

67  
24.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"CAMPUS ARAGON"

"ANALISIS ECOLOGICO, TECNICO Y ECONOMICO EN LA BUSQUEDA DE UN REFRIGERANTE SUSTITUTO PARA EQUIPOS DE REFRIGERACION DOMESTICA Y COMERCIAL, COMO UNA ALTERNATIVA PARA EVITAR LA DESTRUCCION DE LA CAPA DE OZONO."

## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**  
P R E S E N T A :  
**SERGIO MARTINEZ PACHECO**

ASESOR: ING. SERGIO ANGELES CRAVIOTO

MEXICO.

1997

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**A Dios** por darme todo lo necesario para realizar mis sueños, pero sobre todo por su misericordia y verdad

**A mis padres René Martínez Ávila y Noemi Pacheco Moncada** por su amor, lucha exhortación y por creer en mí, sin lo cual, hubiera sido muy difícil esto. Los amo

**A mis hermanos :**

**Norma** por su apoyo, amor y sensibilidad, pero sobre todo por esa gran cualidad de dar sin esperar nada a cambio.

**Angela** por su cariño, deseos y buenas intenciones

**Deyanira** por su gran capacidad de sentir, su respaldo y por compartir grandes sueños de superación.

**René** por su hermandad, consuelo y grandes anhelos

**Noemi** por su amor, ternura y entrega.

**A mis sobrinos Rut Aketzalli y Alvaro René** por su gracia y hermosura

**A mis cuñados Alvaro y Eduardo** por su amistad y por ser apoyo en tiempos difíciles

**A los líderes y hermanos en la fé José Antonio y Maru** por su amor, apoyo y consuelo, pero sobre todo por atreverse a soñar en el compromiso y responsabilidad de servir a Dios.

**A Gustavo Martínez, Sandra Calderón, Sheyla Baéz y Angela Andrade** por su amor incondicional y comprensión, y a los que sin duda alguna puedo llamar hermanos.

**Al ingeniero Sergio Angeles Cravioto** por el tiempo invertido en la revisión de este trabajo, comentarios y sugerencias.

**A mis amigos y compañeros Guadalupe Palacios, Maricela Curtidor, Alfredo Pérez, Jesús Trejo, Sergio Hidalgo y Sergio Hernández.** por su amistad y por los grandes momentos que compartimos en la universidad.

**A todos los maestros que comprometidamente transmitieron sus conocimientos durante mi vida estudiantil, pero especialmente al cuerpo docente de ingeniería de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón.**

## **Índice General**

<b>Introducción</b> .....	<b>i</b>
---------------------------	----------

### **CAPITULO I**

#### **LA DESTRUCCIÓN DE LA CAPA DE OZONO Y LA CONCIENCIA ECOLÓGICA EN MÉXICO Y EL MUNDO.**

I.1 La Capa de Ozono.....	2
I.2 El Delicado Equilibrio Ozono-Oxígeno y La Importancia de su Conservación.....	4
I.3 Los Clorofluorocarbonos CFC's (origen, características y aplicación).....	9
I.4 El Papel que Juegan los CFC's en la Destrucción de la Capa de Ozono.....	14
I.5 El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).....	19
I.6 El Protocolo de Montreal Relativo a las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono.....	25

I.7 Enmienda y Seguimiento del Protocolo de Montreal.....	34
I.8 Programa de Eliminación de los CFC's del Gobierno Mexicano.....	36

## CAPITULO II

### **CRITERIOS APLICADOS EN LA INVESTIGACIÓN Y SELECCIÓN DEL REFRIGERANTE SUSTITUTO PARA EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN DOMÉSTICA Y COMERCIAL.**

II.1 Reseña Histórica de la Refrigeración y Descripción del Funcionamiento del Sistema en sus Partes Componentes y Como un Todo.....	44
II.2 Determinación del Refrigerante más Destructivo para la Capa de Ozono Aplicado en la Refrigeración Doméstica y Comercial.....	51
II.3 Criterios Ambientales y Termodinámicos Aplicados en la Selección del Refrigerante Sustituto del CFC-12.....	54

## CAPITULO III

### **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS EFECTOS EN LA CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO CON LOS REFRIGERANTES CFC-12 Y HFC-134A DENTRO DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN.**

III.1 Importancia sobre el Uso del Diagrama Presión-Entalpía (Mollier) en el Estudio de las Sustancias Refrigerantes dentro del Ciclo de Refrigeración por Compresión.....	67
III.2 Planteamiento y Desarrollo de la Comparación Energética entre los Refrigerantes CFC-12 y HFC-134a dentro del Ciclo de Refrigeración por Compresión.....	72
III.3 Análisis de Resultados según la Aplicación de los Criterios Ambientales y Energéticos Planteados en el Punto II.3 para la Determinación del Refrigerante Sustituto del CFC-12.....	91

**CAPITULO IV**

**PROCEDIMIENTO Y COSTO EN LA CONVERSIÓN A GAS 134A EN LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN DOMÉSTICA Y COMERCIAL.**

IV.1 Aspectos Técnico-Económicos que hay que Considerar para la Conversión a Gas HFC-134a en los Equipos de Refrigeración Doméstica y Comercial.....	95
IV.2 Procedimiento para la Conversión a Gas HFC-134a en los Actuales Equipos en Operación.....	98
IV.3 Programa de Recuperación de Gases CFC's para la Eliminación Total de la Emisión de Estos a la Atmósfera.....	109

## **CAPITULO V**

### **EVALUACIÓN DE LA CONVERSIÓN A UN REFRIGERANTE ALTERNO (HFC-134A o MEZCLA MP) DE UNA CÁMARA DE CONSERVACIÓN DE FRUTAS Y VERDURAS GILVERT COPELAND MOD. A-500.**

V.1 Elección de la Mejor Opción de un Refrigerante para un Reacondicionamiento de una Cámara de Conservación de Frutas y Verduras, Marca Gilvert Copeland mod. A-500.....	120
V.2 Desarrollo del Reacondicionamiento con Refrigerante MP-39 de la Cámara de Conservación.....	132
V.3 Resultado y Observaciones del Reacondicionamiento Efectuado.....	137

### **ANEXO A**

Del Protocolo de Montreal Relativo a las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono.....	141
---	-----

### **ANEXO A1**

De la Enmienda del Protocolo de Montreal.....	143
---	-----

### **ANEXO B**

Información y Medidas de Seguridad en el Manejo del Producto Químico R-12 (Diclorodifluorometano).....	148
--	-----

**ANEXO B1**

Información y Medidas de Seguridad en el Manejo del Producto Químico R-134a ( Hidrofluorocarbón)..... 149

**ANEXO B2**

Información y Medidas de Seguridad en el Manejo del Producto Químico R-401a ( Fluorocarbón MP-39)..... 150

**ANEXO B3**

Información y Medidas de Seguridad en el Manejo del Producto Químico R-401b ( Fluorocarbón MP-66)..... 151

**ANEXO C**

Diagramas de Mollier (Ph) para el Refrigerante CFC-12..... 152

**ANEXO C1**

Diagramas de Mollier (Ph) para el Refrigerante HFC-134a..... 153

**CONCLUSIONES** ..... 154

**BIBLIOGRAFÍA** ..... 158

## INTRODUCCIÓN

En ninguna otra esfera queda más claramente demostrada la interdependencia de la humanidad que en el delicado equilibrio de la atmósfera que rodea nuestro planeta. En la estratosfera a una distancia de entre 15 y 50 km sobre la superficie terrestre, la capa de ozono actúa como una pantalla protectora que filtra la radiación solar ultravioleta que de no ser así, provocaría daños a los seres vivos e incluso hasta la muerte.

Diversos contaminantes liberados, arrastrados por los vientos o flotando en la estratosfera destruyen la capa de ozono, lo cual ha provocado grandes daños a la vida en el planeta afirmando con esto que la contaminación atmosférica no tiene fronteras, es un problema de dimensión global e internacional.

Los contaminantes que más atentan alterando y destruyendo los intrínsecos procesos químicos de la capa de ozono, son los clorofluorocarbonos (cfc's) utilizados en muchas aplicaciones; siendo la industria de la refrigeración la que actualmente utiliza una gran cantidad de estos productos y la que originalmente motivó el descubrimiento de estas sustancias químicas.

Durante muchos años se han usado con éxito los cfc's como refrigerantes, eran considerados la sustancia ideal, pues, no eran tóxicos, ni inflamables, ni reactivos y por lo mismo muy estables y seguros; con buenas propiedades físicas y químicas dando como resultado características termodinámicas óptimas. Por lo tanto, no es de extrañarse que su uso fue incrementándose más y más, hasta que se descubrió su gran efecto sobre la capa de ozono.

Cada vez la humanidad es más consciente de que la actividad industrial no planificada es una amenaza creciente para los sistemas naturales que hacen posible la vida en este planeta pues los cfc's no solo destruyen la capa de ozono, sino que contribuyen al calentamiento global de la Tierra.

Con el agujero en la capa de ozono ha quedado demostrado que la humanidad tiene la capacidad de alterar la naturaleza en sus fundamentos y quizás de forma irreversible. Este tipo de problemas ambientales ha exigido una respuesta a nivel internacional que reconozca la compleja naturaleza de la situación actual; el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) es el órgano catalizador que ha coordinado y desarrollado las actividades que han aportado la mejor respuesta a la problemática ambiental, pues, desde la década de los setentas preocupados por la humanidad y la seguridad de la vida en la Tierra han trabajado arduamente durante casi veinte años, logrando asentar las bases que dieron origen a un documento de orden internacional a favor de la protección de la capa de ozono, este es el protocolo de Montreal relativo a las sustancias agotadoras de la capa de ozono. Este documento es el resultado del trabajo y cooperación de organizaciones, grupos científicos y países dispuestos a enfrentar en conjunto, las amenazas de la degradación de la capa de ozono, la cual, pasa por un proceso en el que se ha rebasado los límites de peligrosidad. Actualmente el protocolo de Montreal regula la producción y exportación mundial de cfc's, y persigue como principal objetivo la eliminación total de estas sustancias.

Con la virtual desaparición de los cfc's se han planteado otras cuestiones, ahora no sólo se tiene que buscar un sustituto de los cfc's con propiedades y características físico-químicas y termodinámicas adecuadas. Sino que, se deberá hacer una mayor consideración de la protección ambiental como parte vital en el proceso de desarrollo de la refrigeración. Creemos que el desarrollo tecnológico debe llevarse a cabo en forma tal que satisfaga las necesidades humanas pero sin perjudicar su medio ambiente, manifestando con esto el interés y preocupación por las generaciones venideras.

El desarrollo de este trabajo de tesis tiene como finalidad determinar la mejor alternativa en sustancias refrigerantes capaces de sustituir al cfc-12 aplicado actualmente en la refrigeración doméstica y comercial. En base a la aplicación de criterios ambientales y termodinámicos se hará la elección óptima del refrigerante adecuado, con esto se dará solución a las necesidades de refrigerantes sustitutos que plantean los controles y

regulaciones hechas por el protocolo de Montreal , pero principalmente, la propuesta de un nuevo refrigerante traerá la solución para evitar la destrucción de la capa de ozono.

Este trabajo de tesis se conforma de cinco capítulos: en el capítulo I, se describe la importancia de su función y conservación de la capa de ozono, se presenta el análisis de la problemática ambiental referente a la destrucción de la capa de ozono y el papel que juegan los cfc's en la destrucción, y el logro alcanzado por el PNUMA al conseguir la eliminación total de la producción internacional de cfc's. En el capítulo II, se determina cual es el refrigerante más destructivo usado en la refrigeración, y mediante la aplicación de los criterios ambientales y fisico-químicos se selecciona un sustituto. En el capítulo III, se realiza un análisis comparativo de la capacidad de enfriamiento de los refrigerantes cfc-12 y hfc-134a dentro del ciclo de refrigeración en un diagrama presión-entalpía, y se determina si el hfc-134a es capaz de sustituir al cfc-12. En el capítulo IV, se presentan los aspectos técnicos que se deben considerar en el procedimiento para la conversión al nuevo gas en los equipos de refrigeración que actualmente están en operación. Finalmente en el capítulo V, se hace una evaluación de la conversión de refrigerante de una cámara de conservación de frutas y verduras; en esta se consideran dos refrigerantes ecológicos, el nuevo refrigerante hfc-134a y el MP-39.

Con este trabajo de tesis daremos solución real a un problema actual, como lo es la destrucción de la capa de ozono, se propondrá un refrigerante capaz de sustituir al actual cfc-12 usado en refrigeración doméstica y comercial.

# **CAPITULO I**

---

**LA DESTRUCCIÓN DE LA CAPA DE OZONO Y  
LA CONCIENCIA ECOLÓGICA EN MÉXICO Y  
EL MUNDO.**

## **I.1 La Capa de Ozono**

La atmósfera, capa gaseosa que envuelve al planeta Tierra, se compone de manera global de la siguiente forma, aunque existen variaciones en la composición a gran altitud. Nitrógeno 78%, oxígeno 20%, argón 0.9%, 0.03 dióxido de carbono y vestigios de una docena de gases constituyendo menos del 1% restante. Por la atracción de la gravedad, los gases más pesados como el oxígeno, predominan en las capas inferiores, y van desapareciendo en las más elevadas, donde aumenta la proporción de los gases más ligeros como el hidrógeno y el helio, entre otros.

Como la densidad del aire disminuye rápidamente con la altura, no es posible calcular con precisión el espesor de la atmósfera, pues se llega al enrarecimiento total en forma gradual.

Debido a los estudios hasta hoy realizados, se ha establecido una distribución horizontal de las diversas capas atmosféricas, éstas reciben distintos nombres, a partir de la que está en contacto con la superficie terrestre, hasta la más alejada: troposfera, estratosfera, mesosfera (dividida en ionosfera y termósfera) y exosfera. Estos son los nombres de las capas atmosféricas todas con características particulares como es el caso de la capa estratosférica, en la cual existe una región denominada capa de ozono, misma que actúa como una especie de filtro, ya que absorbe la radiación ultravioleta emitida por el sol, evitando que alcance la superficie terrestre con toda su intensidad donde quemaría todo e imposibilitaría el desarrollo de la vida. Incluso una pequeña reducción en la capa de ozono implicaría unos niveles peligrosamente altos de radiación ultravioleta en la superficie terrestre, que dañarían la vida en todas sus formas. Esto último, es precisamente lo que la actividad industrial humana ha hecho, reducir el filtro que protege a la vida de los rayos ultravioleta, al utilizar una de las sustancias más destructivas de la capa de ozono, ellos son los clorofluorocarbonos (CFC), mejor conocidos como Freón, Genetrón, etc., los cuales se han usado en equipos de refrigeración doméstica, comercial e industrial; aire

acondicionado, como propelentes en aerosoles, como disolventes para metales y en equipos electrónicos; y en la producción de espuma.

La capa de ozono aunada a otros fenómenos atmosféricos han dado como resultado la creación de un medio ambiente adecuado para los seres vivos, debido a que los protege de los rayos ultravioleta, mientras que deja pasar suficiente radiación solar de otras longitudes de onda para mantener la Tierra caliente y proporcionar la luz necesaria para poder ver .

El ozono está formado por oxígeno, pero durante miles de millones de años no existía virtualmente oxígeno en la atmósfera terrestre. Debido a que no había oxígeno, no había ozono, y toda la radiación ultravioleta procedente del sol llegaba a la superficie de la Tierra. Por tanto, era imposible el desarrollo de la vida tal y como la conocemos.

El ozono ( $O_3$ ) que compone a la capa, es un estado particular del oxígeno cuya molécula contiene 3 átomos a diferencia del oxígeno común ( $O_2$ ) que solo tiene 2. El tercer átomo es el que provoca que la sustancia sea mortal para cualquier animal que inhale una pequeña porción de ella. Cerca de la superficie terrestre, el ozono es un contaminante que causa muchos problemas; forma parte del smog fotoquímico y de la mezcla de contaminantes que se conocen comúnmente como lluvia ácida. Sin embargo, el ozono dentro de la estratosfera que abarca de los 15 a 50 km sobre la superficie de la Tierra, cobra un papel tan importante como el propio oxígeno para la vida.

El ozono forma un escudo en apariencia inmaterial pero muy eficaz. Esta tan esparcido por los 35 km de espesor de la estratosfera, que si se le comprimiera formaría una capa en torno a la Tierra de aproximadamente 5 mm., su concentración varía con la altura pero nunca es más de una cienmilésima de la atmósfera en la que se encuentra. Sin embargo, este filtro tan delgado es suficiente para bloquear casi todas las dañinas radiaciones ultravioleta del sol.

Debajo de la estratosfera, desde la superficie de la Tierra hasta una altitud media de aproximadamente 15 km está la troposfera ver fig. 1. Es la zona donde el aire está en

permanente movimiento a causa de que el sol lo calienta en forma desigual. Es la región de los fenómenos corrientes y en la que existe vapor de agua; región de las nubes, de las precipitaciones y de las manifestaciones luminosas como el arcoiris; es el lugar en donde en su parte inferior se desarrolla la vida. Mientras que en su parte superior, arriba de los 15 km, es en donde el oxígeno se convierte en ozono mediante un proceso de absorción de la radiación solar ultravioleta.

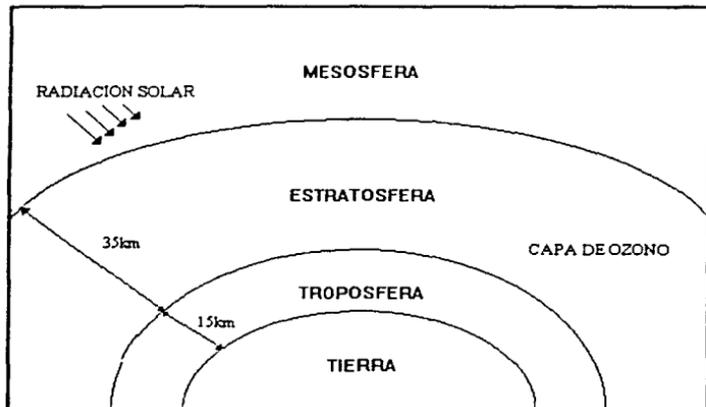


Fig. 1

## 1.2 El Delicado Equilibrio Ozono-Oxígeno y La Importancia de su Conservación.

El Sol radia un amplio espectro que se denomina radiación electromagnética (ondas oscilatorias ó vibratorias de campos electromagnéticos que propagan la energía a través del espacio). La mayor parte de la radiación del sol es luz visible, con una longitud de onda

entre 400 y 750 nanómetros ( $1\text{nm} = 1 \text{ mil millonésima parte de metro, } 10^{-9} \text{ m}$ ), pero el sol también emite radiación, con longitudes de onda que son demasiado cortas ó demasiado largas como para que pueda detectarlas el ojo humano. Cuanto más corta es la longitud de onda, mayor es su contenido energético ó radiación, y por tanto más peligrosas para la vida en la Tierra.

La luz ultravioleta, tiene una longitud de onda más corta que la de la luz visible. Parte de la radiación ultravioleta, la comprendida entre 320 nm y 400 nm (denominada UV-A), generalmente no se considera peligrosa y pasa casi en su totalidad a través de la capa de ozono, pero los rayos con longitudes de onda más cortas son peligrosos para la vida.

Los UV-B, entre 280 nm y 320 nm, son los que se alcanzan a filtrar, a pesar de que la capa de ozono las absorbe en su mayor parte. Los UV-C, con longitudes de onda entre 200 nm y 280 nm, producirían la muerte instantáneamente si lograsen atravesar la capa de ozono, pero por fortuna son bloqueados casi por completo.

Paradójicamente, el ozono fue originalmente producido y todavía es por la misma radiación ultravioleta que amenaza la vida. Cuando una molécula de oxígeno que flota en la estratosfera es bombardeada por rayos ultravioleta UV-C, se divide en dos átomos de oxígeno libres, mediante una reacción conocida como fotodisociación (separación de átomos por el efecto de la luz), ver fig 2a.

La mayor parte de los átomos de oxígeno libres simplemente se recombinan como  $O_2$ , pero algunos se unen en tripletas (3 átomos de oxígeno ligados), y otros se unen a moléculas de  $O_2$ ; formándose ozono en ambos casos, ver fig. 2b.

En condiciones normales, el ozono existe en concentraciones estables porque al mismo tiempo que las reacciones transforman oxígeno en ozono, otras reacciones transforman de nuevo el ozono en oxígeno. Las reacciones oxígeno-ozono, son producidas por la radiación UV-C, que tiene la suficiente energía como para separar los fuertes enlaces en el  $O_2$ . La radiación UV-B es menos energética pero más abundante. Este es el tipo de radiación que rompe el ozono y lo transforma de nuevo en oxígeno, porque los enlaces químicos del ozono son más débiles (ver fig. 3).

En este caso, una molécula de ozono se rompe por medio de la energía ultravioleta originando una molécula de oxígeno y un átomo de oxígeno libre. Cuando la luz ultravioleta separa moléculas de ozono o de oxígeno, se libera energía en forma de calor, calentando la estratosfera. De esta forma se evita que llegue a la superficie terrestre toda la UV-C y la mayor parte de la radiación UV-B.

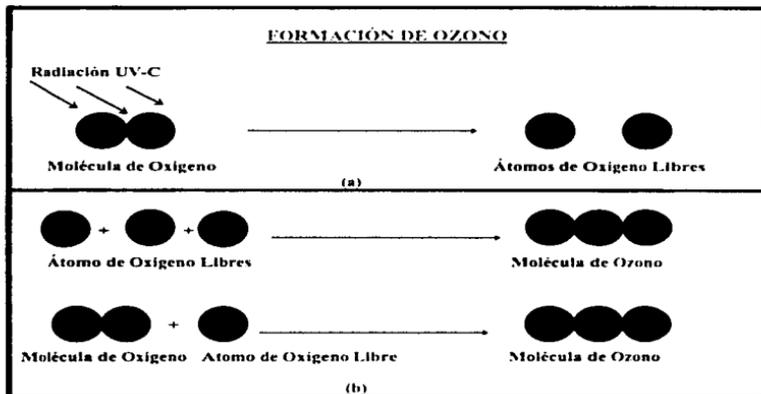


Fig. 2

Algunas veces el ozono también se destruye al chocar con átomos de oxígeno libre. Cuando esto sucede, la molécula de ozono y el átomo de oxígeno libre se combinan para formar dos moléculas de oxígeno. El ozono también puede reaccionar con una variedad de compuestos y transformarse de nuevo en oxígeno. El problema que existe actualmente es esta misma tendencia del ozono a reaccionar con otras moléculas y a transformarse de nuevo en oxígeno. Antes de que los humanos comenzasen a contaminar la atmósfera,

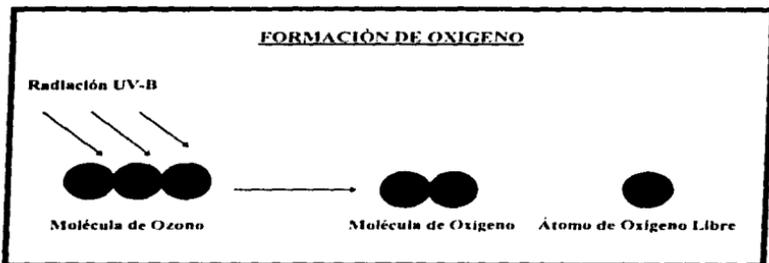


Fig. 3

ocurría un delicado ciclo en el cual el oxígeno estaba constantemente transformándose en ozono y el ozono de nuevo en oxígeno. Sin embargo, este ciclo ya fue alterado.

Hace algunas décadas, es decir, antes de que se rompiera el equilibrio ozono-oxígeno, la cantidad de radiación ultravioleta que conseguía llegar a la Tierra era menor que en la actualidad. Esta cantidad que tocaba la superficie terrestre, era más que suficiente para ocasionar problemas a la humanidad. Por ejemplo, afectaba el material genético ADN y era la principal causa del cáncer en la piel. Además los rayos UV, causaban melanomas malignos y virulentos, cuya proporción ahora se ha duplicado en solo dos décadas.

Ahora se sabe que la radiación ultravioleta no sólo provoca el cáncer, sino que deteriora la capacidad del cuerpo para combatirlo. Suprime la eficiencia del sistema inmunológico y facilita el crecimiento y extensión de los tumores. El mismo proceso hace a la gente más vulnerable a las enfermedades infecciosas de origen cutáneo, tales como el herpes y la leishmaniasis.

También produce cataratas cuya manifestación es por formación de nebulosas en los ojos, misma que es causa de la ceguera de 12 a 15 millones de personas en todo el mundo y de problemas de visión para otros 18 a 30 millones.

Durante mucho tiempo, nadie pensó que la actividad humana podría perturbar los asombrosos mecanismos que regulan el clima y las condiciones atmosféricas. Pero ahora ya tenemos una muestra, el equilibrio ozono-oxígeno en la estratosfera ha sido alterado con la introducción de muchos catalizadores artificiales (cfc, halones, óxido nítrico, etc.), dando lugar a cambios en las concentraciones relativas de estos dos gases, lo que potencialmente significa una alteración drástica de la atmósfera. Un ejemplo de ello es el agujero en la capa de ozono.

Los estudios e investigaciones hace algunos años también afirmaban que el más ligero daño a la capa de ozono afectaría a otras formas de vida distintas de la humana :

Dos tercios de las 300 plantas de cultivo y otras que se sometieron a pruebas de tolerancia de la luz ultravioleta, demostraron ser sensibles a ella. Los bosques también pueden ser afectados, casi la mitad de las especies de coníferas con las que se experimentó fue perjudicada por la radiación UV-B.

De igual manera, la radiación UV-B, afecta la vida submarina y provoca daños hasta una profundidad de 20 mts en aguas claras. Aún un incremento pequeño de las radiaciones puede provocar cambios importantes en la vida subacuática y dañar los recursos pesqueros. No hay que olvidar que muchos países dependen del pescado para proveer más de la mitad de las proteínas de la dieta de sus habitantes; para muchos países en desarrollo los alimentos del mar son fundamentales.

Los polímeros utilizados en la construcción, las pinturas y los envases y muchas otras sustancias son alterados por la radiación UV-B, más radiación podría provocar daños de miles de millones de pesos anuales. E irónicamente, la destrucción del ozono de la estratosfera podría hacer que aumentara la proporción del gas donde no se lo desea, es decir que se formará más ozono cerca de la superficie y en especial, cerca de los centros de las ciudades, donde hay mayor concentración de población.

Está claro que los niveles de radiación UV no solo limitan el crecimiento de algunas plantas, sino que reducirá la productividad agrícola y forestal, afectando a la vida humana y

los ecosistemas. El más mínimo aumento de rayos UV-B pasará de ser peligroso para volverse intolerable.

La tierra y sus habitantes tienen mucho en juego, en la preservación de la capa de ozono. Pero inconscientemente la hemos venido sometiendo a continuos ataques sin saber que el ozono puede reaccionar con una gran variedad de compuestos. Uno de los más significativos, los cfc's (Clorofluorocarbonos).

Ahora mucha gente sabe que la capa de ozono, que protege al planeta, está en peligro. También saben que una de las mayores amenazas a esta capa la constituyeron los aerosoles. A muchos incluso les sonaba el nombre científico del peligroso ingrediente que contenían estos aerosoles: los clorofluorocarbonos (cfc's). Pero hasta fechas tan recientes como 1972, apenas nadie fuera de la industria química había oído hablar de los cfc's.

Fue James Lovelock, científico británico quien a principios de los 70's, empezó a investigar. Demostrando finalmente que los clorofluorocarbonos de los productos industriales estaban flotando en la estratosfera y que se acumulaban en ella. El origen de ésta investigación fue que Lovelock había desarrollado una máquina que podía medir concentración de cfc's hasta unidades de partes por billón, y que el compuesto en la estratosfera podría utilizarse como trazador para estudiar las corrientes atmosféricas.

Desafortunadamente este descubrimiento sólo fue considerado como un hallazgo curioso, incluso para el mismo Lovelock, quien en 1973 al publicar su artículo en la revista "Nature", terminaría diciendo, "no se piensa que la presencia de estos compuestos pueda constituir algún peligro". Hasta entonces Lovelock había sido el primer científico en investigar sobre los CFC en la atmósfera.

### **I.3 Los Clorofluorocarbonos CFC's (origen, características y aplicación).**

En la antigüedad, el hielo natural y la nieve proveyeron los únicos medios de refrigeración.

No fue hasta el año de 1900 cuando se desarrolló la refrigeración industrial mediante el uso del ciclo mecánico; esto permitiría enfriar a una temperatura que no era posible lograr con medios convencionales.

Al principio, cualquier líquido que pudiera evaporarse y condensarse, podía servir como sustancia de trabajo, en estos sistemas de refrigeración.

Los primeros ingenieros en refrigeración, utilizaron líquidos que fueran volátiles y de fácil obtención como el dióxido de carbono, dióxido de azufre, el cloruro de metilo, el amoníaco entre otros. Estos líquidos se utilizaron con éxito como refrigerantes, pero en muchos casos resultaron deficientes, peligrosos, tóxicos o explosivos. En la actualidad, el amoníaco es el único refrigerante de este grupo que todavía se usa en ciertas instalaciones.

Hoy en día, el progreso de la industria de la refrigeración se debe a los compuestos químicos hechos por el hombre, los cuales fueron desarrollados específicamente para su uso como refrigerantes. Estas sustancias sintéticas son denominadas clorofluorocarbonos (cfc's).

La búsqueda de un refrigerante completamente seguro, con buenas propiedades térmicas, condujo al desarrollo de los refrigerantes clorofluorocarbonados hacia fines de la década de 1920.

Los clorofluorocarbonos fueron descubiertos por un grupo de químicos de General Motors Corporation, estos habían desarrollado una familia de refrigerantes con características excepcionales, el grupo estaba encabezado por el Dr. Thomas Midgley quien buscaba compuestos inertes, no tóxicos y no inflamables con puntos de ebullición bajos que pudieran utilizarse como refrigerantes.

En los equipos de refrigeración, la sustancia de trabajo ( refrigerante) fluye en un circuito continuo a través de los componentes del sistema : evaporador, compresor, condensador y control de flujo; sirviendo como medio para absorber, transportar y disipar calor. El refrigerante se evapora y condensa repetidamente, absorbiendo calor en el evaporador y disipándolo en el condensador.

Midgley encontró lo que estaba buscando en la forma de dos compuestos: diclorodifluorometano ( $\text{CCL}_2\text{F}_2$ ) comúnmente conocido como cfc-12 y el tricloro monofluorometano ( $\text{CCl}_3\text{F}$ ) también conocido como cfc-11, en cada compuesto distintas cantidades de cloro y flúor se combinan con el metano, que a su vez es una combinación de carbono e hidrógeno de ahí el nombre de clorofluorocarbonos (cfc's).

Estos refrigerantes fueron fabricados por E.I. Dupont de Nemours and Company (DUPONT) con el nombre comercial de freón. Dupont también ideó y registró un método para clasificar numéricamente los refrigerantes, con él eliminaba el uso de los complicados nombres químicos.

Otras compañías iniciaron en 1950 la producción de este grupo de refrigerantes bajo una serie de nombres como Genetrón, Isotrón, Frigen, etc.

Los clorofluorocarbonos (fluorocarbonos o hidrocarburos fluorinados) son un grupo de una familia de compuestos conocidos como halocarbonos (hidrocarburos halogenados). La familia de compuestos halocarbonos son sintetizados reemplazando uno o más de los átomos de hidrógeno en moléculas de metano ( $\text{CH}_4$ ), con átomos de cloro, flúor o bromo, siendo el último grupo de la familia de los halógenos. Los halocarbonos desarrollados a partir de la molécula metano son conocidos como "halocarbonos de la serie del metano".

En la fig. 4 , se muestra la composición de los halocarbonos de la serie del metano, obsérvese que la molécula metano básica consiste de un átomo de carbono (C) y cuatro átomos de hidrógeno (H). Si progresivamente son reemplazados los átomos de hidrógeno por átomos de cloro (Cl), el compuesto resultante es carbón tetracloruro ( $\text{CCl}_4$ ). Siendo este último la molécula base para la serie más popular de los fluorocarbonos del metano. Si ahora los átomos de cloro en la molécula carbontetracloruro son reemplazados progresivamente con átomos de flúor, los compuestos resultantes son tricloromonofluorometano CFC-11 y diclorodifluorometano CFC-12.

De esta forma, Thomás Midgley encontró los compuestos que vendrían a revolucionar la industria de la refrigeración.

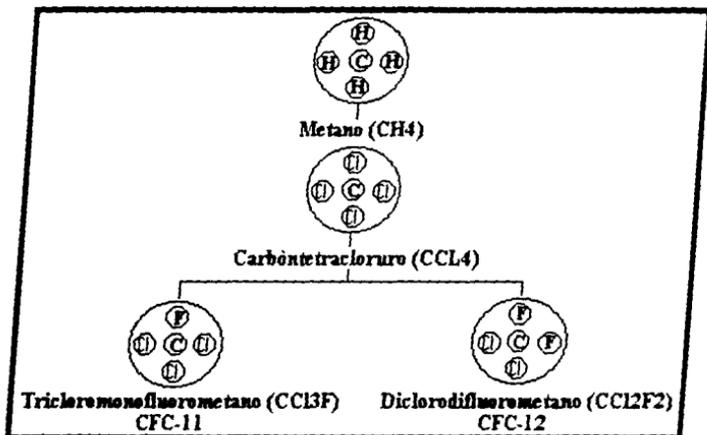


Fig. 4

Ahora no sólo la refrigeración cubriría necesidades básicas, si no que su aplicación traspasaría fronteras. En la preparación, almacenamiento y distribución de alimentos (carne, leche y sus derivados, bebidas, productos lácteos), industrias químicas, procesos industriales, aire acondicionado, etc.

Durante varias décadas, los productos químicos más dañinos para la capa de ozono fueron considerados casi perfectos y de una utilidad incomparable para la industria, bajo la falsa idea de que eran inofensivos para los seres humanos y el ambiente.

Inertes y muy estables, no inflamables, no venenosos, no tóxico, fáciles de almacenar y baratos de producir, los clorofluorocarbonos parecían ideales para el mundo moderno no

dañaba el mar, el aire, ni la tierra; no reaccionaba, con otras sustancias de la biosfera ni se disolvían para contaminar la lluvia. No sorprende entonces que su uso se haya generalizado más y más.

A partir de 1950 fueron usados en sprays (pulverizadores) para impulsar una amplia variedad de sustancias. La revolución de las computadoras se favoreció con CFC's usándolos como solventes de gran eficacia, debido a que pueden limpiar circuitos delicados sin dañar sus bases de plástico. Finalmente fueron utilizados para insuflar plástico líquido en distintas formas de espuma, desde aislamientos para la construcción de envases para comida rápida hasta espumas plásticas que tienen múltiples usos en la construcción y la industria automotriz.

Los clorofluorocarbonos además de ser inertes, no tóxicos y muy seguros tienen dos propiedades poco comunes, una es que a diferencia de muchas sustancias químicas que en la atmósfera se destruyen en horas, días o meses, los CFC's son tan inactivos químicamente que pueden permanecer hasta un siglo en la atmósfera.

El CFC-11 dura un promedio de 55 años, el CFC-12 dura 116 años, el CFC-115 permanece durante unos 550 años y el halón 1301 dura un promedio de 110 años, esto les proporciona bastante tiempo para subir lentamente atravesando la atmósfera hasta que alcanzan alturas estratosféricas en un proceso que puede durar 5 años y cuando llegan allí reaccionan con las moléculas de ozono, destruyéndolas, ésta es la otra característica que tienen los CFC's y otras sustancias halógenadas usadas en extintores.

En poco tiempo los clorofluorocarbonos y otros compuestos halógenados llegaron a constituir un elemento básico tanto en el mundo industrial, como para los consumidores, bajo el falso concepto de que estos compuestos químicos eran inofensivos, como lo llegó a pensar el científico británico James Lovelock quien a principios de los 70's había medido concentraciones de CFC's en la estratosfera. Poco después, los doctores Frank Sherwood Rowland y José Mario Molina investigaron cual era el efecto que los CFC'S podían ocasionar en la atmósfera alta.

#### **1.4 El Papel que Juegan los CFC's en la Destrucción de la Capa de Ozono.**

Hacia fines de 1973, los doctores en química Mario Molina y Frank Sherwood R., se interesaron por los CFC's después de llegar a la conclusión de que las cantidades medidas en la atmósfera por Lovelock en los 70's, eran igual a las cantidades que se habían producido en el mundo por aquella época, esto significaba que las emisiones de los CFC's por el uso en equipos de refrigeración y aerosoles, entre otros, llegaban sin ninguna modificación a la estratosfera. Su estabilidad de los CFC's tan útil en la tierra, les permitía llegar a la capa de ozono y una vez estando ahí ellos no sabían cuales serían los efectos. Esta fue la gran incógnita que los llevaría más tarde a un gran descubrimiento, la destrucción de la capa de ozono.

A mediados de 1974, los científicos Molina y Rowland alertaron al mundo al dar a conocer su hipótesis que afirmaba que la capa de ozono que protege a la Tierra de las radiaciones ultravioleta, estaba siendo afectada por los CFC's contenidos en diversos artículos domésticos y equipos de refrigeración. Su explicación, era la siguiente:

Que si en la troposfera no había nada que destruyese a los CFC's, estos deberían llegar finalmente a la estratosfera, y ahí en la capa de ozono, una vez que hubieran subido lo suficiente, se encontrarían con altos niveles de radiación ultravioleta que indudablemente los destruirían; liberándose átomos de cloro. Estos átomos de cloro tendrían una fuerte tendencia a combinarse con otros átomos o moléculas; y como el ozono estratosférico era también muy reactivo, cada átomo de cloro libre podría combinarse con un átomo de oxígeno de alguna molécula de ozono  $O_3$ , formándose un compuesto de cloro-oxígeno CIO y una molécula de oxígeno  $O_2$ . Ver fig. 5. De esta forma, el ozono se descompondría por los átomos de cloro de los CFC's.

La formación de monóxido de cloro (CIO) y oxígeno ( $O_2$ ), no era todo lo que ocurriría. Los clorofluorocarbonos no solo se disociaban en presencia de radiación ultravioleta, sino que las moléculas de oxígeno también se descomponían en átomos de oxígeno libres. Estos átomos de oxígeno libres reaccionaban con el CIO que se produce de la reacción entre los

átomos de cloro y ozono, formando una nueva molécula de oxígeno y un átomo de cloro libre. La sorprendente conclusión es que los átomos originales de cloro, las moléculas de ozono y los átomos de oxígeno libres se transforman en átomos de cloro y moléculas de oxígeno. El ozono se transforma en oxígeno y el cloro que catalizó la reacción, permanece intacto listo para reaccionar con más ozono. En otras palabras, el cloro es reciclado una y otra vez.

