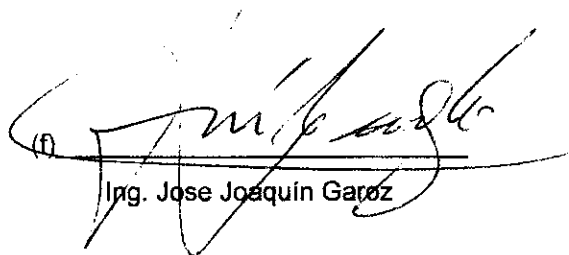
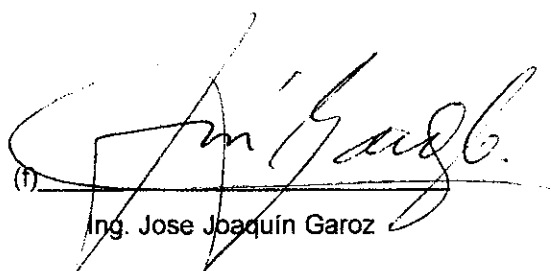


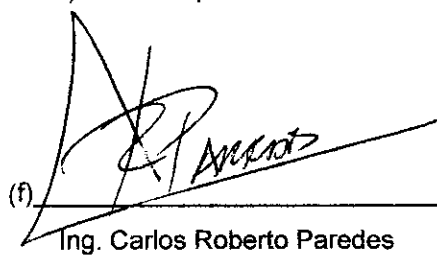
**ANÁLISIS ECONÓMICO DEL MOMENTO ÓPTIMO PARA
CAMBIAR EL REFRIGERANTE CFC-502 A OTRO, EN UN
EQUIPO USADO DE ALTA PRESIÓN Y BAJA
TEMPERATURA**

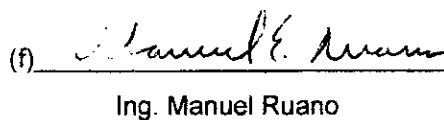
Vo.Bo.

(f) 
Ing. Jose Joaquín Garoz

Tribunal:

(f) 
Ing. Jose Joaquín Garoz

(f) 
Ing. Carlos Roberto Paredes

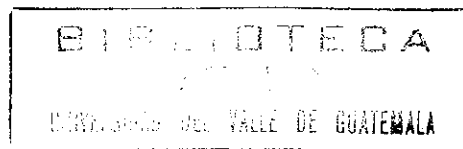
(f) 
Ing. Manuel Ruano

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES**

**ANÁLISIS ECONÓMICO DEL MOMENTO ÓPTIMO PARA CAMBIAR
EL REFRIGERANTE CFC-502 A OTRO, EN UN EQUIPO USADO DE
ALTA PRESIÓN Y BAJA TEMPERATURA**

**POR
MARÍA GABRIELA MICHEO MONTERROSO**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PRESENTADO PARA OPTAR AL
GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**GUATEMALA
2002**

PREFACIO

El desarrollo de la refrigeración se debe principalmente a los gases fluorados conocidos como clorofluocarbonos (CFC), de los cuales los más conocidos son los R11, R12 y R502. Los CFC desarrollados hace más de 60 años reemplazaron al amoníaco y a los hidrocarburos gracias a sus propiedades únicas como baja toxicidad, no inflamabilidad, no corrosividad y su compatibilidad con otros materiales. Estas propiedades permitieron almacenar y transportar productos perecederos de manera más sencilla, segura y a un costo razonable.

En la década de los 80, después de varias investigaciones realizadas en el medio, se descubrió que los CFC emitidos estaban relacionados con la destrucción de la capa estratosférica de ozono y que se hacía necesario sustituirlos gradualmente en múltiples aplicaciones, entre las que se encuentra la refrigeración. Por esta razón, en 1987 se firma el Protocolo de Montreal, donde se adoptan medidas concretas para proteger la capa de ozono por medio de la congelación, reducción o la supresión de la producción y el consumo de sustancias dañinas para la atmósfera. Dicho documento y sus ratificaciones fueron firmados por casi la totalidad de los países que integran la Organización de las Naciones Unidas.

El problema mencionado dio como resultado regulaciones internacionales que obligaron a la industria de la refrigeración y del aire acondicionado, a nivel mundial, a encontrar nuevos refrigerantes para usar en sus equipos. A pesar de que no se sabe exactamente el tiempo que los hidroclorofluorocarbonos (HCFC, sustancia química relacionada con los CFC pero menos dañinos que éstos), estarán disponibles para usarse en nuevos sistemas, se calcula que será por unos 10 ó 12 años y no más de 20 para servicio.

El 31 de diciembre de 1995 fue el último día que los CFC (incluyendo R12 y R502) fueron producidos en los Estados Unidos. La disponibilidad de refrigerantes CFC para servicio del equipo existente será cada vez más limitada y más cara.

El daño causado a la capa de ozono obliga a las industrias a cumplir con los Protocolos Internacionales, y a llevar a cabo una reconversión. En vista de que existe poca información que sirva como guía para efectuar dicho cambio, en este estudio investigativo se recopila gran parte de la información pertinente. Además se pretende informar a las industrias acerca del momento adecuado para realizar el cambio de CFC a HCFC o HFC.

ÍNDICE

PREFACIO	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
RESUMEN	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
A. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	1
B. OBJETIVOS	4
II. MARCO AMBIENTAL	5
A. LA CAPA DE OZONO	5
B. CALENTAMIENTO GLOBAL O EFECTO INVERNADERO	9
C. RELACIÓN ENTRE EL AGOTAMIENTO DEL OZONO Y EL CALENTAMIENTO GLOBAL	10
D. RESPUESTA INTERNACIONAL	11
E. NORMAS OFICIALES GUATEMALTECAS	13
III. MARCO TEÓRICO	14
A. ¿QUÉ ES UN REFRIGERANTE?	14
B. PROPIEDADES DE SEGURIDAD	14
C. CLOROFLUOCARBONOS (CFC)	17
D. HIDROCLOROFLUOCARBONOS (HCFC)	17
E. HIDROFLUOROCARBONOS (HFC)	18
F. MEZCLAS DE REFRIGERANTES	19
G. EFECTOS DE LA HUMEDAD	24
H. RELACIÓN REFRIGERANTE Y ACEITE	25
I. DETECCIÓN DE FUGAS	27
J. AGENTES SECADORES	28
K. RECUPERACIÓN, RECICLAJE, Y RECLAMO	28
L. REFRIGERANTE 502	28
M. REEMPLAZOS PARA R-502	29
N. CONSIDERACIONES ECONÓMICAS Y DE OTROS TIPOS	39

O. LUBRICANTES	41
P. ¿QUÉ SE ESPERA DESPUÉS DE LA RECONVERSIÓN?	45
Q. GUÍAS GENERALES PARA LA RECONVERSIÓN	45
R. GUÍAS PARA LA RECONVERSIÓN DE ACCESORIOS DEL SISTEMA	46
VI. ESTUDIO TÉCNICO	51
A. MEDIO AMBIENTE	51
B. SEGURIDAD	52
C. COSTO Y DISPONIBILIDAD	52
D. TEMPERATURA DE DESCARGA	53
E. LUBRICANTES	53
F. FUNCIONAMIENTO Y CAPACIDAD	54
G. ¿CUÁL ES LA EDAD Y LA CONDICIÓN EN QUE SE ENCUENTRA EL EQUIPO?	55
H. DIFERENCIAL DE TEMPERATURAS	55
I. RECONVERSIÓN DE ACCESORIOS	55
VII. ESTUDIO ECONÓMICO	57
A. COSTOS DE RECONVERSIÓN	57
B. MOMENTO ÓPTIMO PARA EL CAMBIO DE REFRIGERANTE R-502 A R402A	59
VIII. CONCLUSIONES	63
IX. BIBLIOGRAFÍA	66
INTERNET	66
X. ANEXOS	67
A. ANEXO 1	67
B. ANEXO 2	68
C. ANEXO 3	69
D. ANEXO 4	70
E. ANEXO 5	71
F. ANEXO 6	72
G. ANEXO 7	73
H. ANEXO 8	74
I. ANEXO 9	75
XI. GLOSARIO	76

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA No. 1: COMPONENTES DEL SISTEMA _____	3
TABLA No. 2: CALENDARIO DEL PROTOCOLO DE MONTREAL _____	12
TABLA No. 3: ANEXOS DEL PROTOCOLO DE MONTREAL _____	13
TABLA No. 4: PROGRAMA DE ELIMINACIÓN DE CFC'S DEL GOBIERNO GUATEMALTECO _____	13
TABLA No. 5: COMPARACIÓN DE LAS CLASIFICACIONES DEL GRUPO DE SEGURIDAD CON AQUELLAS BAJO ASHRAE STANDARD 34-1989 _____	16
TABLA No. 6: RESUMEN DE REFRIGERANTES DE REEMPLAZO PARA EL R-502 _____	30
TABLA No. 7. QUÉ ESPERAR DESPUÉS DE CAMBIAR DE R502 A SUS ALTERNATIVOS _____	45
TABLA No. 8. FACTOR DE CORRECCIÓN DE VÁLVULA _____	47
TABLA No. 9. COMPARACIÓN DEL POTENCIAL DE AGOTAMIENTO DE LA CAPA DE OZONO Y DEL POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL DEL R502 CON SUS REEMPLAZOS _____	51
TABLA No. 10. COMPARACIÓN DEL LÍMITE DE EXPOSICIÓN ACEPTABLE (AEL) Y DE LA CLASIFICACIÓN ASHRAE DEL R-502 CON SUS REEMPLAZOS. _____	52
TABLA No. 11. AUMENTO O DESCENSO DE LA TEMPERATURA DE DESCARGA DESPUÉS DE LA RECONVERSIÓN _____	53
TABLA No. 12. COMPARACIÓN DE LUBRICANTES A UTILIZAR CON R-502 Y CON SUS ALTERNATIVOS ____	53
TABLA No. 13. COMPARACIÓN DEL AUMENTO O DESCENSO DE LA CAPACIDAD DE REFRIGERACIÓN PARA LOS REFRIGERANTES ALTERNATIVOS AL R-502. _____	54
TABLA No. 14. COMPARACIÓN DE DIFERENCIALES DE TEMPERATURA _____	55
TABLA No. 15. TAMAÑO DE CARGA PARA EL LUBRICANTE Y EL REFRIGERANTE DEL EQUIPO _____	57
TABLA No. 16. COSTO DE RECONVERSIÓN PARA EL R402A _____	58
TABLA No. 17. COSTO DE RECONVERSIÓN PARA EL R404A _____	58
TABLA No. 18. COSTO DE RECONVERSIÓN PARA EL R507A _____	59
TABLA No. 19. COMPARACIÓN DE COSTOS DE RECONVERSIÓN DE LOS DISTINTOS REFRIGERANTES ALTERNATIVOS ESTUDIADOS _____	59
TABLA No. 20. PRECIOS HISTÓRICOS Y ACTUALES DEL R-502 Y R402A POR LIBRA _____	60
TABLA No. 21. PROYECCIÓN DE PRECIOS DEL R-502 Y DEL R402A _____	61
TABLA No. 22. PROPIEDADES FÍSICAS PARA R-402A, R-402B, R-408A, R-404A, R-507 Y R-502 ____	67
TABLA No. 23. PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL R-502 _____	68
TABLA No. 24. PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL R-402A _____	69
TABLA No. 25. PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL R-402B _____	70
TABLA No. 26. PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL R-408A _____	71
TABLA No. 27. PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL R-404A _____	72
TABLA No. 28. PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL R-507 _____	73
TABLA No. 29. EFECTO DEL CAMBIO DE REFRIGERANTES EN LA CAPACIDAD REFRIGERANTE Y EN LOS REQUERIMIENTOS DE POTENCIA DE UN MODELO DE COMPRESOR _____	74

RESUMEN

Las industrias del helado y de refrigeración industrial utilizan como uno de sus equipos principales los sistemas de refrigeración para el mantenimiento de mucha de la materia prima así como del producto terminado.

Hoy en día, las normas internacionales y la conciencia industrial sobre la destrucción del medio ambiente y el calentamiento global justifican los cambios en los sistemas de refrigeración de modelos que utilizan refrigerantes con un alto potencial de destrucción de ozono, a refrigerantes con cero potencial de destrucción de ozono y menor calentamiento global.

Este estudio investigativo pretende informar a las industrias de la refrigeración acerca del momento adecuado para realizar el cambio de CFC a HCFC o HFC.

I. INTRODUCCIÓN

Debido a la prohibición de CFC, los propietarios de equipo de refrigeración deben tomar algunas decisiones. Básicamente existen cinco opciones; cada una debe ser considerada muy cuidadosamente, con especial atención hacia el balance de costos, funcionamiento y medio ambiente.

