</sub>) se encuentran los procesos bacterianos que se generan en los cultivos de arroz, las industrias del carbón, petróleo y gas natural. Los clorofluorocarbonos (CFC), son producidos de

síntesis humana que fueron abundantemente utilizados como disolventes y gases refrigerantes.

**Figura 2. Efecto invernadero.**



Fuente: Consejería de medio ambiente.

### 1.1.6.2. Lluvia ácida

También se la denomina como: disposición ácida, precipitación ácida, pero se la conoce comúnmente como lluvia ácida.

Como ya se expresó, existen en la naturaleza distintas fuentes de contaminación de puestos ácidos de la atmósfera, tales como las erupciones volcánicas, incendios forestales y descomposición bacteriana de compuestos orgánicos, pero actualmente la actividad humana (quemado de combustibles fósiles y gases de escape de motores de combustión interna, como camiones y automóviles) superan en mucho la producción de aquellas fuentes.

Los principales gases productores de este fenómeno son el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$ ) que, en contacto con el vapor de agua atmosféricos y en presencia de la luz solar, reaccionan para convertirse en ácido sulfúrico y nítrico diluidos. Estos ácidos caen sobre la superficie terrestre bajo la forma de partículas secas, lluvia, escarcha, nieve o niebla. En las condiciones actuales estas precipitaciones son más ácidas que lo normal.

Los efectos biológicos de la lluvia ácida son objetos de intensos debates científicos. En principio este nivel de acidez es tóxico para ciertos peces y microorganismos acuáticos y terrestres (líquenes y hongos) que son parte esencial de la ecología del suelo de los bosques. Muchas especies de peces no soportan PH inferiores a 4.5 y determinadas larvas tienen ciertos problemas por debajo de PH 6/7; lo mismo ocurre con ciertas especies de plantas.

Otro de los efectos es la acción de estos ácidos sobre las trazas de metales muy diseminados en los suelos. Es el caso del aluminio, que una vez disuelto se incorpora al agua de lagos y ríos y, a través de plantas y microorganismos, entra en la cadena alimentaria. Este metal es muy tóxico para algunas plantas y animales y ya se lo ha detectado incorporado en la flora y fauna de zonas donde frecuentemente se producen lluvias ácidas.

También ataca las estructuras de los edificios y monumentos, construidos normalmente con compuestos calcáreos, con el consiguiente deterioro y pérdida de valor artístico. También son atacadas las estructuras metálicas (puentes, torres y edificios metálicos).

El incremento en la acidez de las aguas que se utilizan para la provisión de agua potable a una ciudad podría llegar a destruir en poco tiempo todo el sistema de cañerías metálicas de distribución.

En este caso pueden adoptarse medidas tecnológicas con el objeto de reducir la producción de los gases contaminantes iniciales (óxidos, azufre y nitrógeno):

- Una de las medidas más simples es el uso racional de la energía (particularmente eléctrica) para obtener el mismo efecto, reduciendo indirectamente las emisiones.
- Utilización de carbones de bajo porcentaje en sulfuros. Esta solución impacta en la economía, ya que estos carbones son más caros que los otros. Los carbones sulfurados pueden ser lavados por medio de solventes previo a su uso en las calderas.
- Otra alternativa es el tratamiento de los gases de salida al extraer los mencionados óxidos antes de ser liberados a la atmósfera.

Uno de los métodos más prometedores, con el objeto de extraer los óxidos de azufre es el llamado de combustión en lecho fluido, que consiste en inyectar piedra caliza en el hogar de la caldera, en el que las partículas sólidas de combustible están suspendidas mediante un corriente de aire desde el fondo. La piedra caliza se combina con los sulfuros antes de que sean expulsados por la chimenea. Por otra parte, por la baja temperatura de combustión a que se opera, sólo se libera una pequeña cantidad de óxidos de nitrógeno (NO).

### **1.1.6.3. Destrucción de la capa de ozono**

En la parte superior de la estratosfera se encuentra la capa de ozono, la cual es un filtro de la radiación solar ultravioleta. Si se produce una reducción de su concentración provoca un incremento de la cantidad de radiación ultravioleta que incide sobre la Tierra.

Estas capas superiores de la atmósfera también son contaminadas por aeronaves de vuelo a gran altura, explosiones nucleares y erupciones volcánicas. Aparecen como contaminantes los óxidos de azufre (SO) y otros gases que son hidrocarburos halogenados, designados comúnmente como clorofluorocarbonos (CFC); estos son gases pulverizadores en aerosol, refrigerantes en equipos de aire acondicionado, pesticidas etc. Y tienen un tiempo de residencia de 1000 años aproximadamente.

Cuando el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y estos hidrocarburos halogenados alcanzan las altas regiones de la estratosfera son fotodisociados por la luz solar, produciendo óxido de nitrógeno y cloro libre, que destruyen el ozono.

Esta reducción en la capa de ozono ha sido relacionada con efectos tales como el cáncer de piel en el hombre, que se produce en dos etapas:

- La reducción del ozono produce en la estratosfera produce un incremento en la radiación ultravioleta que alcanza la superficie terrestre.
- El incremento de esta radiación aumenta los efectos naturales de la radiación ultravioleta, que son considerados agentes cancerígenos.

En general puede afirmarse que el incremento porcentual del flujo ultravioleta es el doble del porcentaje de decrecimiento de la concentración de ozono.

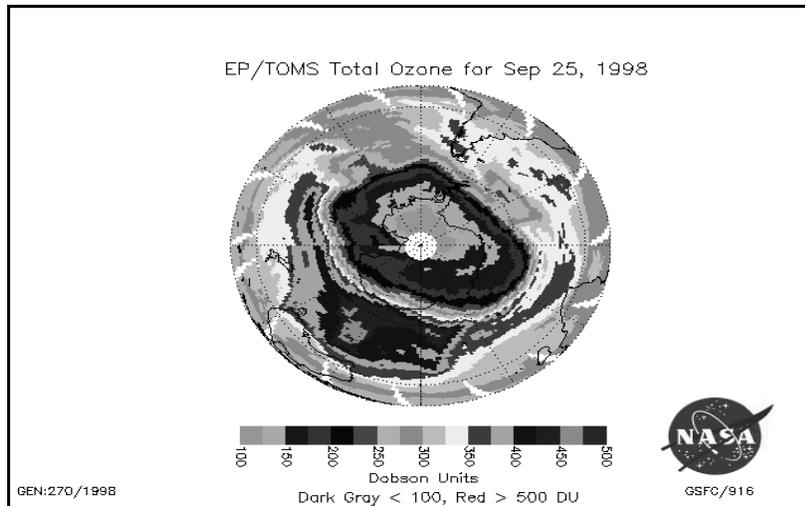
Se encuentran bajo observación y estudio las radiaciones cuya longitud de onda en la banda comprendida entre 290/320 nanómetros ( $n = \text{nano} = 10^{-9}$ ) y las lesiones solares de piel ocurridas a la personas con piel blanca (caucásicos en Estados Unidos), en latitudes medias (cuando el sol de verano incide verticalmente y ocurren los peores casos de cáncer de piel, particularmente en cara y manos).

También se están estudiando algunos cambios climáticos que pueden producir el incremento de la opacidad de la estratosfera por la mayor cantidad de sustancias contaminantes en ella.

En este caso las medidas para reducir la producción de dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) son las mismas recomendadas para el caso de la lluvia ácida.

En cuanto a los clorofluorocarbonos (CFC), existe ya una conciencia mundial que debe desterrarse su uso tanto en su forma de propelente como en equipos de refrigeración, reemplazándolos por otras sustancias no contaminantes, tales como el tetrafluoretano (R134a) (HFC), que ya está siendo aplicado en la industria del frío.

**Figura 3. Destrucción de la capa de ozono.**



Fuente: NASA/GSFC.

#### **1.1.6.4. El impacto del gas natural en el medio ambiente**

Las pérdidas resultan ser el principal factor de querrela en la distribución de gas natural. Desde el punto de vista de contaminación ambiental, los volúmenes globales perdidos en distribución no son relevantes. Por el contrario las pérdidas, a nivel individual pueden alcanzar concentraciones susceptibles de causar accidentes. El sistema de odorización utilizado para marcar el gas permite que todos los habitantes de una ciudad se comporten como inspectores de pérdida.

El nivel de pérdida aceptable, que está entre el 2 y el 4% del volumen transportado se halla en el entorno de error de medición, que es el 2,5%. La

realidad práctica es que, en el caso del gas, pérdidas globales del orden del 6% alcanzan a producir un notable perjuicio económico.

El punto débil del control de pérdidas se encuentra en los venteos de las plantas reguladoras de diseño antiguo, si bien satisface las normas de seguridad. La solución del problema ha sido encarada con la sustitución paulatina de las plantas reguladoras existentes, por otras de tecnología actualizada.

La resolución del venteo es lo suficientemente marcada como para lograr la amortiguación de la inversión con el ahorro del producto recuperado. La tecnología permite instalar ductos cada vez más confiables y estables en el tiempo (plásticos), por lo que las pérdidas tienden a disminuir paulatinamente.

El metano ( $\text{CH}_4$ ) en sí mismo es uno de los factores que generan el efecto invernadero. La incidencia del gas venteado por los sistemas de distribución es más baja que en el impacto general por las emanaciones propias de los seres vivos, desde los rumiantes hasta las térmicas.

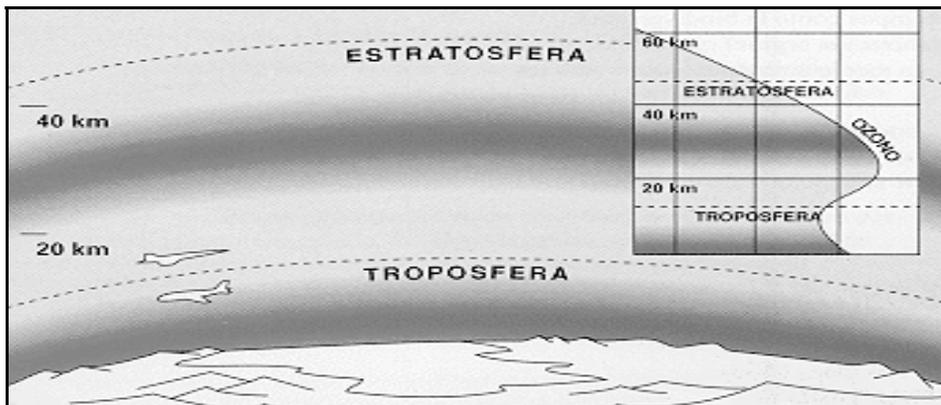
El gas natural en el país no contiene productos contaminantes. Los gases de combustibles además de limpios generan menos dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) que cualquier otro combustible fósil.

La utilización del gas en sistemas integrados tales como la cogeneración permite la reducción del dióxido de carbono generado por energía utilizada en valores superiores al 50%.

## 1.2. Capa de ozono

Se denomina capa de ozono, u *ozonoesfera*, a la zona de la estratosfera terrestre que contiene una concentración relativamente alta de ozono. Esta capa, que se extiende aproximadamente de los 15 km a los 40 km (49200 a los 131200 ft) de altitud, reúne el 90% del ozono presente en la atmósfera y absorbe del 97% al 99% de la radiación ultravioleta de alta frecuencia.

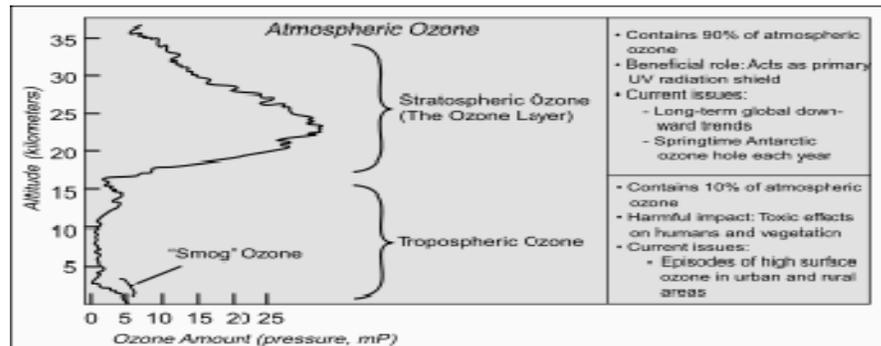
**Figura 4. La capa de ozono.**



Fuente: Revista AC/R Latinoamérica Vol. 3 No. 5, septiembre-octubre año 2000.

La capa de ozono fue descubierta en 1913, por los físicos franceses Charles Fabry y Henri Buisson. Sus propiedades fueron examinadas en detalle por el meteorólogo británico G.M.B. Dobson, quien desarrolló un sencillo espectrofotómetro que podía ser usado para medir el ozono estratosférico desde la superficie terrestre. Entre 1928 y 1958, Dobson estableció una red mundial de estaciones de monitoreo de ozono, las cuales continúan operando en la actualidad. La unidad Dobson, una unidad de medición de la cantidad de ozono, fue nombrada en su honor.

**Figura 5. Esquema de la distribución de ozono en la atmósfera. (El pico superior corresponde a lo que llamamos capa de ozono).**



Fuente: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002. Twenty questions and answers about the ozone layer. OMM. 2002.

### 1.2.1. Origen de la capa de ozono

El ozono es una forma alotrópica del oxígeno, que sólo es estable en determinadas condiciones de presión y temperatura. Es un gas compuesto por tres átomos de oxígeno ( $O_3$ ).

Los mecanismos fotoquímicos que se producen en la capa de ozono fueron investigados por el físico británico Sidney Chapman en 1930. La formación del ozono de la estratosfera terrestre es catalizada por los fotones de luz ultravioleta que al interactuar con las moléculas de oxígeno gaseoso, que está constituida por dos átomos de oxígeno ( $O_2$ ), las separa en los átomos de oxígeno (oxígeno atómico) constituyente.

El oxígeno atómico se combina con aquellas moléculas de  $O_2$  que aún permanecen sin disociar formando, de esta manera, moléculas de ozono ( $O_3$ ).

La concentración de ozono es mayor entre los 15 y 40 km (49200 a los 131200 ft), con un valor de 2-8 partículas por millón, en la zona conocida como capa de ozono. Si todo ese ozono fuese comprimido a la presión del aire al nivel del mar, esta capa tendría solo 3 mm ( $9.84 \times 10^{-3}$  ft) de espesor.

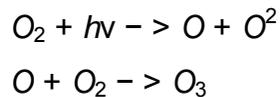
El ozono actúa como filtro, o escudo protector, de las radiaciones nocivas, y de alta energía, que llegan a la Tierra permitiendo que pasen otras como la ultravioleta de onda larga, que de esta forma llega a la superficie. Esta radiación ultravioleta es la que permite la vida en el planeta, ya que es la que permite que se realice la fotosíntesis del reino vegetal, que se encuentra en la base de la pirámide trófica.

Al margen de la capa de ozono, mencionemos que el 10% de ozono restante está contenido en la troposfera, es peligroso para los seres vivos por su fuerte carácter oxidante. Elevadas concentraciones de este compuesto a nivel superficial forman el denominado smog fotoquímico.

El origen de este ozono se explica en un 10% como procedente del ozono transportado desde la estratosfera y el resto es creado a partir de diversos mecanismos.

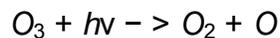
### 1.2.2. El equilibrio dinámico del ozono

El ozono se produce mediante la siguiente reacción:

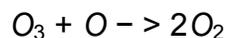


Es decir, el oxígeno molecular que se encuentra en las capas altas de la atmósfera es bombardeado por la radiación solar. Del amplio espectro de radiación incidente una determinada fracción de fotones cumple los requisitos energéticos necesarios para catalizar la rotura del doble enlace de los átomos de oxígeno de la molécula de oxígeno molecular.

Posteriormente, la radiación solar convierte una molécula de ozono en una de oxígeno biatómico y un átomo de oxígeno sin enlazar:

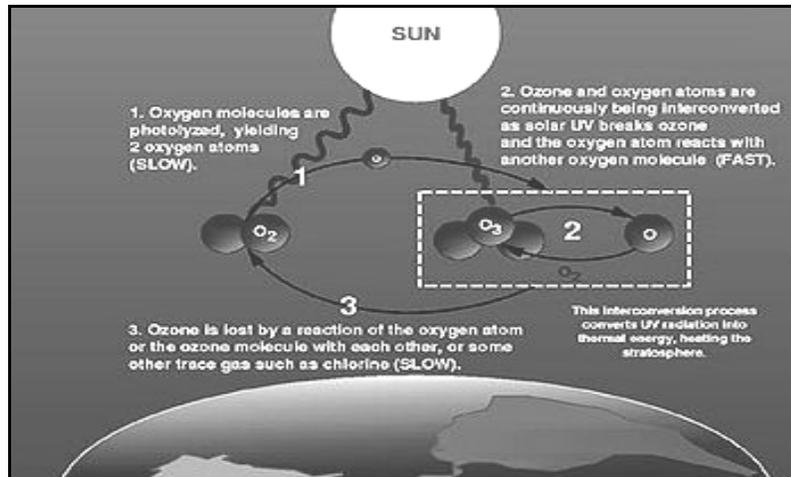


Durante la fase oscura, (la noche de una determinada región del planeta) el oxígeno monoatómico, que es altamente reactivo, se combina con el ozono de la ozonósfera para formar una molécula de oxígeno biatómico:



Para mantener constante la capa de ozono en la estratosfera esta reacción fotoquímica debe hacerse en perfecto equilibrio, pero estas reacciones son fácilmente perturbables por moléculas, como los compuestos clorados (como los clorofluorocarbonos) y los compuestos bromurados.

**Figura 6. Ciclo del ozono.**



Fuente: [www.educarchile.cl](http://www.educarchile.cl)

### 1.2.3. Problemas en la capa de ozono

La observación de la capa de ozono, realizada en los últimos años, indica que ésta se encuentra seriamente amenazada. Motivo principal por el que se reunió la Asamblea General de las Naciones Unidas el 16 de septiembre de 1987, firmando el protocolo de Montreal. En 1994, la Asamblea General de las Naciones Unidas 1994 proclamó el día 16 de septiembre como el *día internacional para la preservación de la capa de ozono*.

La disminución grave de la capa de ozono provocará el aumento de los casos de cáncer de piel, de cataratas en los ojos, supresión del sistema inmunológico en humanos y en otras especies.

Para preservar la capa de ozono hay que disminuir a cero el uso de compuestos químicos como los clorofluorocarbonos, CFC; (refrigerantes industriales, propelentes), y fungicidas de suelo (como el bromuro de metilo,  $\text{BrCH}_3$ ) que destruyen la capa de ozono a un ritmo 50 veces superior a los CFC.