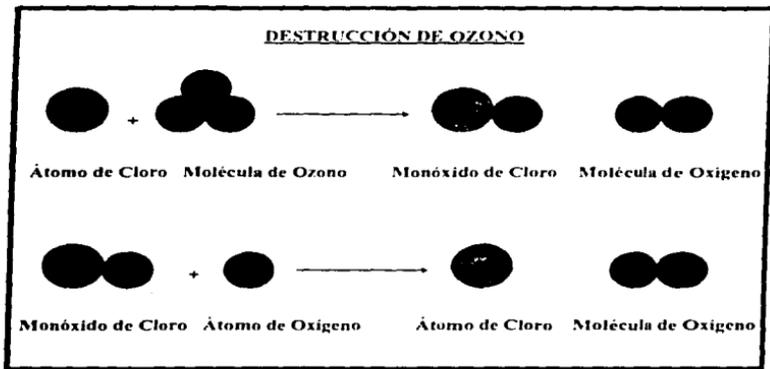


Fig. 5

Rowland y Molina calcularon que de esta forma cada átomo de cloro podría transformar en oxígeno aproximadamente 10,000 moléculas de ozono, lo que potencialmente podría significar una alteración drástica de la atmósfera, representando un serio peligro para la vida en la Tierra. Estos hallazgos fueron publicados en la revista "Nature" en Junio de 1974 y no tardaría en responder DUPONT propietaria de la marca freón, la cual se indignó al saber que su producto era una seria amenaza para el medio ambiente.

La industria productora de los CFC's durante mucho tiempo no aceptó la hipótesis, la polémica había sido tan fuerte, no sólo desde el punto de vista científico sino del industrial. Por fortuna el aspecto científico de la investigación finalmente fue suficientemente claro para convencer a la industria.

Mario Molina y Frank S. Rowland habían estimado que si continuaba creciendo hasta 1990, la producción de CFC's a la razón del 10% anual y luego se estabilizaba, el efecto en la capa de ozono sería de una reducción para 1995 de entre el 5 y el 7% y de entre el 30 y el 50% para el año 2050.

Después de las predicciones de los dos científicos se hicieron varias estimaciones sobre la futura pérdida de ozono, y ninguna de ellas fue optimista. El grupo de Harvard predijo que con crecimiento del 10%, la estratosfera perdería un 10% de su ozono para 1994 y 40% para el año 2014. Para destacar las implicaciones catastróficas de tal reducción en la capa de ozono, Rowland estimó que sólo en E.U una reducción del 5% en la capa originaria 40,000 casos extras de cáncer cada año. Otras estimaciones de reducción del 50% de la capa de ozono causarían en el año 2075 más de 150 millones de cáncer en la piel de todo el mundo.

Una mayor radiación ultravioleta en la superficie terrestre también podría causar en el próximo siglo millones de casos de cataratas, perturbaciones del sistema inmunológico humano, produciéndose epidemias de enfermedades contagiosas, disminución de la productividad en la agricultura, daño a los ecosistemas marinos por la alteración del fitoplankton y contribución indirecta al calentamiento global del planeta.

Después de que se proporcionaron datos estimativos de la destrucción de la capa de ozono por universidades y organismos a favor del medio ambiente, se llegó a un acuerdo, que si bien, las cifras reales variaban de un organismo a otro, había un consenso, que los CFC's estaban destruyendo la capa de ozono y había que hacer algo al respecto. Esto ocasionó una pelea entre las políticas económicas y la investigación científica a favor del medio ambiente creando un ambiente tenso ya que los CFC's habían sido un negocio

enormemente fructífero durante 40 años y no estaban dispuestos a abandonarlo por los cálculos que dos científicos habían realizado en el laboratorio.

Estos momentos tan críticos hicieron que Rowland y Molina se presionarán demasiado porque estaban conscientes que, puesto que la atmósfera era un sistema muy complicado, era posible que su hipótesis estuviera equivocada, aunque esta es una de las virtudes del método científico, hacer hipótesis. Ellos continuamente estuvieron postulando detalles que se podían corroborar o refutar, pero con el descubrimiento del agujero en la capa de ozono, su hipótesis quedó comprobada. De hecho la hipótesis de que los CFC's podían tener grandes efectos en la capa de ozono a nivel global fue lo que los hizo acreedores del Premio Nobel de Química el 11 de Octubre de 1995.

Gracias a esa hipótesis ha sido posible tomar una decisión de largo alcance para prohibir la liberación de gases que destruyen el ozono estratosférico. Sin embargo, está latente un aspecto muy importante relacionado con las predicciones sobre los efectos de la reducción de la capa de ozono. Esto es, la amenaza futura que plantean los cloro fluorocarbonos ya existentes en la atmósfera, no hay que olvidar que los CFC's son de larga vida y que por lo tanto existe en juego un efecto de retardo. Incluso aunque la producción de CFC's se hubiera parado de forma inmediata, algo que no ocurrió, todavía habría un incremento en la reducción de la capa de ozono durante los años venideros debido a los miles de toneladas de CFC's que fueron liberados durante los pasados 50 años y que actualmente siguen siendo liberados.

Es de suma importancia para la humanidad saber como se emite CFC's a la atmósfera. Ya que todos estamos involucrados de manera directa, puesto que hacemos uso de artículos y productos o equipos que utilizan CFC's.

Los cloro fluorocarbonos tienen una gran variedad de aplicaciones, pero en el mundo actual el principal uso es como refrigerante en equipos de refrigeración y aire acondicionado. No es indispensable para la gente tener desodorantes en spray, pero si es importante mantener

los alimentos en buenas condiciones, y esto es precisamente lo que la refrigeración logra hacer.

Se podría pensar que los equipos de refrigeración usan los clorofluorocarbonos de forma bastante segura. Después de todo no hay ninguna razón por lo que los CFC's deban salirse de los sistemas, y si permanecen dentro de los equipos no pueden dañar la capa de ozono. Desafortunadamente, la mayoría de estos equipos pierden casi 30% de su refrigerante (CFC), debido a fugas, en un mal mantenimiento o reparación. El resto escapa finalmente a la estratosfera una vez que se desecha el equipo.

Realmente han sido muchas las aplicaciones de los CFC's y como consecuencia las emisiones, por lo tanto, no es de extrañarse la gran acumulación de toneladas en la estratosfera, lo sorprendente son los efectos que causó y que sigue causando en la capa de ozono.

Ya se ha demostrado que los CFC son la principal causa detrás de la prueba más impresionante de la destrucción de ozono. Cada verano austral se abre más un agujero en la capa de ozono sobre la Antártida, tan extenso como los Estados Unidos y tan profundo como el monte Everest. El hoyo ha crecido casi todos los años desde 1979. En Octubre de 1987 cuando alcanza su mayor tamaño, el volumen total de ozono sobre una estación de medición en la Bahía de Halley era menos de la mitad del medido en la década de 1970; a una altura de entre 15 y 20 kilómetros sobre la superficie de la Antártida, donde se registro la mayor destrucción; había desaparecido el 95% del gas.

En realidad, hay cada vez más pruebas de que la capa de ozono se esta adelgazando en todo el mundo. En 1988, un grupo de expertos descubrieron que en el continente austral la capa protectora sobre el hemisferio norte se reduce un 4% en invierno y 1% en verano, entre los 60 y los 34 grados de altitud. Estas proporciones son el doble de las calculadas por los modelos elaborados por computadora.

Se calculaba que si las emisiones de CFC's y halones continúan creciendo como en el pasado, la capa de ozono será reducida en un 20%, en el próximo siglo.

El descubrimiento del agujero en la Antártida y el descenso de los niveles del ozono en todo el mundo pusieron en alerta a científicos y gobiernos de varios países. Afortunadamente, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), ha trabajado sin descanso en la construcción de la infraestructura que ahora le permite coordinar la acción internacional.

### **1.5 El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).**

El PNUMA desde sus orígenes, se ha preocupado por la protección de la capa de ozono. Este órgano fue concebido durante la conferencia sobre el Medio Ambiente Humano, que se realizó en Estocolmo en 1972. Es una organización aun joven que lo seguirá siendo cuando se planteen los grandes problemas ambientales del siglo XXI.

El PNUMA es un catalizador, estimula a otras entidades a la acción en lugar de intentar hacerlo por sí mismo. Trabaja con otras organizaciones y por conducto de ellas, inclusive organismos de las Naciones Unidas, gobiernos y comparte el reconocimiento por los logros alcanzados.

En junio de 1973, durante la primera sesión del Consejo Directivo del PNUMA. El director Mostafa Kamal Tolba citó el daño a la capa de ozono, como el límite máximo que la humanidad debería respetar, dijo: " la alteración del filtro protector del mundo podría poner en peligro la continuidad de la vida humana en este planeta".

Hacia finales del mismo año, los científicos Frank Sherwood y su asistente Mario Molina, decidieron investigar que ocurría con los CFC's , y pronto lograron establecer que los gases ascendían a la estratosfera, con efectos tan graves, que al comienzo los investigadores se sorprendieron de sus propios cálculos. Ahora se sabe que los procesos por los cuales los CFC's destruyen el ozono son mucho más complicados que lo previsto entonces por los

científicos de California. Ellos indicaron que podían producirse dos reacciones químicas, en tanto que en la actualidad se ha logrado identificar unas 200, pero su tesis básica ha sido respaldada y comprobada.

En esa época, la hipótesis de Molina y Rowland fue una investigación controvertida que la comunidad científica discutió durante años y la industria desafió repetidamente. De todas maneras, capturó la atención del público y en los años siguientes, mientras continuaba el debate, fue aumentando la presión para el control de los CFC's en los Estados Unidos y otros países.

En abril de 1975, el PNUMA estableció las bases para la acción internacional, enfrentando así los riesgos de la capa de ozono.

En abril de 1976, el Consejo Directivo decidió convocar a una conferencia internacional. Los expertos de 52 países se reunieron en Washington en marzo del año siguiente y establecieron el primer acuerdo internacional sobre el asunto: El Plan Mundial de Acción sobre la Capa de Ozono. Este era un plan detallado de 21 puntos, que abarcaba la vigilancia del ozono y la radiación solar, la evaluación de los efectos de la destrucción del ozono sobre la salud humana, los ecosistemas y el planeta; y la creación de sistemas para estimar los costos y beneficios de las medidas de control.

En éste plan internacional se pidió al PNUMA que se estableciera un comité coordinador para la capa de ozono con representantes de las agencias, las organizaciones no gubernamentales (ONG) y los países con programas científicos importantes, vinculados al plan de acción. Este comité se reunió con regularidad y fue el núcleo del programa internacional.

Al adoptar el plan de acción los representantes del comité, admitieron que existía un problema en potencia, aun cuando su magnitud estuviera por determinarse, y se pusieron en acción para enfrentarlo. Con el mismo espíritu, algunos países pronto tomaron medidas para controlar los CFC's.

Si bien tuvieron su utilidad estas medidas, solo proporcionaron un alivio temporal. Después de haberse reducido durante varios años las emisiones de CFC's, volvieron a aumentar a

comienzos de la década de los 80'S. Hacia 1984, las emisiones estaban otra vez en los niveles de 1977 y aumentaban un 5% al año.

El tema sobre la capa de ozono perdió buena parte de su vigencia, los órganos antes comprometidos perdieron interés y el PNUMA se quedó solo, con la responsabilidad de mantener el problema en los temarios internacionales.

En general, los años setenta se caracterizaron por una batalla entre las políticas económica y ambiental, entre los que estaban decididos a salvar la capa de ozono a cualquier costo y los que no estaban dispuestos a liquidar una poderosa industria multimillonaria por un concepto científico, todavía no probado.

El comité de coordinación del PNUMA siguió reuniéndose con regularidad y emitiendo informes, mas allá de la década de los 70's, una época difícil, en la que los medios de evaluar el efecto de los CFC's sobre la capa de ozono estaban aún en su infancia. No obstante, los científicos que formaban el núcleo del proceso de evaluación siguieron convencidos de que existía un grave problema mundial y los informes del comité continuaron subrayando esto, en tanto se mejoraban los métodos de evaluación. Si el PNUMA hubiera perdido el interés, el tema habría desaparecido de la conciencia internacional y se habrían perdido años de vital investigación y cooperación.

Por fin a principios de los 80's, el comité de coordinación pudo conseguir evaluaciones de la destrucción potencial en las que tenía confianza. Los datos demostraron que si existía una gran amenaza a la salud humana y en general a todo el planeta. De modo que el PNUMA paso a la siguiente etapa de su programa.

En 1981 el consejo directivo creó un grupo de trabajo para preparar una convención sobre lineamientos globales para proteger la capa de ozono. Primero, se creó un tratado general en el que se expresaba la intención de enfrentar un problema; luego las partes se abocaron a la tarea mas difícil, tomar medidas apropiadas para proteger la salud humana y el medio ambiente contra los efectos adversos provocados por las actividades humanas que pudieran modificar la capa de ozono.

El problema fue que la convención para la protección de la capa de ozono, concluida en Viena el 22 de Marzo de 1985; en la que participaron cerca de cuarenta países, entre ellos México. No especifico que medidas se tomarían para controlar las emisiones de sustancias químicas que degradan la capa de ozono. Incluso los CFC's aparecen solo al final del apéndice del tratado entre un grupo de sustancias que se pensaba que pudieran modificar las propiedades químicas y físicas de la capa de ozono.

Además, en el acta final del mismo documento, únicamente se reconoce la posibilidad de que las emisiones de CFC's a la atmósfera pudieran afectar la capa. No obstante, se ha consensado que el propósito principal de la convención era estimular la investigación, el intercambio de información y la cooperación entre los países. Con todo, tomo cuatro años prepararla y aprobarla, veinte naciones la firmaron en Viena, pero la mayor parte de ellas no se apresuraron a ratificarla. De todas maneras, estableció un precedente importante; por primera vez las naciones se pusieron de acuerdo para hacer frente a un problema ambiental global, antes de que sus efectos se sintieran o fueran demostrados en forma específica.

Por esas fechas, se preparaba la publicación de un documento científico que transformaría la percepción del problema en los círculos políticos y especializados. Se trataba de un informe sobre el trabajo del Dr Joe Farman y sus colegas de la Institucion Antártica Británica (British Antarctic Survey), que desde los años 70's, encontraron que las concentraciones de ozono en el hemisferio sur habían disminuido.

En octubre de 1983 y 1984, hallaron menos ozono, esta vez midieron una reducción de mas del 30%. Ese informe sobre sus descubrimientos fue publicado en la revista "Nature" el 16 de mayo de 1985, menos de dos meses después de la conferencia de Viena. Causo sensación en los círculos científicos, la mayor reacción fue en el centro de vuelos espaciales de la NASA, los científicos revisaron la información del satélite Nimbus 7 que desde 1978 estaba en órbita , y entonces quedo en evidencia la dimensión del agujero de la capa de ozono en la Antártida.

El agujero era como una rebanada que se le quita a una gruesa capa, una rodaja con un grueso igual a la altura del monte Everest, cubriendo una área tan grande como los Estados Unidos.

Aunque diferentes tipos de actividad solar o volcánica podrían haber creado el agujero, el primer sospechoso a investigar era el cloro contenido en los CFC; según la teoría del Dr. Mario Molina y Frank Sherwood.

La expedición inglesa a la Antártida había estado midiendo las concentraciones de CFC al mismo tiempo que las de ozono puesto que el trabajo de Lovelock se conocía desde los años setenta. En una comparación que hicieron de las gráficas de las concentraciones de ozono y de CFC's durante el mismo periodo de tiempo, encontraron una correlación directa. Cuando subía la concentración de CFC's la concentración de ozono medida cada octubre disminuía. El siguiente paso fue determinar como serían las condiciones en la primavera, se pensaba que podrían favorecer las reacciones cloro-ozono en el polo sur y como consecuencia agrandar el agujero.

A finales de 1986, estaba claro que la respuesta tenía que ver con las nubes heladas. La primera expedición nacional para el ozono (NOZE), realizada en McMurdo en la Antártida, llegó a la conclusión observando las nubes a gran altitud que se forman sobre la Antártida en el invierno. Estas nubes polares estratosféricas, o PSC (Polar Stratospheric Clouds), forman una cubierta nubosa diáfana en la baja estratosfera, formada por miles de millones de pequeñas partículas de hielo. Los científicos dedujeron que al formarse las nubes al principio del invierno, las moléculas de CFC's quedarían atrapadas en la gran superficie de las partículas de hielo, provocando lo que se denomina reacciones por catálisis en superficie.

En el caso de los clorofluorocarbonos, la reacción que se cataliza es la disociación de las moléculas de CFC's en átomos de cloro libres. Los átomos de cloro pueden permanecer ligados a las partículas de hielo durante todo el largo invierno antártico. Cuando viene la primavera las temperaturas disipan las nubes, y los átomos de cloro son liberados en la estratosfera donde pueden interaccionar con el ozono. Cuando las PSC se forman de nuevo al final del otoño, los átomos de cloro son nuevamente capturados y el ozono se puede recuperar parcialmente por las reacciones oxígeno radiación ultravioleta.

La razón de que el agujero apareciese solo sobre la Antártida es que es el único lugar donde las temperaturas estratosféricas disminuyen lo suficiente como para crearse las PSC.

Los resultados obtenidos de esta expedición indicaban que quedaban muy pocas dudas de que el cloro de los CFC's con la ayuda de las nubes polares estratosféricas, estaba produciendo el agujero en la capa de ozono.

Cabe señalar que la noticia sobre el agujero en la capa de ozono publicado por la revista "Nature" en mayo de 1985; no fue mucho más allá de la comunidad científica. Ya que el avance hacia un acuerdo internacional sobre disposiciones para controlar los CFC's siguió siendo lento. El PNUMA no había podido obtener el consenso para un protocolo en la reunión de Viena, pero en ella se pidió al Dr. Mostafa Tolba, Director Ejecutivo del PNUMA, que convocara a otra conferencia general para elaborar un protocolo sobre los CFC's de ser posible para 1987.

El PNUMA se dedicó a la tarea con urgencia. En mayo de 1985, el consejo directivo creó un comité para elaborar el protocolo. El comité coordinador para la capa de ozono se reunió en Londres Inglaterra, con el propósito de elaborar un documento con los asuntos científicos que los encargados de elaborar la política respectiva deberían tener en cuenta al preparar el protocolo.

Posteriormente, se convocó a un taller de trabajo en dos etapas, este se realizó en Roma en mayo de 1986, en el se examinaron las estadísticas de las producciones nacionales e internacionales, uso y comercio de los CFC. En la segunda sesión que se realizó en septiembre del mismo año en Leesburg, se trató el tema más difícil, buscar alternativas para regular el uso de las sustancias.

Fue entonces cuando el PNUMA para acelerar los acuerdos, organizó tres conferencias de negociaciones en un tiempo muy corto. Los negociadores se reunieron en diciembre de 1986 y en febrero de 1987, llevando a cabo la última reunión en abril de 1987; con apenas el tiempo necesario para preparar documentos. Al comienzo, las negociaciones no respondieron a las advertencias científicas. Pero en la tercera reunión celebrada en Wurtzburgo Alemania en abril de 1987, los negociadores tuvieron en sus manos los resultados que se obtuvieron de los modelos por computadora, ésta era información

científica que no admitía discusiones. Al mismo tiempo, la preocupación de la gente por el agujero del ozono en la Antártida estaba por fin aumentando en algunos de los países e iba creciendo la presión sobre sus gobiernos para tomar medidas. Esto sirvió en gran manera para romper con un estancamiento que empezaba a sufrir la elaboración del tratado.

## **1.6 EL Protocolo de Montreal Relativo a las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono.**

Unos días antes de firmarse el tratado en Montreal Canadá, en una reunión que se realizó el 6 de Septiembre, hubo una gran renegociación del protocolo.

Los países en desarrollo, que no habían asistido a las primeras etapas de las negociaciones, expresaron su preocupación de que el acuerdo no pusiera trabas a su desarrollo. Pues ellas deseaban avanzar en tecnologías tales como la refrigeración, y el protocolo tenía que reflejar este deseo. Otro asunto importante fue como regular el comercio de las sustancias controladas.

Pero en sí, el mayor debate se encontró sobre quien debería hacer los mayores recortes en el uso de los CFC's y en que cantidades deberían reducirse.

El protocolo acordado por fin en Montreal el 16 de Septiembre de 1987, parecía ser mucho más estricto que lo que se hubiera pensado algunos meses antes.

Entre sus 20 artículos que lo constituyen, se incluye controles para una amplia variedad de sustancias, cinco CFC's (11, 12, 113, 114 y 115) y tres halones (1211, 1301 y 2402), ver **anexo A**. Determina reducciones drásticas en el consumo y producción de CFC; establece sanciones comerciales severas para los países que no se unieran al tratado.

Lo delicado de las negociaciones fue reflejado en el acuerdo final, que contiene cláusulas para las circunstancias especiales de varios grupos de países en desarrollo. Además tiene una flexibilidad constructiva; puede ser ajustado al fortalecimiento de las pruebas científicas, sin tener que volver a negociar su totalidad. Y pone de manifiesto el objetivo final, la eliminación de las sustancias que destruyen el ozono.

El protocolo entro en vigencia a tiempo, el 1 de enero de 1989, fecha por la cual 29 naciones mas la comunidad económica europea, representando alrededor de 82% del consumo mundial, le habian ratificado.

### **Medidas de Control**

Cada país comprometido debió congelar el consumo de los cinco CFC controlados (11, 12, 113, 114 y 115), en los niveles de 1986, el 1 de Julio de 1989. A mediados de 1992, el consumo no debió ser mayor al 80% de lo que era en 1986 y debió ser reducido a la mitad para mediados de 1998. De tal manera, que el consumo para fines de siglo fuera de 50% menos de lo que era en 1986.

Las cifras reales de las sustancias que cada país consume (su producción mas las importaciones, menos las exportaciones), se multiplican por su potencial de destruccion de ozono (PDO); según la clasificación de las sustancias en el protocolo.

Los números resultantes de la multiplicacion se suman para obtener un consumo total, que primero debe congelarse y luego reducirse. Esto da flexibilidad a los países, a la vez que protege el ozono; una nación podía decidir la reducción de cualquier combinación de sustancias, para cumplir con los objetivos establecidos por el tratado.

El protocolo también obliga a los países a hacer reducciones similares en la producción de las sustancias químicas, pero les da un margen mayor que tiene que congelarse y reducirse paralelamente al consumo. El tratado acepta la necesidad de algunos países de una cuota extra, primero para producir la sustancia para las naciones en desarrollo y también porque la industria internacional entraria en un proceso de racionalización al reducir sus dimensiones (al cerrar una planta en un país), parte de su producción al congelar los CFC y los halones y en la primera reducción de los CFC, además de un exceso del 15% en el segundo y mayor corte. No se da margen alguno a los países que tardan en firmar el protocolo; igualmente tienen que cumplir con el cronograma, lo que les da un incentivo poderoso para una rápida ratificación.

Varios grupos de países se les aseguraron concesiones para ayudarlos a resolver sus dificultades particulares y para respetar la equidad internacional.

Países con industrias de CFC pequeñas, con una producción inferior a las 25,000 toneladas anuales, estaban autorizadas para comerciar los excesos de producción mayores que los enumerados, con otras naciones, siempre que su producción total no rebasara los límites, esto permitía a países como Canadá, racionalizar su industria sin cierres innecesarios. Las economías de planificación central tenían permiso para incluir en los niveles de producción de 1986, la producción proyectada de las instalaciones con contrato de construcción anterior al acuerdo del protocolo. Esto, con la condición de que dichas instalaciones estuvieran terminadas para 1991 y no elevaran el consumo nacional por sobre 500 grs. por habitante. Por ejemplo, la Unión Soviética tenía contratos de obligación legal para producir las sustancias químicas y exportarlas a sus socios comerciales.

Las mayores concesiones se hicieron para los países en desarrollo como México, siempre que su consumo anual por habitante fuera inferior a 300 grs. (menos de un cuarto del nivel de los EE.UU.), una nación en desarrollo podía demorar la puesta en aplicación del cronograma durante diez años, para cumplir con sus necesidades domésticas básicas. Se estaba consciente de que los países en desarrollo podrían necesitar aumentar su consumo a medida que progresaran; pero el protocolo también tenía controles a largo plazo.

Los países en desarrollo que se fueran sumando al tratado serían apoyados con tecnologías alternativas y se les ofrecía subsidios, ayuda, garantías de créditos o programa de seguros para utilizarlas, estímulos que se negaban a quienes no participaran dentro del protocolo.

Buena parte de la fuerza del tratado consistía en sus disposiciones comerciales. Todos los países que ratificaron el protocolo debían prohibir las importaciones de las sustancias químicas, de los países que estuvieran fuera del acuerdo, al iniciar 1990. y tenían que hacer lo mismo con las importaciones de los productos que incluyeran las sustancias, en un plazo de 3 años a partir de entonces. Por otro lado, los países en desarrollo que estuvieran gozando de la franquicia de 10 años, no debían exportar las sustancias a las naciones que no se hubieran suscrito al tratado, a partir de 1993. En su conjunto, estas restricciones

comerciales daban un gran incentivo a los países para que se unieran al tratado, sino deseaban perder sus mercados o proveedores.

Otro de los puntos importantes es que el tratado obligaba a las partes a examinar la eficacia de las medidas de control en 1990 y cada cuatro años posteriormente; sobre la base de evaluaciones profesionales de la información científica, ambiental, económica y técnica. Así se podrían ajustar los cambios al protocolo sin renegociarlo.

El Protocolo no llegó tan lejos como para acordar la eliminación de las sustancias, lo cual hubiera sido idóneo. Pero iba más allá de lo que muchos países estaban dispuestos a aceptar meses antes. Además ayudó a los países en desarrollo a unirse a los sistemas de control; algo de suma importancia porque ciertas naciones en desarrollo con grandes poblaciones hubieran podido mermar la eficacia del tratado si llegaran a aumentar el consumo y producción de las sustancias sin restricción alguna.

En la época de la firma, los modelos de computador predijeron que si todos los países que firmaron el protocolo lo respetaban, el ritmo de destrucción de la capa de ozono se estabilizaría en un bajo porcentaje durante la primera década del siglo próximo; de no respetarse podría haber una destrucción masiva del gas.

En términos humanos, el tratado serviría para prevenir 1,860,000 muertes por cáncer a la piel y 38 millones de casos de cataratas, entre los nacidos antes del año 2075. También reduciría en un tercio la contribución de los CFC's al calentamiento global.

El protocolo solo fue otro paso, como se vio en el momento de su acuerdo. Mas una vez acordado, los hechos se sucedieron con una rapidez asombrosa. Nuevas pruebas científicas demostraron que se necesitarían controles más amplios y estrictos.

En los momentos en que los delegados estaban ajustando los detalles del protocolo en la conferencia de Montreal, al otro extremo de América, se realizaba un notable experimento científico. E.U., Inglaterra, Argentina y Chile, reunidos en Punta Arenas llevaban a cabo el Experimento Aéreo Antártico del Ozono (AAOE). En Agosto y Septiembre de 1987, las

mediciones de los CFC's, directamente tomadas durante el experimento aéreo probaron su culpa mas allá de toda duda racional.

Al cumplirse tan solo dos semanas de la primera firma del protocolo de Montreal, los investigadores comunicaron sus conclusiones preliminares, pues todavía faltaba una reunión en Berlin, Alemania. En esta se analizaron los datos obtenidos por el AAOE. A dos años y medio de la publicación del primer informe sobre el agujero, los científicos habían logrado descifrar la compleja meteorología y los procesos químicos de la estratosfera antártica y habían establecido la causa del fenómeno: un logro científico extraordinario.

Los científicos habían comprobado la teoría que se venía manejando desde los 70'S. Rowland y Molina tenían razón, los clorofluorocarbonos eran los responsables de la desaparición del ozono en la Antártida. Otra de las informaciones que se presentó en Berlin confirmó otra de las teorías que anteriormente se venía manejando: Los clorofluorocarbonos reaccionaban por catalisis en la superficie de las gigantescas nubes polares estratosféricas ó PSC.

Los científicos pensaban que con tal de que las PSC se formaran sólo sobre la Antártida, sería el único sitio en donde se podría producir un agujero de forma efectiva. Pero el peligro estaba en que las condiciones climatológicas que hacían que se formaran las PSC de forma mas abundante en la Antártida se extendieran por otras regiones, por ejemplo el Polo Norte. Las PSC siempre han existido, pero no de forma tan abundante como en la actualidad. Esto es debido a que en los últimos años la estratosfera de la Antártida se ha hecho mucho mas fría, principalmente por dos razones: La primera es que por la reducción de ozono en la capa, ya no absorbe la suficiente luz ultravioleta como originalmente lo hacia y por lo tanto la temperatura de la estratosfera ha disminuido.

La otra razón es que los gases en la troposfera alta pueden estar atrapando mayor calor por debajo de ellos de lo normal, originando temperaturas mas bajas por encima de ellos. No hay que olvidar que los CFC's, no solo destruyen el ozono estratosférico, sino que son mucho más efectivos que las moléculas de bióxido de carbono en su aporte al calentamiento del planeta. Esta última idea hay que tenerla muy en cuenta porque la atmósfera puede ser

gravemente transformada afectando el clima mundial; contribuyendo grandemente al efecto invernadero.

Se le llama efecto invernadero a la capacidad de algunos gases (dióxido de carbono, metano, vapor de agua, CFC's, entre otros), de absorber ó atrapar la radiación infrarroja en la atmósfera de la Tierra, dando lugar a temperaturas más altas.

La atmósfera es calentada por el sol, pero no de la forma que la mayoría piensa. Es decir, la superficie terrestre es quien realmente la calienta al recibir la radiación del sol en forma de luz visible. Esta radiación atraviesa la atmósfera sin experimentar ningún cambio. De manera que parte de la luz solar que alcanza la tierra es reflejada por las enormes capas de hielo de los polos. Esto juega un papel importante en la determinación de la temperatura en la Tierra.

La Tierra absorbe la luz que no es reflejada, se calienta y la irradia de nuevo a la atmósfera como radiación infrarroja; así la atmósfera se calienta atrapando esta energía en la troposfera por eso se le llama efecto invernadero.

Aunque han sido numerosos los informes publicados por diversos organismos científicos acerca de que si ya empezó el calentamiento en la tierra o no. Todos están de acuerdo en que el incremento de dióxido de carbono y otros gases, pronto harán que el planeta se caliente. De manera que haya o no comenzado el calentamiento; al final si la teoría se cumple no habrá ninguna diferencia. Como paso con la hipótesis sobre la capa de ozono de Molina y Rowland, ya estaremos presenciando las consecuencias de lo que le hemos hecho al planeta. Ya que hemos roto y alterado su equilibrio, privándola finalmente de su independencia, puesto que modificamos ya su atmósfera, y esto es fatal para su significado.

Nadie sabe exactamente lo que ocurriría si la temperatura aumentara. Pero hasta ahora todas las predicciones que se han hecho son pesimistas. A continuación se citan sólo algunas. Por ejemplo, el calentamiento haría que los glaciares en los polos se derritiesen. Estos glaciares son indispensables porque reflejan una cantidad enorme de luz solar. Si comenzaran a derretirse, la Tierra absorbería más luz que la que podría reflejar y la temperatura del globo

aumentaría todavía más rápido. Este calentamiento acelerado tendría efectos catastróficos: a) aumentaría el nivel del mar por el deshielo de los glaciares, inundando ciudades que se localizan a las orillas del mar. Pero no solo serán los seres humanos los que sufrirán los cambios, sino todos los ecosistemas en general; b) habrá alteración total de los esquemas climáticos que involucran por ejemplo grandes ondas de calor, perjudicando la agricultura, provocando grandes sequías. Otras partes del mundo serán barridas por abundantes tormentas ya que el calentamiento aumentará la evaporación de agua en los mares formándose más nubes y por tanto dará lugar a grandes lluvias; c) Algunas investigaciones de organismos de salud pública indican que el número de nacimientos prematuros y el de muertos prenatales, así como la muerte por enfermedad cardíaca entre otros, se debe al incremento del calor en el planeta. Incluso algunos científicos consideran que si hubiera un deshielo polar significativo, el centro de gravedad de la tierra se movera inclinando el globo terráqueo; aunque no hay un estudio a fondo de lo que esto ocasionaría la idea a muchos les inspira un temor reverente.

Realmente no se necesita de una gran imaginación para percatarse de que estos sucesos cambiarían nuestras vidas. Pero se necesitan grandes investigaciones y poderosas computadoras para dar una pista de cómo será ese cambio; aunque bien es cierto, nunca se sabrá con exactitud, es imposible simular en un laboratorio lo que sucederá en todo el planeta.

La comunidad científica está consciente de que en el planeta siempre ha habido cambios, de hecho el futuro ha sido siempre una colección de probabilidades. Pero la humanidad ha acelerado tanto esos cambios con la producción de sustancias que contribuyen al efecto invernadero que ahora atenta contra su propia vida.

Hasta hace algunas décadas el dióxido de carbono era considerado como el único culpable de la aceleración del efecto invernadero. Sin embargo existen otros gases responsables del mismo, que juntos pueden contribuir a dicho efecto así como el dióxido de carbono. En este momento uno de los principales contribuyentes es el metano, óxido nítrico y los CFC's

El hecho de que los CFC's actúen como agentes de efecto invernadero no es coincidencia; la reducción de ozono y el efecto invernadero son de hecho aspectos de una atmósfera cambiante íntimamente relacionados.

La reducción de ozono y el calentamiento global se refuerzan mutuamente en sus efectos sobre la temperatura en la estratosfera y en la troposfera. En otras palabras, ambos calientan la troposfera y enfrían la estratosfera. Menor cantidad de ozono en la estratosfera hace que se absorba una menor radiación ultravioleta y como consecuencia las temperaturas disminuyen, ya que la absorción de luz ultravioleta es la principal fuente de calor de la estratosfera.

Por otra parte el efecto invernadero hace que la troposfera atrape la radiación infrarroja que normalmente subiría a la estratosfera donde de alguna manera sería absorbida. En 1987 Rowland estimó que la combinación de la reducción de ozono y el efecto invernadero darían lugar dentro 60 años a una estratosfera 30°C más fría de lo que está actualmente.

Una consecuencia de este enfriamiento en la estratosfera sería la formación de las nubes polares estratosféricas que causaron el agujero en la capa de ozono sobre la Antártida. Con una disminución de 30°C en la temperatura de la estratosfera alrededor del planeta, es indudable que las PSC se pudiesen formar en otras regiones y es posible que las mismas reacciones de catálisis superficial den lugar a agujeros similares con la capa de ozono en los lugares donde se formen.

La amenaza de los PSC no es más que un ejemplo de como se pueden combinar entre sí, y realimentar la reducción de ozono y el efecto invernadero. Creando un efecto que aumente progresivamente y pueda ocasionar consecuencias desastrosas, a gran escala y de manera general. Por ejemplo, en marzo de 1988; una investigación de gran magnitud demostró en forma convincente y por primera vez, que la destrucción de ozono tiene una dimensión global. Un grupo experto de la NASA analizó e interpretó casi todas las mediciones del ozono existentes. Los especialistas llegaron a la conclusión de que la capa se había reducido en 1% durante el verano y 4% durante el invierno, en la franja que va desde los 64 a los 30

**grados de altitud norte. Esta área incluye a los Estados Unidos, Canadá, Europa occidental, China, Japón y la Comunidad de Estados Independientes.**

En otro gran experimento en la primavera de 1989. Los resultados mostraron que las condiciones en el hemisferio norte eran similares a las existentes en la Antártida antes de la formación del agujero. Es decir, la formación de nubes polares estratosféricas (PSC) que catalizan la liberación del cloro que destruye el ozono era abundante. Los científicos dedujeron que la atmósfera ártica estaba lista para que se destruyera la capa de ozono, formando así un agujero en el Polo Norte.

Es de vital importancia destacar que el protocolo de Montreal, en su tiempo iba adelante del avance del conocimiento científico. Pero no pasaría mucho tiempo para que la investigación científica lo rebasara; concluyendo finalmente que el documento no tenía el alcance suficiente, dado que permitiría que las cantidades de cloro en la atmósfera aumentarían el doble en los próximos 50 años y fueran unas cinco veces mayores que las de 1986, para fines del siglo próximo. En el año en que se firmó el protocolo, los mejores modelos por computadora indicaban que la destrucción de la capa de ozono se estabilizaría dentro de 30 años, gracias a sus disposiciones y que incluso podría recuperarse después de ese plazo. No obstante, el trabajo del grupo de expertos sobre las tendencias del ozono comentó que los modelos subestimaron el peligro. Lo que es más, el protocolo nunca fue hecho para reparar el agujero en la capa de ozono de la Antártida, lo único que se buscaba era que se estabilizara esa destrucción.

Algunos científicos como Frank Sherwood R. consideraron que el aspecto más importante del protocolo fue la estipulación de que los países se reunirían de forma periódica para revisar las pruebas científicas con la intención de eliminar finalmente los productos destructores de ozono.

Un análisis de la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos, indicó que los controles que abarca el protocolo debieron ser más rigurosos. Demostró que los niveles de cloro en la atmósfera aumentarían en más de tres veces durante los próximos cien años, aún cuando para el año 2000 se eliminarían todos los CFC's del mundo.

Bien es cierto que el protocolo aún con carencias estaba lleno de buenas intenciones. De hecho, su existencia fue un aviso de que la tolerancia internacional a las sustancias químicas no duraría mucho. Los gobiernos, las industrias y los consumidores tomaron rápidamente la iniciativa para reforzar los requerimientos del protocolo, aun antes de que este tuviera vigencia.

En junio de 1988, Suecia fue el primer país que promulgo leyes para eliminar los CFC's a finales de 1994.

Dinamarca y Finlandia anunciaron que estaban planeando eliminar los CFC's antes del año 2000. Bélgica, Holanda, Nueva Zelanda, Noruega y Suiza, habían manifestado su propósito de reducir el uso de los CFC's más rápido que lo requerido por el protocolo. Inclusive, Inglaterra uno de los países mas escépticos durante las negociaciones previas a Montreal, declaró que disminuiría el uso al 50% para fines de 1989. También las 10 naciones de la comunidad Económica Europea, decidieron eliminar totalmente el uso de CFC's a fines de este siglo. Su ejemplo fue seguido de inmediato por los Estados Unidos, que prometieron hacer lo mismo.