- La primera opción es convertir el equipo a uno que esté libre de CFC, que contenga refrigerante HCFC, bajo en destrucción de ozono. Esto involucrará remover casi todo el aceite mineral y reemplazarlo por alcalino benceno o poliol ester. Se incurrirá en gastos menores de mano de obra y materiales (aceite) que con la opción siguiente. El sistema será mucho más aceptable para el medio y los refrigerantes recomendados estarán a la venta por más tiempo que la vida útil de la mayoría de equipos.
- La segunda opción es convertir el equipo a uno no dañino para la capa de ozono (HFC). Esto involucrará asperjar repetidamente con aceite poliol ester, con el fin de remover el aceite mineral y recargar el sistema con refrigerante HFC. Se necesitará de una considerable cantidad de trabajo, pero el sistema se volverá aceptable para el medio y apto para servicio por el resto de su vida útil. Estos cambios resultan más caros, pero si la vida útil del equipo se espera que sea de 20 años o más, este cambio podría ser efectivo.
- La tercera opción es cambiar la unidad. Si el funcionamiento futuro del sistema no es confiable, el cambio de la unidad es probablemente la solución más eficiente.
- La cuarta opción es usar CFC hasta que éstos ya no estén disponibles. Esta puede ser la mejor opción para unidades viejas que estén funcionando apropiadamente y no tengan fugas significativas. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los precios de dichos refrigerantes continuarán subiendo a medida que la disponibilidad siga declinando.
- La quinta opción es usar HCFC-22. Este es barato y muy conocido. Sin embargo, los costos de la conversión total son generalmente mayores que el cambio a un refrigerante HCFC. Además, se sacrifica la eficiencia cuando un HCFC22 es usado en aplicaciones de baja temperatura en lugar del R502.

A. Descripción del Equipo

En este estudio se analizará un sistema de refrigeración con las siguientes especificaciones:

- Compresor:
 - 220 Vatios
 - Trifásico
 - Reciprocante
- Presión: alta
- Temperatura: baja

Figura # 1: Diagrama del sistema de refrigeración a estudiar.

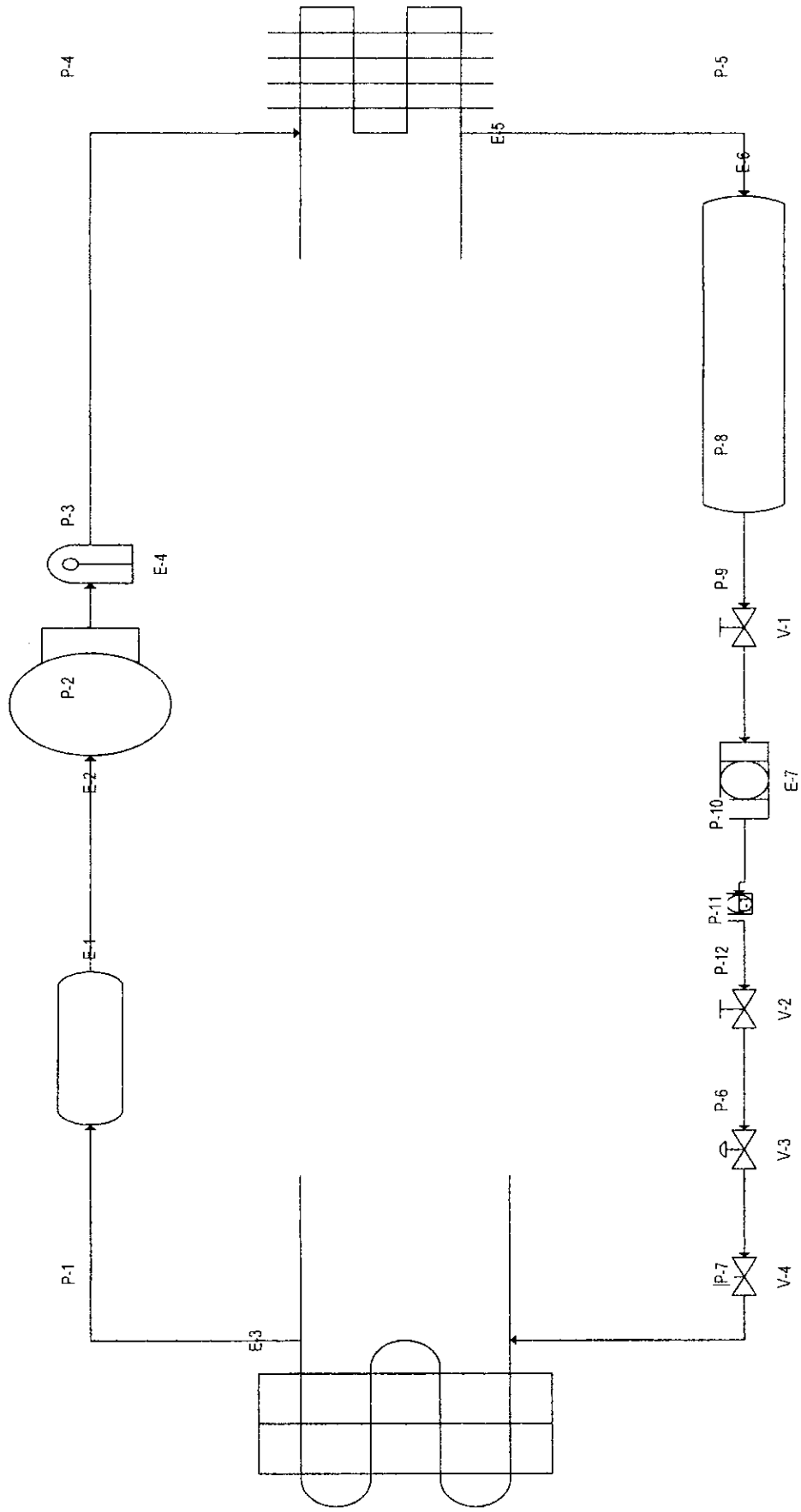


Tabla No. 1: Componentes del Sistema

NO.	COMPONENTE	MARCA	MODELO	COMENTARIOS
E-1	Separador de Líquido/Vapor			
E-2	Compresor	Copeland	60 LT 2700 TSK	Lubricante: Aceite mineral Refrigerante: R502 Amperaje: 75 – 77 Potencia: 27 hp Actualmente trabaja a 10 psi mínima y 250 psi máxima
E-3	Evaporador	Larkin	ELT4 1117	Capacidad: 111,700 Btu = 9.3 ton
E-4	Separador de Aceite			
E-5	Condensador	Larkin	LPH0750L63	Enfriado por aire
E-6	Recibidor			
E-7	Filtro	Sporlan	RC 4864	Núcleo sólido
I-1	Visor	Alco	A 1HL 7SS	
V-1	Válvula de paso	Henry	5167	Presión máxima: 500 psi
V-2	Válvula de paso			No se posee ningún dato de dicha válvula. Ésta fue añadida posteriormente.
V-3	Válvula solenoide			
V-4	Válvula de expansión	Sporlan		No ajustable
P1 – P4	Tubería			Tamaño: 1 1/8"
P5 – P12	Tubería			Tamaño: 7/8"

Este sistema de refrigeración se utiliza para un cuarto frío y ha estado funcionando normal y eficazmente durante 10 años.

La opción de cambiar la unidad queda eliminada ya que este equipo, como se mencionó con anterioridad, funciona de manera muy confiable. Además al ser éste un equipo de alta presión, baja temperatura y usar R502, la opción de usar HCFC 22 también queda eliminada ya que se desea la menor pérdida de eficiencia.

Al eliminar las últimas opciones mencionadas quedan las siguientes opciones:

- Continuar con el uso de los CFC
- Cambiar a HCFC o
- Cambiar a HFC

El enfoque de este estudio por lo tanto es determinar bajo el punto de vista técnico, económico y ambiental qué opción es la más conveniente.

B. Objetivos

1. Objetivo General

Determinar el momento óptimo y el tipo de refrigerante idóneo para hacer el cambio de R502, que tiene un alto potencial de destrucción de ozono, a un refrigerante de bajo o cero potencial de reducción de ozono, así como un bajo potencial de calentamiento global, en un equipo específico de alta presión y baja temperatura.

2. Objetivos Específicos

- Investigar acerca de las distintas mezclas de refrigerantes y cómo trabajar con ellas.
- Investigar precios anteriores y actuales del refrigerante que reúna las mejores características técnicas y económicas para ser usado como sustituto del refrigerante actual
- Investigar precios anteriores y actuales del refrigerante que se utiliza actualmente (R-502)
- Investigar el valor de reconversión de los refrigerantes que mejor encajen en las propiedades técnicas. Este valor de reconversión incluirá precios de lubricantes, equipo que sea necesario cambiar y mano de obra.
- Con el uso de precios anteriores y actuales, encontrar por medio de proyecciones, los precios futuros, para determinar por punto de equilibrio el momento óptimo para hacer el cambio.
- Investigar acerca de los refrigerantes alternativos que pueden sustituir al R502.
- Informar acerca de las propiedades físicas de cada refrigerante que sustituye al R-502, su seguridad, lubricación, manejo, propiedades termodinámicas y su compatibilidad con otros materiales
- Informar acerca de los daños que los refrigerantes causan a la capa de ozono y su influencia en el efecto invernadero o calentamiento global
- Informar acerca de las normas internacionales y nacionales que rigen los sistemas de refrigeración, en relación al ambiente.
- Informar sobre la conveniencia y costo de los distintos lubricantes.
- Informar sobre el efecto que el agotamiento de la capa de ozono tiene sobre la vida humana.

II. MARCO AMBIENTAL

A. La Capa de Ozono

La atmósfera terrestre está dividida en varias capas. La región más baja llamada troposfera se extiende desde la superficie terrestre hasta más o menos diez kilómetros de altitud. La próxima capa, la estratosfera, continúa de diez a más o menos cincuenta kilómetros de altitud.

La mayoría del ozono atmosférico se concentra en una capa, la estratosfera, más o menos entre los quince y treinta kilómetros sobre la superficie terrestre.

1. ¿Qué es el ozono?

El ozono es una molécula que contiene tres átomos de oxígeno. Es de color azul y tiene un olor punzante. El oxígeno que respiramos tiene dos átomos de oxígeno y es incoloro e inodoro. El ozono es mucho menos común que el oxígeno normal.

El ozono se forma naturalmente en la estratosfera de la atmósfera de la Tierra a partir de las radiaciones ultravioletas de alta energía del Sol. La radiación descompone las moléculas del oxígeno, liberando átomos libres, algunos de los cuales se combinan con otras moléculas de oxígeno para constituir ozono.

El ozono es una molécula inestable. Las radiaciones altamente energéticas del Sol no sólo lo crean, sino que lo vuelven a descomponer y crean nuevamente oxígeno molecular y átomos de oxígeno libres. La concentración de ozono en la atmósfera depende de un equilibrio dinámico entre la velocidad con que se forma y la velocidad a la que se destruye.

2. ¿Por qué es importante la capa de ozono?

La capa de ozono es importante porque absorbe las radiaciones (UV) del Sol e impide que la mayor parte llegue a la superficie terrestre. Las radiaciones del espectro UV tienen longitudes de onda mucho más breves que las de la luz visible. Las radiaciones UV con longitudes de onda de 280 a 315 nanómetros (un nanómetro representa un millonésimo de milímetro) se denominan UV-B y son nocivas para casi todas las formas de vida. Al absorber la mayor parte de las radiaciones UV-B, antes de que alcancen la superficie de la Tierra, la capa de ozono protege al planeta de los efectos perniciosos de las radiaciones. El ozono también influye en la distribución térmica de la atmósfera, desempeña así una función reguladora del clima terrestre.

3. Agotamiento de la capa de ozono

Cuando algunos productos químicos muy estables fabricados por el hombre, que contienen cloro y bromo, son liberados en el aire, se infiltran gradualmente en todas las zonas de la atmósfera, comprendida la estratosfera. Aunque son estables en la atmósfera baja, los productos químicos se descomponen en la estratosfera debido a los altos niveles de radiaciones UV solares y liberan átomos de cloro y bromo sumamente reactivos. Estos participan en una compleja serie de reacciones que conducen al agotamiento del ozono. A continuación se presenta una versión simplificada de las principales etapas del proceso de destrucción del ozono:

- Los átomos libres de cloro o bromo reaccionan con el ozono para constituir monóxido de cloro o de bromo, roban un átomo de oxígeno y convierten la molécula de ozono en oxígeno.
- Las moléculas de monóxido de cloro o bromo reaccionan con los átomos libres de oxígeno, abandonan su átomo de oxígeno "robado" para constituir más oxígeno molecular y átomos libres de cloro o bromo.

Los átomos de cloro o bromo así liberados inician nuevamente el proceso y atacan otra molécula de ozono. De este modo, cada uno de esos átomos puede destruir miles de moléculas de ozono, razón por la cual cantidades muy reducidas de cloro y bromo pueden descomponer suficiente ozono como para disminuir de manera significativa la amplia capa de ozono. En 1985 la concentración del cloro en la estratosfera era de 2.5 partes por mil millones.

Varios productos químicos fabricados por el hombre pueden destruir el ozono de la estratosfera. Todos tienen dos características comunes: en la atmósfera inferior son notablemente estables, en gran medida insolubles en el agua y resistentes a la descomposición física y biológica; además contienen cloro o bromo, elementos que pueden ser sumamente reactivos en estado libre y, por consiguiente, pueden atacar el ozono.

Por esas razones, las sustancias químicas nocivas para el ozono permanecen en el aire durante largos periodos y se difunden gradualmente a todas las zonas de la atmósfera, comprendida la estratosfera. Allí se descomponen, debido a la intensa radiación solar altamente energética y liberan átomos de cloro o bromo que destruyen el ozono.

Los clorofluorocarbonos (CFC) son los productos químicos más destructivos para la capa de ozono. Se han utilizado de diversas maneras desde que se sintetizaron por primera vez en 1928. Por ejemplo, como refrigerante en los enfriadores y acondicionadores de aire, como propulsores en los botes de aerosol, como agente espumante en la fabricación de espumas flexibles para cojines y colchones y como productos de limpieza para tableros de circuitos impresos y otros equipos. Actualmente se están eliminando gradualmente 15 CFC.