Hay que tomar conciencia de la gran cantidad de moléculas de ozono que se destruyen diariamente por culpa de la actividad humana y que tomando las medidas adecuadas se podría remediar.

#### **1.2.4. Evolución del agujero más allá de latitudes polares**

Los medidores en tierra están basados en la técnica de absorción diferencial (AD) la que puede emplearse también en satélites artificiales, gracias a los que se dispone de los valores de la columna de ozono para todo el globo terrestre de manera casi continua.

La disminución del ozono ( $\text{O}_3$ ) comenzó a ser detectada en la Antártida en 1977, comprobándose en 1985 que la capa de ozono sobre la Antártida había disminuido en 40%. Se consignó que el sector dañado cubría una zona subcircular, donde se presentaba la máxima delgadez del ozono ( $\text{O}_3$ ). A partir de entonces, se comenzó a hablar de “agujero” en la capa de ozono, lo que en realidad es una gravísima disminución del espesor del escudo protector de ozono ( $\text{O}_3$ ). Asimismo, junto con el adelgazamiento de la capa de ozono en el Antártico, se ha ido verificando una paulatina disminución de este gas en el Hemisferio Norte.

En 1993, a principios de la primavera austral, se detectaron diversos descensos en la columna de ozono, siendo los más intensos los observados los días 27 de septiembre, 23 de octubre y 8 de noviembre, en los que capa de ozono alcanzó valores de sólo 200 unidades Dobson (UD), cuando su valor promedio en esa época es superior a 300 UD. El daño en la capa de ozono que se detectó en Antofagasta, indica que llegó hasta latitudes tan importantes como Buenos Aires y Santiago de Chile.

Los datos del satélite Meteor-3 confirmaron las mediciones de las estaciones en tierra. Se sabe que la aparición del agujero de ozono al comienzo de la primavera austral sobre la Antártida está relacionado con la fotólisis de los CFC, pero se carece de explicación del deterioro de la columna de ozono observado a latitudes lejanas del polo.

### **1.3. Ozono**

El ozono ( $O_3$ ), es una sustancia cuya molécula está compuesta por tres átomos de oxígeno, formada al disociarse los 2 átomos que componen el gas de oxígeno. Cada átomo de oxígeno liberado se une a otra molécula de oxígeno ( $O_2$ ), formando moléculas de ozono ( $O_3$ ).

A temperatura y presión ambientales el ozono es un gas de olor agrio y generalmente incoloro, pero en grandes concentraciones puede volverse ligeramente azulado. Si se respira en grandes cantidades, es tóxico y puede provocar la muerte.

Se descompone rápidamente en presencia de oxígeno a temperaturas mayores de 100 °C (212 °F) y en presencia de catalizadores como el dióxido de manganeso (MnO<sub>2</sub>) a temperatura ambiente.

### **1.3.1. Descubrimiento**

El ozono fue descubierto en 1785, por el físico holandés Martinus Van Marum trabajando con máquinas electrostáticas, en las cuales percibió el olor de un gas (ozono). En mayo de 1840, el químico alemán Christian Schönbein, de la Universidad de Basilea, lo nombró ozono, raíz griega que significa *ozein* (exhalar un olor, sentir). En 1863, Soret estableció la relación entre el oxígeno y el ozono, al encontrar que 3 volúmenes de oxígeno producían 2 volúmenes de ozono.

### **1.3.2. Aplicaciones**

El ozono se puede producir artificialmente mediante un generador de ozono. El ozono tiene un interesante uso industrial como precursor en la síntesis de algunos compuestos orgánicos, y sobre todo, como desinfectante (depuradoras). Su principal propiedad es que es un fortísimo oxidante. Sin embargo es más conocido por el importante papel que desempeña en la atmósfera. A este nivel es necesario distinguir entre el ozono presente en la estratosfera y el de la troposfera. En ambos casos su formación y destrucción son fenómenos fotoquímicos.

Cuando el oxígeno del aire es sujeto a un pulso de alta energía, el doble enlace  $O=O$  del oxígeno se rompe entregando dos átomos de oxígeno los cuales luego se recombinan. Estas moléculas recombinadas contienen tres átomos de oxígeno en vez de dos, lo que da origen al ozono.

Este  $O_3$  produce la eliminación absoluta de bacterias, virus, hongos, parásitos y olores presentes en el aire.

### **1.3.3. Ozono atmosférico**

El ozono atmosférico se encuentra en estado puro en diferentes concentraciones entre los 10 y los 40 km (32808 y los 131234 ft) sobre el nivel del mar, siendo su concentración más alta alrededor de los 25 km (82021 ft) (ozonósfera), es decir en la estratosfera.

Actúa en la atmósfera como depurador del aire y sobre todo como filtro de los rayos ultravioletas procedentes del Sol. Sin ese filtro la existencia de vida en la Tierra sería del todo imposible, de ahí la gran importancia de la llamada “capa de ozono”. El ozono en su forma natural es un gas de color azul y de un olor picante muy característico. Su estado líquido se presenta a  $-111.9\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-169\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) y su estado sólido a  $-193\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-315\text{ }^{\circ}\text{F}$ ).

El color azul del cielo es debido precisamente a la presencia de este gas. El ozono a concentraciones del  $100\times 100$  es altamente tóxico para el ser humano.

La primera vez que se utilizó el ozono como terapia médica fue durante la Primera Guerra Mundial sobre las heridas de guerra viéndose que estas cicatrizaban mejor y más rápidamente que las tratadas con los métodos habituales de la época.

#### **1.3.4. Ozono estratosférico**

El ozono se encuentra de forma natural en la estratosfera, formando la denominada capa de ozono. El ozono estratosférico se forma por acción de la radiación ultravioleta, que disocia las moléculas de oxígeno molecular ( $O_2$ ) en dos átomos, los cuales son altamente reactivos, pudiendo reaccionar estos con otra molécula de  $O_2$  formándose el ozono.

El ozono se destruye a su vez por acción de la propia radiación ultravioleta, ya que la radiación con longitud de onda menor de 290 nm ( $95.12 \times 10^{10}$  ft) hace que se desprenda un átomo de oxígeno de la molécula de ozono. Se forma así un equilibrio dinámico en el que se forma y destruye ozono, consumiéndose de esta forma la mayoría de la radiación de longitud de onda menor de 290 nm ( $95.12 \times 10^{10}$  ft). Así el ozono actúa como un filtro que no deja pasar dicha radiación perjudicial hasta la superficie de la Tierra.

El equilibrio del ozono en la estratosfera se ve afectado por la presencia de contaminantes, como pueden ser los compuestos clorofluorocarbonados (CFCs), que suben hasta la alta atmósfera donde catalizan la destrucción del ozono más rápidamente de lo que se regenera, produciendo así el agujero de la capa de ozono. El daño que causan cada uno de estos contaminantes es

función de su potencial de agotamiento del ozono, esto fue descubierto por el Ingeniero Químico mexicano Mario Molina, Premio Nobel de Química en 1995.

Para medir la concentración de ozono en la atmósfera se utilizan instrumentos en satélites tales como GOMOS en el satélite Envisat.

- **Variación y disminución del ozono estratosférico**

En las concentraciones de ozono influyen diversos factores como los vientos estratosféricos, el ciclo solar, etc.; aunque en proporciones no muy grandes. También algunos incendios y ciertas formas de vida marina producen compuestos con cloro que llegan a alcanzar la estratosfera.

Los aerosoles de sulfato estratosféricos introducidos en la estratosfera por las grandes erupciones volcánicas llegan a tener una cierta influencia en algunas zonas. Junto a importantes cantidades de aerosoles introducen además de ciertas cantidades de cloro. En la primavera siguiente a la explosión del Pinatubo en 1991, el agujero de ozono de la Antártida fue un 20% superior a lo normal lo que sugiere, aunque no prueba, que los dos acontecimientos podrían estar relacionados. La influencia de las grandes erupciones volcánicas sobre el total del ozono atmosférico es más modesta (no llega al 3%) y dura sólo unos 2 ó 3 años. Los aerosoles no actúan directamente destruyendo el ozono, sino que aumentan la capacidad destructiva de los átomos de cloro (Cl). Por eso, en ausencia de sustancias destructoras del ozono de origen humano, su acción sería mucho menor.

De cualquier forma numerosos experimentos muestran que de la disminución del ozono estratosférico las sustancias destructoras del ozono de origen humano son responsables de un 85%, mientras que las alteraciones naturales sólo son responsables del 15% restante.

### **1.3.5. Ozono troposférico**

Sin embargo, también se puede encontrar ozono ( $O_3$ ) en la zona más baja de la atmósfera, convirtiéndose en un problema, puesto que el ozono, en concentración suficiente puede provocar daños en la salud humana (a partir de unos 150 microgramos por metro cúbico) o en la vegetación (a partir de unos 30 ppb (partes por billón)). Estas características del ozono han propiciado que dentro de la Unión Europea aparezca una normativa relativa al ozono en el aire ambiente, que establece el nuevo régimen jurídico comunitario sobre el ozono troposférico presente en la baja atmósfera.

El mecanismo mediante el cual se genera el ozono en la troposfera es completamente distinto, ya que a esta altura no llegan las radiaciones ultravioletas. El ozono en este caso, se forma a partir de ciertos precursores ( $NO_x$  – óxidos de nitrógeno; y VOCs – compuestos orgánicos volátiles) contaminantes provenientes de la actividad humana. Estos contaminantes se disocian formando radicales con radiación menos energética, y dichos radicales pueden formar ozono con el oxígeno molecular. El conjunto del ozono,  $NO_x$  y VOCs forma una neblina visible en zonas muy contaminadas denominada smog fotoquímico.

### **1.3.6. Potencial de agotamiento del ozono**

El potencial de agotamiento del ozono es un número que se refiere a la cantidad de destrucción de ozono estratosférico causado por una sustancia. Es la razón entre el impacto sobre el ozono causado por una sustancia determinada y el impacto causado por una masa similar de CFC-11 (el potencial de agotamiento del CFC-11 está definido como 1).

Por ejemplo, el potencial de una sustancia como halón-1301 es 10, lo que significa que su impacto sobre el ozono es diez veces mayor que el del CFC-11. El bromuro de metilo tiene el potencial 50.

Los valores de los potenciales de cada sustancia vienen especificados en los anexos del protocolo de Montreal.

## **1.4. El CFC**

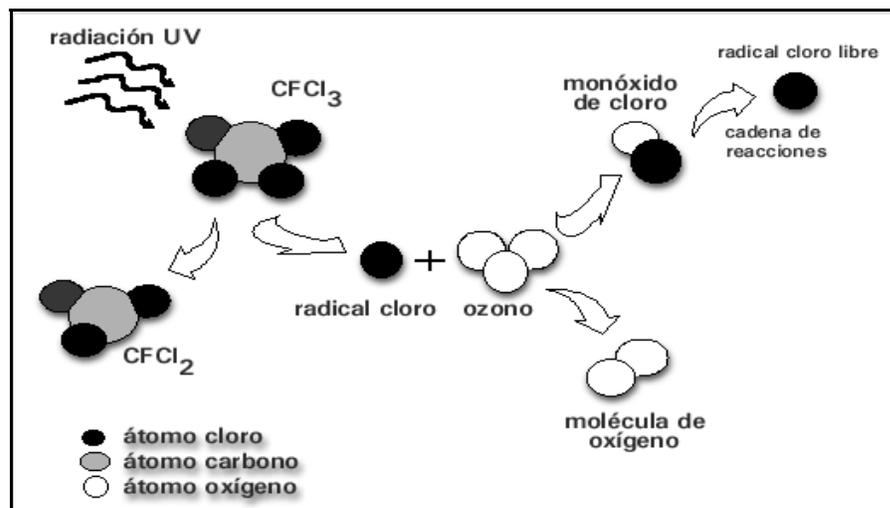
El *clorofluorocarburo*, clorofluorocarbono o clorofluorocarbonados (denominados también CFC) es cada uno de los derivados de los hidrocarburos saturados obtenidos mediante la sustitución de átomos de hidrógeno por átomos de flúor y/o cloro principalmente.

Debido a su alta estabilidad físico-química y su nula toxicidad han sido muy usados como líquidos refrigerantes, agentes extintores y propelentes para aerosoles. Fueron introducidos a principios de la década de los años 1930, por ingenieros de General Motors, para sustituir a materiales peligrosos como el dióxido de azufre y el amoníaco.

La fabricación y empleo de CFC fueron prohibidos por el protocolo de Montreal, debido a que los CFC destruyen la capa de ozono. Sin embargo, pese a ello, la reciente producción de CFC repercutirá efectos negativos sobre el medio ambiente por las próximas décadas.

El mecanismo a través del cual atacan la capa de ozono es una reacción fotoquímica: al incidir la luz sobre la molécula de CFC, se libera un átomo de cloro con un electrón libre, denominado radical cloro, muy reactivo y con gran afinidad por el ozono, rompiendo la molécula de éste último. La reacción es catalítica, se estima que un solo átomo de cloro destruye hasta 30.000 moléculas de ozono. El CFC permanece durante unos dos años en las capas altas de la atmósfera donde se encuentra el ozono.

**Figura 7. Esquema de la acción de los clorofluorocarbonos (CFC).**



Fuente: El ozono una trilogía de la biodinámica.

## 1.5. Refrigerantes

Un refrigerante es cualquier fluido que actúa como agente de enfriamiento, absorbiendo calor de un foco caliente al evaporarse. El refrigerante en una instalación de refrigeración debe tener las siguientes características:

- Calor latente de evaporación alto: cuanto mayor sea su valor menor cantidad de refrigerante hay que utilizar en el proceso de refrigeración para obtener una temperatura determinada.
- Presión de evaporación superior a la atmosférica: para evitar la entrada de aire y de humedad en el sistema en caso de fuga.
- Punto de ebullición lo suficientemente bajo para que sea inferior a la temperatura de trabajo del evaporador.
- Temperaturas y presión de condensación bajas: así se evita trabajar con presiones de condensación altas en el compresor lo que se traduce en un considerable ahorro tanto de energía como en el costo de la instalación.
- Inercia química: es decir que no reaccione con los materiales que componen el circuito ni con el aceite del compresor.
- Ha de ser inmisible o totalmente miscible con el aceite del compresor: la solubilidad parcial da origen a problemas de depósitos de aceite en el evaporador.

- Debe de ser químicamente estable: hasta el grado de no ser inflamable ni explosivo, tanto en estado puro como cuando esté mezclado con el aire en determinada proporción.
- Ha de ser soluble en agua: de esta forma se evita que el agua libre pueda formar cristales de hielo. Por este motivo los circuitos de refrigeración van provistos de filtros deshidratantes.
- Debe ser no tóxico para el hombre.
- Debe tener un impacto ambiental bajo o nulo en el caso de ser liberado por posibles fugas.
- Debe ser fácilmente detectable por el olfato para poder localizar las fugas que se produzcan en el sistema.
- Debe ser barato.

### **1.5.1. Tipos de refrigerantes**

Los primeros refrigerantes utilizados por reunir varias de estas características y ser los únicos disponibles cuando aparecieron las primeras máquinas de producción mecánica de frío (1867) fueron el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ). Pero estos refrigerantes presentaban grandes problemas de toxicidad, explosión y corrosión en las instalaciones de modo que su utilización estaba restringida a usos industriales.

Con excepción del amoníaco todos estos refrigerantes han dejado de usarse siendo reemplazados por otros denominados freones que aparecen en el mercado a partir del año 1928 y no presentan los inconvenientes de los primeros.

El amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) hoy en día se sigue empleando en instalaciones de gran tamaño debido a que es el refrigerante conocido que tiene el efecto refrigerante más alto. Es uno de los más baratos y fáciles de conseguir y tiene gran estabilidad química. Es inmiscible con el aceite, por lo tanto debe usarse un separador de aceite en la tubería de descarga del compresor hacia el condensador. Como inconveniente: es tóxico, algo inflamable y puede llegar a ser explosivo en grandes concentraciones, pero puede ser detectado fácilmente por el olor por lo que estos inconvenientes tiene poca importancia en industrias con alto nivel de control.

Las fugas de amoníaco se detectan con velas de azufre, formándose un humo denso en presencia de vapor de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) o también se puede aplicar una solución de jabón en el punto donde se cree que puede haber una fuga formándose burbujas en caso positivo.

- **Freones:** Es un grupo de refrigerantes derivados de hidrocarburos de bajo peso molecular fundamentalmente derivados del metano y el etano en los que alguno o todos sus átomos de hidrógeno (H) se han sustituido por halógenos normalmente flúor, F; cloro, Cl; y bromo, Br. En función de su composición estos refrigerantes pueden clasificarse en tres grupos: CFC (clorofluorocarbonados), HCFC (hidroclorofluorocarbonados) y HFC (hidrofluorocarbonados).

- **CFC:** son hidrocarburos totalmente halogenados, es decir, todos sus hidrógenos están sustituidos por cloro (Cl) y flúor (F). Se caracterizan por ser gases muy estables que persisten en la atmósfera muchos años y por tanto pueden llegar a la estratosfera donde destruyen la capa de ozono. Por este motivo dejaron de fabricarse y usarse a partir de 1995 según lo acordado en el protocolo de Montreal. El protocolo de Montreal, sobre productos que destruyen la capa de ozono, es un Acuerdo Internacional adoptado en una conferencia diplomática que tuvo lugar en Montreal (Canadá) el 16 de septiembre de 1987 por el que los gobiernos firmantes se comprometieron a reducir progresivamente y finalmente suprimir la fabricación y uso de estas sustancias, para lo que se estableció un calendario para su eliminación.

Dicho calendario fue revisado en varias ocasiones, la última en 1997. Uno de los refrigerantes con mejores propiedades termodinámicas y por ello el más utilizado hasta dicha fecha pertenece a este grupo es el R-12 o diclorodifluorometano y el R-11 o triclorofluorometano.

- **HCFC:** son hidrocarburos halogenados que contienen un átomo de hidrógeno en su molécula lo cual le permite oxidarse con mayor rapidez en la parte baja de la atmósfera siendo su poder de destrucción de la capa de ozono menor. Son sustitutos a medio plazo de los CFC. Según el protocolo de Montreal su uso y producción tendrá que estar reducido al 100 % en enero del 2030. Ejemplo: R-22 clorodifluorometano ODP= 0,05.

- **HFC:** derivados halogenados que no contienen cloro en su molécula oxidándose con gran rapidez en capas bajas de la atmósfera, siendo su ODP= 0. Ejemplo R-152 o difluorometano.