En una reunión realizada en Helsinki Finlandia, en mayo de 1989, 81 naciones manifestaron su acuerdo para abandonar la producción y el consumo de los CFC's controlados por el protocolo de Montreal, tan pronto como fuera posible pero no más allá del año 2000. Desgraciadamente la declaración de Helsinki no tuvo la fuerza legal, puesto que según los términos negociados en Montreal, no podía ser revisado el protocolo sino hasta la reunión programada para realizarse en Londres en 1990, a un año de haber entrado en vigencia el tratado.

### **1.7 Enmienda y Seguimiento del Protocolo de Montreal.**

Parece como si siempre fuese necesaria alguna clase de presión para que los organismos internacionales trabajen de manera eficiente. Al menos esta fue la idea que existía cuando las naciones que habían tomado parte en el protocolo de Montreal se reunieron en Londres a finales de junio de 1990 para tratar de fortalecer las medidas del documento firmado en Montreal Canadá, el 16 de Septiembre de 1987. Por fin, los países involucrados en el

tratado estaban conscientes de las serias consecuencias ocasionadas por el retraso en la eliminación total de los clorofluorocarbonos.

La ilustración que se presenta a continuación, muestra la evolución del agujero en la capa de ozono sobre la Antártida, esto es algo de lo que sin duda alguna, presionó para que los países se movilizaran para ampliar la reducción en la producción y consumo de CFC's.



Los agujeros en la capa de ozono en los polos norte y sur, el progresivo calentamiento global del planeta por los CFC's en su aporte al efecto invernadero y los futuros efectos de millones de toneladas de CFC ya liberados; presionaron a un gran número de países y de órganos científicos a tomar unas medidas más estrictas con respecto al control de los CFC's. De hecho ese fue el nuevo acuerdo alcanzado en Londres a última hora de la noche del 29 de junio.

El resultado más significativo en esa reunión, no solo fue el hecho de reafirmar el compromiso de la eliminación total para fines de este siglo de los CFC's más usados (CFC 11, 12, 13, 114 Y 115). Sino la adición de otro grupo de sustancias totalmente halogenadas con cloro y fluor (ver anexo A1). También se puso de manifiesto el control del comercio de CFC con países que no tomen parte en el protocolo, así como de todo producto que incluya los CFC 's más usados.

Otro punto importante fue que reconsideró la necesidad de los países en desarrollo de una refrigeración más económica. Puesto que cuando su industria de la refrigeración empezaba a crecer, los países desarrollados ya habían determinado eliminar los CFC's, y bueno a manera de apoyo se les corroboró los 10 años de plazo para empezar aplicar el control de sustancias que incluye el protocolo y su enmienda. Siempre y cuando su consumo anual de sustancias controladas sea menor a 0.3 kg. per capita (para sustancias del anexo A ) y 0.2 kg. per cápita. (para sustancias del anexo A1 ), en la fecha en que el protocolo entre en vigor para el país, o en cualquier otra fecha a partir de entonces hasta el 1o. de enero de 1999. No sólo se les dio el plazo de 10 años a los países en desarrollo , sino que se les iba a promover en la cooperación internacional en la investigación y desarrollo y transferencia de tecnologías o incluso se establecería un mecanismo para proporcionarles ayuda financiera a fin de que pudieran aplicar las medidas de control lo antes posible.

La más reciente revisión del protocolo se llevó a cabo en Copenhague, Dinamarca, donde se propuso incorporar al grupo de sustancias controladas a los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), la iniciativa indica una desaparición de estos para el año 2020. Así como la reducción total de la producción de CFC's para el primero de enero de 1996, en países desarrollados.

### **1.8 Programa de Eliminación de CFC's del Gobierno Mexicano.**

El gobierno mexicano se comprometió al cumplimiento del protocolo de Montreal a través de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). México fue uno de los primeros países en ratificar el protocolo comprometiéndose así a reducir y finalmente eliminar el consumo

de las sustancias agotadoras del ozono en los mismos plazos que las naciones industrializadas.

México, por ser un país con alrededor de 110 grs. de consumo per capita anual (E.U. consume 1000 grs.), es considerado un país en vías de desarrollo para efectos del protocolo de Montreal. Por lo tanto, nuestro país podría esperar 10 años a partir de la fecha en que se hicieron oficiales las medidas de control por parte del protocolo. Sin embargo, asumiendo el liderazgo de los países en vías de desarrollo México ha tomado la decisión de eliminar los CFC's y otras sustancias controladas para el año 2000. Para lograrlo, SEDESOL ha firmado acuerdos con los fabricantes de estas sustancias, de manera que se restrinja la fabricación e importación en base a un programa ya establecido.

La estrategia que México ha utilizado para cumplir con el protocolo se ha basado en los siguientes puntos:

- La negociación de convenios voluntarios con la industria.
- La regulación de la importación y exportación de las sustancias controladas.
- El desarrollo de proyectos de inversión usando tecnologías limpias.
- Obtención de financiamiento para la adopción de tecnologías limpias por parte de la industria.
- Colaboración entre órganos nacionales e internacionales para la promoción de transferencia tecnológica.

Durante 1989 y 1990, la Secretaría de Desarrollo Social (entonces Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología), firmó 9 convenios con los dos productores de CFC's en México y 7 de los principales usuarios de CFC's y halones (agentes extintores de fuego).

Los convenios son un mecanismo para dar cumplimiento a la legislación ambiental y que al mismo tiempo permite a la industria mantener sus niveles de calidad y productividad; es decir, de este modo la industria propone su propio programa de protección a la capa de

ozono, adecuado tanto a sus requerimientos económicos y como al interés ambiental de la sociedad.

A través de los convenios voluntarios, en 1990, se logró eliminar el uso de CFC's en espumas flexibles, para 1991 se eliminó de igual modo el uso de CFC's en aerosoles como propulsores y para 1992, se alcanzó una sustitución del 60% del uso de CFC's como solventes.

Como una iniciativa de reforzamiento institucional para asistir a la industria mexicana, en 1991, se estableció la Unidad de Protección al Ozono (UPO).

Uno de los compromisos de México como signatario del protocolo de Montreal fue regular tanto la producción, como la importación y exportación de las sustancias agotadoras del ozono.

En este sentido, gobierno e industria en un esfuerzo común definieron su programa de reducciones para CFC's y halones. Este programa de eliminación para el año 2000 fue el resultado de una ambiciosa meta ambiental y de una intención real de la industria mexicana comprometida con la sociedad moderna a proteger el ambiente. Durante 1993 se redujo el consumo nacional a los niveles de 1989, para 1994 se redujo un 20% más. En la siguiente página se presenta una tabla que muestra el calendario de reducciones.

#### **Financiamiento del Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal**

El fondo interino multilateral del protocolo de Montreal inició su operación en 1991, con 240 millones de dólares aportados por las naciones industrializadas para apoyo a los países en desarrollo. Durante noviembre de 1992 y principios de 1993, se estableció permanentemente con 114 millones de dólares y para 1994 a 1996, se contó con 510 millones de dólares.

México fue el primer país en solicitar recursos para el desarrollo de proyectos de la industria mexicana. A través del programa de naciones unidas para el desarrollo (PNUD) y

**Tabla A**

SUSTANCIAS	MEDIDAS DE CONTROL
<b>Anexo A - Grupo I</b> CFC-11 CFC-12 CFC-113 CFC-114 CFC-115	1993 Congelar el consumo a niveles de 1989 (año base).  1994 Reducir en 20% del total.  1995 Reducir en 40% del total.
<b>Anexo B - Grupo I</b> CFC-111 CFC-112 CFC-211 CFC-212 CFC-213 CFC-214	1996 Reducir en 60% del total. 1997 Reducir en 70% del total. 1998 Reducir en 80% del total. 1999 Reducir en 85% del total.
<b>Anexo B - Grupo II</b> Tetracloruro de Carbono	2000 Reducir en 90% del total. (*)
<b>Anexo A - Grupo II</b> Halon 1211 Halon 1301 Halon 2401	Congelar a niveles de 1992 (año base). 1995 Reducir en 50% del total. 2000 Reducir en 90% del total.
<b>Anexo B - Grupo III</b> Metil Cloroformo	Congelar a niveles de 1989 (año base). 1994 Reducir en 30% del total. 1999 Reducir en 70% del total. 2000 Reducir en 90% del total.

(\*) El 10% restante será destinado a usos esenciales, como la industria médica (medicamentos, esterilización de material quirúrgico, etc.), donde los CFC's son usados como propelentes y estos aun no tienen sustitutos. De no ser requerido este 10% será eliminado.

Nota : El gobierno mexicano aun no desarrolla un programa de salida para los HCFC's, pero podría ser mas alta del 2020.

la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, se ha ofrecido asistencia técnica a la industria para la preparación de 12 proyectos. Estos proyectos fueron sometidos al Banco Mundial, a través de Nacional Financiera, y han sido aprobados la mayor parte de ellos.

Con la ejecución de estos proyectos se invertirán 1.6 millones de dólares en nuevas tecnologías y se eliminarán más de 2 mil toneladas de CFC's en la industria del aire acondicionado, la refrigeración y el sector de solventes principalmente. Ya que como se sabe estas son las más grandes aplicaciones para las cuales se producía CFC; aunque en la actualidad la industria de la refrigeración es la que va en rápido aumento a nivel mundial.

Ahora ha comenzado una carrera para hallar los sustitutos químicos, estos no solo deberán ser igual de eficientes y seguros; sino que, no deberán dañar la capa de ozono.

Pero, ¿Que sustancia refrigerante sustituirá al CFC-12 que actualmente se utiliza en los equipos de refrigeración doméstica y comercial ? ¿Cuándo y como se realizará el cambio de refrigerante a los equipos de refrigeración ? ¿Que tan costoso será adaptar el nuevo refrigerante a los equipos ? ¿Cuando se dejen de producir los CFC's, que pasará con los equipos, se verán forzados a hacer el cambio ? ¿A donde llevaremos nuestro refrigerador para que le hagan el cambio ó se lo podremos hacer nosotros? ¿Que partes cambiarán ?.

Estas son sólo algunas de las preguntas que serán contestadas a lo largo de este trabajo. Sin embargo, existen otras preguntas que sólo a través de algunas décadas se encontrarán las respuestas. Por ejemplo, ¿Cuál será el efecto de millones de toneladas de CFC's ya liberados y que todavía están recorriendo su camino hacia la estratosfera ? ¿Y que pasará en los próximos años con los agujeros de ozono sobre la Antártida y el Ártico ? ¿Como afectará un progresivo calentamiento global a la capa de ozono y viceversa ? ¿Cuántas toneladas de CFC's serán todavía emitidas, en lo que desaparece por fin la producción mundial de CFC's ?.

Independientemente de cual sea la respuesta a estas preguntas, la humanidad debió haber aprendido ya una importante lección sobre el problema del ozono. No hay nada permanente en la Tierra, mucho menos en los sistemas individuales que constituyen la biosfera. Además la actividad industrial humana que durante mucho tiempo fue considerada como insignificante frente a la grandiosidad de estos sistemas, ha probado que puede tener un efecto considerable y dañino sobre ellos.

Como resultado de la actividad industrial, podría resultar un mundo totalmente distinto en los próximos cien años, un mundo con una estratosfera más fría, una troposfera más caliente, y mucha más radiación ultravioleta peligrosa alcanzando la Tierra. Podrían ocurrir cambios climáticos catastróficos y millones de nuevos casos de cáncer de piel. Si estos cambios se producen, afectarán a la Tierra en los siglos XXI y XXII; durante varias generaciones. La única forma de prevenir ó al menos mitigar estas consecuencias es actuar ahora. De manera rápida y eficiente, dando soluciones racionales capaces de resolver totalmente el problema actual.

Los problemas de la capa de ozono y el efecto invernadero son sólo dos ejemplos de como la actividad industrial puede alterar los delicados equilibrios atmosféricos y así atentar contra su propia vida; y es que una de las causas por las cuales se pone tan poca atención al apartado mundo natural que nos rodea, es que siempre ha estado ahí y supusimos que siempre lo estaría.

## **CAPITULO II**

---

**CRITERIOS APLICADOS EN LA  
INVESTIGACIÓN Y SELECCIÓN DEL  
REFRIGERANTE SUSTITUTO PARA EQUIPOS  
DE REFRIGERACIÓN DOMÉSTICA Y  
COMERCIAL.**

Debido a la preocupante y alarmante situación ambiental concerniente a la degradación de la capa de ozono y al calentamiento global del planeta producidos por el impactante efecto que causa la emisión por el uso de sustancias clorofluorocarbonadas (CFC's), descrito en el capítulo anterior.

Y conscientes de la respuesta que exigen las industrias de refrigeración, aire acondicionado y solventes, que son las que más demandan el uso de estas sustancias ante la ineludible eliminación total de compuestos CFC's para el año 2000, de acuerdo con el programa elaborado y aprobado por el gobierno de México.

Nos hemos dado a la tarea de buscar sustancias químicas que sean capaces de sustituir a los actuales CFC's, con el principal objetivo de evitar que continúe la destrucción de la capa de ozono y con ella la amenaza hacia la vida en el planeta. Este cambio de sustancias sin duda alguna implica y compromete a varios sectores industriales, a desarrollar productos que sean plenamente compatibles con el medio ambiente, y no sólo eso. Sino que igualen ó mejoren las características físico-químicas y propiedades termodinámicas que tienen los actuales CFC's.

Se ha optado por proponer un refrigerante para la industria de la refrigeración doméstica y comercial; por ser la industria más antigua y una de las que demandan en mayor proporción el uso de una de las sustancias más agresivas contra el medio ambiente, el CFC-12. Entre los equipos que utilizan esta sustancia se encuentran : Las vitrinas en supermercados, cuartos de refrigeración, máquinas expendedoras de bebidas, distribuidoras automáticas de alimentos, enfriadores de agua y refrigeradores domésticos.

Este reemplazo de refrigerante, sin duda alguna repercutirá de varias maneras; puesto que también los fabricantes de lubricantes, mangueras, compresores, etc. se verán obligados a rediseñar sus productos con el objeto de que sean compatibles con los nuevos compuestos químicos.

Entonces, teniendo como principal objetivo el proponer una sustancia refrigerante que pueda remplazar al actual CFC-12 usado en los equipos de refrigeración doméstica y comercial, empezaremos por definir que es la Refrigeración, Refrigerante (sustancia de trabajo), Sistema de Refrigeración por Compresión (funcionamiento y componentes) y Ciclo de Refrigeración por Compresión.

## **II.1 Reseña Histórica de la Refrigeración y Descripción del Sistema en sus Partes Componentes y Como un Todo.**

Desde hace varios siglos, el hombre se ha esforzado por enfriar ciertos objetos ó cuerpos a temperaturas inferiores a la de la atmosfera que lo rodea. Las primeras tentativas fueron bastante toscas y se limitaban a reducir la temperatura a unos cuantos grados solamente.

El hielo natural y la nieve proveyeron los unicos medios de refrigeracion por varios siglos .

No fue hasta 1900 cuando se desarrolló la refrigeración industrial mediante el uso del ciclo mecánico. Con el crecimiento de la industria eléctrica y del alumbrado de las casas, los refrigeradores domésticos se popularizaron, sustituyendo a las cajas de hielo, que requerían un bloque de éste diariamente. La invención y la eficiencia del refrigerador eléctrico proporcionó un método de enfriamiento mucho más cómodo, eficiente y económico para el hogar y para usos comerciales.

La creciente industria de la refrigeración , fue favorecida por el diseño de motores eléctricos de baja potencia para operar los compresores, así como nuevos diseños de los elementos componentes de un sistema de refrigeración por compresión (evaporadores, condensadores, etc.). Por último, la entrada de los refrigerantes clorofluorocarbonados (CFC's) en 1930:

vendría a dar el toque final para eficientar la industria de refrigeración doméstica y comercial.

La principal razón para emplear la refrigeración es, naturalmente, la conservación de alimentos como las carnes, frutas y verduras, que se echan a perder y se pudren rápidamente si permanecen en lugares calientes. La putrefacción de alimentos se debe al desarrollo de microbios que solo pueden propagarse y multiplicarse en ambientes cálidos y húmedos. Los microbios no pueden desarrollarse con temperaturas inferiores a 4°C o 7°C. Aparte de la conservación de comida en los hogares, la preservación de comida comercial es otra de las más importantes aplicaciones de la refrigeración.

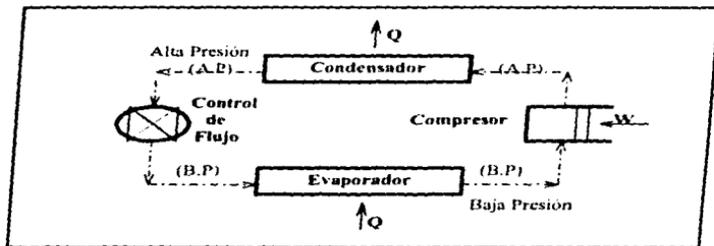
**Definición de Refrigeración.** Es el proceso de reducción y mantenimiento de temperatura de un espacio o cuerpo a una temperatura inferior con respecto al medio ambiente circundante. En cualquier sistema práctico de refrigeración, el mantenimiento a baja temperatura, requiere de la extracción de calor del cuerpo a refrigerar, y de la disipación de este calor a una temperatura más alta. El sistema de refrigeración por compresión de vapor es el que consigue hacer esto; además es el más empleado en los tipos de refrigeradores comerciales y domésticos.

Los millones de refrigeradores caseros utilizan pequeñas unidades compresoras, en tanto que los refrigeradores comerciales emplean unidades mucho mayores. La principal diferencia entre las unidades caseras y las comerciales radica en su capacidad y en su aplicación. Las partes de que constan y los principios en que se basan son, por lo demás, iguales.

Como ya hemos dicho, la refrigeración es el proceso de producir y mantener temperaturas por debajo del medio ambiente circundante. Esto significa la remoción de calor del cuerpo a enfriar; haciendo fluir por los componentes del sistema de refrigeración el compuesto químico denominado **refrigerante** o sustancia de trabajo, que sirve como medio para absorber, transportar y eliminar calor, evaporándose y condensándose repetidamente.

**Sistema de Refrigeración por Compresión.** es el arreglo de componentes mecánicos, cuyo objetivo es disminuir y mantener la temperatura en un espacio determinado. Se compone básicamente de un compresor, un evaporador, control de flujo y condensador; ver el diagrama D-1.

A pesar de que únicamente son cuatro los componentes principales de un sistema de refrigeración, existen diferentes tipos de ellos. Cada uno de los cuales tiene sus ventajas y desventajas; se seleccionan dependiendo del uso particular a que se destinen. A continuación se describen algunos de los tipos más comunes.



**D-1**  
**Sistema de Refrigeración por Compresión**

**El compresor**, se usa para crear la diferencia de presiones requerida entre el evaporador y condensador; succionando refrigerante gaseoso del evaporador y bombeándolo al condensador. En la refrigeración se utilizan tres tipos de compresores: Recíprocante, Rotatorio y centrífugo.

El compresor recíprocante es el más usado para la refrigeración doméstica, comercial y en grandes sistemas industriales. Cuenta con capacidades de fracciones de tonelada hasta 50 toneladas ó más. Dicho compresor aumenta la presión del gas debido al movimiento de un pistón dentro de un cilindro, el cual lo ejecuta hacia arriba y hacia abajo. La acción de

bombeo del pistón moviéndose hacia arriba y hacia abajo dentro del cilindro introduce el refrigerante, el cual después de comprimirse es descargado.

Los compresores recíprocos pueden tener uno o más cilindros con un arreglo en "v" o "w". Por su diseño se conocen tres tipos : Abierto, Semi-hermético y Hermético.

**El condensador** tiene como objetivo, ayudar a eliminar el calor que transporta el refrigerante gaseoso que proviene del compresor. El gas refrigerante a alta temperatura y presión cede calor a los alrededores, sea agua o aire, condensándose y continuando en forma líquida dentro del ciclo. Existen tres tipos de condensadores : Evaporativo , Enfriado por aire y Enfriado por agua.

El más usado es el de tipo de enfriamiento por aire. En este condensador, el refrigerante circula a través de un sistema de tubos o circuitos sobre los cuales pasa una corriente de aire frío impulsada por un ventilador.

**El evaporador** toma calor del espacio a enfriar y lo introduce al sistema. Por lo tanto, se conserva a baja temperatura al evaporarse el refrigerante líquido que se alimenta continuamente al evaporador. En términos de operación, los evaporadores se clasifican en dos grandes grupos: Evaporadores de expansión seca y sumergidos.

**Evaporadores de expansión seca.-** Este evaporador permite que el refrigerante se evapore completamente. Es eficiente y económico y se usa en todo tipo de sistemas pequeños y grandes.

**Evaporadores sumergidos:** Este tipo se usa frecuentemente para enfriar otros líquidos tales como salmuera , agua ,etc. Su nombre se debe a que, durante la operación, el serpentín de enfriamiento permanece sumergido dentro del líquido refrigerante.

Es importante mencionar que tanto los evaporadores como los condensadores son cambiadores de calor diseñados para ayudar a la transferencia entre el refrigerante y el aire.

Muchos evaporadores y condensadores enfriados por aire , están provistos de grandes áreas y abanicos para contrarrestar los efectos aislantes de las películas de superficie y mejorar la transferencia de calor

Los tres requisitos de diseño importantes en condensadores y evaporadores son:

- 1.-Deben tener suficiente volumen interno para albergar el refrigerante líquido necesario.
- 2.-Deben permitir el flujo del refrigerante con la mínima caída de presión.
- 3.-Deben de facilitar la transferencia de calor de tal forma que sea rápida y eficiente.

**Aparatos de control de flujo.** Estos aparatos restringen y regulan el flujo de refrigerante líquido entre el condensador y evaporador, con lo que contribuyen a mantener la diferencia de presión necesaria para el buen funcionamiento de los componentes del sistema.

Existen cuatro tipos de aparatos de control: Válvula de expansión termostática , Tubos capilares , Válvula de expansión automática y Válvula flotante. A continuación se describen solo los más usados.

**Válvula de Expansión Termostática.** Este aparato percibe las condiciones del refrigerante a la salida del evaporador, y usa esta información como guía para el control automático del flujo refrigerante dentro del evaporador .

**Tubos Capilares .** Este es un sistema muy elemental de control de flujos. El aparato consiste esencialmente en un tubo largo de diámetro pequeño, el cual ejerce control por imposición de una restricción de flujo.

**Válvula de Expansión Automática.** Es un aparato que se usa con menos frecuencia; de hecho es un regulador de presión constante. Es de capacidad muy limitada para reaccionar a cambios de carga, por esta razón se utiliza en condiciones de operación relativamente constantes.

Cualquiera de estos aparatos debe trabajar en combinación con los otros elementos componentes, especialmente con el evaporador.

### **Descripción del funcionamiento en conjunto del sistema de refrigeración por compresión.**

En el evaporador, el líquido refrigerante se vaporiza a presión y temperatura constante a medida que el calor suministrado como calor latente de vaporización pasa desde el espacio a enfriar al refrigerante. Por la acción del compresor, el vapor saturado resultante de baja presión, es sacado del evaporador hasta la succión de entrada del compresor.

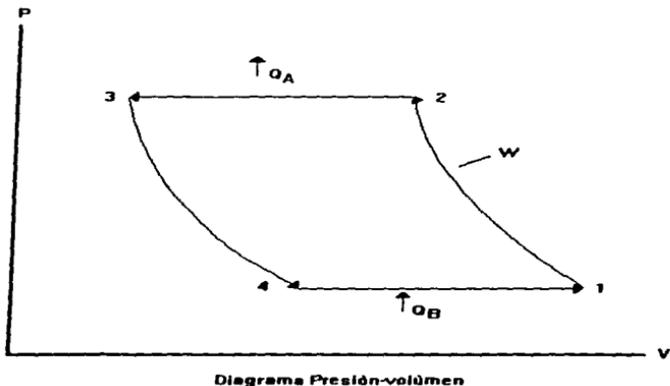
Mientras está fluyendo el vapor saturado desde el evaporador, por el tubo de succión, hasta el compresor, se vuelve vapor sobrecalentado. Aun cuando se aumenta algo la temperatura del vapor como resultado del sobrecalentamiento, no cambia la presión del vapor, de modo que la presión del vapor que llega al compresor es la misma que se tiene en la vaporización. En el compresor, la temperatura y la presión del vapor son incrementados debido a la compresión para posteriormente ser descargado en el tubo de gas caliente. Fluye el vapor por el tubo de gas hasta el condensador, donde cede calor al aire relativamente frío que está impulsado por el ventilador del condensador. El refrigerante debió ser suficientemente comprimido para tener una temperatura de saturación mayor que la temperatura del medio usado para enfriar, de tal manera que se tenga disipación en el condensador. A medida que el vapor refrigerante cede calor al aire frío, su temperatura es reducida hasta la temperatura de saturación correspondiente a la nueva presión alta del condensador; así el vapor pasa a estado líquido una vez que se ha efectuado la eliminación de calor. Por último, el líquido refrigerante de alta presión pasa a través de una válvula de expansión, donde se efectúa una caída de presión hasta la presión que se tiene en el evaporador del sistema. De esta manera, el refrigerante habrá finalizado un ciclo y estará listo para iniciar otro.

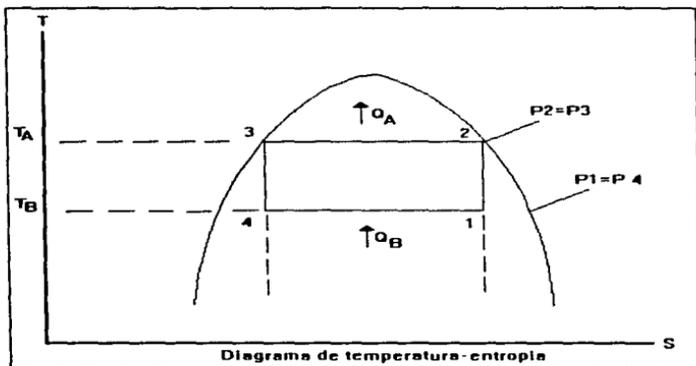
**Definición de Ciclo de Refrigeración.** A medida que el refrigerante circula a través del sistema, éste pasa por un número de cambios en su estado o condición, cada uno de los cuales es llamado un proceso. El refrigerante empieza en algún estado o condición inicial, pasa a través de una serie de procesos en una secuencia definida y regresa a su estado inicial. Esta serie de procesos es llamada un ciclo. El ciclo de refrigeración simple vapor-compresión consta de cuatro procesos fundamentales que son:

a) Compresión del gas refrigerante a entropía constante ( $S=Cte.$ ).

- b) Condensación del refrigerante a presión constante ( $P=Cte.$ )
- c) Expansión del refrigerante a  $S=Cte.$
- d) Evaporación del refrigerante a  $P=Cte.$

Estos procesos pueden representarse gráficamente en diagramas trazando previamente los valores característicos de la sustancia refrigerante a analizar. Son de uso común dentro de diseño en la ingeniería de refrigeración los planos Temperatura -entropía ( $Ts$ ), Presión-entalpía ( $Ph$ ), Presión-volumen ( $Pv$ ) y de uso menos frecuente el plano de entalpía-entropía ( $Hs$ ). A continuación se muestran los tipos de diagramas  $Pv$  y  $Ts$ .





1-2 Compresión isoentrópica, 2-3 Condensación isobárica, 3-4 Expansión isoentrópica y 4-1 Evaporación isobárica.

## **II.2 Determinación del Refrigerante más Destructivo para la Capa de Ozono, Aplicado en la Refrigeración Doméstica y Comercial.**

Hemos optado por buscar el refrigerante sustituto para la industria de la refrigeración doméstica y comercial, por dos razones: La primera es, por el uso de más de medio siglo del CFC-12 como sustancia de trabajo (refrigerante), siendo éste uno de los compuestos químicos más destructivos de la capa de ozono, de mayor aporte al calentamiento global y por si fuera poco con un tiempo de vida de 116 años en la atmósfera, ver la tabla 1. La segunda razón es, por el continuo crecimiento y demanda de refrigeración que a nivel mundial se ha venido dando y que en un futuro se tiene prevista.

Es importante mencionar que en la actualidad también se utilizan en la refrigeración comercial los refrigerantes HCFC-22 y R-502 (azeótropo, 42.8% y 51.2% CFC-115). El R-502, al igual que el CFC-12 deberá desaparecer según el programa de eliminación de CFC's del gobierno mexicano; aunque el R-502 por ser importado de un país que lo eliminó más rápido empezó ya a desaparecer desde 1995, siendo sustituido por el HP80 y HP81 (refrigerantes que lo reemplazarán solo por algún tiempo dado que incluyen HCFC-22), los refrigerantes definitivos a reemplazarlo serán el 404A (HP-62) y AZ-50. En lo que respecta al HCFC-22 debido a que su potencial de agotamiento de ozono es menor que el CFC-12, ver tabla 1. Su fecha de salida en México será después del año 2020.

A continuación se presenta un resumen de una tabla que permite hacer la comparación de algunos compuestos, respecto a su Potencial de Agotamiento de Ozono (ODP), Potencial de Calentamiento de la Tierra (GWP) y Vida Atmosférica de Destrucción (ALD).

**TABLA 1**  
**FACTORES AMBIENTALES DE ALGUNOS REFRIGERANTES**

REFRIGERANTE	ODP	GWP	ALD
CFC-11	1.00	1.0	55
CFC-12	1.00	3.0	116
CFC113	0.80	1.4	110
HCFC114	0.80	3.9	220
HCFC-22	0.05	0.3	15.8
R-502	0.28	4.0	R-115 550, R-22 15.8

ODP OZONE DEPLETION POTENTIAL  
GWP GLOBAL WARMING POTENTIAL  
ALD ATMOSPHERIC LIFETIME DESTRUCTION

La tabla 1 muestra claramente que el ODP para el CFC-12 es mayor que para el HCFC-22; esto se debe a que el CFC-12 contiene más cloro en su molécula, ver tabla 2.

Es importante recordar que la conclusión a la que llegaron los doctores en química Mario Molina y Frank Sherwood después de investigar el efecto que causaban los CFC's en la atmósfera. Fue que, el cloro contenido en estos compuestos era el causante de la destrucción de la capa de ozono.

TABLA 2

F		F
Cl C F		Cl C H
Cl		F
<b>CFC-12</b>		<b>HCFC-22</b>
<b>Clorofluorocarbano</b>		<b>Hidroclorofluorocarbano</b>
<b>Fórmula Química</b>		
<b>CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub></b>		<b>CHClF<sub>2</sub></b>
<b>Diclorodifluorometano</b>		<b>Clorodifluorometano</b>

Por lo tanto, puesto que el CFC-12 es un compuesto completamente halogenado con cloro y flúor tiene el potencial más alto de agotamiento de ozono. Lo cual indica que es más peligroso que el HCFC-22 que incluye un átomo de hidrógeno en lugar de un cloro logrando con esto que su factor ODP sea mucho menor comparado con el CFC-12. Esto fue un factor determinante para que su salida del mercado mexicano se hiciera después del año 2020.

Existen otros dos factores ambientales que muestra la tabla 1, uno es el GWP que tiene que ver con la capacidad del compuesto químico de crear durante su permanencia en la atmósfera, el denominado efecto invernadero. La tabla 1, manifiesta que el GWP para el

CFC-12 es de 3, mientras que para el HCFC-22 es 0.36. Esto indica que el CFC-12 contribuye más en el aporte del calentamiento global del planeta.

El ALD es el último de los factores que muestra la tabla I, éste se refiere al tiempo de vida que tienen en la atmósfera (tiempo que tardan en destruirse) los refrigerantes. Mientras que para el CFC-12 es de 116 años para el HCFC-22 es de 15.8; lo cual indica que el CFC-12 puede permanecer en la atmósfera 116 años destruyendo la capa de ozono.

Basados en lo anterior, el refrigerante a sustituir es el CFC-12 por ser el más agresivo al medio ambiente y por la gran demanda que actualmente tiene y que tendrá en un futuro.

### **II.3 Criterios Ambientales y Termodinámicos Aplicados para la Selección del Refrigerante Sustituto del CFC-12.**

Como se mencionó en el punto 2.1, un refrigerante es el fluido de trabajo en todo sistema de refrigeración. Este se vaporiza y se condensa, absorbiendo y cediendo calor continuamente. Por lo tanto, cualquier sustancia que pueda sufrir cambio de fase líquida a gaseosa y viceversa, puede funcionar como refrigerante. Sin embargo, solamente aquellas sustancias que sufren estos cambios a temperaturas y presiones comercialmente útiles son de valor práctico.

Propiamente no existe un refrigerante ideal, y por las grandes diferencias en las condiciones y necesidades de las múltiples aplicaciones, no hay una sola sustancia refrigerante que sea universalmente adaptable a todas las circunstancias. No obstante, un refrigerante se aproximará al ideal, sólo en tanto que sus propiedades satisfagan las condiciones y necesidades de la aplicación para la cual va a ser utilizado.

Para nuestro estudio, un refrigerante será apropiado y se le podrá usar en el ciclo de refrigeración. Sólo si es compatible con el medio ambiente y cumple con las propiedades termodinámicas y características físico-químicas que los actuales CFC's tienen. A demás de comprobar que éste sea eficiente y seguro.

Muchos refrigerantes diferentes han sido usados desde los primeros días de la refrigeración y aun en la actualidad se efectúan análisis y pruebas a diferentes sustancias químicas que pudieran servir de refrigerantes en los sistemas de refrigeración.

En la búsqueda para la selección de sustancias refrigerantes que sean compatibles con el medio ambiente capaces de sustituir al actual CFC-12. Se han encontrado dos posibles opciones:

La primera es un par de sustancias químicas, el MP-39 y el MP-66; estas son mezclas en diferentes porcentajes de refrigerantes ya existentes de la familia de los HCFC's como el HCFC-22, HCFC-124 y el HFC-152a. Por lo tanto, sólo disminuyen su agresividad contra el medio ambiente, puesto que incluyen todavía cloro.

La elaboración de este tipo de compuestos surgió de la necesidad de disminuir en los refrigerantes usados en equipos de refrigeración, el elevado ODP (Potencial de Agotamiento de Ozono), que tiene el actual CFC-12.

Esto significa que, el MP-39 y el MP-66 son de carácter transitorio puesto que sólo se utilizarán mientras existan equipos diseñados para manejar como refrigerante el CFC-12.

Es importante subrayar que como el MP-39 y MP-66 incluyen HCFC's, sustancias que dañan la capa de ozono, la producción de estos será regulada, de hecho se piensa que desaparecerá después del 2020, en México.

La segunda opción, son compuestos químicos puros, denominados Nueva Generación. Estos son los hidrofluorocarbonos (HFC's), los cuales no incluyen cloro, el principal causante de la destrucción del ozono estratosférico. Bien es cierto, que ésta es una característica que andábamos buscando en los refrigerantes; puesto que de esta índole

fueron las causas que demandaron la salida del CFC-12. Pero también es importante que la sustancia a proponer sea capaz de satisfacer las necesidades termofísicas y de operación que el actual CFC-12 proporciona en la operación de equipos de refrigeración doméstica y comercial.

Entonces, para poder proponer una sustancia refrigerante capaz de sustituir al CFC-12, y con esto erradicar el problema de la destrucción de la capa de ozono. Será necesario evaluar a los candidatos bajo dos criterios importantes :

1) Desde el punto de vista de la compatibilidad ambiental.

2) De acuerdo a sus características físico-químicas y propiedades térmicas en el ciclo de refrigeración por compresión.

Los resultados de estas evaluaciones nos permitirán elegir el refrigerante sustituto del CFC-12, para los equipos de refrigeración doméstica y comercial.

### **1) Criterios Ambientales**

Los criterios ambientales que servirán para evaluar a las sustancias refrigerantes, son tres: a) Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono ODP (Ozone Depletion Potential), b) Potencial de Calentamiento de la Tierra GWP (Global Warming Potential) y c) Vida Atmosférica de Destrucción ALD (Atmospheric Lifetime Destruction). A continuación se explica cada uno de estos parámetros.

#### **A) Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono (ODP).**

El valor relativo de éste índice, representa la capacidad del compuesto químico para destruir el ozono estratosférico, se dice que es un valor relativo, puesto que se expresa en términos del efecto que causa un compuesto denominado base, que en este caso es el CFC-11, de tal forma que un refrigerante con el mismo valor del ODP, que tiene el CFC-11, poseerá un



valor de 1. Ósen, que es capaz de destruir 100 moléculas de ozono estratosférico por el alto contenido de Cloro.

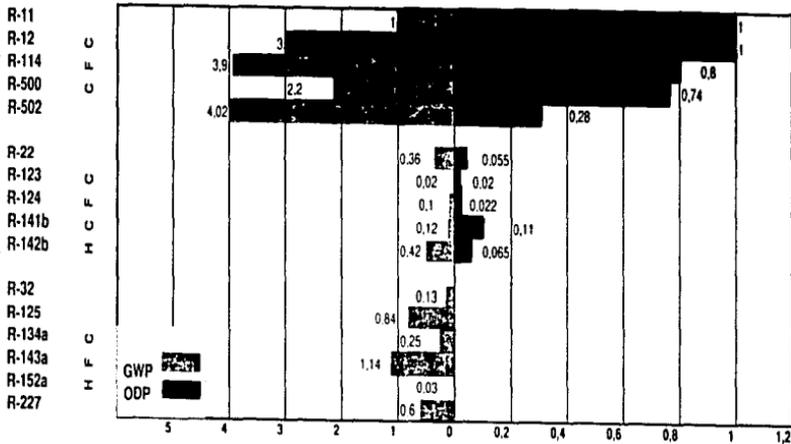
Es importante mencionar que entre menor sea el ODP en los refrigerantes, mayor probabilidad tendrán de ser los sustitutos.

#### **B) Potencial de Calentamiento de la Tierra (GWP).**

Este parámetro indica la capacidad de un compuesto químico, a crear durante su permanencia en la atmósfera, el denominado "Efecto invernadero". Este parámetro, sin lugar a duda reviste una gran importancia; sin embargo ha sido un tanto relegado a segundo término.