Los hidroc fluorocarbonos (HCFC) están relacionados con los CFC y se han desarrollado ampliamente como sustitutos. Se utilizan principalmente como refrigerantes y agentes

espumantes. Los HCFC son menos destructores del ozono que los CFC, ya que su átomo adicional de hidrógeno reduce las posibilidades de que se descompongan en la atmósfera baja e impiden que gran parte del cloro que contienen alcance la estratosfera.

No obstante, el potencial de agotamiento del ozono (PAO) de los HCFC es demasiado elevado como para permitir su utilización a largo plazo. En la actualidad se controlan a escala mundial 40 variantes de HCFC con vistas a una eliminación progresiva de su uso.

4 Efectos del Aumento de las Radiaciones Ultravioleta

a. Sobre la piel humana

Uno de los efectos más evidentes de la radiación UV-B es la quemadura del sol, conocida bajo la denominación técnica de eritema. Las personas de piel oscura están protegidas de la mayoría de estos efectos por el pigmento de sus células cutáneas. Los rayos UV-B también pueden dañar el material genético de dichas células y causar cáncer. Para las personas de piel clara, la exposición a lo largo de la vida a elevados niveles de UV-B aumenta el peligro de cáncer cutáneo sin melanoma. Los investigadores han sugerido que este tipo de cáncer podría aumentar en un 2% cada vez que disminuye en 1% el ozono estratosférico. Existen indicaciones de que una mayor exposición a los UV-B, en especial durante la infancia, puede agravar el riesgo de desarrollar cánceres cutáneos con melanoma, que son más peligrosos.

b. En los ojos

En los seres humanos, la exposición a radiaciones inusuales de UV-B puede causar una ceguera similar a la que causa el reflejo de la nieve (queratitis actínica) una dolorosa inflamación aguda de la córnea. La exposición crónica también puede dañar al ojo. Niveles más altos de UV-B podrían provocar cataratas (un empañamiento del cristalino que dificulta la visión) en un mayor número de personas. Las cataratas son una de las principales causas de ceguera, aun cuando se pueden tratar eficazmente mediante la cirugía, en regiones dotadas de una buena atención médica.

c. Sobre las defensas del cuerpo contra la enfermedad

La exposición a los rayos UV-B puede suprimir las respuestas inmunitarias de los seres humanos y los animales. Por consiguiente, un aumento de las radiaciones UV-B reduciría la resistencia humana a una serie de enfermedades, entre ellas los cánceres, las alergias y algunas enfermedades infecciosas. En las zonas del mundo en que las enfermedades infecciosas constituyen un grave problema, el estrés adicional derivado de una mayor radiación UV-B podría tener repercusiones significativas. Esto se aplica especialmente a enfermedades como leishmaniasis, malaria y herpes, contra las cuales la principal defensa del cuerpo se halla en la piel. La exposición a las UV-B también puede afectar la capacidad del cuerpo para responder a las vacunaciones.

Los efectos de las UV-B sobre el sistema inmunitario no dependen del color de la piel. Las personas de piel oscura corren el mismo peligro que las de piel clara.

d. Sobre las plantas

Muchas especies y variedades de plantas son sensibles a las UV-B, aun en sus niveles actuales. Una mayor exposición podría tener efectos directos e indirectos complejos, tanto sobre los cultivos como sobre los ecosistemas naturales. Los experimentos han demostrado que cuando cultivos como el arroz y la soya están más expuestos a los rayos UV-B las plantas son más pequeñas y el rendimiento es más bajo. El aumento de la radiación UV-B podría alterar químicamente las plantas agrícolas, reducir su valor nutritivo o aumentar su toxicidad. Si no se detiene el agotamiento del ozono, tendremos que buscar variedades de cultivos que toleren las UV-B, o producir otros nuevos.

Las consecuencias para los ecosistemas naturales son difíciles de predecir, pero podrían ser considerables. Las radiaciones UV-B tienen una serie de efectos indirectos sobre las plantas, como una alteración en su forma, la distribución de la biomasa en las distintas partes de la planta y la producción de sustancias químicas que impiden el ataque de los insectos. El aumento de la radiación UV-B podría por ende provocar efectos a nivel del ecosistema, como cambios en el equilibrio competitivo entre plantas, los animales que las comen y los agentes patógenos y las plagas que las atacan.

e. En la vida marina y acuática

Los experimentos han demostrado que el aumento de las radiaciones UV-B daña al fitoplancton, al zooplancton, a los peces jóvenes y a las larvas de cangrejos y langostinos. El daño causado a estos pequeños organismos podría amenazar la productividad de la industria pesquera. Más del 30 por ciento de las proteínas animales consumidas por los seres humanos provienen del mar y en muchos países en desarrollo esta proporción es aún mayor. En los mares antárticos, la producción de plancton ya se ha reducido en la zona del agujero de la capa de ozono.

La vida marina también cumple una función importante en el clima mundial, porque el fitoplancton absorbe grandes cantidades de dióxido de carbono, principal gas con efecto de invernadero. Una disminución en la producción de fitoplancton podría dejar más dióxido de carbono en la atmósfera y contribuir así al calentamiento de la atmósfera.

f. Sobre materiales producidos por el hombre

Las radiaciones ultravioleta son una causa esencial del deterioro de determinados materiales, en particular el plástico y las pinturas. Si éstas aumentan, se acelerará el ritmo de deterioro, en especial en regiones que suelen experimentar elevadas temperaturas y muchas horas de sol.

B. Calentamiento Global o Efecto Invernadero

Otro efecto de los refrigerantes sobre el medio ambiente es su contribución al Calentamiento Mundial de la Atmósfera. Esta teoría expresa que debido a las actividades humanas está aumentando en la atmósfera la concentración de ciertos gases que retienen el calor, por lo cual la temperatura media de la atmósfera terrestre está aumentando lentamente

Los refrigerantes pueden contribuir a este calentamiento a través del efecto invernadero, proceso que tiene lugar debido a las interacciones de la Tierra, de su atmósfera y de la radiación del sol. El efecto invernadero es importante para la vida, sin él la temperatura media de la superficie terrestre sería de unos -18°C .

Cuando la radiación solar, en forma de luz visible llega a la Tierra, una parte es absorbida por la atmósfera y reflejada desde las nubes y el suelo (especialmente desde los desiertos y la capa de nieve). El resto es absorbido por la superficie que se calienta y a su vez recalienta la atmósfera. La superficie calienta y la atmósfera de la Tierra emite radiaciones infrarrojas invisibles.

La radiación infrarroja es absorbida en la atmósfera por gases como el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO_2), el metano, los refrigerantes y otros mucho menos abundantes. Estas trazas de gases actúan como un manto e impiden que buena parte de la radiación infrarroja se escape hacia el espacio. Al frenar la liberación de la radiación enfriante, estos gases calientan la superficie terrestre. El recalentamiento, producido por los demás gases de invernadero, aumenta la evaporación y hace que la atmósfera pueda retener más vapor de agua, lo que aumenta a su vez el recalentamiento.

Además de la contribución directa de los CFC (que se produce únicamente cuando hay emisiones de la sustancia), debe considerarse la contribución indirecta debida al consumo de energía de los sistemas de refrigeración. Esta contribución indirecta representa el número de kilogramos de CO_2 vertidos a la atmósfera, por la producción de cada kilovatio-hora de electricidad utilizado para producir frío.

Hay dos formas de medir el calentamiento global:

1. Potencial de Calentamiento Global o GWP (por sus siglas en inglés). Esta es una medida directa del potencial de calentamiento global. El cálculo solamente considera el efecto directo del refrigerante como un gas de invernadero, cuando éste escapa a la atmósfera.
2. Equivalente total de impacto de calentamiento o TEWI (por sus siglas en inglés). Este es un cálculo del calentamiento global el que incluye los efectos de la eficiencia del sistema, la fuente de energía (carbón, nuclear, hidrodinámico, etc.), así como el efecto directo del refrigerante al escapar a la atmósfera. El número actual varía de acuerdo con la tasa de fuga y el tipo de energía utilizada.

La medida mejor aceptada a nivel mundial para el calentamiento global toma en cuenta ambos: calentamiento directo e indirecto. Total Equivalent Warming Impact (TEWI) o Equivalente Total de Impacto del Calentamiento que no sólo considera el GWP directo, sino también el grado del calentamiento indirecto resultado del CO₂ producido por energía de combustibles fósiles. La eficiencia energética más alta de algunos refrigerantes puede reducir el efecto indirecto y resultar en un más alto GWP.

Hay que notar otra vez que los refrigerantes alternativos tienen substancialmente menor potencial directo de calentamiento global que los CFC.

C. Relación entre el agotamiento del Ozono y el Calentamiento Global

El agotamiento del ozono atmosférico y los cambios climáticos son efectos de las actividades humanas sobre la atmósfera. Constituyen problemas ambientales distintos, pero están relacionados de varias maneras. Algunas de las principales interacciones posibles son las siguientes:

1. Los productos químicos que destruyen la capa de ozono contribuyen al calentamiento de la atmósfera

Los productos químicos que agotan el ozono pueden tener repercusiones sobre el balance térmico de la Tierra, así como sobre la capa de ozono, pues muchos de ellos son gases con efecto de invernadero. Por ejemplo los CFC 11 y 12 (los dos principales compuestos de los clorofluorocarbonos que destruyen el ozono) son gases respectivamente 4000 y 8500 veces más poderosos que el dióxido de carbono (a lo largo de un periodo de 100 años). Los fluorocarbonos desarrollados como sustitutos de los CFC también son potentes gases con efecto de invernadero.

2. El agotamiento del ozono puede afectar al clima

El ozono es también un gas con efecto de invernadero y la capa de ozono influye en el mantenimiento del balance térmico global del planeta. Actualmente se considera que el agotamiento de la capa de ozono reduce el efecto de invernadero.

Por otra parte, una mayor exposición de la superficie de la Tierra a las radiaciones UV-B debido al agotamiento del ozono podría alterar el ciclo de los gases con efecto de invernadero, como el dióxido de carbono, de un modo que podría acentuar el calentamiento mundial. En particular, el incremento de las UV-B podría suprimir la producción primaria de las plantas

terrestres y del fitoplancton marino y reducir así la cantidad de dióxido de carbono que absorben de la atmósfera.

3. El calentamiento de la atmósfera podría agravar el agotamiento del ozono

Se prevé que el calentamiento del planeta elevará las temperaturas medias de la atmósfera inferior, pero podría enfriar la estratosfera. Ello agravaría la disminución del ozono aún cuando las mismas concentraciones de productos químicos fabricados por el hombre alcanzaran la estratosfera, porque las temperaturas muy frías favorecen determinadas reacciones que agotan más rápidamente el ozono.

D. Respuesta Internacional

La Comunidad Internacional, preocupada por esta crisis, suscribió el Protocolo de Montreal. En éste se identificaron las principales sustancias que agotan la capa de ozono (SAO) y se estableció un calendario para su eliminación gradual. La producción y el consumo deben reducirse e eliminarse mediante la creación de sustitutos químicos y procedimientos de fabricación diferentes.

Tabla No. 2: Calendario del Protocolo de Montreal

ULTIMAS MEDIDAS DE CONTROL ADOPTADAS POR LA 7ª REUNIÓN DE LAS PARTES, VIENA 5-7 DE DICIEMBRE DE 1995	
1 de julio de 1989	Congelación de los CFC del Anexo A
1 de enero de 1992	Congelación de los halones
1 de enero de 1993	CFC del Anexo B reducidos en 20% respecto de los niveles de 1989 Congelación del metilcloroformo
1 de enero de 1994	CFC del Anexo B reducidos en 75% respecto de los niveles de 1989 CFC del Anexo A reducidos en 75% respecto de los niveles de 1986 Eliminación de los halones
1 de enero de 1995	Congelación del bromuro de metilo en los niveles de 1991 Tetracloruro de carbono reducido en 85% respecto de los niveles de 1989
1 de enero de 1996	Eliminación de los HBFC Eliminación del tetracloruro de carbono CFC de los Anexos A y B eliminados Metilcloroformo eliminado HCFC congelados en los niveles de 1989 de HCFC +2.8% del consumo de CFC en 1989 (nivel básico)
1 de julio de 1999	Congelación de los CFC del Anexo A en los niveles medios de 1995-1997
1 de enero de 2001	Bromuro de metilo reducido en 25%
1 de enero de 2002	Congelación de los halones en los niveles medios del 1995-1997 Congelación del bromuro de metilo en los niveles medios de 1995-1996
1 de enero de 2003	CFC del Anexo B reducidos en 20% respecto del consumo medio de 1998-2000 Congelación del metilcloroformo en los niveles medios de 1998-2000
1 de enero de 2004	CFC reducidos en 35% por debajo de los niveles básicos
1 de enero de 2005	CFC del Anexo A reducidos en 50% respecto de los niveles medios de 1995-1997 Halones reducidos en 50% respecto de los niveles medios de 1995-1997 Tetracloruro de carbono reducido en 85% respecto de los niveles medios de 1998-2000 Metilcloroformo reducido en 30% respecto de los niveles medios de 1998-2000 Bromuro de metilo reducido en 50%
1 de enero de 2007	CFC del Anexo A reducidos en 85% respecto de los niveles medios de 1995-1997 CFC del Anexo B reducidos en 85% respecto de los niveles medios de 1998-2000
1 de enero de 2010	CFC reducidos en 65% Eliminación del bromuro de metilo Eliminación del 100% de los CFC, halones y tetracloruro de carbono, de conformidad con la Enmienda de Londres. Metilcloroformo reducido en 70% respecto de los niveles medios de 1998-2000
1 de enero de 2015	CFC reducidos en 90% Eliminación del 100% del metilcloroformo
1 de enero de 2016	Congelación de los CFC en la cifra de referencia de los niveles medios del año 2015
1 de enero de 2020	Eliminación de los CFC con excepción de los usos en equipo existentes hasta 2030
1 de enero de 2040	Eliminación de los HCFC

* Las medidas aplicables por los Países Partes según el Artículo 5 figuran en negrilla a diferencia a las que atañen a los demás países

Tabla No. 3. Anexos del Protocolo de Montreal

ANEXO A	ANEXO B	ANEXO C	ANEXO E
Grupo 1: Sustancias Clorofluorcarbonadas CFC-11 CFC-12 CFC-113 CFC-114 CFC-115	Grupo 1: Sustancias clorofluorcarbonados totalmente halogenados CFC-13, 111, 112, 211, 212, 213, 214, 215, 216, y 217	Grupo 1: Hidroclorofluorcarbonos HCFC 21, 22, 31, 121, 122, 123, 124, 131, 132, 133, 141, 142, 151, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 231, 232, 233, 234, 235, 241, 242, 243, 244, 252, 252, 253, 263, 271	Bromuro de Metilo
Grupo 2: Halones Halón-1211 Halón-1301 Halón-2402	Grupo 2: Tetracloruro de carbono	Grupo 2: Hidrobromofluorcarbonos HCFC 22B1 Y otros 33 HBFC	
	Grupo 3: Metilcloroformo	Grupo 3: Bromoclorometano	

E. Normas Oficiales Guatemaltecas

El gobierno de Guatemala se comprometió a cumplir el Protocolo de Montreal a través de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA).