### 1.5.2. Consideraciones sobre los refrigerantes, según el Reglamento de Seguridad para plantas e instalaciones refrigeradas:

- **Denominación simbólica de los refrigerantes:** según este Reglamento los refrigerantes además de por su fórmula química pueden identificarse por un código adoptado internacionalmente siguiendo las siguientes reglas: el código va precedido de una R, a continuación aparecen unas cifras relacionadas con la fórmula química del refrigerante que indican lo siguiente:

- A. La primera cifra de la derecha en los compuestos que carezcan de Br indica el número de átomos de F en sus moléculas.
- B. La segunda cifra de la derecha es el número de átomos de H+1.
- C. A la izquierda de la anterior se indica con otra cifra el número de átomos de C-1. R-(C-1)-(H+1)-(F).
- D. Si la molécula contiene átomos de Br se procede según lo visto añadiendo luego a la derecha una B seguida del número de dichos átomos.
- E. Los derivados cíclicos se expresan según la regla general, encabezándolos por una C a la izquierda del número del refrigerante.
- F. Los compuestos no saturados siguen las mismas reglas anteponiendo el número 1 como cuarta cifra contada desde la derecha.

- G. Las mezclas determinadas de refrigerantes o azeótropos (disolución de 2 o más líquidos cuya composición no cambia por destilación) se expresan por las denominaciones de sus componentes intercalando entre paréntesis el porcentaje en peso correspondiente a cada uno. También pueden designarse por un número de la serie 500 completamente arbitrario.
- H. Los refrigerantes de los compuestos inorgánicos se identifican añadiendo a la cifra 700 el peso molecular de los compuestos.

- **Criterios de seguridad:** el Reglamento de Seguridad de plantas e instalaciones refrigeradas divide los fluidos en tres categorías y recomienda el uso de aquellos que sean menos tóxicos y menos inflamables. Estas categorías son:

- A. Refrigerantes de alta seguridad: se incluyen todos los refrigerantes halogenados más utilizados actualmente.
- B. Refrigerantes de media seguridad: es el amoniaco y otros residuos en desuso como el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y el cloruro de amonio ( $\text{CH}_3\text{Cl}$ ).
- C. Refrigerantes de baja seguridad: son los hidrocarburos gaseosos como el propano, butano y etileno no utilizados habitualmente.

### **1.5.3. Refrigerantes tradicionales de CFC**

#### **1.5.3.1. Refrigerante R-11**

El fluortriclorometano es un gas pesado (4,74 veces tan pesado como el aire), relacionado al grupo de los CFCs. Se caracteriza por un alto PDO (= 1). De acuerdo con el protocolo de Montreal desde enero de 1996, debió detenerse la producción del R -11. Para el organismo humano el R-11 es inofensivo, no es explosivo, se disuelve en toda proporción en aceites minerales. Es insoluble en agua, permitiendo una proporción de humedad en masa no mayor que 0,0025%. El refrigerante deshidratado es neutral a todos los metales, excepto a las aleaciones que contienen más de un 20 % de magnesio (Mg). La temperatura de ebullición normal es de 23,8 °C (75 °F). El efecto refrigerante volumétrico de R11 es bajo, es usado en máquinas de refrigeración bajo temperatura de ebullición por encima de -20 °C (-4 °F). El R11 fue ampliamente usado en aire acondicionados industriales, compresores de turbinas de potencia media y alta.

#### **- Sustituto: HCFC – R123**

Se relaciona con el grupo HCFC. La temperatura de ebullición bajo presión atmosférica es 27,9 °C (82 °F). El potencial de degradación del ozono es PDO = 0,02, y el potencial de calentamiento global es = 90. La masa molecular es 152,9. El refrigerante fue desarrollado para sustituir de los dispositivos refrigerantes al R-11. El efecto de refrigeración teórico del ciclo con R123 constituye el 0,86 relativamente al del R-11. La temperatura de condensación y la presión son 10; 15 % más baja que las del R-11. En

combinación con el R123, se recomienda usar aceites refrigerantes alquibencenos o la mezcla de aceite mineral con alquibencenos.

### **1.5.3.2. Refrigerante R-12**

El difluordiclorometano es un representante del grupo CFC. Está caracterizado por presentar un PDO alto ( $\approx 1$ ) y un elevado potencial de calentamiento global (PCG = 8500). Es un gas claro con un olor específico, 4,18 veces más pesado que el aire. Es uno de los más difundidos y seguros en la operación de los refrigerantes. En una atmósfera que contiene una fracción en volumen mayor a un 30% del R-12, la asfixia tiene lugar como resultado de la falta del oxígeno. La concentración de tolerancia (CT) en particular bajo la exposición de dos horas, corresponde a un contenido en el aire en términos de fracción en volumen de 38,5 y 30,4%. No es un explosivo, pero a una temperatura superior  $T > 330\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $626\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) se descompone con formación de cloruro de hidrógeno, fluoruro de hidrógeno anhidro y trazas del gas venenoso llamado fosgeno. Se mezcla en toda proporción en aceites, no conduce la corriente eléctrica y se disuelve muy poco en agua.

La fracción en volumen de humedad en R-12 para refrigeradores domésticos no debe exceder 0,0004 %. El R-12 deshidratado es neutral a todos los metales. Se caracteriza por una alta fluidez que facilita su penetración a través de los pequeños poros del hierro comercial. Al mismo tiempo, gracias a la alta fluidez del R-12 los aceites refrigerantes penetran a través de las partes gomosas y reduce su escape. Ya que el R-12 es un buen disolvente de muchas sustancias orgánicas, durante la manufactura de almohadillas se usan gomas

especiales, sevanita o paronita. En los equipos de refrigeración, el R-12 fue ampliamente usado para obtener temperaturas medias.

#### **-Sustituto: HCFC - R-01A**

Una mezcla de R-22, R-152a y R-124, destinados a la retroadaptación de sistemas de refrigeración. La presión y la capacidad del sistema coinciden con el R-12 cuando la mezcla se ejecuta en el evaporador (-12 °C a -7 °C (10.4 °F a 19.4 °F)), y normalmente existe una temperatura de -13 °C (8.6 °F), de deslizamiento en el evaporador. Aplicaciones: expansión directa de refrigeración y sistemas de aire acondicionado diseñados para R-12 o R-500; buen éxito en el sistema de cualquier tamaño, de menor ajuste de los controles necesarios. La presión aumenta en comparación con el R-12, aumentando la aprobación de la gestión de temperatura; sin embargo, los aumentos no son tan graves como algunos otros en la retroadaptación de mezclas. Hay una disminución de la capacidad a temperaturas más bajas.

#### **1.5.3.3. Refrigerante R-502**

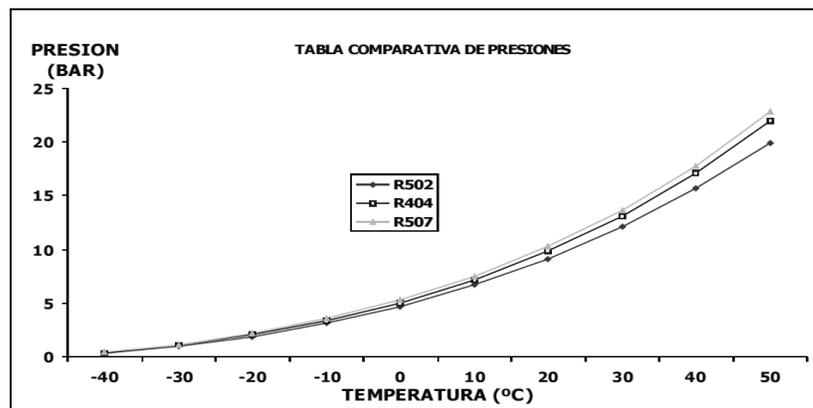
Una mezcla azeotrópica de los refrigerantes R-22 y R-115. La proporción en masa de R-22 constituye el 48,8%, y de R-115, el 51,2%. Está relacionado con el grupo de los CFCs. Tiene las siguientes características ecológicas: PDO = 0,33; PCG = 4300. No es explosivo, tiene baja toxicidad y es químicamente inerte a los metales. El R-502 se mezcla en aceites, los coeficientes de transferencia de calor durante la ebullición y condensación son cercanos a los valores correspondientes al R-22. R-502 es muy poco soluble en agua.

La concentración de tolerancia de este refrigerante en el aire es de 3000 mg/m<sup>3</sup> (1.87×10<sup>-7</sup> lb/ft<sup>3</sup>). Su efecto de refrigeración volumétrico es más alto y la temperatura de descarga es aproximadamente 20 °C (68 °F) más baja que la del R-22, que se manifiesta positivamente sobre la temperatura de la bobina del motor eléctrico durante la operación del compresor de refrigeración hermético. R502 fue usado en dispositivos de refrigeración de compresión a temperatura baja.

### -Sustituto: R-404A y el R-507

La composición del R-404A es de un 44% de R-125, 4% de R-134a y 52% de R-143a, mientras que la del R-507 es de un 50% de R-125 y un 50% de R-143a; con composiciones tan parecidas es de esperarse presiones muy similares. En la gráfica siguiente se muestra la curva de presiones de ambos gases comparándolas con las del R-502. El R-404A tiene unas presiones ligeramente inferiores al las del R-507 debido a que tiene un 6% menos de R-125, que es un gas de alta presión.

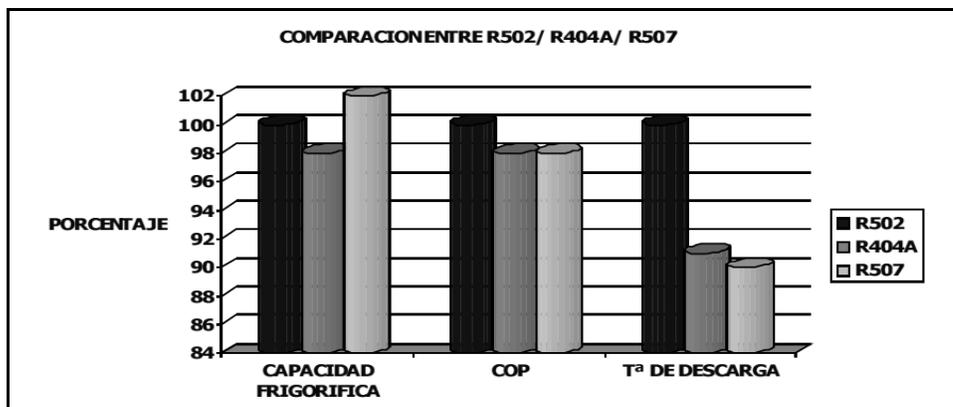
**Figura 8. Comparación de presiones R-502, R-404 y R-507.**



Fuente: Gas-Servei, S.A.

En la siguiente gráfica se representan las capacidades de refrigeración, la eficiencia energética y la temperatura de descarga del R-502, el R-404A y el R-507. Observamos que el R-404A tiene una menor capacidad de refrigeración que el R-502 y que el R-507. Ello se debe al menor porcentaje de R-125 en relación al R-507. Las eficiencias energéticas en ambos productos son similares e inferiores al R-502. La temperatura de des carga del R-507 es inferior a los demás, lo que disminuye el recalentamiento del compresor y aumenta la vida útil del mismo

**Figura 9. Comparación energética de R-502, R-404 y R-507.**



Fuente: Gas-Servei, S.A.

Otra característica importante que diferencia a ambos refrigerantes es el carácter azeotrópico del R-507, en otras palabras, se comporta como un compuesto puro. Esto presenta ventajas a la hora de fugas de refrigerante del sistema y a la hora de la carga, ya que los compuestos azeotrópicos pueden cargarse tanto por fase gas como por fase líquida.

## **1.5.4. Refrigerantes tradicionales de HCFC**

### **1.5.4.1. Refrigerante R-22**

El difluorclorometano se relaciona con el grupo de los HCFCs. Tiene un bajo potencial de agotamiento de la capa de ozono (PDO = 0,05) y un potencial de calentamiento global no muy alto PCG = 1700, es decir las características ecológicas del R-22 son mejores que las del R-12 o del R-502. Es un gas claro con un débil olor a cloroformo, más venenoso que el R-12, no es explosivo ni combustiona en atmósfera de oxígeno. Comparado con el R-12, y el R-22 es menos soluble en aceite, pero fácilmente penetra a través de los poros y es inerte a los metales. La industria de refrigeración produce aceites de alta calidad para el R-22. A temperaturas más altas que 330 °C (626 °F), el R-22 se descompone en presencia de metales produciendo las mismas sustancias que R-12. Es poco soluble en agua. La fracción de humedad en él no debe exceder 0,0025%. El coeficiente de transferencia de calor durante la ebullición y condensación es 25 - 30 % más alto que el de R-12.

Sin embargo, R-22 tiene más alta presión de condensación y temperatura de descarga (en máquinas refrigerantes). La concentración de tolerancia de este refrigerante en el aire es de 3000 mg/m<sup>3</sup> (1.87×10<sup>-4</sup> lb/ft<sup>3</sup>) bajo exposición de una hora. Este refrigerante es ampliamente usado para obtener temperaturas bajas en dispositivos de refrigeración de compresión, en sistemas de aire acondicionado y en bombas de calentamiento. En dispositivos de refrigeración que operen con R-22, es necesario usar aceites minerales o alquibencenos. No se puede mezclar R-22 con R-12 ya que se formará una mezcla azeotrópica.

Por su poder de efectividad R-502 y R-22 son relativamente similares. Los dispositivos refrigerantes que usan R-502 como fluido actuante pueden ser adaptados para usar R-22. Sin embargo, como se estableció arriba, R-22 tiene más alta presión de vapor saturado y consecuentemente más alta temperatura de descarga.

**Tabla II: Código de colores para los contenedores de algunos refrigerantes comunes.**

REFRIGERANTE N°	COLOR	PMS *
R-11	NARANJA	021
R-12	BLANCO	---
R-13	AZUL CLARO / BANDA AZUL OSCURO	2975
R-22	VERDE	352
R-123	GRIS CLARO (PLATA)	428
R-134a	AZUL CLARO (CELESTE)	2975
R-401a (MP-39)	ROJO-ROSADO (CORAL)	177
R-401B (MP-66)	AMARILLO-CAFE (MOSTAZA)	124
R-402a (HP-80)	CAFE CLARO (ARENA)	461
R-402B (HP-81)	VERDE ACEITUNA	385
R-404a (HP-62)	NARANJA	021
R-407C (AC-9000)	GRIS	---
R-500	AMARILLO	109
R-502	MORADO CLARO (ORQUÍDEA)	251
R-503	AZUL-VERDE (ACQUA)	3268
R-507 (AZ-50)	MARRÓN	167
R-717	PLATA	877

Fuente: [www.ari.org](http://www.ari.org)

### **1.5.5. CFC'S y la crisis del ozono**

Hasta hace poco tiempo, la mayoría de los refrigeradores domésticos fueron fabricados con el uso del CFC-11 y CFC-12 como refrigerantes. En 1990, el total combinado de CFC-11 y CFC-12 usado en refrigeradores domésticos eran aproximadamente 40.000 toneladas métricas (18.14 lbm). El uso extenso de CFCs es una de las causas primarias del agotamiento de la capa de ozono.

Por lo tanto, con el protocolo de Montreal se obliga a los países firmantes a eliminar y controlar las sustancias que agotan el ozono; sustituyendo los CFCs por otras, asimismo creando nuevas tecnologías.

### **1.6. Pactos actuales**

Se señala que frente a la conmoción mundial que ha provocado la disminución del ozono, se han suscrito Acuerdos Internacionales como: el "convenio de Viena para la protección de la capa de ozono", adoptado en Viena en marzo de 1985 y ratificado por Chile en 1989; y el "protocolo de Montreal relativo a las sustancias agotadoras de la capa de ozono", suscrito en Canadá, en 1987, y ratificado por Chile en 1990.

En 1987, alrededor de noventa naciones del mundo firmaron un acuerdo en el que se decidió que para el 1998 se reduciría a la mitad el consumo y la producción de los CFCs, a partir de los valores de 1986. Este acuerdo se conoce como el protocolo de Montreal.

Actualmente, la Agencia de Protección Ambiental (USEPA, por sus siglas en inglés), tiene en efecto la legislación llamada Clean Air Act Amendment de 1990 que, entre otras cosas, legisla para la eliminación de la producción de los CFCs en territorio de los Estados Unidos, al igual que su uso, manejo y disposición para el 31 de diciembre de 1995. Bajo el título VI de esta a reglamentación, está prohibido el descargar intencionalmente el CFC en el curso de mantenimiento, servicio, reparación y disposición de aire acondicionado o equipos de refrigeración.

En los Estados Unidos es ilegal la manufactura de CFCs y para poder usarlos y disponer de ellos se necesitan licencias especiales.

### **1.6.1. Convenio de Viena para protección de la capa de ozono**

#### **1.6.1.1. Preámbulo**

Las partes en el presente convenio, conscientes del impacto potencialmente nocivo de la modificación de la capa de ozono sobre la salud humana y el medio ambiente, recordando las disposiciones pertinentes de la declaración de la conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio humano, y en especial el principio 21, que establece que, de conformidad con la carta de las Naciones Unidas y con los principios del derecho internacional, “los estados tienen el derecho soberano de explotar sus propios recursos en aplicación de su propia política ambiental y la obligación de asegurar que las actividades que se lleven a cabo bajo su jurisdicción o control no perjudiquen el medio de otros estados o de zonas situadas fuera de toda jurisdicción nacional”, teniendo en cuenta las circunstancias y las necesidades especiales de los países en

desarrollo, teniendo presentes la labor y los estudios que desarrollan las organizaciones internacionales y nacionales y, en especial, el plan mundial de acción sobre la capa de ozono del programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente, teniendo presentes también las medidas de precaución que ya se han adoptado, en los ámbitos nacional e internacional, para la protección de la capa de ozono, conscientes de que las medidas para proteger la capa de ozono de las modificaciones causadas por las actividades humanas requieren acción y cooperación internacionales, y debieran basarse en las consideraciones científicas y técnicas pertinentes, conscientes asimismo, de la necesidad de una mayor investigación sobre la capa de ozono y los posibles efectos adversos de su modificación, decididas a proteger la salud humana y el medio ambiente de los efectos adversos resultantes de las modificaciones de la capa de ozono observación sistemática con el fin de aumentar el nivel de conocimientos.

#### **1.6.1.2. Definiciones**

A los efectos del presente convenio:

- a. Por “capa de ozono” se entiende la capa de ozono atmosférico por encima de la capa limítrofe del planeta.
  
- b. Por “efectos adversos” se entiende los cambios en el medio físico o las biotas, incluidos los cambios en el clima, que tienen efectos deletéreos significativos para la salud humana o para la composición, resistencia y productividad de los ecosistemas tanto naturales como objeto de ordenación o para los materiales útiles al ser humano.