En la gráfica 1, se muestran los valores de los parámetros ODP y GWP, para varias sustancias químicas. Del lado izquierdo con barras claras, se indican los valores del potencial de calentamiento de la tierra (GWP) y del lado derecho con barras oscuras, se muestra el valor de potencial de destrucción de ozono (ODP). En el margen izquierdo junto a la denominación de cada refrigerante aparece una clasificación, de acuerdo a su composición química, siendo CFC para los clorofluorocarbonos, los cuales están formados por átomos de carbono, cloro y flúor; los hidroclofluorocarbonos HCFC o parcialmente halogenados, además de tener átomos de carbono, flúor, cloro incluyen átomos de hidrógeno; y los últimos de la clasificación son los hidrofluorocarbonos HFC, que solo se componen de átomos de hidrógeno, flúor y carbono, desplazando totalmente a los átomos de cloro.

La gráfica 1, pone de manifiesto que a los CFC les corresponde el valor de ODP más alto, seguidos por los HCFC y por último con un valor nulo los HFC (Nueva Generación). Con respecto a la propiedad de propiciar calentamiento a la tierra; también los CFC encabezan la lista, seguidos por los HFC y con menor capacidad los HCFC. Nadamás faltaría evaluar a las sustancias por el último de los criterios ambientales.



Fuente: Scientific Assessment of Ozone Depletion, World Meteorological Organization and Alternative Fluorocarbon Environmental Acceptability Study (AFEAS)

Gráfica 1

### C) Vida Atmosférica de Destrucción ALD.

Esta variable lleva implícita las dos anteriores, puesto que representa el tiempo de vida en la atmósfera, en el cual, la sustancia permanece con las mismas propiedades a las que tenía cuando se originó la emisión. Mientras el ODP indica la intensidad con la que ataca el ozono, el ALD nos da la idea del periodo en el cuales activo el compuesto. En la tabla 3, se muestra el parámetros ALD, medido en años, para varios refrigerantes.

COMPUESTO	ALD (Años)
CFC-11	55
CFC-12	116
CFC-113	110
CFC-114	220
CFC115	550
HCFC-22	15,8
HCFC-123	1,71
HCFC-124	6,9
HCFC-141b	10,8
HCFC-142b	22,4
HFC-32	6,1
HFC-125	40,5
HFC-134	15,6
HFC-143a	64,2
HFC-152a	1,8

TABLA 3

De esta tabla se puede deducir que los CFC's son los que tienen un promedio de vida más larga, y por lo tanto, puesto que también son los de mayor ODP, resultan ser los más peligrosos.

En general, después de esta evaluación de compatibilidad ambiental, podemos concluir que los hidrofluorocarbonos HFC, son los refrigerantes del futuro, principalmente por su valor nulo de ODP, sus bajos GWP y ALD; comparados con los agresivos CFC's.

Ahora falta definir cuál de la familia de los HFC's será el sustituto del CFC-12. Esto se determinará aplicando el criterio No.2 de características físico-químicas y propiedades térmicas en el ciclo de refrigeración, ver el punto 2.3.

## **2) Características físico-químicas y propiedades térmicas dentro del ciclo de refrigeración por compresión.**

Es importante mencionar que la selección del refrigerante sustituto, no se puede reducir sólo a considerar criterios ambientales, es esencial que el refrigerante seleccionado tenga características y propiedades semejantes a la sustancia refrigerante a sustituir que le hagan posible su aplicación en el ciclo de refrigeración. Con fines de análisis, éste criterio se dividirá en dos grupos: El primero, esta formado por las características físico-químicas o propiedades fijas; el segundo lo forman el conjunto de propiedades y parámetros que resultan del análisis en un ciclo de refrigeración, estos parámetros también son llamados variables de operación.

Es necesario destacar que, es deseable que el refrigerante tenga ciertas características físicas y térmicas que en conjunto den como resultado los requerimientos mínimos de potencia por capacidad de refrigeración, o sea, un alto coeficiente de operación.

Con respecto al primer grupo de propiedades físicas que caracterizan a una sustancia refrigerante, se listan a continuación algunas.

### GRUPO I

- Parámetros críticos (temperatura y presión).
- Punto de ebullición.
- Punto de congelación.
- Densidad Saturada de Líquido a 86 °F (lb ft<sup>3</sup>)

-Calor Especifico de Vapor a Presión Constante (Cp) a 86 F y 1 Atm. (Btu/lb F)

-Calor Especifico de Liquido a 86 F (Btu/lb F).

-Otros

Después de hacer una comparación de las propiedades físicas entre el CFC-12 y los HFC (Nueva Generación), se encontró que la sustancia que tiene propiedades semejantes al refrigerante CFC-12, es el HFC-134a. En seguida, se muestra esta comparación.

PROPIEDADES FISICAS DE LOS REFRIGERANTES				
Numero ASHRAE	R-152	R-134a	R-12	R-125
Peso Molecular	66.05	102.03	120.9	120.0
Punto de Ebullición a 1 Atm.(°F)	-11.29	-15.1	-21.6	-55.8
Punto de Congelamiento a 1 Atm.(°F)	-178.6	-141.9	-252	-153
Temperatura Critica (°F)	236.4	214	234	161
Presion Critica (psia)	651.5	589.8	697	525
Densidad Saturada de Liquido a (86 °F) (lb. cu ft)	55.34	74.17	80.7	72.3
Calor Especifico de Liquido a 86°F. (Btu lb °)	0.342	0.36	0.24	0.35
Calor Esp. de Vapor a Presion Cte. (Cp) a 86°F y 1 Atm (Btu lb °F.)	0.2516	0.21	0.15	0.19
Relacion de Calor Especifico de Vapor (K=Cp Cv) a 86°F y 1 Atm	1.15	1.12	1.14	1.09
Flamabilidad y Explosividad	3.9-16.9	ninguna	ninguna	ninguna
Clasificacion de Gpo. de Seg. ANSI ASHRAE, estandar 34-199	A2	A1	A1	N.C

En relación a propiedades de seguridad, los refrigerantes deberán ser químicamente inertes hasta el grado de no ser inflamables, no explosivos y no tóxicos, tanto en su estado puro como cuando están mezclados con el aire en cierta proporción; además, el fluido no deberá reaccionar con el aceite lubricante o con cualquier otro material normalmente usado en la construcción del equipo de refrigeración. Es deseable que el fluido sea de tal naturaleza que no contamine en forma alguna a los productos alimenticios o algunos otros productos almacenados en caso de que hubiera alguna fuga en el sistema. En seguida se presenta información sobre propiedades químicas tanto del CFC-12 como del HFC-134a.

### Información sobre riesgos y propiedades químicas del CFC-12

#### Salud

**Inhalación :** Este material es bajo en toxicidad a concentraciones tan altas como 4% (40,000ppm). Cuando se reducen los niveles de toxicidad en el aire a 12 -14%, se presentan síntomas de asfixia ; también es posible que se presente pérdida de coordinación , aumento en el pulso cardíaco, sensibilización cardíaca y respiración más profunda

**Ingestión :** No se aplica ya que el material es gaseoso bajo condiciones normales de presión y temperatura.

**Piel :** El contacto del líquido sobre la piel puede causar congelación , la cual se manifiesta por palidez o enrojecimiento , pérdida de sensación e hinchazon.

**Ojos:** Los mismos resultados que para la piel.

#### Inflamabilidad y explosividad

**Temperatura de inflamación (°C)**

No inflamable

**Temperatura de autoinflamación °C**

No aplicable

**Limites de inflamabilidad en el aire (% por volumen).**

Superior - No aplicable

Inferior - No aplicable

No se observo flama hasta el 25% por volumen.

#### Riesgos poco comunes de inflamabilidad y explosividad

El material se encuentra en estado líquido o gaseoso bajo la presión de su propio vapor. Aunque no es combustible por si mismo, al contacto con ciertos metales puede producir reacciones exotérmicas o combinaciones potencialmente explosivas .

#### Reactividad

##### Estabilidad

Inestable .....( )

Estable.....(X)

##### Condiciones que hay que evitar

Evite encender cigarros o fumar .

Manténgase alejado de sitios de calor intenso

#### Incompatibilidad (materiales que hay que evitar )

Aluminio en la forma de superficies recién desgastadas (fuerte reacción exotérmica) o aluminio en polvo . El polvo de magnesio a 400°C puede encenderse o, si existen chispas, puede explotar. Polvo de zinc. Metales químicamente activos , tales como el sodio o calcio.

**Productos de descomposición peligrosos:** Halógenos, ácidos halógenos y posiblemente halogenuros de carbonilo, tales como el fosgeno.

**Continuación**

<b>Pollmerización peligrosa</b> Puede ocurrir.....( ) No ocurrirá.....(X)	<b>Condiciones que hay que evitar</b> No pertinente
---	--

**Nota :** Para mayor información sobre la información anterior ver anexo B

<b>Información sobre riesgos y propiedades químicas HFC-134a</b>	
<b>Salud</b>	
<b>Inhalación :</b> Este material es bajo en toxicidad . Los efectos encontrados son de adormecimiento y falta de concentración . Cuando los niveles de oxígeno son reducidos a 12-14% aparecen los primeros síntomas de asfixia e incremento en el ritmo cardiaco y en la respiración	
<b>Ojos :</b> El contacto con la sustancia en forma líquida puede provocar irritación y congelamiento.	
<b>Piel :</b> puede ocurrir irritación y congelamiento de los tejidos	
<b>Ingestión :</b> No aplica (gaseoso a condiciones normales)	
<b>Inflamabilidad y explosividad</b>	
<b>Temperatura de inflamación °C</b>	<b>Temperatura de autolignición °C</b>
No inflamable	> 743°C (>1369°F)
El HFC-134a es un producto no flamable a temperatura ambiente o a presión atmosférica . No obstante , en pruebas realizadas en laboratorio , a presiones de 5.5 psig a 177°C (351°F ) y a concentraciones, generalmente superiores a 60% de volumen aire, es combustible.	
<b>Reactividad</b>	
<b>Estabilidad</b>	<b>Condiciones que hay que evitar</b>
Inestable.....( )	Por precaución evitese flamas abiertas y altas temperaturas.
Estable.....(X)	
<b>Incompatibilidad (materiales que hay que evitar )</b>	
Metales alcalinos o alcalinoterreos - Al, Zn, Be, pulverizados, etc.	

**Continuación**

**Descomposición** : Los productos de descomposición son nocivos. Este material puede ser descompuesto por altas temperaturas , dando lugar a la formación de ácido flourhidrico y posiblemente floururo de carbonilo.

**Polimerización peligrosa**

Puede ocurrir .....( )

No ocurrirá .....(X)

**Condiciones que hay que evitar**

No pertinente

**Nota:** Para mayor información sobre la información inmediata anterior ver anexo B1

Con las tablas anteriores se pretende hacer una comparación sobre las propiedades químicas entre los refrigerantes CFC-12 y HFC-134a. En ellas se puede observar las gran similitud entre ambas sustancias. De esta comparación entre propiedades físicas y químicas (grupo I), se puede deducir que el HFC-134a es capaz de sustituir al CFC-12.

Ahora sólo falta comparar los refrigerantes de acuerdo a las variables de operación que conforman el grupo dos. En seguida se muestra una lista de ellas :

**GRUPO II**

- Efecto Neto de Refrigeración.
- Coeficiente de Operación.
- Relación de compresión.
- Temperatura final de compresión isentrópica.
- Velocidad de Flujo del Refrigerante o Refrigerante circulado por ton.
- Potencia del Compresor.

Para poder evaluar el desempeño del HFC-134a y así poder compararlo con el CFC-12, se realizará un análisis en un ciclo de refrigeración por compresión, usando los dos compuestos. Posteriormente se determinarán las variables de operación pertenecientes al segundo grupo para finalmente comparar los resultados , y así poder decidir, si el HFC-134a

es capaz de sustituir al CFC-12 en los dos criterios esenciales aplicados en este trabajo de investigación: Compatibilidad ambiental y características físico-químicas y propiedades térmicas de operación. La comparación del comportamiento dentro del ciclo de refrigeración, usando HFC-134a y CFC-12 se llevará a cabo en el siguiente capítulo.

## **CAPITULO III**

---

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS EFECTOS  
EN LA CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO CON  
LOS REFRIGERANTES CFC-12 Y HFC-134A  
DENTRO DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN  
POR COMPRESIÓN.**

De acuerdo con el grupo II del criterio 2, establecido en el punto II.3 del capítulo anterior, referente a propiedades físico-químicas y termodinámicas dentro del ciclo de refrigeración por compresión.

Se procederá a analizar bajo las mismas condiciones dentro del ciclo de refrigeración trazado en un diagrama de Mollier (Ph), a las sustancias CFC-12 y HFC-134a. Con este análisis se podrán determinar las variables de operación que conforman el grupo II del criterio anteriormente citado.

Con los resultados obtenidos se hará una comparación para determinar, si el HFC-134a es capaz de sustituir al CFC-12, en la operación de los equipos de refrigeración doméstica y comercial.

### **III.1 Importancia Sobre el Uso del Diagrama Presión-entalpía (Mollier) en el Estudio de las Sustancias Refrigerantes dentro del Ciclo de Refrigeración por Compresión.**

Puesto que las propiedades de un refrigerante se pueden representar gráficamente en forma de diagramas conocidos como diagramas de Mollier o de presión-entalpía (Ph). Se puede trazar el ciclo completo de refrigeración por compresión, simplemente conociendo las temperaturas de evaporación y de condensación. Este diagrama nos permite analizar y comprender el funcionamiento de los sistemas de refrigeración, simplificando considerablemente el trabajo de calcular los requerimientos para el ciclo.

En el diagrama Ph, correspondiente a cada sustancia refrigerante se pueden leer los valores para cada una de las propiedades del refrigerante en forma directa, así mismo, los cambios de esos valores pueden seguirse a través de cada proceso.

El ciclo normal de compresión de vapor consta de los siguientes cuatro procesos: Evaporación a  $P=Cte$ , Compresión a  $S=Cte$ , Condensación a  $P=Cte$  y Expansión a  $H=Cte$ .

Cada uno de estos procesos básicos, permaneciendo constante una de las propiedades del refrigerante, puede ser representado por una recta en el diagrama, ver fig. 1. Los procesos a  $P=Cte$  se ilustran con líneas horizontales. La expansión a entalpía constante se muestra con una línea vertical y la compresión a entropía constante esta representada por una línea inclinada.

Un buen conocimiento y entendimiento del diagrama lleva implícita una interpretación clara de lo que sucede al refrigerante en los procesos que conforman el ciclo de refrigeración. Si el estado y dos de sus propiedades del refrigerante son conocidas, y si este punto puede localizarse en el diagrama, las otras propiedades pueden leerse fácilmente.

Los diagramas  $Ph$  son importantes en cálculos de refrigeración, porque sobre estos diagramas, los cambios de entalpía pueden leerse con facilidad, y tales cambios representan el calor agregado, rechazado o el trabajo recibido (compresión adiabática).

El ciclo de refrigeración emplea en sí, solo dos presiones: La presión en el evaporador asociada con la refrigeración útil y la del condensador relacionada con la fase de disipación de calor en el ciclo. Ambas presiones se muestran con facilidad sobre el diagrama  $Ph$ .

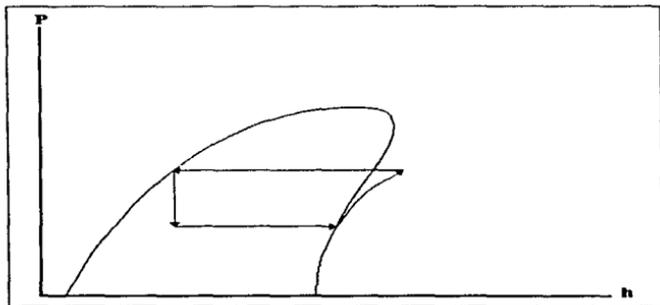


Fig. 1

## Descripción del diagrama de Mollier o Presión-entalpía (PH)

El diagrama representa al refrigerante, esta compuesto por tres zonas, cada una de ellas corresponde a un estado físico del refrigerante, ver fig. 2. La zona de la izquierda representa refrigerante líquido subenfriado, la zona central, un estado mixto líquido-vapor; y la zona de la derecha representa al vapor sobrecalentado. Las líneas inclinadas que separan las zonas, indican las condiciones de limite o frontera.

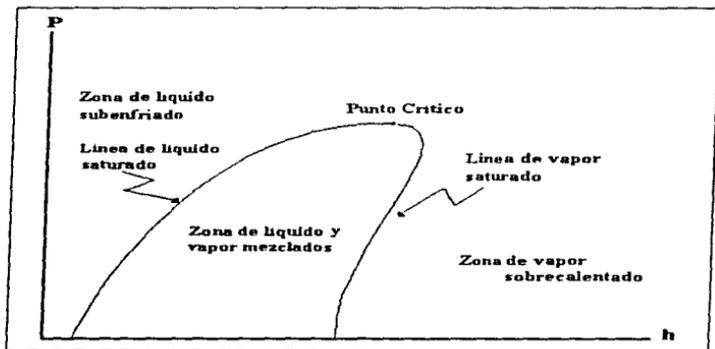
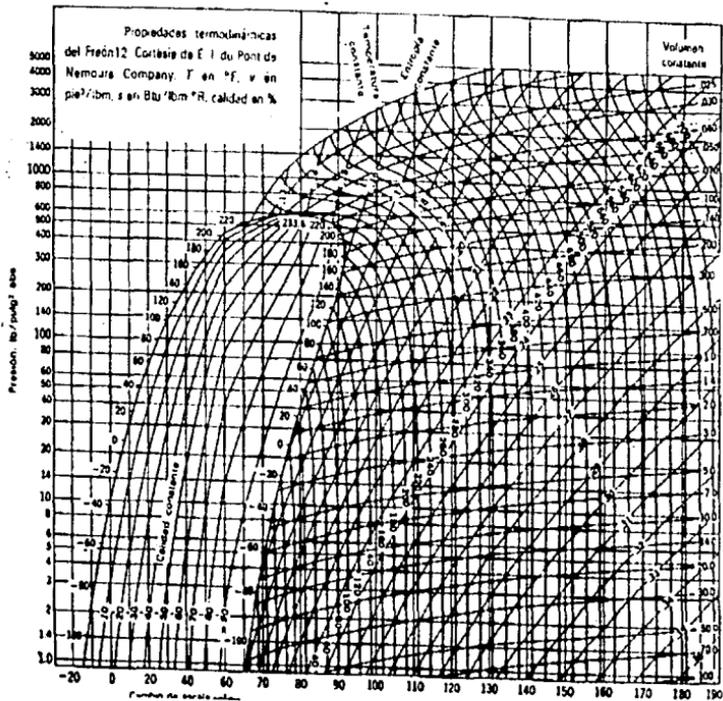


Fig. 2

En cualquier punto sobre la línea de la izquierda, existe líquido saturado y en cualquier punto sobre la línea de la derecha, existe vapor saturado. Estas líneas de frontera convergen al aumentar la presión y finalmente se unen en el punto crítico, el cual representa la condición límite para la existencia de líquido. A temperaturas mayores que la crítica el refrigerante puede existir solo en la fase gaseosa.

Un diagrama completo presión-entalpía debe mostrar las cinco propiedades básicas. A continuación se presenta uno.



**Presión (Psia).** La escala vertical de lado izquierdo del diagrama es la presión absoluta. Las líneas de presión constante corren en forma horizontal a través del diagrama.

**Entalpía (Btu/h).** La escala horizontal representa la entalpía. Las líneas de entalpía constante se extienden en forma vertical. La entalpía representa el contenido de calor por cada libra de refrigerante.

**Temperatura (F).** Las líneas de temperatura constante corren en dirección vertical en las zonas de vapor sobrecalentado y de líquido subenfriado. En la zona de mezcla siguen una trayectoria horizontal entre las líneas de saturación. El diagrama normalmente simplificado incluye líneas de temperatura solo en la zona de vapor sobrecalentado.

**Volumen específico ( $ft^3/lb$ ).** Las líneas de volumen constante se extienden desde la línea de vapor saturado hacia la zona de vapor sobrecalentado y forman un pequeño ángulo con la horizontal.

**Entropía (Btu/lbF).** Las líneas de entropía constante se extienden formando un cierto ángulo con la línea de vapor saturado. Estas líneas aparecen solo en la zona de vapor sobrecalentado, porque es donde se requieren los datos de entropía. La entropía es una relación matemática entre el calor y la temperatura. El cambio de entropía se define como la relación de la cantidad de calor que se agrega o se resta a la temperatura absoluta en la que ocurre el flujo térmico.

**Concepto de Ciclo Ideal.** El ciclo trazado en la fig. 1, es un típico ciclo ideal saturado. Se basa en un cierto número de suposiciones simplificadas, que son : que no hay caídas de presión, excepto en el dispositivo de expansión. Que no hay más flujos térmicos que los que ocurren en el evaporador y en el condensador. Que la compresión es termodinámicamente reversible y se considera que no hay sobrecalentamiento del vapor, ni

subenfriamiento del líquido. No obstante, este trazo representa una excelente forma de comparar dos refrigerantes bajo las mismas condiciones.

El concepto de ciclo ideal es valioso porque representa la aproximación más cercana a lo práctico que puede hacerse entre cualquier refrigerante real y el rendimiento teóricamente ideal del ciclo Carnot.

Termodinámicamente, en el ciclo ideal el rendimiento de todos los refrigerantes es el mismo entre ciertos límites de temperatura; pero en el caso real se tienen desviaciones respecto al ciclo ideal. La American Society of Refrigeration Engineers (ASRE), establece las temperaturas de evaporación de 5°F y de condensación 86°F, como condiciones estándar para efectos de comparación.

### **III.2 Planteamiento y Desarrollo de la Comparación Energética entre los Refrigerantes CFC-12 y HFC-134a dentro del Ciclo de Refrigeración por compresión.**

Dado el gran valor y practicidad que tiene el uso del diagrama de Mollier (Ph), como herramienta para analizar y comprender el comportamiento energético de los refrigerantes dentro del ciclo de refrigeración. Y basados en el criterio que establece la ASRE, de manejar temperaturas de evaporación de 5°F y de condensación 86°F en la comparación de sustancias refrigerantes. Procederemos a trazar el ciclo de refrigeración en los diagramas Ph correspondientes a los refrigerantes CFC-12 y HFC-134a, para esto es necesario considerar también el rango de temperaturas que manejan los equipos a los cuales se propondrá el nuevo refrigerante, los equipos considerados fueron : Vitrinas de exhibición de alimentos en supermercados, Cuartos de refrigeración (conservación), Máquinas expendedoras de bebida, Distribuidoras automáticas de alimentos, Enfriadores de agua y Refrigeradores domésticos.

Considerando lo anterior para el análisis comparativo de los refrigerantes CFC-12 y HFC-134a, se determinó utilizar los siguientes datos para trazar el ciclo de refrigeración en el diagrama Ph correspondiente a cada refrigerante:

Se manejará una temperatura constante de condensación de 86°F ( 30°C) para el rango de temperaturas de evaporación a utilizar. Es importante mencionar que esta temperatura de condensación se recomienda que sea de 5 a 20°F (2.5 a 11°C) mayor a la temperatura del medio enfriador (aire o agua). Se ha elegido  $T_c \approx 86 \text{ }^\circ\text{F}$  como temperatura de condensación por el criterio ASRE anteriormente citado para la comparación de sustancias.

El rango de temperaturas de evaporación será de -15 a 55°F (-26.1 a 12.8°C), con diferencias de 10°F. Esto es con la finalidad de estudiar el comportamiento de las sustancias en las diferentes temperaturas de evaporación que manejan comúnmente durante la operación los equipos de refrigeración comercial y doméstica.

Con estos datos se puede trazar el ciclo de refrigeración en los diagramas Ph correspondientes a cada sustancia , hay que recordar que se manejarán los mismos datos para los dos refrigerantes en estudio.

Por razones de cálculo se manejará otro dato más, esto es, la capacidad de refrigeración del equipo, ésta será de 1 tonelada (200 Btu/min.), así se podrá obtener los valores de algunas variables de operación.

Una vez que se hayan trazado los ciclos de refrigeración para los refrigerantes CFC-12 y HFC-134a, se podrán obtener del diagrama Ph, los valores necesarios para calcular las variables de operación pendientes en el punto 11.3 del capítulo anterior. Posteriormente, con los resultados obtenidos del cálculo de variables de operación se elaborarán unas gráficas para algunas de las variables calculadas.

Estos resultados y gráficas pondrán de manifiesto las diferencias operativas de los dos refrigerantes sujetos a estudio, así se determinará si el HFC-134a es capaz de sustituir al CFC-12 en los equipos de refrigeración doméstica y comercial.

### **Cálculo de Variables de Operación**

#### **Relación de compresión o Factor de compresión (Rc).**

Nos indica la capacidad que requiere el compresor para comprimir el vapor refrigerante en proporción a la relación obtenida. Esta variable de operación, se obtiene dividiendo la presión absoluta de condensación entre la presión absoluta de evaporación.

$$Rc = P_c / P_e$$

Donde :

Pc = Presión de condensación (Psia).

Pe = Presión de evaporación (Psia).

Con relaciones de compresión bajas, se tendrá un consumo menor de potencia y alta eficiencia volumétrica, siendo esto último, más importante en sistemas pequeños, ya que esto permite usar compresores pequeños. Las altas relaciones de compresión nos conducen a una disminución en el rendimiento volumétrico del compresor, lo cual es desfavorable.

Para efectuar este cálculo se obtendrán primero los niveles de presión (presiones de evaporación y de condensación) del diagrama Ph correspondiente a cada refrigerante.

Todos los valores utilizados en los cálculos fueron obtenidos de los ciclos de refrigeración trazados en los diagramas Ph, acorde a cada refrigerante, ver anexo C para diagramas P-h del CFC-12 y C1 para diagramas P-h del HFC-134a.

A continuación se presenta una tabla con los valores de nivel de presión correspondientes a los refrigerantes en estudio.

<b>Nivel de Presión de Evaporación (Psia)</b>		
<b>Tem. de evaporación (°F)</b>	<b>CFC-12</b>	<b>HFC-134a</b>
-15	17.1	14.6
-5	21.3	18.6
5	26.3	23.6
15	32.2	29.6
25	39.1	36.7
35	47.1	45.0
45	56.1	54.6
55	66.5	65.7

Hay que recordar que la temperatura de condensación  $T_c=86$  °F, se mantendrá constante para todos los ciclos trazados en los diagramas Ph. Por lo tanto, la presión de condensación será la misma para el rango de temperaturas de evaporación manejadas. Como se manejarán los refrigerantes CFC-12 y HFC-134a, cada uno tiene un valor de presión de condensación de acuerdo a su propio diagrama Ph, este valor se mantendrá constante para nuestro análisis.

<b>Nivel de Presión de Condensación (Psia)</b>		
<b>Tem. de condensación (°F)</b>	<b>CFC-12</b>	<b>HFC-134a</b>
86	107.9	111.7

Con los valores obtenidos hasta ahora se puede calcular la relación de compresión para cada uno de los refrigerantes.

Si  $R_c = P_c / P_e$ , se tiene que :

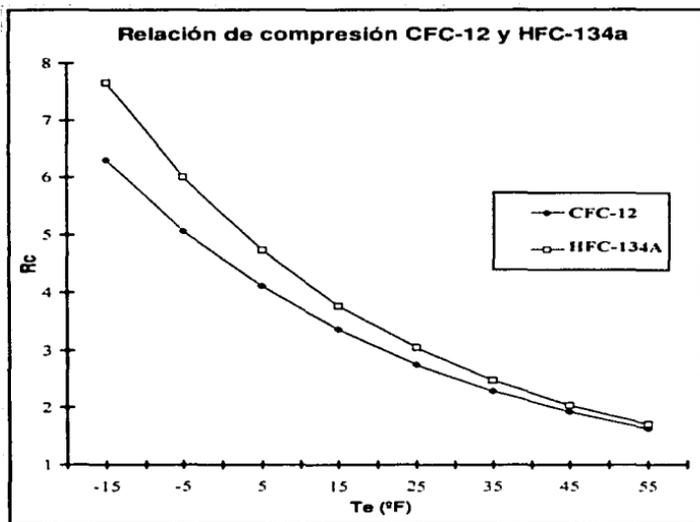
Sustituyendo los valores obtenidos del diagrama correspondientes a cada sustancia y considerando la presión constante de condensación respectiva a cada refrigerante

Relación de Compresión $R_c$		
Tem. de evaporación (°F)	CFC-12	HFC-134a
-15	6.30	7.65
-5	5.06	6.00
5	4.10	4.98
15	3.35	3.77
25	2.75	3.04
35	2.29	2.48
45	1.92	2.04
55	1.64	1.7

En la gráfica 1, en ella se representan los valores de  $R_c$  correspondientes a los refrigerantes sujetos a estudio.

La gráfica  $R_c$ - $T_e$ , muestra que la relación de compresión necesaria, aumenta conforme disminuye la temperatura de evaporación.

Esto significa que al disminuir la temperatura de evaporación, disminuye el rendimiento volumétrico. Al comparar las dos curvas, se puede advertir que el HFC-134a, se mantiene por encima del CFC-12. Por lo tanto, el HFC-134a presenta desventaja respecto al CFC-12, puesto que implica una reducción en su rendimiento volumétrico del compresor.



Gráfica 1

### **Efecto neto de refrigeración o Efecto refrigerante específico.**

El efecto neto de refrigeración indica la cantidad de calor que es capaz de retirar el ciclo de refrigeración por unidad de masa de refrigerante. En un ciclo es la diferencia de entalpías entre la salida y la entrada del mismo.

$$\text{Efecto refrigerante} = H_{se} - H_{ee} \text{ (Btu/lb)}$$

Donde :

$H_{ee}$  = Entalpia a la entrada del evaporador (Btu/lb)

$H_{se}$  = Entalpia a la salida del evaporador (Btu/lb).

Es importante citar que la línea de evaporación en el diagrama Ph, contenida entre las líneas de entalpia de entrada y salida, representa la porción del ciclo que es útil para la refrigeración. Es obvio que mientras más alto sea este parámetro, más provechoso resulta.

En seguida se muestra una tabla con los valores de entalpia de entrada y salida del evaporador para los refrigerantes CFC-12 y HCFC-134a, así mismo, se presenta el resultado obtenido para el efecto refrigerante correspondiente a cada sustancia. Los datos para obtener el valor de efecto refrigerante también fueron obtenidos de los diagramas Ph que aparecen en los anexos B y B1.

Refrigerante : CFC-12			Efecto refrigerante (Btu/lb)
T. evaporación (°F)	H <sub>ee</sub> (Btu/lb)	H <sub>se</sub> (Btu/lb)*	H <sub>se</sub> -H <sub>ee</sub>
-15	75.7	27.8	47.9
-5	77.0	27.8	49.2
5	78.0	27.8	50.2
15	79.1	27.8	51.3
25	40.1	27.8	52.3
35	41.2	27.8	53.4
45	42.3	27.8	54.5
55	43.3	27.8	55.5

\*Esta entalpia se mantiene constante puesto que se está manejando una Tercera.

Refrigerante : HFC-134a			Efecto refrigerante (Btu/lb)
T. evaporación (°F)	Hse (Btu/lb)	Hee (Btu/lb)*	Hse-Hee
-15	100.0	40.0	60.0
-5	102.1	40.0	62.1
5	103.6	40.0	63.6
15	105.0	40.0	65.0
25	106.5	40.0	66.5
34	108.0	40.0	68.0
45	109.2	40.0	69.2
55	110.6	40.0	70.6

\*Esta entalpia se mantiene constante puesto que se está manejando una  $T_c=Cte.$

En la gráfica 2 de efecto refrigerante-tem. evaporación, se muestra el trazo de las curvas representativas de los refrigerantes CFC-12 y HFC-134a.

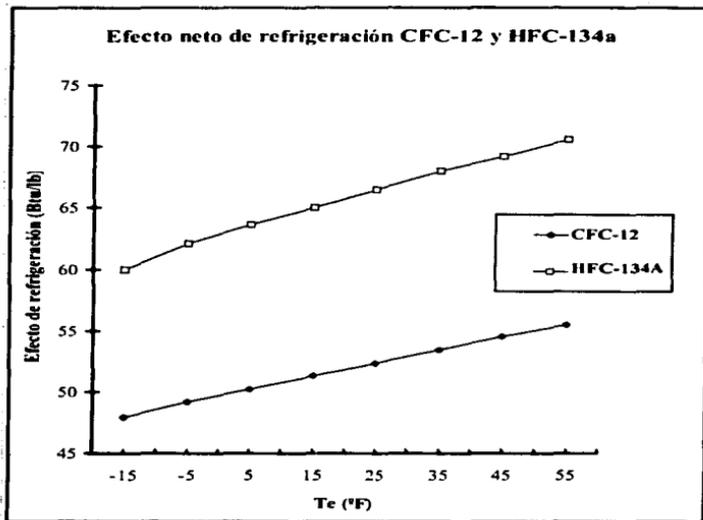
En este dibujo, se aprecia un comportamiento casi paralelo de los refrigerantes, en el rango de temperaturas de evaporación evaluado, y un incremento en ambos casos en relación directa con la temperatura de evaporación. Pero lo más trascendental de estos resultados es que el refrigerante HFC-134a ofrece un mayor efecto de refrigeración que el CFC-12. Esto significa que la cantidad de calor que es capaz de retirar el HFC-134a al pasar por el evaporador, es mayor que la que podría retirar el CFC-12.

#### **Masa de refrigerante circulado por minuto por tonelada de refrigeración.**

Una vez que hemos determinado el parámetro de efecto refrigerante para las sustancias en estudio, podemos obtener la masa de refrigerante circulado por minuto por tonelada.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

La masa de refrigerante que debe ser circulada por minuto por tonelada de capacidad de refrigeración para cada una de las temperaturas de evaporación que conforman el rango que hasta ahorita hemos manejado, con la temperatura de condensación constante ( $T_c=86^\circ\text{F}$ ).



**Gráfica 2**

Se obtiene dividiendo las toneladas de capacidad de refrigeración entre el efecto de refrigeración. En seguida se muestra la fórmula:

$Q_e = (m)(E_r)$  despejando  $m$  se tiene que :

$$m = Q_e/E_r$$

Donde :

$Q_e$  = Capacidad de refrigeración en (Btu/min )

$m$  = Masa de refrigerante en circulación por min por ton

$E_r$  = Efecto refrigerante (Btu/lb)

Como ya conocemos la cantidad de enfriamiento que proporciona cada libra de refrigerante (efecto refrigerante); y puesto que la capacidad de refrigeración que se manejará permanecerá constante (1 T.R = 200 Btu/min) para el rango de temperaturas de evaporación que se ha venido manejando durante el análisis. Podremos obtener la masa de refrigerante circulando por min por tonelada de capacidad de refrigeración. Solo habrá que sustituir los valores correspondientes a cada refrigerante en la fórmula inmediata anterior.

De ésta sustitución se obtuvieron los siguientes valores:

Refrigerante : CFC-12		m (Lb/min/ton)
T. evaporación (°F)	Efecto refrigerante (Btu/lb)	m = 200/Efecto refrigerante
-15	47.9	4.17
-5	49.2	4.06
5	50.2	3.98
15	51.3	3.89
25	52.3	3.82
35	53.4	3.74
45	54.5	3.66
55	55.5	3.60

Refrigerante : HFC-134a		m (Lb/min/ton)
T. evaporación (°F)	Efecto refrigerante (Btu/lb)	m = 200/Efecto refrigerante
-15	60.0	3.33
-5	62.1	3.22
5	63.6	3.14
15	65.0	3.07
25	66.5	3.00
35	68.0	2.94
45	69.2	2.89
55	70.6	2.83

Los valores de masa de refrigerante circulado presentados en las tablas anteriores, muestran que las libras de refrigerante que deberán circular por minuto por tonelada de capacidad de refrigeración, serán mayor usando el CFC-12 que con el HFC-134a. También ponen de maifesto que a menor temperatura de evaporación el número de masa circulado será mayor para los dos refrigerantes.

### Potencia del compresor o Trabajo realizado ( $W_c$ )

La energía ganada por el refrigerante durante la compresión, está representada por el cambio de entalpia a lo largo de la línea de compresión. A medida que se comprime el refrigerante, la entalpia se incrementa, es decir, existe una ganancia de calor por cada libra de refrigerante circulado. Esto representa el trabajo hecho por el compresor sobre la sustancia refrigerante.

El trabajo realizado por el compresor, se obtiene por la ecuación :

$$W_c = h_{fc} - h_{ic} \text{ (Btu/lb)}$$

Donde :

Hfc= Entalpía al final de la compresión.

Hic= Entalpía al inicio de la compresión.

A continuación se presenta una tabla que incluye los valores para Hfc y Hic, obtenidos de los diagramas Ph correspondientes a cada refrigerante. También se incluyen los valores para el trabajo Wc, obtenidos después sustituir en la ecuación inmediata anterior los valores apropiados.

Refrigerante : CFC-12			Trabajo Realizado W(Btu/lb)
T. evaporación (°F)	Hfc	Hic	Hfc - Hic
-15	90.1	75.7	14.4
-5	89.0	77.0	12.0
5	88.8	78.0	10.8
15	88.3	79.1	9.2
25	87.7	80.1	7.6
35	87.4	81.2	6.2
45	87.2	82.3	4.9
55	86.7	83.3	3.4

Refrigerante : HFC-134a			Trabajo Realizado W(Btu/lb)
T. evaporación (°F)	Hfc	Hic	Hfc - Hic
-15	119.2	100.0	19.2
-5	118.5	102.1	16.4
5	118.0	103.6	14.4
15	117.3	105.0	12.3
25	116.6	106.5	10.1
35	116.2	108.0	8.2
45	116.0	109.2	6.8
55	115.6	110.6	5

Los valores tabulados en la columna de la derecha corresponden al trabajo realizado por el compresor, en ellos se puede apreciar que el trabajo necesario para la compresión del refrigerante, es mayor para el HFC-134a que para el CFC-12; trabajando los dos bajo las mismas condiciones. Sin embargo, al obtener la potencia teórica por tonelada de refrigeración (horsepower Hp), se puede observar una gran similitud en la potencia requerida para la compresión usando los dos refrigerantes.

En seguida, se muestra como se obtiene las potencia teórica por tonelada de refrigeración.

$$Hp = m \times Wc \times 0.02357$$

Donde :

m = Masa de refrigerante circulada por min por ton.

