

58



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA**



**EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUÍMICA**

**EL EFECTO DE LOS REFRIGERANTES
EN LA ATMÓSFERA TERRESTRE**

**TRABAJO ESCRITO VÍA CURSOS DE EDUCACIÓN
CONTINUA QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

P R E S E N T A

RICARDO ANDRÉS GARZA GUZMÁN



278024

MÉXICO, D.F. 2000



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

Jurado asignado:

Presidente **Prof. Lucila Cecilia Méndez Chávez**
Vocal **Prof. Ramón Arnaud Huerta**
Secretario **Prof. Rodolfo Torres Barrera.**
1er Suplente **Prof. Ramón E. Dominguez Betancourt**
2do Suplente **Prof. Jesús Arturo Butron Silva**

Tema desarrollado en:

Facultad de Química

Sede Tacuba, "Escuela Nacional de Ciencias Químicas"

Mar del norte No. 5 Col San Alvaro. México D.F.

Asesor del tema: Ing. Rodolfo Torres Barrera.

Sustentante: Ricardo Andrés Garza Guzmán.

Agradecimiento.

Es difícil el agradecer todo el apoyo que he recibido durante tanto tiempo para poder llegar a esta etapa, ya que por la vida no se vá solo ni se logran las cosas por el esfuerzo individual, mis logros aunque con el esfuerzo propio siempre han sido el resultado del trabajo en conjunto de cada uno de los que se han acercado a mi existencia y es por eso que quiero agradecer a todos aquellos que han contribuido conmigo como lo han hecho mis padres Enrique y Margarita que sin su presencia y amor nada habria sido posible, a mis compañeros de estudios, a mis hermanos Enrique, Edgar y Sofia, a los hermanos que me ha dado la vida, Mauricio y Martha (mis compadres), Mónica, Mariano, Oswal, a Carlos y Sergio (que tanto me han presionado), muy especialmente a Alfonso y Marcela por el impulso que me dieron, a Fernando Garza (Bolly) por ser mi segundo padre, al Ing Rodolfo Torres que me animó tanto, a mi hija Andrea por ser el pilar que sostiene y dirige la razón y causa de mi vida y finalmente a la mujer que siempre ha estado junto a mi, que amo con todo el corazón y que sin su apoyo, cordura y comprensión yo solo seria nadie en el espacio de la nada,

A Ana

Yo sé que aquí alguien falta de ser mencionado y por la omisión me disculpo, más he corrido el riesgo de mencionar a las personas más cercanas a mi en esta etapa en la cual todos han contribuido

Gracias a todos

ÍNDICE.

“ EL EFECTO DE LOS REFRIGERANTES EN LA ATMÓSFERA TERRESTRE”

1. OBJETIVO	3
1.1 Introducción	3
2. ANTECEDENTES.	5
2.1 Impacto ambiental de las sustancias cloradas en la capa de ozono	
2.2 Naturaleza de los CFC y las reacciones fotoquímicas que se llevan a cabo	12
2.3 Formación y destrucción del Ozono	14
2.4 Antecedentes del Protocolo de Montreal	19
2.5 Alternativas existentes para solucionar el problema del ozono en la estratósfera	30
3. ALTERNATIVAS DE SUSTITUCIÓN.	39
3.1 Aplicaciones de los Clorofluorocarbonos (CFC) en el sector de refrigeración y enfriamiento	
3.2 Refrigerantes de transición para la sustitución de los CFC	45
3.3 Opciones para cambio de refrigerante y diseño en los equipos de refrigeración	46
3.4 Otros sistemas alternativos	49
3.5 Lineamientos para el reemplazo de los refrigerantes	52
4. IMPACTO ECONÓMICO DEL REEMPLAZO.	53
4.1 Parámetros básicos necesarios para realizar un estudio del impacto económico causado por la sustitución de los refrigerantes	

V. CONCLUSIONES.	54
ANEXO 1	56
ANEXO 2	57
ANEXO 3	58
ANEXO 4	59
ANEXO 5	60
VI. BIBLIOGRAFÍA.	61

1. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es el de informar los daños causados a la atmosfera por utilizar los refrigerantes clorofluorocarbonados, así como los productos alternativos y nuevas tecnologías existentes para disminuir el daño causado a la estratósfera

1.1 Introducción.

El efecto de Invernadero.

El origen de la contaminación existente hoy en día es motivado por el desarrollo de la humanidad, que crea industrias y utiliza vehiculos que emiten contaminantes a la atmósfera, debido a esto se origina un fenómeno que provoca un desequilibrio natural, la concentración de las sustancias contaminantes en la atmósfera impide el flujo normal de la radiación calorífica provocando que se almacene en la superficie de la Tierra, la consecuencia de este almacenamiento es el aumento de la temperatura en el ambiente

⁽¹⁾La atmósfera de la tierra se compone de capas que se caracterizan por la forma en que la temperatura varia con la altitud; la tropósfera comienza en la superficie de la tierra y actúa como una fuente de calor resultante de la absorción de la luz visible del sol, la temperatura disminuye con la altura en la tropósfera, El aire se encuentra bien mezclado en esta región ya que fenómenos climaticos tales como tormentas eléctricas o la formación de nubes se desarrollan en esta zona

Cerca de los 9 a 15 Km (16 a 17 en los trópicos) comienza la estratósfera, la cual se extiende aproximadamente hasta los 50 Km; en esta capa, la temperatura aumenta con la altitud debido a la absorción de la luz ultravioleta por el oxígeno y el ozono, cuando una capa global inversa que impide el movimiento del aire ya sea vertical o dentro de si misma ya que el aire caliente permanece sobre el aire frio por lo que el proceso de conveccion es inhibido, debido a esta característica del aire en esta capa atmosférica se le llama estratosfera

En la parte mas alta de esta capa, la temperatura comienza a decrecer nuevamente aproximadamente a los 50 Km y es donde comienza la mesósfera que va de los 50 a los 100 Km, en esta capa la temperatura baja con la altitud, después continua con la termósfera que va de los 100 a los 400 km , aqui se presenta de nuevo un incremento de la temperatura con la altitud y la exósfera que va de los 400 Km al vacío interplanetario En la parte superior de la mesósfera y en la termósfera se encuentran iones y electrones de manera abundante por lo que tambien se les conoce como la ionosfera

El aumento en la temperatura provoca un desequilibrio en los ciclos naturales de la tierra, y esto se demuestra en los cambios climaticos que se presentan, las lluvias cada vez tardan mas tiempo en caer, produciendo sequias o inundaciones en lugares donde no se habian presentado estos problemas

⁽¹⁾ "The Region of the Atmosphere", The NOAA Aeronomy Laboratory ,
<http://af.noaa.gov/WWW/HD/pubdocs/WWWOLN/EP94.html>

⁽²⁾Algunas de las conclusiones a las que se ha llegado es que en las zonas del Norte de América podría aumentar de un 30 a 60% la sequedad de la Tierra, mientras que en Chile y Argentina podría aumentar en un 20% aproximadamente

Sólo una pequeña parte del espectro del Sol alcanza la superficie de la Tierra y algunas fracciones de la sección de UV, que en su mayor parte son detenidas, pueden producir diversos efectos nocivos a los seres vivos. La Tierra está protegida de la radiación UV- lejana proveniente del sol, por el oxígeno y el ozono que se encuentran en la atmósfera

El ozono es un gas azulado de olor penetrante representado por la fórmula O_3 , constituido por tres átomos de oxígeno y se encuentra de forma natural en la Tierra desde el nivel del suelo hasta una altura de 60 km aproximadamente formando una capa natural en la estratósfera, el espesor de la capa es de unos 20 Km

La concentración máxima de ozono se localiza a unos 25 km de altitud, donde se encuentra cerca del 90% de todo el ozono que existe en la Tierra ⁽³⁾ Se han generado muchas discusiones sobre el ozono ya que este compuesto es la substancia más representativa de los niveles de contaminación en los reportes del ⁽⁴⁾ IMECA. Este gas es en efecto un contaminante creador de problemas entre los habitantes de las grandes ciudades ya que al ser más reactivo y poder desprender un radical oxígeno provoca una oxidación mayor a la del oxígeno di-atómico

Se pueden diferenciar los tipos de ozono según su origen, uno es el que se produce por la acción reactivadora de la luz solar sobre compuestos orgánicos tales como hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y azufre (ozono superficial), estos provienen de la combustión de vehículos automotores y de emanaciones industriales. Este tipo de ozono es el causante de daños en la piel de seres humanos y animales, afecta las vías respiratorias llegando incluso a causar asma y deterioro en otras mucosas

En las grandes ciudades la producción fotoquímica de ozono es un problema tan serio (principalmente en el invierno) que cuando se combinan con el fenómeno de la inversión térmica como sucede en la ciudad de México, las autoridades tienen que aplicar medidas drásticas para restringir el uso de vehículos y limitar o reducir la producción en las industrias más contaminantes, lo que merma en la productividad de las empresas

El otro tipo de ozono es el que se produce de forma natural, es el que forma parte de la capa protectora del planeta y se encuentra en la estratósfera

En diciembre de 1974 los científicos F. Sherwood Rowland y Mario Molina, descubrieron que la estratósfera estaba siendo bombardeada con niveles excesivamente altos de radiación ultravioleta debido a que la descomposición de un grupo de compuestos químicos provocan la destrucción de las moléculas de ozono. Estas investigaciones ⁽⁵⁾ recibieron como reconocimiento el premio Nobel de Química 1995, sobre el impacto ambiental de los clorofluorocarbonos (CFC). Estas sustancias se volatilizan y generan desechos, estabilizándose en las capas altas de la atmósfera, en donde al entrar en contacto con la luz ultravioleta y con el ozono producen reacciones en cadena, cuyo resultado neto es la destrucción de 100 mil moléculas de ozono por molécula de CFC

⁽²⁾ " Proteger la capa del Ozono - Frigoríferos ", Rune Aarlien, Ward Atkinson, Jim Baker, Peter Cooper, David Didion, entre otros colaboradores, Serie CAP/IMA del PNUMA.

⁽³⁾ " Hechos acerca del ozono", Du Pont S A de C. V, Departamento de productos fluorados, División de mercadotecnia.

⁽⁴⁾ Índice Metropolitano de la Calidad del Aire

⁽⁵⁾ " Premio Nobel a la Investigación ambiental " , J.M Domínguez, CIENCIA, diciembre 1995.

⁽⁶⁾ " Hold The Applause", Jack Doyle, Internet, agosto 1996, <http://www.rtk.net/E3026T596>

2. ANTECEDENTES.

2.1 Impacto ambiental de las sustancias cloradas en la capa de ozono.

La contaminación ambiental es un problema grave para todos los habitantes del planeta y principalmente para los que vivimos en las ciudades en donde las condiciones son mucho más agresivas ⁽¹⁾

Los contaminantes presentes en mayor cantidad en la troposfera son el radical hidroxilo, el ozono y el peróxido de hidrogeno así como los óxidos de nitrógeno y el dióxido de azufre

El dióxido de azufre se produce a partir de que una gran cantidad de combustibles derivados del petróleo llevan pequeñas cantidades de compuestos que contienen azufre; al quemarse estos combustibles se genera el dióxido de azufre, pero si estos compuestos no se quemaran, el dióxido de azufre se formaría mediante reacciones fotoquímicas, el dióxido de azufre provoca la lluvia ácida transformándose en ácido sulfúrico por reacción, ya sea con agua y luego con peróxido de hidrogeno (agua oxigenada), con un radical hidroxilo, oxígeno y agua o con agua y ozono

Óxidos de nitrógeno (NOx) El nitrógeno atómico al entrar en contacto con el oxígeno a temperaturas elevadas se convierte en óxido nítrico el cual puede ser transformado en dióxido de nitrógeno al entrar en contacto con el ozono. El dióxido de nitrógeno reacciona de tres formas distintas. La primera es con otra molécula de ozono para producir trióxido de nitrógeno el cual reacciona con una molécula de dióxido de nitrógeno produciendo pentóxido de di nitrógeno el cual con agua produce ácido nítrico, la segunda reacción es con un radical hidroxilo para producir ácido nítrico y la tercera es mediante la acción de la luz solar que provoca su descomposición en un radical libre de oxígeno y óxido nítrico, el radical libre de oxígeno reacciona con una molécula de oxígeno

El cambio de clima global es un problema que ha tomado mucha importancia en los últimos años se debe a distintas causas, algunas de ellas son la lluvia ácida, los pesticidas, la erosión y el aumento de la concentración en la atmósfera de gases con efecto de invernadero, como es el caso del dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, el metano y los clorofluorocarbonos

⁽²⁾ Mario Molina y Rowland fueron los primeros que sugirieron que los clorofluorocarbonos pudieran jugar un papel importante en el agotamiento de la capa de ozono, esta capa escuda a la Tierra de las radiaciones ultravioleta

⁽¹⁾ "Química de la Contaminación Atmosférica", Benjamin Ruiz L. El Financiero, pp 88, 16/12/91

⁽²⁾ "Proteger la capa del Ozono - Frigoríferos", Rune Aarlien, Ward Atkinson, Jim Baker, Peter Cooper, David Didion, entre otros colaboradores, Serie CAP/IMA del PNUMA.

Los clorofluorocarbonos, comunmente conocidos como CFC o freones, son considerados como gases de invernadero. Los países que producen más del 60% de los CFC son Estados Unidos, Canadá y algunos países del este de Europa. Las investigaciones indican que los compuestos clorados como los clorofluorocarbonos que llegan a la estratósfera contribuyen a la destrucción de la capa de ozono.

La concentración de estos gases en la atmósfera ha aumentado considerablemente, lo cual representa una de las principales causas de la destrucción de la capa de ozono.

Pueden pasar años antes de que las sustancias cloradas lleguen a la estratósfera y comiencen a destruir la capa de ozono.

Es evidente que al observar los daños que estas sustancias están causando tanto en los ecosistemas como en los seres vivos, ha surgido la necesidad de proteger la capa de ozono, y cada vez que los científicos anuncian una disminución constante del ozono en la estratósfera y la existencia de un agujero en la capa del ozono en la región Antártica (Polo Sur), se refuerza esta necesidad de tomar medidas urgentes para controlar el problema.

⁽³⁾ En 1985 un equipo de investigadores británicos usaron datos de la estación británica de Halley Bay, para informar que durante septiembre y octubre había ocurrido una disminución exagerada en la concentración de ozono en la zona de la Antártica; estos descubrimientos fueron apoyados por información que se obtuvo por medio de satélites y además indicaron que se había notado una gran disminución que comenzó a partir de los años 70's, como consecuencia de todo esto, se observó sobre el Hemisferio Norte (Antártida), el desarrollo de agujeros profundos y extensos en la capa de ozono.

De acuerdo a investigaciones que se realizaron en el año de 1987, se llegó a la conclusión de que los CFC, así como otros contaminantes ambientales como el metilcloroformo, bromuro de metilo y los halones son los responsables del agujero de ozono, los últimos dos compuestos liberan átomos de bromo, los cuales son 40 veces más destructivos que los átomos de cloro. Por otro lado es necesario tomar en cuenta que las condiciones meteorológicas que existen en el Ártico (temperaturas a bajo de 50° Celsius y pocas nubes) han contribuido también a que se agrave el problema.

Expertos en problemas atmosféricos de todo el mundo han participado en la evaluación de la disminución de la capa de ozono, llevada a cabo por el PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente) en el año de 1991.

En otras zonas que no forman parte del Ártico también se ha reducido la cantidad de ozono, es decir la destrucción está siendo registrada en forma global desde la Antártida hasta el Ártico, en los trópicos y en las regiones de latitudes medias, por lo que se considera que es muy probable que también se desarrolle un agujero en la capa de ozono sobre el Ártico.

Por otro lado han surgido nuevas evidencias científicas de que hay mecanismos en la estratosfera que están debilitando la capacidad de la atmósfera para recuperarse de los periodos de disminución del ozono.

⁽³⁾ "The Impact of Ozone-Layer Depletion", Michael D. Gwynne, Mostafa K. Tolba, United Nations Environment Program, UNEP/GEMS Environment Library no.7

⁽⁴⁾ PNUMA Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente

⁽⁵⁾ Datos que se han obtenido a partir de satélites indican que ha habido una reducción global de ozono de aproximadamente un 5% desde el año de 1978, se informa que se ha presentado una reducción global de 1.7 a 3% en el hemisferio norte. En latitudes cercanas a unos 30 y 64 grados durante los meses de invierno la reducción ha sido cercana a un 6.2%, sin embargo la precisión de estos datos es cuestionada, aunque la información obtenida ha sido bastante congruente de acuerdo con los cálculos hechos con modelos matemáticos.

Es necesario mencionar que por lo menos existe una predicción de la cual los científicos están seguros: la disminución de la capa de ozono va a continuar por lo menos durante una década, probablemente más, ya que los niveles de destrucción del ozono que se están observando hoy día, no se están reflejando aún en el período de mayor producción mundial de sustancias químicas que destruyen la capa de ozono, ya que las sustancias que contienen halógenos en sus moléculas llegan a tardar hasta dos décadas en la atmósfera antes de subir a la estratosfera. De manera que si la producción de éstas terminara mañana, la cantidad de cloro seguiría acumulándose en la estratosfera, y es probable que alcanzará su nivel más alto alrededor del año 2000, además dichas sustancias tienen una vida larga, lo que provocará que la disminución continúe por mucho tiempo. Se tiene esperado que durante todo el próximo siglo, en cada primavera austral se continúe acrecentando el agujero de la capa de ozono.

Además se sabe que la presencia de sustancias contaminantes en la estratosfera, denominados aerosoles estratosféricos, hacen que la protección de la capa sea más difícil ya que estos contaminantes inhiben las reacciones que se llevan a cabo entre cloro y metano para formar cloruro de hidrógeno, de tal forma que las moléculas de cloro permanecen libres en la estratosfera, teniendo así una alta probabilidad de reaccionar con las moléculas de ozono para destruirlo.

En la Evaluación de Crecencia del PNUMA, realizada en el año de 1991, se llegó a la conclusión que la cantidad actual de moléculas de cloro que se encuentran en la atmósfera es de 3.4 partes por mil millones en volumen (ppb) y que es muy probable que al seguir aumentando, se alcance para el año 2000 una concentración de 4.1 ppb.

Es importante mencionar que muchos de los resultados de las investigaciones que se han hecho sobre la destrucción de la capa de ozono, fueron publicados seis meses después de que el Protocolo de Montreal fuera firmado, por lo que estos no tuvieron influencia alguna en el tratado.

Las consecuencias de la existencia del agujero en la capa de ozono de la estratosfera, son muy graves. Por un lado hay una preocupación mundial por los impactos que tiene sobre la cadena alimenticia del ecosistema marino de la Antártida, así como también existe temor por los daños que se están produciendo en el Hemisferio Sur, tanto en latitudes medias como altas, durante los meses de primavera y verano, porque que los rayos ultravioleta (UV-B), son de mayor intensidad durante esta época del año y son recibidos directamente por los seres vivos. Un aumento significativo en la cantidad de rayos UV-B sobre la superficie de la Tierra puede tener efectos graves en la salud humana, plantas y ecosistemas acuáticos.

⁽⁵⁾ Como enfrentar la destrucción de la capa de ozono', Estudio preliminar de las alternativas a las sustancias químicas que destruyen la capa de Ozono. Sheldon Cohen y Alan Pickaver, Greenpeace Internacional, 1992.

Impacto en el ecosistema acuático.

A medida que los niveles de ozono disminuyen en la estratosfera, el crecimiento y supervivencia de los organismos vivos que sustentan la base de la cadena alimenticia marina y que generan alimento a los demás seres vivos marinos, se ve amenazado por el incremento de las radiaciones ultravioleta, generando consecuencias muy graves

Esto se debe a que los organismos productores primarios como el plancton y otros microorganismos que se encuentran flotando en la corriente marina, son muy sensibles al aumento en las radiaciones ultravioleta (UV-B) El plancton está constituido por algas, protozoos, pequeñas formas larvales de animales y algunos gusanos. El fitoplancton es una variedad del plancton y son principalmente plantas flotantes microscópicas, se distribuyen hasta la profundidad máxima alcanzada por la luz. Suelen ser invisibles, salvo si se encuentran en gran cantidad y dan una tonalidad verdosa al agua. Se ha estimado que cada año estos organismos producen más de la mitad de la biomasa de la Tierra.

Con un pequeño incremento en la radiación se reduce la cantidad de fitoplancton producido, y aunque sea pequeña, el abastecimiento de alimento se vería dramáticamente afectado, produciendo un desequilibrio en el ecosistema

La otra población importante en el mar es el zooplancton, abarca todos los animales microscópicos que son arrastrados pasivamente por el agua en movimiento y se alimentan del fitoplancton, formando la segunda etapa en la cadena alimenticia. Estos organismos también son afectados por el incremento de la radiación, debido a que al aumentar la temperatura de los océanos en un 15% en época de verano, sólo tomaría unos cinco días para que la mitad de la población que vive en la superficie de las aguas muriera

Los rayos ultravioleta también dañan a los peces, camarones, y larvas de cangrejos, entre otros. La capacidad de reproducirse, crecer y sobrevivir de las larvas de los peces disminuye al aumentar la radiación (UV-B). Al disminuir la cantidad de peces que llegan a edad adulta, el alimento disponible para los peces de mayor tamaño y otras formas de seres marinos también disminuye, provocando un caos en el ecosistema

Es importante mencionar que más de un 30% del consumo mundial de proteínas proviene de los océanos y en algunos países este porcentaje es mayor

Por último, se ha pensado que otra de las consecuencias graves que se podría presentar en el ecosistema marino son mutaciones y cambios en la composición de los seres vivos

Impacto en la Tierra y en las plantas.

Como se mencionó anteriormente el aumento en las radiaciones ultravioleta (UV-B), daña los ecosistemas, así como la Tierra de cultivo

Existen pequeños microorganismos que desempeñan un papel esencial en la fijación del nitrógeno en la tierra, que a su vez es un compuesto fundamental para el crecimiento de las plantas. Al morir animales o plantas, las bacterias de la putrefacción transforman el nitrógeno de sus proteínas y otros compuestos en amoníaco. Las bacterias desnitrificantes transforman parte del amoníaco en nitrógeno atmosférico, el cual puede ser fijado y transformado en compuestos orgánicos de nitrógeno como aminoácidos por algunas algas verdes y por las bacterias del suelo

Por otro lado los animales excretan varios tipos de producto de desecho a base de nitrógeno, casi todo este elemento es transformado en nitritos por las bacterias nitrificantes y después otros

microorganismos se encargan de transformarlos en nitratos, completando así el ciclo del nitrógeno. Estas bacterias producen grandes cantidades de nitrógeno sin costo alguno; se ha estimado que llegan a asimilar cerca de 35 millones de toneladas de nitrógeno en la Tierra, lo cual suma un alto costo en fertilizantes.

Las bacterias son muy afectadas por el aumento de la radiación ultravioleta, de forma que al disminuir la capa de ozono también disminuye la producción natural de nitrógeno en la Tierra.

Se han hecho muy pocos estudios acerca de las consecuencias que tiene este problema ambiental en el crecimiento de las plantas, pero en los estudios que se han realizado hasta ahora sobre algunas plantas, se ha encontrado que tienden a crecer más lentamente, provocando que no se desarrollen, ya que el proceso de fotosíntesis se ve igualmente afectado.

El aumento en la cantidad de rayos UV-B podría ocasionar en una disminución en la producción agrícola, ya que la producción bajaría en calidad, por una disminución en el contenido proteínico y en contenido de aceite vegetal, al alterarse el equilibrio de los ecosistemas se podría reducir el ritmo de crecimiento de las plantas.

A pesar de que todavía se requiere más investigación, los resultados de los experimentos sugieren que en algunos tipos de plantas, el aumento en las radiaciones inhibe la polinización. Para el caso particular de la germinación de la "Petunia", se encontró una inhibición de un 65%, bajo radiaciones UV-B moderadas.

Daño a materiales.