- c. Por “tecnologías o equipo alternativos” se entiende toda tecnología o equipo cuyo uso permita reducir o eliminar efectivamente emisiones de sustancias que tienen o pueden tener efectos adversos sobre la capa de ozono.
  
- d. Por “sustancias alternativas” se entiende las sustancias que reducen, eliminan o evitan los efectos adversos sobre la capa de ozono.

#### **1.6.1.3. Obligaciones generales**

- a. Las Partes tomarán las medidas apropiadas, de conformidad con las disposiciones del presente convenio y de los protocolos en vigor en que sean parte, para proteger la salud humana y el medio ambiente contra los efectos adversos resultantes o que puedan resultar de las actividades humanas que modifiquen o puedan modificar la capa de ozono.
  
- b. Cooperarán mediante observaciones sistemáticas, investigación e intercambio de información a fin de comprender y evaluar mejor los efectos de las actividades humanas sobre la capa de ozono y los efectos de la modificación de la capa de ozono sobre la salud humana y el medio ambiente.

#### **1.6.1.4. Investigación y observaciones sistemáticas**

- a. Los procesos físicos y químicos que puedan afectar a la capa de ozono.
- b. Los efectos sobre la salud humana y otros efectos biológicos de cualquier modificación de la capa de ozono, en particular los ocasionados por modificaciones de las radiaciones solares ultravioleta que tienen una acción biológica (UV-B).
- c. La incidencia sobre el clima de cualquier modificación de la capa de ozono.
- d. Los efectos de cualquier modificación de la capa de ozono y de la consiguiente modificación de las radiaciones UV-B sobre materiales naturales o sintéticos útiles para el ser humano.
- e. Las sustancias, prácticas, procesos y actividades que puedan afectar a la capa de ozono, y sus efectos acumulativos.
- f. Las sustancias y tecnologías alternativas.

#### **1.6.1.5. Firma**

El presente convenio estará abierto a la firma de los estados y las organizaciones de integración económica regional en el Ministerio Federal de Relaciones Exteriores de la República de Austria, en Viena; del 22 de marzo de 1985 al 21 de septiembre de 1985, y en la Sede de las Naciones Unidas, en Nueva York, del 22 de septiembre de 1985 al 21 de marzo de 1986.

### 1.6.2. Protocolo de Montreal

El deterioro de la capa de ozono pronto fue una preocupación mundial, y después de varios años de negociaciones, a mediados de 1989, se tomó un Acuerdo Internacional para regular la producción y el uso de compuestos químicos, que pudieran afectar la capa de ozono. Conocido como el protocolo de Montreal, este acuerdo importante fue un llamado a reducir de manera gradual los CFCs en los países desarrollados, que son los mayores productores. En esta primera reunión, se hicieron varias propuestas de la forma en que se haría esta reducción. Finalmente, la más aceptada fue que, tomando como base los niveles de producción de 1986, en los países desarrollados deberían de haber un desfasamiento completo para el año 2,030. A los países menos desarrollados, se les otorgaron 10 años más para completar la transición a nuevas tecnologías. El protocolo es un esfuerzo unido de gobiernos, científicos, industria y grupos ecologistas. Coordinado por el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP), el protocolo ha sido ratificado por aproximadamente la mitad de las naciones soberanas del mundo, lo que representa más de 90% del consumo de CFCs en el mundo. En Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha decretado regulaciones, las cuales establecen que para finales del siglo, los siguientes refrigerantes totalmente halogenados CFCs deberán estar desfasados:

R-11 (Tricloromonofluorometano)

R-12 (Diclorodifluorometano)

R-113 (Triclorotrifluoroetano)

R-114 (Diclorotetrafluoroetano)

R-115 (Cloropentafluoroetano)

Periódicamente, se hacen revisiones al protocolo de Montreal para ver los avances, el desarrollo de los compuestos sustitutos y hacer nuevas propuestas sobre el desfasamiento. En junio de 1990, se hizo una nueva revisión, acordándose acelerar el desfasamiento para el año 2000. Mientras tanto, los grandes productores mundiales de refrigerantes habían estado ya trabajando en el desarrollo de nuevos productos que sustituyeran los CFCs.

Las alternativas eran compuestas con menos contenido de cloro, llamados hidroclorofluorocarbonos (HCFC) o sin contenido de cloro, llamados hidrofluorocarbonos (HFC). Ese mismo año (1990), ya se habían desarrollado a nivel experimental, los refrigerantes que podían sustituir al R-11 y al R-12, que son el R-123 y el R-134a respectivamente, cuyas propiedades termodinámicas son muy semejantes, pero como no contienen cloro, no deterioran la capa de ozono. Tomando como base al R-11 y al R-12, a los cuales se les dio un valor de potencial de agotamiento de ozono (ODP) de 1.0, el resto de los compuestos tienen valores fraccionarios o de cero.

Además, para efecto de indicar este potencial, se decidió que el número de identificación deberá estar precedido por letras para indicar la presencia de bromo (B), cloro (C), flúor (F) e hidrógeno (H), además del carbono, para el cual también se usa la letra C. Así, los clorofluorocarbonos (CFCs) son los que tienen el mayor potencial de ODP, tales como el 11, 12, 113, 114 y 115. Los hidroclorofluorocarbonos (HCFCs) aunque también contienen cloro, contienen uno o más átomos de hidrógeno, lo que los hace menos estables y les permite descomponerse más rápidamente en la atmósfera baja, antes de alcanzar la estratósfera; por lo que se les clasificó con un ODP fraccionario menor de 0.1.

Entre estos refrigerantes, se encuentran el 22, 123, 124, 141b y 142b. Los hidrofluorocarbonos (HFCs) no contienen cloro y su ODP es de cero, tales son los casos del 125, 134a, 143a y 152a. Los HCFCs y los HFCs tienen tiempos de vida atmosféricos más reducidos, de entre 2 a 25 años, comparados con los CFCs que duran 100 o más años. Los componentes halogenados que causan deterioro a la capa de ozono, fueron clasificados en dos clases:

**CLASE I.** Todas las sustancias que causan o contribuyen a dañar significativamente la capa de ozono, y que tienen un potencial de agotamiento de ozono (ODP) mayor o igual a 0.2. Estas sustancias se separan en cinco grupos:

**Grupo I.** Todos los clorofluorocarbonos (CFC's); 11, 12, 113, 114, 115.

**Grupo II.** Compuestos con bromo (halón 1211, 1301 y 2402).

**Grupo III.** Otros CFC's con uno, dos o tres átomos de carbono.

**Grupo IV.** Tetracloruro de carbono (CCl<sub>4</sub>).

**Grupo V.** Metilcloroformo.

**CLASE II.** Aquellas sustancias que se conoce que causan efectos dañinos sobre la capa de ozono. Estas incluyen todos los isómeros de los hidroclorofluorocarbonos (HCFCs) que tengan uno, dos o tres átomos de carbono. En noviembre 15 de 1990, la Ley para aire limpio (CAA) emitió leyes que incluyen una sección titulada Protección del Ozono Estratosférico, la cual contiene reglamentaciones muy amplias sobre la producción y uso de CFCs, halones, tetracloruro de carbono, metilcloroformo y los sustitutos HCFCs y HFCs. Estas reglamentaciones, a cumplirse en los próximos 40 años, afectarán a toda industria que comúnmente emplee sustancias cloradas y bromuradas que impacten el ozono estratosférico. Este cambio se debió a evidencias

científicas, según las cuales el ozono se estaba agotando más rápidamente de lo que se había pensado. Las mayores previsiones de la Ley para aire limpio incluyen:

- Programas para el desfasamiento.
- Reciclado obligatorio a partir de julio de 1992, de los refrigerantes usados en aire acondicionado automotriz, en los talleres de servicio.
- Prohibición de productos no esenciales.
- Requerimientos de etiquetas de advertencia.

Algunas de estas precauciones, tales como el reciclado de refrigerantes, tienen un impacto positivo en el ambiente, y ayudan a facilitar la difícil transición de los CFCs a sus alternativas.

Los HCFCs aunque tienen un bajo potencial de agotamiento de ozono, también están regulados como sigue:

- Producción congelada y uso limitado a equipo de refrigeración hasta el 1 de enero del 2015.
- Se permite su uso en equipos de refrigeración nuevos hasta el 1 de enero del 2020.
- Desfasamiento total efectivo al 1 de enero del 2030.

En 1991 se desarrollaron, además, mezclas ternarias de refrigerantes para sustituir al R-22, al R-500 y al R-502; por lo que, en la revisión del protocolo en 1992, se decidió acelerar el desfasamiento de los CFCs para el 31 de diciembre de 1995. La EPA puede acelerar el desfasamiento, si juzga que es necesario por razones ambientales o de salud, o si es requerido por el protocolo de Montreal.

Las investigaciones continúan, y desde 1992, ya se tiene determinado cómo se pueden modificar los equipos existentes para aceptar los nuevos refrigerantes, tales como el R-134a y el R-123, los cuales no crean ningún efecto sobre el ozono.

#### **1.6.2.1. El Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono de 1987**

Las partes en el presente Protocolo.

*Considerando* que son partes en el convenio de Viena para la protección de la capa de ozono.

*Conscientes* que, en virtud del convenio, tienen la obligación de tomar las medidas adecuadas para proteger la salud humana y el medio ambiente contra los efectos nocivos que se derivan o pueden derivarse de actividades humanas que modifican o pueden modificar la capa de ozono.

*Reconociendo* que la emisión en todo el mundo de ciertas sustancias puede agotar considerablemente y modificar la capa de ozono en una forma que podría tener repercusiones nocivas sobre la salud y el medio ambiente.

*Conscientes* de los posibles efectos climáticos de las emisiones de esas sustancias.

*Conscientes* que las medidas que se adopten para proteger la capa de ozono, a fin de evitar su agotamiento deberían basarse en los conocimientos científicos pertinentes, teniendo en cuenta aspectos técnicos y económicos.

*Decididas* a proteger la capa de ozono adoptando medidas preventivas para controlar equitativamente el total de emisiones mundiales de las sustancias que la agotan, con el objetivo final de eliminarlas, sobre la base de los adelantos en los conocimientos científicos, teniendo en cuenta aspectos técnicos y económicos.

*Reconociendo* que hay que tomar disposiciones especiales para satisfacer las necesidades de los países en desarrollo respecto de esas sustancias.

*Tomando nota* de las medidas preventivas para controlar las emisiones de ciertos clorofluorocarbonos que ya se han tomado en los planos nacional y regional.

*Considerando* la importancia de promover la cooperación internacional en la investigación y desarrollo de la ciencia y tecnología relacionadas con el control y la reducción de las emisiones de sustancias que agotan la capa de

ozono, teniendo presentes en particular las necesidades de los países en desarrollo.

Han convenido lo siguiente:

A los efectos del presente protocolo:

- a. Por "convenio" se entiende el convenio de Viena para la protección de la capa de ozono, aprobado el 22 de marzo de 1985.
- b. Por "sustancia controlada" se entiende una sustancia enumerada en el anexo A al presente protocolo, bien se presente aisladamente o en una mezcla. Sin embargo, no se considerará sustancia controlada cualquier sustancia o mezcla de ese tipo que se encuentre en un producto manufacturado, salvo si se trata de un contenedor utilizado para el transporte o almacenamiento de la sustancia enumerada en el anexo.
- c. Por "producción" se entiende la cantidad de sustancias controladas producidas menos la cantidad de sustancias destruidas mediante técnicas que sean aprobadas por las partes.
- d. Por "consumo" se entiende la producción más las importaciones menos las exportaciones de sustancias controladas.
- e. Por "niveles calculados" de producción, importaciones, exportaciones y consumo se entiende los niveles determinados de conformidad con lo dispuesto en el Artículo 3.

- f. Por "racionalización industrial" se entiende la transferencia del total o de una parte del nivel calculado de producción de una parte a otra, con objeto de lograr eficiencia económica o hacer frente a déficit previstos de la oferta como consecuencia del cierre de fábricas.

#### **1.6.2.2. Medidas de control**

- a. Cada parte se asegurará de que, en el período de 12 meses contados a partir del primer día del séptimo mes siguiente a la fecha de entrada en vigor del presente protocolo, y en cada período sucesivo de 12 meses, su nivel calculado de consumo de las sustancias controladas que figuran en el grupo I del anexo A no supere su nivel calculado de consumo de 1986. Al final del mismo período, cada parte que produzca una o más de estas sustancias se asegurará de que su nivel calculado de producción de estas sustancias no supere su nivel calculado de producción de 1986, aunque ese nivel puede haber aumentado en un máximo del 10% respecto del nivel de 1986. Dicho aumento sólo se permitirá a efectos de satisfacer las necesidades básicas internas de las partes que operen al amparo del Artículo 5 y a fines de racionalización industrial entre las partes.
- b. Cada parte se asegurará de que, en el período de 12 meses contados a partir del primer día del trigésimo séptimo mes siguiente a la fecha de entrada en vigor del presente protocolo, y en cada período sucesivo de 12 meses, su nivel calculado de consumo de las sustancias controladas que figuran en el grupo II del anexo A no supere su nivel calculado de consumo de 1986. Cada parte que produzca una o más de estas sustancias se asegurará de que su nivel calculado de producción de estas

sustancias no supere su nivel calculado de producción de 1986, aunque ese nivel puede haber aumentado en un máximo del 10% respecto del nivel de 1986. Dicho aumento sólo se permitirá a efectos de satisfacer las necesidades básicas internas de las partes que operen al amparo del artículo 5 y a fines de racionalización industrial entre las partes. Las partes decidirán en la primera reunión que celebren después del primer examen científico los mecanismos para la aplicación de estas medidas.

- c. Cada parte se asegurará de que, en el período del 1º de julio de 1993 al 30 de junio de 1994, y en cada período sucesivo de 12 meses, su nivel calculado de consumo de las sustancias controladas que figuran en el grupo I del anexo A no supere anualmente el 80% de su nivel calculado de consumo de 1986. Cada parte que produzca una o más de estas sustancias se asegurará de que, para los mismos períodos, su nivel calculado de producción de las sustancias no supere anualmente el 80% de su nivel calculado de producción de 1986. Empero, a fin de satisfacer las necesidades básicas internas de las partes que operen al amparo del artículo 5 y a efectos de racionalización industrial entre las partes, su nivel calculado de producción podrá superar ese límite en un 10%, como máximo, de su nivel calculado de producción de 1986.
- d. Cada parte se asegurará de que, en el período del 1º de julio de 1998 al 30 de junio de 1999, y en cada período sucesivo de 12 meses, su nivel calculado de consumo de las sustancias controladas que figuran en el grupo I del anexo A no supere anualmente el 50% de su nivel calculado de consumo de 1986. Cada parte que produzca una o más de esas sustancias se asegurará de que, para los mismos períodos, su nivel calculado de producción de esas sustancias no supere anualmente el

50% de su nivel calculado de producción de 1986. No obstante, para satisfacer las necesidades básicas internas de las partes que operen al amparo del artículo 5 y a efectos de racionalización industrial entre las partes, su nivel calculado de producción podrá superar ese límite en un 15%, como máximo, de su nivel calculado de producción de 1986. Este párrafo será aplicable a reserva de que en una reunión las partes decidan otra cosa por una mayoría de dos tercios de las partes presentes y votantes que representen por lo menos los dos tercios del nivel total calculado de consumo por las partes de esas sustancias. Esta decisión se considerará y adoptará a la luz de las evaluaciones de que trata el Artículo 6.

- e. A efectos de racionalización industrial, toda parte cuyo nivel calculado de producción de 1986 de las sustancias controladas del grupo I del anexo A fuera inferior a 25 kilotoneladas podrá transferir a cualquier otra parte, o recibir de cualquier otra parte, el excedente de producción que supere los límites establecidos en los párrafos 1, 3 y 4, siempre que el total de los niveles calculados y combinados de producción de las partes interesadas no supere los límites de producción establecidos en el presente Artículo. Cualquiera de esas transferencias de producción deberá notificarse a la secretaría a más tardar en el momento en que se realice la transferencia.
- f. Toda parte que no opere al amparo del Artículo 5 que antes del 16 de septiembre de 1987, haya emprendido o contratado la construcción de instalaciones para la producción de sustancias controladas podrá, cuando esta construcción haya sido prevista en la legislación nacional con anterioridad al 1 de enero de 1987, añadir la producción de esas instalaciones a su producción del 1986 de esas sustancias a fin de

determinar su nivel calculado de producción correspondiente a 1986, siempre que esas instalaciones se hayan terminado antes del 31 de diciembre de 1990 y que esa producción no eleve su nivel anual calculado de consumo de las sustancias controladas por encima de 0,5 kilogramos per cápita.

#### **1.6.2.3. Firma**

El presente Protocolo estará abierto a la firma de los estados y organizaciones de integración económica regional en Montreal, el día 16 de septiembre de 1987, en Ottawa, del 17 de septiembre de 1987 al 16 de enero de 1988, y en la Sede de las Naciones Unidas en Nueva York, del 17 de enero de 1988 al 15 de septiembre de 1988.

#### **1.6.2.4. Entrada en vigor**

El presente protocolo entrará en vigor el 1 de enero de 1989, siempre que se hayan depositado al menos 11 instrumentos de ratificación, aceptación o aprobación del protocolo o de adhesión al mismo por estados u organizaciones de integración económica regional cuyo consumo de sustancias controladas represente al menos dos tercios del consumo mundial estimado de 1986 y se hayan cumplido las disposiciones del párrafo 1 del artículo 17 del convenio.

En el caso de que en esa fecha no se hayan cumplido estas condiciones, el presente protocolo entrará en vigor el nonagésimo día contado desde la fecha en que se hayan cumplido dichas condiciones.

Después de la entrada en vigor de este protocolo, todo estado u organización de integración económica regional pasará a ser parte en este protocolo el nonagésimo día contado desde la fecha en que haya depositado su instrumento de ratificación, aceptación, aprobación o adhesión.

**Tabla III. Sustancias controladas**

<b>Grupo</b>	<b>Sustancia</b>	<b>Potencial de agotamiento del ozono*</b>	
Grupo I			
CFCI3	CFC-11	1,0	
CF2CI2	(CFC-12)	1,0	
C2F3CI3	(CFC-113)	0,8	
C2F4CI2	(CFC-114)	1,0	
C2F5CI	(CFC-115)	0,6	
Grupo II			
CF2BrCl	(halón-1211)	3,0	
CF3Br	(halón-1301)	10,0	
C2F4Br2	(halón-2402)	6,0	
* Estos valores de potencial de agotamiento del ozono son estimaciones basadas en los conocimientos actuales y serán objeto de revisión y examen periódicos.			