Wc= Trabajo realizado por el compresor (Btu/lb)

0.02357 = Factor de conversión. Btu·min a Hp/ton

Sustituyendo los valores en la fórmula inmediata anterior, se obtienen los valores de potencia teórica. Hay que recordar que los valores m son datos que ya conocemos por los cálculos efectuados anteriormente.

Refrigerante : CFC-12			Potencia Teórica Hp por Ton.
T. evaporación (°F)	m	Wc	
-15	4.17	14.4	1.41
-5	4.06	12.0	1.14
5	3.98	10.8	1.01
15	3.89	9.2	0.84
25	3.82	7.6	0.68
35	3.74	6.2	0.54
45	3.66	4.9	0.42
55	3.60	3.4	0.28

Refrigerante : HFC-134a			Potencia Teórica
T. evaporación (°F)	m	Wc	Hp por Ton.
-15	3.33	19.2	1.5
-5	3.22	16.4	1.24
5	3.14	14.4	1.06
15	3.07	12.3	0.89
25	3.00	10.1	0.71
35	2.94	8.2	0.56
45	2.89	6.8	0.46
55	2.83	5	0.33

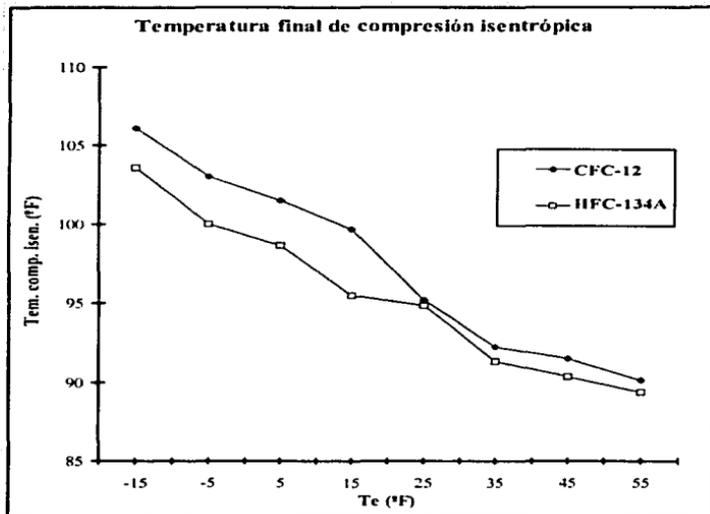
Los valores de potencia teórica requerida de la columna de la derecha, muestran la gran similitud de potencia para la compresión, usando los dos tipos de refrigerantes. A demás, estos valores también indican que se requiere mayor potencia para comprimir refrigerante (CFC-12 o HFC-134a), de baja presión (temperatura) hasta la presión (temperatura) necesaria en el condensador.

#### **Temperatura final de compresión isentrópica o Temperatura de descarga del compresor .**

La trascendencia de considerar esta variable de operación, radica en que entre más grande sea este valor, mayor es la probabilidad de que se presente carbonización en las válvulas del compresor, lo cual es desfavorable. Por otro lado, esta temperatura también repercute en la vida útil del lubricante.

Es importante mencionar, que no se debe confundir, temperatura en la descarga del compresor con temperatura del condensador (o condensación). La temperatura en la descarga, es la temperatura que debido a la naturaleza del proceso de compresión, siempre





Gráfica 3

### Coeficiente de Rendimiento o de Operación

En la ingeniería de refrigeración, se usa esta variable de operación para expresar, la relación de la refrigeración útil con la energía aplicada durante la compresión. Esta relación esta expresada por la ecuación :

$$\text{COP} = \text{Efecto refrigerante} / \text{Trabajo realizado (Wc)} = \text{Hsc-Hec} / \text{Hfc-Hic}$$

Donde :

Hse=Entalpía a la salida del evaporador (Btu/lb)

Hee= Entalpía a la entrada del evaporador (Btu/lb)

Hfe= Entalpía al final de la compresión (Btu/lb)

Hie=Entalpía al inicio de la compresión (Btu/lb)

El COP es una medida de la eficiencia de un ciclo de refrigeración en la utilización de la energía que se gasta en el proceso de compresión, con la relación a la energía que es absorbida en el proceso de evaporación.

Como puede observarse en la ecuación inmediata anterior, a menor energía gastada en la compresión, mayor será el COP del sistema de refrigeración. Sin duda este parámetro es el más importante de las variables de operación, puesto que proporciona y cuantifica la eficiencia energética; por lo que es deseable que este valor sea lo más alto posible.

En seguida se muestran los valores para el efecto refrigerante y para el trabajo  $W_c$ , para los refrigerantes CFC-12 y HFC-134a, así mismo, se presentan los valores del coeficiente de operación COP para ambos refrigerantes; después de la previa sustitución de valores en la ecuación anteriormente citada.

Refrigerante : CFC-12			Coeficiente de Operación COP
T. evap. (°F)	Efecto refrigerante (Btu/lb)	Trabajo realizado $W_c$ (Btu/lb)	
-15	47.9	14.4	3.32
-5	49.2	12.0	4.1
5	50.2	10.8	4.64
15	51.3	9.2	5.57
25	52.3	7.6	6.88
35	53.4	6.2	8.61
45	54.5	4.9	11.12
55	55.5	3.4	16.32

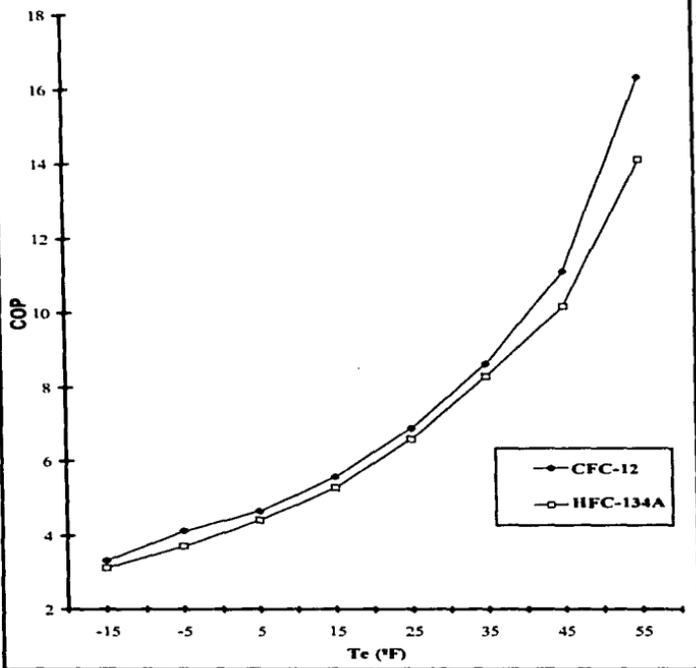
Refrigerante : HFC-134a			Coeficiente de Operación COP
T. evap. (°F)	Efecto refrigerante (Btu/lb)	Trabajo realizado Wc (Btu/lb)	
-15	60.0	19.2	3.12
-5	62.1	16.4	3.7
5	63.6	14.4	4.41
15	65.0	12.3	5.28
25	66.5	10.1	6.58
35	68.0	8.2	8.29
45	69.2	6.8	10.17
55	70.6	5	14.12

En la gráfica 4 COP-Te, elaborada con los resultados obtenidos. Se observa que para los dos refrigerantes en estudio, el COP aumenta en igual proporción conforme aumenta la temperatura de evaporación, lo cual indica la similitud en el comportamiento de los dos refrigerantes dentro del ciclo de refrigeración. Sin embargo, el CFC-12 posee un COP mayor en todo el rango de temperaturas de evaporación.

Es importante destacar que el HFC-134a, según lo muestra la gráfica COP-Te, es un refrigerante alterno especialmente para sistemas de refrigeración de temperatura media 20 a 44.6 °F (-7 a 7°C), esta temperatura es la del serpentín del evaporador.

La gráfica muestra la gran similitud en este rango de temperaturas entre los dos refrigerantes. No obstante, la aplicación del HFC-134a en temperaturas de evaporación menores, se podría llevar a cabo, solo que, probablemente se presentaría una reducción en la eficiencia.

### Coeficiente de Operación CFC-12 y HFC-134a



### **III.3 Análisis de Resultados Según la Aplicación de los Criterios Ambientales y Energéticos Planteados en el Punto II.3, para la Determinación del Refrigerante Sustituto del CFC-12.**

En lo que respecta al criterio ambiental, que incluye los índices de potencial de agotamiento de ozono (ODP), potencial de calentamiento de la Tierra (GWP) y vida atmosférica de destrucción (ALD); bajo los cuales fueron evaluados los refrigerantes candidatos. Pudimos advertir que los HFC's son los refrigerantes del futuro por ser compatibles con el medio ambiente, en especial con la capa de ozono. No hay que olvidar que el motivo por el cual se generó la búsqueda de refrigerantes sustitutos, fue precisamente la destrucción masiva de ozono estratosférico provocada por la gran emisión de los CFC's a la atmósfera. Ahora sabemos que la estructura molecular completamente halogenada, el gran contenido de cloro y su gran estabilidad de los CFC's en la atmósfera, son y serán pieza clave para la degradación de la capa de ozono; a diferencia de los HFC's totalmente compatibles con el medio ambiente, según la investigación sobre presentada en el punto II.3 del capítulo anterior

En lo que se refiere al criterio de propiedades físicas y termodinámicas dentro del ciclo de refrigeración, pudimos observar que, después de la comparación de propiedades físicas que se efectuó entre el CFC-12 y la familia de los HFC's, el HFC-134a era el que más se parecía al CFC-12. Por esta razón se decidió hacer el análisis del HFC-134a dentro del ciclo de refrigeración trazado en el diagrama de Mollier (Ph), para saber si este refrigerante era capaz de sustituir al CFC-12. Esto nos permitió advertir la gran similitud que tienen estos dos refrigerantes, al someterlos a las mismas condiciones de operación y al determinar las cinco variables que pusieron de manifiesto el desempeño que tienen las sustancias refrigerantes sujetas a estudio. Con respecto a este desempeño, es importante citar que, aun cuando los resultados de las variables, como por ejemplo el coeficiente de operación COP, que muestra una leve caída de eficiencia para el HFC-134a, se pensó que, puesto que esta

disminución no es tan marcada y considerando la crítica situación ambiental actual, esta leve diferencia puede relegarse a segundo término.

Probablemente esta diferencia de eficiencia se deba a las propiedades físicas del HFC-134a. Sin embargo, en las pruebas de campo se ha probado que existen factores que modifican el comportamiento del HFC-134a dentro de los sistemas de refrigeración. Algunos de los factores que afectan en el sistema de refrigeración, usando el HFC-134a son : La efectividad en la transferencia de calor, pérdidas en las caídas de presión y diferencias en la eficiencia de los compresores.

La selección adecuada de un aceite lubricante, puede afectar gradualmente la eficiencia si éste influye en la transferencia de calor o en las caídas de presión. Es importante mencionar que el mismo refrigerante es solo una de tantas variables que afectan la eficiencia de energía en un ciclo de refrigeración.

## **CAPITULO IV**

---

**PROCEDIMIENTO Y COSTO EN LA  
CONVERSIÓN A GAS 134A EN LOS SISTEMAS  
DE REFRIGERACIÓN DOMÉSTICA Y  
COMERCIAL.**

Después de probar que el refrigerante HFC-134a es capaz de sustituir al CFC-12, según los resultados obtenidos en la aplicación de los criterios que ayudaron a la búsqueda y selección del refrigerante sustituto en los capítulos anteriores.

Nos daremos a la tarea de investigar como se hará el cambio y la actualización de refrigerante en la industria de la refrigeración. Por un lado sabemos que ya existe un programa de eliminación de CFC's elaborado por el gobierno mexicano, el cual se conforma de varias normas y regulaciones de acuerdo con las medidas de control establecidas por el Protocolo de Montreal. Lo más sobresaliente de este programa de eliminación, es que ha establecido como fecha límite el año 2000 para la desaparición (eliminación de la producción ) de un grupo de sustantetas, entre las cuales se encuentra el CFC-12 ( Ver punto 1.8). Esto para su significado es de gran valor, puesto que por fin se dejará de emitir CFC's a la atmósfera.

La eliminación de la producción de CFC-12 sin duda alguna implicará una serie de cambios, ya que obligará a la industria de la refrigeración doméstica y comercial a actualizar sus equipos con la nueva generación de refrigerantes. Esta conversión a gas HFC-134a incluye desde los equipos nuevos de fabricación hasta los actuales equipos en operación.

Cabe mencionar que el éxito que se alcance en la conversión a gas HFC-134a en la mayoría de los equipos en operación, dependerá del trabajo efectuado entre el gobierno y fabricantes de refrigerantes y equipo de refrigeración, así como de la comunidad en general.

A lo largo de este capítulo se citarán los aspectos técnico-económicos que hay que considerar en la conversión a gas HFC-134a, desde el procedimiento para el reacondicionamiento, incluyendo la recuperación de gas CFC-12, hasta las partes que habrá que cambiar en los sistemas de refrigeración.

#### **IV.1 Aspectos Técnico-Económicos que hay que Considerar para la Conversión a Gas HFC-134a en los Equipos de Refrigeración Doméstica y Comercial.**

A medida que la industria se aleje de los CFC's por su eliminación gradual establecida por el gobierno mexicano, se incrementará la presión al tener que considerar la gran cantidad de equipo de refrigeración que se deberá mantener en operación a pesar de que no se encuentre disponible el refrigerante CFC-12.

Con la finalidad de dar solución a esta problemática será necesario ir pensando en los cambios que se realizarán para la actualización de los sistemas de refrigeración a gas HFC-134a. Un gran número de factores deben ser considerados para determinar si es mejor comprar un equipo nuevo con este refrigerante o convertir el equipo actual a gas HFC-134a.

Entre los factores más importantes que habrá de considerarse, se encuentran: La estimación de vida del equipo, el funcionamiento normal y los requerimientos de operación, el costo y modificaciones del equipo.

Si un sistema que opera con CFC's tiene capacidad marginal, el convertir a gas HFC-134a puede no ser la mejor opción. La capacidad del sistema es muy importante. Muchos de los equipos de refrigeración se han diseñado con mayor capacidad que la requerida, en este caso una pequeña pérdida en la capacidad por el cambio de gas HFC-134a es tolerable. Otros sistemas que se han diseñado sin tolerancias requerirán otro tipo de modificaciones.

Los cambios necesarios para la conversión a gas HFC-134a dependerán de cada caso. Por ejemplo en algunos equipos será necesario cambiar alguno de los componentes principales del sistema : compresor, evaporador, condensador o dispositivo de expansión reemplazándolos con nuevas unidades que estén diseñadas para manejar el gas HFC-134a.

En otros sistemas de refrigeración las principales modificaciones serán : instalación de una nueva válvula de expansión (o un ajuste de la existente), el uso de un desecante compatible con gas HFC-134a y el uso de un lubricante de base poliolester (POE).

En la mayoría de los casos solamente será necesario cambiar el gas a HFC-134a y el lubricante, el cambio de este último se debe a que el gas HFC-134a, es insoluble con aceites minerales convencionales manejados con los refrigerantes CFC's, por tal motivo se han desarrollado lubricantes sintéticos de base poliolester para los nuevos refrigerantes.

La solución óptima en términos de costo y eficiencia para la mayoría de los casos de conversión al nuevo gas, se encuentra en término medio. El número de modificaciones y naturaleza del cambio dependerá enteramente del diseño del sistema. Por ello es imposible generalizar los cambios y el costo para la conversión. Obviamente, el tipo y número de componentes necesarios para la conversión afectarán el costo de ella.

El objetivo en la conversión a gas HFC-134a será minimizar el número de partes que se tengan que cambiar, manteniendo un nivel satisfactorio de operación.

En la práctica durante la conversión a gas HFC-134a, se ha podido advertir que la adaptación del nuevo refrigerante algunos equipos puede presentar algunas dificultades, ya que se debe retirar todo el aceite mineral del sistema, debido a que el HFC-134a no es compatible con éste y con lubricantes alquibencenos comúnmente utilizados con el CFC-12, por lo tanto, los lubricantes minerales deberán ser reemplazados por nuevos lubricantes sintéticos de base poliolester (POE).

Algunos de los aspectos que hay que considerar para la selección de los nuevos lubricantes son :

-Miscibilidad : Característica necesaria para el buen funcionamiento de la mezcla refrigerante/lubricante a diferentes rangos de temperatura.

-Estabilidad química : El grado de actividad de una mezcla en la formación de iones haluros e incrustaciones de cobre.

- Compatibilidad con elastómeros: Aspecto relevante para la eficiencia del sistema completo.

-Lubricidad : Característica deseable de un buen aceite, que al entrar en contacto con el refrigerante debe permitir que el compresor y todos los componentes funcionen eficientemente.

Existen muchos fabricantes de lubricantes de Poliéster, tales como Castrol, Mobil, Lubrizol y Henkel. Se recomienda consultar al fabricante del compresor del equipo para hacer una mejor elección del lubricante a utilizar.

Es necesario tener cuidado al manejar lubricantes de poliéster, ya que tienden a absorber humedad. Se debe de reducir al mínimo el contacto con el aire, el lubricante deberá almacenarse en un recipiente sellado.

Los problemas que acarrea los residuos de aceite mineral en la conversión a gas HFC-134a, están relacionados con la transferencia de lubricante en el sistema y las reacciones químicas en el mismo.

En lo que se refiere a la transferencia del lubricante dentro del sistema y especialmente su regreso al compresor, habrá que considerar que la baja solubilidad del HFC-134a con los residuos de aceites minerales convencionales, provocan una alta tensión interfacial entre el nuevo gas y el aceite convencional dando como resultado pegajosidades e incrustaciones en el evaporador donde la viscosidad del gas HFC-134a y el aceite convencional es muy alta resistiendo el empuje del gas. Por ello, se recomienda que el contenido residual del aceite mineral al hacer la conversión al gas HFC-134a debe ser menor al 5%.

Con respecto a las reacciones químicas que pueden ocurrir dentro de los sistemas convertidos al nuevo gas HFC-134a, se encuentra la reactividad de éste último con los residuos de cloro perteneciente a dos fuentes :

- a) Aceite convencional usado con el CFC-12 disuelto con varios productos de descomposición.
- b) Residuos de solventes del lavado tales como CFC-11 y CFC-13, que se hayan usado para eliminar aceite convencional como parte del proceso de conversión.

Para los equipos que presentan problemas en la conversión a HFC-134a por la difícil evacuación total de aceite convencional, la industria química ha propuesto las sustancias MP-39 y MP-66 ( ver el punto 2.3). En éste último punto, los técnicos en servicio de refrigeración deberán considerar varios aspectos y optar por la mejor alternativa.

#### **IV.2 Procedimiento para la Conversión a Gas HFC-134a en los Actuales Equipos en Operación.**

La industria química ha optado por formular una guía general para la conversión a gas HFC-134a en los actuales sistemas de refrigeración, éstos lineamientos deberán ser auxiliados por la información detallada de los fabricantes para cada modelo de los equipos a actualizar.

Antes de reacondicionar con el HFC-134a y el nuevo lubricante de Poliolester, es necesario considerar la compatibilidad con los plásticos y elastómeros. Los resultados de las pruebas hasta ahora realizadas demuestran que no existe ninguna familia de elastómeros o plásticos que funcionen con todos los refrigerantes alternos. Se recomienda el uso de empaques,

sellos de flecha, orings de Buna-N, Hypalón 48, Neopreno o hule de hidrocarburo NORDEL.

También es importante mencionar que el HFC-134a no se diseñó para emplearse junto con otros refrigerantes, el mezclar CFC-12 con HFC-134a por ejemplo, puede producir un azeótropo de alta presión que puede dañar los sistemas.

Es importante mencionar que el HFC-134a es un refrigerante para sistemas de temperatura de evaporación media (-7°C (20 °F) a +7°C (44.6 °C)).

Entre los equipos en los que el HFC-134a ha sido propuesto para reemplazar el CFC-12, se encuentran los congeladores para supermercados, los cuartos enfriadores, máquinas expendedoras de bebidas, distribuidoras automáticas de alimentos y enfriadores de agua y refrigeradores domésticos.

El HFC-134a también se puede emplear en aplicaciones con temperaturas más bajas en el evaporador, pero es posible que se presente una reducción en el rendimiento, comparado con el CFC-12. A continuación se presenta una guía general para la conversión a gas HFC-134a en los actuales equipos de refrigeración, pero primeramente se presenta una lista del equipo necesario para poder efectuarlo:

#### **Equipo y accesorios necesarios para la conversión al nuevo gas**

- Equipo de seguridad (guantes y lentes).
- Manómetros múltiples.
- Termómetros.
- Bomba de vacío.
- Equipo para detectar fugas.
- Báscula.
- Unidad de Recuperación.
- Cilindro de Recuperación.
- Contenedor para Lubricante Recuperado.

- Nuevo Lubricante.
- Nuevo Refrigerante.
- Nuevo deshidratador.

### **Guía general para la conversión a gas HFC-134a**

1) Tome nota de los siguientes dos parámetros, temperatura y presión en todo el sistema ( evaporador, succión y descarga del compresor, dispositivo de expansión, etc.). Esto se hará con la finalidad de conocer las condiciones normales de operación, para posteriormente, durante la actualización al nuevo gas sirvan para ajustar el nuevo sistema de refrigeración.

2) Aislar la carga de CFC-12 del resto del sistema de refrigeración :

a) Bombearla hacia el colector del sistema (si el sistema no cuenta con un colector aplique el inciso b).

b) Utilizar una máquina recuperadora certificada capaz de cumplir con los niveles de evacuación requeridos. Se debe recuperar la carga en un cilindro de recuperación, **NO SE DEJE ESCAPAR EL GAS REFRIGERANTE A LA ATMÓSFERA.**

Antes de usar o manejar cualquier sustancia refrigerante , obtenga y revise cuidadosamente la Hoja de Seguridad del Producto, ver anexo B1.

3) Seleccione el nuevo lubricante del compresor, esto es debido a que el gas HFC-134a no es compatible con el aceite mineral comúnmente usado con el CFC-12 , se recomienda el uso de lubricante de polioléster aprobado por el fabricante del compresor. Verifique con el fabricante del compresor en cuanto a la calidad de viscosidad y la marca correcta para el compresor en el sistema que se está actualizando.

4) Vaciar y medir el lubricante del compresor. En vista de que muchos compresores herméticos pequeños no cuentan con orificios para el vaciado del aceite, puede ser necesario quitarlo para evacuar el lubricante. Utilice la línea de succión del compresor, con lo cual es posible vaciar casi el 95% del lubricante. Es importante que se retire la mayor parte del aceite antes de agregar el nuevo lubricante.

En cuanto a sistemas más grandes, se debe vaciar el aceite desde varios puntos del sistema, se recomienda prestar atención a las áreas bajas al rededor del evaporador en donde con frecuencia se acumula el lubricante. También se debe vaciar el aceite mineral de los separadores o los acumuladores de succión de aceite.

Mida y registre el volumen de lubricante retirado del sistema. Compare ésta cantidad con la recomendada por el fabricante para asegurarse que se haya retirado la mayor parte del aceite mineral. Este volumen también se utilizará como una medida para determinar la cantidad del lubricante del poliolester a agregar en el compresor .

5) Cargar el compresor con el nuevo lubricante de poliolester y reinstalarlo al sistema. Agregue al compresor el mismo volumen de lubricante de poliolester que el volumen de aceite mineral evacuado. Reinstale el compresor siguiendo las prácticas de servicio estándar recomendadas por el fabricante.

6) Cargar el sistema con el refrigerante CFC-12. Si se bombeo la carga de refrigerante CFC-12 del sistema hacia el colector, el resto del sistema se deberá evacuar y posteriormente se deberán abrir las válvulas del colector.

Si se recolectó la carga original en un cilindro de recuperación, se deberá evacuar el sistema y después se deberá cargar el CFC-12 original.

Puede ser necesario llenar hasta el máximo la carga del refrigerante para compensar la pequeña cantidad perdida en el vaciado del aceite mineral.

7) Ponga en marcha el sistema con el nuevo lubricante y el CFC-12, y déjelo en servicio por lo menos durante 24 horas. Posteriormente, vacíe el poliolester y reemplácelo con una nueva carga de poliolester. Verifique en el lubricante que se vació que el contenido residual de aceite mineral sea menor al 5%. Hay estuches (Kits) de pruebas disponibles a través de diversos proveedores de lubricantes con los que se verifica el contenido de aceite mineral. Por lo general, se requiere de aproximadamente tres cargas de poliolester para lograr que el contenido de aceite mineral llegue a un nivel aceptable.

Repita los pasos 2, 4 y 6 hasta que el contenido residual del aceite mineral sea menor al 5%

8) Ajuste del dispositivo de expansión. Un gran número de sistemas de refrigeración con CFC-12 que usan válvulas de expansión, operan satisfactoriamente con HFC-134a. Sin embargo, en los sistemas que incluyen tubo capilar, es necesario hacer unas modificaciones. Para esto, es necesario consultar con el fabricante del equipo antes de hacer alguna modificación.

Sino se cuenta con la información del fabricante se puede aplicar lo siguiente :

- a) Reemplazar el tubo capilar con uno del mismo diámetro pero de longitud 50% mayor.
  - b) Cambiar el tubo capilar con una válvula de expansión de tamaño apropiado.
  - c) Utilizar el mismo tubo capilar con una cantidad menor de carga de refrigerante HFC-134a en el sistema. Esto funcionará, solo si las condiciones ambientales son relativamente constantes y las temperaturas de condensación se mantienen estables
- 9) Reemplazo del filtro desecante. Muchos de los filtros desecantes estándar de llenado holgado o de núcleo sólido que se utilizan con CFC-12, son compatibles con el HFC-134a. Sin embargo, debe asegurarse con los especialistas que el filtro desecador de reemplazo que se está utilizando, es compatible con el HFC-134a.

**10) Reconectar y evacuar el sistema. Aplicar prácticas normales de servicio para reinstalar y evacuar. Para retirar el aire y alguna otra sustancia no condensable, la industria química, recomienda la evacuación del sistema a un vacío completo de 1,000 micrones o menos en ambos extremos del sistema.**

Tratar de evacuar un sistema con la bomba conectada solamente al extremo inferior del sistema no servirá para retirar adecuadamente la humedad y las sustancias no condensables tales como el aire. Utilice un buen manómetro electrónico para medir el vacío. Con el medidor de refrigeración no se puede realizar una lectura precisa.

**11) Cargar el sistema con el nuevo refrigerante HFC-134a. Utilice el mismo procedimiento de carga que seguiría para el CFC-12 con el fin de asegurar un funcionamiento óptimo del sistema.**

Los sistemas que se cargan con el HFC-134a, requieren de una carga menor (aproximadamente del 90% con respecto al peso de la carga original de CFC-12) con sistemas de válvula de expansión o de tubo capilar optimizado. Si se utiliza el tubo capilar original, será necesario cargar el sistema con una cantidad menor para evitar una retroinundación de líquido hacia el compresor.

Se recomienda cargar inicialmente el sistema al 75% con respecto al peso de la carga original de CFC-12.

**12) Puesta en marcha del sistema de refrigeración. Ponga en operación el equipo y deje que las condiciones se establezcan. Si el sistema está cargado con una cantidad menor del nuevo refrigerante, agregue HFC-134a en incrementos de 5% con respecto al peso de la carga original de CFC-12. Continúe hasta que se logren las condiciones operativas deseadas.**

Las presiones de succión y descarga del compresor para el HFC-134a, después de estabilizarse el sistema, serán aproximadamente de 2 psi y de 10 a 20 psi, mayores que la operación normal del sistema con CFC-12, en los sistemas de temperatura media.

Es probable que se presente la necesidad de reajustar el cortacircuito de presión alta para compensar las presiones mayores de descarga del sistema con HFC-134a. Se debe proceder cuidadosamente para evitar exceder los límites operativos del compresor y los otros componentes del sistema.

13) Marque los componentes del sistema. Después de actualizar el sistema a HFC-134a, indique por medio de una etiqueta en los componentes del sistema, el nombre del nuevo gas y especifique el tipo de lubricante de poliolester (por nombre de marca) en el sistema. Esto asegurará que en el futuro se utilice refrigerante HFC-134a y el lubricante apropiado para su servicio.

### **Guía general para la conversión a gas MP-39 y MP-66, en los actuales equipos en operación.**

Anteriormente se citó lo de la problemática que se presenta en algunos sistemas de refrigeración al intentar la actualización a HFC-134a. Como alternativa a esto, se pueden utilizar los refrigerantes de transición MP-39 y MP-66. Estos refrigerantes se pueden usar para cubrir todo el rango de temperaturas de evaporación de las aplicaciones del CFC-12. Estas mezclas contienen hidroclorofluorocarbonos (HCFC's), productos químicos que actualmente están reglamentados.

El MP-39 es un refrigerante de actualización adecuado para los actuales sistemas en operación (Vitrinas, Cuartos de Refrigeración, Maquinas expendedoras de bebidas, Refrigeradores domésticos, etc.), en donde la temperatura de evaporación es mayor a -10 F (-23.3 C). El MP-66 es propuesto principalmente para la refrigeración de transporte, aunque también se puede aplicar a la refrigeración doméstica y comercial en donde la temperatura de evaporación es menor a -10 F.

En seguida se presenta una guía general para la conversión a mezclas MP's en los actuales sistemas de refrigeración en operación.

1) Verifique que el funcionamiento actual del sistema sea el adecuado, según los datos de operación normal. En caso de cualquier deficiencia, corrija y registre la información final de funcionamiento. La información debe incluir mediciones de temperatura y presión en todo el sistema ( evaporador, succión y descarga del compresor, condensador), el sobrecalentamiento del aparato de expansión y los amperes del compresor. Esta información será útil al ajustar el sistema con las mezclas MP durante la actualización.

2) Recupere la carga de CFC-12 del sistema empleando una máquina recuperadora certificada, capaz de cubrir o exceder los niveles requeridos de evacuación especificados (4 in Hg) en los Estados Unidos.

La carga debe ser recuperada en un cilindro, conforme al procedimiento establecido por la industria química. **NO SE DEJE ESCAPAR EL REFRIGERANTE.**

Es útil saber el tamaño recomendado de carga de CFC-12 para el sistema. Si no se le conoce, pese toda la cantidad de refrigerante retirado. Puede utilizar esta cantidad como medida para la cantidad de MP-39 o MP-66 a cargar en el sistema.

Antes de usar o manejar cualquier sustancia refrigerante, obtenga y revise cuidadosamente la hoja de seguridad para el producto, ver anexos B2 para MP-39 y B3 para MP-66.

3) Vacíe y mida el lubricante utilizando la línea succión del compresor. Con esto, es posible vaciar hasta el 95% del lubricante. No hay que olvidar que se debe retirar la mayor parte del aceite mineral del sistema antes de agregar el lubricante alquilbenceno.

Como la mayoría de compresores herméticos pequeños no tienen orificios para el vaciado del aceite, puede ser necesario retirar el compresor del sistema para vaciar el lubricante.

En el caso de sistemas más grandes se debe vaciar el aceite mineral desde puntos múltiples en el sistema. La mayor parte del aceite existente se puede vaciar desde la caja del cigüeñal del compresor.

Se debe presentar particular atención a las áreas bajas alrededor del evaporador, en donde con frecuencia se acumula el lubricante. También se debe vaciar el aceite mineral de los separadores y/o los acumuladores de succión de aceite.

Mida y registre el volumen de lubricante retirado del sistema. Compare esta cantidad con la cantidad recomendada por el fabricante para asegurar que se ha retirado la mayor parte del lubricante.

Este volumen también se utilizará como una guía para determinar la cantidad de lubricante de alquibenceno que se deberá agregar al cargar el compresor.

4) Llene y reinstale el compresor, cargándolo con el mismo volumen de lubricante de alquibenceno que el volumen de aceite mineral vaciado. Se recomienda emplear un aceite alquibenceno comercial del mismo grado de viscosidad que el aceite mineral para asegurar un funcionamiento óptimo. Consulte con el fabricante del compresor sobre el grado de viscosidad correcto.

En caso de que el compresor se haya retirado para vaciar el aceite, vuelva a instalarlo siguiendo las prácticas estándar de servicio recomendadas por el fabricante.

5) Evalúe el dispositivo de expansión, considerando que sea el adecuado para el buen funcionamiento del sistema. Un gran número de equipos con CFC-12 con válvulas de expansión, operan satisfactoriamente con los refrigerantes MP-39 y MP-66. Pero en los casos en que el sistema utilice tubo capilar, será necesario hacer algunas modificaciones para lograr un funcionamiento satisfactorio. Por ejemplo, se sugiere reemplazar el tubo capilar con uno del mismo diámetro pero con una longitud del 50 % mayor, otra opción sería reemplazar el tubo capilar con una válvula de expansión de tamaño apropiado.

En la mayoría de los casos se puede operar la unidad con el tubo capilar original, cargándola con una cantidad menor de la mezcla MP-39. El funcionamiento puede ser satisfactorio si se espera que las condiciones ambientales sean relativamente constantes. No obstante, si se espera la operación en un amplio rango de temperaturas de condensación, se puede presentar un funcionamiento poco deficiente a temperaturas de condensación altas y bajas.

Entre los problemas potenciales se incluiría una retroinundación de líquido y una sobrecarga del motor a temperaturas de condensación altas, así como una pérdida del sello de líquido que entra al tubo capilar a temperaturas de condensación bajas. Se recomienda consultar con el fabricante del equipo antes de hacer cualquier cambio o modificación.

6) Reemplace el filtro desecante, asegurándose previamente que éste sea compatible con las mezclas MP, para esto consulte a los especialistas.

En la actualidad muchos de los filtros desecantes estándar de llenado holgado o de núcleo sólido, que se usan comúnmente en equipos de refrigeración con CFC-12, son compatibles con las mezclas MP.

7) Conecte y evacúe el sistema siguiendo las prácticas normales de servicio para reconectar y evacuar el sistema. Los especialistas recomiendan la evacuación del sistema a un vacío completo de 1,000 micrones o menos en ambos extremos del lado de baja del sistema.

Tratar de evacuar un sistema con la bomba conectada solamente al extremo inferior del sistema no serviría para retirar adecuadamente la humedad y las sustancias no condensables tales como el aire.

Revise el sistema en cuanto a fugas, siguiendo prácticas normales de servicio.

8) Cargar el sistema con la mezcla MP apropiada, siguiendo los procedimientos de carga especiales con el fin de asegurar un funcionamiento óptimo del sistema. Al utilizar MP-39 o MP-66, es esencial que el sistema sea cargado con líquido, retirando sólo líquido del cilindro. Nunca cargue el sistema con vapor de un cilindro de MP-39. El cargar vapor

provocará una composición incorrecta del refrigerante y puede provocar pérdida en el funcionamiento del sistema.

Para evitar daños al compresor no cargue líquido directamente a la línea de succión de la unidad.

9) Cargue el sistema con la cantidad correcta del refrigerante seleccionado (MP-39 o MP-66). Generalmente, se requiere de una cantidad menor que la que se aplica utilizando CFC-12.

En sistemas con válvula de expansión o tubo capilar optimizado, la carga será de aproximadamente 90%, con respecto al peso de la carga original de CFC-12. Para sistemas en los que se haya decidido usar el tubo capilar original, será necesario cargar el sistema por debajo de la cantidad requerida para evitar una retroinundación de líquido hacia el compresor.

Se recomienda cargar el sistema de manera inicial con 70% del peso de la carga original de CFC-12. En el caso de aplicaciones de refrigeración de temperatura media, si la carga original de CFC-12 era de 100 lbs., cargue inicialmente 75 lbs. de MP-39 o MP-66 según el refrigerante seleccionado.

10) Poner en servicio el sistema y dejar que las condiciones se establezcan. Si el sistema está cargado con una cantidad menor, agregue refrigerante MP-39 o MP-66, según sea el caso, en incrementos de 5% con respecto al peso de la carga original de CFC-12. Continúe hasta las condiciones de funcionamiento deseadas.

Las presiones de succión del compresor para el MP-39 después de la estabilización, deberán encontrarse a aproximadamente 1 psi de operación normal del sistema con CFC-12, para la mayoría de los sistemas de temperatura media. Las presiones de descarga del compresor generalmente son de alrededor de 10 a 20 psi mayores que la operación normal del sistema con CFC-12.

Para el MP-66, la presión de succión será muy similar a la del CFC-12 con temperaturas bajas del evaporador (-20 F), pero puede ser hasta 8 o 9 psi mayor a temperaturas medias

(25°F). La presión de descarga puede ser de hasta 70 psi mayor al estar expuesto a condiciones ambientales extremas.

Puede ser necesario reajustar el cortacircuito de presión alta para compensar las presiones mayores de descarga del sistema con mezclas MP. Se debe evitar realizar este procedimiento cuidadosamente para evitar exceder los límites operativos recomendados del compresor y de otros componentes del sistema.

El uso de un aparato de expansión no optimizado para el sistema, tal como el tubo capilar original, hará que la unidad sea más sensible a la carga y/o a las condiciones operativa. Como resultado, el funcionamiento del mismo cambiará más rápidamente si está sobrecargado o tiene una carga menor de MP-39 o MP-66. Para evitar la sobrecarga es mejor cargar el sistema midiendo primero las condiciones operativas (incluyendo las presiones de descarga y succión, la temperatura de la línea de succión, los amperes del compresor y el sobrecalentamiento), en lugar de utilizar la mirilla de la línea de líquido como guía.

11) Identifique los componentes del sistema, después de actualizar con refrigerantes MP. Marque utilizando una etiqueta los componentes del sistema identificando el tipo de refrigerante (MP-39 o MP-66) y de lubricante (alquilbenceno) en el sistema. Esto ayudará a asegurar que en el futuro se utilizará refrigerante y lubricante apropiados para el servicio y mantenimiento al equipo.

### **IV.3 Programa para la Recuperación de los Gases CFC's, para la Eliminación Total de la Emisión de Estos a la Atmósfera.**

En coordinación Gobierno e Industria han elaborado un programa de recuperación de gases refrigerantes para evitar la emisión de éstos productos al medio ambiente, donde

como ya se sabe al finalizar su largo camino alcanzarían la estratosfera destruyendo la capa de ozono.

Por lo tanto, conscientes de la obligación de dar un uso responsable a los refrigerantes CFC's y ante la necesidad de mantener en operación los actuales equipos de refrigeración, se ha elaborado un programa de recuperación de gases.

Los objetivos generales que persigue éste programa son los siguientes :

- a) Eliminar las emisiones de gases CFC's que ocurren durante el mantenimiento, conversión al nuevo gas o servicio de los equipos de refrigeración.
- b) Ofrecer una bonificación económica a las personas que cumplan con ésta labor ecológica.