En 1997 por medio del decreto 110-97 se estableció el calendario para la eliminación y sustitución gradual de las sustancias que agotan la capa de ozono

Tabla No. 4: Programa de Eliminación de CFC's del Gobierno Guatemalteco

SUSTANCIAS	AÑO	MEDIDAS DE CONTROL
Anexo C. Grupo II.	2000	Eliminación del 100%
Anexo B. Grupo II	2004	Eliminación del 80%
Anexo A. Grupo I	2006	Eliminación del 100%
Halones	2006	Eliminación del 100%
Anexo B. Grupo I	2006	Eliminación del 100%
Anexo E. Bromuro de Metilo	2000	Congelamiento al nivel de consumo promedio de los años 1995-1998
Anexo C. Grupo I	2015	Eliminación del 100%

III. MARCO TEÓRICO

A. ¿Qué es un Refrigerante?

Un refrigerante es cualquier cuerpo o sustancia que actúa como agente de enfriamiento y absorbe el calor de otro cuerpo o sustancia. Con respecto al ciclo de compresión-vapor, el refrigerante es el fluido de trabajo del ciclo que alternativamente se vaporiza, se condensa absorbe y cede calor, respectivamente. Para ser apropiado para el uso como refrigerante en el ciclo de compresión de vapor, un fluido debe poseer ciertas propiedades químicas, físicas, y termodinámicas que lo hacen tanto seguro como económico para su utilización.

Debe reconocerse que no hay refrigerante ideal. Debido a la gran diferencia en las condiciones y requerimientos de las distintas aplicaciones, no existe un refrigerante único que sea apropiado universalmente para todas ellas. Por lo tanto, un refrigerante se aproxima a ser ideal sólo al punto en que sus propiedades llenen las condiciones y requerimientos de la aplicación para la cual es utilizado.

Algunos fluidos que se usaron bastante en años anteriores han sido eliminados a medida que se han desarrollado otros más apropiados. Otros continúan en estado de desarrollo y son una promesa para el futuro.

B. Propiedades de Seguridad

Las propiedades de seguridad del refrigerante son consideradas de suma importancia para su selección. Es por esta razón que los fluidos que son altamente deseables como refrigerantes encuentran solamente un uso limitado. Ejemplos de éstos son el amoníaco y algunos del grupo de los hidrocarburos.

Para ser apropiado para uso como refrigerante, el fluido debe:

1. Ser seguro para el medio en cuanto a que no contribuya a la destrucción de la capa de ozono o que incremente el calentamiento global.
2. Ser químicamente inerte al punto que sea no inflamable, no explosivo y no tóxico, tanto en su estado puro como cuando se mezcla en cualquier proporción con el aire.
3. No debe reaccionar desfavorablemente con el aceite de lubricación o con cualquier material usado normalmente en la construcción de equipo de refrigeración.
4. Tampoco debe reaccionar desfavorablemente con la humedad, que, a pesar de fuertes precauciones, está presente al menos en algún grado en todos los sistemas de refrigeración. Lo que es más, es deseable que el fluido sea de tal naturaleza que no contamine de cualquier manera el material alimenticio o cualquier otro tipo de producto almacenado, en el caso de que se desarrolle una fuga.

1. Toxicidad

Todos los fluidos distintos al aire son tóxicos en el sentido que causan asfixia cuando en concentraciones lo suficientemente grandes son capaces de eliminar el oxígeno necesario para sostener la vida. La toxicidad es un término relativo que llega a ser significativo solamente cuando se especifica el grado de concentración y el tiempo de exposición requeridos para producir efectos dañinos.

Algunos fluidos son tóxicos al punto que son capaces de causar problemas en concentraciones relativamente pequeñas y/o en periodos cortos de exposición. Otros son tan solo medianamente tóxicos, son capaces de causar efectos dañinos solamente en concentraciones relativamente grandes y/o periodos extensos de exposición. Para todos los propósitos prácticos, los fluidos comprendidos en el último grupo son considerados no tóxicos. Sin embargo, debe mencionarse que algunos refrigerantes, aunque no tóxicos, al ser mezclados con aire en su estado normal, son sujetos de descomposición al tener contacto con una llama o algún elemento de calentamiento eléctrico. Los productos de descomposición así formados son altamente tóxicos y capaces de causar efectos dañinos en pequeñas concentraciones y por cortos periodos de exposición. Esto se aplica a la mayoría de los refrigerantes fluorocarbonados.

El grado de peligro por el uso de refrigerantes tóxicos depende de varios factores tales como: la cantidad de refrigerante usado con relación al tamaño del espacio dentro del cual el refrigerante puede derramarse; el tipo de ocupación, si hay llamas presentes, el olor del refrigerante y si hay o no personal experimentado para atender el equipo. Por ejemplo, una pequeña cantidad de un refrigerante altamente tóxico representa poco peligro cuando es usado en espacios relativamente grandes ya que no es posible, en la eventualidad de alguna fuga, que la concentración llegue a niveles dañinos. Asimismo, el peligro inherente en el uso de la mayoría de refrigerantes tóxicos se ve de algún modo "aliviado" por el hecho que los refrigerantes tóxicos (incluidos los productos de descomposición) despiden olores muy notorios que sirven de aviso de su presencia. Por lo tanto, los refrigerantes tóxicos son usualmente un peligro solamente para infantes y otros que, por razones de debilidad o confinamiento, son incapaces de escapar de ellos. Al presente, el amoníaco es el único refrigerante tóxico que es usado en gran medida.

2. Inflamabilidad y Explosividad

Con relación a la inflamabilidad y la explosividad, la mayoría de los refrigerantes de uso común son no inflamables y no explosivos. Excepciones notables son el amoníaco y los hidrocarburos. El amoníaco es levemente inflamable y explosivo al mezclarse con el aire, en cierta proporción. Sin embargo con precauciones razonables, el peligro al usar amoníaco como refrigerante es insignificante.

Los hidrocarburos son altamente inflamables y explosivos y, su uso como refrigerantes, excepto en aplicaciones especiales y bajo la vigilancia de personal operativo con experiencia, está usualmente prohibido. Debido a sus excelentes propiedades termales los hidrocarburos se emplean frecuentemente en aplicaciones para temperaturas ultra bajas.

La tabla No. 4 resume las características de toxicidad e inflamabilidad de algunos refrigerantes. Los refrigerantes se separan en dos grupos: A y B, de acuerdo al nivel de toxicidad. La clase A denota refrigerantes que son considerados no tóxicos en concentraciones de hasta 400 partes por millón (ppm). La Clase B identifica refrigerantes que muestran alguna evidencia de toxicidad a concentraciones menores de 400 ppm. Los del grupo A1 son los de menor peligro y los del grupo B3 son los más peligrosos.

La inflamabilidad se identifica por una de tres clases. La Clase 1 denota a los refrigerantes que no muestran propagación de llamas al ser evaluados en el aire a 14.7 psia (101 kPa) y 70°F (21°C). La Clase 2 identifica refrigerantes que tienen un bajo límite de inflamabilidad (LFL) de más de 0.00625 lb/pies³ (0.10 kg/m³) a 14.7 psia a 70°F (101kPa y 21°C) y una combustión de calor menor a 8174 Btu/lb (19,000 kJ/kg). La Clase 3 designa refrigerantes que son altamente inflamables, tienen un LFL menor o igual a 0.00625 lb/pies³ (0.1 kg/m³) a 14.7 psia y 70°F (101kPa y 21°C) o una combustión calorífica igual o mayor de 2174 Btu/lb (19,000kJ/kg).

Tabla No. 5. Comparación de las clasificaciones del grupo de seguridad con aquellas bajo ASHRAE Standard 34-1989

NO. DE REFRIGERANTE	FORMULA QUÍMICA	GRUPO DE SEGURIDAD	
		Viejo	Nuevo
10	CCl ₄	2	B1
11	CCl ₃ F	1	A1
12	CCl ₂ F ₂	1	A1
22	CHClF ₂	1	A1
134a	CH ₂ FCF ₃		A1
400	R-12/114	1	A1/A1
500	R-12/152 ^a	1	A1
501	R-22/12	1	A1
502	R-22/115	1	A1
702	H ₂		A3
704	He		A1
717	NH ₃	2	B2
718	H ₂ O		A1

Para mezclas zeotrópicas, donde la pérdida de uno o más de los componentes puede causar un cambio en la inflamabilidad o toxicidad, se da una calificación dual separada por una diagonal (/). El primer grado es para la mezcla, tal como ha sido formulado y la segunda es para el peor caso de composición por fraccionamiento.

C. Clorofluocarbonos (CFC)

La búsqueda de un refrigerante completamente seguro, con buenas propiedades termales, lleva al desarrollo de los refrigerantes halocarbonos, a finales de la década de 1920. Esta familia de compuestos se sintetiza al reponer uno o más átomos de hidrógeno en las moléculas de metano (CH_4) o etano (C_2H_6), ambos son hidrocarburos puros, con átomos de cloro, flúor, y/o bromo; éste último grupo pertenece a la familia de halógenos. A los halocarbonos desarrollados de la molécula de metano se les conoce como "halo carbonos de la serie de metano". De la misma forma a aquellos desarrollados a partir de la molécula de etano se les conoce como "halo carbonos de la serie de etano".

Se ha probado en años recientes que la mayoría de refrigerantes hidrocarburos halogenados, que han sido usados extensamente en las últimas cinco o seis décadas, destruyen la capa estratosférica de ozono que cubre la Tierra y que contribuye sustancialmente al efecto invernadero (calentamiento global). A los hidrocarburos completamente halogenados, aquellos que no contienen hidrógeno, se les conoce comúnmente con el nombre de clorofluocarbonos (CFC). Se ha demostrado que éstos son los más destructivos para el ambiente. Una de las propiedades más dañinas de estos compuestos es el efecto acumulado que tienen debido a su vida atmosférica excepcionalmente larga, algunas veces 100 años o más.

D. Hidroclorofluocarbonos (HCFC)

Los hidroclorofluocarbonos (HCFC) son otro grupo de compuestos de hidrocarburos halogenados que retienen uno o más átomos de hidrógeno en la molécula. Estos compuestos generalmente tienen menos átomos de cloro y una vida atmosférica mucho más corta que los CFC; consecuentemente son más amigables con el ambiente, ya que su potencial de destrucción de ozono y calentamiento global son mucho más bajos.

Es importante saber que las mezclas HCFC para servicio no son idénticas a los refrigerantes a los que están diseñados a reemplazar. Algunas áreas de diferencia de los originales son:

1. Las mezclas intermedias HCFC son casi azeótropos con cantidades variables de diferencial térmico. Aunque esto no se espera que afecte el sistema de operación, los derrames extensivos y prolongados pueden dar por resultado, en algunas aplicaciones, cambios en capacidad. El costo de estar reemplazando los refrigerantes hará que los derrames continuos sean económicamente inaceptables.
2. Todas las mezclas de refrigerantes que contienen HCFC con baja destrucción al ozono tienen presiones más altas que los refrigerantes CFC. Esto podría causar un problema de seguridad, lo que determinaría la necesidad de una válvula de desahogo de presión del lado de baja.
3. No todas las mezclas de HCFC de servicio disponibles son parecidas en términos de sus características operacionales. Algunas de ellas no han tenido un aceptable desempeño en las pruebas

Se cree que se podrán dar circunstancias en las cuales el resultado determinará la decisión para la conversión del equipo a mezclas HCFC apropiadas, con el propósito de alcanzar una mayor vida útil del equipo.

E. Hidrofluorocarbonos (HFC)

Los hidrofluorocarbonos (HFC) son otro grupo de hidrocarburos halogenados. Estos no contienen átomos de cloro en la molécula y por lo tanto carecen de potencial de reducción del ozono. La mayoría tienen una vida atmosférica relativamente corta y un efecto invernadero mínimo. Algunos de éstos, específicamente el R134a, están ya en uso, en lugar de los CFC, para algunas aplicaciones. También se consideran como refrigerantes a algunas mezclas o combinaciones de dos o más refrigerantes, algunos de los cuales ya son usados.