Fuente: Protocolo de Montreal.

### 1.6.2.5. Calendarización

**Tabla IV. Cronograma de eliminación de SAO**

<b>Anexo</b>	<b>Tipo de SAO</b>	<b>Año para primera medida de control para países que operan al amparo del Artículo 5</b>	<b>Año de eliminación definitiva para países que operan al amparo del Artículo 5</b>
A-I	CFC (5 principales)	1999-Congelación de producción y/o importación	2010
A-II	Halones	2002-Congelación de producción y/o importación	2010
B-I	Otros CFC	2003-Reducción del 20% del consumo	2010
B-II	Tetracloruro de carbono	2005-Reducción del 85% del consumo	2010
B-III	Metilcloroformo	2003-Congelación de producción y/o importación	2015
C-I	HCFC	2016-Congelación de producción y/o importación	2040
C-II	HBFC		1996
C-III	Bromoclorometano		2002
E	Bromuro de metilo		2015

Fuente: PNUMA 2001. [www.uneptie.org](http://www.uneptie.org)

## 1.7. Refrigeración

La refrigeración es el proceso de reducción y mantenimiento de la temperatura (a un valor menor a la del medio ambiente) de un objeto o espacio. La reducción de temperatura se realiza extrayendo energía del cuerpo, generalmente reduciendo su energía térmica, lo que contribuye a reducir la temperatura de este cuerpo.

La refrigeración implica transferir la energía del cuerpo a enfriar a otro, aprovechando sus propiedades termodinámicas. La temperatura es el reflejo de la cantidad o nivel de energía que posee el cuerpo, ya que el frío propiamente no existe, los cuerpos solo tienen más o menos energía térmica. De esta manera enfriar corresponde a retirar energía (calor) y no debe pensarse en términos de " producir frío o agregar frío".

La salud y el bienestar de un país pueden depender de los sistemas de refrigeración. Por ejemplo, la alimentación y el almacenamiento de vacunas, distribución, aplicación médica, industrial, comercial y doméstica de todo tipo depende de los sistemas de refrigeración.

Durante la década de los 90 casi todos los países firmaron y consecuentemente ratificaron el protocolo de Montreal de las Naciones Unidas y sus correcciones posteriores. Este acuerdo incluye una escala de tiempo estricto para la desaparición de refrigerantes que atacan el ozono y permite el uso provisional hasta su sustitución por refrigerantes que no dañen el ozono. Este cambio resultó en el aumento de la variedad de refrigerantes de uso común ya existentes.

La firma del acuerdo de Kyoto hace que aumente la necesidad de las prácticas ya que muchos de los sistemas de refrigeración y de aire acondicionado usan una considerable cantidad de energía y por lo tanto contribuyen directa o indirectamente al calentamiento global.

La gama de aparatos de refrigeración para la enseñanza y software de ordenador han sido diseñados para enseñar a los estudiantes los principios básicos de la refrigeración, para así asegurarse de que la próxima generación de ingenieros sea capaz de comprender y contribuir a los cambios fundamentales que están ahora dándose lugar en la industria de la refrigeración.

Entre otras formas:

- Aprovechar diferencias de temperaturas entre el medio receptor y emisor. Transfiriendo el calor por convección, conducción o radiación.
- Usar un proceso que requiera una aportación externa de energía en forma de trabajo, como el ciclo de Carnot.
- Aprovechar el efecto magnetocalórico de los materiales, como en la desmagnetización adiabática.

### **1.7.1. Aplicaciones de la refrigeración**

Las aplicaciones de la refrigeración son entre muchas:

- La climatización, para alcanzar un grado de confort térmico adecuado para la habitabilidad de un edificio.
- La conservación de alimentos, medicamentos u otros productos que se degraden con el calor. Como por ejemplo la producción de hielo o nieve, la mejor conservación de órganos en medicina o el transporte de alimentos perecederos.
- Los procesos industriales que requieren reducir la temperatura de maquinarias o materiales para su correcto desarrollo. Algunos ejemplos son el mecanizado, la fabricación de plásticos, la producción de energía nuclear.
- La criogénesis o enfriamiento a muy bajas temperaturas, empleada para la licuar algunos gases o para algunas investigaciones científicas.
- Motores de combustión interna: en la zona de las paredes de los cilindros y en las culatas de los motores se producen temperaturas muy altas que es necesario refrigerar mediante un circuito cerrado donde una bomba envía el líquido refrigerante a las galerías que hay en el bloque motor y la culata y de allí pasa un radiador de enfriamiento y un depósito de compensación. El líquido refrigerante que se utiliza es agua destilada con aditivos que rebajan sensiblemente el punto de congelación para

preservar al motor de sufrir averías cuando se producen temperaturas bajo cero.

- Máquinas-herramientas: las máquinas herramientas también llevan incorporado un circuito de refrigeración y lubricación para bombear el líquido refrigerante que utilizan que se llama taladrina o aceite de corte sobre el filo de la herramienta para evitar un calentamiento excesivo que la pudiese deteriorar rápidamente.

### **1.7.2. Métodos de Enfriamiento**

Los métodos más antiguos para enfriar son la evaporación, como en el caso de la vasija (proceso adiabático); o la utilización del hielo o la nieve naturales. Para la preparación de refrescos o agua fría, se bajaba nieve de las montañas cercanas (a menudo por las noches) que se guardaba en pozos y en las casas, en armarios aislados, que por esa razón se llamaban neveras.

Más tarde se consiguió el enfriamiento artificial mediante los métodos de compresión y de absorción.

El método por compresión es el más utilizado, sin embargo el método por absorción sólo se suele utilizar cuando hay una fuente de calor residual o barata, como en la trigeneración. Otros métodos son mediante un par termoeléctrico que genera una diferencia de temperatura; mediante una sustancia fría, como antiguamente el hielo y hoy en día la criogenia, con nitrógeno líquido o mezcla de sustancias, como sal común y hielo.

Otra posibilidad, aún en investigación y sin aplicación comercial, es utilizar el efecto magnetocalórico.

Al igual que se puede aprovechar diferencias de temperatura para producir calor, para crear diferencias de calor, se requiere energía. A veces se llama refrigeración simplemente a mejorar la disipación de calor, como en la refrigeración de los motores térmicos, o simplemente la ventilación forzada para sustituir aire caliente por aire más fresco.

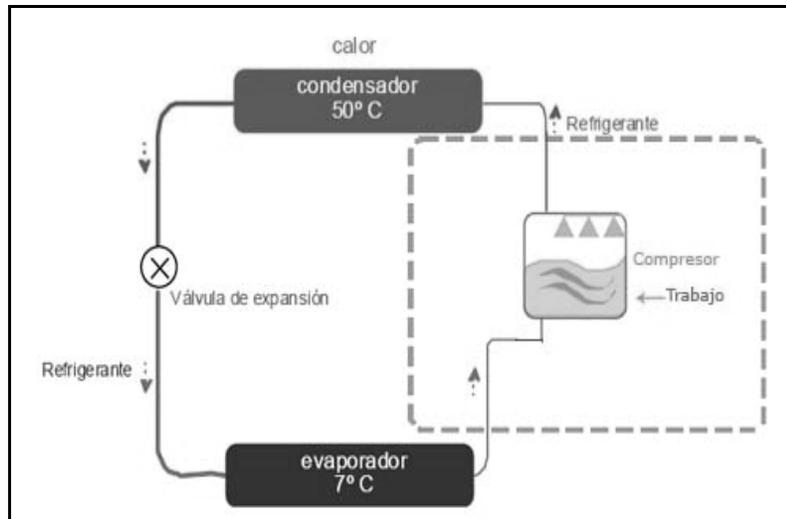
#### **1.7.2.1. Refrigeración por compresión**

La refrigeración por compresión consiste en forzar mecánicamente la circulación de un fluido en un circuito cerrado creando zonas de alta y baja presión con el propósito de que el fluido absorba calor en un lugar y lo disipe en otro.

##### **- Máquinas que aplican la refrigeración por compresión.**

- \* Aire acondicionado o acondicionador de aire.
- \* Refrigerador doméstico, nevera o sistema de refrigeración.
- \* Enfriador de agua.
- \* Fábrica de hielo.
- \* Cámara de refrigeración.
- \* Aire acondicionado automotor.
- \* Tanque de leche.

**Figura 10. Sistema de refrigeración por compresión.**



Fuente: [www.caloryfrio.com](http://www.caloryfrio.com)

### 1.7.2.2. Refrigeración por absorción

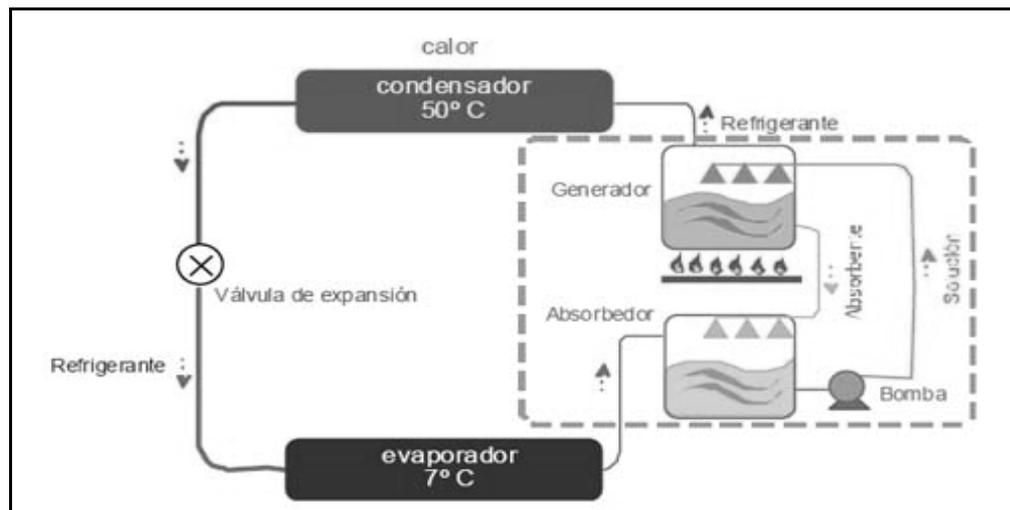
El sistema de refrigeración por absorción es un medio de producir frío que, al igual que en el sistema de refrigeración por compresión, aprovecha que ciertas sustancias absorben calor al cambiar de estado líquido a gaseoso. Así como en el sistema de compresión el ciclo se hace mediante un compresor, en el caso de la absorción, el ciclo se basa físicamente en la capacidad que tienen algunas sustancias, como el bromuro de litio, de absorber otra sustancia, tal como el agua, en fase de vapor. Otra posibilidad es emplear el agua como sustancia absorbente (disolvente) y como absorbida (soluto) amoníaco.

Un ejemplo de esta situación podría ser una instalación de aire acondicionado solar: si se utilizasen placas fotovoltaicas sólo se podría utilizar un 15-20% de electricidad en comparación con unos paneles solares térmicos

que podrían aprovechar hasta el 90% de la energía solar recibida, y a un precio de instalación mucho más reducido.

Los aparatos generadores por absorción son más voluminosos y requieren inmovilidad (lo que no permite su utilización en automóviles, lo que sería muy conveniente como ahorro de energía puesto que el motor tiene grandes excedentes de energía térmica, disipada en el radiador).

**Figura 11. Sistema de refrigeración por absorción.**



Fuente: [www.caloryfrio.com](http://www.caloryfrio.com)



## 2. SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE REFRIGERANTES

Recuperar es extraer un fluido refrigerante de un sistema con el fin de ser almacenado, reciclado, regenerado o transportado. Las operaciones de recuperación implican la utilización de tres clases de material: recipientes específicos, equipos de recuperación, materiales y herramientas conexas.

Recuperar exige:

- Extracción del fluido refrigerante de una instalación de refrigeración.
- Trasvasar el fluido a un recipiente específico, que normalmente posee dos válvulas, una para líquido (roja) y otra para vapor (azul).
- Utilizar utensilios afines para:
  - a. Crear accesos a las tuberías.
  - b. Conectar los recipientes.

Los equipos de recuperación pueden clasificarse en función de los modos de transvase, líquido o gaseoso.

La mayoría de las unidades de recuperación están diseñadas para el vapor ya que el líquido podría dañar la unidad, sin embargo, existen máquinas para recuperar por fase líquida. La recuperación del refrigerante se puede realizar cuando el refrigerante está en fase vapor, es decir en el punto 1 del



**Figura 13. Equipo de recuperación.**



Fuente: [www.electroauto-clima.com](http://www.electroauto-clima.com)

El refrigerante es removido en su condición presente y almacenado en un cilindro desechable o transferible. Esta unidad remueve el aceite del refrigerante, y puede manejar vapor o líquido en un tiempo muy rápido. Después, el refrigerante puede reciclarse en el centro de servicio o enviado a una estación de reproceso para reutilizarlo posteriormente.

Utilizando un dispositivo de recuperación de refrigerante, el técnico es capaz de remover refrigerante de sistemas pequeños de aires acondicionados, comerciales, automotrices y residenciales.

## 2.2. Métodos de recuperación de refrigerante

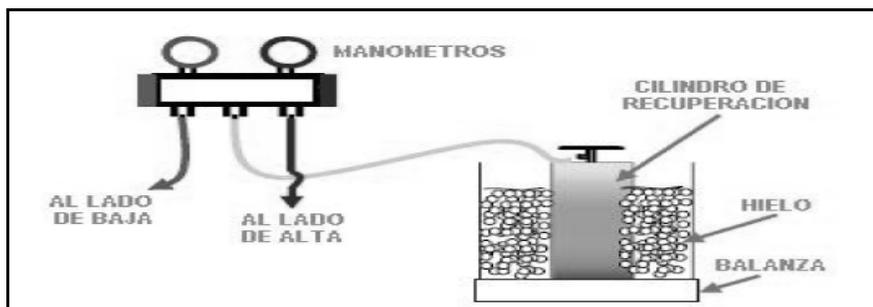
### 2.2.1. Métodos de recuperación sin equipos

Como su nombre lo indica, estos métodos no utilizan un equipo de recuperación. Para generar la diferencia de presión necesaria se emplean técnicas que buscan disminuir la presión en el cilindro de recuperación y/o elevar la presión de condensación del sistema. Se enunciarán los métodos de recuperación sin equipos, entendiendo que, en la práctica, pueden tener múltiples variaciones.

#### 2.2.1.1. Método de migración de carga

Se suele enfriar el cilindro de recuperación rodeándolo con hielo dentro de un tanque, según se observa en la figura 14:

**Figura 14. Recuperación por migración de carga.**



Fuente: [www.electrodomesticosforum.com](http://www.electrodomesticosforum.com)

**¿Por qué cuando se disminuye la temperatura del cilindro también se disminuye su presión interna?**

Porque en condiciones saturadas del refrigerante, cualquier disminución de temperatura implica una consecuente disminución inmediata de presión. Un refrigerante está saturado si se advierte la presencia de líquido dentro del cilindro que lo contiene.

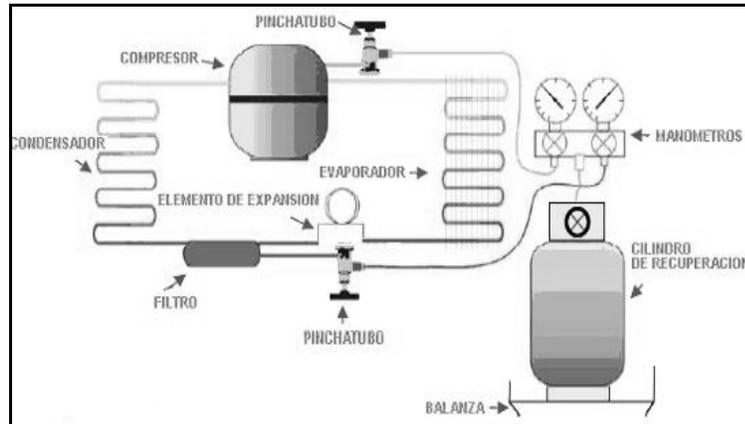
**2.2.1.2. Método de recuperación pasiva acelerada**

Es condición necesaria que el compresor del sistema esté funcionando. En la figura 15 se observa la conexión sugerida para un sistema de compresor hermético, sin válvula de servicio.

El mismo compresor del sistema genera la diferencia de presión requerida para que el refrigerante se desplace hacia el cilindro de recuperación, verificando constantemente que la presión de succión del compresor no se encuentre por debajo de 0 psi (0 bares).

Para aumentar la presión en el condensador, nunca utilice una fuente de calor externa como la generada por sopletes. El aumento descontrolado de la temperatura aumenta la presión del refrigerante a niveles que la tubería del condensador no soporta, provocando una peligrosa explosión.

**Figura 15. Recuperación pasiva acelerada.**



Fuente: [www.electrodomesticosforum.com](http://www.electrodomesticosforum.com)

**¿Dónde se conecta la manguera que conducirá el refrigerante al cilindro de recuperación?**

Para que la recuperación sea más rápida, la manguera se debe conectar en la línea de líquido. La figura 16 ilustra un cilindro de recuperación típico.

**Figura 16. Cilindro de recuperación.**



Fuente: [www.electrodomesticosforum.com](http://www.electrodomesticosforum.com)

Los métodos de recuperación sin equipos no permiten hacer vacío ni alcanzar una presión manométrica igual a cero, por tanto, no recuperan el 100% del refrigerante del sistema.

Al igualar la presión del sistema con la del cilindro de recuperación, la cantidad de refrigerante recuperada dependerá de las condiciones ambientales, de la carga de refrigerante, de la eficiencia de la técnica empleada, entre otras.

### **2.2.2. Métodos de recuperación con equipos**

Para retirar el refrigerante de un sistema, estos métodos requieren de un equipo o máquina capaz de generar la diferencia de presión requerida entre el sistema y el cilindro de recuperación. Aunque su objetivo final es el mismo, los equipos de recuperación que ofrece el mercado, con disponibilidad creciente, varían en capacidad y propósito, según el tipo de refrigerante, las características técnicas del sistema que lo contiene y las necesidades de mantenimiento identificadas.

La recuperación de refrigerantes es una práctica que requiere ser ejecutada por personal certificado, con capacidad para asumir los procedimientos y recomendaciones que cada fabricante describe para sus equipos.

Entre la variedad de equipos para recuperación de refrigerantes, se encuentran máquinas de accionamiento manual y máquinas de accionamiento eléctrico.

### **2.2.2.1. Las de accionamiento manual**

Como la mostrada en la figura 17, se utilizan para el servicio en sistemas de refrigeración domésticos, donde la carga de refrigerante no supera los 300 gramos (0.66 lb).