El problema ambiental de la capa de ozono causa que muchos materiales se degraden más rápido. Los plásticos que se encuentran expuestos al ambiente reducirían su vida útil de manera considerable.

El cloruro de polivinilo (PVC), el poliéster insaturado, poliuretano, así como el Nylon, polietileno, propileno, caucho natural, madera, pinturas y textiles son algunas de las materias primas que se utilizan mucho para producir accesorios para casas, tuberías y refacciones de automóviles, se degradarían más rápido.

Los países en desarrollo son los que se verían más afectados, debido a que utilizan mucho este tipo de materiales por su bajo costo de producción.

Cáncer en la piel.

El efecto más grave que se puede presentar en la salud humana es un aumento en la incidencia de cáncer en la piel.

La exposición a cierta cantidad de rayos ultravioleta, provoca que la piel se adapte y que se vuelva más delgada y oscura, sin embargo el crecimiento extra de las células produce que la piel se vuelva mucho más susceptible a presentar problemas de cáncer.

Daño en la vista.

Se considera que se podrían encontrar casos de problemas de la vista, ya que los rayos UV provocan daños en la retina y córnea del ojo. Los ojos tienen menor tolerancia que la piel; las investigaciones han demostrado que los ojos se vuelven mucho más sensibles al estar expuestos a radiaciones excesivas y repetidas.

Los ojos responden a las radiaciones UV-B desarrollando una disminución de la vista que con exposiciones continuas puede terminar en problemas de cataratas y por consiguiente ceguera; recientemente se ha relacionado a la exposición a los rayos solares como un factor importante en el desarrollo del cáncer intraocular. (La gente que habita en las latitudes menores y que tiene los ojos de color claro corre tres veces más el riesgo de presentar este tipo de tumores)

Daño en el sistema inmunológico.⁶¹

Los rayos ultravioleta producen reacciones alérgicas en la piel que afectan profundamente el sistema inmunológico. Las células de la piel, las cuales son la principal defensa que tiene un ser vivo para combatir infecciones, se ven afectadas.

Normalmente una vacuna que es inyectada por medio cutáneo, estimula la producción de anticuerpos, pero en la piel que ha sido tratada con rayos ultravioleta, la actividad en la producción de anticuerpos es suprimida y aumenta la producción de células tipo "T", que protegen el cuerpo para que no sean rechazadas sus proteínas. Cuando la piel ha sido sobre expuesta al sol, estas células provocan que el cuerpo no reconozca las vacunas que son inyectadas, produciendo que el cuerpo no genere los anticuerpos y defensas necesarios. Si el cuerpo no está reconociendo cuando debe generar anticuerpos, puede permitir que se desarrollen enfermedades, dando lugar a consecuencias que pueden llegar a ser muy graves. Todo esto puede llegar a que se produzca no solo cáncer en la piel, si no también muchas otras enfermedades que son infecciosas.

Daños al sistema respiratorio.

⁶²El ozono a nivel del piso, presenta un problema serio en la calidad del aire, el ozono es el elemento principal de formación para el "smog" urbano, el ozono puede disminuir la resistencia a enfermedades tales como resfriados y neumonía, incrementar enfermedades del corazón y causar tos e irritación de la garganta.

Aún los adultos sanos, que realizan ejercicio o actividades al aire libre, sienten los efectos del ozono, nadie está exento de daños al respirar ozono, todas las personas como los jóvenes, los ancianos, y aquellos que tienen problemas pulmonares preexistentes. El inhalar ozono puede afectar las funciones de los pulmones y empeorar los ataques de asma. El ozono puede incrementar la susceptibilidad de los pulmones a infecciones, alergias y otros contaminantes del aire, estudios médicos han demostrado que el ozono daña el tejido pulmonar y los efectos insalubres pueden continuar por días.

⁶¹ "The impact of Ozone-Layer Depletion", Michael D. Gwynne, Mostafa K. Tolba, United Nations Environment Program, UNEP/GEMS Environment Library no.7

⁶² <http://www.epa.gov/region01/eca/ozone/ozfact1.html> 1/09/98

Cambios del clima global. ⁽⁸⁾

El cambio de clima global es un problema que ha tomado mucha importancia en los últimos años. Se debe a distintas causas, algunas de ellas son la lluvia ácida, los pesticidas, la erosión, y el aumento de la concentración en la atmósfera de gases con efecto de invernadero, como es el caso del dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, el metano y los clorofluorocarbonos.

El calentamiento global resulta del fenómeno comúnmente conocido como efecto de invernadero, éste es causado porque algunos gases absorben energía y causan incrementos de temperatura.

Este fenómeno se detectó debido al aumento de concentración en la atmósfera de dióxido de carbono (CO_2), sin embargo el dióxido de carbono no es el único gas que está contribuyendo al cambio de clima global, los óxidos de nitrógeno, algunos hidrocarburos como el metano, así como los CFC son también considerados como gases de invernadero. Los efectos de todos éstos últimos pueden llegar a ser tan grandes como los del dióxido de carbono para el año 2000. En la figura 2.1-1 se muestra la tendencia pronosticada.

El calentamiento global resulta del fenómeno conocido como efecto de invernadero, este es causado debido a la acumulación de gases que absorben energía y en consecuencia se produce un aumento en la temperatura ambiental, este fenómeno se detectó con el aumento en la concentración de dióxido de carbono (CO_2) aunque el incremento también se presentó en otros gases como los óxidos de nitrógeno, hidrocarburos como el metano y los CFC, se han hecho pronósticos para el aumento en la concentración de algunos de estos gases para el año 2000, relacionándolos con el incremento en temperatura.

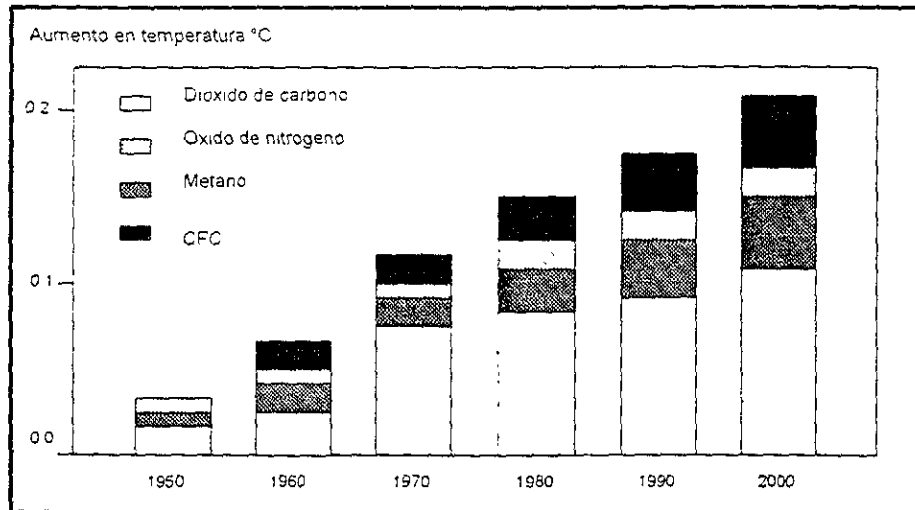


Figura 2.1-1 Gráfica de proyecciones del calentamiento global causado por los diferentes gases de invernadero.

⁽⁸⁾ "Some consequences of long-term human impacts on ecosystems", Gene E. Likens, Revista Chilena de Historia Natural 64.597-614, 1991.

2.2 Naturaleza de los CFC y las reacciones fotoquímicas que se llevan a cabo.

Los primeros agentes refrigerantes que se utilizaron fueron el ⁽¹⁾ amoniaco y el dióxido de carbono los sistemas grandes de refrigeración mecánica. Cuando se desarrollaron unidades más pequeñas para uso doméstico, se comenzó a utilizar el dióxido de azufre, el cloruro de metilo, y el cloruro de metileno los cuales con excepción del amoniaco, que se utiliza en instalaciones como plantas de hielo y pistas de patinaje, estos agentes de refrigeración han dejado de utilizarse y únicamente se pueden llegar a encontrar en instalaciones viejas ya que fueron desplazados por los refrigerantes fluorocarbónicos

Los clorofluorocarbonos.

En los últimos años de la década de 1920 la búsqueda de un refrigerante completamente seguro con buenas propiedades térmicas, condujo al desarrollo de los refrigerantes fluorocarbonados. Los fluorocarburos (hidrocarburos fluorinados) constituyen un grupo de una familia de compuestos conocidos como halocarburos, los cuales son hidrocarburos halogenados

La familia de compuestos halocarburos, se sintetiza, llevando a cabo una sustitución de uno o más átomos de hidrógeno de las moléculas de metano (CH_4) y etano (C_2H_6) por átomos de fluor, cloro o bromo, (este grupo constituye la familia de los halógenos) Si los átomos de hidrógeno se sustituyen progresivamente por átomos de cloro (Cl), los compuestos que resultan son el cloruro de metilo (CH_3Cl) y el tetracloruro de carbono (CCl_4), respectivamente. Ahora si los átomos de cloro en la molécula se sustituyen progresivamente con átomos de fluor, los compuestos que se obtienen son el tricloromonofluorometano (CCl_3F), diclorodifluorometano (CCl_2F_2), monoclorotrifluorometano (CClF_3), y tetrafluoruro de carbono (CF_4), respectivamente

En el mismo orden, las designaciones numéricas normales que la asociación americana ⁽²⁾ ASHRE ha designado para estos compuestos son 11, 12, 13 y 14, en donde la última cifra numérica indica el número de átomos de fluor que se encuentran presentes en la molécula. Debido a que la nomenclatura química de los refrigerantes es a menudo muy larga, los fabricantes han creado nombres comerciales para estos compuestos que al mismo tiempo han sido registrados como marcas. Así en América estos compuestos son conocidos como Freón, Genetrón e Isotrón, según el fabricante y en Alemania se llaman Frigen

⁽¹⁾ " Handbook of Refrigerating Engineering", W. R. Woolrich, Vol 1, Fundamentals, 4th edition, The AVI Publishing Company, INC, Westport Connecticut, 1965, p p. 20

⁽²⁾ ASHRE American Association of Heating and Refrigerating Engineers.

A los compuestos orgánicos derivados de los hidrocarburos simples, que tienen los átomos de hidrógeno de la molécula completamente sustituidos por átomos de cloro y fluor se les conoce como clorofluorocarbonos, estos compuestos son completamente sintéticos, es decir que no provienen de fuentes naturales, con excepción del cloruro de metilo que se produce biológicamente en los océanos y químicamente por la combustión de la biomasa

La ausencia de los átomos de hidrógeno los hace ser muy estables, la ^{3a} energía de enlace que existe entre los átomos de carbono-fluor es muy alta (116.07 kcal/mol), en comparación con la de los enlaces carbono-hidrógeno (99.12 kcal/mol) y para el enlace carbono-cloro (72.29 kcal/mol) Por esta razón entre más átomos de fluor se encuentren presentes en la molécula, el compuesto será más estable

Hay muchas variedades de clorofluorocarbonos que son utilizados como refrigerantes, los más comunes son el CFC-11 (CFCl_3), CFC-12 (CF_2Cl_2) y CFC-13 (CF_3Cl)

La producción de CFC aumentó de manera considerable desde los 60's, alcanzando su máxima producción en 1974, fecha después de la cual se comenzó a dejar de producir estas sustancias debido a que se dejaron de utilizar en los propulsores de los atomizadores, sin embargo en los 80's, los CFC se utilizaron como agentes refrigerantes, ocasionando que la concentración de estas sustancias en la atmósfera continuara aumentando

A pesar de que los CFC son más pesados que el aire, se sabe que estos compuestos llegan a subir a la estratosfera en un proceso que puede llegar a tardar de 2 a 5 años

La principal causa del problema de la destrucción del ozono radica en que los CFC al llegar a la atmósfera, tienen una vida media de aproximadamente 100 años, ⁽⁴⁾ por lo que es probable que los CFC que hayan sido liberados antes de que se suspendiera su producción se encuentren todavía en la atmósfera, y por consiguiente continúen destruyendo el ozono. Se considera que los niveles máximos de carga de cloro estratosférico se producirán alrededor del año 2000

Por lo general los clorofluorocarbonos tienen puntos de ebullición bajos, peso molecular y densidad elevados, viscosidad baja, son inodoros, son bajos conductores de la electricidad, no son flamables, ni tóxicos

En el anexo 1, se encuentran las características, propiedades y aplicaciones de los refrigerantes convencionales

⁽³⁾ " Química Orgánica ", Morrison y Boyd, Quinta edición, Addison Wesley.

⁽⁴⁾ " Como enfrentar la destrucción de la capa de ozono ", Estudio preliminar de las alternativas a las sustancias químicas que destruyen la capa de ozono, Editado por Sheldon Cohen y Alan Pickaver, Greenpeace Internacional, Octubre 1992.

2.3 Formación y destrucción del Ozono.

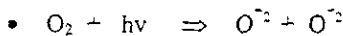
La ciencia del agotamiento del ozono.

Formación del ozono.

El ozono es un gas que se encuentra en la atmósfera de la Tierra de manera natural, la concentración del ozono varía con la altura, siendo en la estratosfera donde se localiza la mayor concentración.

El ozono que se encuentra en la estratosfera absorbe radiaciones ultravioleta del sol de ciertas longitudes de onda, provocando que se reduzca la intensidad de las radiaciones ultravioleta que llegan a la tierra.

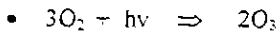
La radiación UV, por debajo de 242 nm (nanómetros), se adhiere a una molécula de oxígeno para formar dos radicales libres, que en este caso son átomos de oxígeno de la siguiente manera:



Los átomos de oxígeno pueden atacar entonces las moléculas de oxígeno para dar lugar a la formación del ozono:

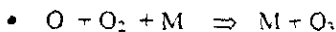


Donde la especie neutra M, puede ser algún hidrocarburo o una molécula de aire (O₂ o N₂). esta especie es necesaria para que se lleve a cabo la disminución de la energía cinética de los átomos de oxígeno y permitir la formación del enlace para que se produzca el ozono. De forma que la reacción completa es la siguiente:



Mediante todo este proceso la Tierra es protegida de la radiación UV y se tiene la formación de ozono.

En la ciudad de México es muy común oír hablar de que el ozono es un contaminante atmosférico, pero debemos aclarar que este tipo de ozono se produce por la acción reactivadora de la luz solar sobre compuestos orgánicos, tales como hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y azufre, como se muestra a continuación:



Donde M es el agente neutro que favorece la reacción.

⁽⁷⁾ En 1930 el físico inglés Sidney Chapman formulo la primera teoría fotoquímica de la formación y destrucción del ozono en la atmósfera. Esta teoría describe como las radiaciones ultravioleta convierten el oxígeno de una forma a otra. Mediciones posteriores demostraron que hay variaciones considerables en la teoría de Chapman. En 1970 el científico alemán Paul Crutzen, demostro que los óxidos de nitrógeno (NO y NO₂) reaccionan catalíticamente con el ozono

- $\text{NO} + \text{O}_3 \Rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$
- $\text{NO}_2 + \text{O} \Rightarrow \text{NO} + \text{O}_2$
- $\text{O}_3 + h\nu \Rightarrow \text{O}_2 + \text{O}^*$

Existen otros mecanismos de formación del ozono a partir de óxidos de nitrógeno y de azufre y las reacciones que se llevan a cabo se muestran a continuación:

Azufre.

- $\text{SO}_2 + h\nu \Rightarrow \text{SO}_2^*$
- $\text{SO}_2^* + 2\text{O}_2 \Rightarrow \text{SO}_3 + \text{O}_3$

Nitrógeno.

- $2\text{NO} + \text{O}_2 \Rightarrow 2\text{NO}_2$
- $\text{NO}_2 + h\nu \Rightarrow \text{NO} + \text{O}$

donde

* quiere decir que es un producto activado por la energía solar

⁽⁸⁾ El próximo paso en el desarrollo de la teoría de la destrucción del ozono es en 1974, cuando Mario Molina y Sherwood Rowland, publicaron un artículo en el que los gases CFC, podían gradualmente llegar hasta la estratosfera, donde los rayos UV rompen sus moléculas y como consecuencia liberan átomos de cloro. Estos investigadores basaron sus conclusiones en dos importantes contribuciones de otros investigadores

a) James Lovelock de Inglaterra, (1927) desarrolló un dispositivo muy sensible para medir la concentración de gases orgánicos en la atmósfera, con el cual se demostró que los gases CFC producidos por el hombre se encontraban esparcidos a través de la atmósfera

b) Richard Stolarski y Ralph Cicerone de Estados Unidos, (1950) demostraron que los átomos de cloro libre en la atmósfera pueden descomponer catalíticamente el ozono, de manera similar a la descomposición producida por los óxidos de nitrógeno

⁽⁷⁾ "Proceso esquemático de la destrucción del ozono", escrito por la División de Protección del Ozono de la EPA (Agencia de Protección ambiental de los Estados Unidos)

⁽⁸⁾ "The impact of Ozone-Layer Depletion", Michael D. Gwynne, Mostafa K. Tolba, United Nations Environment Program, UNEP/GEMS Environment Library, no 7

Proceso de destrucción del ozono.

En la atmósfera se llevan a cabo muchas reacciones de radicales libres que son iniciadas por la luz del Sol y dan lugar a la descomposición de muchos de los gases de la estratósfera, entre los cuales se encuentran los compuestos halogenados que contienen átomos de cloro y bromo

Los radicales cloro y bromo pueden desencadenar una serie de reacciones destructivas perjudicando a otros gases de la estratósfera, incluyendo al ozono

Uno de los conjuntos de reacciones más controvertido es el que gira alrededor del ozono que se encuentra en la estratósfera

Las moléculas de ozono se descomponen produciendo oxígeno y monóxido de cloro. Después de esta reacción queda libre un radical simple de cloro, que puede dar lugar a otras 100,000 reacciones similares antes de ser finalmente expulsado de la estratósfera a la tropósfera

Cuando el ozono entra en contacto con un átomo de cloro, que funciona como radical libre, el ozono se somete a cambios que causan la pérdida de sus propiedades protectoras para filtrar los rayos ultravioleta

Durante los últimos decenios, se han liberado a la atmósfera clorofluorocarbonos en cantidad suficiente para perjudicar la capa de ozono. Las pérdidas más importantes de ozono estratosférico tienen lugar regularmente cada primavera sobre la Antártida; un efecto similar, pero más débil ha sido detectado sobre el Ártico

⁽⁹⁾ De esta forma en condiciones normales existe un equilibrio entre la destrucción del ozono y la generación del mismo, provocando que la concentración del ozono sea constante en la estratósfera, pero el problema de la destrucción de la capa de ozono se complica por el hecho de que existen otras sustancias, conocidas como CFC, que al llegar a la estratósfera, la elevada energía de los rayos ultravioleta rompe sus moléculas, liberando átomos de cloro, que son fuertemente atraídos hacia uno de los tres átomos de oxígeno de la molécula de ozono, dicho en otras palabras, los átomos de cloro son muy reactivos y al encontrarse libres reaccionan fácilmente con el ozono.

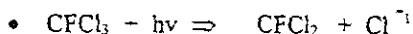
El exceso de cloro en la parte superior de la atmósfera, altera el delicado equilibrio de la naturaleza, provocando la destrucción gradual de la capa de ozono que protege a la Tierra.

El resultado final de estas reacciones en cadena, es la sustitución del ozono por dos moléculas de oxígeno y un átomo inalterado de cloro. Ninguno de éstos posee las propiedades que caracterizan al ozono en su acción protectora contra los rayos ultravioleta

(9) " Hechos acerca del ozono " Du Pont SA de CV Departamento de productos Fluorados, División de Mercadotecnia

Las reacciones fotoquímicas en la destrucción del ozono.

Una vez que los CFC alcanzan la estratósfera y la radiación UV, de aproximadamente 190-220 nm, proveniente del Sol, hace que se rompan las moléculas de los compuestos clorados; para el caso del freón 11, se lleva a cabo la siguiente secuencia de reacciones:

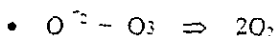
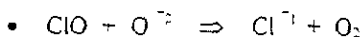


Se liberan átomos de cloro, los cuales reaccionan con el ozono, iniciando el ciclo de destrucción que provoca el agujero en la capa de ozono



⁽¹⁾ Es importante mencionar que un sólo átomo de cloro puede llegar a hacer que se rompan 100,000 moléculas de ozono. Al mismo tiempo se genera la producción de oxígeno, al momento de interactuar los radicales libres con las moléculas de ozono. El radical del cloro queda en forma muy inestable, razón por la cual puede interactuar con los radicales del oxígeno, llevándose a cabo la regeneración de cloro atómico y monóxido de cloro

Por otro lado el monóxido de cloro sufre una serie de reacciones que terminan liberando una vez más el radical cloro, que a su vez continúa reaccionando con el ozono de la estratosfera, como se muestra ilustrativamente en la figura 2 2-1:



⁽¹⁾ " Hechos acerca del ozono", Du Pont S.A de C. V. Departamento de productos fluorados, División de mercadotecnia.

Serie de reacciones

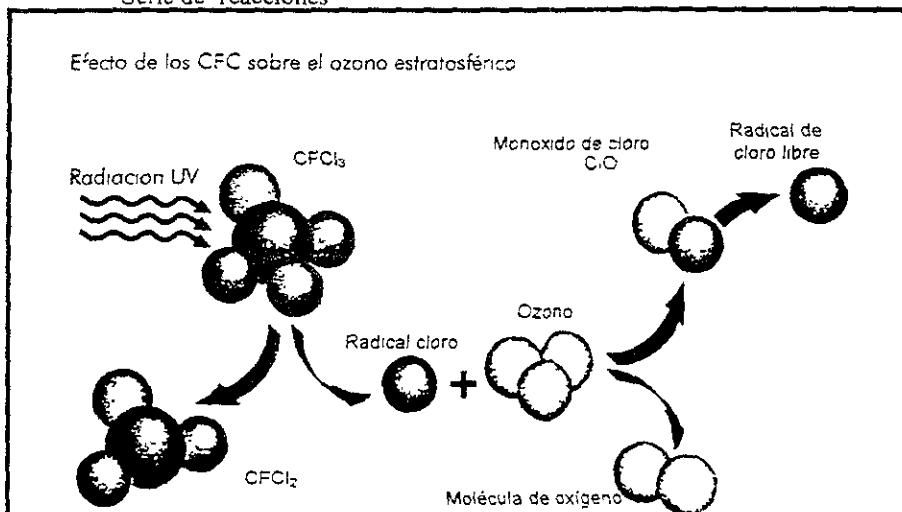


Figura 2.3-1 " Efecto de los CFC sobre el ozono estratosférico "
 " Proteger la capa del Ozono - Frigoriferos ", Rune Aarliien, Ward Atkinson, Jim Baker, Peter Cooper, David Didton, entre otros colaboradores, Serie CAP/ IMA del PNUMA.

2.4 Antecedentes del Protocolo de Montreal .

En 1974 los investigadores ⁽¹⁾ Mario Molina y Sherwood Rowland, de la Universidad de California, dieron a conocer la primera publicación que explicaba que los compuestos CFC, son dañinos para la capa de ozono. En el artículo ⁽²⁾ "Nature article on the threat to the ozone layer from chlorofluorocarbon (CFC) gases - (freons)"

En dicho artículo reportaron que los CFC podían llegar gradualmente hasta la estratosfera y con la presencia de los rayos UV-B se podrían descomponer liberando los átomos de cloro, provocando que se llevaran a cabo reacciones fotoquímicas que producen que el ozono desaparezca, además predijeron que si se seguían consumiendo los CFC de la forma en que había sido hasta esa fecha, un gran porcentaje de la capa de ozono desaparecería después de algunas décadas.

En un principio sus ideas no fueron aceptadas; muchos científicos estaban en desacuerdo, pero pronto crearon una gran controversia, porque los gases CFC eran utilizados en muchos procesos ya que se creía que al no ser tóxicos y ser muy estables no tenían efectos dañinos para el ambiente. Por otro lado la recolección de datos y la creación de nuevos modelos llevaron al desarrollo de bases científicas más confiables.