Para el cumplimiento de éste programa se podrán conseguir máquinas de recuperación, cilindros especiales, además de la información necesaria para comenzar el programa.

La recuperación de refrigerantes es una de las maneras más efectivas de disminuir la emisión de CFC's a la atmósfera, esto cobra un significado especial al pensar que el uso de éstos productos seguirá creciendo en México, y los sustitutos no tendrán uso masivo hasta dentro de algunos años.

En los E.U.A se ha encontrado que hasta el 48% de las emisiones de los CFC's proviene del mantenimiento y servicio a los sistemas de refrigeración. Desde éste punto de vista, la recuperación de CFC's no sólo arroja un beneficio ecológico, sino también económico, tomando en cuenta que el precio de los CFC's puede ir en aumento debido a las regulaciones en materia de producción y consumo.

El refrigerante podrá ser recuperado para su reproceso durante el periodo de servicio a los sistemas de refrigeración utilizando el equipo adecuado y los cilindros correspondientes.

Para comprender perfectamente a que se refiere el reproceso de refrigerantes, utilizaremos las siguientes definiciones de acuerdo con la American Refrigeration Institute (ARI).

**Recuperación** : Remover el refrigerante de algún sistema en cualquier condición y almacenarlo en un contenedor externo, sin analizarlo o re TRABAJARLO de alguna manera.

**Refrigerante Recuperado** : Refrigerante removido de algún sistema, con el propósito de reciclarlo, reprocesarlo o almacenarlo.

**Reciclado**: Reducir los contaminantes en refrigerante usado utilizando separación de aceite en uno o varios pasos a través de aditamentos como filtros intercambiables los cuales reducen acidez, humedad y partículas extrañas. Este término se aplica a procedimientos implementados en el taller o lugar de trabajo ( Se sobre entiende que no existen análisis químicos y que las propiedades de los refrigerantes no están garantizadas).

**Reproceso**: reproceso o re trabajo del refrigerante hasta devolverlo hasta especificaciones del producto nuevo, usando técnicas que pueden incluir la destilación. El análisis químico es necesario para asegurar que las especificaciones del producto sean alcanzadas. Este término se aplica regularmente a procesos o procedimientos disponibles únicamente en las instalaciones o plantas creadas para ellos.

El reproceso ofrece ventajas que lo hacen mucho más atractivo que el reciclado, siendo las más importantes las siguientes:

- a) Inversión mínima ( Hasta seis veces menos que el reciclado).
- b) Análisis químico y físico del producto antes del reproceso.

En México, la industria química cuenta con instalaciones con la mejor infraestructura para la **recuperación, reproceso y análisis** de clorofluorocarbonos. Con el propósito firme de

alcanzar buenos resultados en el programa de recuperación de gases refrigerantes, la industria química se ha preocupado por disponer de los mejores equipos, así como envases específicos para la recuperación de cada refrigerante; y no sólo eso, sino que ha decidido manejar ciertas especificaciones para poder efectuar un reproceso de calidad. A continuación se citan algunas de las características que deben cumplir los refrigerantes recuperados, así como los envases específicos en los que se deberán recuperar, además se mencionan algunos aspectos que deberán considerarse durante la recuperación.

<b>Especificación de Producto Recuperado (Límite de Contaminantes Permitido)</b>		
<b>Propiedad</b>	<b>Mínima / Máxima</b>	<b>Especificación</b>
<b>CFC-12</b> Pureza (Excluyendo aceite) Humedad Acidez: PH Aceite	Minima Maxima Minima Maxima	99.5% (Peso) 80 PPM (Peso) 3.5 30% (Vol.)
<b>CFC-11</b> Pureza (Excluyendo aceite) Humedad Acidez: PH Aceite	Minima Máxima Minima Máxima	99.5% (Peso) 100 PPM (Peso) 3.5 30% (Vol.)
<b>HCFC-22</b> Pureza Humedad Acidez: PH Aceite	Minima Maxima Minima Maxima	99.5% (Peso) 200 PPM (Peso) 3.5 30% (Vol.)

**Nota : Estos refrigerantes no deben ser mezclados entre sí mismos, con otros refrigerantes o con otros materiales que no sean refrigerantes recuperados**

### **Instrucciones de Envasado y Embarque**

Como cada refrigerante será recuperado en un envase especial, sólo incluiremos en éste trabajo las especificaciones del envase para el CFC-12, que es el refrigerante en estudio.

El envase que se utilizará para la recuperación del CFC-12, será un cilindro de capacidad 66 o 13.5 Kg. WC (capacidad de agua).

**Precauciones de seguridad en manejo de productos de fluorocarbono.**-Antes de llenar los cilindros o manejar cualquier producto de fluorocarbono, consiga y estudie la Hoja de Datos de Seguridad del Producto correspondiente al material específico. Lea siempre la etiqueta del producto, maneje los envases en lugares con ventilación adecuada, nunca exponga los productos a llamas, chispas o superficies calientes y no use epinefrina en el tratamiento de una sobrexposición.

**Procedimiento de envasado.**- Los cilindros deben llenarse conforme al peso . Por ejemplo, el máximo peso permitido de cualquier refrigerante que pueda recuperarse en un cilindro de 66 kgs. W.C, es de 53 kgs.

Consecuentemente, es esencial una báscula para el envasado seguro y correcto, asimismo, se requiere un maníful de manómetro ajustable, para asegurarse que la presión al cargar el envase no sobrepasa los 300 psi.

Use la siguiente guía para el llenado de cilindros :

- 1) Antes de llenar el cilindro de recuperación identifique el refrigerante que va a recuperar y asegúrese que el cilindro esté marcado e identificado (etiquetado) para ese refrigerante. No mezcle diferentes gases refrigerantes en un mismo cilindro.
- 2) Quite el sello de seguridad y aplique la etiqueta del producto.
- 3) Verifique el número de serie contra la Etiqueta de Control del Cilindro.
- 4) Inspeccione el cilindro para asegurarse que no tenga abolladuras, raspaduras o corrosión. No llene cilindros dañados.

**5) Inspeccione las válvulas para ver sino están dañadas y funcionan fácilmente. NO llene cilindros con válvulas dañadas.**

**6) Cierre bien la válvula al alcanzar el peso bruto marcado o la presión de 300 psi.**

Asegúrese de tener una báscula exacta para pesar el cilindro y su contenido, manifold de manómetro ajustable adecuado, mangueras y conectores apropiados. Cheque que el cilindro esté parado libremente sobre la báscula, sin que su movimiento sea limitado por las mangueras, conexiones, etc.

Vigile el peso bruto al envasar. No llene de más el cilindro. Un cilindro llenado de más puede rajarse y producir lesiones graves e incluso la muerte. Observe, la presión atentamente durante el envasado. No permita que la presión pase de 300 psi.

Finalmente, anote el peso bruto y la identificación del remitente en la etiqueta de control del cilindro. Firme la certificación e inserte la etiqueta en el sobre plástico y sujétela a la válvula. Ponga el sello de garantía a la válvula y asegúrese de adjuntar la etiqueta de control de cilindro. Sujete la etiqueta al rombo de la tapa de la válvula.

**Almacenaje, manejo y embarque.-** Almacene en una bodega seca o en un espacio cerrado, apartados del calor, llamas, sustancias o emanaciones corrosivas y explosivos. Las sustancias corrosivas pueden provocar daños en las roscas de las válvulas y en los cilindros mismos. Mantenga los envases alejados de la luz directa del sol, especialmente en época de calor.

Para evitar que los cilindros se dañen deben permanecer siempre elevados; para ello puede utilizarse una plataforma o rieles paralelos. Todos los envases deben estar bien sujetos en su lugar, ya sea mediante cadenas o cuerdas, para que no se rueden, inclinen o choquen accidentalmente entre si con cualquier otro objeto.

Para prevenir accidentes lea todas las etiquetas de los productos y siga estas recomendaciones:

-Mantenga la tapa de vaciado y la tapa de salida de la válvula perfectamente atornilladas al cuello del cilindro, salvo al recuperar el refrigerante.

-Nunca deje caer un cilindro. Manténgalo bien sujeto y en posición vertical.

-Nunca golpee los recipientes con martillos ni cualquier otra herramienta. Tenga cuidado de no abollar, cortar o raspar el cilindro o la válvula.

-Nunca aplique vapor o una llama directa al cilindro.

-No levante el cilindro tomándolo de la tapa de la válvula o de la válvula misma.

-Nunca quite la válvula ni trate de repararla usted.

-No manipule el mecanismo de seguridad.

-No borre ni intente alterar las marcas permanentes del cilindro.

-Proteja el cilindro contra la humedad, sales o sustancias y atmósferas corrosivas de cualquier índole.

-Siempre abra la válvula lentamente.

-Cierre bien la válvula después de usarla.

-No intente usar el cilindro si está oxidado o muestra cualquier otra condición de deterioro; repórtelo con el personal adecuado para desecharlo.

**Instrucciones de embarque :**

- Apriete las válvulas de los cilindros y confirme que no haya fugas.
- Aplique el sello de garantía a la válvula.
- Anote toda la información requerida en la Etiqueta de Control del Cilindro e insértela en un sobre de plástico que viene sujeto a la válvula.
- Sujete la cubierta protectora de la válvula.
- Sujete la etiqueta Gas No Flamable a la misma cubierta.
- Asegúrese que el cilindro lleve la etiqueta que le corresponde.

Estos son sólo algunos de los aspectos que hay que considerar en la recuperación de gases refrigerantes. Es importante mencionar que el reproceso se efectuará mientras se sigan usando los CFC's en los equipos ; y esto a su vez dependerá de la fecha en que se deberá de dejar de producir los CFC's, según el programa establecido por el gobierno mexicano referente a la eliminación total de CFC's.

## **CAPITULO V**

---

**EVALUACIÓN DE LA CONVERSIÓN A UN  
REFRIGERANTE ALTERNO (HFC-134A O  
MEZCLA MP) DE UNA CÁMARA DE  
CONSERVACIÓN DE FRUTAS Y VERDURAS  
GILVERT COPELAND MOD. A-500.**

En la actualidad, la conversión al nuevo refrigerante HFC-134a en la industria de la refrigeración doméstica y comercial, ha empezado ya desde los equipos de fábrica, es decir los sistemas de refrigeración son diseñados para trabajar eficientemente con los refrigerantes (nueva generación) compatibles con el medio ambiente. Esto significa que actualmente podemos comprar equipo y partes componentes que sean compatibles para trabajar con el HFC-134a, lo cual , es de gran importancia dado que en el reacondicionamiento de algunos equipos de refrigeración en operación que trabajaban con CFC-12, se podría presentar la necesidad de cambiar alguno de los componentes principales del sistema.

En la actualización al nuevo refrigerante HFC-134a y ya dentro del reacondicionamiento de los equipos de refrigeración en operación , se han suscitado algunas controversias en lo que se refiere a si se deberá reacondicionar el equipo que actualmente trabaja con CFC-12 o no, algunos fabricantes de equipo argumentan que mientras los sistemas estén trabajando bien , esto es, que no presenten fugas de CFC-12, no hay ningún problema; la contribución hacia la destrucción de la capa de ozono queda descartada.

Mientras que otros esperan impacientemente el cambio de CFC-12 , dado que la situación en la capa de ozono se inclina más a la pronta actualización a HFC-134a.

En relación a esto último sobre la preocupación por menguar el efecto que causan los refrigerantes CFC-12 a la atmósfera, la industria química propuso sustancias refrigerantes (mezclas MP ) compuestas con HCFC-22, HFC-152a y HCFC-124, no solo capaces de igualar el rendimiento sino hasta en sus características fisico-químicas y de seguridad (ver anexo B3).

A continuación se presenta una tabla que hace una breve comparación de propiedades entre los refrigerantes cfc-12 y mezclas MP, ella muestra su similitud.

<b>PROPIEDADES DE REFRIGERANTES</b>	<b>CFC-12</b>	<b>MP-39</b>	<b>MP-66</b>
Número ASHRAE	R-12	R-401A	R-401B
Peso Molecular	120.9	94.4	92.9
Punto de ebullición a 1 Atm. (°F)	-21.6	-26.5	-29.5
Punto de congelamiento a 1 Atm. (°F)	-252	-	-
Temperatura crítica (°F)	234	228.7	226.4
Presión crítica (psia)	597	600.0	596.1
Densidad saturada de líquido a 86°F (lbs/cu.ft)	80.7	74.0	74.0
Calor específico de líquido a 86°F (Btu/lb °F)	0.24	0.30	0.30
Calor específico de vapor a presión constante (Cp) a 86°F y 1 Atm (Btu/lb °F)	0.15	0.18	0.17
Relación de calor específico de vapor (k=Cp/Cv) a 86°F y 1 Atm.	1.14	1.15	1.15
Flamabilidad y Explosividad (basada en ASHRAE estándar 34)	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Clasificación de grupo de seguridad, ANSI-ASHRAE estándar 34-199	A1	A1/A1	A1/A1

La tabla anterior, así como la información con la que se cuenta en la actualidad sobre las mezclas MP confirman que son capaces de sustituir al CFC-12. Pero como era de esperarse, esta acción solo disminuye sin erradicar el problema de contaminación ambiental. Estas sustancias conocidas comercialmente como MP-39 y MP-66 solo serán de transición, es decir, serán producidas durante el tiempo de vida que queda a los sistemas en operación diseñados para trabajar con CFC-12. Dado que las mezclas MP incluyen todavía cloro por los componentes que la integran (aunque los HCFC's según se ha mostrado, destruyen el ozono estratosférico 97% menos que los CFC's), estas están programadas para desaparecer en el año 2030.

Aunque los productores de refrigerantes y fabricantes de equipo de refrigeración se han esforzado para elaborar las guías para el reacondicionamiento al nuevo gas HFC-134a en los equipos actualmente en operación con CFC-12; las situaciones que se han generado respecto al reacondicionamiento muestran cierta inclinación hacia las mezclas MP que ha HFC-134a.

Esto no significa que el HFC-134a sea ineficiente, de hecho es el refrigerante del futuro (actualmente la fabricación de equipos en refrigeración y todos los cálculos y selección de equipo para diseño de cámaras, se hacen pensando en el HFC-134a), es solo que existen dos razones principales que se han considerado para el reacondicionamiento en equipos actualmente en operación: la primera es que el reacondicionamiento a gas HFC-134a plantea algunos aspectos de orden económico, lo cual ha provocado que las mezclas ganen terreno en los reacondicionamientos en equipos que actualmente están en operación con CFC-12. La segunda razón, es que el tiempo que el gobierno mexicano ha dispuesto para desaparecer los refrigerantes MP's es más que suficiente para terminar su vida útil los actuales sistemas en operación.

A lo largo del capítulo se analizan las dos posibles alternativas (HFC-134a y mezclas MP) para efectuar un reacondicionamiento a una cámara de conservación de frutas y verduras, se determina cual es la mejor opción y el porque, citando los cambios correspondientes y la descripción para realizar el reacondicionamiento, así como también se hace una evaluación de los costos de cambios y modificaciones en el sistema, así como de la mano de obra.

### **V.1 Elección de la Mejor Opción de un Refrigerante para un Reacondicionamiento de una Cámara de Conservación de Frutas y Verduras, Marca Gilvert Copeland mod. A-500; Considerando los Cinco Aspectos Básicos para Efectuar un Retrofit.**

Ya en capítulo anterior se ha mencionado que los cambios posibles para un reacondicionamiento en los sistemas actualmente en operación no se pueden generalizar, por que estos pueden depender de algunos factores relacionados con el diseño del sistema. Lógicamente, en la medida en que se haga un mayor número de modificaciones, el costo del retrofit (reacondicionamiento de un sistema que incluye el cambio de refrigerante) aumentará proporcionalmente.

Por estas razones, con la finalidad de hacer una evaluación del costo y de las modificaciones necesarias para un caso particular, hemos decidido efectuar una evaluación de un retrofit a una cámara de conservación de frutas y verduras.

Dentro de la red de tiendas GIGANTE, se cuenta con un sistema de refrigeración comercial, el cual se analizó para determinar la mejor alternativa refrigerante para realizar un retrofit. Este equipo es una cámara de conservación de frutas y verduras marca Gilvert Copeland mod. A-500.

Lo que motivó a contemplar este retrofit fue principalmente, el concientizar el daño que provoca la emisión de CFC-12 a la atmósfera, así como la presión que se ha venido generando debido a la desaparición gradual de CFC-12 del mercado como consecuencia de la eliminación total de la producción de CFC-12 en México para el año 2000.

Esto es lo que ha influido en la toma de decisiones por parte de los dueños de los equipos de refrigeración para la pronta actualización de los sistemas a nuevas alternativas de refrigerantes que disminuyen y eliminan la contribución a la destrucción de la capa de ozono.

La actualización o reacondicionamiento a refrigerantes alternos (HFC-134a y Mezclas MP) en los actuales sistemas de refrigeración en operación, se ha convertido en un verdadero análisis de aspectos que pretenden aportar la mejor alternativa en costo y eficiencia.

Entre los aspectos más importantes que se han considerado para convertir un sistema de refrigeración, se encuentran : 1) la consideración del tiempo de vida del equipo y condiciones de operación actual, 2) diseño de la capacidad de refrigeración del equipo, 3) compatibilidad de la mezcla refrigerante/lubricante con plásticos y elastómeros, 4) rango de temperaturas de evaporación y 5) costo del cambio o retrofit del equipo.

A continuación se dan las características del sistema de refrigeración al cual se le pretende hacer el retrofit :

#### **Datos y características del sistema de refrigeración**

Tipo : Cámara de conservación de frutas y verduras .

Fabricación del equipo : Gilvert Copeland.

Modelo : A-500.

Refrigerante : CFC-12.

Capacidad : 2 T.R

#### **Compresor**

Marca : Copeland- tipo 83, abierto, aceite mineral, temperatura media,  $R_c = 5.1$ .

Motor del compresor : ASEA, 5 HP.

#### **Condensador**

Marca: Gilvert Copeland mod. A-500, enfriam. aire.

Motor del condensador : ASEA mod. MM-112BA, 5 HP, 1 ventilador.

#### **Evaporador**

Marca: FMQ mod. MA-92, Num. de ventiladores 4.

Tipo: Expansión seca, serpentín, controlado por válvula termostática.

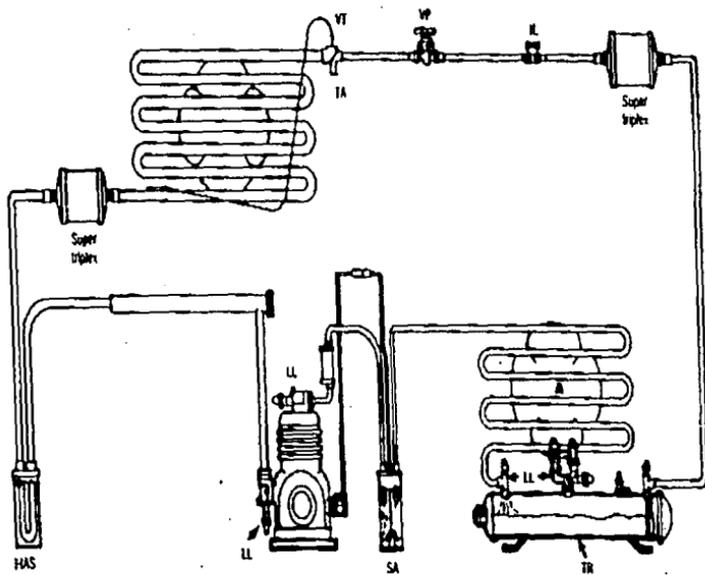
#### **Deshidratador :**

Marca : Hermetic mod. R-500-16, relleno suelto.

#### **Válvula termostática**

Marca : hermetic mod. VT-200, 2 T.R

En seguida se muestra un diagrama que muestra las partes componentes del sistema de refrigeración, en donde : VT( válvula termostática), VP (válvula de paso), IL (indicador de líquido), HAS (acumulador de succión), SA (separador de aceite), TR (tanque receptor) y LL (llaves).



### **Evaluación del sistema de refrigeración con respecto a los 5 aspectos básicos para efectuar un retrofit .**

Esta evaluación se llevará a cabo considerando los refrigerantes HFC-134a y mezclas MP para el reacondicionamiento, así como los posibles cambios, modificaciones y costos para cada una de las sustancias en la conversión de la cámara de conservación de frutas y verduras. En base a esto se definirá cual es el refrigerante adecuado a utilizar en el retrofit para el equipo específico.

#### **1) Tiempo de vida del equipo y condiciones de operación actual.**

Este punto es de gran importancia, pues el tiempo que queda de vida al equipo plantea dos alternativas:

Si las condiciones de operación son normales pero el tiempo de vida es corto o mediano, probablemente será mejor elegir un refrigerante MP. Con esto se terminará el tiempo de vida útil del equipo y el posible grado de destrucción de la capa de ozono en caso de que se emita refrigerante MP al medio ambiente disminuye.

La otra alternativa es que si el tiempo de vida es largo, lo más conveniente es optar por HFC-134a (a parte hay que considerar otros factores como compatibilidad de plástico y capacidad de enfriamiento del equipo), pues este es un refrigerante definitivo y nos evitara el trabajo y costo de hacer un doble retrofit, primero a MP y posteriormente a HFC-134a, no hay que olvidar que el MP, solo es de transición.

Para nuestro caso, el tiempo de vida del sistema es corto, pues su servicio comenzó a finales de los setentas y el estado del equipo es regular, aunque las condiciones de operación son las requeridas.

En lo que se refiere a éste primer punto y en relación al reacondicionamiento a HFC-134a, dado que nuestro equipo es de fabricación Gilvert Copeland, se ha estipulado que el retrofit

a HFC-134a puede llevarse a cabo solo en equipos cuyo compresor sea de modelos de los 80's en adelante.

Puesto que nuestro equipo no cumple con esta premisa, será viable el retrofit a HFC-134a, solo si se efectúa un cambio del compresor a uno que sea compatible con el nuevo refrigerante; en cuanto a la capacidad (es necesario mencionar que el nuevo refrigerante maneja presiones de descarga mayores que con el CFC-12), esto es debido a las diferentes propiedades físicas del HFC-134a. A consecuencia de las presiones de descarga más altas, será necesario incrementar la capacidad de condensación.

Esto último se puede conseguir aumentando la capacidad del condensador o mejorando el flujo de aire a través del condensador. Además será necesario hacer otros cambios de algunos accesorios del sistema por causa de incompatibilidad de plástico y elastómeros (empaques, orings, sellos de flecha, entre otros) con la mezcla refrigerante/lubricante (HFC-134a/poliolester), estos se tratarán en el punto 3.

Como resultado de esta primera evaluación, se puede observar que por el corto tiempo de vida del equipo, es conveniente el retrofit a refrigerante MP.

## 2) Diseño de la capacidad de refrigeración del sistema.

Este punto se refiere a si la cámara fue diseñada con mayor capacidad de refrigeración que la requerida (muchos sistemas han sido diseñados con una capacidad sobrada), dependiendo del caso se procederá a actuar. De preferencia deberá ser sobrada para prevenir una posible disminución en el rendimiento del equipo, ya que como se sabe el HFC-134a solo es semejante en su desempeño al CFC-12. En caso de que la capacidad sea la justa o necesaria se procederá a hacer otras modificaciones.

En el caso de reacondicionar con mezclas MP, las pruebas de campo realizadas por DUPONT han demostrado que la capacidad de refrigeración se mantiene o incluso hasta han aumentan en un 10% en el desempeño del sistema.

Por lo anterior para evitar una posible disminución en el rendimiento con HFC-134a, y asegurar la eficiencia del sistema , se optará por la mezcla MP.

### 3) Compatibilidad de la mezcla refrigerante /lubricante con plásticos y elastómeros.

Este punto se refiere a la importancia que tiene la prevención de posibles reacciones entre los materiales con que se fabrican empaques, sellos de flecha, orings, etc. y la mezcla refrigerante/lubricante en el reacondicionamiento a refrigerantes ecológicos alternos. Pruebas realizadas por los fabricantes de refrigerantes han demostrado que no existe una familia de plásticos o elastómeros que sean compatibles con los refrigerantes alternos HFC-134a y mezclas MP.

Con respecto a un reacondicionamiento con mezclas MP, se sabe que el lubricante que es miscible y que ha sido recomendado para utilizarse con mezclas MP, es un lubricante de alquilbenceno. Esto es de gran valor puesto que en la actualidad hay muchos equipos de refrigeración que trabajan con CFC-12 y que utilizan lubricante alquilbenceno. Esto significa que los materiales de construcción de empaques , orings , etc. que se utilizan con refrigerante CFC-12 y como lubricante un alquilbenceno o aceite mineral, son compatibles con la mezcla refrigerante/lubricante (MP,alquilbenceno), lo cual representa una gran ventaja porque no se necesitara hacer muchos cambios y modificaciones en el retrofit, sino únicamente los cambios indispensables (lubricante, filtro deshidratador y refrigerante) , lo cual representa un gran ahorro económico.

En lo que se refiere al reacondicionamiento del sistema de refrigeracion con HFC-134a y en relación al punto de compatibilidad con plásticos y elastómeros, los cambios serán considerables, puesto que la mezcla refrigerante /lubricante (HFC -134a/poliolester) no es compatible con la mayoría de los materiales que usualmente se empleaban para la fabricación de empaques, sellos, etc. ( accesorios que manejaban mezcla CFC-12/aceite mineral). Por lo tanto, será necesario efectuar varios cambios de accesorios, esto con la

finalidad de evitar posibles reacciones entre los plásticos y elastómeros y la mezcla HFC-134a/poliéster.

Algunos materiales que se recomiendan para manejar la mezcla HFC-134a/poliéster son el hialón 48, neopreno o hule de hidrocarburo NORDEL, Buna -N .

En seguida se citan las partes componentes que se tendrían que cambiar en la cámara de conservación de frutas y verduras por incompatibilidad con la mezcla HFC-134/poliéster y por la diferencia de relaciones presión-temperatura, entre otros aspectos : filtro deshidratador lado líquido, indicador de líquido y humedad, válvula de paso, presostato de alta y baja, presostato diferencial de aceite, válvula termostática de expansión, filtro deshidratador de la de succión, separador de aceite, acumulador de succión y filtro de succión. Esto sin duda alguna afectaría el costo del reacondicionamiento con HFC-134a ( la cotización referente a los cambios, se tratará en el punto 5).

#### 4) Rango de temperaturas de evaporación.

Este aspecto es de suma importancia, puesto que en el retrofit con HFC-134a, la industria química aconseja que las temperaturas de evaporación deseables en la operación de los equipos que experimentarán un retrofit, debe ser de -7°C a +7°C (temperatura media). Esto es porque el desempeño del HFC-134a es favorable en este rango de temperaturas. Esto no significa, que no se pueda aplicar en otras temperaturas de evaporación, se puede aplicar pero bajo el riesgo de que podría disminuir el rendimiento y capacidad del sistema.

Para nuestro caso, la cámara de conservación está dentro del rango de temperaturas de evaporación, puesto que maneja temperaturas de 0°C a 6°C. Por lo tanto, el HFC-134a puede ser empleado como refrigerante en la cámara de conservación.

Con respecto al reacondicionamiento con mezclas MP, es importante mencionar que para cubrir el amplio rango que abarcaba el CFC-12, fue necesario desarrollar dos sustancias refrigerantes con los mismos componentes pero en diferentes proporciones, cada una de estos refrigerantes recibe el nombre comercial de MP-39 y MP-66. La mezcla MP-39, es un

refrigerante que puede ser usado en sistemas que manejan temperatura media, su rango de en temperaturas de evaporación es de -23°C a 7°C (-10 °F a 45°F). En lo que respecta al refrigerante MP-66, es recomendado para aplicaciones en sistemas refrigeración donde la temperatura de evaporación es de -40°C a -23°C (-40°F a -10°F). A continuación se presenta una tabla que muestra los porcentajes en peso de la composición de cada una de las mezclas MP.

Refrigerante Actual	Sustituye	Temperatura de Evaporación	Composición en Peso
CFC-12	MP-39	-23°C a 7°C (-10°F a 45°F)	52% hfc-22 15% hfc-152a 33hfc-124
CFC-12	MP-66	-40°C a -23°C (-40°F a -10°F)	60% hfc--22 13% hfc-152a 27% hfc-124

Para nuestro caso, el refrigerante que podemos aplicar es el MP-39 puesto que abarca el rango que maneja la cámara de conservación.

##### 5) Costo del reacondicionamiento o retrofit.

En la elección del refrigerante a utilizar en el reacondicionamiento de la cámara de conservación de frutas y verduras, el costo juega un papel decisivo e importante. Esto es de consideración si pensamos en la cantidad de cambios y modificaciones que tendríamos que realizar al considerar cada una de las alternativas (HFC-134a y mezcla MP-39) aunado al costo de mano de obra total.

Para darnos una idea en relación al costo del reacondicionamiento de la cámara de conservación a un gas refrigerante (HFC-134a o mezcla MP-39), se ha hecho una cotización contemplando todo lo necesario para efectuar el retrofit.

A continuación se presentan dos tablas que incluyen los costos de los accesorios marca y sus características técnicas, refrigerante , lubricante y mano de obra para la conversión de la cámara de conservación de frutas y verduras . Cada una de estas cotizaciones se hizo en relación a los refrigerantes HFC-134a y mezclaMP-39.

<b>REFRIGERANTE MP-39</b>			
<b>Componentes del sistema</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P.U (DL)</b>	<b>Costo (DL)</b>
Filtro deshidratador lado liquido Marca : Valvcontrol TCH-307S	1	17,39	17,39
Refrigerante (mezcla MP-39) kg. Marca : Suva MP-39 (Dupont)	13.6	12,25	166,6
Aceite lubricante (alquilbenceno) lts. Marca : Ararat 150 (Sun chill)	4	6	24
		Total	207,99
Mano de obra	1	198,67	198,67
		<b>TOTAL</b>	<b>406,66</b>
		NS	3192,281

<b>REFRIGERANTE HFC-134A</b>			
<b>Componentes del sistema</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P.U (DL)</b>	<b>Costo (DL)</b>
Compresor : marca Copeland , mod. 2DC3-050E-TF, 220v 3 fases, 60 hz.	1	1858	1858
Separador de aceite Marca : Valvcontrol, mod. SA503	1	74,48	74,48
Filtro deshidratador lado liquido Marca : Valvcontrol, mod. TCH-307S	1	17,39	17,39
Indicador de liquido y humedad Marca : Valvcontrol, mod. ILH-78S	1	15,80	15,80
Válvula de paso Marca : Valvcontrol, mod. HP-B-7ES	1	16,58	16,58
Presostato de alta y baja Marca: DANFOSS, mod AP5 060-1173	1	102,11	102,11

## Continuación

Presostato diferencial de aceite Marca : DANFOSS, mod. MP 55	1	183,84	183,4
Válvula termostática de expansión Marca : Valycontrol, mod. AFA-2-SZ	1	28,74	28,74
Acumulador de succión Marca : Valycontrol, mod. AS-5169-11	1	63,48	63,48
Filtro de succión Marca : Valycontrol, mod. TSF-5011S	1	35,32	35,32
Filtro deshidratador lado de succión Marca : Valycontrol, mod. TS-4811S	1	72,21	72,21
Refrigerante R-134a (kg) Marca : Suva-134a (DUPONT)	13,6	9,5	129,2
Aceite lubricante P.O.E (Lt) Marca : Mobil Oil, tipo. Artic 22cc	12	8,25	99
		Total	2695,71
Mano de obra	1	1.196,02	1.196,02
Motor eléctrico de 1 Hp (P/condensador)	1	242,78	242,78
Aspa para ventilador	1	10,19	10,19
		<b>TOTAL</b>	<b>4144,7</b>
		NS	32535,89

Las tablas anteriores muestran la información recopilada de cambios y modificaciones que se tienen que efectuar al reacondicionar la cámara de conservación, esta información manifiesta la notable diferencia económica que existe entre un retrofit con refrigerante MP-39 y con HFC-134a.

Es importante mencionar que los cambios con respecto a un retrofit con MP-39 son mínimos por dos aspectos principalmente : la gran compatibilidad entre la mezcla MP-39/alquilbenceno y los materiales plástico y elastómeros de construcción que se utilizaban con CFC-12, y que el compresor actual es el adecuado para satisfacer los requerimientos del sistema. Por lo tanto, el costo del reacondicionamiento a MP-39 de la cámara de conservación es reducido al compararlo con un retrofit a HFC-134a.

Cabe señalar que el costo de un reacondicionamiento a HFC-134a sea incrementado considerablemente por los siguientes aspectos : la incapacidad del actual compresor en los requerimientos del sistema para manejar refrigerante HFC-134a, la incompatibilidad de los materiales de construcción con la mezcla HFC-134a/poliolester, aunque, es importante aclarar que si bien, la tabla referente al HFC-134a, muestra una gran cantidad de cambios , éstos son en gran medida por incompatibilidad, pero además influyen otros aspectos . Por ejemplo, los cambios de presostatos se harán por las nuevas relaciones de presión temperatura que maneja el nuevo refrigerante. El cambio de filtros de succión y deshidratador se harán por que los actuales son incompatibles con el nuevo refrigerante, además de que cambian como practica comun de mantenimiento. Otra de las razones que justifica el cambio de accesorios como el separador de aceite y acumulador de succion, es que en un retrofit con HFC-134a se debe evitar al máximo los residuos de aceite mineral y lubricante de alquilbenceno comúnmente usados como lubricantes en sistemas de refrigeración que manejan CFC-12, en estos accesorios se suele acumular el lubricante ( es indispensable que los residuos de aceite mineral o alquilbenceno en un sistema que experimenta un retrofit a HFC-134a sean menores a 5% en peso del lubricante total empleado en es sistema), aunado a esto , la tabla de modificaciones y cambios referente a HFC-134a, incluye una cantidad de litros de lubricante poliolester (12 lts.), esto se debe a los dos lavados que se tiene contemplados realizar en el sistema, con dos cargas en el compresor durante un periodo de 24 a 48 hrs con el sistema en operación, esto se hara con la finalidad de disminuir aun mas los residuos de aceite mineral o lubricante alquilbenceno. La razón que justifica la cotización de un motor electrico y el aspa de ventilador es porque como se manejarán presiones más altas de descarga, se requerirá aumentar la capacidad de condensación y esto se conseguirá aumentando el flujo de aire a través del condensador.

Todos los cambios y modificaciones contempladas para realizar los reacondicionamientos con cualquiera de los dos refrigerantes, se hizo buscando principalmente condiciones de operación optimas a un bajo costo. Los resultados hasta ahora obtenidos en la aplicación de los cinco aspectos básicos para efectuar un retrofit muestran que seria posible hacer un reacondicionamiento de la cámara de conservación de frutas y verduras con cualquiera de

los dos refrigerantes, sólo que, aspectos como la consideración del tiempo de vida del equipo y la diferencia en cuanto al costo para efectuarlo es muy marcada. Este último aspecto es un factor que influye indudablemente en la elección del refrigerante para el retrofit de la cámara de conservación.

Basados en los resultados que arrojaron las cotizaciones relacionadas con el reacondicionamiento para la cámara de conservación, hemos visto porque se ha elegido al refrigerante MP-39 como sustancia de trabajo para el retrofit del equipo antes mencionado. Esta decisión, no sólo se hizo considerando el punto de vista económico y energético, sino que también se ha pensado en el aspecto ecológico, pues se sabe que el refrigerante MP-39 por su composición ( los HCFC's son hasta en un 97% menos agresivos contra la capa de ozono comparados con los refrigerantes CFC's) es mucho menos que el CFC-12. Además, el gobierno mexicano pretende desaparecer el MP-39 hasta el año 2030, lo cual proporciona el tiempo suficiente como para terminar su vida útil el actual sistema.

En el siguiente punto de este capítulo, se trata de los aspectos técnicos del reacondicionamiento de la cámara de conservación, se cita el equipo y accesorios necesarios, así como los pasos para efectuar el retrofit a MP-39.

## **V.2 Desarrollo del Reacondicionamiento con Refrigerante MP-39 de la Cámara de Conservación de Frutas y Verduras, Marca Gilvert Copeland mod. A-500.**

Una vez que se ha determinado realizar el retrofit con MP-39, describiremos el procedimiento para efectuarlo. Primeramente, se prepara el equipo y accesorios necesarios para el reacondicionamiento. A continuación se presenta una lista de ellos :

**-Guantes y lentes (equipo de seguridad).**

**-Manómetros de alta y baja.**

Marca : TIF instruments, inc.

Modelo : 9575-Glicerín.

**-Termómetro electrónico de tres puntas.**

Marca : Cooper Instruments Corporation.

Modelo : 5H66A.

**-Bomba de vacío.**

Marca : JB

Modelo : Fast Vac

Capacidad : ½ HP

**-Báscula electrónica.**

Marca : TIF Instruments, inc.

Modelo : TIF 9025

**-Amperímetro de gancho.**

Marca : Aprobe Instruments

**-Máquina recuperadora y recicladora de gas de refrigerante**

Marca : Totalclaim

Modelo: Total line

**-Bomba de extracción de aceite**

Marca : HS-25

**-Herramientas auxiliares.**

**-Contenedor para el lubricante extraído.**

**- Tabla de temperatura y presión de HFC-134a.**

**Lista de accesorios**

-Filtro deshidratador del lado líquido.

Marca : Valycontrol

Modelo : T-500-16

-Cilindro de refrigerante Suva MP-39 (13.6 kg)

Marca : Dupont

-Aceite lubricante Alquilbenceno

Marca : Ararat-150 (Sun chill)

**Pasos a seguir para el reacondicionamiento de la cámara de conservación de frutas y verduras.**

1.- Con el refrigerante CFC-12 todavía cargado en el sistema de refrigeración, se ha efectuado una revisión para verificar que el equipo este exento de fugas, asegurando con esto, que la carga de refrigerante es la adecuada. También se ha confirmado y registrado que las condiciones de operación son las correctas.

El registro de estas condiciones de operación, proporcionará la base de datos para ajustar y optimizar el equipo reacondicionado con el refrigerante MP-39. Esta información junto con otros datos del sistema han quedado registrados en un formato conocido como Hoja de Datos del Sistema. En seguida se muestra este formato con la información recopilada.