En 1994 los refrigerantes HFC se convirtieron en productos totalmente comercializados, al menos para la porción de refrigeración comercial de la industria. Algunos productores de químicos empezaron la fabricación y distribución a gran escala de refrigerantes sin cloro para reemplazar a aquéllos que lo contenían. Además, los productores de componentes para refrigeración empezaron a producir casi todos los componentes necesarios para producir sistemas que utilizan HFC, lo que dio como resultado que los fabricantes de sistemas comenzaran a producir equipo con refrigerantes de un potencial cero de destrucción de ozono, para la mayoría de aplicaciones. Hasta la fecha casi no se han reportado problemas.

Los HFC y el equipo que está siendo producido para refrigeración muestran ser aplicaciones satisfactorias, pero hay varias áreas en las que difieren de los refrigerantes a los que están sustituyendo. La mayor diferencia es que requieren del uso de aceite poliol ester (POE) en vez de aceite mineral. También, muchos de los HFC son mezclas que se pueden

comportar de manera distinta de los compuestos puros en algunas condiciones. Además casi todos los HFC tienen presiones de vapor más altas que los que están reemplazando, lo que puede afectar las posiciones de los controles, válvulas y equipo de seguridad.

Un beneficio de los nuevos refrigerantes es que varios de ellos han demostrado más eficacia en el equipo en el cual están siendo utilizados, comparados con los viejos refrigerantes. Además, algunos de los nuevos tienen temperaturas de descarga de compresión más bajas, las cuales ayudan a superar la durabilidad y confiabilidad del compresor.

Un aspecto negativo del aceite poliol ester es que tiene un costo más alto que el aceite mineral al cual reemplaza. Como resultado, se están haciendo estudios para averiguar si hay una manera de solucionar el asunto de capacidad de mezcla del aceite mineral en los HFCs, talvez por medio del uso de aditivos.

F. Mezclas de Refrigerantes

En la naturaleza no se han podido encontrar ilimitados números de químicos que puedan ser utilizados como refrigerantes. Como resultado de esto, los productores de refrigerantes no han tenido éxito en desarrollar químicos de reemplazo, ya sea de componente único o azeotrópicos, que llenen todas las características requeridas o altamente deseables para ser usados ampliamente como refrigerantes.

Para poder cumplir con los requerimientos de refrigerantes aceptables, sin incurrir en cambios enormes al sistema y sus componentes, los cuales ocurrirían con un cambio a otro tipo totalmente distinto de refrigerante (como el dióxido de carbono, helio o un químico de muy alta presión), algunos productores han investigado mezclas zeotrópicas o cercanas a azeotrópicas de químicos que llenan todos los requerimientos, mientras mantienen las características de presión de vapor similar a los CFC y HCFC de uso común hoy en día. Al mismo tiempo éstos probablemente logran más altos niveles de eficiencia de los que se obtienen actualmente.

Un área necesitada de investigación adicional con las mezclas se centra alrededor de su funcionamiento en sistemas. Los zeótropos se comportan en forma diferente a los componentes únicos y a las mezclas de refrigerantes azeotrópicos, durante los cambios de fase como los que ocurren en el intercambiador de calor del sistema. Además, los cambios en la composición que pueden ocurrir con zeótropos como resultado de fuga y recarga pueden cambiar el funcionamiento del sistema. Es importante verificar que estas diferencias en comportamiento no degraden seriamente ni el desempeño ni la estabilidad del sistema.

1. Terminología y Ejemplos

Las siguientes definiciones tratan primariamente con la forma en que los materiales descritos se comportan como un fluido que trabaja en un sistema termodinámico.

a. Fluido Puro

Es un fluido de un solo componente que no cambia de composición al evaporarse o condensarse. Un fluido puro está hecho de un tipo de moléculas.

Ejemplos:

CFC11, CFC12, HCFC22, HCFC134a

b. Mezcla

Incluye fluidos que están compuestos de más de un componente, es decir, más de un tipo de molécula. Las mezclas de Refrigerantes Azeotrópicos (ARMs), Casi-ARMs y zeótropos son subgrupos de un grupo más grande consistente en mezclas.

Las definiciones siguientes se aplican a componentes de mezclas duales, pero las mezclas ternarias o de más componentes tienen características similares, aunque un poco más complicadas. Desde el punto de vista termodinámico, el número de componentes en el fluido tiene poco o ningún efecto.

1) Refrigerante con Mezcla Azeotrópica

Una mezcla de refrigerante azeotrópica (ARM, por sus siglas en inglés) es un fluido multicomponente con composición específica que, a presión atmosférica, no cambia de composición al evaporarse o condensarse, ya que ambos componentes tienen exactamente la misma temperatura de evaporación que a esa composición y presión. Está compuesta de dos o más tipos de moléculas. En la realidad, un ARM sólo exhibe dicho comportamiento a una temperatura, composición específica, y presión atmosférica, pero las desviaciones de este comportamiento a otras presiones son muy leves y esencialmente indetectables.

Ejemplo: El R502 un azeótropo de 48.8% HCFC22 y 51.2% CFC115 a -49°F , tiene una temperatura de descarga menor que HCFC22 puro en aplicaciones de alto porcentaje de compresión.

2) Mezclas Zeotrópicas

Un zeótropo es un fluido de trabajo constituido por dos o más componentes con diferente presión de vapor y puntos de evaporación, cuyos componentes de líquido y de vapor tienen diferentes composiciones cuando el fluido se evapora o condensa.

Está constituido de dos o más tipos de moléculas. Bajo presión constante, las temperaturas de evaporación y condensación cambian con la composición. El cambio de temperatura durante el cambio de fase a presión constante es llamado diferencial y varía con los componentes usados y sus proporciones. La cantidad de diferencial mostrada por un zeótropo en particular es una medida de su desviación del punto de ser un azeótropo. Por definición, los azeótropos tienen cero diferencial en su punto azeotrópico. En otras condiciones, sin embargo, pueden mostrar diferencial.

Esta característica puede tener un efecto significativo sobre la composición del refrigerante que se queda en el sistema, después de un derrame en la región contenedora de vapor del mismo y en la subsecuente composición después de que el refrigerante derramado haya sido reemplazado. La magnitud de éste depende de cuanto la mezcla se aleje de ser un ARM.

Ejemplo: El SUVA(R)MP39 usa una mezcla desarrollada por DuPont de HCFC22, HFC152a y R124 que se aproxima cercanamente a la presión de vapor y al desempeño del CFC 12. (El MP39 puede también considerarse una mezcla casi azeotrópica).

3) Mezcla de Refrigerantes Casi Azeotrópicas

Una Mezcla de Refrigerante casi azeotrópica es un fluido zeotrópico cuya composición es tal que muestra una pequeña cantidad de diferencial. Así, lo casi azeotrópico es un término relativo. Algunos investigadores usan un valor máximo de diferencial de temperatura de 10°F para distinguir los casi ARM's de los zeótropos.

Ejemplos:

El SUVA®HP62 es una mezcla ternaria de DuPont que se aproxima cercanamente a la presión de vapor y a las características de desempeño del R502.

El SUVA®HP80 es una mezcla de DuPont de HCFC22, HFV125 y HC290 (propano) que se aproxima cercanamente a la presión de vapor y a las características de desempeño del R502.

2. Comportamiento de las mezclas

a. Cómo se comportan las mezclas en el estado de vapor

Cuando una mezcla (azeotrópica o zeotrópica) está enteramente en el estado de vapor (ningún líquido está presente en el contenedor), la composición se mezcla totalmente y todas las propiedades se guardan uniformemente.

b. Cómo se comportan las mezclas en el estado líquido

Cuando una mezcla, azeotrópica o zeotrópica, está totalmente en el estado líquido (ningún vapor está presente en el contenedor), la composición está totalmente mezclada y todas las propiedades se mantienen uniformemente.

c. Cómo se comportan las mezclas en un estado de equilibrio líquido / vapor (donde ambos estados líquido y vapor están presentes, como en un contenedor de mezcla parcialmente lleno y sellado).

En este tipo de contenedor una mezcla de refrigerante, la composición del vapor y las fases líquidas pueden ser diferentes. El grado de diferencia depende de si la mezcla es un azeótropo, zeótropo y casi azeótropo.

1) Azeótropo

El porcentaje de composición de un ARM será virtualmente el mismo en las fases de líquido y de vapor, excepto cuando la mezcla está en equilibrio a una presión atmosférica, lo cual es su condición de mezcla azeotrópica y los componentes de líquido y de vapor son idénticos de composición. A una presión atmosférica, cada componente tiene el mismo punto de ebullición y cada uno se evapora en proporción a la cantidad presente en la fase líquida. El vapor resultante tiene la misma composición del líquido. Lo mismo sucede en el proceso contrario (condensación). Sin embargo a presiones diferentes de las atmosféricas el porcentaje de las fases líquida y de vapor será un poco diferente.

2) Zeótropo

El porcentaje de composición de una mezcla zeotrópica puede ser sustancialmente diferente en las fases de líquido y de vapor. Esto se debe a que no hay un punto único de ebullición para cada componente y no se evaporarán a porcentajes proporcionales a su composición en el estado líquido. Entre más alto el componente de presión de vapor (con el punto de ebullición menor) se evaporará más rápidamente que el punto del componente de presión de vapor (con el punto de ebullición más alto) y resultará en cambios de porcentaje de composición, tanto en las fases de líquido y de vapor, cuando la evaporización vaya progresando. El componente más alto de vapor de presión estará en composición más alta de vapor sobre la líquida. Este proceso se llama fraccionación.

3) Mezclas de Refrigerantes casi-Azeotrópicas

El porcentaje de la composición de las fases de líquido y de vapor de un casi ARM serán casi idénticas debido a los valores de presión de vapor muy similares de cada componente. Así un casi ARM se comporta esencialmente como un ARM desde este punto de vista.

3. ¿Qué le sucede a una composición de mezcla durante la carga del sistema?

De acuerdo a cómo se lleve a cabo esta carga (con vapor o líquido removido del cilindro) el refrigerante puede cambiar fase en el cilindro.

Debido a que los fluidos puros ARM no varían de composición con los cambios de fase, no hay modificación en la composición con estos materiales durante la carga del sistema, ya sea con vapor o líquido.

Por otra parte, la carga de vapor con una mezcla zeotrópica puede resultar en cambios significativos de composición debido al fraccionamiento de los componentes.

Si se usa un cilindro entero de refrigerante para cambiar un sistema, el cambio de composición que ocurre durante el proceso de carga no tiene efecto, debido a que los contenidos enteros del cilindro entrarán al sistema.

Sin embargo, si sólo una parte del cilindro de un refrigerante zeotrópico se carga por vapor dentro de un sistema, la composición del vapor puede cambiar sustancialmente durante el proceso de carga. Como resultado sólo la carga por líquidos (ejemplo: lo que deja el cilindro) deberá ser usado con zeótropos a menos que el cilindro entero vaya ser usado para un sistema. Por supuesto, deberá proveerse la debida protección contra la ingestión de líquido por el compresor. Esto puede hacerse en la forma de un instrumento de tipo acumulador que mida el líquido dentro del lado de succión del sistema. Otra elección podría ser el tipo de carga de sistema llamado "dial-a-charge" que toma del cilindro una cantidad medida de líquido y la pone dentro del mismo. Este sistema calibrado hace simple la carga con exactitud. Al usar las calibraciones en conjunto con el manómetro, se pueden compensar fácilmente las fluctuaciones en volumen que ocurren mientras cambia la temperatura.

Ya que las mezclas de refrigerantes casi azeotrópicos son prácticamente zeótropos también resultan en cambios de composición durante la carga, pero a una extensión mucho menor que lo que ocurre con los zeótropos. Cuando se cargan refrigerantes casi ARM, deberá usarse líquido del cilindro para evitar cambios de composición (al menos que todos los contenidos vayan dentro del sistema) y que los últimos pocos porcentajes de los contenidos del cilindro no sean usados, ya que es allí donde ocurren los más grandes cambios en la composición.

4. Qué le sucede a la Composición del Refrigerante durante una Fuga

a. Refrigerantes de un solo componente

No hay un cambio en el porcentaje de composición

b. Refrigerantes azeotrópicos

No hay, virtualmente, ningún cambio en el porcentaje de composición.

c. Refrigerantes de Mezclas Zeotrópicas

Si ocurre una fuga en una porción de un sistema en operación donde solamente se presenta vapor (tal como descarga del compresor o línea de succión), la composición del refrigerante no cambiará, debido a que el porcentaje de composición del vapor es idéntico a la mezcla y cada componente se fugará en la misma proporción.

Si ocurre una fuga en una porción del sistema en operación, donde solamente se presenta líquido (tal como en la línea líquida), la composición no cambiará, ya que el porcentaje de composición del líquido es idéntico a la mezcla y cada componente se fugará en una misma proporción.

Si ocurre una fuga en una porción del sistema en operación, donde simultáneamente existen tanto el líquido como el vapor (tal como en el evaporador o el condensador) se dará la "fraccionación" (evaporación o condensación no igual del refrigerante, que resultará en un cambio en el porcentaje de la composición entre las fases de líquido y vapor) y habrá un cambio en el porcentaje de composición del refrigerante remanente en el sistema. Por ejemplo, si ocurre una fuga en la porción doble fase del evaporador y solamente se fuga el vapor, éste será más rico en el componente de presión alta de vapor, lo que dará como resultado un cambio en el porcentaje de composición del refrigerante que permanece en el sistema. Si éste es recargado con la composición original, la mezcla en el sistema no puede nunca regresar a su composición original y el desempeño del sistema (como capacidad o eficiencia) puede cambiar en algún grado. Ciclos repetidos de fuga y recarga podrán resultar en cambios adicionales. Sin embargo, en la mayoría de sistemas donde están presentes las dos fases, el mezclado turbulento ocurre y el líquido se fugará junto con el vapor que minimiza los efectos de la fuga de vapor.