En marzo de 1977 se realizó una reunión patrocinada por la ⁽³⁾ UNEP, en Washington, D.C. donde por primera vez se planteó un Plan Mundial de Acción para la protección de la capa de ozono y se estableció el primer cuerpo de consejo científico internacional.

⁽⁴⁾ En 1985, el inglés Joseph Farman y sus colegas descubrieron un contundente agotamiento de ozono en la zona Antártica, un agujero en la capa de ozono y gracias a los investigadores Paul Crutzen, Mario Molina, Sherwood Rowland, Susan Solomon y James Anderson se sabe que el ozono desaparece debido a que reacciona con el cloro y el bromo que llega a la estratosfera. Fue entonces que surgió la necesidad de reglamentar y prohibir que se liberen a la atmósfera gases que tengan potencial de agotamiento del ozono.

⁽⁵⁾ En marzo de 1985 se llevó a cabo el Convenio de Viena, donde se reunieron veinte naciones y la Comunidad Económica Europea, para firmar el Convenio, después de haber transcurrido un periodo de tres años de negociación. El objetivo principal de la convención era motivar a los países para que cooperaran en la investigación e intercambio de información acerca del problema del agotamiento de la capa de ozono. En la convención se discutió y reconoció que efectivamente la emisión de ciertas sustancias químicas a la atmósfera puede llegar a provocar efectos dañinos al ambiente y a la salud humana.

⁽¹⁾ "Proteger la capa del Ozono - Frigoríferos", Rune Aarlien, Ward Atkinson, Jim Baker, Peter Cooper, Serie CAP/IMA del PNUMA.

⁽²⁾ "Proceso esquemático de la destrucción del ozono", escrito por la División de Protección del Ozono de la EPA.

⁽³⁾ UNEP Programa de las Naciones Unidas para la Protección Ambiental.

⁽⁴⁾ "The Evolution of Policy Responses to Stratospheric Ozone Depletion", Morrisette, Natural Resources Journal, 1989.

En este documento se estableció el principio mediante el cual los países acordaron tomar medidas para proteger la capa de ozono, de manera que convienen en eliminar lo antes posible la producción y el consumo de los CFC controlados por el Protocolo de Montreal, a más tardar para el año 2000, ajustándose al calendario convenido en el Protocolo de Montreal, teniendo en consideración especial a los países que se encuentran todavía en desarrollo, facilitando a éstos el acceso a información científica, así como a los resultados de investigaciones y el acceso al Fondo Multilateral

⁽⁵⁾ **El Fondo Multilateral.**

En el Protocolo se hizo una llamada a los países industrializados para que proporcionen ayuda técnica a los países en vías de desarrollo, y se estableció el "Fondo Multilateral Provisorio", para proporcionar los medios monetarios y mecanismos de financiamiento y poder facilitar el cambio de tecnología y la sustitución de los equipos a la mayor brevedad posible, así como realizar la eliminación progresiva de la producción y uso de las sustancias que agotan el ozono. Los países industrializados son los que prestan contribuciones al Fondo.

Las Partes firmantes del Protocolo establecieron a título un fondo provisorio de \$ 200 millones de dólares para ayudar a los países en desarrollo de 1991-1993 a cumplir con las medidas de control que están indicadas en el Protocolo.

Se espera que las contribuciones para el período 1994-1996 estén comprendidas entre \$ 34 y \$ 500 millones de dólares. La administración la realiza el Comité Ejecutivo, el cual está compuesto por 14 miembros quienes aprueban el financiamiento y elaboran los criterios de administración. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) proporciona también elementos de organización y actúa de Tesorero. Las actividades que se realizan con ayuda del Fondo se aplican mediante cuatro organismos. El programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (CAP/IMA del PNUMA), el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) y el Banco Mundial.

Los países que pueden solicitar asistencia del Fondo son todos aquellos países que están en desarrollo, forman parte del Protocolo de Montreal y cuyo consumo anual de sustancias agotadoras del ozono es inferior a 0.3 kg per cápita. México se considera dentro de los países en vías de desarrollo por lo que se encuentra dentro de la lista de países que pueden asistir por ayuda al Fondo.

⁵ Fondo Multilateral para la aplicación del Protocolo de Montreal.

Los países interesados en tener asistencia del Fondo pueden acudir a la ONU o escribir a la siguiente dirección: The Multilateral Fund for the Implementation of the Montreal Protocol, Montreal Trust Bldg, 27th Floor, 1800 McGill College Avenue, Montreal Quebec, Canada H3A 3J6, Tel: (1-514) 282-1122, Fax: (1-514)282-0068

⁽⁶⁾ Banco Mundial.

Trabaja en la preparación y ejecución de proyectos de inversión. El banco ayuda a los países a recopilar datos necesarios acerca del consumo de sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO) en el país; define los objetivos, su alcance y procedimientos, prepara los proyectos y hace un cálculo de costos beneficios

⁽⁷⁾ Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Esta organización presta su asistencia a las Partes admisibles en cuanto a la planificación, preparación y ejecución de programas del país, proyectos, capacitación y fortalecimiento institucional.

Se celebraron dos reuniones por las Partes del Convenio de Viena, una de ellas en 1989 y la otra en 1991 y cuatro reuniones anuales por las Partes del Protocolo de Montreal de 1989 a 1992, a partir de las cuales se tomaron decisiones importantes para llevar a la práctica y cumplir con los objetivos del Convenio de Viena, en el cual se denotó el marco bajo el cual se negoció el Protocolo de Montreal

Hubo tres factores críticos importantes en el desarrollo del Protocolo de Montreal; el primero fué la evolución que siguieron los descubrimientos científicos para dar lugar a un mayor entendimiento del problema; el segundo fué el aumento gradual de problemas de cancer de la piel y la relación entre el aumento del agujero de ozono, por último la disponibilidad de sustancias químicas sustitutas. En junio de 1986, se realizó una conferencia internacional patrocinada por la ⁽⁸⁾ EPA y la UNEP, donde se reportó los efectos que han surgido por el agotamiento del ozono y los cambios en el clima global de la tierra, por primera vez se comenzó a relacionar el problema del ozono con el del calentamiento global y se demostró el profundo interés mundial por buscar una solución.

⁽⁶⁾ Banco Mundial. GEF Operations Coordinator, Global Environment Fund, The World Bank, 1883 H Street, Northwest, Room S-15041, Washington, D C. 20433 USA.

Tel: (1-202) 477-1234, Fax: (1-202) 477-6391

⁽⁷⁾ PNUD Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Montreal Protocol Task Manager, Environment and Natural Resources Group, Room DC1-2056, United Nations Development Program, New York 10017, USA, Tel: (1-212) 906-5004, Fax: (1-212) 906-5365

⁽⁸⁾ EPA Environmental Protection Agency.

PROTOCOLO DE MONTREAL.

El Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono, elaborado por el PNUMA, es un tratado del acuerdo internacional que fué firmado en Montreal, Canadá, el 16 de septiembre de 1987 y entró en vigor el 1º de enero de 1989. El Protocolo es el resultado de casi 15 años de controversia política y pública sobre el impacto de los CFC en la capa de ozono. Veinticuatro naciones y la Comunidad Económica Europea firmaron el Protocolo originalmente y se comprometieron a reducir a la mitad la producción y utilización de los CFC para 1998 así como terminar la producción de halones para 1992

Los firmantes del Protocolo de Montreal se comprometieron a proteger la salud humana y el ambiente contra los efectos del agotamiento del ozono

⁽⁹⁾A finales de 1992 más de 82 países formaban parte del Protocolo de Montreal, de los cuales aproximadamente 40 eran países en desarrollo. El Protocolo original ha sido modificado varias veces. En mayo de 1989, en la ciudad de Helsinki se llevó a cabo la primera reunión de las Partes después de haber firmado el Protocolo, donde se realizó la llamada "Declaración de Helsinki". En esta reunión se decidió que era necesario crear mecanismos para proporcionar ayuda financiera a los países que lo necesiten.

En junio de 1990 se llevó a cabo la segunda reunión de las Partes, en la Enmienda de Londres; en esta revisión se introdujeron 10 nuevas sustancias que dañan la capa de ozono, el tetracloruro de carbono y el metilcloroformo, siendo donde se acordó que los países firmantes deberán haber reducido este total en un 50% en el año de 1995, en un 85% en 1997 y totalmente para el año 2000, con relación a las cifras de 1986. Por último se consideró a los HCFC como productos de transición.

⁽¹⁰⁾ Los países en desarrollo disponen de un periodo adicional de 10 años para cumplir esos requisitos.

En Nairobi en junio de 1991 se llevó a cabo la tercera reunión de las Partes, en la cual no se realizaron cambios importantes en los estatutos del Protocolo. En noviembre de 1992 en una cuarta reunión de las Partes en la Enmienda de Copenhague, 85 países aceptaron adelantar las fechas límite de los halones para 1994 y acelerar la de los CFC para 1996 y eliminar totalmente la producción y uso de los halones para el 1º de enero de 1994. En esta reunión se comprometieron a eliminar totalmente la producción de los tetraclorados para el primer día del año de 1996. Reducir en un 50% la producción de metilcloroformo para enero de 1994 y lograr la eliminación total para 1996. Congelar la producción de

⁽⁹⁾ "Proteger la capa del Ozono- Frigoríferos", Rune Aarlién, Ward Atkinson, Jim Baker, Serie CAP/ IMA del PNUMA.

⁽¹⁰⁾ "Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono en su forma ajustada y enmendada en la segunda, tercera y cuarta reunión de las partes, siendo la última celebrada en Copenhague del 23 al 25 de noviembre de 1992" Proporcionado por la Organización de las Naciones Unidas.

los HCFC a partir del 1^o de enero de 1996 con relación al consumo de 1989. Reducir en un 35% la producción de los HCFC para el inicio del año 2004.

La quinta reunión de las Partes se realizó en Bangkok en noviembre de 1993. En octubre de 1994 se llevó a cabo la sexta reunión de las Partes, en Nairobi, en noviembre de 1995 se llevó a cabo la séptima reunión en Viena, para conmemorar el décimo aniversario de la Convención de Viena, donde se hizo una revisión al Protocolo, la octava junta del Protocolo se llevó a cabo en Kyoto, Japón y la novena junta del Protocolo se llevó a cabo en Montreal para ratificar el estado y los compromisos de avance del Protocolo de Montreal.

En el Protocolo se identificó las principales sustancias que agotan la capa de ozono y se estipulan las medidas que los firmantes deberán tomar para limitar la producción y uso de las sustancias controladas, las cuales en un principio eran sólo cinco CFC y tres halones.

Hoy en día se dividen en dos grupos a las sustancias que agotan la capa de ozono.

- **Grupo I:** Compuestos totalmente halogenados o CFC (CFC-11, CFC-12, CFC-113, CFC -114, y CFC -115) Los CFC que pertenecen a este grupo son los que tienen mayor potencial de agotamiento de ozono, ya que contienen más átomos de cloro
- **Grupo II Halones.** Son compuestos sintéticos similares a los CFC, pero son sustancialmente más poderosas en la destrucción del ozono. De estos sólo se hace mención, ya que para propósitos de este trabajo no son de importancia

Alemania	Dinamarca	Israel	Portugal
Antigua y Barbuda	Dominica	Italia	Reino Unido
Arabia Saudita	Ecuador	Jamaica	República árabe
Argelia	Egipto	Japón	República Coreana
Argentina	El Salvador	Jordania	Rumania
Australia	Emiratos Arabes	Kenya	Samoa
Austria	Eslovaquia	Kiribati	Santa Lucía
Bahamas	Eslovenia	Kuwait	Sevchelles
Bahrein	España	Liechtenstein	Singapur
Bangladesh	E E U U	Libano	Sri Lanka
Barbados	Federación Rusa	Libia	Sudáfrica
Bielorrusia	Fiji	Luxemburgo	Sudán
Bélgica	Filipinas	Malasia	Suecia
Benin	Finlandia	Malawi	Siria
Botswana	Francia	Maldivas	Suiza
Brasil	Gambia	Malta	Swazilandia
Bulgaria	Ghana	Marruecos	Tailandia
Burkina Faso	Granada	Mauricio	Togo
Camerún	Grecia	México	Trinidad y Tobago
Canadá	Guatemala	Nicaragua	Tunez
Congo	Guinea	Nigeria	Turquía
Corea	Hungría	Noruega	Ucrania
Costa Rica	India	Nueva Zelanda	Uganda
Croacia	Indonesia	Países Bajos	Uruguay
Cuba	Irán	Pakistán	Uzbekistan
Checoslovaquia	Irlanda	Panamá	Venezuela
Chile	Israel	Paraguay	Yugoslavia
China	Islandia	Peru	Zambia
Chipre	Islas Marshall	Polonia	Zimbabwe

Tabla 2.4-1 Países firmantes del Protocolo de Montreal, Información proporcionada por el Depositario de Asuntos Legales de la Oficina de las Naciones Unidas, New York, Agosto 12, 1999

(iii) Potencial de Agotamiento del ozono (ODP).

El Potencial de Agotamiento del ozono (ODP) de un compuesto es una simple medición de la capacidad de destrucción del ozono estratosférico que tiene una sustancia, esta medición es relativa ya que arbitrariamente se le ha dado a cada compuesto químico que se controla en el Protocolo de Montreal un valor de ODP con relación al CFC-11, a éste último se le ha dado arbitrariamente un valor de uno y el ODP de los demás compuestos se calcula con respecto a este punto de referencia, por lo que el efecto que tienen las sustancias químicas en la capa de ozono se mide por medio del ODP

El ODP de un compuesto será afectado por la naturaleza del halógeno, el número de átomos de cloro o bromo en una molécula, la masa molecular y el tiempo de vida atmosférica que se indica para algunos elementos en la tabla 2.3-2.

Compuesto	Fórmula	10 años	30 años	100 años	Estado Estacionario
CFC-113	$CF_2ClCFCl_2$	0.56	0.62	0.78	1.10
Tetracloruro de Carbono	CCl_4	1.25	1.22	1.14	1.08
Metil-cloroformo	CH_3CCl_3	0.75	0.32	0.15	0.12
HCFC-22	CHF_2Cl	0.17	0.12	0.07	0.05
Halón-1301	CF_3Br	10.4	10.7	11.5	12.5

Tabla 2.4-2 Variación del valor ODP en base al tiempo y estado estacionario
Solomon y Albritton WMO 1991

Estos valores se utilizan para calcular un índice del daño infringido a la capa de ozono por cada uno de los países que produce y utiliza dichas sustancias controladas

La utilización se define como la producción total más las importaciones menos las exportaciones, excluyendo las sustancias recicladas, de forma que el efecto relativo sobre el agotamiento de la capa de ozono de la producción de CFC se calcula multiplicando la producción anual de cada uno de los CFC por su ODP. Estos totales se suman para obtener un índice del daño potencial sobre el ozono

Para obtener una estimación numérica de la cantidad total de ozono que puede llegar a ser destruido por una sustancia se divide la masa de la sustancia entre su vida pronosticada una vez que llega a la atmósfera.

(iii) " Proteger la capa del Ozono - Frigoríferos ", Rune Aarlien, Ward Atkinson, Jim Baker, Peter Cooper, David Didion, entre otros colaboradores, Serie CAP/IMA del PNUMA.

Potencial de calentamiento del planeta (GWP).

El segundo impacto de un gas sobre el ambiente es su contribución con el calentamiento del planeta. Este parámetro está relacionado con la capacidad de dicho gas para absorber radiaciones infrarrojas.

El GWP es una estimación del calentamiento atmosférico resultante de la liberación de una unidad de masa de un gas, en relación con el calentamiento que resultaría de la liberación de la misma cantidad de dióxido de carbono

El punto hasta el cual un gas de invernadero contribuye directamente con la radiación de calor para calcular el calentamiento global depende de la cantidad de gas emitido, el tiempo que deberá pasar antes de que este sea eliminado de la atmósfera y de la capacidad de absorción de energía infrarroja de cada gas.

El calentamiento del planeta, a diferencia del agotamiento de la capa de ozono no está contemplado dentro del Protocolo de Montreal.

A continuación se muestra una tabla donde se encuentran algunas de las sustancias que agotan la capa de ozono, con sus valores respectivos de ODP y GWP.

Grupo I	Sustancia	ODP	GWP	
	CFCl_3	CFC-11	1.0	1.0
	CF_2Cl_2	CFC-12	1.0	2.8-3.4
	$\text{C}_2\text{F}_5\text{Cl}$	CFC-113	0.8	NC
	$\text{C}_2\text{F}_4\text{Cl}_2$	CFC-114	1.0	3.7-4.1
	$\text{C}_2\text{F}_5\text{Cl}$	CFC-115	0.6	* NC
	CF_3Cl	CFC-13	1.0	NC
	C_2FCl_3	CFC-111	1.0	NC
	$\text{C}_2\text{F}_2\text{Cl}_2$	CFC-112	1.0	NC
	C_3FCl_3	CFC-211	1.0	NC
	$\text{C}_3\text{F}_2\text{Cl}_2$	CFC-212	1.0	NC
	$\text{C}_3\text{F}_3\text{Cl}$	CFC-213	1.0	NC
	$\text{C}_3\text{F}_2\text{Cl}_2$	CFC-214	1.0	NC
	$\text{C}_3\text{F}_3\text{Cl}$	CFC-215	1.0	NC
	$\text{C}_3\text{F}_4\text{Cl}_2$	CFC-216	1.0	NC
	$\text{C}_3\text{F}_4\text{Cl}$	CFC-217	1.0	NC
Grupo II				
	CF_2BrCl	halon-1211	3.0	NC
	CF_3Br	halon-1301	10.0	NC
	$\text{C}_2\text{F}_4\text{Br}_2$	halón-2402	6.039	NC
	CCl_4	Tetracloruro de carbono	1.1	NC
Grupo III				
	$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$	Metil-cloroformo	0.1	NC

Tabla 2.4-3 Tabla del ODP de las sustancias que son controladas por el Protocolo de Montreal. " Proteger la capa del Ozono - Frigoríferos ", Rune Aarhen, Ward Atkinson, Jim Baker, Serie CAP/IMA del PNUMA.

* NC Significa que no es conocido o que es insignificante

¹²³ En octubre de 1994 el grupo de Ciencias reportó que el ozono se continuaba destruyendo, pero también se dió la primera evidencia de que el Protocolo está funcionando, al observar que la concentración de las sustancias controladas en la atmósfera está disminuyendo y se estimó que eliminando las emisiones de los HCFC para el año 2004, produciría una disminución de un 5% de concentración de cloro, con respecto a los halones en un 10% y de un 3% si se recapturan los CFC

México: esfuerzos concretos y posición actual de SEMARNAP (Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca).

- * México continúa dentro de la lista de países en vías de desarrollo.
- * Eliminación total de CFC para el año 2000
- * Continuar el esfuerzo de la industria y fabricantes de CFC para reducir los consumos de las sustancias que dañan la capa de ozono
- * Utilizar el Fondo del Banco Mundial para implementar proyectos que permitan la reducción de CFC en México
- * Implementar un impuesto al consumo de sustancias que dañan la capa de ozono
- * Regular el no-venteo de CFC y HCFC a partir de 1993.
- * Apoyar a través de clínicas de trabajo, la capacitación de técnicos y contratistas en mejores prácticas de trabajo.

México fué el primer país de Latinoamérica que ratificó su participación en el Protocolo de Montreal y a diferencia de los demás, aceptó cumplir con las mismas fechas de vencimiento que los países desarrollados, es decir para el año 2000, a pesar de formar parte de la lista de los países en vías de desarrollo tiene el derecho de cumplir con los lineamientos del Protocolo de Montreal en un periodo de 10 años de gracia después de los países desarrollados

Por esta razón la regulación en México no va a ser tan estricta y no se van a generar multas por el uso de los CFC, es decir, no hay prohibición al uso de estos compuestos para el año 2000, si se encuentran legalmente producidos, pero sí van a existir multas por la producción de estos compuestos, así como si se llegan a emitir a la atmósfera. Es importante saber esto, por que el Programa de Recuperación de CFC debe ser una herramienta básica que va a permitir que se cumpla con las normas establecidas

¹²³ " Proteger la capa del Ozono - Frigoríferos ", Rune Aarlién, Ward Atkinson, Jim Baker, Peter Cooper, David Didion, entre otros colaboradores, Serie CAP/IMA del PNUMA.

Posición de los Estados Unidos de Norteamérica.

En febrero de 1992, el Presidente Bush emitió un comunicado de prensa, en el cual invitaba a todos los países desarrollados a reducir en un 50% la producción y utilización de los CFC para el año de 1992, con respecto a datos de 1986, y llegar a lograr la eliminación total de los compuestos que agotan la capa de ozono para el doce de diciembre de 1995.

Acta del Aire Limpio.

En los Estados Unidos la EPA, junto con el Congreso de Estados Unidos, establecieron algunos reglamentos de cumplimiento como parte del Acta de Aire Limpio. Este documento fué promulgado por el Presidente Bush en diciembre de 1990, en el cual se regula la producción de los CFC y HCFC, que agotan la capa de ozono, la eliminación de la producción y uso de los CFC es muy parecida a la que se dicta en el Protocolo de Montreal.

Entre algunas de las estipulaciones que se incluyeron se encuentran las siguientes:

Se dictaminó el calendario para la eliminación gradual de los compuestos que dañan la capa del ozono que se encuentran comprendidos en la clase I y clase II.

Se habla de dar certificación técnica por parte de contratistas en recuperación de las sustancias que dañan la capa de ozono. se prohíbe el venteo de los CFC cuando se lleva a cabo el servicio en los equipos de refrigeración. se hace obligatorio que se realice la recuperación y reciclado de estas sustancias, así como el reciclado de los CFC.

Por parte de la EPA, se habla de que para el año 2015 se va a terminar la producción de los HCFC. prohibiendo la instalación de equipos que funcionen con HCFC para después del año 2020.

También incluye disposiciones específicas para el aire acondicionado en automóviles:

El reglamento requiere que se utilice equipo de reciclado que sea aprobado durante el servicio iniciado el 1º de enero de 1992. es aplicable una exención durante un año para personas que dan servicio a menos de 100 vehículos al año. Esto incluye al CFC-12, así como HCFC. Los recipientes de refrigerante que contengan menos de 10 kg de CFC o HCFC para ser utilizados en sistemas de aire acondicionado móviles, sólo serán vendidos a personal de servicio certificado a partir de noviembre de 1992. También deberán aplicarse prácticas de servicio y reciclado a los refrigerantes HFC, incluyendo al sustituto HFC 134-a. El venteo de refrigerantes CFC y HCFC, durante el servicio y reparación de los equipos, es ilegal a partir del primero de julio de 1992.

Se prohíbe la producción de los compuestos que no son esenciales y que afectan el ozono, así como también se dictan las alternativas seguras que existen en el mercado.

Compuestos de la clase I.

Son aquellos compuestos que causan o contribuyen de forma importante a la destrucción de la capa de ozono y tienen un valor de ODP mayor o igual a 0.2
Estas sustancias se encuentran clasificadas dentro de cinco grupos

Grupo 1 CFC-11, 12, 113, 114, 115.

Grupo 2 Halón 1211, 1301, 2402.

Grupo 3. Otros CFC con uno o más átomos de carbono

Grupo 4. Tetracloruro de carbono

Grupo 5 Metil cloroformo.

Compuestos de la clase II.

Son aquellas sustancias que no se encuentran incluidas dentro de la clase I y que pueden llegar a causar daños en la capa de ozono. Estas sustancias incluyen a todos los isómeros de los compuestos HCFC, que contienen uno o más átomos de carbono.