## HOJA DE DATOS DEL SISTEMA RETROFIT

Tipo de sistema / lugar : Camara de conservación de frutas y verduras

Fabricación del equipo :	<u>Gilvert Copeland</u>	Fabricación del compresor	<u>Copeland</u>
No. de modelo :	<u>A-500</u>	No. de modelo :	<u>Tipo-83</u>
Volumen de carga de CFC-12 :	<u>13 kg (estimado)</u>	Tipo de lubricante :	<u>Aceite mineral</u>
Marca del deshidratador :	<u>Hermetic</u>	Volumen de carga :	<u>4 Lts.</u>
No. de modelo :	<u>R-500-16</u>	Tipo de deshidratador :	<u>Relleno suelto</u>

Medio de enfriamiento del condensador : Aire

Dispositivo de expansión : Válvula de expansion

Control / punto de ajuste : Normal de fábrica

Lugar del sensor : Línea de succión del evaporador

Otros controles del sistema. Describa : Control de presión marca Rimsa-Saginomiya

Tipo alta-baja, paro y arranque. \_\_\_\_\_

Fecha / Hora	09/Dic/96 10:21 hrs
Refrigerante	R-12
Volumen de carga	13.0
Temperatura ambiente (°C)	25.1
<b>Compresor:</b>	
Temperatura de succión (°C)	24.5
Presión de succión (psig)	35
Temperatura de descarga (°C)	67.5
Presión de descarga (psig)	140
<b>Evaporador:</b>	
Temperatura de entrada del refrigerante (°C)	1.3
Temperatura de salida del refrigerante	8.1
Temperatura de entrada del aire del serpentín (°C)	8.3
Temperatura de salida del aire del serpentín (°C)	6.5
<b>Condensador:</b>	
Temp. de entrada del refrigerante (°C)	47
Temp. de salida del refrigerante (°C)	30.1
Temp. de entrada del aire del serpentín (°C)	35.2
Temp. de salida del aire del serpentín (°C)	37.5
Temperatura de entrada del dispositivo de exp. (°C)	23.6
Amperaje del motor	15
Tiempo de corrida / ciclo (hrs)	

2. Con la máquina recuperadora certificada se recolectó la carga de CFC-12 en un cilindro de capacidad 13.5 kg . De acuerdo con las recomendaciones hechas por la industria química, se pesó toda la cantidad retirada de CFC-12 para obtener el valor de carga del equipo , este valor fue de 13.0 kg . Es de suma importancia que se conozca este valor, porque se utilizará como referencia para la cantidad inicial de MP-39 que se aplicará al equipo.

3. Por medio de la bomba de extracción de aceite, se sacó el aceite mineral que hay en el sistema (compresor, áreas bajas al rededor del evaporador, separador de aceite y acumulador de succión), procurando que quedará lo menos posible de este lubricante.

Se midió y se comparó con las especificaciones del compresor para asegurarse de que se había eliminado la mayor cantidad de aceite mineral del sistema. No hay que olvidar de que es necesario que los residuos que quedan del aceite mineral sean menor al 20% en peso del lubricante total empleado en el sistema .

4. Se realizó una carga al compresor con lubricante alquilbenceno, el mismo volumen que lubricante de aceite mineral removido en el paso anterior.

5. Se reemplazo el filtro deshidratador por uno compatible con el refrigerante MP-39.

6. Se realizaron prácticas de servicio normal, respecto a la evacuación del sistema para retirar aire y sustancias no condensables.

7. Se comprobó que no existieran fugas siguiendo prácticas normales de servicio, posteriormente se volvió a evacuar el sistema.

8. Se efectuó la carga adecuada de refrigerante MP-39 tomando en cuenta la sugerencia hecha por los especialistas, de cargar primero un 70% en peso de la carga original de CFC-12.

Para asegurarse de que la composición de la mezcla es la adecuada se removió solo líquido del cilindro ( esto es importante dado que el MP-39 no es un azeótropo) por medio del tubo de inmersión que permite que el líquido sea removido del cilindro en posición vertical.

Una vez que se ha removido la fase líquida del cilindro, se pudo cargar el refrigerante en fase vapor al sistema mientras todo el vapor de todo el refrigerante removido es transferido al sistema.

9. Se puso en operación el sistema y se dejó que se estabilizara, después de esto se agregaron incrementos de 2% en peso de refrigerante MP-39 de la carga original de CFC-12, hasta que se cargo un total de 10.5 kg de refrigerante MP-39, consiguiendo con esto las condiciones deseadas de operación. Estas condiciones aparecen registradas en la tabla que se presenta en el punto V.3 de este capítulo.

10. Finalmente se etiquetaron los componentes del sistema con la finalidad de identificar el tipo de refrigerante y el lubricante aplicados en el sistema. Esto con objeto de asegurar que en un futuro se use el refrigerante y lubricante adecuado durante el servicio.

### **V.3 Resultados y Observaciones del Reacondicionamiento Efectuado.**

Las normas que regulan los actuales refrigerantes alternativos, el desempeño del refrigerante MP-39 dentro de los sistemas de refrigeración y los cambios necesarios de accesorios y componentes en el reacondicionamiento a un nuevo refrigerante con su

respectivo lubricante alquilbenceno, han dado la pauta desde el punto de vista económico, ecológico y técnico para determinar la elección del refrigerante a utilizar en la mayoría de reacondicionamientos a equipos actualmente en operación por el resto de su vida útil.

Esta es la impresión que nos dejó el análisis para el retrofit a un refrigerante alternativo como lo es el MP-39 en un equipo que actualmente está en operación como la cámara de conservación de frutas y verduras Gilvert Copeland.

Después de considerar la política gubernamental que rige el control de sustancias refrigerantes clorofluorocarbonadas y el tiempo que ha proporcionado para el manejo de sustancias alternas como el MP-39, y la evaluación de los cinco aspectos básicos aplicados para el reacondicionamiento a equipos actualmente en operación; se obtuvieron las bases e información necesaria para la elección del refrigerante sustituto para el reacondicionamiento de la cámara de conservación de frutas y verduras.

Por otra parte, ya dentro del desarrollo del reacondicionamiento a MP-39 de la cámara de conservación, es importante destacar que la habilidad, capacitación e información de la medidas de seguridad en el manejo de productos químicos que debe poseer el personal que realiza el trabajo del retrofit, es de vital importancia, no solo por el hecho de cuidar la salud humana, sino porque en una mala recuperación de la carga de CFC-12 del sistema se puede escapar este refrigerante a la atmósfera, y precisamente esto es lo que tratamos de evitar al hacer el retrofit (emitir más CFC-12 al medio ambiente), aunado a esto, la limpieza y calidad del trabajo cobran un papel importante que logra repercutir en el desempeño y eficiencia del sistema de refrigeración reacondicionado.

A continuación se presenta una tabla que muestra las condiciones operacionales finales del sistema después de realizar la actualización a refrigerante MP-39. Es importante mencionar que las condiciones de operación con CFC-12 registradas al principio fueron determinantes, pues sirvieron como referencia durante la actualización a MP-39.

## HOJA DE DATOS DEL SISTEMA RETROFIT

Tipo de sistema / lugar : Cámara de conservación de frutas y verduras

Fabricación del equipo :	<u>Gilvert Copeland</u>	Fabricación del compresor :	<u>Copeland</u>
No. de modelo :	<u>A-500</u>	No. de modelo :	<u>Tipo-83</u>
Volumen de carga de MP-39 :	<u>10.5kg (estimado)</u>	Tipo de lubricante :	<u>Alquilbenceno</u>
		Volumen de carga :	<u>4 lts</u>
Marca del deshidratador :	<u>Valycontrol</u>	Tipo de deshidratador :	<u>Relleno suelto</u>
No. de modelo :	<u>T-500-16</u>		

Medio de enfriamiento del condensador :	<u>Aire</u>
Dispositivo de expansion :	<u>Valvula de expansion</u>
Control / punto de ajuste :	<u>Normal de fabrica</u>
Lugar del sensor :	<u>Linea de succion del evaporador</u>
Otros controles del sistema. Describa :	<u>Control de presion marca Rimsa-Saginomiya</u>
Tipo alta-baja, paro y arranque	

Fecha / Hora	09 Dic '96 10:21 hrs	10 Dic '96 19:21
Refrigerante	R-12	Suva MP-39
Volumen de carga	13.0	10.5
Temperatura ambiente (°C)	25.1	23.1
<b>Compresor:</b>		
Temperatura de succion (°C)	24.5	25.8
Presion de succion (psig)	35	37
Temperatura de descarga (°C)	67.5	65.2
Presion de descarga (psig)	140	145
<b>Evaporador:</b>		
Temperatura de entrada del refrigerante (°C)	1.3	-6.2
Temperatura de salida del refrigerante	8.1	4.2
Temperatura de entrada del aire del serpentín (°C)	8.3	0.6
Temperatura de salida del aire del serpentín (°C)	6.5	8.1
<b>Condensador:</b>		
Temp. de entrada del refrigerante (°C)	47	62.3
Temp. de salida del refrigerante (°C)	30.1	31.5
Temp. de entrada del aire del serpentín (°C)	35.2	30.5
Temp. de salida del aire del serpentín (°C)	37.5	31.3
Temperatura de entrada del dispositivo de expansion (°C)	23.6	13.6
Amperaje del motor	15	16
Tiempo de corrida - ciclo (hrs)		2

Uno de los principales objetivos al emprender el reacondicionamiento de sistema era el de obtener el mismo rendimiento del equipo que se tenía antes del retrofit. En base a esto, consideramos que en el reacondicionamiento a MP-39 de la cámara de conservación de frutas y verduras, sin experimentar grandes modificaciones, se ha conseguido, no solo desde el punto de vista técnico, sino que también desde el económico y ecológico, pues el ahorro en cambios y modificaciones ha sido considerable comparado con un retrofit a HFC-134a.

La cámara de conservación de frutas y verduras actualmente opera satisfactoriamente, ya que no ha presentado alteración alguna, su operación es normal, se ha probado que el MP-39 ofrece el mismo desempeño que el CFC-12 con un 20% menos en peso, la conversión fue relativamente sencilla.

Por las razones anteriores, consideramos que el reacondicionamiento a mezclas MP en equipos actualmente en operación que trabajen con CFC-12, es beneficioso por ser costeable económicamente, eficiente energéticamente y por disminuir la agresividad del medio ambiente, no hay que olvidar que esto último fue la razón que motivo a hacer el cambio de refrigerante a la cámara de conservación de frutas y verduras. Es importante remarcar que el uso del MP-39 es limitado para equipos que actualmente estén en operación, es decir, son de transición y estarán en el mercado solo el tiempo necesario para terminar su vida útil los sistemas en operación que actualmente trabajen con CFC-12.

## **ANEXO A**

**Del Protocolo de Montreal Relativo a las  
Sustancias Agotadoras de la Capa de  
Ozono.**

### SUSTANCIAS CONTROLADAS

<b>GRUPO</b>	<b>SUSTANCIA</b>	<b>POTENCIAL DE AGOTAMIENTO DE OZONO</b>
<b><u>Uno</u></b>		
CFC <sub>13</sub>	CFC-11	1.0
CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	CFC-12	1.0
C <sub>2</sub> F <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub>	CFC-113	0.8
C <sub>2</sub> F <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	CFC-114	1.0
C <sub>2</sub> F <sub>5</sub> Cl	CFC-115	0.6
<b><u>Dos</u></b>		
CF <sub>2</sub> BrCl	halón-1211	3.0
CF <sub>3</sub> Br	halón-1301	10.0
C <sub>2</sub> F <sub>4</sub> Br <sub>2</sub>	halón-2402	(se determinará más adelante)

## **ANEXO A1**

**Enmienda al Protocolo de Montreal  
Relativo a las Sustancias Agotadoras de la  
Capa de Ozono.**

**APARTADO B DE LA ENMIENDA AL PROTOCOLO**

<b>GRUPO</b>	<b>SUSTANCIAS</b>	<b>POTENCIAL DE AGOTAMIENTO DEL OZONO</b>
<b><u>Uno</u></b>		
CF <sub>3</sub> Cl	CFC-13	1.0
C <sub>2</sub> FCl <sub>5</sub>	CFC-111	1.0
C <sub>2</sub> F <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>	CFC-112	1.0
C <sub>3</sub> FCl <sub>7</sub>	CFC-211	1.0
C <sub>3</sub> F <sub>2</sub> Cl <sub>6</sub>	CFC-212	1.0
C <sub>3</sub> F <sub>3</sub> Cl <sub>5</sub>	CFC-213	1.0
C <sub>3</sub> F <sub>4</sub> Cl <sub>4</sub>	CFC-214	1.0
C <sub>3</sub> F <sub>5</sub> Cl <sub>3</sub>	CFC215	1.0
C <sub>3</sub> F <sub>6</sub> Cl <sub>2</sub>	CFC-216	1.0
C <sub>3</sub> F <sub>7</sub> Cl	CFC-217	1.0
<b><u>Dos</u></b>		
CCl <sub>4</sub>	tetracloruro de carbono	1.1
<b><u>Tres</u></b>		
C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub> *	1,1,1-tricloroetano (metilcloroformo)	0.1

\*Esta fórmula no se refiere al 1,1,2-tricloroetano

**APARTADO C DE LA ENMIENDA AL PROTOCOLO****(Sustancias en transición)**

<b>GRUPO I</b>	<b>SUSTANCIAS</b>
CHCl <sub>2</sub>	HCFC-21
CHF <sub>2</sub> Cl	HCFC-22
CH <sub>2</sub> FCl	HCFC-31
C <sub>2</sub> HFCl <sub>4</sub>	HCFC-121
C <sub>2</sub> HF <sub>2</sub> Cl <sub>3</sub>	HCFC-122
C <sub>2</sub> HF <sub>3</sub> Cl <sub>2</sub>	HCFC-123
C <sub>2</sub> HF <sub>4</sub> Cl	HCFC-124
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> FCl <sub>3</sub>	HCFC-131
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> F <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	HCFC-132
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> F <sub>3</sub> Cl	HCFC-133
C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> FCl <sub>2</sub>	HCFC-141
C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> F <sub>2</sub> Cl	HCFC-142
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> FCl	HCFC-151

**Continuación**

<b>GRUPO I</b>	<b>SUSTANCIAS</b>
$C_3HFCl_6$	HCFC-221
$C_3HF_2Cl_5$	HCFC-222
$C_3HF_3Cl_4$	HCFC-223
$C_3HF_4Cl_3$	HCFC-224
$C_3HF_5Cl_2$	HCFC-225
$C_3HF_6Cl$	HCFC-226
$C_3H_2FCl_5$	HCFC-231
$C_3H_2F_2Cl_4$	HCFC-232
$C_3H_2F_3Cl_3$	HCFC-233
$C_3H_2F_4Cl_2$	HCFC-234
$C_3H_2F_5Cl$	HCFC-235
$C_3H_3FCl_4$	HCFC-241
$C_3H_3F_2Cl_3$	HCFC-242
$C_3H_3F_3Cl_2$	HCFC-243

**Continuación**

<b>GRUPO I</b>	<b>SUSTANCIAS</b>
$C_3H_3F_4Cl$	HCFC-244
$C_3H_4FCl_3$	HCFC-251
$C_3H_4F_2Cl_2$	HCFC-252
$C_3H_4F_3Cl$	HCFC-253
$C_3H_5FCl_2$	HCFC-261
$C_3H_5F_2Cl$	HCFC-262
$C_3H_6FCl$	HCFC-271

## **ANEXO B**

**Información y Medidas de Seguridad en  
el Manejo del Producto Químico R-12  
(Diclorodifluorometano).**

Cydsa



Quimobásicos, S. A. de C. V.

**GENETRON® 12**  
 Diclorodifluorometano

 Información y  
 Medidas de  
 Seguridad en el  
 Manejo de  
 Productos Químicos

**A. Información General**

NOMBRE COMERCIAL (NOMBRE COMUN)

GENETRON® 12 diclorodifluorometano

X N° C.A.S.

75-71-8

# CODIGO DE PRODUCTO  
CYDSA

NOMBRE QUÍMICO Y/O SINÓNIMO

Diclorodifluorometano Sinónimos: Clorofluorocarbon 10, Refrigerante 12, Propelente 12.

FORMULA  
CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>PESO MOLECULAR  
120.91

DIRECCION (CALLE, No., CIUDAD, ESTADO Y C.P.)

Ruiz Cortinas 2333 Pte. Col. Pedro Lozano  
Monterrey, N. L. C.P. 64400CONTACTO  
Departamento de  
SeguridadNUMERO  
TELEFONICO  
(8) 3 31 40 44FECHA DE ULTIMA  
PUBLICACION  
Marzo de 1982FECHA DE LA PRESENTE  
PUBLICACION  
Julio de 1993
**B. Primeros Auxilios**

**Inhalación** Retírese o retire a la víctima a un lugar donde haya aire fresco y puro. Si la víctima ha dejado de respirar, aplíquese respiración artificial, preferentemente de boca a boca. Administre oxígeno según sea necesario, siempre y cuando se encuentre presente alguien que maneje el equipo habilitado. No administre epinefrina (adrenalina).

**Piel y ojos** Lave inmediatamente cualquier congelación (sin frotar) con agua tibia (no caliente). Si no se dispone de agua, cubra con un lienzo suave de lana u otro material adecuado. Consulte al médico en caso de cualquier quemadura por baja temperatura al contacto con el líquido.

**Ingestión** Esto es poco probable que ocurra debido a la baja temperatura de ebullición (circa -30°C).

 NUMERO TELEFONICO PARA EMERGENCIAS  
 SETIQ 91-800-00-214 (51-5-55-15-88)  
 QUIMOBÁSICOS MONTERREY (81-3-31-40-44)

**C. Información sobre Riesgos y Peligros**
**SALUD**
**INHALACION**

Este material es bajo en niveles de toxicidad a concentraciones tan altas como 4% (40,000 ppm). Cuando se reducen los niveles de oxígeno en el aire a 12-14%, se presentan síntomas de asfixia. También es posible que se presente pérdida de coordinación, aumento en el pulso cardíaco, sensibilización cardíaca y respiración más profunda. Para mayor información lea la Sección K.

**C. Información sobre Riesgos y Peligros (Continuación)****INGESTION**

No se aplica ya que el material es gaseoso bajo condiciones normales de presión y temperatura

**PIEL**

El contacto del líquido sobre la piel puede causar congelación, la cual se manifiesta por palidez o enrojecimiento, pérdida de sensación e hinchazón

**OJOS**

Los mismos resultados que para la piel

**CONCENTRACION PERMITIDA EN EL AIRE (VER SECCION J)**

OSHA/TWA : 1000 ppm  
ACGIH/TLV : 1000 ppm

**BIOLOGICA**

Nivel de Acción  
No Establecido

**TOXICIDAD CRONICA - NO COMUN**

No se encontro informacion sobre toxicidad cronica. Se encuentra disponible cierta informacion sobre toxicidad subaguda - Referencia (g)

**INFLAMABILIDAD Y EXPLOSIVIDAD****TEMPERATURA DE INFLAMACION °C**

No inflamable

COPA ABIERTA  
COPA CERRADA

**TEMPERATURA DE °C  
AUTOINFLAMACION**

No aplicable

**LIMITES DE INFLAMABILIDAD EN EL  
AIRE (% POR VOLUMEN)**

Superior - No aplicable  
Inferior - No aplicable

No se observo flama hasta el 25% por volumen

**RIESGOS POCO COMUNES DE INFLAMABILIDAD Y EXPLOSIVIDAD**

El material se encuentra en estado liquido o gaseoso bajo la presión de su propio vapor. Aunque no es combustible por sí mismo, al contacto con ciertos metales (ver Sección G) puede producir reacciones exotermicas o combinaciones potencialmente explosivas. Lea tambien la informacion sobre descomposicion de productos tóxicos en la Sección G.

**D. Precauciones y Procedimientos****AGENTES RECOMENDADOS PARA EXTINCION DE FUEGO**

Cualquier agente estandar. Escoja el que sea apropiado segun el tipo de fuego. El material en si no es inflamable

**AGENTES PARA EXTINCION DE FUEGO QUE HAY QUE EVITAR**

No pertinente

**PRECAUCIONES ESPECIALES PARA LA EXTINCION DEL FUEGO**

Aunque no es inflamable, cuando este material se encuentra expuesto al fuego, las personas que se encarguen de apagar el incendio deben utilizar mascarillas autonomas aprobadas por la NIOSH para protegerse contra la sofocación y los posibles productos toxicos de descomposicion. Rocie con agua los recipientes que se encuentren expuestos al fuego con el fin de mantenerlos frescos.

## D. Precauciones y Procedimientos (Continuación)

### VENTILACION

La ventilación debe ser adecuada para satisfacer los requerimientos de TLV y minimizar la exposición.

### MANEJO EN CONDICIONES NORMALES

Evite el contacto del ácido sobre los ojos, la piel o la ropa. No perforo o deje caer los cilindros, ni los exponga a al fuego o al calor excesivo. Utilice solo recipientes autorizados. Observe las precauciones de seguridad estándar para el manejo y uso de cilindros de gas comprimido - Referencia (a).

### ALMACENAMIENTO

El área de almacenamiento debe estar fresca, seca, bien ventilada y alejada de combustibles, fuego o calor. Se debe evitar el almacenamiento de los cilindros en lugares subterráneos. Para mayor información sobre almacenamiento, lea la Referencia (a).

### CERRAMES Y FUGAS ( SIEMPRE UTILICE EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL - SECCION E )

El personal debe utilizar equipo de protección con suministro de aire autónomo contra el congelamiento al tratar de cerrar las válvulas o reparar las fuentes de escape.

Si se ha escapado una gran cantidad, el personal debe evacuar el área y se debe permitir que el producto se disipe. (Revise las secciones C y K en cuanto a los peligros para la salud relacionados con la inhalación y la exposición al contacto.)

### PRECAUCIONES, PROCEDIMIENTOS E INSTRUCCIONES ESPECIALES: Palabra Clave - (PELIGRO!)

Este producto puede causar la muerte o daños personales serios si no se le maneja adecuadamente. Siga los reglamentos OSHA para el manejo de gases comprimidos - Referencias (1) y (3) - y Referencia (a) para el manejo de cilindros. Los trabajadores que padezcan problemas cardiovasculares o pulmonares deben recibir un chequeo médico antes de la exposición.

## E. Equipo para Protección Personal

### PROTECCION RESPIRATORIA

Generalmente no se requiere de ninguna protección siempre y cuando se trabaje en condiciones de buena ventilación. Para casos poco comunes, utilice un respirador con suministro de aire aprobado por la NIOSH o una mascarilla autónoma con presión positiva.

### OJOS Y CARA

Utilice gafas de protección contra productos químicos si existe cualquier probabilidad razonable de contacto con el líquido. En tal caso, no utilice lentes de contacto.

### MANOS, BRAZOS Y CUERPO

Utilice guantes de protección impermeables que tengan una cubierta exterior de PVA o de caucho sintético en situaciones en las que exista posibilidad de derrames o manejo del líquido. También se deben utilizar zapatos impermeables y ropa especial si hay probabilidad de derrame. Los guantes, la ropa y los zapatos deben estar tratados con un aislante térmico para evitar que se congelen.

### OTRO TIPO DE ROPA Y EQUIPO

Acondicione una fuente de agua adecuada para tratamiento de primeros auxilios en caso de congelamiento (ver Referencia B).

<b>F. Propiedades Físicas</b>			
ESTADO FISICO EN CONDICIONES NORMALES LIQUIDO <input type="checkbox"/> SOLIDO <input checked="" type="checkbox"/> GASEOSO <input type="checkbox"/> OTRO _____		APARIENCIA Y OLOR Gas licuado incoloro con un tenue olor etéreo	
Punto de Ebullición -29.8°C Punto de Fusión -158°C	GRAVEDAD ESPECIFICA (H <sub>2</sub> O = 1) @ 21.1°C, liquido 1.325	DENSIDAD DEL VAPOR (AIRE = 1) @ 21.1°C y 1 atm 4.26 [Ref. (h)]	
SOLUBILIDAD EN AGUA (*, por Peso) 0.028 @ 77°F	pH No aplicable (gas)	PRESION DEL VAPOR (mm Hg @ 20°C) (PSIG) 85 psia @ 21.1°C (70°F)	
TASA DE EVAPORACION (Acetato de Butilo = 1) (Eter = 1) No aplicable (gas)	*. DE VOLATILES POR VOLUMEN (A 20°C) No aplicable (gas)		
<b>G. Reactividad</b>			
ESTABILIDAD Inestable <input checked="" type="checkbox"/> Estable	CONDICIONES QUE HAY QUE EVITAR Evite encender cigarrillos o soldar. Manténgase alejado de sitios de calor intenso. Temperaturas por encima de los 550°C - Referencia (c). Se descompone con el fuego.		
INCOMPATIBILIDAD (MATERIALES QUE HAY QUE EVITAR) Aluminio en la forma de superficies recién desgastadas (fuerte reacción exotérmica) - Referencia (d), o aluminio en polvo - Referencia (b). El polvo de magnesio @ 400°C puede encenderse o, si existen chispas, puede explotar - Referencia (c). Polvo de zinc - Referencia (b). Metales químicamente activos, tales como el sodio, potasio o calcio - Referencia (b).			
PRODUCTOS DE DESCOMPOSICION PELIGROSA Halógenos, ácidos halógenos y posiblemente halogenuros de carbonilo, tales como el fosgeno.			
POLIMERIZACION PELIGROSA Puede ocurrir <input checked="" type="checkbox"/> No ocurre	CONDICIONES QUE HAY QUE EVITAR No pertinente		
<b>H. Componentes Peligrosos (Sólo Mezclas)</b>			
MATERIALES O COMPONENTES/ # C.A.S	PESO %	PELIGROS Y RIESGOS (VER SECCION J)	
No aplicable			

<b>I. Información Ambiental</b>		
<b>DEGRADABILIDAD / TOXICIDAD EN AGUA</b> Degradabilidad (BOD): No pertinente Toxicidad en Agua TLM96: aproximadamente 1000 ppm - Referencia (e) TLM96 = Concentración letal, 50% muerte (96 horas)		<b>COEFICIENTE DE PARTICION OCTANOL/AGUA</b>  Desconocida
¿Es una sustancia EPA peligrosa? <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Sí, de ser así, la Cantidad Reportable es _____		40 CFR 116-117
<b>MÉTODOS DE ELIMINACIÓN DE DESECHOS</b> (La compañía que se encargue de la eliminación deberá ajustarse a los lineamientos federales, estatales y locales de eliminación y descarga) La eliminación de los residuos de GENETRON® 12 diclorodifluorometano puede estar sujeta a reglamentos federales. Los usuarios deben revisar sus operaciones, después consultar con las autoridades regulatorias competentes antes de deshacerse o eliminar el material de residuo. Puede ser necesario contratar los servicios de una compañía especializada en la eliminación de los residuos.		
<b>Estado RCRA de MATERIALES NO UTILIZADOS</b> En caso de ser desechados o no utilizados: Residuo EPA peligroso	<b>NUMERO DE RESIDUO PELIGROSO (Segun sea aplicable)</b>  No. D002 (corrosivo)	40 CFR 261
<b>J. Referencias</b>		
<b>REFERENCIAS SOBRE CONCENTRACIONES PERMITIDAS</b> (1) TWA, OSHA Standard, 29 CFR 1910 (1982), "Z List" (2) TLV, ACGIH 1984-85 List, "Threshold Limit Values for Chemical Substances" *(Valores mínimos para Sustancias Químicas)		
<b>ESTANDARES REGLAMENTARIOS</b> Clasificación D O T, por 49 CFR 172.101 (3) Reglamentos OSHA para gases comprimidos 29 CFR 1910.101	<b>CLASIFICACION D O T</b> Gas no inflamable No de identificación UN1028	49CFR 173
<b>REFERENCIAS GENERALES</b> (a) CGA Pamfletto P-1, "Safe Handling of Compressed Gases in Containers" (Medidas de Seguridad en el Manejo de Recipientes con Gases Comprimidos), 1974. Compressed Gas Association (Impresión 1980) (b) NIOSH/OSHA Manual, "Pocket Guide to Chemical Hazards" (Pequeña Guía sobre Riesgos en el Manejo de Productos Químicos), 1978, (Impresión 8/80) (c) <u>Merck Index</u> , 10a. Ed. (1923), Monografía 3048, Merck & Co., Inc. Rahway, NJ (d) Breithenick, L., "Handbook of Reactive Chemical Hazards" (Libro de Referencias sobre Riesgos en el Manejo de Productos Químicos Reactivos), 2a. Ed., 1979, Butterworths, Boston (e) NIOSH Registry (RTECS), 1981-82, No. de Acceso PA8200000 (f) U.S. Coast Guard CHRIS Manual (Manual CHRIS del Sistema Estadounidense de Guardacostas), Forma DFC, "Diclorodifluorometano" (Continúa en la Sección K)		

**Información Ambiental**Suplemento de PSDS GENETRON® 12Fecha Actual: Publicación 08-1985 PSDS # 874

SARA - TITULO III (40 CFR 300)

1. Este producto contiene la(s) siguiente(s) substancia(s) peligrosa(s)

(Secciones 302 a la 304)

Componente	TPQ (LBS)	BQ (LBS)
No listado	No aplicable	No aplicable

2. Este producto contiene la(s) siguiente(s) substancia(s) CERCLA peligrosas)

(Secciones 302 a la 304)

Componente	# PESO	BQ (LBS)
Diclorodifluorometano	100	5000

NOTA: La información proporcionada en las Secciones 1 y 2 es necesaria en casos de reportes de respuesta de emergencia.

3. Este producto implica los siguientes riesgos (Secciones 311 y 312)

	SI	NO
Inmediato	X	
Retardado		X
Incendio		X
Presión	X	
Reactividad		X

4. Este producto contiene el (los) siguiente(s) producto(s) químico(s) tóxico(s) (Sección 313).

Componente	# CAS	# PESO
Diclorodifluorometano	75-71-8	100

**5. ADVERTENCIA**

No se libere este gas hacia la atmósfera. De acuerdo con el Decreto Estadounidense sobre Aire Puro, todo residuo debe ser recuperado.

Contiene Genetron® 12, un CFC, una substancia que daña la salud pública y el ambiente al destruir el ozono en las capas superiores de la atmósfera. La destrucción de la capa de ozono puede conducir a un aumento en la radiación ultravioleta, la cual puede provocar un aumento en el cáncer de la piel y las cataratas oculares, al exponerse en exceso al sol.

Para mayores detalles en cuanto a las substancias químicas mencionadas, lea el material de información sobre Medidas de Seguridad en el Manejo de Productos Químicos.

Fecha 03/16/92

## **ANEXO B1**

**Información y Medidas de Seguridad en  
el Manejo del Producto Químico R-134A  
(Hidrofluorocarbón).**

Cydsa



Quimobasicos, S. A. de C. V.

GENETRON MP66 ( R- 401B)

HOJA DE  
SEGURIDAD DE  
MATERIALES**I. Datos Generales del responsable de la Sustancia Quimica**

NOMBRE DEL FABRICANTE O IMPORTADOR:

QUIMOBASICOS, S. A. DE C.V.

EN CASO DE EMERGENCIA, COMUNICARSE  
AL TELEFONO:SETIQ 91-800-00-214, (5)- 5-59-15-88  
QUIMOBASICOS, MONTERREY (8) - 3-31-40-44

DOMICILIO:

AVE. RUIZ CORTINEZ No. 2333 Pta., COLONIA PEDRO LOZANO  
C.P. 64400. MONTERREY, N. L. MEXICO.**II Datos Generales de la Sustancia Quimica**

NOMBRE COMERCIAL (COMUN):

GENETRON MP66 (R- 401 B)

NOMBRE QUIMICO Y/O SINONIMO:

Refrigerante MP66(R- 401B), Fluorocarbono MP66.

Este producto es una mezcla de los siguientes  
Hidrocarburos Halogenados: G-22, G-152a y G-124.

FAMILIA:

HIDROFLUOROCARBONOS

OTROS DATOS:

FORMULA: VER SECCION IV - OTROS DATOS -

**III Identificación de componentes**

1.- % y nombre de los componentes	2.- No. CAS	3.- No. ONU	4.- CPT, CCT o P	5.- IPVS	6.- GRADO DE RIESGO			
					S I R	ESPECIAL E P P		
Clorodifluorometano (61%)	75-45-6	UN-1018	ACGIH/TLV: 1000 ppm		2	0 0	Gas licuado	VER SECCION NUMERO IX.
Difluoroetano (11%)	75-37-6	UN-1030	AHA=1000 ppm		2	3 0	Gas licuado	
Clorotetrafluoroetano (28%)	2837-89-0	UN-1021	AHA=1000 ppm		2	0 0	Gas licuado	

**IV Propiedades Físicoquímicas**

1.- Temperatura de ebullición -34.7 °C	2.- Temperatura de fusión No conocida
3.- Temperatura de Inflamación Gas, no se aplica	4.- Temperatura de autoignición No conocida

1/

#### IV Propiedades Físicoquímicas ( Continuación )

5.- Densidad Relativa Dato no disponible	6.- Densidad de vapor (aire=1) 1187 Kg / m <sup>3</sup> @ 25 °C	7.- Peso molecular 92.8
8.- Estado físico, color y olor Gas licuado a temperaturas normales, con tenue olor etereo	9.- Velocidad de evaporación (CCI4 =1) Mayor que 1	10.- Solubilidad en agua (% Peso) @ 25 °C 0.1
11.- Presión de vapor (mmHg @ 25°C) 5,191	12.- % de Volatilidad 100	
13.- Límites de inflamabilidad o explosividad No se aplica	14.- Otros datos: Formula Química: CH Cl F <sub>2</sub> (GENETRON 22) 61 % PESO C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> F <sub>2</sub> (GENETRON 152a) 11% PESO Ph: Neutral CH Cl F C F <sub>3</sub> (GENETRON 124) 26 % PESO	

#### V Riesgos de Fuego o Explosión

<p><b>1.- Medios de extinción:</b> Utilice cualquier agente estándar, seleccione el que sea mas apropiado para el tipo de fuego circundante (el material en sí no es inflamable).</p>
<p><b>2.- Equipo de protección personal:</b> En el combate de incendios debe usar equipo de respiración autónomo contra una posible descomposición de productos tóxicos. Es conveniente disponer de protección para los ojos y piel.</p>
<p><b>3.- Procedimiento y precauciones especiales en el combate de incendios:</b> Rocíe agua sobre los contenedores expuestos al fuego para mantenerlos fríos y para suprimir los vapores.</p>
<p><b>4.- Condiciones que conducen a otro riesgo especial:</b> La mezcla (G-MP66) es no inflamable. El componente (152a) no tiene límites de inflamabilidad y (G-22) es combustible cuando se mezcla con aire a presiones mayores a la atmosférica. G-124 presenta características similares que G- 22. En conclusión, se recomienda no mezclar aire con Genetrón MP-66 a presiones que excedan a la atmosférica. No utilice mezclas de aire con G- MP66 para detectar fugas.</p>
<p><b>5.- Productos de la combustión nocivos para la salud:</b> Halogenos, ácidos halogenados y posiblemente halogenuros de carbonilo, tales como el fosgeno.</p>

**5. Datos físicos y fisicoquímicos (véase el apartado 2.1)**

<b>5.- Densidad Relativa</b> Dato no disponible	<b>6.- Densidad de vapor (aire=1)</b> 1187 Kg / m <sup>3</sup> @ 25 °C	<b>7.- Peso molecular</b> 92.8
<b>8.- Estado físico, color y olor</b> Gas licuado a temperaturas normales, con ténue olor etéreo	<b>9.- Velocidad de evaporación (CCI<sub>4</sub>=1)</b> Mayor que 1	<b>10.- Solubilidad en agua (% Peso) @ 25 °C</b> 0.1
<b>11.- Presión de vapor (mmHg @ 25°C)</b> 5,191	<b>12.- % de Volatilidad</b> 100	
<b>13.- Límites de inflamabilidad o explosividad</b> No se aplica	<b>14.- Otros datos:</b> Fórmula Química: CH Cl F <sub>2</sub> (GENETRON 22) 61 % PESO C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> F <sub>2</sub> (GENETRON 152a) 11% PESO Ph: Neutral CH Cl F C F <sub>3</sub> (GENETRON 124) 28 % PESO	

**6. Datos de Peligro o Explosión**

**1.- Medios de extinción:**  
 Utilice cualquier agente estándar, seleccione el que sea mas apropiado para el tipo de fuego circundante (el material en sí no es inflamable).

**2.- Equipo de protección personal:**  
 En el combate de incendios debe usar equipo de respiración autónomo contra una posible descomposición de productos tóxicos.  
 Es conveniente disponer de protección para los ojos y piel.

**3.- Procedimiento y precauciones especiales en el combate de incendios:**  
 Rocíe agua sobre los contenedores expuestos al fuego para mantenerlos fríos y para suprimir los vapores.

**4.- Condiciones que conducen a otro riesgo especial:**  
 La mezcla (G-MP66) es no inflamable. El componente (152a) no tiene límites de inflamabilidad y (G-22) es combustible cuando se mezcla con aire a presiones mayores a la atmosférica. G-124 presenta características similares que G-22. En conclusión, se recomienda no mezclar aire con Genetrón MP-66 a presiones que excedan a la atmosférica.  
 No utilice mezclas de aire con G- MP66 para detectar fugas.

**5.- Productos de la combustión nocivos para la salud:**  
 Halogenos, ácidos halogenados y posiblemente halogenuros de carbonilo, tales como el fosgeno.

## VI Datos de Reactividad

<b>1.-ESTABILIDAD</b> (Condiciones normales) — Inestable <input checked="" type="checkbox"/> Estable	<b>2.-CONDICIONES A EVITAR</b> Cualquier fuente de ignición, tal como cigarrillos encendidos, llamas y soldadura, ya que pueden originar productos tóxicos o corrosivos de descomposición. Evite mezclar este producto con aire u oxígeno a presiones mayores de la atmosférica.
<b>3.-INCOMPATIBILIDAD ( MATERIALES QUE HAY QUE EVITAR )</b> (Bajo condiciones específicas: (temperaturas y/o presiones muy altas) Superficies de aluminio recién esmeriladas: las desgasta, (pueden causar una fuerte reacción exotérmica). Metales químicamente activos: sodio, potasio, calcio, polvo de aluminio, magnesio y zinc.	
<b>4.-PRODUCTOS DE DESCOMPOSICION PELIGROSA</b> Halógenos, ácidos halogenados y posiblemente halogenuros de carbonilo, tales como el fosgeno, el cual es tóxico y corrosivo.	
<b>5.-POLIMERIZACION ESPONTANEA</b> — Puede ocurrir <input checked="" type="checkbox"/> No ocurrirá	

## VII Riesgos para la Salud

### EFFECTOS A LA SALUD

#### 1.- Por exposición aguda:

a) Ingestión accidental: Aunque es poco probable que ocurra, el malestar en el tracto gastrointestinal puede deberse a la rapidez de evaporación del material y consecuentemente a la evolución del gas. Algunos de estos efectos pueden ser esperados por inhalación.

b) Inhalación: El componente G-124 no es dañino para el ser humano, según estudios realizados por período de 2 años en pruebas de inhalación crónica. Pruebas realizadas en animales por período mayor de 1 año muestran bajos índices de toxicidad. G-22 y G-152a también presentan bajos índices de toxicidad en pruebas realizadas en períodos mayores de 2 años.