**Figura 17. Equipo de recuperación manual.**



Fuente: [www.electrodomesticosforum.com](http://www.electrodomesticosforum.com)

### **2.2.2.2. Las de accionamiento eléctrico**

Las unidades pequeñas, como la mostrada en la figura 18, funcionan con un compresor rotativo que permite realizar autopurga, después de cada proceso de recuperación y antes de ejecutar el siguiente y no requiere aceite, haciendo posible su uso con diferentes refrigerantes sin peligro de contaminación o mezcla de aceites.

**Figura 18. Equipo de recuperación eléctrico.**



Fuente: [www.electrodomesticosforum.com](http://www.electrodomesticosforum.com)

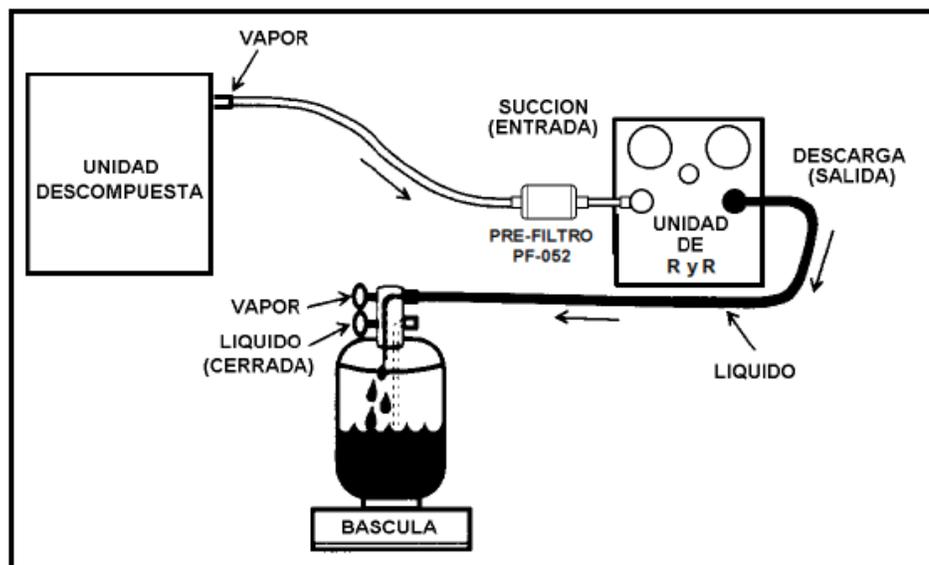
Los equipos de recuperación pueden retirar el refrigerante en estado vapor o líquido en un tiempo muy corto según las exigencias del sistema, pero emplean menos tiempo si la recuperación se realiza por líquido; así mismo, funcionan de modo más eficiente si la longitud de las mangueras de conexión es la más corta posible y su diámetro el más ancho posible.

Los equipos de recuperación pueden extraer el refrigerante de un sistema utilizando cualquiera de los siguientes métodos o una combinación entre ellos, evitando siempre que el refrigerante llegue en estado líquido hasta el compresor de la recuperadora.

### 2.2.2.2.1. Recuperación de refrigerante de un sistema utilizando el método de transferencia de vapor

Durante el proceso de recuperación, el refrigerante es removido del sistema en forma de vapor, utilizando la fuerza bombadora de la máquina recuperadora, como se muestra en la figura 19.

**Figura 19. Recuperación de refrigerante de un sistema utilizando el método de transferencia de vapor.**



Fuente: [www.emersonflowcontrols.com.mx](http://www.emersonflowcontrols.com.mx)

La recuperación es similar a la evacuación de un sistema con una bomba de vacío. Los procedimientos varían con cada fabricante. Básicamente, la manguera se conecta a un puerto de acceso en el lado de baja, hacia la válvula de succión de la unidad recuperadora. Una vez que la manguera de salida está conectada, el dispositivo de recuperación se arranca y comienza la recuperación. Algunas unidades tienen una señal para indicar cuando el proceso de recuperación ha terminado. Esto significa que el equipo de

recuperación no está procesando más vapor. En algunas ocasiones, el dispositivo de recuperación cierra automáticamente el sistema de vacío.

Cuando se ha completado la recuperación, se cierra la válvula del lado de baja. El sistema deberá asentarse por lo menos 5 minutos. Si la presión se eleva a 10 psi (0.68 bares) o más puede significar que quedaron bolsas de refrigerante líquido frío a través del sistema, y puede ser necesario reiniciar el proceso de recuperación. Puesto que es mucho más rápido recuperar el refrigerante en fase líquida, que en fase vapor, el técnico puede preferir una máquina que remueva el refrigerante líquido. Muchas máquinas son diseñadas para llevar a cabo este proceso usando cilindros para refrigerante normales. Algunas unidades de transferencia pequeñas, utilizan cilindros de recuperación especiales, que permiten al técnico remover refrigerante líquido y vapor.

#### **2.2.2.2. Recuperación de refrigerante de un sistema utilizando el método de transferencia de líquido**

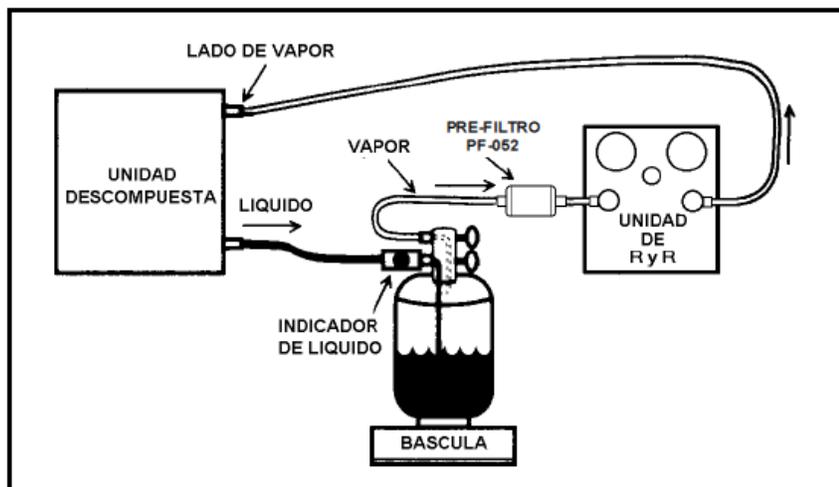
En la figura 20, se muestra un procedimiento para remover refrigerante mediante el concepto de transferencia de líquido. Este tipo de unidad de recuperación, requiere un cilindro con válvula de dos puertos. La unidad de transferencia bombea el vapor de refrigerante de la parte superior del cilindro, y presuriza la unidad de refrigeración. La diferencia de presión entre el cilindro y la unidad, transfiere el refrigerante líquido hacia el cilindro.

Una vez que se ha removido el líquido, el vapor restante es removido al cambiar las conexiones. Se recomienda cambiar el aceite del compresor de la unidad de recuperación, después de la recuperación de un sistema quemado o

antes de la recuperación de un refrigerante diferente. También se recomienda que el filtro deshidratador se reemplace, y que las mangueras se purguen, antes de transferir un refrigerante diferente. El técnico deberá asegurarse que no se sobrellene el cilindro. Lo normal es llenarlo al 80% de su capacidad. Conforme se va llenando el cilindro, deberá observarse la presión.

Si la unidad de recuperación cuenta con indicador de líquido y humedad, deberá notarse cualquier cambio que ocurra. Si el técnico utiliza un sistema que sólo recupera el refrigerante, la recarga puede llevarse a cabo de muchas maneras.

**Figura 20. Recuperación de refrigerante de un sistema utilizando el método de transferencia de líquido.**



Fuente: [www.emersonflowcontrols.com.mx](http://www.emersonflowcontrols.com.mx)

### **2.2.2.2.3. Recuperación de refrigerante de un sistema utilizando el método PUSH-PULL**

Si existe recipiente de líquido en la instalación la mayor parte se puede transvasar por el sistema conocido por "PUSH-PULL", es decir aspirando con el equipo de recuperación de la botella a llenar de la toma fase de vapor y presionando la toma fase vapor del recipiente de líquido de la instalación refrigerante, se conecta; toma líquido del recipiente con la botella y con ello se obtienen rendimientos de hasta 500 kg/m (335.4 lb/ft) con tubo de ¼", dependiendo lógicamente del desplazamiento volumétrico de la máquina de recuperación.

En éste caso una vez trasvasado el refrigerante en estado líquido, hay que aspirar la fase vapor con el equipo de recuperación licuando el refrigerante para poder introducirlo en las botellas o botellones dispuestos para tal fin.

### **2.3. Limpieza Interior de circuitos refrigerantes**

Los contaminantes que pueden malograr el funcionamiento de una instalación refrigerada pueden ser básicamente los siguientes:

- Lodos, cascarillas y soldadura.
- Agua.
- Ácido.
- Aceite para una conversión del sistema a otro refrigerante con otro aceite.

### **2.3.1. Lodos, cascarilla, soldadura, etc.**

Estos pueden ser arrastrados en la mayoría de los casos soplando por una parte del circuito abierto y sacándolo por la otra con nitrógeno (N<sub>2</sub>) seco. Sin embargo, lo recomendable sería soldar en atmósfera inerte para no producirlos, es decir soldar las tuberías con un ambiente de nitrógeno (N<sub>2</sub>) circulando por el interior de forma que desplace el oxígeno (O<sub>2</sub>), (producto que facilita la formación de cascarilla).

### **2.3.2. Agua**

Si por motivos indeseables entra agua en un circuito refrigerante, la única forma de sacar el agua es la siguiente:

- Facilitar la baja tensión de vapor del agua en estado líquido, haciendo vacío del circuito o sea el punto de ebullición que a 1 bar (14.5 psi) (presión atmosférica) es de 100 °C (212 °F), se baje conforme bajamos la presión interna del circuito. Sin embargo, para que el agua cambie de estado de líquido a vapor es necesario aportar calor donde presumiblemente pueda haber agua, mientras hacemos vacío.
- Una vez realizadas las operaciones anteriores, hay que romper el vacío con nitrógeno (N<sub>2</sub>) seco, para que este trate de saturarse de agua en estado de vapor al entrar dentro del propio circuito.
- Estas operaciones se deberán realizar tantas veces como se presuma que todavía existe presencia de agua.

### **2.3.3. Ácido, aceite**

Para limpiar ácidos producidos en el interior de un circuito se debe tener en cuenta que el ácido (líquido) es miscible con los aceites y por todo el circuito está mezclado con ellos a lo largo del mismo y como consecuencia con sacar el aceite habremos resuelto el problema. De otra parte es posible que sólo sea preciso sacar el aceite del circuito y en cualquier caso habrá que observar lo siguiente:

- Cuando se produzca acidez, la forma de comprobar que hay ácido en el circuito es sacando una muestra de aceite del compresor y chequear su PH con un papel de tornasol u otros métodos semejantes.
- Cuando un circuito que use HFC y POE tenga una fuga total haya entrado H<sub>2</sub>O con el aire ambiente. Cuando se haya hecho alguna práctica inadecuada en el manejo de los POE y se esté formando corrosión.
- Cuando se pretenda convertir un equipo con CFC/HCFC y aceite MO/AB a HFC y aceite POE.

#### **¿Cómo se limpia de aceite un circuito?**

##### **Posibilidades:**

- 1) Utilizar un producto desengrasante que no utilice agua en su composición, por ejemplo el metanol. El inconveniente básico es la inflamabilidad del producto para estas aplicaciones (por ser ésta enemiga

de la instalación de refrigeración), así como la poca seguridad de haber sacado todos los residuos de aceite existentes.

- 2) Antiguamente se empleaban con circuitos abiertos el R-11, hoy el producto que lo sustituye es el R-141b, sin embargo sigue siendo un producto con cloro de mayor punto de ebullición a la presión atmosférica y por tanto no válido con estos sistemas de bombas de circulación y circuitos abiertos. Esta práctica está siendo habitual en la transición, hoy cuando se trata de limpiar circuitos y lamentablemente no es correcta como hemos mencionado.
- 3) **Sistema correcto.** Utilizar el mismo refrigerante existente en la instalación de refrigeración agregando adicionalmente las cantidades convenientes mediante un circuito cerrado y usando para ello una máquina que permita semidestilar el refrigerante y volverlo a licuar, produciendo ciclos de inyección/aspiración y recuperando por un lado el 100% del refrigerante y separando el aceite para enviar a “gestor de residuos”.

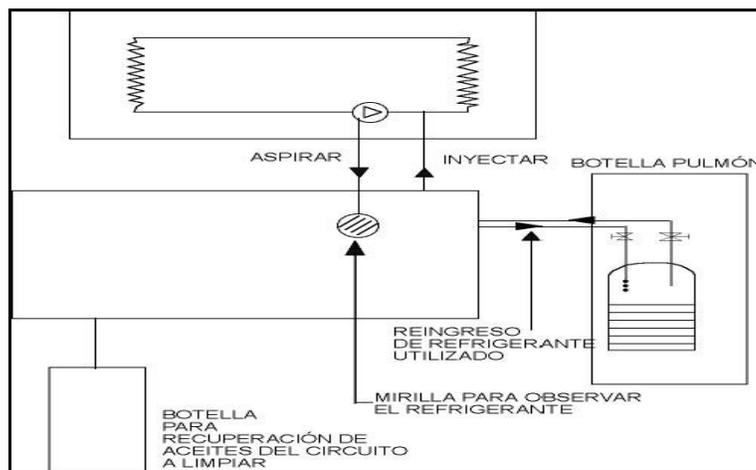
#### **2.4. Principios de funcionamiento del sistema**

- a) Inyectar refrigerante miscible con el aceite existente en la instalación en estado líquido, siguiendo el circuito de refrigeración desde la descarga del compresor hasta que aparece el refrigerante en la máquina de limpieza y controlando así el tiempo de inyección. Una vez hecha esta función se corta la inyección hasta que aparezca sólo vapor en la máquina obteniendo el tiempo de aspiración. Realizado el primer ciclo se repite mediante un

programador tantos ciclos como sean necesarios y de forma automática. Si el equipo de refrigeración a limpiar es grande de forma que los tiempos de los ciclos sean muy grandes, para evitar que la botella pulmón sea de gran tamaño se deberá seccionar el circuito en varias partes:

- Sector de alta.
- Recipiente de líquido.
- Servicios de evaporadores por independiente.
- Diferentes compresores de la central refrigerante, etc.

**Figura 21. Funcionamiento de sistema.**



Fuente: S.F. Castellana.

- b) **La máquina (sistema correcto).** Cuando recibe el refrigerante líquido, separa el aceite que viene de la instalación enviándolo a la botella para la recuperación de aceites y devolviendo líquido el refrigerante que se ha enviado al circuito otra vez a la botella “pulmón”. (Parte de inyección del ciclo).

- c) **La mirilla.** La mirilla de líquido sirve para ver cuando termine cada ciclo de inyección-aspiración, pero sobre todo para saber cuando el refrigerante viene con aceite y cuando ha terminado de llevar todo el aceite, ya que el refrigerante viene “limpio” completamente.
  
- d) **Los ciclos.** No se trata de inundar el circuito de refrigerante líquido, sino de subir y bajar los niveles para que el aceite que está en la parte más alta del contenido en fase líquida de refrigerante, pase continuamente 2 veces por cada ciclo por las partes donde se puede sacar el aceite al exterior arrastrado por el refrigerante.
  
- e) **Aprendizaje del sistema.** Aunque este sistema es una máquina de refrigeración, usada por técnicos, para limpiar aceites de las instalaciones conviene como recomendación fundamental recibir enseñanza de expertos en el sistema, después, practicar varias veces en el taller hasta asegurarse de su funcionamiento, y posteriormente estudiar la estrategia de limpieza antes de ir a una instalación a resolver el problema cuando este sea de tamaño grande especialmente.

## 2.5. Prototipo recuperador de refrigerantes

Esta unidad esta construida básicamente para la extracción del refrigerante en estado gaseoso. Consta con un compresor específicamente para refrigerante CFC-22 pero debido a la gran variedad de refrigerantes que existen en el medio, se anuló la unidad de condensación que limita la recuperación de otros refrigerantes.

Se decidió omitir el condensador dado que en este se acumula una pequeña cantidad de refrigerante que sería perjudicial, ya que se tendría una mezcla de refrigerantes y crearía un líquido altamente viscoso por la mezcla de los distintos lubricantes utilizados.

Dada la sencillez de su construcción y las protecciones instaladas al compresor, este prototipo se acopla con facilidad a las distintas presiones que se pueden encontrar en los diferentes sistemas. Esto es debido a que en la succión se tiene el sistema capilar que reduce la presión de entrada y evitando daños en el compresor y en la descarga se cuenta con un presostato que protege de las presiones altas en este punto además de tener la visión en los manómetros.

El diseño y la construcción fueron realizados y supervisados en colaboración de Instructores de un taller técnico de capacitación.

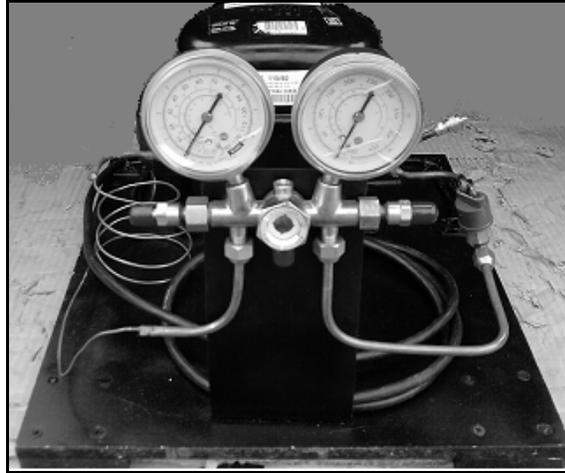
### **2.5.1. Elementos del prototipo**

A continuación se detallan todos los elementos y su forma de uso:

- **Válvula de pinch-off:** Este dispositivo, muy utilizado en sistemas de refrigeración industrial, sirve para acceder al refrigerante que está dentro de las tuberías. Consiste en un cuerpo de cobre con una rosca interna en donde se aloja un nipple, que actúa como válvula, permitiendo el flujo en ambos sentidos.