En la siguiente tabla se muestra el programa de suspensión de la producción de CFC del Protocolo de Montreal revisado con el Protocolo original y el Acta de Aire Limpio

Año	Protocolo original Montreal 1987	Revisión del Protocolo Londres 1990	Acta del Aire Limpio de E.U. 1990	Revisión del Protocolo Copenhague 1992	Programa de la Comunidad Europea 1994
1990	100%	-	-	-	-
1991	100%	100%	80%	-	-
1992	100%	100%	80%	-	-
1993	80%	80%	75%	-	-
1994	80%	80%	25%	25%	50%
1995	80%	50%	25%	25%	15%
1996	80%	50%	0%	0%	0%
1997	80%	15%			
1998	80%	15%			
1999	50%	15%			
2000	50%	0			

Tabla 2.4-4 Programas de Eliminación de los CFC, Producción y Consumo Permitidos para los países Desarrollados, AFEAS (Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study) http://afeas.org/montreal_protocol.html 31/07/96

Para más información sobre los refrigerantes, aplicaciones y propiedades consultar el anexo 1 en donde se especifican los diferentes tipos de refrigerantes y sus aplicaciones

2.5 Alternativas existentes para solucionar el problema del ozono en la estratósfera.

⁽¹⁾ Los refrigerantes se identifican de acuerdo a una numeración establecida, los números se ponen después de la letra “ R ” que significa que es un refrigerante. En este trabajo se nombra a los refrigerantes freones como CFC o R , y después se encuentra la numeración correspondiente a cada refrigerante.

El sistema de identificación por numeración ha sido estandarizado por la Sociedad Americana de Ingenieros en refrigeración, aire acondicionado y calor (ASHRAE). Los refrigerantes han sido catalogados por dos organizaciones:

1 “ The National refrigeration Safety Code (NRSC)”, la cual cataloga a todos los refrigerantes en tres grupos.

- grupo I indica que es muy seguro.
- grupo II indica que es tóxico y poco flamable
- grupo III indica que es flamable

“ The National Board of Fire Underwriters (NBFU)” , la cual clasifica a los refrigerantes principalmente por su grado de toxicidad, en grupos del uno al seis, el grupo de valor de “ 1” significa que es el más tóxico y el “ 6” indica que es el menos tóxico.

Por muchos años se han utilizado los CFC como refrigerantes con mucho éxito, aparentemente eran la opción ideal debido a su combinación de propiedades únicas, sin embargo, la gran inestabilidad de estos compuestos a nivel de la estratósfera, y su contenido de átomos de cloro, han sido relacionados con el gran problema ambiental del agotamiento de la capa de ozono de la Tierra.

En la tabla 2.4-1 se encuentran los compuestos CFC que han sido utilizados como refrigerantes, con sus respectivos valores de NRSC - NBFU.

⁽¹⁾ “ Principios de Refrigeración ”, Roy J . Dossat, Compañía editorial Continental, Primera edición en español, Nueva York, 1963

R	Nombre	Fórmula	ODP ^{2*}	GWP *	NRSC	NBFU
CFC-11	Triclorofluorometano	CCl ₃ F	1.0	1.0	1	6
CFC-12	Diclorodifluorometano	CCl ₂ F ₂	1.0	2.8-3.4	1	6
CFC-13	Clorotrifluorometano	CClF ₃	1.0			
CFC-22	Monoclorodifluorometano	CClF ₂	0.05	0.098	1	5
CFC-114	1,2-diclorotetrafluoroetano	C ₂ Cl ₂ F ₄	1.0	3.7-4.1		
R-500	Mezcla R-12 (73.8%) y R-152a (26.2%)		0.74		1	6
R-502	Mezcla R-22 (48.8%) y R-152a (51.2%)		0.34		1	6
R-503	Mezcla R-23 (40.1%) y R-13 (59.9%)				1	6
HCFC-22	Clorodifluorometano	CHClF ₂	0.055	1.6		
R-744	Dióxido de carbono	CO ₂			1	5

Tabla 2.5-1 Sustancias que agotan la capa de ozono utilizadas como refrigerantes ³

² Los conceptos de ODP y GWP se explican en la sección 2.4 de este trabajo

³ Modern Refrigeration and Air conditioning, Althouse / Turnquist / Bracciano, The Goodheart-Willcox Company, INC, 1985 p p 281

El análisis de los resultados obtenidos por los investigadores con la ayuda de instrumentos de medición, y los satélites, ha llevado a la conclusión de que la desaparición de la capa de ozono se debe a la presencia de productos clorados que son fabricados por el hombre. Estos productos clorados al llegar a la atmósfera y descomponerse, liberan cloro que comienza a reaccionar con el ozono, rompiendo el equilibrio natural de la formación del ozono estratosférico

Como respuesta a este problema mundial, muchas compañías productoras de refrigerantes, incluyendo a Du Pont, han tenido que desarrollar una serie de refrigerantes alternativos que tomen el lugar de los compuestos CFC. Para lograr este cambio radical se han tenido que realizar las investigaciones pertinentes para encontrar compuestos nuevos que puedan ser utilizados como refrigerantes y que cumplan con todos los requisitos necesarios por un lado, que los compuestos no contengan sustancias que tengan repercusiones ambientales, es decir que su potencial de agotamiento del ozono sea nulo, y por otro lado, que cumplan con las características y propiedades térmicas que hacen a un fluido un buen refrigerante

Por otro lado las empresas productoras están tratando de adaptar sus técnicas de producción y creando programas de recuperación y de reciclaje de los compuestos CFC. El requisito básico para los sustitutos de los CFC en las industrias de refrigeración y de aire acondicionado es que puedan ser utilizados en sistemas de compresión de vapor y de transferencia de calor

Idealmente los sustitutos de los CFC deberían ser agentes refrigerantes seguros, eficaces, con un ODP y GWP bajos.

Debido a que los CFC poseen propiedades frigoríferas excelentes, los productores se han concentrado en encontrar compuestos sustitutos que sean muy parecidos a los anteriores

En la siguiente sección se mencionan los puntos que se tienen que tomar en consideración en la selección de un agente refrigerante

El refrigerante ideal.

En términos generales un refrigerante es cualquier sustancia que actúa como agente enfriador, absorbiendo calor de otro cuerpo o sustancia y debe poseer ciertas propiedades químicas, físicas y termodinámicas que lo hagan muy eficiente, económico y seguro

Estos fluidos en su forma líquida cuando se encuentran sometidos a una presión reducida absorben calor en la parte del evaporador y cambian a su estado gaseoso. Estos son transportados al sistema de compresión donde su temperatura y presión son aumentadas. Este proceso permite que la energía que han absorbido sea liberada en el momento de pasar a través de un condensador. De forma que el refrigerante regresa a su forma líquida, listo para comenzar otro ciclo

No existe un refrigerante ideal, debido a las grandes diferencias en condiciones de operación y requisitos de las aplicaciones, razón por la cual no hay un agente refrigerante que sea universalmente utilizado para todas las aplicaciones. Por estas razones un refrigerante se acerca al ideal en el sentido en que sus propiedades se acercan a las condiciones y requisitos de la aplicación que se le piensa dar

Requerimientos de un refrigerante.

- Deben ser gases estables, los fluidos no deben descomponerse ni reaccionar mientras se utilizan en los sistemas de refrigeración
- Punto de ebullición bajo
- Punto de congelación bajo
- Baja presión de condensación. Esto tiene la ventaja de que mejora el caudal del compresor y permite el empleo de paredes más delgadas en el aparato. Se debe tener cuidado de que la presión de condensación no sea cercana a la presión crítica del fluido para asegurar que se pueda llevar a cabo la condensación.
- Un volumen específico pequeño, de acuerdo a las dimensiones del compresor
- La presión de evaporación debe ser superior a la presión atmosférica, para evitar que el aire sea aspirado al interior del sistema.
- No deben ser agentes corrosivos
- Deben tener un alto calor latente específico para poder producir un buen efecto de enfriamiento por masa de vapor
- La diferencia de presión entre el evaporador y el condensador debe ser tan pequeña como sea posible para aumentar la eficiencia de la bomba
- Deben ser fácilmente detectables y localizables en caso de fugas. Las consideraciones de seguridad también son importantes, el fluido no debe presentar grandes riesgos para la salud, ni ser cancerígeno o mutagénico
- Baja inflamabilidad. La mayor parte de los refrigerantes de uso común son totalmente inflamables y no son explosivos, el amoníaco y los hidrocarburos simples son la excepción. El amoníaco es ligeramente inflamable y explosivo cuando se mezcla en proporciones exactas con el aire
- Los hidrocarburos simples se utilizan frecuentemente en aplicaciones de temperaturas ultrabajas debido a sus propiedades térmicas y son altamente inflamables y explosivos

- Los hidrocarburos halogenados al encontrarse mezclados con el aire son bastante seguros, sin embargo cuando se descomponen generan productos altamente tóxicos como el ⁽⁴⁾ fosgeno, el cual se prende fácilmente con la presencia de una flama.
- Baja toxicidad. Todos los fluidos, salvo el aire, son tóxicos en el sentido de que causan sofocación cuando se encuentran en concentraciones lo bastante altas para excluir la cantidad suficiente de oxígeno para mantener la vida

La toxicidad es un término relativo que sólo tiene significado cuando se especifica el grado de concentración y el lapso de la exposición que son necesarios para producir efectos dañinos

- * El grado de peligro que se corre al utilizar refrigerantes tóxicos depende de varios factores. La cantidad de refrigerante usado con relación al tamaño de espacio en el cual puede fugarse el refrigerante, el tipo de local, la presencia o ausencia de flamas y el que se cuente o no con personal con experiencia
- Desde el punto de vista de la operación económica, es deseable que el refrigerante tenga características físicas y térmicas que resulten en la demanda mínima de potencia por unidad y capacidad de refrigerante, es decir, que tengan un alto coeficiente de operación

Las propiedades de un refrigerante que afectan el coeficiente de operación son: (1) calor latente de vaporización, (2) volumen específico del vapor, (3) relación de compresión, y (4) calor específico del refrigerante, tanto en fase líquida como vapor. A excepción de los equipos pequeños de refrigeración se desea un alto valor de calor latente y si además el volumen específico es bajo en el estado vapor, la eficiencia y capacidad del compresor aumentan mucho, logrando reducir el valor de consumo de potencia, así como el desplazamiento del compresor. Se desea un bajo calor específico para el líquido, porque ésto hace que se aumente el efecto de sub-enfriamiento, dando como resultado un alto calor específico para el vapor, ya que ésto logra reducir el efecto de sobre-calentamiento. Ambas propiedades tienden a aumentar el efecto refrigerante por unidad de masa.

Se desea lograr una relación de compresión baja, ya que ésto resulta en un bajo consumo y en una alta eficiencia volumétrica. También es deseable que las presiones de condensación sean más bajas que las condiciones atmosféricas y normales, ya que permiten el uso de materiales ligeros para la construcción de los equipos.

⁽⁴⁾ Fosgeno, COCl₂, es un gas sumamente tóxico, "Principios de Refrigeración", Roy J.

Dossat, Compañía editorial Continental, Primera edición en español, Nueva York, 1963, p.p 509

* Existe un Código Americano de Seguridad para Refrigeración Mecánica, "American Standard Safety Code for Mechanical Refrigeration", donde se señalan detalladamente las condiciones y circunstancias bajo las cuales pueden usarse con seguridad los diferentes refrigerantes

Por razones de seguridad es deseable que exista una relación de presión-temperatura del refrigerante tal que la presión en el evaporador se encuentre siempre por encima de la atmosférica.

Debido a que el principal motivo para realizar la sustitución de los refrigerantes CFC es su permanencia en la atmósfera, es muy importante que los sustitutos se degraden en el ambiente

Hoy en día, Du Pont está produciendo los ^s refrigerantes alternativos, así como también los nuevos lubricantes de alquilbenceno, que no son minerales, para que sean miscibles con los nuevos refrigerantes.

Los refrigerantes alternativos de la marca SUVA[®] están compuestos de hidroc fluorocarbonos (HCFC) y poseen un potencial de agotamiento de ozono del 97% menor que los CFC. Esto es debido a que la adición de uno o dos átomos de hidrógeno permite que se separen más rápido en la atmósfera baja, provocando que menos moléculas dañinas de cloro lleguen a la estratósfera

Los HCF no contienen átomos de cloro en sus moléculas, pero sí contienen flúor, el cual es un halógeno menos reactivo que el cloro

Estos refrigerantes tienen propiedades y características de rendimientos que son muy similares a los CFC, sin embargo el impacto ambiental de éstas es muy reducido, por otro lado ofrecen una toxicidad muy aceptable, estabilidad en su utilización y no son inflamables

En la tabla 2.5-2 se listan los refrigerantes alternativos de los refrigerantes convencionales que agotan la capa de ozono

¹⁵⁾ Refrigerantes alternativos propuestos por la compañía Du Pont.
" SUVA[®] Refrigerants ", ARTD-10, 22, 23, 24, 25, 26,27.

Nombre	Grado
SUVA® Centri-Lp	HCFC-123
SUVA® 124	HCFC-124
SUVA® 125	HFC-125
SUVA® Trans A/C	HFC-134a
SUVA® Cold- MP	HFC-134a
SUVA® MP mezclas	
* MP 39	Mezclas
* MP 66	Mezclas
* MP 52	Mezclas
* HP 80	Mezclas
* HP 81	Mezclas
* HP 62	Mezclas

Tabla 2 5-2 Refrigerantes alternativos propuestos por la compañía Du Pont, marca SUVA® para sustituir a los refrigerantes a base de CFC

Aplicaciones de los refrigerantes alternativos marca SUVA® de Du Pont.

NOMBRE.	GRADO.	SUSTITUYE	APLICACIONES.
SUVA® Centri-Lp	HCFC-123	R-11	Enfriadores centrifugos.
SUVA® 124	HCFC-124	R-114	Sólo aplicaciones de refrigeración y aire acondicionado
SUVA® 125	HFC-125	R-502	Refrigeracion comercial implementando condensadores de agua o compresión de dos fases.
SUVA® Trans A/C	HFC-134a	R-12	Refrigeración de A/C y servicio para autos nuevos.
SUVA® Cold- MP	HFC-134a	R-12	Enfriadores de compresor de tipo centrífugo y de tipo recíprocante. refrigeración de temperaturas medias y aire acondicionado
SUVA® MP *MP 39	Mezclas	R-12	Refrigeración comercial que manejan temperaturas medias y electrodomésticos
*MP 66	Mezclas	R-12 R-500	Refrigeracion de transporte y equipos de temperaturas bajas
*MP 52	Mezclas	R-12	Refrigerante de servicio para mercado de automóviles
*HP 80 y *HP 81	Mezclas	R-502	Supermercados, máquinas de hielo y refrigeracion de transporte.
*HP 62	Mezclas	R-502	Refrigeracion comercial en todas las temperaturas

Tabla 2.5-3 Aplicaciones de los refrigerantes alternativos marca SUVA® de Du Pont

Distinto de los refrigerantes a base de CFC, tales como el CFC-12, CFC-500 y el CFC-502, el refrigerante HCFC R-22 es un compuesto que no es tóxico. Tiene muy baja incidencia en producir daños al ozono, ya que su ODP es 20 veces menor que el del CFC-12 y seis veces menor que el del CFC-502, además tiene mas baja incidencia en el incremento gradual de la temperatura del globo terráqueo (GWP), que los otros refrigerantes comerciales.

Hasta ahora es el refrigerante comercial que se esta utilizando con mayor frecuencia, ya que se consigue con mucha facilidad a bajo costo, es muy fácil de dar servicio y de reciclar y además surte un efecto de alto rendimiento en aplicaciones de transporte refrigerado, sin embargo debido a que los compuestos HCFC son también sustancias que agotan la capa de ozono, en un futuro inmediato su producción y utilización va a ser restringida por el Protocolo, pero por lo pronto se encontrará disponible para equipos nuevos hasta por lo menos el año 2005 y permanecerá en el mercado hasta el año 2020.

El Programa del Medio Ambiente de las Naciones Unidas (UNEP), ha identificado específicamente al refrigerante HCFC-22 como el compuesto transitorio esencial para alcanzar la eliminación acelerada de los refrigerantes a bases de CFC.

Entre algunos de los sustitutos a largo plazo de los CFC se encuentra el HFC 134-a, y el HFC 152-a.

El HFC 134-a, el cual es el primer refrigerante que no tiene un potencial de agotamiento de ozono, puede ser utilizado en equipos de temperaturas medias y altas, sustituyendo al CFC-12.

Se tiene estimado que la demanda de los HCFC va a aumentar en un 5% aproximadamente en el periodo de 1997-2000, y ya que no son reemplazos definitivos, su producción va a comenzar a disminuir a medida que se vayan haciendo los cambios a los nuevos refrigerantes ecológicos.

Cabe mencionar que para la selección del tipo de refrigerante sustituto, se deben de tomar en cuenta todo tipo de consideraciones, por ejemplo, en el caso de los refrigeradores domésticos, tienen una carga de frigorífero realmente pequeña, bajos niveles de emisiones y una vida útil larga, y la contribución directa al calentamiento del planeta de cualquier frigorífero de este equipo será aproximadamente de 100 veces menor que la contribución indirecta de los requisitos de energía del equipo, por lo tanto cualquier agente refrigerante sustituto para las unidades domésticas debe ser elegido en función de su rendimiento en el equipo, sin tener en cuenta su GWP.

Para información mas detallada sobre los refrigerantes y sus propiedades consultar el anexo 2.

3. ALTERNATIVAS DE SUSTITUCIÓN.

3.1 Aplicaciones de los Clorofluorocarbonos (CFC) en el sector de refrigeración y enfriamiento.

Identificación de los refrigerantes.

Los fluidos (CFC) son inertes, no son tóxicos y pueden ser utilizados en un amplio intervalo de presiones (el intervalo varía dependiendo del refrigerante que se esté utilizando por ejemplo el R-22 actúa desde 20.9 psig en paro hasta 519.4 psig en arranque⁽¹⁾) debido a estas propiedades son considerados refrigerantes ideales. Los CFC son muy confiables (no tóxicos) y energéticamente eficaces, razón por la cual los CFC han sido utilizados desde 1930 como fluidos de trabajo en los sistemas de aire acondicionado y como agentes de intercambio de calor en sistemas de refrigeración por compresión de vapor.

Los CFC son utilizados también como disolventes en la industria electrónica, como propulsores en los aerosoles, en la esterilización de instrumentos de los hospitales y en la producción de espumas suaves y rígidas de poliuretano para la industria de la construcción, también para producir aislantes, empaques y vasos desechables. Estas industrias consumen cerca de un 68% de todos los CFC.

En 1995 se utilizaron en todo el mundo, ⁽²⁾ cerca de 145.000 toneladas de CFC para la producción de sistemas de enfriamiento y equipos de refrigeración, 120.000 toneladas fueron utilizadas en el sector de aire acondicionado para enfriar edificios y automóviles.

Para la producción de sistemas de refrigeración fueron utilizadas 14.500 toneladas, de las cuales 5.600 toneladas se utilizaron para equipos domésticos, 4.350 para equipos industriales y otras 4.550 para equipos comerciales.

Actualmente existe una gran cantidad de ⁽²⁾ tecnologías de refrigeración, entre éstas se incluyen sistemas que funcionan con diferentes refrigerantes y ciclos de refrigeración, como es el caso de el ciclo de compresión de vapor a base de amoníaco, los sistemas de absorción, los sistemas de enfriamiento por evaporación a base de agua y los equipos de compresión de vapor a base de hidrocarburos.

La industria de la refrigeración se clasifica de la siguiente forma: refrigeración doméstica, refrigeración comercial, refrigeración para uso especializado, refrigeración industrial, refrigeración marina y de transporte para el tratamiento y almacenamiento de

⁽¹⁾ Departamento Técnico FRIGUS BOVIN Mexico Ing. Luis Vazquez

⁽²⁾ "Proteger la capa del Ozono - Frigoríferos", Rune Aurlien, Ward Atkinson, Jim Baker, Peter Coomber, Serie CAP/IMA del PNUMA, p p 13

⁹⁾ La inversión anual en máquinas y equipos que se realiza en el sector de refrigeración es aproximadamente de 100,000 millones de dólares, los sistemas de aire acondicionado para vehículos utilizan aproximadamente un 49% de los CFC que se producen

La industria de la refrigeración doméstica.

Tiene un campo de aplicación relativamente limitado, y trata principalmente de refrigeradores y congeladores domésticos. La industria de refrigeración doméstica vende en la actualidad aproximadamente 56 millones de unidades al año, dicha demanda continúa aumentando, sobre todo en los países en desarrollo. Estos refrigeradores funcionan con el ciclo de compresión de vapor y utilizan el CFC-12 como agente refrigerante. Las unidades domésticas utilizan caballajes de aproximadamente 0.05 a 0.5 Hp, y son del tipo herméticamente sellado, por lo que la posibilidad de que existan pérdidas de refrigerantes al ambiente es mínima. Dichos equipos tienen una vida media de funcionamiento de 10 a 15 años.

En el continente Europeo se producen la mayoría de las unidades de refrigeración y utilizan unos 140 g de CFC-12 por cada unidad. En el este de Europa se producen por lo general equipos de dimensiones más pequeñas, pero usan unos 200 g de refrigerante por unidad.

Japón es el segundo país que tiene una mayor producción de equipos de refrigeración, su producción anual es de aproximadamente unos 4.5 millones de unidades anuales. En Brasil se producen cerca de 3 millones de unidades por año.

En la tabla 3 1-1 se encuentran las producciones estimadas para 1990

¹⁰⁾ " Proteger la capa del Ozono - Frigoríferos ", Rune Aarlien, Ward Atkinson, Jim Baker, Peter Cooper, serie CAP/IMA del PNUMA. " Principios de Refrigeración", Roy J.Dossat, Compañía editorial Continental, Primera edición en español, Nueva York, 1983.

Producción de unidades de refrigeración domésticas estimadas en 1995.

Zona	Unidades Producidas	CFC-12 utilizado (Ton)
Norteamérica	11,783 880	985
Sud América	3,350 000	577.8
Europa Occidental	1,817 150	936
Europa del Este	12,268 410	890
Asia	16,272 500	1908
África	1,100 000	204
Australia	675,000	36.5
Total	47,266 940	5537.3

Tabla 3.1-1 " AFEAS. Fluorocarbon Production & Sales" <http://afeas.org/prod.html>

Refrigeración comercial.

⁽⁴⁾La conservación de alimentos es una de las aplicaciones más comunes en la refrigeración mecánica ya que en la actualidad la conservación de alimentos tiene un papel muy importante en las ciudades modernas.

Los alimentos deben de ser conservados durante el tránsito y almacenaje hasta que finalmente se consumen, ésto puede ser en cuestión de horas, días, semanas, meses y en algunos casos años.

Muchas frutas y verduras son estacionales por lo que deben ser almacenadas para ser posible consumirlas durante todo el año.

⁽⁴⁾ " Principios de Refrigeración", Roy J. Dossat, Compañía editorial Continental, Primera edición en español, Nueva York, 1963

La invención del microscopio y el descubrimiento posterior de la existencia de microorganismos (que son la causa principal del deterioro de los alimentos) condujo al desarrollo de los enlatados en Francia

Con la invención del enlatado se encontró una forma de conservar los alimentos de todas clases en grandes cantidades y por periodos de tiempo indefinidos

La desventaja del enlatado es que los alimentos deben ser perfectamente esterilizados al calor por lo que estos alimentos tienen un sabor muy diferente a los alimentos naturales, por consiguiente el único medio que existe hasta ahora para lograr la conservación de los alimentos en su estado natural es la refrigeración

Los sistemas utilizados en los almacenes y tiendas, restaurantes, hoteles e instituciones para exponer o almacenar alimentos perecederos, manteniéndolos frescos, congelados, procesarlos, o bien, simplemente para enfriar comida y bebidas ⁽⁴⁾ Los equipos de refrigeración comercial en 1990 utilizaban como agentes de refrigeración al CFC-12, el CFC-502 y el HCFC-22. A nivel mundial el CFC-12 ha sido utilizado en un 50% de todos los sistemas comerciales

⁽⁵⁾ Refrigeración industrial.