Tenga la precaución de mantener las exposiciones por debajo de los niveles recomendados para evitar una depresión del sistema nervioso central.

Los vapores de este material son más pesados que el aire, pueden llegar a concentrarse en áreas bajas o muy cerca del suelo.

c) Piel (Contacto y absorción): Puede presentarse irritación debido a la acción desengrasante en los tejidos o congelación. La neblina de este material en contacto con los ojos, puede causar irritación.

#### 2.- Por exposición crónica: No común.

VII Riesgos para la salud (Continuación)

3.- Sustancia química considerada como:

Cancerígena NO Mutagénica NO Teratogénica NO

Otras(Especificar): \_\_\_\_\_

STPS(NOM-010-STPS) SI \_\_\_\_\_ NO X

Fuente aprobada SI \_\_\_\_\_ NO X

Especificaciones: \_\_\_\_\_

Información complementaria (DL,CL,ETC.) \_\_\_\_\_

EMERGENCIA Y PRIMEROS AUXILIOS

a) **Contacto con los ojos:** Enjuague inmediatamente sus ojos con agua abundante menos durante 15 minutos (en caso de congelamiento, el agua debe estar tibia), alzando los párpados ocasionalmente para facilitar el lavado. Llamar al médico en caso de que persistan las molestias.

b) **Contacto con la piel:** Enjuague rápidamente la piel con abundante agua hasta elimine todo el producto químico. Si existe evidencia de congelación, lave (tratando de no quemar) con agua tibia (no caliente), en ausencia de agua cubra su piel con una compresa suave y limpio. Llame al médico.

c) **Ingestión:** La ingestión es poco probable que ocurra y quizá no sea peligroso. En caso de malestar es debido al bajo punto de ebullición del material. En caso de presentarse un accidente, no provoque el vómito, a menos que así lo indique el médico.

d) **Inhalación:** Inmediatamente retire a la víctima hacia un lugar donde pueda respirar fresco. Si se retiene la respiración, administre respiración artificial. Utilice oxígeno si está disponible, siempre y cuando esté presente una persona calificada para manejar el equipo. Llame al médico. No administre epinefrina (adrenalina).

x información sobre Transportación

**CLASIFICACION REGLAMENTO PARA EL TRANSPORTE DE MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS DE LA SCT:**

**CLASE 2.2, Gas Refrigerante n.o.s. ( Tetrafluoroetano ), Gas No Inflamable, UN 1078**

xi información sobre Ecología

Degradabilidad/Toxicidad en agua: Mínima biodegradación

**MÉTODOS DE ELIMINACION DE DESECHOS:** (La compañía que se encargue de la eliminación, deberá ajustarse a los lineamientos federales, estatales y locales de eliminación y descarga).

La eliminación de los desechos de Genetron 134a puede estar sujeta a reglamentos federales. Los usuarios deberán revisar sus operaciones, para después consultar con las agencias regulatorias apropiadas antes de descargar o desechar el material.

Se deberá reducir a un mínimo la liberación de este producto hacia la atmósfera, debido a los daños que este causa a la capa superior de Ozono.

Coefficiente de partición Octanol-Agua ( Log Pow = 1.06 )

xii Precauciones Especiales

**1.- Precauciones que deben ser tomadas para el manejo y almacenamiento**

Manejo en condiciones normales: Evite inhalar los vapores y cuide que el líquido no entre en contacto con los ojos, la piel o la ropa. No perforo o deje caer los cilindros, ni los exponga a llamas abiertas o al calor excesivo. Utilice solamente cilindros autorizados. Siga las precauciones estándar de seguridad para el manejo y uso de cilindros con gases comprimidos.

Almacenamiento: Almacene el producto en un área fresca y bien ventilada, de bajo riesgo de incendio. Proteja los cilindros y sus conexiones contra daños físicos. Se debe evitar almacenar el producto en áreas bajo la superficie. Cierre bien las válvulas después del uso y cuando los contenedores estén vacíos.

FECHA DE PUBLICACION:     JULIO 1993    

FECHA DE ULTIMA PUBLICACION:     JUNIO 1989    

(VERSION EN INGLES)

## **ANEXO B2**

**Información y Medidas de Seguridad en  
el Manejo del Producto Químico R-401A  
( Fluorocarbono MP-39).**

**IV. Propiedades Físicoquímicas ( Continuación )**

5.- Densidad Relativa Dato no disponible	6.- Densidad de vapor (aire=1) 3.5	7.- Peso molecular 94.4
8.- Estado físico, color y olor Gas licuado con tenue olor a éter	9.- Velocidad de evaporación (CCl4 =1) Mayor que 1	10.- Solubilidad en agua ( % Peso ) No se conoce
11.- Presión de vapor (Psig @ 25 C) 111.2	12.- % de Volatilidad 100	
13.- Límites de inflamabilidad o explosividad No se aplica	14.- Otros datos. Formula Quimica CH Cl F2 (GENETRON 22) 53 % PESO C2 H4 F2 (GENETRON 152a) 13 % PESO CH Cl F C F3 (GENETRON 124) 34 % PESO	

**V. Riesgos de Fuego o Explosión****1.- Medios de extinción:**

Utilice cualquier agente estándar, seleccione el que sea mas apropiado para el tipo de fuego circundante (el material en si no es inflamable)

**2.- Equipo de protección personal:**

En el combate de incendios debe usar equipo de respiración autonoma contra una posible sofocación y posibles productos tóxicos de descomposición  
Es conveniente disponer de protección para los ojos y piel

**3.- Procedimiento y precauciones especiales en el combate de incendios:**

Rocíe agua sobre los contenedores expuestos al fuego para mantenerlos frios y para suprimir los vapores.

**4.- Condiciones que conducen a otro riesgo especial:**

La mezcla (G-MP39) es no inflamable. El componente (152a) no tiene límites de inflamabilidad y (G-22) es combustible cuando se mezcla con aire a presiones arriba de la atmosférica. G-124 presenta características similares que G- 22 En conclusión, se recomienda no mezclar aire con Genetrón MP-39 a presiones que excedan a la atmosférica

**5.- Productos de la combustión nocivos para la salud:**

Halogenos, ácidos halogenados y posiblemente halogenuros de carbonilo, tales como el fosgeno.

## X. Información sobre Transportación

CALSIFICACION REGLAMENTO PARA EL TRANSPORTE DE MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS DE LA SCT:

CLASE: Gases Refrigerantes, N.O.S. (Clorodifluorometano, Clorotetrafluoroetano, Difluoroetano), 2.2, UN 1078.

\*Para mayor información sobre las reglamentaciones para transportar este material, revise la página número 1 y pida informes.

## XI. Información sobre Ecología

Degradabilidad (BOD): No pertinente

Coefficiente de partición Octanol-Agua: No se conoce.

Este producto contiene G-22 y G-124, dos sustancias que dañan la salud pública y el medio ambiente por destrucción de la capa superior de ozono, hecho que incrementa la exposición a los rayos ultravioleta, provenientes de la luz del sol, que a la vez incrementa los padecimientos de cáncer en la piel y cataratas en los ojos.

También contiene G-152a, este gas contribuye con el llamado "efecto invernadero", el cual puede influir en el calentamiento global de la tierra.

## XII. Precauciones Especiales

### Precauciones que deben ser tomadas para el manejo y almacenamiento

Manejo en condiciones normales. Evite inhalar los vapores y cuide que el líquido no entre en contacto con los ojos, la piel o la ropa. No perforo o deje caer los cilindros, ni los exponga a llamas abiertas o al calor excesivo. Utilice solamente cilindros autorizados. Siga las precauciones estándar de seguridad para el manejo y uso de cilindros con gases comprimidos.

Almacenamiento. Almacene el producto en un área fresca y bien ventilada, de bajo riesgo de incendio. Proteja los cilindros y sus accesorios contra daños físicos. Se debe evitar almacenar el producto en áreas bajo la superficie. Cierre bien las válvulas después del uso y cuando los contenedores estén vacíos.

FECHA DE PUBLICACION:     OCTUBRE 1994    

FECHA DE ÚLTIMA PUBLICACION:     MAYO 1993    

(VERSION EN INGLES)

## **ANEXO B3**

**Información y Medidas de Seguridad en  
el Manejo del Producto Químico R-401B  
(Fluorocarbono MP-66).**



Quimobásicos S. A. de C. V.

GENETRON 134a

HOJA DE  
SEGURIDAD DE  
MATERIALES

**I. Datos Generales del responsable de la Sustancia Química**

NOMBRE DEL FABRICANTE O IMPORTADOR

QUIMOBASICOS, S. A. DE C.V.

EN CASO DE EMERGENCIA, COMUNICARSE  
AL TELEFONO:

SETIQ 91-800 00 214, (5)- 5-59-15-88  
QUIMOBASICOS, MONTERREY (B) - 3-31-40-44

DOMICILIO:

AVE. RUIZ CORTINEZ No. 2333 Pta., COLONIA PEDRO LOZANO  
C.P. 64400. MONTERREY, N. L. MEXICO.

**II. Datos Generales de la Sustancia Química**

NOMBRE COMERCIAL (COMUN):

GENETRON 134 a

NOMBRE QUIMICO Y/O SINONIMO

1,1,1,2 - Tetrafluoroetano, Hidrofluorocarbón 134a,  
Refrigerante 134 a.

FAMILIA:

HIDROFLUOROCARBONOS

OTROS DATOS:

PESO MOLECULAR:  
121.0

FORMULA:  
F<sub>2</sub>CCH<sub>2</sub>F

**III. Identificación de componentes**

1.- % y nombre de los componentes	2.- No. CAS	3.- No. ONU	4.- CPT,CCT o P	5.- IPVS	6.- GRADO DE RIESGO					
					S	H	R	ESPECIAL	EPP	
Genetron 134a	811-97-2	1078	AIHA= 1000 ppm		2	0	0	Gas licuado	VER SECCION NUMERO IX.	

**IV. Propiedades Físicoquímicas**

1.- Temperatura de ebullición -26.2 °C	2.- Temperatura de fusión -101 °C
3.- Temperatura de Inflamación No es inflamable	4.- Temperatura de autoignición > 750 °C

**IV Propiedades Fisicoquímicas ( Continuación )**

5.- Densidad Relativa Dato no disponible	6.-Densidad de vapor (aire=1) 3.5	7.- Peso molecular 121.0
8.-Estado físico, color y olor Líquido transparente incoloro y vapor con tenue olor etereo	9.-Velocidad de evaporación (Acetato de Butilo =1) (Eter=1)	10.-Solubilidad en agua ( % Peso ) @ 1 atm . 077
11.- Presión de vapor (Psig @ 21.1°C) 71. 1	12.- % de Volatilidad 100 Por volúmen @ 68°F (20°C)	
13.- Límites de inflamabilidad o explosividad Gas,no se aplica	14.- Otros datos Gravedad Especifica ( H <sub>2</sub> O = 1 ) 1.222 @ 21.1 °C	

**V Riesgos de Fuego o Explosión****1.- Medios de extinción:**

Utilice cualquier agente estándar- Seleccione el que sea mas apropiado para el tipo de fuego circundante (el material en sí no es inflamable).

**2.- Equipo de protección personal:**

Las personas encargadas de sofocar el fuego deberán utilizar mascarillas autónomas aprobadas por la NIOSH para protección contra posibles productos tóxicos de descomposición. También se debe disponer de adecuada protección para los ojos y piel.

**3.- Procedimiento y precauciones especiales en el combate de incendios:**

Rocié agua sobre los contenedores expuestos al fuego para mantenerlos frios y para suprimir los vapores.

**4.- Condiciones que conducen a otro riesgo especial:**

Evite mezclar el Genetron 134a con el aire . Las pruebas muestran que una mezcla de Genetron 134a rica en aire,a una presión atmosférica ligeramente arriba de lo normal,es combustible al estar expuesta a un cable de cobre detonante.

**5.- Productos de la combustión nocivos para la salud:**

Halogenos y ácidos halogenados,tales como el fosgeno .

## VI - Datos de reactividad

1.-ESTABILIDAD  
(Condiciones normales)  
— Inestable  
 Estable

### 2.-CONDICIONES A EVITAR

Cualquier fuente de ignición, tal como cigarrillos encendidos, llamas y soldadura. Condiciones no explosivas pueden liberar productos tóxicos y/o corrosivos de descomposición.

### 3.-INCOMPATIBILIDAD ( MATERIALES QUE HAY QUE EVITAR )

(Bajo condiciones específicas por ejemplo, temperaturas y/o presiones muy altas).

Superficies de aluminio recién esmeriladas (pueden causar fuertes reacciones exotérmicas).

Metales químicamente activos: sodio, potasio, calcio, polvo de aluminio, magnesio y zinc.

### 4.-PRODUCTOS DE DESCOMPOSICION PELIGROSA

Halógenos, ácidos halogenados y posiblemente haluros carbonílicos, tales como el fosgeno, de los cuales todos son tóxicos y corrosivos.

### 5.-POLIMERIZACION ESPONTANEA

— Puede ocurrir

No ocurrirá

## VII RIESGOS PARA LA SALUD

### EFFECTOS A LA SALUD

#### 1.- Por exposición aguda:

a) Ingestión accidental: No aplicable debido a que el material es gas a las temperaturas y presiones normales.

b) Inhalación: Este material es de baja toxicidad. LC50 Ratas >50 % (4horas). Los efectos son principalmente narcóticos (mareos, pérdida de la consciencia). Cuando los niveles de oxígeno en el aire se reducen a 12-14 %, se presentan síntomas de asfixia; también es posible que se presente pérdida de coordinación, incremento en el ritmo del pulso, sensibilidad cardíaca y respiración profunda. El compuesto no resultó ser teratogénico en una prueba con conejos a concentraciones de hasta 40,000 ppm, ni en estudio con ratas a concentraciones de hasta 100,000. Se ha demostrado que muchos gases refrigerantes inducen la sensibilidad cardíaca ante la epinefrina y provocan arritmias cardíacas. El Genetron 134a produce estos efectos a exposiciones muy altas o en presencia de epinefrina. Se ha demostrado que el Genetron 134a produce arritmia a concentraciones de 60 % en el gato y el mono. Resultados de pruebas en perros "Beagle" EC50: entre 80,100-160,000 ppm, Umbral: 80,000 ppm, NOEL: 40,000 ppm.

c) Piel(Contacto y absorción): Se puede presentar irritación debido a la acción desengrasante en los tejidos. El contacto de el líquido o la neblina con los ojos, puede causar irritación debido al congelamiento.

#### 2.- Por exposición crónica: No común.

vii Riesgos para la Salud (Continuación)

3.- Sustancia química considerada como:

Cancerígena NO Mutagénica NO Teratogénica NO

Otras(Especificar): \_\_\_\_\_

STPS(NOM-010-STPS) SI \_\_\_\_\_ NO X

Fuente aprobada SI \_\_\_\_\_ NO X

Especificaciones: \_\_\_\_\_

Información complementaria (DL,CL,ETC.) \_\_\_\_\_

**EMERGENCIA Y PRIMEROS AUXILIOS**

**a) Contacto con los ojos:** Enjuague inmediatamente sus ojos con agua abundante por lo menos durante 15 minutos (en caso de congelamiento, el agua debe estar tibia, no caliente), alzando los párpados ocasionalmente para facilitar el lavado. Llamar al médico en caso de que persistan las molestias.

**b) Contacto con la piel:** Inmediatamente enjuague la piel con agua hasta que se elimine el producto químico. Si existe evidencia de congelamiento, enjuague (sin frotar) con agua tibia (no caliente). En la ausencia de agua, cubra el área con un trozo limpio de lana suave o con algún material similar. Llame al médico.

**c) Ingestión:** La ingestión es improbable debido a las propiedades físicas del material y probablemente no es peligroso. No provoque el vómito, a menos que así lo indique el médico.

**d) Inhalación:** Inmediatamente retire a la víctima hacia un lugar donde pueda respirar aire fresco. Si se retiene la respiración, administre respiración artificial. Utilice oxígeno según lo requiera, siempre y cuando se encuentre una persona calificada para manejar el equipo. Llame al médico. No administre epinefrina(adrenalina).

**CLASIFICACION REGLAMENTO PARA EL TRANSPORTE DE MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS DE LA SCT:**

**CLASE: Gases Refrigerantes, N.O.S. (Clorodifluorometano, Cloroetrafluoretano, Difluoroetano), 2.2, UN 1078.**

**\*Para mayor información sobre las reglamentaciones para transportar este material, revise la página número 1 y pida informes.**

**II Información sobre Ecología**

Degradabilidad (BOD): No se conoce.

Coefficiente de partición Octanol-Agua: No se conoce.

Este producto, contiene G-22 y G-124, dos sustancias que dañan la salud pública y el medio ambiente por destrucción de la capa superior de ozono, que incrementa la exposición a los rayos ultravioleta provenientes de la luz del sol, que a la vez incrementa los padecimientos de cáncer en la piel y cataratas en los ojos.

También contiene G-152a, este gas contribuye con el llamado "efecto invernadero", el cual puede influir en el calentamiento global de la tierra.

**III Precauciones Especiales**

**1.- Precauciones que deben ser tomadas para el manejo y almacenamiento**

**Manejo en condiciones normales:** (Use siempre su equipo de protección personal). Evite inhalar los vapores y cuide que el líquido no entre en contacto con sus ojos, la piel o la ropa. No perforo o deje caer los cilindros, ni los exponga a llamas abiertas o al calor excesivo. Utilice solamente cilindros autorizados. Siga las precauciones estándar de seguridad para el manejo y uso de cilindros con gases comprimidos.

**Almacenamiento:** Almacene el producto en un área fresca y bien ventilada, de bajo riesgo de incendio. Proteja los cilindros y sus accesorios contra daños físicos. Se debe evitar almacenar el producto en áreas bajo la superficie. Cierre bien las válvulas después del uso y cuando los contenedores estén vacíos.

**FECHA DE PUBLICACION: OCTUBRE 1994**

**FECHA DE ULTIMA PUBLICACION: DICIEMBRE 1993**

**(VERSION EN INGLES)**

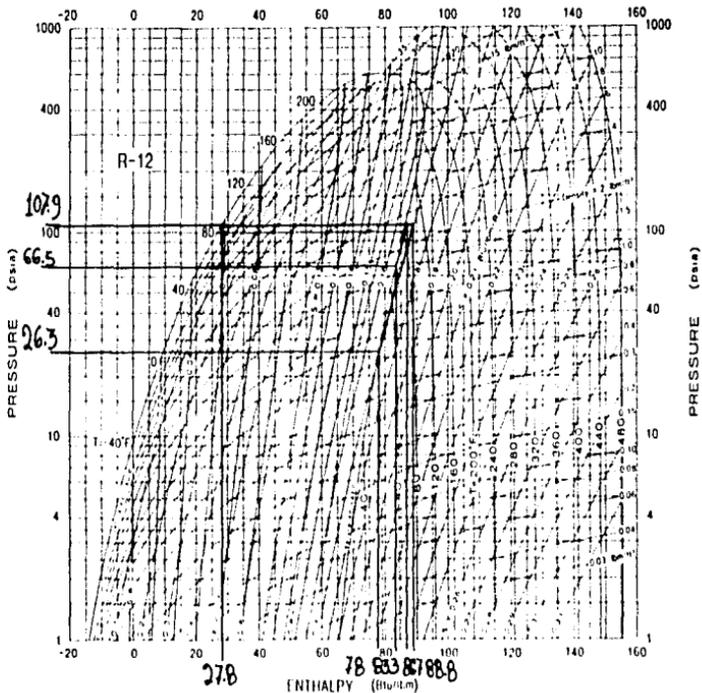
## **ANEXO C**

**Diagrama de Mollier (Ph) para el  
Refrigerante CFC-12.**

CFC-12

$t_a = 5^\circ\text{F}$  y  $55^\circ\text{F}$  ,  $t_{\text{cond}} = 86^\circ\text{F}$

ENTHALPY (Btu/lbm)



17.4

PRESSURE (psia)



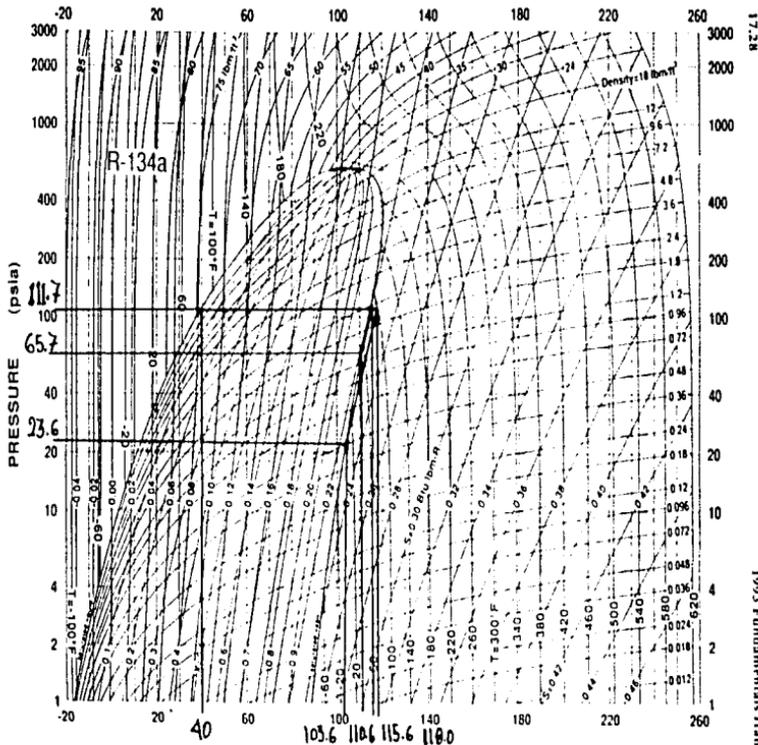




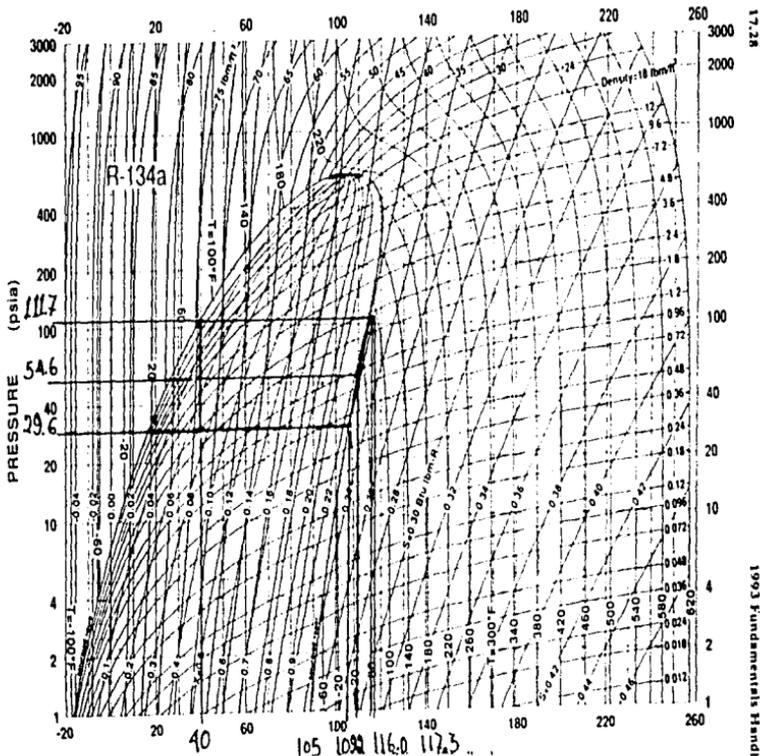
## **ANEXO C1**

**Diagramas de Mollier (Ph) para el  
Refrigerante HFC-134A.**

$t_p = 5^\circ\text{F}$  y  $55^\circ\text{F}$  ,  $t_{\text{cond}} = 86^\circ\text{F}$



$$t_e = 15^\circ\text{F}, 45^\circ\text{F}, t_{\text{cond.}} = 86^\circ\text{F}$$

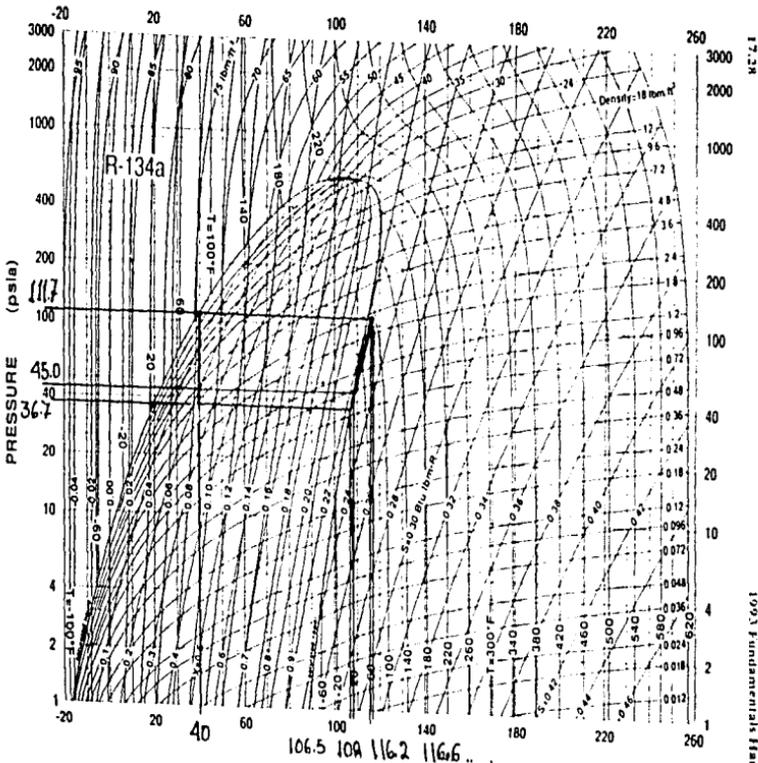


17.26

1993 Fundamentals Hand

105 108 116.0 117.3 ..

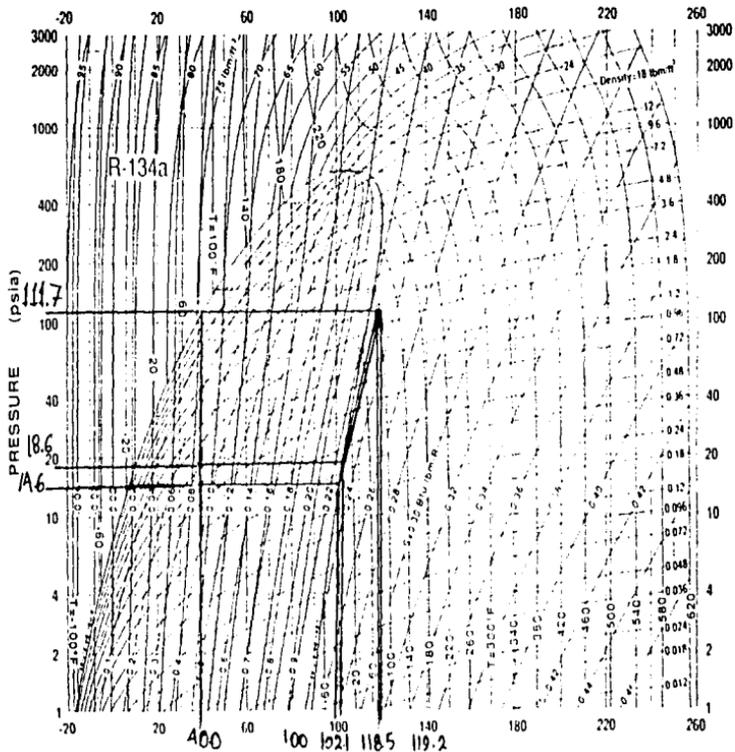
$t_c = 25^\circ\text{F}$  y  $35^\circ\text{F}$  ,  $t_{\text{cond.}} = 86^\circ\text{F}$



17.24

1993 Fundamentals (SI)

$t_e = -5^\circ F, -15^\circ F, t_{cond} = 86^\circ F$



17.28

1993 Fundamentals II Jan

## **Conclusiones**

Dentro del desarrollo de este trabajo de tesis, se han citado ya algunos de los efectos adversos a la preservación de la vida en la Tierra, que provocados por la alteración del delicado equilibrio ozono-oxígeno existente en la capa estratosférica, han puesto en riesgo la seguridad de la vida en el planeta.

Como problema real y de vital consideración se ha hecho énfasis en la gran importancia de su conservación por su función que cumple la capa de ozono.

Hemos podido advertir que el gran avance en la industria de la refrigeración que fue posible por el uso del cfc-12 dentro de los sistemas de refrigeración, no puede mantenerse como base para la presente y futura producción de refrigeración mundial, pues, se ha probado su agresividad en contra de la capa de ozono más allá de toda duda. Insistir en la aplicación de esta sustancia refrigerante hubiera puesto en riesgo la garantía de la vida misma. Al menos, esta idea fue la que tenían los organismos de los países participantes en el protocolo de Montreal, al reconocer que, en los afanes del hombre por el avance tecnológico, había alterado los ciclos básicos que rigen la vital función de la capa de ozono. Ahora ha quedado claro que la protección del medio ambiente deberá constituir parte integral del desarrollo tecnológico y por ningún motivo deberá considerarse en forma aislada.

Solo la participación y cooperación mundial ha probado ser la única manera capaz de plantear soluciones reales a problemas de magnitud global, ya que la capa de ozono no conoce de fronteras. Bien es cierto que el trabajo coordinado y comprometido realizado por el PNUMA ha logrado sentar las bases que ahora permiten proteger, conservar y asegurar el bienestar de la humanidad con acuerdos que conforman los cimientos, respaldados por una gran investigación científica y plasmados ahora en el protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono.

Es importante destacar que, no basta con tener normas y regulaciones internacionales, es imperativo contar también con instituciones que exhorten y promuevan el cambio, pero sobre todo que velen por el cumplimiento de las mismas.

En la concientización por la urgente sustitución de los refrigerantes que atentan contra la capa de ozono, y ya dentro de la investigación y selección de un refrigerante alternativo capaz de sustituir al refrigerante de mayor potencial de agotamiento de ozono (cfc-12). Encontramos dos posibles alternativas, la primera, los denominados refrigerantes de transición (mezclas MP) y los hfc's (nueva generación). Aunque ambos son capaces de sustituir al cfc-12 por sus características físico-químicas y termodinámicas, decidimos profundizar más en el estudio del hfc-134a (nueva generación) por ofrecer la mejor respuesta al problema ecológico, pues como se ha mencionado, las mezclas MP están compuestas de hcfc's, sustancias que actualmente están reguladas por la enmienda al protocolo de Montreal.

El continuar con el análisis del refrigerante hfc-134a nos llevó no solo a darnos cuenta de la gran compatibilidad ambiental al ser analizado bajo los criterios ambientales de potencial de agotamiento de ozono (ODP), potencial de calentamiento de la Tierra (GWP) y vida atmosférica de destrucción (ALD). Sino que también advertimos la gran similitud con el cfc-12 en cuanto a sus características físico-químicas, aunado a esto el gran parecido que ofrece el desempeño del hfc-134a en su capacidad de enfriamiento al estudiarlo bajo las mismas condiciones de operación que el cfc-12 en un ciclo de refrigeración por compresión. Es importante destacar que como se pudo advertir en el último cálculo de las variables de operación, existe una mayor similitud del coeficiente de operación entre los refrigerantes cfc-12 y hfc-134a, en el rango de temperatura media de evaporación de  $-7^{\circ}\text{C}$  ( $29^{\circ}\text{F}$ ) a  $7^{\circ}\text{C}$  ( $44.6^{\circ}\text{F}$ ). Lo cual indica que es preferible que se utilice solo en este rango.

Por lo anterior, estamos seguros de que el hfc-134a es el refrigerante del futuro por cumplir con los dos criterios de selección que fueron utilizados para encontrar un sustituto del cfc-12, el primero de compatibilidad ambiental y el segundo no menos importante, de características termodinámicas.

Por la discontinuación progresiva del cfc-12 y su cercana eliminación estipulada por el programa de regulación de sustancias agotadoras de ozono, elaborado por el gobierno

mexicano. La industria de la refrigeración doméstica y comercial ha empezado a trabajar aceleradamente para efectuar la sustitución de refrigerante cfc-12 por el hfc-134a, desde los equipos de fábrica.

Así mismo, por esta eliminación gradual de cfc-12, los equipos que actualmente están operando con este refrigerante, se han visto presionados para cambiar de refrigerante a un sustituto ecológico.

Con respecto a esta actualización o reacondicionamiento de equipos que actualmente están en operación con cfc-12, se han tenido que considerar varios aspectos. Aunque los fabricantes de refrigerantes, lubricantes y partes componentes de equipo de refrigeración, han proporcionado las bases en cuanto a procedimientos para la conversión de los equipos actualmente en operación a la nueva alternativa refrigerante hfc-134a, se han advertido ciertos aspectos; pareciera que cuando por fin se ha encontrado la solución al problema, surgen otras complicaciones, o al menos, esta es la impresión que nos ha dejado el análisis del proceso de transición al refrigerante hfc-134a, pues, el reacondicionamiento con el hfc-134a requiere de algunas modificaciones que lo pueden hacer hasta cierto punto costoso.

A menudo la protección al medio ambiente se ve en conflicto con otros factores que aparentan ser de mayor importancia, sin darnos cuenta que la protección de la capa de ozono debe ser de mayor consideración.

En la actualidad, los reacondicionamientos en equipos en operación se han inclinado a las mezclas MP principalmente por dos razones, el costo de retrofit y el margen de tiempo que el protocolo de Montreal ha dado para desaparecer estas sustancias, tiempo necesario para terminar su vida útil muchos de los equipos que actualmente están en operación. Es necesario recordar que estos refrigerantes fueron tratados en el punto II.3 como alternativas ecológicas para la sustitución del cfc-12, el hecho de que ya no se haya seguido con el análisis de ellas fue que estas solo serían de transición. Ciertamente son consideradas como ecológicas por disminuir grandemente su grado de agresividad en contra de la capa de ozono, pero por estar compuestas por hfc's, sustancias destinadas a desaparecer por las

regulaciones de la enmienda del protocolo de Montreal, solo serán producidas por un cierto tiempo.

Ya en el desarrollo de este trabajo se ha dicho que era imposible estandarizar el costo del reacondicionamiento a refrigerantes compatibles con el medio ambiente, por la diversidad de equipos. Por esta razón, la parte final de esta investigación, muestra una evaluación completa de un reacondicionamiento a un equipo específico, considerando las dos alternativas de refrigerantes ecológicos el hfc-134a y el MP-39. Los resultados obtenidos muestran claramente cual fue la mejor alternativa refrigerante para el equipo considerado y el porque de esta elección.

Lo mas relevante de esta investigación es que por fin se dejará de emitir cfc-12 a la atmósfera, por la gran disposición en la cooperación internacional y la comprometida investigación científica que ha dado como resultado la eliminación total mundial de la producción de cfc-12, dejando el camino libre para el hfc-134a, refrigerante de una nueva generación.

Aunque los resultados de esta sustitución de refrigerantes nuevos en la refrigeración doméstica y comercial, no se dejaran ver en forma clara hasta dentro de algunos años o quizás décadas por la lenta estabilización y probable recuperación de la capa atmosférica. Hoy podemos traducir la nueva conciencia ecológica con acciones concretas que inicien la recuperación del bienestar y el desarrollo en comunión con la naturaleza.

## **Bibliografía**

-Acción por el Ozono

Dr. Mostafa Kamal Tolba

Centro de información SEDESOL.

-La Capa de Ozono.

Marshall Fisher.

Ed. Mc Graw Hill

-The Antarctic Ozone Hole.

Mario J. Molina

Oceanus, vol. 3, No. 2, USA.

-Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono.

Programa de las Naciones Unidas (PNUMA).

Centro de información del Instituto Nacional de Ecología (INE).

-Protocolo de Montreal Relativo a las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono (PNUMA).

I.N.E

-Enmienda al Protocolo de Montreal ( países Londres Inglaterra 1990 y Copenhague Dinamarca 1994).

I.N.E

**-Programa Mexicano para la Protección de la Capa de Ozono.**

**Unidad de Protección al Ozono (UPO).**

**I.N.E**

**-Espacio y Tiempo (revista)**

**Artículo "El agujero en la capa de ozono", 1992, por Abelardo Hernandez.**

**-Aire Acondicionado y Refrigeración.**

**Burgess H. Jennings**

**Samuel R. Lewis.**

**Ed. CECSA**

**-Fundamentos de Calefacción, Ventilación y Acondicionamiento de Aire .**

**Raymon A Haurella.**

**Ed. Mc Graw Hill.**

**-Principios de Refrigeración.**

**Roy J. Dossat.**

**Ed Continental, S.A.**

**-ASHRAE HAND BOOK 1993.**

**-Boletines técnicos para la adecuación de equipos con refrigerantes R-134a, R-401A y R-401B, Quimobásicos, S.A de C.V.**

**-Boletín técnico sobre el Manejo y Uso seguro de refrigerantes alternativos SUVA. DUPONT.**

**-Boletín técnico sobre el reacondicionamiento de equipos con SUVA134a, MP-39 y MP-66. DUPONT.**

**-Guía para el cambio de refrigerante CFC-12 a 134a. COPELAND.**

**-Boletín técnico sobre el programa de recuperación de gases refrigerantes .  
Quimobásicos, S.A de C.V.**

**- Información documental . "Hechos acerca del Ozono", "Refrigerantes  
SUVA". DUPONT**

**-Información documental. " Momento de cambio en la industria de la  
refrigeración". DUPONT.**