Es importante tener presente que para que haya un cambio en la composición de un sistema en operación, la fuga debe ocurrir en una porción de éste donde existen simultáneamente tanto las fases de líquido como de vapor y la fuga es solamente del vapor.

Cuando un sistema permanece apagado por largos períodos, habrá partes del mismo donde exista vapor puro y partes donde exista el líquido puro y estos lugares pueden variar debido a condiciones ambientales. Ya que la composición de las fases de líquido y vapor serán diferentes para un zeótropo en equilibrio líquido-vapor, una fuga en el área donde solamente está presente el vapor sólo puede dar por resultado un cambio de composición en el sistema.

d. Refrigerantes de Mezclas Casi Azeotrópicas

El efecto de tales fugas con los casi zeótropos es mucho menor, debido a que la diferencia en el porcentaje de la composición entre las fases líquida y de vapor es mucho menor. Cálculos teóricos de efectos de fuga (verificados por pruebas iniciales de laboratorio) muestran que los efectos de la fuga sobre el desempeño (capacidad y eficiencia) con los casi ARMS son indetectables, incluso cuando ocurren varios ciclos repetitivos de fuga y recarga.

G. Efectos de la Humedad

La humedad se combina en varios grados con la mayoría de los refrigerantes comúnmente usados y causa la formación de compuestos altamente corrosivos (usualmente ácidos) que reaccionan con el aceite lubricante y con otros materiales en el sistema, incluyendo metales. Esta reacción química frecuentemente resulta en picaduras y algunos otros daños a las válvulas, sellos, chumaceras, paredes de cilindros y otras superficies pulidas. También puede causar deterioro del aceite lubricante y formación de sedimentos que tienden a tapan las válvulas y los

conductos de aceite, a rayar las superficies de las chumaceras y a reducir así la vida del equipo. La corrosión por humedad también contribuye a la falla de las válvulas del compresor y en los motocompresores herméticos frecuentemente causa ruptura del aislamiento del devendado del motor lo cual puede producir un corto o aterramiento del motor.

Aunque no es posible tener un sistema de refrigeración totalmente libre de humedad, la buena práctica en refrigeración exige que el contenido de humedad del sistema se mantenga más abajo del nivel que pueda producir efectos dañinos. El mínimo nivel de humedad que producirá efectos dañinos en un sistema de refrigeración no se ha definido claramente y variará considerablemente de acuerdo a la naturaleza del refrigerante, la calidad del aceite lubricante y las temperaturas de operación del sistema, particularmente de la temperatura de descarga del compresor.

La mayoría de los refrigerantes halocarbonos se hidrolizan muy poco y por lo tanto forman solamente pequeñas cantidades de ácido u otros compuestos corrosivos. Como regla general la corrosión no ocurrirá en sistemas que emplean refrigerantes halo carbonados cuando el contenido de humedad se mantiene más abajo del nivel que causa congelamientos, siempre y cuando se usen lubricantes de alta calidad y la temperatura de descarga sea razonablemente baja.

H. Relación Refrigerante y Aceite

Con unas pocas excepciones, el aceite requerido para la lubricación del compresor, está contenido en el cárter del cigüeñal del compresor, en donde es sujeto a contacto con el refrigerante. Por lo tanto, el refrigerante debe ser química y físicamente estable en la presencia de aceite, para que ni el refrigerante ni el aceite sean adversamente afectados por la relación.

A pesar de que algunos refrigerantes, particularmente el dióxido de azufre y los halocarburos, reaccionan con el aceite de lubricación hasta cierto punto, bajo condiciones normales de operación la reacción es usualmente leve y por lo tanto de consecuencia mínima, siempre que el aceite de lubricación sea de alta calidad y que el sistema usado esté limpio y seco. Sin embargo, cuando contaminantes como el aire y la humedad están presentes en el sistema, en cualquier cantidad apreciable, ocurren reacciones químicas en los contaminantes, el refrigerante y el aceite de lubricación y dan como resultado la descomposición del aceite, la formación de ácidos corrosivos y sedimentos en superficies de cobre y/o corrosión seria de superficies metálicas pulidas. Las temperaturas de alta descarga generalmente aceleran el proceso, particularmente la descomposición del aceite que, frecuentemente, resulta en la formación de depósitos carbonáceos en las válvulas de descarga, pistones, cabezal del compresor y en la tubería de descarga. Esta condición es agravada por el uso de aceites de

lubricación poco refinados que contienen un alto porcentaje de hidrocarburos no saturados, los cuales son muy inestables químicamente hablando.

En los sistemas que usan refrigerantes hidrocarburos, es muy común que varias partes del compresor estén cobrizadas. Las partes usualmente afectadas son superficies de metal altamente pulidas que generan calor: los sellos, pistones, paredes de cilindros, superficies de chumaceras y válvulas. La causa exacta del cobrizado no ha sido definitivamente determinada, pero existe considerable evidencia de que la humedad y el aceite de lubricación de baja calidad son factores contribuyentes.

En cualquier caso, indiferentemente de la naturaleza de y/o la causa de las reacciones entre el refrigerante y el aceite de lubricación, esta desventaja puede ser grandemente minimizada o eliminada con el uso de aceites lubricantes de alta calidad, con el mantenimiento del sistema relativamente libre de contaminantes como el aire y la humedad y con el diseño de un sistema para que las temperaturas de descarga sean razonablemente bajas.

1. Miscibilidad del aceite

En cuanto a la relación entre refrigerante y aceite una característica importante que difiere para las diversas clases de refrigerantes es la miscibilidad del aceite, o sea la habilidad de éste para disolverse dentro del aceite.

Con relación a la miscibilidad del aceite, los refrigerantes pueden dividirse en tres grupos:

- a. Aquellos que son miscibles en aceite, en todas las proporciones bajo condiciones encontradas en el sistema de refrigeración.
- b. Aquellos que son miscibles bajo condiciones normalmente encontradas en la sección de condensación, pero separados del aceite, bajo condiciones normalmente encontradas en la sección del evaporador.
- c. Aquellos que no son en nada miscibles con el aceite, bajo condiciones encontradas en el sistema.

En cuanto al aceite, uno de los principales efectos de un refrigerante miscible en aceite es el diluir éste en el cárter del cigüeñal del compresor y bajar así la viscosidad (arralamiento) del aceite y reduciendo sus cualidades lubricantes. Para compensar por la dilución, el aceite lubricante del compresor usado en unión con refrigerantes miscibles en aceite deberá tener una viscosidad inicial más alta de aquella usada para tareas similares con refrigerantes no miscibles.

La viscosidad puede ser definida como una medida de fricción de fluido o una medida de la resistencia que un fluido ofrece al flujo. Los fluidos ralos de baja viscosidad fluirán más libremente que aquellos más espesos y viscosos. Para proveer una lubricación adecuada para el compresor, la viscosidad del aceite lubricante debe mantenerse dentro de ciertos límites. Si la viscosidad del aceite es demasiado baja, éste no tendrá suficiente cuerpo para formar una capa protectora entre las varias superficies fricciones y mantenerlas separadas. Sin embargo, si la

viscosidad del aceite es demasiado alta, éste no tendrá suficiente fluidez para penetrar entre las superficies friccionables, especialmente en donde las tolerancias están cercanas. En cualquier caso la lubricación del compresor no será la adecuada.

Cualquier aceite que circule con el refrigerante a través del sistema tendrá un efecto adverso sobre su eficiencia y capacidad, debido a que el aceite tiende a adherirse y formar una capa sobre la superficie de los tubos del condensador y evaporador y a bajar así la capacidad de transferencia de estas dos unidades. Debido a que el aceite se hace más viscoso y tiende a solidificarse mientras se reduce la temperatura, el problema con el aceite es mayor en el evaporador y se hace más agudo a medida que se baja la temperatura de éste.

Ya que la única razón de la presencia de aceite en el sistema de refrigeración es para lubricar el compresor, se hace evidente que éste servirá mejor su función cuando está confinado al compresor y no se le permite circular con el refrigerante a través de otras partes del sistema. Sin embargo, ya que con pocas excepciones, el refrigerante del sistema inevitablemente hará contacto con el aceite en el compresor, cierta cantidad de aceite en forma de pequeñas partículas se mezclará con el vapor de refrigerante y será llevado a través de las válvulas de descarga hacia la línea de descarga. Si en este punto el aceite no es removido del motor, pasará al condensador y recibidor de líquido de donde será llevado al evaporador por el refrigerante líquido. Obviamente, por el interés en la eficiencia del sistema y para mantener el aceite en el cárter del cigüeñal a un nivel constante, deben hacerse provisiones para removerlo del sistema y retornarlo al cárter del cigüeñal donde pueda llevar a cabo su función lubricante.

I. Detección de Fugas

Las fugas en un sistema de refrigeración pueden darse ya sea hacia dentro o hacia fuera, de acuerdo a cómo está la presión en el sistema en el punto de fuga: sobre o bajo la presión atmosférica. Cuando la presión en el sistema está sobre atmosférica al punto de fuga, el refrigerante se fugará del sistema hacia fuera. Cuando la presión en el sistema está bajo atmosférica no hay fuga de refrigerante hacia fuera, pero se jalará aire y humedad dentro de éste. En cualquier caso el sistema, usualmente, se volverá inoperante en muy poco tiempo. Como regla general las fugas hacia fuera son menos serias que las hacia dentro, ya que usualmente requieren que se encuentre y se repare la fuga y que el sistema sea recargado con la cantidad apropiada de refrigerante. En el caso de las fugas hacia dentro, el aire y la humedad atraídos dentro del sistema incrementan la presión y temperatura de descarga y aceleran la tasa de corrosión. La presencia de humedad en el sistema puede también causar el congelamiento del control del refrigerante. Lo que determina que, después de que la fuga haya sido localizada y reparada, el sistema debe ser completamente evacuado y deshidratado antes de ser puesto de nuevo en operación. También se debe instalar un secador de refrigerante en el sistema.

J. Agentes Secadores

Se les llama también desecantes y se emplean en sistemas de refrigeración para remover la humedad, los ácidos y otros contaminantes de la mezcla de refrigerante y aceite que está circulando en el mismo. Algunos de los desecantes más comúnmente empleados son un material gelatinoso de sílice (dióxido de silicio), alumina activa (óxido de aluminio) y drierita (sulfato de calcio anhidroso). En todos los casos los desecantes remueven los contaminantes de la mezcla aceite y refrigerante a través de un proceso de absorción donde los contaminantes físicamente se adhieren a la superficie del desecante. Algunas veces se usan varios desecantes juntos para que absorban una mayor variedad de contaminantes.

K. Recuperación, Reciclaje y Reclamo

El reciclaje generalmente toma lugar en el sitio e implica remover el refrigerante del sistema, hacerlo circular en un separador de aceite y luego en filtros / secadores para remover varios contaminantes. El proceso también incluye la eliminación de gases no condensables.

A pesar de que el reciclaje puede remover algunos de los contaminantes más comunes como aceite, humedad, aire, ácidos, sedimentos y partículas de materia, éste no siempre retornará el refrigerante a sus especificaciones originales. El grado de refrigerante removido depende de la sofisticación del equipo de reciclaje, la concentración de los contaminantes y la habilidad del operador.

El refrigerante reciclado retorna al sistema de donde fue removido. Si no se procede así, la carga del sistema con un refrigerante no certificado puede resultar en la invalidación de la garantía del equipo de refrigeración.

El reclamo del refrigerante puede ser logrado en una facilidad de reclamo donde el refrigerante recuperado se analiza para determinar el grado de contaminación y luego es reprocesado o destruido por incineración. El proceso de reclamo usualmente requiere destilación y siempre incluye un análisis para asegurar que el refrigerante reclamado llene las especificaciones anteriormente mencionadas. Ya que el proceso de reclamo es complejo y debe de ser hecho únicamente por el fabricante del químico o reprocesador, siempre implica el transporte del refrigerante a la instalación de reclamación.

L. Refrigerante 502

El refrigerante 502 es una mezcla azeotrópica de 48.8% de masa de R22 y 51.2% de R115. Inicialmente fue elaborado como un refrigerante de baja temperatura para reemplazar al R22 en

algunas aplicaciones de baja temperatura y alto porcentaje de compresión. El R502 ha sido empleado en aplicaciones de almacenaje con rangos de temperatura para almacenamiento congelado y frío y en algunas aplicaciones de aire acondicionado de confort, sobre todo donde se utilizan bombas de calor. La ventaja particular del R502 sobre el R22 es su menor temperatura de descarga adiabática de 99°F (37.2°C), al compararse con 128°F (53.3°C) en condiciones de tonelada estándar. Sin embargo, tanto el desplazamiento del compresor como la capacidad por unidad refrigerante son algo menores para el R-502, así como las presiones de operación, aunque estas últimas permanezcan en un rango moderado.

El refrigerante 502 tiene una temperatura de ebullición a presión barométrica estándar de -49.8°F (-45.4°C) y una temperatura crítica de 179.9°F (91.78°C). No es inflamable ni tóxico, pero tiene la desventaja de una baja miscibilidad con aceite, un problema que se resuelve con el uso de lubricantes sintéticos alcalino bencenos.