La refrigeración industrial generalmente se clasifica de la misma forma que la refrigeración comercial, por regla general, las aplicaciones industriales son de mayor tamaño que las comerciales y la característica que los distingue de la comercial es que en esta requieren una persona capacitada para su operación

Entre las aplicaciones industriales están las plantas productoras de hielo, plantas empacadoras de alimentos (carne, pescado, aves, alimentos congelados, cervecerías, cremerías) y plantas industriales (refinerías de aceite, plantas químicas y plantas de hule)

Los refrigeradores industriales pueden llegar a producir varias toneladas de aire frío con a partir de motores pequeños que pueden ir desde los 10 HP hasta los , la cantidad de refrigerante y el tipo requiendo dependerá del proceso o sistema que se utilice. Estos equipos tienen una vida útil de 25 a 30 años, con aplicaciones en la industria química, petroquímica, petrolera, y metalúrgica

⁽⁴⁾ " Proteger la capa del Ozono - Frigoríferos ", Rune Aarlien, Ward Atkinson, Jim Baker, Peter Cooper, Serie CAP/IMA del PNUMA, p.p 22

⁶⁾ Refrigeración marina y de transporte.

Las aplicaciones que se consideran dentro de esta categoría, son semejantes a la categoría anterior

La refrigeración marina se refiere a los sistemas de refrigeración para barcos, dentro de la cual se incluye, refrigeración para botes de pesca, y embarcaciones de transporte y cargamento.

La refrigeración de transporte trata con equipo de refrigeración aplicado a vagones de ferrocarril, camiones, aviones, tanto de transporte a larga distancia como entregas locales.

⁷⁾ Refrigeración para uso especializado.

Se refiere principalmente a la conservación de medicamentos, órganos vivos, plasma, sangre, entre otros, que necesitan ser congelados a temperaturas muy bajas para permitir su conservación y posteriormente su uso médico

Acondicionamiento de aire.

Involucra el movimiento de aire así como el control de la temperatura, de la humedad, filtrado, limpieza dentro de un área específica, las aplicaciones del acondicionamiento de aire son de dos tipos para bienestar humano e industrial

Las instalaciones típicas de acondicionamiento de aire para bienestar humano se encuentran en hogares, escuelas, oficinas, iglesias, hoteles, almacenes de ventas, edificios públicos, fábricas, automoviles, camiones, trenes, aviones y barcos

Las aplicaciones de tipo industrial casi no tienen límite en cuanto a número y variedad, las funciones principales son las siguientes

- 1 Controlar el contenido de humedad de los materiales higroscópicos
2. Regular la velocidad en reacciones químicas y bioquímicas
3. Limitar las variaciones de tamaño de artículos con manufactura de precisión sujetos a la expansión o contracción térmica.
- 4 Suministrar aire limpio y filtrado, que es con frecuencia esencial para la operación satisfactoria en la fabricación de productos de alta calidad.

⁶⁾ " Principios de Refrigeración", Roy J. Dossat, Compañía editorial Continental, Primera edición en español, Nueva York, 1963

⁷⁾ " The impact of Ozone-Layer Depletion", Michael D. Gwynne, Mostafa K. Tolba, United Nations Environment Program, UNEP/GEMS Environment Library no.7

En el anexo 3 se describen las aplicaciones más comunes que han tenido los diferentes refrigerantes convencionales en la industria de la refrigeración, se muestran según la temperatura de operación de los equipos.

3.2 Refrigerantes de transición para la sustitución de los CFC.

Las industrias que producen refrigerantes han desarrollado dos ramas de refrigerantes que serán utilizados para cumplir con los lineamientos que dicta el Protocolo de Montreal. Estas dos ramas las comprenden los refrigerantes de transición y los definitivos. La principal diferencia entre este tipo de refrigerantes es que los que son definitivos no contienen cloro en sus moléculas, por lo que no tienen Potencial de Agotamiento del ozono (ODP), a diferencia de los de transición que todavía contienen un poco de cloro en sus moléculas, sin embargo, éstos últimos tienen un ODP cerca de un 98% menor que los productos a base de CFC. La razón del desarrollo de los refrigerantes de transición es para evitar que los equipos de refrigeración utilizados actualmente tengan que ser desechados de forma inmediata ya que los refrigerantes definitivos no son compatibles con algunos de los materiales que componen los equipos, por ejemplo los elastómeros de los empaques de los compresores. Por otro lado no son miscibles en los lubricantes comunes. Dentro del Protocolo de Montreal se ha estimado y permitido el uso de los refrigerantes de transición para facilitar el cambio, sobre todo en los países subdesarrollados, pero, hay equipos en los cuales el re-acondicionamiento a los refrigerantes de transición no es conveniente, ya que los costos se elevan demasiado, por lo que se recomienda mejor el cambio a equipos nuevos compatibles con los productos que no dañan la capa de ozono.

Sustitutos existentes para el refrigerante CFC-12.

Transición	SUVA* MP-39	R-401a
"	SUVA* MP-66	R-401b
Definitivo.	SUVA* 134a	R-134a

Sustitutos existentes para el refrigerante CFC-502.

Transición	SUVA* HP 80	R-409a
"	SUVA* HP 81	
Definitivo.	SUVA* HP 62	R-404a

Para información más detallada sobre los refrigerantes alternativos y sus propiedades consultar el anexo 3.

3.3 Opciones para cambio de refrigerante y diseño en los equipos de refrigeración.

Recuperación de CFC.

La recuperación consiste en remover el refrigerante CFC de algún sistema de refrigeración y almacenarlo en un contenedor externo para su disposición final en un confinamiento o para recuperarlo, estas son buenas opciones que proporcionan las empresas productoras de refrigerantes debido a que se ha prohibido totalmente el venteo de los CFC a la atmósfera. En la recuperación se debe de utilizar una bomba de vacío para garantizar que todo el refrigerante sea extraído del sistema. Este proceso no implica analizar o re-trabajar el CFC. Para ésto se debe de llevar a cabo el reciclaje o reproceso del refrigerante.

El reciclaje consiste en reducir los contaminantes que se encuentren en el agente refrigerante, los cuales pueden ser residuos de lubricante, humedad, hidrocarburos y partículas extrañas, se usan filtros intercambiadores para eliminar este tipo de contaminantes, así como también se logra reducir la acidez. Por otro lado el reproceso consiste en realizar pruebas de análisis químico en el laboratorio hasta que sea posible llevar el refrigerante CFC a su condición y especificaciones originales. Para realizar el reproceso es necesario acudir a técnicas de separación y purificación más complejas, como la destilación. Para el caso de contaminantes que presenten el mismo punto de ebullición o muy cercano al de los CFC se utiliza la destilación fraccionada y para compuestos de puntos de ebullición diferentes a los de los CFC se usa la destilación flash y la filtración. También se utilizan otras técnicas para detectar impurezas como la cromatografía de gases y la espectrofotometría.

Existen normas establecidas de calidad que deben de cumplir los productos reprocessados, las cuales marcan las especificaciones que deben cumplir los CFC y que garantizan que se cumplan las mismas características que un CFC virgen. Una de estas normas es el ARJ - 700.

Reacondicionamiento de los equipos.

Para permitir que los equipos de refrigeración que se encuentran en funcionamiento continúen en servicio durante el resto de su vida útil se debe hacer la sustitución de los refrigerantes que ofrecen propiedades ambientales mejoradas en comparación con el refrigerante CFC-12. La mayor parte de los equipos de refrigeración que utilizan CFC-12 o CFC-502, pueden ser reacondicionados de una manera sencilla y económica por los nuevos refrigerantes⁽¹⁾ alternativos a base de HCFC y HFC, los cuales requieren cambios mínimos en los equipos existentes de refrigeración.

⁽¹⁾ En el Anexo 3 de este trabajo se encuentran los refrigerantes de transición, así como también los refrigerantes definitivos producidos por la compañía Du Pont.

- a) Realizar el cambio de lubricante del compresor por uno compatible con el nuevo refrigerante. Los CFC utilizan como lubricante el aceite mineral, es necesario hacer el cambio a lubricantes de poliol esterés (POE) En la tabla 3.3-1 se lista la recomendación de lubricantes para los refrigerantes alternativos de Du Pont

Refrigerante	1ª opción	2ª opción	Refrigerante	1ª opción	2ª opción
CFC-11	AM		SUVA® 123	AM ó AB	
CFC-12	AM ó AB	POE	SUVA® 134a	POE ^(A)	
CFC-13	AM ó AB	POE	SUVA® HP62	POE ^(A)	
CFC-22	AM ó AB	POE	SUVA® 9000	POE ^(A)	
CFC-23	POE ^(A)		SUVA® HP80	AB ^(B)	POE ^(B)
CFC-500	AM ó AB	POE	SUVA® HP81	AB ^(B)	POE ^(B)
CFC-502	AM ó AB	POE	SUVA® MP39	AB ^(B)	POE ^(B)
CFC-503	AM ó AB	POE	SUVA® MP66	AB ^(B)	POE ^(B)

AM aceite mineral.

AB alquilbenceno.

POE poliolester.

(A) Máximo 5 % de AM ó AB en POE

(B) Máximo 20 % AM en AB ó POE

Tabla 3.3-1 Recomendación de lubricantes para los refrigerantes alternativos de Du Pont.

- b) Realizar el cambio del filtro deshidratador que se encuentra a la salida del condensador con alguno compatible con los nuevos refrigerantes, los deshidratadores mas comunmente utilizados son

Deshidratadores de relleno suelto, los cuales contienen sólo el desecante de malla molecular.

*Deshidratadores de centro sólido, en los cuales el desecante de la malla molecular se dispersa dentro de un aglutinante de centro solido, el cual puede ser una piedra Se recomienda el desecante de la malla molecular XH-9 (fabricado por UOP) Los desecantes XH-5 o XH-6 que se han utilizado por mucho tiempo en los sistemas de CFC-12, no son compatibles con los nuevos refrigerantes

Para los deshidratadores de centro sólido, se debe verificar con el fabricante el uso recomendado con los nuevos refrigerantes

Diseño de equipos.

Es necesario considerar que utilizando el HFC-134a el desplazamiento del compresor aumenta un 20%, originando que las presiones de succión y de descarga del sistema aumenten también, y por lo tanto el tamaño del condensador aumenta un 20% para poder condensar todo el refrigerante que se encuentra a presión de descarga mayor

Debido a las propiedades físicas y químicas del nuevo refrigerante, la configuración interna de los compresores debe cambiar ligeramente para mejorar el rendimiento del equipo, el cambio del condensador es necesario ya que en caso de que el sistema permanezca con el mismo condensador se corre el riesgo de que el nuevo refrigerante comience a degradarse debido a las altas presiones de operación, si sucede esto el refrigerante se descompone generando lodos que pueden obstruir el tubo capilar del sistema de refrigeración.

Para información más detallada sobre los lineamientos para la sustitución de los refrigerantes consultar el Anexo 4

3.4 Otros sistemas alternativos.

Existe una amplia variedad de tecnologías de refrigeración alternativas, en uso o en el proceso de investigación que incluyen distintos tipos de refrigerantes y ciclos de refrigeración. La eficiencia de cada sistema depende del diseño de cada ciclo para cada refrigerante en particular. Algunos de ellos, son la compresión de vapor en base a amoníaco y los sistemas de absorción, adsorción, los sistemas de enfriamiento por evaporación en base a agua y los sistemas de compresión de vapor en base a hidrocarburos.

Sistemas de Absorción.

Los ciclos de enfriamiento por absorción funcionan con un par de refrigerantes químicos, una de las sustancias químicas es disuelta en la otra. El enfriamiento se produce retirando una de las sustancias de la solución a través de la aplicación de calor y luego reabsorbiéndola hacia la solución. Los dos pares de refrigerantes más comúnmente utilizados en el ciclo de absorción son amoníaco/agua, donde el amoníaco actúa como refrigerante; y el agua/bromuro, donde el agua actúa como refrigerante.

Los sistemas de amoníaco/agua pueden operar a temperaturas bastante más bajas que el punto de congelación. La mayoría de los equipos de absorción son grandes y están diseñados para utilizar calor de desecho que proviene de otra fuente.

Los equipos que utilizan este ciclo han tenido una gran aplicación por muchas décadas en la refrigeración doméstica e industrial, en la preservación de alimentos, procesos industriales, almacenamiento en frío, entre otras aplicaciones.

Los refrigeradores de absorción de amoníaco se usan actualmente en aplicaciones tales como casas rodantes, minibares de habitaciones de hoteles y hospitales.

En los sistemas de bromuro de litio/agua, el agua es el refrigerante en sistemas que operan a temperaturas sobre el punto de congelación. Este sistema ha sido aplicado especialmente en aire acondicionado y enfriamiento de agua.

Sistemas de Adsorción.

El ciclo de adsorción es muy parecido al de absorción, excepto que el refrigerante se adhiere a, y se separa de, un medio sólido.

El refrigerante extrae calor del medio sólido y el enfriamiento se produce cuando éste vuelve al medio sólido por adsorción.

Como par de refrigerantes se puede usar la combinación zeolita/agua, y como posibles fuentes de calor para este sistema se puede utilizar energía solar, gas natural y calor de desecho.

Hielo seco (CO₂ sólido).

El dióxido de carbono se obtiene a partir de la fermentación de materia orgánica o por la combustión.

El gas se comprime en tres etapas y se enfría hasta la temperatura atmosférica, formando en consecuencia un líquido a una presión de 6205 a 6894 kPa. Después el líquido se libera a una presión aproximada de 354 kPa, durante este proceso parte del CO₂ se solidifica y se comprime para formar un hielo denso. es útil como medio refrigerante en casos especiales.

La objeción principal para el uso generalizado de esta sustancia en la industria de la refrigeración es su elevado costo, pero lo hacen un refrigerante muy deseable por su fácil manejo, su baja temperatura -78.8°C a presión atmosférica, y por sus propiedades físicas, ya que no es tóxico ni corrosivo. Además tiene un alto calor latente, y la cantidad de calor absorbido por masa de CO₂ sólido, durante la sublimación a presión atmosférica y una temperatura de -78.8°C , es de 61.73 kcal aproximadamente

Ciclo de Stirling.

⁽²⁾ Los sistemas de ciclo de Stirling en base de helio, están comenzando a ingresar en los mercados. Esta máquina ha sido utilizada en un gran número de aparatos comerciales para laboratorio y refrigeradores miniatura

Este ciclo se usa para la licuefacción de aire a escala de laboratorio para la recondensación de líquidos criogénicos evaporados para la refrigeración de espacios cerrados donde la carga de refrigerante es pequeña. Este sistema consiste en un pistón y un desplazador que opera en el mismo cilindro con el pistón, estos dispositivos se usan para la compresión isotérmica de un fluido de trabajo, generalmente helio (He). El desplazador empuja el gas comprimido a través de un regenerador hacia la región fría, donde se expande isotérmicamente, hace trabajo sobre el pistón y se produce la refrigeración.

El regenerador es una masa porosa (lana mineral compactada con una alta capacidad calorífica), en la cual se establece un gradiente de temperatura entre la región caliente del compresor y la región fría del expansor.

Amoniaco.

Ha sido utilizado como refrigerante por muchas décadas, incluso mucho antes de la aparición de los CFC, su alta eficiencia y su excelente propiedad de transferencia de calor con respecto a los CFC lo han convertido en un producto alternativo para muchos frigoríficos de gran tamaño que utilizan ciclos de compresión de vapor. Muchas compañías en todo el mundo utilizan grandes equipos de refrigeración de agua/amoniaco.

⁽²⁾ " Handbook of Refrigerating Engineering "W. R. Woolrich, Vol I, Fundamentals, 4th edition, The AVI Publishing Company, INC, Westport Connecticut, 1965

El amoníaco es superior al CFC-22 en términos de eficiencia (en la mayoría de las temperaturas), disponibilidad y costo. En cuanto a propiedades físicas y toxicidad, el amoníaco es inflamable y muy tóxico en bajas concentraciones, pero no es persistente en el ambiente. Se debe tener mucho cuidado en la instalación y mantenimiento de los equipos.

En el pasado se utilizaba para refrigeradores domésticos, y realmente no existe ninguna razón por la que no se pudiera restablecer su uso, bajo condiciones de seguridad establecidas.

Enfriamiento electrónico.

Recientemente se ha aplicado el enfriamiento termoelectrónico, en el cual se utiliza ⁽²⁾ el efecto de Peltier, con dos conductores metálicos distintos. Los elementos de un enfriador termoelectrónico son muy sencillos, equivalen a los de un generador termoelectrónico, aunque también se usan materiales semi conductores, como las aleaciones de telurio - selenio de bismuto y telurio de bismuto-antimonio.

El buen funcionamiento del circuito depende de la naturaleza de la generación de voltaje de los conductores y de su resistencia eléctrica, conductividad y de sus dimensiones físicas. Con una entrada al circuito de corriente continua de bajo voltaje y extrayendo calor continuamente de una de las uniones a temperatura ambiente, la otra unión se enfría.

Cada una de las uniones se transforma en una celda activa, en la cual el calor se convierte en efecto eléctrico, y a la temperatura atmosférica más elevada, el efecto eléctrico se convierte en calor.

Esto establece la base de operación de una bomba de calor, de manera que el requerimiento de calor a baja temperatura debe ser satisfecho, esencialmente como en el evaporador de un sistema de compresión de vapor, mediante la extracción de calor por transferencia de todos los alrededores conectados.

Hidrocarburos.

Son ampliamente reconocidos como refrigerantes y tuvieron, al igual que el amoníaco, pocas aplicaciones domésticas y comerciales en el pasado. Estos compuestos pueden ser utilizados como sustitutos de transición de los CFC, debido a que poseen excelentes propiedades refrigerantes con eficiencias termodinámicas iguales o mayores que las de los CFC. Otra ventaja de estos compuestos es su bajo costo, es casi 50 veces menor que compuestos como el HCFC-134a. Esto hace muy atractivo el uso de hidrocarburos para países que se encuentran en vías de desarrollo. Cada día se realizan más investigaciones sobre estos compuestos, en la actualidad se utilizan como agentes refrigerantes en las plantas industriales en todo el mundo, donde la instalación cumple adecuadamente las de normas para el uso de sustancias inflamables.

⁽²⁾ " Steam, Air and Gas Power ", William H. Severns, Howard E. Degler, John C. Miles, John Wiley and Sons, INC, Fifth Edition, New York, 1960

3.5 Lineamientos para el reemplazo de los refrigerantes.

Los lineamientos generales para el reacondicionamiento de los CFC a las alternativas SUVA® comprenden ocho pasos

- 1 Establecer en base de datos, el desempeño de su equipo con CFC
- 2 Remover el CFC del sistema y recuperarlo en un cilindro especial de recuperación
- 3 Vaciar el aceite mineral del sistema
- 4 Cargar el lubricante aprobado en el sistema.
- 5 Reemplazar el filtro deshidratador con un deshidratador compatible
- 6 Evacuar el sistema
7. Cargar el nuevo refrigerante SUVA®
8. Arrancar el sistema y ajustar la carga y/ o los controles para lograr la operación deseada

Equipo y accesorios necesarios para la conversión de los equipos con los nuevos refrigerantes

Equipo de seguridad (guantes y lentes), manómetros de presión múltiples para refrigeración, termómetro, bomba de vacío, equipo para detectar fugas, balanza, unidad de recuperación, cilindro de recuperación, contenedor para el lubricante recuperado, nuevo lubricante, nuevo refrigerante y nuevo deshidratador

Para información más detallada sobre los primeros auxilios a proporcionar en caso de intoxicación y/o accidentes que involucren refrigerantes consultar el Anexo 5

4. IMPACTO ECONÓMICO DEL REEMPLAZO.

4.1 *Parámetros básicos necesarios para realizar un estudio del impacto económico causado por la sustitución de los refrigerantes.*

El costo actual de un sistema de refrigeración para los diferentes aplicaciones varía considerablemente. Los factores que más afectan los costos de un sistema.

- La capacidad de refrigeración requerida.
- La potencia requerida por el compresor.
- La presión y temperatura final del producto
- El equipo utilizado para el proceso de condensación
- El motor o turbina, si es que se necesita en el sistema de refrigeración como medio impulsor.

Los factores que tienen normalmente menor consideración en los costos son los siguientes

- El tipo de refrigerante que es utilizado.
- La carga total de refrigeración
- Requerimiento de los componentes del sistema a prueba de explosión
- El arreglo físico del equipo
- Los niveles de temperatura para trabajar.

El costo de los nuevos refrigerantes en un inicio era mayor que el de los refrigerantes convencionales, sin embargo la tendencia marca que los refrigerantes a base de CFC se vuelven mucho más caros que los refrigerantes alternativos. Esta acción se está realizando para fomentar el uso de los refrigerantes alternativos y desmotivar a los usuarios de equipos de refrigeración en el uso de los refrigerantes convencionales. De esta forma los refrigerantes a base de CFC se encarecen paulatinamente. Además cabe mencionar que como consecuencia de los lineamientos que marca el Protocolo de Montreal los refrigerantes convencionales van a ser producidos en menor cantidad por lo que será más difícil encontrarlos en el mercado.

Un ejemplo de estos cambios se observa en el precio de los refrigerantes ya que el costo por kilogramo de refrigerante, en presentación de una tonelada, para el refrigerante CFC-12 es 35% más caro que el HFC 134-a

CFC-12	54 \$/kg
HFC 134-a	40 \$/kg

V. Conclusiones.

Debido a que poco a poco serán eliminados los refrigerantes en base a los CFC y aunque exista la posibilidad de obtenerlos, éstos van a ser tan caros que la mejor alternativa para todos los usuarios es realizar la sustitución de los nuevos refrigerantes.

Para determinar las condiciones de operación de cualquier sistema de refrigeración es importante tomar en cuenta, que independientemente de qué tipo de refrigerante se utilice para realizar la sustitución, es necesario realizar un estudio detallado del comportamiento del mismo, ya que aunque posean características semejantes, puede darse el caso de que el comportamiento de la alternativa respectiva sea totalmente diferente (económica y funcionalmente).

Debido a que México fue ubicado dentro de los países indicados en el artículo 5 del Protocolo de Montreal, el cual da la opción a los países no industrializados para cumplir con los límites establecidos de eliminación para los países desarrollados más 10 años de gracia, se ha tomado la decisión por parte del gobierno de México de adelantar las fechas límite de cumplimiento que se encuentran especificadas en el Protocolo para contribuir a que se detenga el daño que se está produciendo en la capa de ozono (Diario Oficial de la Federación 9 de noviembre de 1988) Cabe mencionar que México es el primero y único país de Latinoamérica que no se va a apegar a los 10 años de gracia, esta decisión va a beneficiar el intercambio comercial de productos relacionados con el ramo de la refrigeración, tanto con los países integrantes del Tratado de Libre Comercio (Estados Unidos, Canadá y México), como con los demás países del mundo

El Protocolo de Montreal marca lineamientos específicos para cada uno de los compuestos que agotan la capa de ozono y dictamina las fechas límite para eliminar gradualmente la producción y uso de los CFC por lo que resulta inminente el cumplir con estas reglamentaciones de la mejor manera. Por estas razones las industrias productoras de refrigerantes están dispuestas a proporcionar la ayuda y apoyo necesarios a cualquier usuario que lo solicite, brindándole las opciones existentes para que los equipos operen cumpliendo la reglamentación

Dentro de las alternativas se encuentra la recuperación, reciclaje, y la sustitución de refrigerantes por aquellos productos de transición que se permiten dentro del Protocolo de forma que la última opción es sustituir los equipos actuales por equipos nuevos, los cuales contienen los refrigerantes definitivos que son aceptados por no ser agresivos con el ambiente.