- **Tubo capilar:** Actúa como estrangulador, disminuyendo la presión de entrada al compresor. Éste forma un espiral al que se le ha disminuido el número vueltas según pruebas realizadas en la práctica hasta obtener la presión deseada.
- **Compresor:** Este es el corazón de la unidad recuperadora de refrigerante. Con 1/4 HP (W), succiona el refrigerante en estado gaseoso y lo envía hacia el recipiente no reciclable destinado para este uso.
- **Presostatos:** Estos dispositivos de control, protegen el compresor de las consecuencias que trae el trabajo con presiones fuera del rango límite de operación.
- **Manómetros:** Indican la presión existente en la tubería en un momento dado. La unidad de recuperación de refrigerante.
- **Filtro deshidratador:** Utilizado con la finalidad de mantener el sistema libre de cualquier tipo de humedad provocado por las temperaturas del refrigerante.
- **Interruptor:** Controla el flujo de la corriente eléctrica permitiéndonos el encendido y apagado del prototipo.

**Figura 22. Prototipo recuperador.**



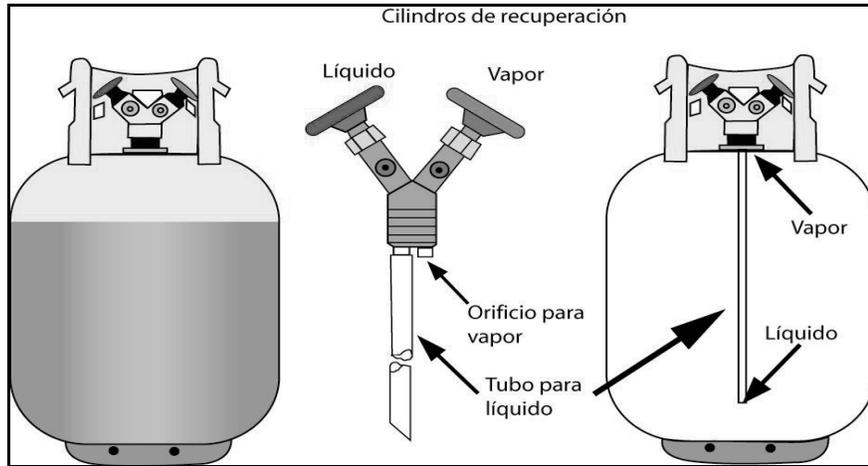
Fuente: Propia.

## **2.6. Cilindros para recuperar refrigerantes**

Los cilindros para recuperar refrigerante deben de cumplir con las especificaciones DOT. Los pequeños (13.6 Kg. y 22. Kg.) deben estar pintados de amarillo en el área del hombro del tanque (guarda de la válvula “Y”). El resto del cilindro debe ser de color gris.

Sólo los cilindros para recuperar gas están identificados para utilizar refrigerantes usados. No utilizar cilindros diseñados para refrigerantes nuevos.

**Figura 23. Componentes de un cilindro para recuperar refrigerante.**



Fuente: [www.ari.org/Especificaciones DOT](http://www.ari.org/Especificaciones DOT) (Depto. de Transporte de EE.UU.)

### **3. SISTEMA DE RECICLAJE DE REFRIGERANTE**

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 de bloques desecantes, 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.

#### **3.1. Equipo para reciclar refrigerante**

En el pasado, para hacerle servicio a un sistema, lo típico era descargar el refrigerante a la atmósfera. Ahora, el refrigerante puede ser recuperado y reciclado mediante el uso de tecnología moderna. Sin embargo, los clorofluorocarbonos (CFCs) viejos o dañados, no pueden ser reutilizados simplemente por el hecho de removerlos de un sistema y comprimirlos. El vapor, para ser reutilizado, debe estar limpio.

El reciclado como se realiza por la mayoría de las máquinas en el mercado actualmente, reduce los contaminantes a través de la separación del aceite y la filtración. Esto limpia el refrigerante, pero no necesariamente a las especificaciones de pureza originales del fabricante. Muchas de estas unidades, conocidas como unidades de transferencias de refrigerante, están diseñadas

para evacuar el sistema. Esto proporciona una máquina recicladora, capaz de regresar los refrigerantes reciclados a un mismo sistema.

Algunas unidades tienen equipo para separar el aceite y el ácido, y para medir la cantidad de aceite en el vapor. El refrigerante usado puede reciclarse mediante la máquina recicladora, utilizando filtros deshidratadores recargables de piedras, y otros dispositivos que reduzcan la humedad, partículas, acidez, etc. La separación de aceite del refrigerante usado, se lleva a cabo circulándolo una o varias veces a través de la unidad.

La máquina recicladora de un solo paso, procesa el refrigerante a través de un filtro deshidratador o mediante el proceso de destilación. Lo pasa sólo una vez por el proceso de reciclado a través de la máquina, para luego transferirlo al cilindro de almacenamiento. La máquina de pasos múltiples, recircula varias veces el refrigerante a través del filtro deshidratador. Después de un período de tiempo determinado, o un cierto número de ciclos, el refrigerante es transferido hacia el cilindro de almacenamiento.

En algunos equipos se puede recuperar refrigerante por ambos lados, baja y alta, al mismo tiempo. Este procedimiento evita restricciones a través de la válvula de expansión o tubo capilar. Si el técnico recupera solamente por uno de los lados, el resultado puede ser un tiempo excesivo de recuperación o una recuperación incompleta.

Por lo tanto, las mangueras se conectan a los lados de alta y baja del sistema de recuperación, y luego a través del lado de alta y baja del sistema de refrigeración. Por ningún motivo deberá removerse líquido del sistema en forma continua. La unidad está diseñada para recuperar vapor.

La recuperación inicial de refrigerante del lado de alta presión, será de aproximadamente 200 psig (13.8 bares). Al operar la unidad y llevar a cabo la recuperación de vapor, se alcanzará un punto cuando se haya completado la recuperación, lo cual será indicado al encenderse una lámpara.

### **3.2. Máquina de limpiar circuitos de refrigeración y reciclar refrigerante**

Es un aparato que realiza las operaciones de extraer refrigerante de un sistema de refrigeración en mantenimiento, bien sea líquido o gaseoso y tras ser filtrado, es en 1ª etapa gasificado y en 2ª etapa, es multi-inyectado en un tanque de separación del gas y del aceite.

El gas refrigerante es comprimido en un compresor para obtener un refrigerante gaseoso a alta presión, e introducido en un condensador para obtener un refrigerante en forma líquida. Este es suministrado a los medios exteriores de almacenamiento, cuando la maniobra es de extracción de refrigerante.

O el mismo refrigerante líquido es impulsado al circuito de la instalación cuando se efectúa la limpieza de dicho circuito, en circuito cerrado. Quedando el circuito limpio y al mismo tiempo el refrigerante utilizado, reciclado para su posterior utilización.

El funcionamiento de este aparato está basado en cuatro maniobras enlazadas y coordinadas entre sí con un circuito hidráulico común y a la vez independiente en sus funciones, dependiendo de la maniobra activada, gobernadas por un conmutador en la máquina prototipo.

Siendo estas:

- Temperatura de régimen = T.R.
- Descarga de instalación = D.I.
- Carga de instalación = C.I.
- Circuito cerrado = C.C.

### **3.3. Ventajas del proceso de recuperación y reciclaje**

Los sistemas de recuperación y reciclaje hacen viable la reutilización económica de refrigerantes reciclados o recuperados, de tal manera que contribuyen a reducir la necesidad de refrigerantes vírgenes a base de CFC y permiten que los equipos que operan con CFC sigan funcionando hasta el final de su vida útil.

Con los curso de buenas prácticas de refrigeración, la capacitación oportuna y de alta calidad es indispensable para que los técnicos de refrigeración y aire acondicionado estén preparados para enfrentar los próximos cambios y para que puedan influir en el futuro desarrollo de su sector, además de que solo mediante la aplicación de la buenas prácticas de refrigeración se podrán evitar las emisiones innecesarias de refrigerantes a base de CFC a la atmósfera durante las actividades de servicio, mantenimiento, instalación, puesta en marcha o desmantelamiento de sistemas de refrigeración y/o aire acondicionado.

## **Seguridad en el manejo de refrigerantes**

- No descargue los refrigerantes.
- No tome muestras de los refrigerantes.
- Póngase en contacto con profesionales designados para que realicen la toma de muestra y los análisis.
- Utilice los identificadores de refrigerante sólo si está familiarizado con su uso y si tiene autorización para hacerlo.
- Utilice los detectores de pérdidas para revisar si las botellas de refrigerante presentan alguna fuga; inspeccione las botellas y las válvulas para ver si están dañadas.
- Utilice indumentaria de protección (guantes, gafas) cuando maneje recipientes de CFC; los CFC pueden causar el congelamiento de la piel.
- Almacene las botellas de refrigerante en posición vertical y asegúrese de sujetarlas bien, en un área bien ventilada.
- No exponga las botellas de refrigerante al fuego ni a la luz directa del sol; estas botellas contienen gases presurizados.
- Maneje las botellas de refrigerante con cuidado y no las deje caer; esto podría dañar la válvula.

- Las notas de advertencia deben permanecer visibles en las áreas de almacenamiento.
- No descarte ningún refrigerante empleando un método que no sea de recuperación y reciclado, regeneración, reutilización, almacenamiento o destrucción adecuado.
- Cumpla con las regulaciones y normas locales referentes al manejo, transporte y almacenamiento de refrigerantes.

### **3.4. FRI3 OIL SYSTEM**

Es un sistema basado en una máquina de refrigeración pensado por técnicos, para limpiar de aceites un sistema de refrigeración y el aire acondicionado. Dentro del paquete de soluciones de FRI3 OIL SYSTEM, destacan especialmente las soluciones medioambientales, que pueden resolver aspectos primordiales, a saber:

- a. Cumplimiento de las leyes.
- b. Aprovechamiento de los residuos.
- c. Minimizar la producción de CO<sub>2</sub>, es decir, menor afectación al calentamiento global o efecto invernadero.
- d. Simplificación y menor costo, en la incineración de productos, ya que es preciso enviar los residuos a quemar a otros países.

- e. Abaratamiento por la compra de nuevos productos (gases refrigerantes) para seguir manteniendo los equipos de refrigeración, una vez separados refrigerante + aceite (mezclado con otras sustancias). Se tratarán, punto por punto estas cinco aportaciones de solución, que podemos obtener con el uso de FRI3 OIL SYSTEM, y que hasta ahora no estaban disponibles.

### **3.4.1. Cumplimiento de las leyes**

Cuando un técnico de refrigeración accede a cualquier equipo de producción de frío, con la intención de reparar, trasladar, reciclar, etc., en la mayor parte de los casos precisa recuperar el gas refrigerante (normalmente halocarbonado).

La Ley, obliga en todos los casos que sean refrigerantes CFCs, HCFCs ó HFCs, a recuperarlos, con medios correctos para evitar la emisión de productos a la atmósfera que afectan al calentamiento global por efecto directo de la molécula del producto y en el caso de que lleven cloro, además contribuyen al adelgazamiento de la capa de ozono.

Existen varias opciones en el mercado disponibles para resolver este problema, las de mayor aceptación son la máquinas con compresor a pistón seco, que comprimen lo mismo el vapor del refrigerante que el producto en estado líquido, y con la gran ventaja de que son válidos para todos los gases refrigerantes halocarbonados, estos equipos presentan en cambio dos problemas:

- Disponen de una potencia eléctrica pequeña.
- El condensador propio es pequeño, y no termina de condensar el producto a la salida, con lo que el rendimiento es pequeño y es una de las consecuencias por lo que estas máquinas tienen averías continuas.

Dada su fabricación masiva el costo del equipo es bajo, y por esta razón la mayor parte de los profesionales que disponen de este medio, lo usen habitualmente o no. En el mejor de los casos, este tipo de “recuperación” de refrigerantes implica generalmente la destrucción del producto ya que en el seno del mismo se toma aceite, ácidos y otras sustancias que se recogen con el refrigerante, ya que el sistema no realiza otra función que la de recuperar y punto. El conjunto de la sustancia recuperada generalmente es un residuo peligroso por su contenido de aceites procedentes del sistema de refrigeración del que se recuperó.

Con el sistema FRI3 OIL SYSTEM, estas “recuperaciones” de refrigerantes, además de proporcionar mayor capacidad y rendimiento, permiten el reciclaje de los productos separándose los residuos aceite, ácido, agua, etc., del propio refrigerante, que puede volverse a utilizar en la mayor parte de los casos ya que queda a menos concentración total de 300 p.p.m. de esos residuos.

Cuando se trata además de desmontaje de equipos de refrigeración, ya sean equipos de aire acondicionado, de refrigeración comercial ó doméstico, mientras no se extraiga el aceite de los equipos, el conjunto de equipo + aceite y otras sustancias, es un residuo, y el profesional no lo puede ni siquiera transportar, ya que debería resolverse mediante el representante de residuos y

con ADR para el transporte adecuado, de residuos peligrosos. El sistema FRI3 OIL SYSTEM, permite extraer todos los residuos internos de los equipos, y por tanto dejarlos en condiciones netas de chatarra, mucho más fácil de reciclarles todos sus componentes.

Hasta ahora, no existía ningún otro medio seguro y medioambientalmente aceptable que permitiera la extracción del residuo interno de los circuitos de refrigeración y por tanto no se están efectuando correctamente la eliminación de los mismos, y no se cumple la ley rigurosamente.

#### **3.4.2. Aprovechamiento de los residuos**

De una parte, si recupera como residuo refrigerante + aceite y otras sustancias y separamos las dos partes, el gas refrigerante puede reutilizarse en la mayor parte de los casos y con el sistema FRI3 OIL SYSTEM, lo permite, por lo que simplifica la logística del movimiento de los productos.

Asimismo, el aceite recuperado podría enviarse como combustible a la industria, por ejemplo hornos de cementeras, o bien los aceites POE tratarlos para la obtención de detergentes. Por todo ello se deduce un eficaz aprovechamiento de los residuos que se obtienen cuando se recuperan refrigerantes. Sólo habría que tratar “probablemente” las mezclas del tipo R-407C que el profesional estará obligado en caso de duda por fugas parciales detectadas, a apoyarse en el gestor de residuos para analizar caso por caso la situación.

En definitiva, como resumen se puede decir que la recuperación de refrigerantes realizando reciclaje del producto, puede hacer que los residuos se reutilicen completamente convirtiéndolos en productos útiles:

- a) El refrigerante es tan estable que no le ha pasado nada básicamente.
- b) El aceite se puede utilizar, por ejemplo como comburente.

De otra parte, si se desmontan los equipos de refrigeración que hayan estado funcionando, y una vez recuperado el refrigerante indicado anteriormente, quedaría el equipo con residuos de aceite que ha impregnado todo el circuito interno del equipo en cuestión.

En estos casos, el conjunto es un “residuo” FRI3 OIL SYSTEM, permite extraer los aceites y sustancias mezclados con ellos al exterior, por lo que resultaría que el equipo sería chatarra fácil de separar mecánicamente, para llevar cada producto a su propia reutilización y los aceites separados se podrían trabajar como en el caso de la recuperación y el reciclaje de refrigerantes.

### **3.4.3. Minimizar la producción de CO<sub>2</sub>**

Menor afectación al calentamiento global o efecto invernadero. Si se tiene cuidado de no mezclar los refrigerantes para poderlos reutilizar, se evitará llevar a la destrucción mediante incineración, los propios refrigerantes recuperados y reciclados con el sistema FRI3 OIL SYSTEM. En caso contrario, se produciría un efecto indirecto en el calentamiento global mucho más agresivo y perjudicial que el efecto directo cuando se escapa el refrigerante a la atmósfera, por la producción de CO<sub>2</sub> en la incineración.

#### **3.4.4. Simplificación y menor costo**

En la incineración de productos, es preciso enviar los residuos a quemar a otros países, debido a que no hay plantas para la destrucción en nuestro medio, así mismo, se produce un movimiento de costo de transporte de sustancias peligrosas, generación de documentación para residuos, actuaciones técnicas del gestor de residuos y el costo en sí de la propia incineración podría reducirse ampliamente con el uso correcto del sistema FRI3 OIL SYSTEM.

#### **3.4.5. Abaratamiento por la compra**

Disminución de costos por compra, de nuevos productos (gases refrigerantes) para seguir manteniendo los equipos de refrigeración, una vez separados refrigerante + aceite (mezclados con otras sustancias). Cuando el sistema FRI3 OIL SYSTEM haya reciclado el refrigerante se evitará la compra nueva de productos, gastos de transporte, logística para el movimiento de los productos recuperados y nuevos para el mantenimiento de equipos.



## 4. MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO

### 4.1. Manual de uso

Debido a la versatilidad del prototipo no se necesita de un mantenimiento muy riguroso para el manejo de mismo. A continuación se describirán unos breves paso del correcto uso del prototipo para pruebas en laboratorios didácticos:

- a. Colocar la válvula pinch en algún punto accesible en el lado de alta presión del sistema a recuperar debidamente apagado.
- b. Conectar la manguera de de succión de nuestro prototipo a la válvula pich asegurándonos que esta se encuentre debidamente apretada para evitar las fugas del refrigerante.
- c. Conectar la manguera de descarga a nuestro cilindro destinado para la recuperación del refrigerante.
- d. Encender el sistema de refrigeración para que el refrigerante inicie a circular en él.
- e. Encender el prototipo de recuperación para que este comience el proceso de extracción del gas refrigerante del sistema y lo traslade al cilindro de recuperación.

- f. Mantener el proceso durante varios minutos para que se complete el ciclo del sistema de refrigeración asegurándose de la extracción de todo el refrigerante.
- g. Apagar el sistema de refrigeración tomando en cuenta que se encuentre totalmente vacío.
- h. Apagar el recuperador luego de darle unos segundos para que realice el traslado total del gas recuperado.
- i. Guardar el recipiente con el refrigerante recuperado para poderlo enviar posteriormente a los sitios autorizado para el reciclaje de refrigerantes.
- j. Desconectar y guardar el prototipo asegurando que se encuentre limpio y en óptimas condiciones para una posterior prueba.

## **4.2. Manual de mantenimiento**

El equipo de recuperación de refrigerante está construido con elementos que no requieren de un gran mantenimiento y cuidado. Además de ser para uso en prácticas de laboratorio no muy constantes se estima una gran vida útil de cada uno de sus componentes.

Para obtener un buen desempeño del equipo durante su vida útil es necesario llevar a cabo las siguientes recomendaciones:

- Revisión y apriete de conexiones eléctricas en períodos de 6 meses. Espiga, uniones de cables, interruptor de apagado y encendido, control de alta presión, etc.
- Apriete de componentes mecánicos en períodos de 6 meses. Uniones roscadas, tornillos de la base del compresor, tornillos de la cubierta, etc.
- Limpieza y apriete de manómetros en períodos de 12 meses. Con la finalidad que nuestras lecturas sean exactas y no existan fugas por alguna parte de este.
- Cambio de filtro deshidratador en períodos de 12 a 18 meses. Esto es debido a que tenemos un circuito abierto el cual está en constante contacto con el aire y la humedad. En un sistema regular cerrado el cambio de este no es muy común dado que este no se contamina.
- Cambio de aceite en períodos de 12 a 24 meses si el equipo es usado constantemente con distintos tipos de refrigerante. De usarse con un solo refrigerante podríamos tener cambio en períodos de 36 a 48 meses según el uso.