El refrigerante 502 ha sido el refrigerante más popular para aparatos de baja temperatura en supermercados, pero ya que uno de los componentes es el CFC (R115), deberá eventualmente ser reemplazado. Reemplazos probables en equipo nuevo son R404A y R507. Para la reconversión del equipo existente, varias mezclas como R402a, R402b y R408 que consisten en mezclas de R22, R125 y R290 (propano) son fáciles y económicamente buenos sustitutos para la mayoría de sistemas R502 que emplean compresores con desplazamiento positivo. Estas mezclas proveerán funcionamiento comparable a aquel del R502 a temperaturas de evaporador hasta de -40°F (-40°C) y los hará utilizables para aplicaciones tales como cuartos fríos, cajas de demostración de comida congelada y láctea, dispensadores de helado y máquinas expendedoras de bebidas. En la mayoría de los casos, la reconversión requiere solamente del cambio de lubricante y el filtro / secador.

Las propiedades termodinámicas se encuentran en el Anexo 2.

M. Reemplazos para R-502

Actualmente existen 5 refrigerantes para reemplazo del R502. Tres de ellos son de servicio (HCFC) y dos son de largo plazo (HFC).

Tabla No. 6. Resumen de Refrigerantes de Reemplazo para el R-502

REFRIGERANTES HCFC	APLICACIÓN	OBSERVACIONES
R-402A	Conversión de R-502 a todas las temperaturas	Opción preferida para reacondicionado de R-502. Un rápido cambio de aceite para reacondicionado Mayor capacidad
R402B	Conversión de R-502 a sistemas que acepten temperaturas de descarga más altas.	Preferido para sistemas en los que se desea una mayor temperatura de descarga, en algunas máquinas de producir hielo comúnmente se usa aceite mineral. Es la mejor opción para sistemas de mando abierto
R-408A	Conversión de R-502 a todas las temperaturas	También es opción de reacondicionado de R-502
Refrigerantes HFC	Aplicación	Observaciones
R404A	Equipo nuevo y conversión a todas las temperaturas de R502	Es la mejor opción para equipos nuevos. También es una opción para reacondicionado, pero es más cara que el R402A.
R507	Equipo nuevo y conversión a todas las temperaturas de R502	Reacondicionamiento es más costoso porque se tiene que usar el lubricante Polio! Ester (POE)

Las propiedades físicas de cada uno de éstos refrigerantes se encuentran en el Anexo 1.

1. R402A

a. Descripción

El R402 A es un refrigerante libre de CFC diseñado para reemplazar al R502. Está disponible comercialmente. Ya sea como resultado de la decisión de parar el uso de CFC, o para extinguir en refrigerantes a base de CFC, el existente equipo R502 necesitará ser cambiado

a refrigerantes alternativos para extender su vida útil. El R402A es una mezcla ternaria de HCFC22, HFC125 y HC290 (propano) el cual ha sido desarrollado como un refrigerante alternativo para reemplazar al R502. La mayoría de sistemas R502 que usan compresores de desplazamiento positivo (reciprocantes, rotarios y de tornillo) pueden ser fácil y económicamente convertidos para ser usados con el R402A. Esto permitirá al equipo existente continuar operando en forma segura y eficiente, incluso después de que el R502 ya no esté disponible.

El R402A ofrece propiedades ambientales mejoradas versus el R502, con potencial de destrucción de ozono (ODP) y calentamiento global (GWP) significativamente menores.

b. Diferencial de Temperatura

El diferencial de temperatura del R402A es 2°F.

Aunque el evaporador y el condensador no operan a una temperatura constante, la temperatura promedio del evaporador será similar a la que se manifiesta al operar con R12 o R502 y el desempeño del enfriamiento será similar. (Algunos ajustes en el control pueden ser necesarios).

c. Recomendaciones de Lubricante

Con el R402A se pueden usar alcalino bencenos (AB) o poliol ester (POE). Es necesario consultar con el fabricante del compresor para obtener recomendaciones específicas.

- Las experiencias de campo han demostrado que para un retrofit con 402A la mayoría de sistemas requiere por lo menos que un 80% del lubricante sea reemplazado, ya sea con AB o con POE (que corresponden a un máximo de 20% de aceite mineral residual). Sólo se requiere de un cambio de lubricante. En la eventualidad, poco posible, de que el desempeño del sistema decreciera debido a una capa de aceite mineral en los tubos del evaporador se requerirá de un segundo cambio de aceite.
- Se deberá disponer adecuadamente del aceite extraído.

d. Seguridad

- El R402A no requiere de procedimientos adicionales de seguridad comparado con el R12, R22 y R502.
- El R402A ha recibido el reconocimiento como refrigerante por los Laboratorios Underwriter's (UL)
- El R402A ha recibido una clasificación de seguridad ASHRAE SSSPC34 de "A1/A1" (baja toxicidad y no inflamable).

e. Equipo

- Varios instrumentos de medición que se utilizan para el R12 y para el R502 pueden ser usados para el R402A. Sin embargo, la escala de temperatura para el R12 y 502 no puede ser empleada para el nuevo refrigerante. En su lugar se deben usar

las lecturas de presión de los instrumentos de medición junto con una guía de temperaturas de bolsillo.

- El visor de línea líquido puede ser usado para confirmar el tamaño de carga apropiado del R402A en la mayoría de sistemas. En general este aparato se usa cuando está corriente abajo de un receptor líquido, o si el visor está cerca del instrumento de expansión. Sin embargo, algunos sistemas pueden mostrar burbujas en el visor incluso cuando se ha cargado en forma apropiada. En este caso otros sistemas de medida deberán usarse para determinar el tamaño de carga apropiado.

f. Propiedades Termodinámicas

Las propiedades termodinámicas del R-402A se encuentran en el Anexo 3.

2. R402B

a. Descripción

Es un refrigerante comercialmente disponible para reemplazar al R502 en aplicaciones donde un incremento de 10 – 20°F de descarga de temperatura del compresor sea aceptable.

El R402B, una mezcla de HFC 125, HC290 (propano) y HCFC22 que ha sido elaborado como un refrigerante de retrofit para muchos sistemas R502. La mayoría de sistemas que usan compresores de desplazamiento positivo, es decir recíprocos, rotarios y de tornillo, pueden ser fácil y económicamente convertidos para uso con R402B. Esto permite que el equipo opere de manera segura y eficiente, incluso después de que el R502 ya no esté disponible.

b. Propiedades y Seguridad

El R402B ofrece propiedades ambientales mejoradas versus el R502, con potencial de destrucción de ozono (ODP) y calentamiento global (GWP) significativamente menor.

c. Lubricantes

La selección de lubricantes se basa en varios factores que incluyen retorno de aceite al compresor, lubricabilidad y compatibilidad con los materiales.

En las máquinas de hielo, el aceite mineral ha demostrado ser un lubricante aceptable para el uso con R402B. El arreglo del equipo y el funcionamiento de la máquina de hielo (ciclos de cosecha, defrost con gas caliente, etc.) ayuda al regreso del lubricante al compresor. Los resultados positivos de R402B y aceite mineral en máquinas de hielo tal vez signifiquen que el R402B/aceite mineral puede ser usado en otros sistemas herméticos más pequeños, que

muestran buen retorno del lubricante al compresor. Se debe consultar al productor del compresor, para obtener recomendaciones sobre los lubricantes en su sistema.

El R402B es una alternativa para aplicaciones R502 donde un incremento en la temperatura de descarga del compresor de 10-20°F es aceptable. Las aplicaciones que han sido demostradas como las más adecuadas para ser usadas con R402B son las máquinas de hielo, máquinas de helado, máquinas de venta operadas con monedas, unidades con condensadores enfriados por agua y compresores que operan a temperaturas ambientales bajas.

d. Diferencial de Temperatura

- El diferencial de temperatura del R402B es 8°F.
- Aunque el evaporador y el condensador no operan a una temperatura constante, la temperatura promedio del evaporador será similar a la que se manifiesta al operar con R12 o R502, y el desempeño del enfriamiento será similar. (Algunos ajustes en el control pueden ser necesarios).

e. Recomendaciones de Lubricante

Con el R402B pueden ser usados, ya sea alcalino bencenos (AB) o poliol ester (POE). Es conveniente consultar con el fabricante del compresor para obtener recomendaciones específicas.

- Según experiencias de campo, para un retrofit con 402A la mayoría de sistemas requiere por lo menos que 80% del lubricante sea reemplazado ya sea con AB o con POE (que corresponden a un máximo de 20% de aceite mineral residual). Sólo se requiere de un cambio de lubricante. En la eventualidad, poco posible, de que el desempeño del sistema decreciera debido a una capa de aceite mineral en los tubos del evaporador se requerirá de un segundo cambio de aceite.
- Se deberá disponer adecuadamente del aceite extraído, incinerarlo o disponer de él en un relleno sanitario, de acuerdo a las regulaciones gubernamentales y/o ambientales.

f. Seguridad

- El R402B no requiere de procedimientos adicionales de seguridad comparado con el R12, R22 y R502.
- El R402B ha recibido el reconocimiento como refrigerante por los Laboratorios Underwriter's (UL)
- El R402B ha recibido una clasificación de seguridad ASHRAE SSPC34 de "A1/A1" (baja toxicidad y no inflamable).

g. Equipo

- Varios instrumentos de medición que se utilizan para el R12 y para el R502 pueden ser usados para el R402B. Sin embargo, la escala de temperatura para el R12 y

502 no puede ser empleada para el nuevo refrigerante. En su lugar se deben usar las lecturas de presión de los instrumentos de medición junto con una guía de temperaturas de bolsillo.

- El visor de línea líquido puede ser usado para confirmar el tamaño de carga apropiado del R402B en la mayoría de sistemas. En general este aparato puede ser usado cuando está corriente abajo del receptor o si el visor está cerca del instrumento de expansión. Sin embargo, algunos sistemas pueden mostrar burbujas en el visor, incluso cuando se ha cargado en forma apropiada. En este caso otros sistemas de medida deberán hacerse para determinar el tamaño de carga apropiado.

h. Propiedades Termodinámicas

Las propiedades termodinámicas del R-402B se pueden observar en el Anexo 4.

3. R408A

a. Descripción

Es una mezcla con bajo potencial de destrucción de ozono casi azeotrópica de refrigerantes HCFC22 y HFC R125 y R143a. El R408A ha sido elaborado para proveer una solución de retrofit conveniente y confiable para sistemas de refrigeración a temperaturas mediana y baja, los cuales usan actualmente R502.

b. Uso del R408A para Reacondicionamiento de Sistemas R502

El R408A puede ser usado para la reconversión de muchos sistemas existentes de R502. Ha sido mezclado para igualar cercanamente las propiedades físicas y de refrigeración de R502, debido a que el equipo objeto de reconversión fue diseñado para ser usado con este refrigerante. El R408A no debe de ser mezclado con R502.

El R408A no está diseñado para ser utilizado en equipo nuevo. Las aplicaciones de refrigeración que fueron previamente diseñadas para usar R502 pueden ahora ser especificadas para emplear una mezcla HFC, o sea el R404A, como alternativa a largo plazo.

c. Consideraciones para el uso de Mezclas Casi Azeotrópicas

Los refrigerantes comunes usados en el pasado eran ya sea de un solo componente o mezclas azeotrópicas que se comportaban como de un solo componente. Las mezclas casi azeotrópicas, como el R408A se comportarán, para todos los propósitos prácticos, en forma casi igual a los azeótropos, como el R502.

- El diferencial de temperatura del R408A es menor de 1.0°F. Este diferencial usualmente no se nota si se compara con los cambios normales de temperatura debidos a las caídas de

presión que se dan a lo largo de la tubería. Los fabricantes, en general, no han indicado consideraciones especiales para mezclas de bajo diferencial en aplicaciones normales de retrofit.

- El R408A no cambiará significativamente su composición debido al fraccionamiento. Sin embargo, se dará una pequeña diferencia en la composición de la fase de vapor que está en equilibrio con la líquida, tal como en el cilindro. El R408A deberá entonces ser transferido al equipo cargador o sistemas del cilindro, como un líquido.

d. Consideraciones para el Retrofit de Sistemas R502 que serán Usados con 408A

Los proyectos de reconversión deberán incluirse como parte de un programa total de Manejo de Refrigerantes. El R408A puede usarse en la mayoría de instalaciones R502 ya existentes, con las siguientes consideraciones:

1) Desempeño

En la mayoría de aplicaciones de reconversión, la capacidad y eficiencia del R408A son levemente más altas que aquellas del R502. Componentes como compresor, tamaños de línea y otros no necesitarán reemplazo y deberán operar lo mismo con el R408A que como lo hicieron con el R502.

2) Lubricación

El R408A puede usarse con aceite mineral, aceite alcalino benceno o lubricantes poliol ester. Los sistemas que operan con R502 y aceite mineral y muestran un adecuado retorno de lubricante al compresor pueden usar aceite mineral con el R408A. Los alcalino bencenos y/o poliol ester pueden usarse solos o en combinación con aceites minerales para mejorar la miscibilidad o capacidad de mezcla del lubricante y el retorno al compresor.

3) Compatibilidad de Material

Se recomienda informarse con el fabricante del equipo acerca de sus recomendaciones para la reconversión en cuanto a la compatibilidad de materiales con el R408A. Reemplazar cualesquiera materiales no aceptables para ser usados con el R408A. En general los materiales que son compatibles con el R22 pueden ser usados con R408A.

e. Propiedades Termodinámicas

Ver Anexo 5.