La recuperación de los CFC es un método económico y ecológico que sirve para mantener el uso del equipo actual de refrigeración, permitiendo que los CFC que hayan sido producidos legalmente puedan seguir utilizándose, de manera que se evite el venteo a la atmósfera a diferencia del reciclado, garantiza la calidad del gas refrigerante y por consiguiente la vida del equipo existente de refrigeración

De acuerdo a los lineamientos que se dictan en el Protocolo de Montreal, muy pronto la recuperación de los CFC y HCFC será obligatoria para todos los equipos y todos los equipos de aire acondicionado y de refrigeración deberán ser sustituidos por equipos nuevos que contengan los refrigerantes definitivos los cuales tienen un ODP igual a cero; Mientras esto sucede resulta drástico obligar a todos los usuarios a desechar sus equipos actuales, por lo que la recuperación y reciclaje de los refrigerantes a base de CFC es una solución a corto plazo y accesible.

Existen alternativas para las principales aplicaciones en el sector de refrigeración y enfriamiento, la creación de tecnologías alternativas ha existido tradicionalmente tales como los sistemas de compresión de vapor basados en propano y amoníaco que está siendo propuesta nuevamente para el caso de los hidrocarburos, sobre los resultados de muchas pruebas, la inflamabilidad no debe presentar problemas importantes para aplicaciones de pequeña escala o domésticas. Una de las principales razones es que, dada la tecnología actual, sólo se necesitan cerca de 20 g de refrigerante. el cual equivale a aproximadamente el mismo volumen que contienen los envases para recargar encendedores de cigarrillos.

Las decisiones para la producción o expansión comercial del mercado de estos sistemas, se ve bloqueada no tanto por barreras técnicas (rendimiento y eficiencia), si no por barreras políticas y económicas, así como también de asignación de fondos

ANEXO 1

Características y propiedades físicas de los refrigerantes más comunes.

Características

Refrigerante-11 (CCl₃F).

Es un clorofluorocarbono de la serie del metano, es un producto sintético que puede ser utilizado como refrigerante, su punto de ebullición a la presión atmosférica es de 23.5 °C. La presión de operación, bajo las condiciones de⁽⁵⁾ la Ton normal de refrigeración, es de 80.66 kPa. Este refrigerante disuelve el hule natural, sin embargo no es corrosivo, tóxico ni flamable, por lo que se ha utilizado mucho para compresores centrífugos debido a las bajas presiones de operación del refrigerante y el relativamente alto desplazamiento del compresor, el cual puede llegar hasta un máximo de 15.9 kg. de fluido por cada 28.3 m³ de espacio de aire acondicionado. Este refrigerante se utiliza también como agente propelente en aerosol, como agente de espumado y para el acondicionamiento de aire de pequeños edificios de oficina, fábricas, tiendas departamentales y teatros.

Cuando se libera el CFC-11 en la atmósfera, durante la manufactura de productos de espuma, cuando se utiliza un aerosol, o cuando hay fugas al medio ambiente, este compuesto va a llegar hasta la estratósfera en un periodo que puede llegar a ser hasta de cinco años.

Refrigerante-12 (CCl₂F₂).

Este es uno de los refrigerantes más comunes, debido a que es muy seguro, no tóxico, no corrosivo, no inflamable y no explosivo. En las fases líquida y gaseosa es incoloro y despiden un olor débil a éter, es químicamente inerte a temperaturas ordinarias y es muy estable por arriba de los 427 °C, sin embargo si entra en contacto con una flama directa o con un elemento de calefacción eléctrico, se descompone en productos que son muy tóxicos. El CFC-12 no ataca casi a los materiales metálicos a temperaturas y presiones de operación, algunos de los materiales que resultaron no ser apropiados son el plomo y las aleaciones de magnesio y aluminio. Este refrigerante tiene una temperatura de ebullición de -29.4 °C a condiciones atmosféricas normales y condensa a presiones moderadas.

Dichas propiedades lo hacen adecuado para cualquier rango de temperaturas. Es miscible en aceite bajo todas las condiciones de operación. El efecto refrigerante por unidad de peso es bastante pequeño comparado con otros refrigerantes populares, sin embargo esto no es una desventaja porque para sistemas domésticos permite tener un mayor control del fluido. En sistemas comerciales, ésta desventaja es compensada hasta cierto punto por una alta densidad del vapor, de forma que el desplazamiento del compresor que es requerido por Ton de refrigeración no es muy grande.

⁽⁵⁾ Ton normal de refrigeración- Corresponde aproximadamente a la remoción de calor que se requiere para congelar una tonelada de agua líquida, que se encuentra inicialmente a cero °C, hasta convertirla en hielo a cero °C por unidad de tiempo.

Refrigerante-13 (CClF₃).

Es un refrigerante de alta presión, de primera calidad y apropiado solo para ser utilizado en sistemas de baja temperatura, para temperaturas de evaporación de -60°C a -100°C. La temperatura de ebullición es de -98 °C a presión atmosférica. La temperatura crítica es de 28.9 °C. El calor de evaporación a la presión normal es de 35,500 kcal/kg.

Este refrigerante ha sido utilizado para reemplazar al CFC-22 en algunas aplicaciones a baja temperatura. Se usa principalmente en las etapas de baja presión, mientras que en las de alta presión se emplean el CFC-12 o el CFC-22. Con este tipo de instalaciones en cascada con dos etapas pueden llegar a alcanzarse temperaturas de hasta -70°C.

Este refrigerante es adecuado para utilizarse con los tres tipos de compresores debido a que las presiones de condensación y el desplazamiento del compresor que se requiere son moderados.

Refrigerante-22 (CHClF₂).

También conocido como clorodifluorometano, es un líquido incoloro que huele débilmente a éter. Es un refrigerante sintético, que no está completamente halogenado, es decir, en su molécula contiene un sólo átomo de hidrógeno. Es completamente estable, no es tóxico, corrosivo ni inflamable.

Su temperatura de ebullición es de -41 °C a presión atmosférica. La solubilidad del agua del CFC-22 es mayor que la del CFC-12. La presión de operación bajo condiciones de Ton normal es de 10.89 kPa.

El comportamiento químico de este refrigerante frente a los metales es similar al del CFC-12.

Este refrigerante fue desarrollado para satisfacer sistemas que necesitan una temperatura baja de evaporación. Una de sus aplicaciones es para los sistemas rápidos de congelación, en los cuales se desea mantener una temperatura de -29 °C a -40 °C, y no es necesario utilizar el CFC-22 a presiones más bajas que la atmosférica para poder obtener estas temperaturas. También se ha utilizado en sistemas de aire acondicionado y refrigeradores domésticos. Se puede utilizar con compresores centrífugos y recíprocos.

Refrigerante-113 (C₂Cl₃F₃).

La temperatura de ebullición es de -83.1 °C a presión atmosférica. Las presiones de operación bajo condiciones de Ton normal de refrigeración son de 94.39 kPa y 4.39 kPa, respectivamente. El desplazamiento del compresor requerido es de 3.14 m³/min por Ton normal y la potencia requerida no va más allá de los 5 HP.

Las bajas presiones de operación y el desplazamiento que se necesita hacen que se requiera un compresor centrífugo.

Se utiliza para la producción de aires acondicionados de confort, así como para el enfriamiento de agua y salmuera de procesos industriales.

Sus propiedades físicas y químicas lo hacen ser un refrigerante muy seguro.

Refrigerante-114 (C₂F₄Cl₂).

Tiene un punto de ebullición de 3.6 °C a presión atmosférica. Las presiones de evaporización y condensación bajo condiciones de Ton normales son de 54.46 kPa y 10.68 kPa, respectivamente. El desplazamiento del compresor requiendo es relativamente bajo para un refrigerante de baja presión (0.610 m³/min-Ton a condiciones normales).

La potencia requerida se compara favorablemente con la que se requiere con otros refrigerantes comerciales. Este refrigerante se utiliza con compresores centrífugos en instalaciones industriales y comerciales de acondicionamiento de aire, así como también para el enfriamiento de agua para procesos industriales a temperaturas cercanas a los -57 °C.

Se utiliza con compresores rotatorios de tipo de paletas en refrigeradores domésticos y enfriadores pequeños para agua potable.

Al igual que el CFC-22 es miscible en aceite, en las condiciones que se encuentran en el condensador, por lo que el retorno del aceite en el sistema de refrigeración es un problema.

Los hidroclorofluorocarbonos (HCFC).

Son compuestos de estructura similar a la de los CFC, pero retienen algunos átomos de hidrógeno, estos compuestos fueron sintetizados para sustituir a los CFC, sin embargo estos también tienen un valor de ⁽⁶⁾ ODP que varía en un rango de 0.01 a 0.11, debido a que reaccionan químicamente en la atmósfera baja. La producción de estos compuestos ha ido aumentando mientras que la de los CFC ha ido disminuyendo. La búsqueda de refrigerantes con propiedades cada vez más apropiadas, condujo al empleo de mezclas azeotrópicas de freones. Con estas mezclas se logra alcanzar valores extremos de presión y de temperatura, que difieren favorablemente de los componentes, como por ejemplo, para una presión dada, las temperaturas son más bajas. La mezcla azeotrópica se caracteriza porque para una cierta concentración, la mezcla hierve a una temperatura determinada, por lo que no es posible separar los componentes por destilación a presión atmosférica.

Refrigerante-500.

Es una mezcla azeotrópica de 26.2% de CFC-152 y de 73.8% de CFC-12, (CCl₂F₂/CH₂CHF₂) se utiliza en aplicaciones comerciales e industriales, pero sólo en sistemas con compresores recíprocos.

El CFC-500 ofrece cerca de un 20% más de capacidad de refrigeración que el CFC-12, cuando se compara un mismo sistema.

La presión de evaporación es de 113 kPa a -15 °C.

Su punto de ebullición es de -33°C a condiciones ambientales. Su presión de condensación es de 882 kPa a 30 °C.

⁽⁶⁾ ODP- Potencial de agotamiento del Ozono para sustancias químicas controladas por Protocolo de Montreal. El valor de ODP es asignado en relación al CFC-11, al cual se le ha dado arbitrariamente el valor de uno. Para mayor referencia consultar la sección 2.3 de este trabajo.

Este refrigerante se utiliza cuando se necesita producir una mayor capacidad que la que puede generarse con el CFC-12, también se recomienda utilizar el refrigerante CFC-500 cuando se trabaja con una variación en la corriente eléctrica de 50 a 60 Hz (Hertz) La solubilidad del CFC-500 en agua y en aceite es elevada

Refrigerante-502.

Es una mezcla azeotrópica de 48.8% de CFC-22 y de 51.2% de CFC-115, ($\text{CHClF}_2/\text{C}_2\text{ClF}_5$), este compuesto ha sido utilizado desde 1961 Es un compuesto estable, no es corrosivo, no inflamable y prácticamente no es tóxico. Su temperatura de ebullición es de $-46\text{ }^\circ\text{C}$ a condiciones ambientales, su presión de condensación es de 1220 kPa

El calor de evaporación es de 43.5 kcal/kg.

La mezcla de los dos refrigerantes proporciona que tenga buenas propiedades, ya que tienen una capacidad como la del CFC-22 con tan sólo una temperatura de condensación similar a la del CFC-12. Las bajas temperaturas y presiones del condensador hacen que se incremente la vida de las válvulas del compresor.

Ha sido un buen refrigerante para obtener temperaturas medias y bajas, sobre todo para temperaturas de $-18\text{ }^\circ\text{C}$ a $-51\text{ }^\circ\text{C}$. Se utiliza para almacenar comida congelada y helados. Este refrigerante se utiliza únicamente con compresores recíprocos.

Refrigerante-503.

Es una mezcla azeotrópica de 40.1% de CFC-23 y de 59.9% de CFC-13, ($\text{CHF}_3/\text{CClF}_3$), es un fluido no corrosivo, no inflamable, no es tóxico. Su punto de ebullición es de $-88\text{ }^\circ\text{C}$ a presión atmosférica, esta temperatura es más baja que la del CFC-23 y el CFC-13

Su temperatura crítica es a los $20\text{ }^\circ\text{C}$

Este refrigerante es un fluido para bajas temperaturas, y se utiliza mucho dentro de los sistemas que funcionan con cascadas y que requieren un rango de temperaturas de trabajo de $-73\text{ }^\circ\text{C}$ a $-87\text{ }^\circ\text{C}$

Este refrigerante mantiene más humedad que los otros refrigerantes de bajas temperaturas, por lo que en todas sus aplicaciones se debe tener mucho cuidado de que se mantenga seco el medio de trabajo

Aplicaciones de los Refrigerantes.

Alta Temperatura.

R-113	Se utiliza en turbo compresores de baja capacidad, para aire acondicionado y enfriamiento, tanto en aplicaciones comerciales como industriales. También se utiliza para recuperar calor perdido en ciclos de motores. Opera a una presión mínima de 0.7 psig. Y máxima de 29.7 psig. y a volúmenes de gas de hasta 200 Ton. de capacidad de enfriamiento.
R-11	Se utiliza en equipos centrífugos empacados a una presión un poco más elevada que la del sistema y una capacidad mayor que la del R-113. Se utiliza también como refrigerante secundario en sistemas de temperaturas bajas y para recuperar calor perdido. Este refrigerante se utiliza en turbo compresores debido a que tiene una presión baja y una menor capacidad de refrigeración para el volumen del gas que se ocupa.
R-114	Se usa en sistemas de capacidad alta, con múltiples etapas y compresor centrífugo, así como también para sistemas rotatorios que operan a presiones intermedias. Se utiliza también para mejorar la transferencia de calor en sistemas solares de calentamiento de agua y para reducir la temperatura del evaporador en procesos de congelamiento. En enfriador de cabina para grúas. Se utiliza en turbo compresores.

Temperatura media

R-12	Este es el refrigerante que ha sido utilizado más ampliamente para sistemas de aires acondicionados y de refrigeración en general. Es el refrigerante principal que se utiliza para aire acondicionado de automóviles. Se utiliza en turbo compresores de tamaño grande.
R-500	Se ha utilizado en aire acondicionado y refrigeración en general para sustituir al R-12 en los casos en que se desea aumentar la capacidad utilizando el mismo desplazamiento del compresor. Este es un azeótropo del R-12 y R-152a (73.8% /26.2% en peso). Se utiliza en turbo compresores de tamaño grande y de baja temperatura.

Temperatura media

R-22	Se utiliza en aires acondicionados y refrigeración en general, en bombas de calor para aplicaciones comerciales y domésticos. En congeladores de varios tipos. Opera a presiones elevadas y a desplazamientos más bajos de compresor que el R-12. En turbo compresores de tamaño grande y de baja temperatura.
R-502	Se utiliza en cajas de exposición o congeladores de super mercados, en refrigeradores en general, y en sistemas de aire acondicionado. Opera a temperaturas de descarga más bajas que el R-22, lo que provoca que tenga menos área de compresión y menores temperaturas de descarga, y por otro lado una mayor capacidad en los equipos.

Temperatura Baja.

R-116	Se utiliza principalmente en aplicaciones de temperatura bajo de -73°C .
R-13	Se usa para producir temperaturas de evaporación de -73°C . en la etapa de temperatura baja de los sistemas de refrigeración en cascada que utilizan freón como refrigerante en el ciclo de alta temperatura. Se usa con equipos de super baja temperatura.
R-503	Se utiliza para mejorar la capacidad del compresor y la capacidad de bajas temperaturas en la segunda etapa de temperatura baja del sistema de refrigeración en cascada que utilizan R-502, R-12, o el R-22. Este compuesto es un azeótropo del R-23 y del R-13 en un porcentaje de 40.1% :59.9%
R-14	Se usa en compresores recíprocos que producen temperaturas de evaporación que llegan a bajar hasta -129°C , después de haber pasado por la tercera etapa de un sistema en cascada de refrigeración.

Tipo	Compresor	Aplicación.
R-11	Centrifugo	Para sistemas de aire acondicionado grandes que tengan una capacidad de 200 a 2000 Ton Para sistemas de refrigeración para procesos industriales de agua y de salmuera.
R-12	Reciprocante Centrifugo Rotatorio	Se usa para sistemas grandes de refrigeración y aire acondicionado, para sistemas pequeños domésticos incluyendo congeladores para comida y helados, congeladores de agua, sistemas de aire de confort para cuartos y lugares más grandes.
R-22	Reciprocante Centrifugo Rotatorio	Para aire acondicionado residencial y comercial. Para plantas y almacenamiento de comida congelada, y para otras aplicaciones de baja temperatura
R-500	Reciprocante Centrifugo	Para pequeños sistemas y equipos de aire acondicionado, en refrigeradores domésticos y comerciales.
R-502	Reciprocante	Para comida congelada y helados en sistemas domésticos y en plantas de alimentos congelados. Para bombas de calor Operan sistemas de temperatura media en camiones de transporte refrigerantes para alimentos perecederos.
R-503	Reciprocante	Para sistemas de refrigeración de temperaturas bajas cercanas a los -90°C
R-13	Reciprocante	Para sistemas de refrigeración que operan en cascada con temperaturas bajas cercanas a los -90°C
R-113	Centrifugo	Para sistemas de aire acondicionado de tamaño chico a medio, sistemas industriales de enfriamiento, congelamiento y almacenamiento de alimentos

" Refrigeración, principios, diseño y aplicaciones.", Fabricante de compresores, Mayekawa de México, S.A de C.V

ANEXO 2

RELACIÓN ENTRE COMPOSICIÓN, INFLAMABILIDAD Y TOXICIDAD DE LOS NUEVOS REFRIGERANTES.

La relación entre la composición química y las características de los CFC, HCFC y HFC se muestra en las figuras A2.1 y A2 -2.

Como es de esperarse el hidrógeno aumenta la inflamabilidad y la ausencia de hidrógeno aumenta la vida atmosférica y el ODP de las sustancias clorofluoradas. Por otro lado los átomos de cloro en la molécula producen que la toxicidad del compuesto aumente y que sean más dañinos para el medio ambiente.

El HCFC-22, HFC 134-a, así como las demás sustancias que se encuentran en el centro y a la derecha de los triángulos se consideran como los compuestos alternativos de sustitución más adecuados.

HFC-134-a, HCFC-123, HCFC-124, HFC-125, HCFC-225 y el HCFC-141-b

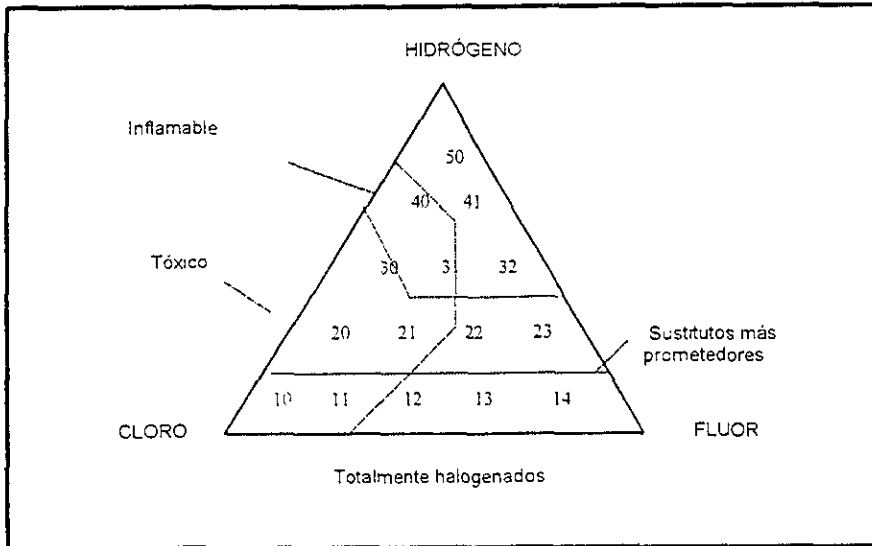


Figura A2-1

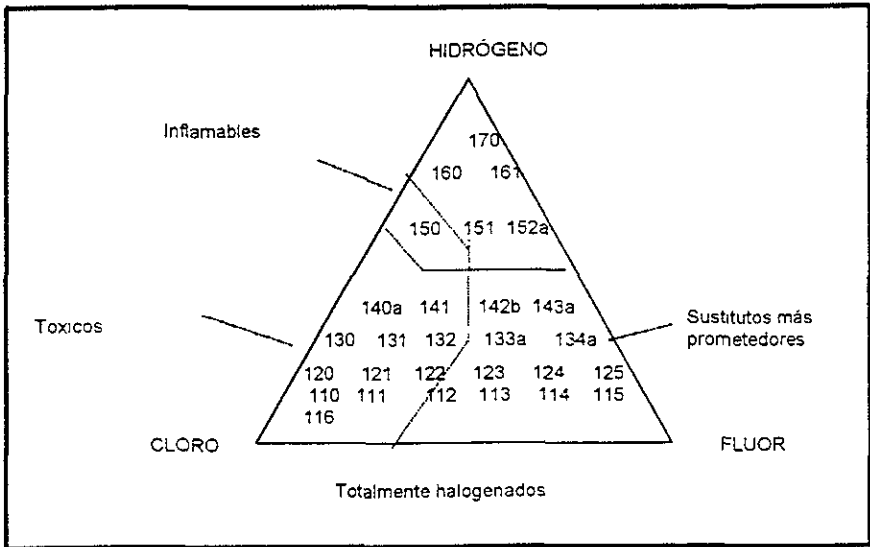


Figura A2-2

ANEXO 3

Refrigerantes alternativos aceptados.

Alternativas de relleno de equipos				Alternativas para equipo nuevo				
	R-22	Mezcla de HCFC 22 / HCFC152a / HCFC124	Mezcla de HCFC22 / Propano / HFC125	R-134a	Amonia	R-22	Mezcla de HCFC22 / Propano / HFC125	R-134a
CFC 12 Almacena- miento en frio	X	X		X	X	X		X
CFC 12 Comercial		X			X	X		X
CFC 12 Industrial	X	X		X	X	X		X
CFC 12 Transporte		X		X		X		X
CFC 12 Doméstico	X	X		X	X	X		X
CFC 12 Comercial	X	X		X		X		X
CFC 500 Transporte		X	X	X		X	X	X
CFC 502 Bodegas	X		X		X	X	X	
CFC 502 Industrial	X		X	X	X	X	X	X
CFC 502 Transporte	X		X	X		X	X	X
CFC 502 Doméstico	X		X		X	X	X	
CFC 502 Comercial					X	X		

Refrigerantes alternativos aceptados.

Alternativas para reacondicionamiento de equipos				Alternativas para equipo nuevo				
	R-123	Mezcla de HCFC22 HCFC152a HCFC124	R-134a	Amonia	R-123	R-22	R-134a	Litio Bromo Agua
HCFC 11 Centrifugo	X			X	X	X	X	X
HCFC 12 Centrifugo			X	X	X	X	X	X
HCFC 12 Reciprocante			X			X	X	
CFC 500 Centrifugo		X	X	X		X	X	

Tabla A3-1 "DU Pont SUVA® Refrigerants, Technical information "

Sustitutos para el refrigerante CFC-12.

SUVA® 134-a, SUVA® MP-66, SUVA® MP-39 y SUVA® MP-52

- **SUVA® HFC 134-a (1,1,1,2-tetrafluoroetano).**

El refrigerante SUVA® 134-a es un hidro-fluorocarbono, por tanto no contiene átomos de cloro en su molécula, y aparentemente no daña la capa del ozono. A continuación se presentan las propiedades físicas de HFC 134-a y el CFC-12.

Propiedades físicas.

Refrigerante.	HFC 134-a	CFC-12
Nombre químico	1,1,1,2- tetrafluoroetano	Diclorodifluorometano
Formula química	CH ₂ FCF ₃	CCl ₂ F ₂
Peso molecular	102.3 g/gmol	121 g/gmol
Temperatura de ebullición	-26.06 °C	-29.8 °C
Temperatura en el evaporador	-7°C a 7 ° C	
Temperatura crítica	101.08 °C	112°C
Presión de vapor	96,661 kPa	651 kPa
Presion critica	4060 kPa	4113 kPa
Punto de congelacion	-101 °C	-158 °C
Densidad del liquido @ 25 °C	2807 kg/m ³	1.311 kg/m ³
Densidad critica	515 kg/m ³	
Volumen critico	0.496 kg/m ³	
Solubilidad en agua @ 25 °C y 1 atm	0.15 % en peso	0.028 % en peso
Capacidad calorífica del liquido @ 25 °C	340 cal/ kg °C	
Capacidad calorífica del vapor @ 25 °C	204 cal/ kg °C	
Potencial de agotamiento del ozono (ODP)	0	1.0
Potencial de calentamiento del globo (GWP)	0.26	3.0

Tabla A3-2 Tabla comparativa de las propiedades de los refrigerantes CFC-12 y HFC 134-a, DU Pont. " SUVA® Refrigerants, Technical information."