## 5. GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

### Objetivo general

- Promover una cultura de conservación ambiental, a través de las buenas prácticas en la recuperación de refrigerantes.

### 5.1 Práctica 1: descripción de los componentes de la unidad de recuperación y su funcionamiento

#### Objetivos

- Dar a conocer la composición de la unidad de recuperación.
- Dar a conocer el tipo de cilindro específico para la recuperación de refrigerante.

La unidad para recuperación de refrigerante está constituida básicamente de dos componentes esenciales: **el compresor** y **el condensador**. Los demás elementos que lo constituyen son básicamente elementos de control o de protección. A continuación se detallan todos los elementos y su forma de uso:

- **Válvula de pinch-off:** este dispositivo, muy utilizado en sistemas de refrigeración industrial, sirve para acceder al refrigerante que está dentro

de las tuberías. Consiste en un cuerpo de cobre con una rosca interna en donde se aloja un nipple, que actúa como válvula, permite el flujo en ambos sentidos.

- **Compresor:** este es el alma de la unidad recuperadora de refrigerante. Con  $\frac{1}{4}$  HP, succiona el refrigerante en estado gaseoso y lo envía hacia el recipiente no reciclable.
- **Tubo capilar:** actúa como estrangulador, disminuyendo la presión de entrada al compresor. Éste forma un espiral al que se le ha disminuido el número vueltas según pruebas realizadas en la práctica, hasta obtener la presión deseada.
- **Presostatos:** estos dispositivos de control, protegen el compresor de las consecuencias que trae el trabajo con presiones fuera del rango límite de operación.
- **Manómetros:** indican la presión existente en la tubería en un momento dado.
- **Filtro deshidratador:** utilizado con la finalidad de mantener el sistema libre de cualquier tipo de humedad provocado por las temperaturas del refrigerante.
- **Interruptor:** controla el flujo de la corriente eléctrica permitiéndonos el encendido y apagado del prototipo. La unidad de recuperación de refrigerante se ha diseñado para trabajar a 110 V.

- **Mangueras:** se utilizan para transportar el refrigerante. La manguera azul es para succión, la roja para descarga y la amarilla para el refrigerante ya recuperado.
- **Cilindro:** dispositivo utilizado para el almacenamiento del refrigerante retirado del sistema para poderlo transportar a su destino final ya sea el reciclaje o almacenamiento.

## 5.2 Práctica 2: Recuperación de refrigerante.

### Objetivos

- Extraer el refrigerante de un sistema con el fin de almacenarlo.
- Reducir el nivel de emisiones en la atmósfera.
- Contribuir a la conservación de la capa de ozono.

### Práctica

El proceso de recuperación es muy simple, basta con interconectar el sistema contenedor de refrigerante R-22 con un cilindro de recuperación con ayuda de la unidad de recuperación. Para lograrlo conecte la manguera a la válvula de entrada de la unidad, instale una válvula pinch en algún punto accesible en el lado de alta presión del sistema a recuperar debidamente apagado.

Conectar la manguera de succión de nuestro prototipo a la válvula pinch asegurando que esta se encuentre debidamente apretada para evitar las fugas del refrigerante. Ahora conecte la manguera de descarga a la válvula de salida de la unidad y enseguida conecte a la válvula de recibo del recipiente de recuperación. Ubique el cilindro de recuperación y verifique que tiene capacidad para recibir refrigerante. Ahora encienda la unidad de recuperación. Observe en el manómetro cual es la presión y esté pendiente de ella.

No olvide revisar el manómetro de alta presión. Es conveniente que cuando se realice este procedimiento, se observe con atención el manómetro de baja presión, para evitar que el compresor trabaje en vacío. Cuando el manómetro llegue a cero apague la unidad de recuperación. Desconecte la manguera del cilindro de recuperación, y después de la unidad recuperadora. Desconecte la manguera de la máquina poseedora de la SAO y después de la unidad de recuperación.

## CONCLUSIONES

1. La problemática ambiental obliga al cumplimiento de los acuerdos pactados en el protocolo de Montreal, siguiendo la calendarización para la sustitución y posterior eliminación de refrigerantes nocivos que deterioran la capa de ozono.
2. Se ha documentado el beneficio de la recuperación de refrigerantes, tanto para el ambiente como para las empresas de refrigeración, ya si se encuentran en buen estado se pueden reutilizar en otros equipos.
3. Tomando en cuenta que el prototipo de recuperación de refrigerantes no es de una construcción compleja y las protecciones instaladas al compresor, éste se acopla con facilidad a las distintas presiones que podemos encontrar en los diferentes sistemas de refrigeración.
4. En este prototipo se eliminó la unidad de condensación debido a que ésta limitaría su uso a un solo tipo de refrigerante, ya que la mezcla de varios refrigerantes formaría un líquido viscoso que dañaría el recuperador.
5. El reciclado como se realiza actualmente, reduce los contaminantes a través de la separación del aceite y la filtración. Esto limpia el refrigerante, pero no necesariamente con un alto grado de pureza.



## RECOMENDACIONES

1. Supervisar e instruir a los estudiantes de Ingeniería Mecánica en el correcto uso del prototipo de recuperación en las diferentes prácticas propuestas, para que puedan manejar sin daños e inconvenientes el equipo.
2. Dar conferencias para informar sobre los protocolos que rigen la eliminación de refrigerantes que dañan la capa de ozono y las fechas hasta las cuales se podrá tener acceso a los mismos y con esto empezar con la recuperación y reciclaje de estos sin tener problemas legales.
3. Introducir en los laboratorios las prácticas propuestas para que los estudiantes conozcan sobre el funcionamiento y las partes que conforman un recuperador de refrigerantes.
4. Instruir a los estudiantes en el buen uso de la recuperación para que estos puedan transmitirlo a la industria en el momento de realizar sus prácticas o laborar en la misma.
5. Fomentar una cultura de conservación ambiental en los estudiantes de Ingeniería Mecánica, por medio de las buenas prácticas en el manejo de todas las sustancias refrigerantes, incluyendo las nuevas que no contaminan el medio ambiente.



## BIBLIOGRAFÍA

1. AC&R Training Institute, Inc; Air Conditioning & Refrigeration; CD Rom; St. Petersburg Florida 33709.
2. ASHRAE HANDBOOK; HVAC Applications 1999; S-I Edition; ASHRAE; American Society of Heating, Refrigerating; and Air Conditioning Engineers Inc.; 1719 Tullie Circle NE, Atlanta, GA 30329.
3. ASHRAE Pocket Guide, I-P Edition 2000, ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers Inc., 1719 Tullie Circle NE, Atlanta, GA 30329.
4. Boletín Informativo Programa “ACCIÓN OZONO”, Programa de las Naciones.
5. Buenos procedimientos en refrigeración; Manual de Instrucción; PNUMA; Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
6. Castillo, O. RECONSTRUYENDO LA CAPA DE OZONO. Fondo venezolano de reconversión industrial y tecnológica (FONDOIN). Venezuela 2004.
7. Compression Cycles for Environmentally; Acceptable Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pump Systems; International Institute of Refrigeration; 177, Boulevard Malesherbes – F 75017 Paris (France).
8. Convenio de Viena 1985.
9. De Nevers, N. INGENIERÍA DE CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE. Mc Graw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V. 1998. Primera edición en español.

10. El Aire y el agua en Nuestro Planeta. Inés Camilloni, Carolina Vera. Editorial Universitaria de Buenos Aires. Sociedad de Economía Mixta.
11. El Ozono. Una trilogía de la Biodinámica. Antonio Banichevich B. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
12. Manual Técnico Valycontrol, Valycontrol S.A. de C.V., Guadalajara, Jalisco, México.
13. PNUMA 2001. [www.uneptie.org](http://www.uneptie.org).
14. Protocolo de Kyoto.
15. Protocolo de Montreal.
16. Revista "AC/R LATINOAMÉRICA", Vol. 3 No. 5, septiembre-octubre 2000.
17. Revista "AC/R LATINOAMÉRICA", Vol. 8 No. 1, enero-febrero 2005.
18. Revista "FIC FRÍO", Año 14 No. 71, septiembre 2006.
19. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002. Twenty questions and answers about the ozone layer. OMM. 2002.
20. Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), septiembre 2008.
21. Yáñez, G. BUENAS PRÁCTICAS EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México.
22. [www.fondoin.com](http://www.fondoin.com) (Marzo 2009).

23. [www.ari.org](http://www.ari.org) (Marzo 2009).
24. [www.suva.com](http://www.suva.com) (Marzo 2009).
25. [www.electroauto-clima.com](http://www.electroauto-clima.com) (Marzo 2009).
26. [www.emersonflowcontrols.com.mx](http://www.emersonflowcontrols.com.mx) (Abril 2009).
27. [www.monografias.com](http://www.monografias.com) (Abril 2009).
28. [www.caloryfrio.com](http://www.caloryfrio.com) (Abril 2009).
29. [www.gas-servei.com](http://www.gas-servei.com) (Abril 2009).
30. [www.electrodomesticosforum.com](http://www.electrodomesticosforum.com) (Abril 2009).



## ANEXOS

### Anexo 1. Gases refrigerantes clorofluorocarbonados

<i>Refrigerante</i>	<i>Nombre Químico</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Aplicaciones y usos</i>
<b>11</b>	Triclorofluorometano	CC13F	Enfriadores centrífugos. Solvente de Limpieza
<b>12</b>	Diclorodifluorometano	CCl2F2	Refrigeración Comercial. Aire acondicionado automotriz (A - A automotriz)
<b>22</b>	Clorodifluorometano	CHClF2	Refrigeración Temperatura baja, Aire Acondicionado de paquete. EL Genetron 22 es una hidrocrofluorocarbono (HCFC) .La regulación de este gas entra al país marca su salida en el años 2040
<b>500</b>	Azeotropo	CCl2F2/CH3CHF2	Transporte refrigerado
<b>502</b>	Azeotropo	CHClF2/CClF2CF3	Cámaras de Enfriamiento. Vitrinas de Súper Mercados. Aplicaciones Industriales
<b>13</b>	Clorotrifluorometano	CClF3	Ultra bajas Temperaturas. Equipos en cascada.
<b>503</b>	Azeotropo	CHF2/CClF3	Ultra bajas Temperaturas. Equipos en cascada.
<b>114</b>	Diclorotetrafluoroetano	C2Cl2F4	Enfriadores Centrífugos

Fuente: [www.quimobasicos.com.mx](http://www.quimobasicos.com.mx)

## Anexo 2. Gases refrigerantes alternativos

<b>Refrigeración Comercial de Temperatura media y baja reemplazos a largo plazo</b>						
<b>REFRIGERANTE</b>	<b>Nombre Comercial</b>	<b>Sustituye al</b>	<b>Tipo</b>	<b>Lubricante</b>	<b>Aplicaciones</b>	<b>Comentarios</b>
R-507 (125 / 143a)	AZ-50	R-502 Y HCFC-22	Azeotropo	Polioléster	Equipo Nuevo y Adecuaciones de equipo instalado	Casi igual al R-502
R-404A (125/143a/134a)R- 404	404A	R-502 Y HCFC-22	Mezcla (Poco cambio en punto de ebullición)	Polioléster	Equipo nuevo y Adecuaciones de equipo instalado	Casi igual R-502
<b>Refrigeración Comercial de temperatura media y baja Reemplazos provisionales</b>						
<b>REFRIGERANTE</b>	<b>Nombre Comercial</b>	<b>Sustituye al</b>	<b>Tipo</b>	<b>Lubricante</b>	<b>Aplicaciones</b>	<b>Comentarios</b>
R-402-A (22/125/290)	HP-80	R-502 Y HCFC-22	Mezcla (Poco cambio en punto de ebullición)	Alquibencen o o Poliotéster	Adecuaciones de Equipo instalado	Mayor presión de descarga que el R-502
R-408-A (125/143a/22)	FX-10	R-502 y HCFC-22	Mezcla (poco cambio en punto de ebullición)	Alquibencen o o Polioléster	Adecuaciones de equipo instalado	Temperatura de descarga mayor que el R-502
<b>Reemplazos a largos plazo de refrigeración comercial de temperatura media</b>						
<b>REFRIGERANTE</b>	<b>Nombre Comercial</b>	<b>Sustituye al</b>	<b>Tipo</b>	<b>Lubricante</b>	<b>Aplicaciones</b>	<b>Comentarios</b>
R-134a	HFC-134a	CFC-12	Fluido puro	Polioléster	Equipo nuevo y adecuaciones de equipos instalados	Casi igual al CFC-12

**Reemplazos Provisionales de refrigeración comercial de temperatura media**

<b>REFRIGERANTE</b>	<b>Nombre Comercial</b>	<b>Sustituye al</b>	<b>Tipo</b>	<b>Lubricante</b>	<b>Aplicaciones</b>	<b>Comentarios</b>
R-401A (22/152a/124)	MP-39	CFC-12	Mezcla(cambi o considerable en punto de ebullición)	Alquibenceno o Polioliéster	Adecuaciones de equipo instalado	Cercano al CFC-12 Úsese donde la T de Evap. sea mayor a -10 F
R-401B (22/152a/124)	MP-66		Mezcla(cambi o considerable en punto de ebullición)	Alquibenceno o Polioliéster	Adecuaciones de sistemas de refrigeración de transporte refrigerado	Cercano al CFC-12 Úsese donde la T de Evap. sea mayor a -10 F
R-409A (22/124/142B)	R-409A		Mezcla(cambi o considerable en punto de ebullición)	Alquibenceno	Adecuaciones de equipo instalado	Capacidad mayor que el cfc-12 Similar al MP66

<b>Reemplazos a largo plazo de aire acondicionado residencial y comercial</b>						
<b>REFRIGERANTE</b>	<b>Nombre Comercial</b>	<b>Sustituye al</b>	<b>Tipo</b>	<b>Lubricante</b>	<b>Aplicaciones</b>	<b>Comentarios</b>
R-123	HCFC-123	CFC-11	Fluido puro	Alquibeceno o Aceite Mineral	Enfriadores Centrifugos	Capacidad inferior que el CFC-11
R-134a	HFC-134a	CFC-12	Fluido puro	Polioléster	Equipo nuevo y adecuaciones de equipo instalado	Casi igual al CFC-11
R-134a	HFC-134a	HCFC-22	Fluido puro	Polioléster	Equipo nuevo	Capacidad inferior requiere equipo más grande
R-410A (32/125)	AZ-20	HCFC-22	Mezcla casi-Azeotrópica	Polioléster	Equipo nuevo	Eficiencia mayor que el HCFC-22 y R-410B Puede requerir rediseño del equipo
R-407C (32/125/134a)	407C	HCFC-22	Mezcla (cambio considerable en punto de ebullición)	Polioléster	Equipo nuevo y adecuaciones de equipos con capacidades similares	Eficiencia menor que el HCFC-22

Fuente: [www.quimobasicos.com.mx](http://www.quimobasicos.com.mx)

**Anexo 3. Calendario Nacional para la eliminación de CFC en Guatemala**

<b>Años</b>	<b>Calendario Nacional definido de Reducción y eliminación gradual de CFC en Guatemala (DECISION XV/34)</b>	
	<b><u>AÑOS: 2,002-2,010</u></b>	
	<b>Consumo máximo Toneladas Métricas</b>	<b>Consumo Máximo Toneladas PAO</b>
<b>2002</b>	240.5	240.5
<b>2003</b>	180.5	180.5
<b>2004</b>	120	120
<b>2005</b>	85	85 50% de Reducción
<b>2006</b>	50	50
<b>2007</b>	20	20
<b>2008</b>	20	20
<b>Eliminación progresiva del Consumo de CFC antes del 1 de enero de 2,010, según lo establecido por el Protocolo de Montreal, excepto para las aplicaciones esenciales que autoricen las partes del Protocolo.</b>		

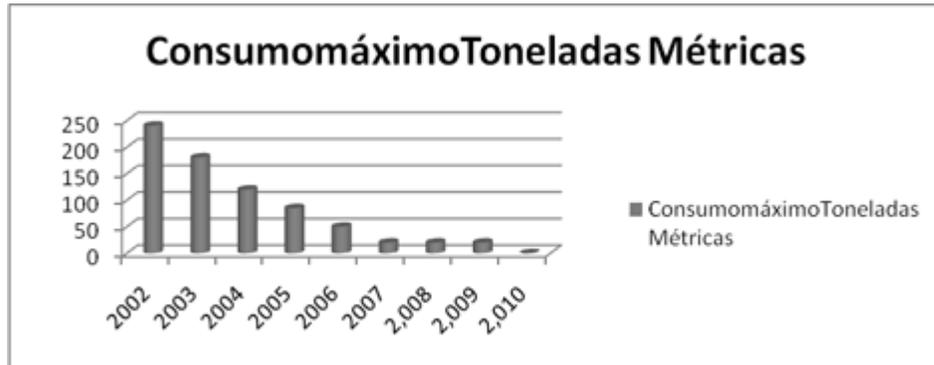
Fuente: Ministerio de Ambiente.

**Anexo 4. Calendario de eliminación del bromuro de metilo en Guatemala**

<b>Años</b>	<b>Calendario Nacional de eliminación de bromuro de metilo en Guatemala (Decisión XVIII/26) AÑOS: 2,006-2,014</b>	
	<b>Consumo máximo de tm (sobre la base de un 100% de i.a)</b>	<b>Consumo máximo de ton opd</b>
<b>2,006</b>	<b>667.83</b>	<b>400.70</b>
<b>2,007</b>	<b>601.67</b>	<b>361</b>
<b>2,008</b>	<b>534.27</b>	<b><u>320.56</u> Reducción del 20% de la Línea Base</b>
<b>2,009</b>	<b>534.27</b>	<b>320.58</b>
<b>2,010</b>	<b>534.27</b>	<b>320.58</b>
<b>2,011</b>	<b>534.27</b>	<b>320.58</b>
<b>2,012</b>	<b>534.27</b>	<b>320.58</b>
<b>2,013</b>	<b>534.27</b>	<b>320.58</b>
<b>2,014</b>	<b>534.27</b>	<b>320.58</b>
<b>2,015</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>

Fuente: Ministerio de Ambiente.

**Anexo 5. Consumo máximo de toneladas métricas de CFC en Guatemala**



Fuente: Ministerio de Ambiente.