Las propiedades físicas y termodinámicas del HFC 134-a, junto con su baja toxicidad, lo hacen ser un sustituto muy seguro y eficiente del CFC-12 en muchos sectores de la industria de la refrigeración. Sobre todo en la conservación de productos lácteos, refrigeración comercial, enfriadores y en la producción de equipos de aire acondicionado automotriz para vehículos nuevos y equipos de temperatura media para super mercados

Este refrigerante brinda un re-acondicionamiento y capacidad energética similares que las del CFC-12 con una temperatura de descarga inferior y una presión de descarga ligeramente superior.

Se encuentra comercialmente disponible para los re acondicionamientos de temperatura media y superiores del refrigerante en el serpentín del evaporador. Este refrigerante también puede ser utilizado en aplicaciones de temperaturas inferiores, pero es posible que presente una capacidad menor en comparación con el CFC-12.

Reactividad Química.

Es un compuesto estable, pero debe evitarse el contacto con las flamas abiertas y con las temperaturas elevadas.

Estabilidad.

La molécula del HFC 134-a es químicamente estable, tal y como lo es el CFC-12. Los resultados de las investigaciones muestran una gran estabilidad cuando está en contacto con cobre, acero y aluminio

Descomposición.

Los vapores del refrigerante HFC 134-a se descomponen cuando se exponen a temperaturas elevadas provenientes de flamas abiertas, o calentadores de resistencia eléctrica

Su descomposición puede producir compuestos tóxicos e irritantes como el ácido fluorhídrico y ácido clorhídrico. Es fácil de detectar cuando el refrigerante se ha descompuesto, debido a que se liberan olores fuertes que inmediatamente irritan la nariz y garganta.

⁽¹⁾ Condiciones de seguridad.

Bajo ninguna circunstancia se deberá probar presión de almacenamiento a granel, llenado de cilindros, carga de equipo, re acondicionamiento de refrigerantes, sistemas de recuperación o sistemas de A/C móviles con mezcla de aire y refrigerante HFC134-a, ya que este refrigerante es explosivo al mezclarse con el aire a presiones superiores a la atmosférica.

⁽¹⁾ " Seguridad de Refrigerantes SUVA® " DU Pont, " SUVA® Refrigerants, Technical Information ." Du Pont responde a sus preguntas sobre el manejo y uso seguro de refrigerante SUVA®

Algunos refrigerantes SUVA* tienen un olor ligeramente dulce que puede ser difícil de detectar, por lo que para trabajar con seguridad dentro de áreas cerradas se hacen las siguientes recomendaciones: Dirigir la tubería de purga y de escape hacia el exterior, y colocarla lejos de la toma de aire. Se debe asegurar que el área de trabajo se encuentre bien ventilada, utilizar ventilación auxiliar si es necesario para mover los vapores del refrigerante. Por último se recomienda tener un equipo de monitoreo del aire para detectar fugas.

Riesgos para la salud.

La inhalación de concentraciones elevadas de vapor de HFC 134-a puede causar depresión del sistema nervioso central con narcosis, letargo y efectos anestésicos.

Otros efectos que pueden presentarse son mareo, falta de coordinación e intoxicación. Si se continúa expuesto a elevadas concentraciones de este compuesto se pueden llegar a presentar irregularidades cardíacas, inconciencia y una sobre exposición puede llegar a causar hasta la muerte.

Si se inhalan vapores de una concentración de 75.000 ppm, lo cual es por encima del ⁽²⁾ EAL (Exposition Appliance Limits) del compuesto, produce que el corazón sea sensibilizado por la adrenalina, lo que conduce a irregularidades cardíacas.

Si una persona se encuentra fatigada o alterada es posible que se encuentre mucho más sensible que una persona en condición normal. Si la persona afectada presenta dificultad para respirar se debe suministrar oxígeno, si la respiración se detiene se debe proporcionar respiración artificial y se debe dar atención médica inmediatamente. Por ninguna razón se debe tratar a la persona con adrenalina o medicamentos similares. Debido a que estas sustancias aumentan el riesgo de presentar arritmias cardíacas.

Si se presenta una liberación grande de vapores, como durante una fuga o derrame grande, los vapores son más pesados que el aire y por consiguiente tienden a concentrarse cerca del piso, desplazando el oxígeno disponible para la respiración. A mayor cantidad de refrigerante, menor cantidad de aire, por tanto existe el problema potencial de asfixia.

En general los refrigerantes SUVA* tienen una baja toxicidad oral, sin embargo se debe evitar su ingestión, en caso de que suceda no se debe inducir el vómito, ya que cuando éste se presenta el refrigerante puede introducirse en los pulmones. Esto puede traer complicaciones como neumonitis química, edema pulmonar. Solicitar atención médica de inmediato.

⁽²⁾ EAL es el límite aceptable de exposición establecido por el comité EAL de Du Pont, para sustancias que aún no tienen un Valor Límite de Umbral (TLV), mediante el EAL se especifican las concentraciones a las cuales los trabajadores pueden estar expuestos en un tiempo promedio sin presentar efectos dañinos en su salud. Si los límites de exposición ocupacional que se encuentran en vigor por parte del gobierno son menores que el EAL, tales límites deberán tener preferencia.

Límites de exposición aplicables.

⁽³⁾ EAL (Du Pont) De 8 a 12 horas de exposición : 1000 ppm, 3540 mg/m³ TLV⁽⁴⁾
(ACGIH) En 8 horas de exposición : 1000 ppm, 3540 mg/m³ PEL (OSHA)
En 8 horas de exposición : 1000 ppm, 3500 mg/m³

⁽³⁾ Límites de exposición aplicables. (EAL) es el límite aceptable de exposición establecido por el comité EAL de Du Pont, para sustancias que aún no tienen un Valor Límite de Umbral (TLV), mediante el EAL se especifican las concentraciones a las cuales los trabajadores pueden estar expuestos en un tiempo promedio sin presentar efectos dañinos en su salud. Si los límites de exposición ocupacional que se encuentran en vigor por parte del gobierno son menores que el EAL, tales límites deberán tener preferencia.

⁽⁴⁾ TLV es el Valor Límite de Umbral establecido por la Sociedad Americana de la Conferencia Gubernamental de Higiene en la Industria (ACGIH)

PROPIEDADES DE LOS NUEVOS REFRIGERANTES

• SUVA[®] mezclas MP-39 [R-401 (53/13/34)].

El SUVA[®] MP-39 es el refrigerante alternativo recomendado para la mayoría de los sistemas que trabajan con CFC-12 en aplicaciones de temperatura media. Al utilizar este refrigerante se espera un rendimiento comparable al del CFC-12 en los sistemas que operan con temperatura en el evaporador de -23 °C a 7 °C. Este rango de temperaturas de trabajo lo hace adecuado para utilizarlo en aplicaciones tales como cámaras de refrigeración, conservadores de alimentos y lácteos, máquinas despachadoras, máquinas enfriadoras de bebidas y refrigeradores caseros. A continuación se presentan sus propiedades físicas:

Propiedades físicas.

Formula química	CHClF ₂ /CH ₂ CHF ₂ /CHClFCF ₃
Peso molecular	94.44 g/gmol
Componentes.	Porcentaje.
Metano, clorodifluoro (HCH-22)	53%
Etano, 1,1-difluoro (HFC-152a)	13%
Etano, 2-cloro-1,1,1,2-tetrafluoro (HCFC-124)	34%
Densidad crítica	510.6 kg /m ³
Volumen crítico.	0.00196 m ³ /kg
Punto de ebullición	-33 °C
Temperatura en el evaporador	-23 °C a 7 °C
Presión de vapor	766.6 kPa @ 25 °C
% de volatilidad	100 % en su peso
Solubilidad en agua	0.24 % de su peso @ 25 °C
Olor	Levemente a éter
Forma	Gas licuado
Color	Incoloro, claro
Gravedad específica	1.188 g/cm ³ @ 25 °C

Tabla A3-3 Tabla de propiedades de SUVA[®] MP 39, DU Pont, " SUVA[®] Refrigerants, Technical information "

• **SUVA[®] mezclas MP-66 [(60/13/27)].**

El SUVA[®] MP-66 es del mismo modo que el SUVA[®] MP-39 una mezcla de tres componentes HCFC-22, HFC 152-a y HFC-124. Proporciona una capacidad comparable con la del CFC-12 en los sistemas que operan con temperaturas del evaporador MP-66 entre -40°C a -23 ° C, haciéndolo adecuado para utilizarlo en equipos de refrigeración para el transporte y congeladores domésticos y comerciales.

Propiedades físicas.

Formula química	CHClF ₂ /CH ₂ CHF ₂ /CHClFCF ₃
Peso molecular	94.44
Componentes.	Porcentaje.
Metano clorodifluoro (HCH-22)	60%
Etano, 1,1-difluoro (HFC-152a)	13%
Etano, 2-cloro-1,1,1,2-tetrafluoro (HCFC-124)	27%
Densidad crítica	510.6 kg /m ³
Volumen crítico	0.00196 m ³ /kg
Punto de ebullición	-34.7°C
Temperatura en el evaporador	-40 ° C a -23° C
Presión de vapor	632 kPa @ 25 ° C
% de volatilidad	100 % en su peso
Solubilidad en agua	0.1% de su peso @ 25 ° C
Olor	Levemente a éter
Forma	Gas licuado
Color	Incoloro, claro
Gravedad específica	1.186 g/cm ³ @ 25 ° C

Tabla A3-4 Tabla de propiedades de SUVA[®] MP 66, DU Pont, " SUVA[®] Refrigerants, Technical information."

- **SUVA[®] mezclas MP-52 [(33/15/52)].**

Este refrigerante es un halocarburo halogenado. Se obtiene una mezcla de tres componentes de la misma forma que el SUVA[®] MP-39 y MP-66, pero en distinta proporción. HCFC-22, HFC 152-a y HFC-124

Este refrigerante se puede utilizar como sustituto de CFC-12 para dar servicio en el mercado automotriz

Para efectos de este trabajo sólo se mencionan sus propiedades físicas y químicas, ya que no es aplicable para sistemas de refrigeración doméstica, comercial ni industrial

Propiedades físicas.

Formula química	CHClF ₂ / CH ₃ CHF ₂ /CHClFCF ₃
Peso molecular	94.44 g/gmol
Componentes.	Porcentaje.
Metano, clorodifluoro (HCH-22)	33%
Etano, 1,1-difluoro (HFC-152a)	15%
Etano, 2-cloro-1,1,1,2-tetrafluoro (HCFC-124)	52%
Densidad crítica	510.6 kg /m ³
Volumen crítico	0.00196 m ³ /kg
Punto de ebullición	-27.5 °C
Presión de vapor	661 kPa @ 25 ° C
% de volatilidad	100 % en su peso
Índice de evaporación	Mayor de uno
Solubilidad en agua	0.1% de su peso @ 25 °C
Olor	Levemente a éter
Forma	Gas licuado
Color	Incoloro, claro
Gravedad específica	1.216 g/cm ³ @ 25 ° C

Tabla A3-5 Tabla de propiedades de SUVA[®] MP 52, DU Pont, "SUVA[®] Refrigerants, Technical information."

- **SUVA[®] mezclas MP 39, SUVA[®] mezclas MP-66 y SUVA[®] mezclas MP-52.**

Reactividad Química.

Son compuestos estables, pero debe evitarse el contacto con las flamas abiertas y con las temperaturas elevadas para evitar su descomposición.

Incompatibilidad.

Con álcalis o metales alcalinotérreos en polvo como el Al, Zn, Be, entre otros No presentan polimerización.

Descomposición.

Pueden descomponerse a altas temperaturas al tener contacto con flamas abiertas, y superficies metálicas reflejantes para formar ácidos clorhídrico y fluorhídrico y a veces halidos carbonílicos. Estos productos de descomposición son peligrosos.

Los límites de inflamación en el aire, LEL y UEL no han sido determinados o no son aplicables. Se debe utilizar agua o niebla para enfriar los envases. Normalmente los tanques en que se envasa cuentan con válvulas de seguridad para presión y temperatura, pero pueden reventarse en caso de incendio los que podría dar lugar a su descomposición.

No son inflamables a temperaturas de hasta de 80 ° C y a presión atmosférica. No existen datos disponibles para temperaturas y presiones mayores, sin embargo uno de sus componentes es inflamable (HCFC-152a). En pruebas se ha visto que el HCFC-22 es combustible a presiones tan bajas como 413 kPa a temperatura ambiente cuando se mezcla con aire en concentraciones de 65% en volumen. Por consiguiente este refrigerante no debe mezclarse con aire para hacer pruebas de fugas. En general, no debe usarse en presencia de aire a presiones mayores que la atmosférica.

Riesgos para la salud.

La inhalación de altas concentraciones de vapores es dañina y puede provocar irregularidad cardíaca, desmayos y hasta la muerte. Un mal uso intencional o su inhalación deliberada puede causar una muerte imprevista. Sus vapores reducen el oxígeno disponible para respirar debido a que son más pesados que el aire. El contacto con su forma líquida puede causar congelamiento. La mezcla no ha sido puesta a prueba todavía por lo que se analizan los componentes de la misma por separado.

Clorodifluorometano. (HCFC-22).

Inhalación 4 horas LC₅₀: 220,000 ppm en ratas.

La toxicidad observada en los animales expuestos a su inhalación en concentraciones entre 5% y 70% incluye, efectos sobre el sistema nervioso central, el hígado, los riñones, el bazo, sensibilización cardíaca, disminución del índice de incremento en peso del cuerpo y anestesia parcial. El estudio de inhalación crónica, el HCFC-22 produjo un aumento pequeño, pero estadísticamente significativo, de tumores en ratas machos, pero no en ratas hembras, en concentraciones de 50,000 ppm. El HCFC-22 resultó mutagénico en cultivos de células bacterianas, pero no en cultivos de células mamíferas, como tampoco en pruebas con animales vivos. En fetos de ratas se observó una leve mal formación de los ojos y disminución en el peso. Los efectos en conejos fueron nulos, así como el efecto sobre el desempeño reproductor de animales machos y todavía no se han realizado estudios específicos en animales hembras, por lo que la información es limitada. No es un compuesto cancerígeno.

Límites de exposición aplicables.

EAL (Du Pont)	Ninguno establecido.
TLV (ACGIH)	En 8 horas de exposición. 1000 ppm, 3540 mg/m ³
PEL (OSHA)	En 8 horas de exposición: 1000 ppm, 3500 mg/m ³

Difluoroetano. (HFC-152a).

Inhalación 4 horas ALC: 383,000 ppm en ratas.

Ingestión ALD: >1500 mg/kg en ratas

Los efectos de una sola exposición a altos niveles de difluoroetano incluyen dificultades de respiración, irritación de los pulmones, letargo, falta de coordinación y pérdida de conciencia. Se observó sensibilización cardíaca en perros sometidos a una concentración de 150,000 ppm en aire y al estímulo de una inyección intravenosa de epinefrina. La epinefrina es una medicina a base de catecolamina que ayuda a regular los disturbios cardíacos.

Los efectos de una exposición repetida son: aumento del fluoruro en la orina, reducción del peso de los riñones y cambios reversibles en los riñones. Los efectos de una sola dosis oral fuerte incluyen pérdida de peso y letargo.

Las pruebas en animales no se ha encontrado actividad cancerígena ni efectos sobre el desarrollo. No se han realizado pruebas en animales para conocer sus efectos sobre la reproducción. Este compuesto no produce daños genéticos en cultivos de células bacterianas, pero todavía no se ha probado en animales vivos.

Límites de exposición aplicables.

EAL (Du Pont)	1000 ppm de 8 a 12 horas de exposición.
TLV (ACGIH)	Ninguno establecido.
PEL (OSHA)	Ninguno establecido.

Clorotetrafluoroetano. (HCFC-124).

Inhalación 4 horas ALC > 230,000 ppm en ratas

LC₅₀ por 10 minutos para efectos sobre el SNC: 140,000 en ratas.

Los efectos de una sola exposición por inhalación sobre animales incluyen efectos sobre el sistema nervioso central, anestesia y descenso de la presión arterial. Se ha observado sensibilización cardiaca en perros que han sido sometidos a una concentración de 2.5% en aire y al estímulo de una inyección intravenosa de epiferina. Los efectos de exposiciones repetidas produjeron un aumento de peso del hígado, efectos anestésicos, respiración irregular, mala coordinación y efectos no específicos como un menor aumento del peso corporal. Sin embargo, la evaluación histopatológica no detectó efectos irreversibles. No es un compuesto carcinogénico

Todavía se encuentran en proceso de realización las pruebas de toxicidad sub crónica en animales

En el ser humano, el contacto con la piel de la forma líquida puede provocar congelamiento. La inhalación puede provocar malestares como náuseas, dolores de cabeza, debilidad, depresión temporal del sistema nervioso con efectos anestésicos como mareos, confusión, falta de coordinación y pérdida de conciencia.

Una exposición mayor a un 20% puede ocasionar los siguientes efectos: irritación temporal de los pulmones con tos, malestar, dificultades para respirar o falta de aire, alteración temporal de la actividad eléctrica del corazón con pulso irregular, palpitaciones o circulación inadecuada, funcionamiento anormal de los riñones, lo cual puede ser detectado por medio de pruebas de laboratorio, y finalmente una sobre exposición puede llegar a ocasionar la muerte

Las personas que presentan enfermedades del sistema nervioso central, del sistema cardiovascular, de los riñones o pulmones; pueden presentar una mayor susceptibilidad a la toxicidad de exposiciones de esta sustancia.

Límites de exposición aplicables.

EAL (Du Pont)	500 ppm de 8 a 12 horas de exposición.
TLV (ACGIH)	Ninguno establecido.
PEL (OSHA)	Ninguno establecido.

Sustitutos para el CFC-502 SUVA® HP-80 y SUVA® HP-81

- SUVA® HP 80 [R-502 (60/2/38)].

Este refrigerante es una mezcla de refrigerantes HCFC-22, HFC-125 y propano, se encuentra comercialmente disponible para reemplazar al CFC-502, para aplicaciones donde la temperatura de descarga del compresor es una limitante. El refrigerante SUVA® HP 80, ofrece las temperaturas de descarga más bajas posibles, sin sacrificar la capacidad y eficiencia, bajo condiciones de operación de temperatura baja y son críticas las temperaturas de descarga en el compresor

Propiedades físicas.

Formula química	$\text{CHF}_2\text{CF}_2/\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2/\text{CHClF}_2$
Peso molecular	101.55 g/mol
Componentes.	Porcentaje.
Etano, pentafluoro HCH-125	60%
Metano, clorodifluoro HFC-22	38%
Propano	2%
Presión crítica	4110 kPa
Temperatura crítica	75.2 °C
Volumen crítico	0.00185 m ³ /kg
Punto de ebullición	-49 °C
Temperatura en el evaporador	-45 °C a 7° C
Prestión de vapor	1238 kPa @ 25 °C
% de volatilidad	100 % en su peso
Solubilidad en agua	No determinada
Olor	Ligeramente a eter
Forma	Gas licuado
Color	Incoloro, claro
Densidad del líquido	1.14 g/cm ³ @ 25 °C
Potencial de agotamiento del ozono (ODP)	0.02
Potencial de calentamiento del globo (GWP)	0.63

Tabla A3-6 Tabla de propiedades de SUVA® HP 80, DU Pont, "SUVA® Refrigerants, Technical information."

Es un producto azeotrópico y no inflamable. Estas propiedades lo hacen ser un candidato ideal como refrigerante en las aplicaciones en las que se requiere seguridad y consistencia. Debido a que es una mezcla azeotrópica, mantiene una composición muy consistente en caso de que se presenten fugas del sistema de refrigeración

Debido a que es muy seguro, este refrigerante se puede utilizar en sistemas comerciales como super mercados o transporte refrigerado, donde el personal y el público se encuentran en los alrededores del equipo de refrigeración.

Du Pont ha creado y publicitado un producto relacionado con el SUVA[®] HP 80, que es el SUVA[®] HP 81. La razón por la que se han desarrollado estas dos formulaciones de diferentes composiciones es para permitir a los clientes y fabricantes de equipo es la elección de más de una opción entre el comportamiento de refrigerantes distintos

- **SUVA[®] HP mezclas: SUVA[®] HP 81 [R-502 (60/2/38)].**

El refrigerante SUVA[®] HP 81 ofrece una capacidad y eficiencia muy similares a las que el refrigerante CFC-502 proporciona. Sirve para necesidades de refrigeración a temperaturas media y baja y con temperaturas de descarga un poco superiores a las del CFC-502, donde es aceptable un aumento de 5.5 -11 l °C de la temperatura de descarga del compresor

A diferencia del SUVA[®] HP 80, que ofrece las temperaturas de descarga más bajas posibles. El refrigerante azeotrópico SUVA[®] HP 81 se caracteriza por tener un rendimiento de enfriamiento que es esencialmente igual al del R-502. Este último refrigerante se ha utilizado para aplicaciones de baja temperatura, debido a su bajo punto de ebullición (-43.1°C) se ha elegido mucho para utilizarse en varias aplicaciones, como congeladores en super mercados, para transporte y para máquinas de fabricación de hielo

Debido a la gran inversión que existe instalada, era muy importante desarrollar un nuevo refrigerante que no dañara la capa de ozono y que se comportara con propiedades similares al CFC-502, y de esta forma permitir que se continuaran utilizando estos equipos

El SUVA[®] HP 81 provee reducciones de casi un 90% tanto en el Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP) como del Potencial de Calentamiento del globo (GWP). La composición de esta mezcla permite un aumento del 4% en la capacidad de refrigeración, proporcionando la misma eficiencia que el CFC-502 y la temperatura de descarga del compresor es un poco más elevada. Por otro lado el SUVA[®] HP 81 tiene un calor de vaporización mayor que el CFC-502, lo que hace que la nueva alternativa tenga una capacidad de refrigeración mayor

Las aplicaciones que han demostrado ser como las más adecuadas para utilizar el SUVA[®] HP 81 son las máquinas de hielo, distribuidores automáticos, sistemas de compresor abiertos, unidades de condensación y compresores que operan a temperatura ambiente

Propiedades físicas.

Formula química	CHF ₂ CF ₃ /CH ₃ CH ₂ CH ₂ /CHClF ₂
Peso molecular	101.55 g/gmol
Componentes.	Porcentaje.
Etano, pentafluoro HCH-125	35-40 %
Metano, clorodifluoro HFC-22	55-60 %
Propano	2-5 %
Presión crítica.	4134 kPa
Densidad crítica.	515.7 kg / m ³
Volumen crítico	0.00185 m ³ /kg
Punto de ebullición	-47.4°C
Temperatura en el evaporador	-23 ° C a 7° C
Presión de vapor	1,238 kPa @ 25 ° C
% de volatilidad	100 % en su peso
Solubilidad en agua	No determinada
Olor	Lévemente a eter
Forma	Gas licuado
Color	Incoloro, claro
Densidad del líquido	1.14 g/cm ³ @ 25 ° C
Potencial de agotamiento del ozono (ODP)	0.03
Potencial de calentamiento del globo (GWP)	0.49

Tabla A3-7 Tabla de propiedades de SUVA[®] HP 81, DU Pont, "SUVA[®] Refrigerants, Technical information."

Propiedades azeotrópicas.

Las pruebas de fugas a temperatura ambiente han demostrado que los cambios en la composición son menores aunque se haya perdido bastante fluido, por ejemplo, se ha evaporado un 50% de la mezcla, la composición remante en el sistema solo cambiará en un 7% aproximadamente. Por lo que si llega a presentar una fuga de líquido, la composición casi permanece constante debido a las propiedades de la mezcla azeotrópica. La composición azeotrópica cambia en función de la temperatura, por lo que la concentración del propano tanto en la fase líquida como en la fase vapor disminuye durante una fuga de vapor, lo que hace que el compuesto no sea inflamable.

Reactividad Química.

Es un material estable, pero debe evitarse el contacto con las flamas abiertas y con las temperaturas elevadas.

Incompatibilidad.

Con álcali o metales alcalinotérreos en polvo como el Al, Zn, Be, entre otros. No presenta polimerización

Descomposición.

Sus productos de descomposición son peligrosos, este refrigerante puede descomponerse a altas temperaturas (flamas abiertas, y superficies metálicas reflejantes) para formar ácidos clorhídrico y fluorhídrico y a veces haluros carbonílicos.

Los límites de inflamación en el aire, LEL y UEL no han sido determinados.

El SUVA® HP 81 no es inflamable a temperaturas de hasta 80 ° C y a presión atmosférica. No hay datos disponibles para temperaturas y presiones mayores, sin embargo uno de sus componentes es inflamable (propano).

En pruebas se ha visto que el HCFC-22 es combustible a presiones tan bajas como 413 kPa, a temperatura ambiente cuando se mezcla con aire en concentraciones de 65% en volumen. Por consiguiente este refrigerante no debe mezclarse con aire para hacer pruebas de fugas. En general, no debe usarse en presencia de aire a presiones mayores que la atmosférica.

Se debe mantener los tanques enfriados por medio de rocío o niebla de agua. Si los tanques explotan o bien, su contenido se fuga, es necesario utilizar un aparato autónomo para respirar.

Riesgos para la salud.

No se han hecho experimentos con la mezcla que constituye el refrigerante, por lo que se mencionan las características de los componentes por separado. La inhalación de concentraciones elevadas de vapores es dañina y puede provocar irregularidad cardiaca, desmayos y en un momento dado hasta la muerte. Un mal uso intencional o su inhalación deliberada puede llegar a causar muerte súbita. Sus vapores reducen el oxígeno disponible para respirar porque son más pesados que el aire. El contacto con su forma líquida puede causar congelamiento. La mezcla no ha sido puesta a prueba todavía por lo que se analizan los componentes de la misma por separado.

Límites de exposición aplicables.

EAL (Du Pont)	Ninguno establecido.
TLV (ACGIH)	En 8 horas de exposición: 1000 ppm, 3540 mg/m ³ .
PEL (OSHA)	En 8 horas de exposición. 1000 ppm, 3500 mg/m ³ .

Pentafluoro Etano. (HFC-125) en un 35 -40 %.

Inhalación 4 horas ALC: >709,000 ppm en ratas.

Las exposiciones fuertes por inhalación causaron una disminución de la actividad, respiración con dificultades y pérdida de peso

No existen datos sobre pruebas en animales para definir si es cancerígeno, ni sus peligros para el desarrollo o la reproducción. El HFC-125 no produjo daños genéticos en cultivos de células de bacterias o de mamíferos, y todavía no se han realizado experimentos con animales vivos.

Límites de exposición aplicables.

EAL (Du Pont)	1000 ppm de 8 a 12 horas de exposición.
TLV (ACGIH)	Ninguno establecido
PEL (OSHA)	Ninguno establecido

Clorodifluorometano. (HCFC-22).

Inhalación 4 horas LC50. 220,000 ppm en ratas.

La toxicidad observada en los animales expuestos a su inhalación en concentraciones entre 5% y 70% incluye, efectos sobre el sistema nervioso central, el hígado, los riñones, el bazo, sensibilización cardíaca, disminución del índice de incremento en peso del cuerpo y anestesia parcial. El estudio de inhalación crónica, el HCFC-22 produjo un aumento pequeño, pero estadísticamente significativo, de tumores en ratas machos, pero no en ratas hembras, en concentraciones de 50,000 ppm. El HCFC-22 resultó mutagénico en cultivos de células bacterianas, pero no en cultivos de células de mamíferos, como tampoco en pruebas con animales vivos. En fetos de ratas se observó una ligera mal formación de los ojos y disminución en el peso. Los efectos en conejos fueron nulos, así como el efecto sobre el desempeño reproductor de animales machos y todavía no se han realizado estudios específicos en animales hembras, por lo que la información es limitada.

Límites de exposición aplicables.

EAL (Du Pont)	Ninguno establecido.
TLV (ACGIH)	En 8 horas de exposición . 1000 ppm, 3540 mg/m ³
PEL (OSHA)	En 8 horas de exposición . 1000 ppm, 3500 mg/m ³

Propano.

La toxicidad en animales sólo ocurrió tras exposiciones a inhalaciones de fuertes concentraciones (10% o mayores) e incluyó sensibilización cardiaca, analgesia, respiración irregular e hipertensión. No existen informes sobre pruebas en animales para definir los riesgos carcinogénico, de desarrollo y de reproducción. Las pruebas en cultivos de células bacterianas no demostraron actividad mutagénica.

Límites de exposición aplicables.

EAL (Du Pont)	Ninguno establecido.
TLV (ACGIH)	Asfixiante simple.
PEL (OSHA)	En 8 horas de exposición 1000 ppm, 1800 mg/m ³

Refrigerante SUVA[®] 123 (HCFC-123).

Existe un nuevo refrigerante alternativo, SUVA[®] 123, el cual es otra opción existente para llevar a cabo el reacondicionamiento de equipos que funcionan con el CFC-11, sobre todo en aplicaciones de aire acondicionado automotriz y para edificios grandes como hoteles, y en enfriadores centrifugos. Sin embargo, la capacidad de éste, así como también la eficiencia del mismo se ve reducida en comparación con el CFC-11. Este refrigerante tiene otra desventaja, su molécula posee un átomo adicional de hidrógeno, lo que lo convierte en un solvente notable, provocando que no pueda utilizarse con los compresores ordinarios, porque daña los elastómeros de las bandas.

Refrigerante SUVA[®] 9000 [(23/25/52)].

⁽¹⁾ Du Pont anunció que la producción de muchos HCFC's, incluyendo al HCFC-22 para equipos nuevos será detenida para el año 2005 y que se dejará de dar servicio a equipos que contengan este refrigerante para el año 2020, para poder realizar esto, Du Pont ha desarrollado el refrigerante SUVA[®] 9000 para reemplazar el HCFC-22. Este refrigerante es una mezcla ternaria de hidrofluorocarbonos (HFC's) en la siguiente proporción:

Compuesto	Porcentaje
HCFC-32	23%
HFC-125	25%
HFC-134-a	52%

Tabla A3-8 Componentes de la mezcla de el refrigerante SUVA[®] 9000, DU Pont, " SUVA[®] Refrigerants, Technical information."

⁽¹⁾ Properties and Performance of SUVA[®] 9000 in air conditioners and heat pumps, Technical Information ART-14.

El SUVA® 9000 se piensa utilizar en equipos de desplazamiento positivo para aire acondicionado y bombas de calor. Este refrigerante no tiene potencial de agotamiento de ozono y presenta el mismo potencial de calentamiento que el HCFC-22

Se han realizado muchos experimentos con los componentes del nuevo refrigerante y se ha demostrado que presentan una toxicidad muy baja, muy similar a la de HCFC-22, además no es flamable, así como también la eficiencia energética y capacidad de refrigeración son comparables con el refrigerante convencional

Límites de exposición aplicables.

EAL (Du Pont) De 8 a 12 horas exposición : 1000 ppm, 3540 mg/m³
TLV (ACGIH) En 8 horas de exposición: 1000 ppm, 3540 mg/m³

Los resultados muestran que el nuevo refrigerante es una muy buena opción para sustituir en un futuro al HCFC-22, tanto para equipos nuevos como para equipos que se encuentren en servicio con el refrigerante HCFC-22. Las investigaciones y pruebas con aceites lubricantes se encuentran todavía en proceso, por tanto se recomienda solicitar asesoría directa con los fabricantes de los compresores.

Actualmente el SUVA® 9000 se encuentra disponible para los fabricantes de equipos de refrigeración

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

ANEXO 4

Parámetros básicos que deben considerarse al realizar la sustitución de un nuevo refrigerante ecológico.

Equipos nuevos de refrigeración.

En sistemas nuevos de refrigeración es necesario realizar algunos cambios en el equipo, lo cual implica un aumento en el costo original. A continuación se muestra para la sustitución definitiva del CFC-12, por el nuevo HFC 134-a los factores que tiene más efecto en el aumento del costo de los sistemas de refrigeración:

- a) El desplazamiento del compresor aumenta en un 20%, lo que representa un aumento en el costo de un 5 % aproximadamente.
- b) Las presiones de succión y de descarga del sistema aumentan, por tanto el tamaño del condensador debe aumentar en un 20%

Sustitución en equipos usados.

Para el caso de los sistemas que utilizan el CFC-12 que van a tener la sustitución por los refrigerantes de transición SUVA® MP-39 y MP-66, y para los sistemas de CFC-502 por los nuevos SUVA® HP 80 y HP 81, es necesario hacer algunas modificaciones en los sistemas actuales de refrigeración para poder funcionar con los nuevos sustitutos. Estos sistemas prometen tener la misma capacidad que tenían al utilizar los refrigerantes convencionales con una carga de un 15% menor de refrigerante.

- a) Los lubricantes del compresor deben ser sustituidos, inicialmente trabajaban con aceite mineral, el cual no es compatible con los refrigerantes sustitutos, por tanto el cambio a lubricantes de polioéster ⁽¹⁾ (POE) es necesario.

El cambio aumenta el costo del compresor en un 5 % más aproximadamente. En este punto es importante mencionar que los compresores de menor tamaño se venden con el lubricante incluido en el precio, pero los de mayor tamaño no, por tanto, se debe considerar el costo del nuevo lubricante al realizar el estudio.

- b) Es necesario realizar el cambio del filtro deshidratador que se encuentra a la salida del condensador, esto genera un costo adicional porque el componente del filtro nuevo (XH9) es más caro que el que se necesitaba anteriormente (XH5).

- c) El costo de los nuevos refrigerantes en un inicio era mayor que el de los refrigerantes convencionales, sin embargo, en la actualidad ya esto no es así, la tendencia marca que los refrigerantes a base de CFC se vuelvan mucho más caros que los refrigerantes alternativos. Esta acción se está realizando para fomentar el uso de los refrigerantes ecológicos y desmotivar a los usuarios de equipos de refrigeración en el uso de los refrigerantes convencionales. De esta forma los refrigerantes a base de CFC se están encareciendo poco a poco. Además de que a consecuencia de los lineamientos que marca el Protocolo de Montreal para los refrigerantes convencionales, será más difícil encontrarlos en el mercado.

Por ejemplo ⁽²⁾ el costo por kilo de refrigerante, en presentación de una tonelada, se observa que el refrigerante CFC-12 es 35% más caro que el HFC 134-a.

CFC-12	54 \$/kg
HFC 134-a	40 \$/kg

⁽¹⁾ En la tabla 3.3-1 de este trabajo se listan las opciones disponibles que existen para la sustitución de los aceites minerales por los POE y AB para cada uno de los refrigerantes de la marca SUVA® proporcionados por la compañía Du Pont.

⁽²⁾ Precios proporcionados por la compañía Du Pont.

Procedimientos para substituir los refrigerantes

Lineamientos para reacondicionamiento de equipos con SUVA[®] 134-a.

El refrigerante SUVA[®] 134-a es un HFC, comercialmente disponible, para los reacondicionamientos de temperatura media de refrigerante en el serpentín del evaporador (-7°C a 7 ° C) en los equipos que actualmente funcionan con el CFC-12 y como reemplazo a largo plazo del mismo en equipos nuevos. También puede ser utilizado en equipos de temperaturas inferiores, pero es posible que presente una capacidad reducida en comparación con la de sistemas de CFC-12

La selección del lubricante adecuado se basa en la consideración de varios factores que pueden incluir el retorno del aceite al compresor, el poder lubricante y la compatibilidad con los materiales de los empaques de los compresores. Se recomienda utilizar lubricantes de poliol éster (POE) en los sistemas que utilizan el HFC 134-a. Algunos de los fabricantes de este tipo de lubricantes son: Castrol, Móvil, Lubrizol y Henkel.

Es muy importante que se tenga mucho cuidado en el manejo de estos lubricantes, ya que tienden a absorber la humedad, por lo que se debe reducir al mínimo el contacto con el aire y debe almacenarse en un recipiente cerrado.

Al reacondicionar sistemas de CFC-12/aceite mineral con HFC 134-a/ POE, con el fin de lograr una miscibilidad equivalente, el aceite mineral residual deberá ser alrededor del 5% en peso menos de lubricante total. El aceite mineral residual permisible dependerá en gran medida de la configuración del sistema y las condiciones operacionales.

En el caso de que un sistema presente signos de transferencia térmica deficiente en el evaporador, o una mala devolución de aceite al compresor, es posible que sea necesario reducir adicionalmente el aceite mineral residual. Es importante que antes de reacondicionar con el SUVA[®] 134-a y POE, es necesario tomar en consideración la compatibilidad de los plásticos y elastómeros, las pruebas demuestran que no existe ninguna familia de elastómeros o plásticos que funcionen con todos los refrigerantes alternos. Se recomienda utilizar empaques, sellos de flecha y anillos "O" (O rings) de Buna-N, HYPALON[®] 48, Neopreno o hule de hidrocarburo NORDEL[®].

Es importante considerar que el SUVA[®] 134-a no fué diseñado para utilizarse en combinación con restos de CFC-12, ya que puede originar un azeótropo de alta presión que puede ocasionar un daño en el sistema.

Al realizar el reacondicionamiento con el SUVA[®] 134-a, el sistema refrigerante requerirá menos peso de refrigerante que el que necesitaba de CFC-12. La carga óptima variará dependiendo de las condiciones operacionales, el tamaño del evaporador y el condensador. Para la mayoría de los sistemas la carga óptima será entre 90-95 % en peso de la carga original de CFC-12.

Lineamientos para reacondicionamiento de equipos con SUVA® MP 39 y SUVA® MP 66.

La mayor parte de los refrigerantes de la línea MP y los lubricantes a base de POE son compatibles con la mayoría de los materiales de construcción que han sido utilizados hasta ahora con los refrigerantes CFC. Las composiciones de las mezclas hacen posible que las propiedades y características de los nuevos refrigerantes sean comparables con los refrigerantes anteriores y de esta forma puedan proporcionar una capacidad y eficiencia similar a las que se obtenían con los refrigerantes CFC.

El SUVA® MP 39 y el SUVA® MP 66 son miscibles en los lubricantes de alquilbenceno (AB), los cuales han sido utilizados también comercialmente con el CFC-12. Por todas estas razones el cambio a estos nuevos refrigerantes proporciona una solución de menor costo para reacondicionar los sistemas de refrigeración que han utilizado el CFC-12. El SUVA® MP 39, es el refrigerante alternativo que se recomienda para la mayoría de los sistemas que operan con CFC-12 a temperaturas medias. Con dicho nuevo refrigerante, se espera un rendimiento comparable con el del CFC-12 en sistemas que operan a temperaturas del evaporador que varían de -23 °C a 7 °C. El SUVA® MP 66 proporciona una capacidad de refrigeración muy similar a la del refrigerante CFC-12 en los sistemas que operan con temperaturas del evaporador entre -40 °C y -23 °C, lo que lo hacen un refrigerante adecuado para sistemas para el transporte, congeladores domésticos y comerciales.

Lineamientos para reacondicionamiento de equipos con SUVA® HP 80.

Du Pont ha desarrollado como refrigerante alternativo para el CFC-502 el SUVA® HP 80, el cual consiste en una mezcla de HCFC-22, HFC-125 y HC-290 (propano). Con dicho refrigerante se espera un rendimiento comparable en sistemas que operen con temperatura en el evaporador de -40°C y superiores.

La mayoría de los equipos que utilizan el CFC-502 y emplean compresores de desplazamiento positivo (reciprocante, rotatorio, roscado y en espiral) se pueden reacondicionar de manera sencilla y económica para emplearse con el nuevo refrigerante permitiendo que el equipo siga operando de manera segura y eficiente aún después de que el CFC-502 ya no se encuentre disponible en el mercado

Para la selección del lubricante se recomienda obtener asesoría del fabricante del compresor, también se puede obtener información detallada de los distribuidores autorizados de Du Pont, fabricantes de lubricantes, fabricantes de sistemas y / o contratistas de refrigeración.

Se han probado mezclas de lubricantes de alquilbenceno/aceite mineral (50/50) y lubricantes de POE, que hasta la fecha han dado un desempeño satisfactorio al trabajar con SUVA® HP 80

La composición del nuevo refrigerante fue seleccionada de tal forma que proporciona la temperatura de descarga más baja posible al mismo tiempo que su desempeño es muy similar al que proporciona el CFC-502, en términos de capacidad y de rendimiento energético. De esta forma se anticipa que las modificaciones que se van a necesitar en el sistema actual son mínimas al reacondicionar el SUVA® HP 80

El reacondicionamiento en sistemas con CFC-502 a otros refrigerantes alternos, tal como el HCFC-22 o HFC-125, pueden requerir modificaciones más extensas, como el reemplazo del compresor por uno de etapas múltiples, y el empleo de inyección de líquidos. Para algunos sistemas, este costo puede llegar a ser muy alto. Por estas razones el SUVA® HP 80 le brinda al contratista de servicio y propietario del equipo una forma más económica para reacondicionar un sistema que utilice el CFC-502 como refrigerante. Sin embargo el nuevo refrigerante no fue diseñado para ser utilizado con otros refrigerantes o aditivos que no se hayan especificado claramente por la compañía Du Pont

Lineamientos para reacondicionamiento de equipos con SUVA® HP 81.

La mayoría de los equipos de refrigeración que utilizan compresores de desplazamiento positivo (reciprocante, rotatorio, roscado y en espiral) pueden ser fácilmente reacondicionados a un costo económico para utilizar el nuevo refrigerante SUVA® HP 81.

El aceite mineral ha sido un lubricante aceptado para trabajar en las máquinas productoras de hielo junto con el SUVA® HP 81 es posible que el aceite mineral pueda ser un lubricante aplicable en otros sistemas herméticos pequeños que presentan un regreso efectivo del lubricante al compresor. Para seleccionar el lubricante adecuado para su sistema se recomienda consultar al fabricante del compresor. Para sistemas de mayor tamaño, como los equipos utilizados en los supermercados. La evaluación de los lubricantes todavía se encuentra en desarrollo.

Los lubricantes que se pretende utilizar son el aceite mineral y las mezclas de alquilbenceno/aceite mineral para los sistemas en los cuales no es requerida la miscibilidad de lubricantes para la recolección de los mismos. En el caso de sistemas en que se requiere de una mayor miscibilidad del lubricante para el regreso del aceite o para resolver problemas de transferencia de calor, los lubricantes candidatos incluyen el alquilbenceno y el POE. Hasta este momento las investigaciones que se han realizado con estos lubricantes han resultado satisfactorias, ya que han proporcionado un buen rendimiento de los sistemas de refrigeración comercial.

ANEXO 5

PRIMEROS AUXILIOS PARA LAS MEZCLAS DE REFRIGERANTES.

Inhalación.

En caso de inhalar grandes concentraciones, llevar de inmediato a la persona al aire libre y mantenerla tranquila. Si no respira darle respiración artificial, y si respiran con dificultad suministrar oxígeno y llamar un médico inmediatamente.

Contacto con la piel.

En caso de contacto excesivo enjuagar con agua. En caso de presentar congelamiento en la piel, se debe tratar con agua tibia o frotar suavemente el área afectada. De haber irritación se debe acudir a un médico.

Contacto con los ojos ⁽¹⁾

Lavar de inmediato los ojos con mucha agua, por lo menos durante 15 minutos. Llamar un médico.

Medidas de control y precauciones de aplicación en general.

Los refrigerantes SUVA² de DuPont se deben utilizar en un lugar bien ventilado para mantener la exposición de los empleados por debajo de los límites permisibles. Si se presenta una fuga de gran tamaño se debe aplicar algún medio para extraer el gas.

Equipo de protección personal.

Es indispensable utilizar guantes aislantes impermeables para evitar una exposición repetida y prolongada. Debe disponerse de lentes contra salpicaduras químicas para prevenir el contacto con los ojos. En condiciones normales de producción, no se requiere de una protección respiratoria especial para manejar el producto. Se necesita un aparato de aire a presión para el caso de que se presentara una fuga importante.

⁽¹⁾ El caso de ingestión no se considera una vía potencial de intoxicación.

VI. BIBLIOGRAFIA.

“ Principios de Refrigeración”

Roy J. Dossat
Compañía editorial Continental
Primera edición en español
Nueva York, 1963

“ Chemical Engineers Handbook”

Robert H. Perry y Cecil H. Chilton
International Student Edition
Editorial Mc Graw Hill

“ Handbook of Refrigerating Engineering”

W R Woolrich, Vol I, Fundamentals.
4th edition, The AVI Publishing Company, INC.
Westport Connecticut, 1965

“ Refrigeración, principios, diseño y aplicaciones.”

Fabricante de compresores
Mayekawa de México. S.A de C.V.

“ Thermodynamics”

Virgil Moring aires.
The Acmillan Company. New York
Second Edition, 1957

“ Steam, Air and Gas Power”

William H. Severns, Howard E. Degler, John C. Miles
John Wiley and Sons, INC, Fifth Edition
New York , 1960

“ Manual de Refrigeración y Aire acondicionado”

Air Conditioning and refrigeration Institute
Traducción de Camilo Botero G, con la colaboración de Rodrigo Montaña M.
Tomo I y Tomo II.
Editorial Prentice Hall Hispanoamericana.

“ Standard Refrigeration and Air conditioning questions and answers”

Elonka and Minch
Editorial Mc Graw Hill,
Nueva York 1961

“ La destrucción de la Capa del Ozono, descubrimiento de la ciencia”

Mario Molina, Premio Nobel de Química
CIENCIA, diciembre 1995, p p. 30-32

“ Como enfrentar la destrucción de la capa de ozono ”

Estudio preliminar de las alternativas a las sustancias Químicas que destruyen la capa de Ozono
Editado por Sheldon Cohen y Alan Pickaver
Greenpeace Internacional, Octubre 1992

“ The Evolution of Policy Responses to Stratospheric Ozone Depletion ”

Peter M. Morrisette
Natural Resources Journal. 29: 793-820,1989

“ The impact of Ozone-Layer Depletion ”

Michael D. Gwynne, Mostafa K. Tolba.
United Nations Environment Program.
UNEP/GEMS Environment Library no. 7

“ The complex Chemistry of the international Ozone Agreements ”

Edward A. Parson, Owen Greene
Environment, March 1995. p p 18

“ El Premio Nobel a la Investigación Ambiental ”

J.M. Domínguez.
CIENCIA, diciembre 1995. p p. 32- 33

“ Proteger la capa del Ozono - Frigoríferos ”

Rune Aarlien, Ward Atkinson, Jim Baker, Peter Cooper, David Didton, entre otros colaboradores
Serie CAP/IMA del PNUMA.

“ Hechos acerca del ozono ”

Du Pont S.A de C. V.
Departamento de productos fluorados
Division de mercadotecnia

“ The CFC controversy Issues and Answers ”

Sherwood Rowland, Ph.D.D Sc
ASHRAE Journal. December 1992

“ Some consequences of long-term human impacts on ecosystems ”

Gene E. Likens.
Revista Chilena de Historia Natural. 64 597-614,1991

“ Du Pont SUVA® Refrigerants Blends ”, Properties, Uses, Storage and Handling.

“ Du Pont SUVA® Refrigerantes ”, Lineamientos para el reacondicionamiento de equipos con los diferentes refrigerantes SUVA®
Du Pont Fluoroquímicos, Homero 206, col. Chapultepec Morales, 11570 Mexico D.F.

“ Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono ”

En su forma ajustada y enmendada en la segunda, tercera y cuarta reunión de las partes, siendo la última celebrada en La Enmienda de Montreal al Protocolo de Montreal (1997)