4. R404A

a. Descripción

Es una mezcla casi azeotrópica de refrigerantes HFC R125, R143a y R134a con cero potencial de destrucción de ozono. El R404A está formulado para igualar cercanamente las propiedades del R502, lo cual lo hace útil para una variedad de aplicaciones de refrigeración de mediana y baja temperatura.

b. Nuevos Sistemas

El R404A ha sido aprobado por muchos productores de sistemas y compresores de refrigeración. Las aplicaciones para las que el R404A está disponible incluyen: exhibición de alimentos, cajas almacenadoras, cuartos fríos, máquinas de hielo, transporte y procesos de refrigeración.

c. Reconversión

El R404A puede ser usado para la reconversión de muchos sistemas R502 ya existentes. Las propiedades físicas y de refrigeración de la mezcla ocasionan que se comporte como el R502 al ser usado en una reconversión. Sin embargo, no está diseñado para ser un fluido de carga directa para sistemas R502.

d. Consideraciones para el uso de Mezclas Casi Azeotrópicas

Los refrigerantes comunes usados en el pasado eran de un solo componente o mezclas azeotrópicas que se comportaban como de un solo componente. Las mezclas casi azeotrópicas, como el R404A, se comportarán para todos los propósitos prácticos, casi igual a los azeótropos como el R502.

- El diferencial de temperatura del R404A es menor de 1.5°F. En la mayoría de sistemas, este diferencial usualmente no se nota si se compara con los cambios normales de temperatura debidos a las caídas de presión que se dan a lo largo de la tubería, por ejemplo. Los fabricantes de equipo indican las influencias potenciales del diferencial del R404A sobre ciertas aplicaciones.
- El R404A no cambiará significativamente su composición debido al fraccionamiento. Sin embargo, se dará una pequeña diferencia en la composición de la fase de vapor que está en equilibrio con la líquida, tal como en el cilindro. El R408A deberá entonces ser transferido al equipo cargador o sistemas del cilindro, como un líquido. En situaciones en las cuales el sistema se alimenta normalmente de vapor, deberá instalarse una válvula en la línea de carga para cargar el líquido a vapor durante el proceso de carga.

e. Desempeño

En instalaciones nuevas, el proceso para buscar el tamaño y seleccionar compresores y otros componentes del sistema para ser usados con R404A es el mismo que siempre se ha empleado para los R502. La capacidad del compresor, tamaño de líneas, etc., se escogerán apropiadamente para llenar las necesidades del trabajo. La experiencia de operación no ha mostrado una pérdida significativa de capacidad en las instalaciones de R404A, comparadas con el desempeño histórico del R502.

f. Lubricación

El R404A requiere de un lubricante poliol ester para asegurarse una completa miscibilidad entre el aceite y el refrigerante. La miscibilidad es importante para el retorno del aceite al compresor, especialmente al tratarse de sistemas grandes con gran cantidad de tubería. Los fabricantes proveen equipo cargado ya con el lubricante apropiado, o proveen recomendaciones específicas en cuando al tipo o marca de lubricante a ser instalado.

g. Compatibilidad de Material

Los nuevos compresores se construyen con materiales que son compatibles con el R404A. Se recomienda seguir las recomendaciones del fabricante en cuanto a los materiales a usarse en partes que están instaladas en el campo.

h. Consideraciones para el Retrofit de Sistemas R502 para Usarse con R404A

1) Lubricación

El R404A no es mezclable con los lubricantes existentes usados en sistemas R502. El aceite mineral deberá reemplazarse con lubricante poliol ester a un nivel de aceite mineral residual menos del 5%.

2) Materiales del Sistema

Obtener recomendaciones de los fabricantes del equipo en cuanto a la compatibilidad de materiales con el R404A. Reemplazar cualesquiera materiales no aceptables para ser usados con éste.

3) Salida de Presión

Debido a las presiones de operación más altas asociadas con el uso del R404A, en oposición al R502, consultar los requisitos específicos de reconversión para cualesquiera y todas las modificaciones de salida de presión.

i. Propiedades Termodinámicas

Ver Anexo 6.

5. R507

a. Descripción

El R507 (un azeótropo de HFC125 y HFC143a) ha sido desarrollado para servir como un sustituto a largo plazo para el refrigerante R502. Este producto está patentado y es un sustituto no dañino para la capa de ozono que posee similares características de eficiencia energética y capacidad al R502, con baja toxicidad intrínseca. Esta es una excelente escogencia para un refrigerante a ser usado en aplicaciones de baja y mediana temperatura.

En la refrigeración comercial, sirve en aplicaciones como cajas de exhibición de alimentos en supermercados y máquinas de hielo; también puede ser usado en una variedad de aplicaciones especializadas para reemplazar al R502.

Es aconsejable tanto para ser usado con equipo nuevo como para la reconversión de sistemas que usan R502 en refrigeración comercial. En general habrá que hacer muy poco o ningún cambio de diseño en equipos necesarios para optimizar el desempeño del R507.

b. Lubricantes

Se deben usar lubricantes poliol ester con este producto. La mayoría de fabricantes de compresores recomiendan específicamente cuáles, por lo que se hace importante informarse con éstos.

c. Estabilidad con Metales

Su estabilidad es muy buena virtualmente para todas las aplicaciones donde el R502 es aconsejable. El R507 es compatible con acero, cobre, aluminio y latón.

La estabilidad de las mezclas refrigerante / aceite se determina por medio del método de tubo sellado ASHRAE 97.

La mezcla de R507 y R502 deberá minimizarse. El R507 es un azeótropo de HFC125 y HFC143a. El R502 es un azeótropo de HCFC22 Y cfc115. La mezcla de R507 y R502 contendría cuatro componentes: HFC125, HFC143a, HCFC22 y CFC115. El CFC115 y el HFC 125 podrían formar un azeótropo y la separación de estos cuatro componentes se volvería muy difícil para efectos de reciclamiento y reclamación, especialmente para retornar a la composición original de los dos azeótropos.

d. Desecantes

Los filtros moleculares XH7 XH9 son recomendados para ser usados con el R507. Adicionalmente, cada fabricante de secadores ha desarrollado productos y filtros que son compatibles con R507. Tales secantes pueden incluir los tres tipos de materiales secantes.

e. Toxicidad

El R507 puede ser usado con seguridad en todas las aplicaciones para las que está diseñado, ya que los resultados de los diversos estudios de toxicidad indican una toxicidad intrínseca muy baja.

f. Inflamabilidad

Las determinaciones del punto de flama no se aplican a este producto. No tiene límites de inflamabilidad y se le considera no inflamable.

g. Propiedades Termodinámicas

Ver Anexo 7.

N. Consideraciones Económicas y de otros tipos

Naturalmente, desde el punto de vista económico de la operación, es deseable que el refrigerante tenga las características físicas y termales que resulten en la minimización de los requerimientos de potencia por unidad de capacidad de refrigeración, o sea, un coeficiente alto de rendimiento. Las propiedades más importantes de un refrigerante que influyen en su capacidad y eficiencia son:

1. el calor latente de vaporización
2. el volumen específico del vapor,
3. la relación de compresión y
4. el calor específico del refrigerante tanto en estado líquido como de vapor.

Con excepción de sistemas muy pequeños, es deseable un alto valor de calor latente, ya que el peso del refrigerante circulado por unidad es menor. Cuando un alto valor de calor latente es acompañado por un bajo volumen específico en el estado de vapor, la eficiencia y capacidad del compresor se incrementan grandemente. Esto tiende no sólo a decrecer el consumo energético sino también a reducir el desplazamiento requerido del compresor, lo que permite el uso de equipo más pequeño y compacto. Sin embargo, en sistemas pequeños, si el valor del calor latente del refrigerante es demasiado alto, la cantidad de refrigerante en circulación será insuficiente para un exacto control del líquido.

Un bajo calor específico para el líquido a un alto calor específico para el vapor es deseable, ya que ambos tienden a incrementar el efecto refrigerante por libra, el primero al incrementar el efecto de subenfriamiento y el último al bajar el efecto de supercalentamiento. Cuando ambos se encuentran en un fluido sencillo, la eficiencia del intercambiador de calor de succión líquida se mejora notablemente.

Es deseable tener una temperatura baja en la descarga adiabática. Cuando lo anterior se combina con una relación razonable de compresión, la temperatura de descarga adiabática baja reduce grandemente la posibilidad de sobrecalentamiento del compresor y contribuye significativamente a que el compresor se mantenga libre de mantenimiento y con larga vida. Ya que la tasa de reacciones químicas se dobla aproximadamente con cada aumento de temperatura de 10 grados C, una descarga adiabática baja es de particular importancia cuando se emplean motocompresores herméticos. Mientras que la temperatura de descarga de cualquier refrigerante siempre decrece a medida que disminuye la relación compresión, es importante reconocer que para cualquier relación de compresión específica, la temperatura de descarga del refrigerante puede ser significativamente más alta que aquella de otro refrigerante que se esté operando con la misma relación de compresión.

Un alto coeficiente de conductancia puede mejorar frecuentemente las proporciones de transferencia de calor, particularmente en aplicaciones congeladoras de líquido y, por lo tanto, reducir el tamaño y costo del equipo de transferencia de calor. También se desea que la relación presión - temperatura del refrigerante sea tal que la presión en el evaporador siempre esté por arriba de la atmosférica. En el caso de tenerse una fuga en el lado de menor presión del sistema (más baja que la atmosférica), se introducirá una considerable cantidad de aire y humedad en éste, mientras que si la presión vaporizante es mayor a la atmosférica, se minimiza la posibilidad de introducción de aire y humedad al sistema al tenerse una fuga.

También es deseable tener una presión condensante razonablemente baja, ya que esto permite usar materiales de peso ligero en la construcción del equipo para condensación y reducir así el tamaño y costo del equipo.

Naturalmente, las temperaturas y presiones críticas del refrigerante deben estar sobre la temperatura y presión máximas que puedan ser encontradas en el sistema. De la misma forma, el punto de congelación del refrigerante deberá en forma segura estar más abajo de la temperatura mínima que pueda obtenerse en el ciclo. Estos factores son particularmente importantes al seleccionar un refrigerante que va a usarse para una aplicación a baja temperatura.

Ya que la potencia requerida por unidad de capacidad de refrigerante es casi la misma para los refrigerantes que se usan comúnmente, la eficiencia y economía de operación no son usualmente factores decisivos en la selección de éste. Más importantes son las consideraciones de tipo ambiental y de seguridad junto con aquellas propiedades que tienden a reducir el tamaño, peso y costo inicial del equipo refrigerante y que permiten una operación automática y un mínimo de mantenimiento. El costo y la disponibilidad del refrigerante en sí, son también factores importantes en su selección.

Para ilustrar el efecto que causa el cambio de refrigerante sobre las capacidades de refrigeración y los requerimientos de energía de un compresor, se comparan las capacidades de

refrigeración y requerimientos de energía para un modelo de compresor reciprocante tipo abierto, en varias condiciones de operación para R-12, 22, y -502. (Ver Anexo # 8).

Dos parámetros importantes que es necesario considerar en la selección de un refrigerante son las temperaturas de los dos medios (el espacio refrigerado y el ambiente) con los cuales el refrigerante intercambia calor.

Para tener una transferencia de calor a una relación razonable, debe mantenerse una diferencia de temperatura de 5 a 10°C entre el refrigerante y el medio con el cual intercambia calor. La presión más baja en un ciclo de refrigeración sucede en el evaporador y esta presión debe estar por arriba de la atmosférica, para evitar cualquier filtración de aire dentro del sistema de refrigeración.

La temperatura y la presión del refrigerante en el lado del condensador dependen del medio hacia el cual se rechaza el calor. Temperaturas menores en el generador (y por ello eficiencia más alta) pueden mantenerse si el refrigerante se enfría con agua líquida, en lugar de aire. Sin embargo, el enfriamiento con agua no tiene una justificación económica, salvo en los grandes sistemas de refrigeración industrial. La temperatura del refrigerante en el condensador no puede descender por debajo de la temperatura del medio de enfriamiento y la presión de saturación del refrigerante a esta temperatura debe estar bastante debajo de su presión crítica, si el proceso de rechazo de calor va a ser aproximadamente isotérmico.

Otra característica deseable en un refrigerante es que no sea tóxico ni corrosivo, tampoco inflamable y estable químicamente. Además debe tener alta entalpía de evaporización que minimiza la relación de flujo de masa y, desde luego, bajo costo.

O. Lubricantes

Cuando se evalúa un lubricante para su uso en un compresor, además de las consideraciones básicas tales como seguridad del producto e impactos ambientales, deben considerarse las características siguientes:

Lubricidad es la habilidad del lubricante de minimizar la fricción y el desgaste entre las superficies rotativas o deslizantes bajo cualquier condición de operación.

En cuanto a la lubricidad, el cloro en los CFC y HCFC mejora significativamente la lubricación de capas en los cojinetes usados con aceite mineral. Ya que los HFC no contienen cloro, los aceites poliol ester deben ser formulados para brindar las capacidades contra el desgaste, sin la presencia de cloro de los refrigerantes.

La miscibilidad es la habilidad del aceite de mezclarse con el refrigerante en todas las áreas del sistema, para que pueda regresar al compresor sin quedarse pegado en las líneas conectoras, intercambiadores de calor o el receptor. Los aceites minerales no son miscibles con los HFC puros. De esta forma cualquier aceite mineral que deje el compresor en un sistema

HFC puro puede quedarse atrapado en la línea de conexión o en el evaporador. Ya que el aceite actúa como un aislante de los intercambios de calor, el aceite atrapado en el evaporador puede reducir en forma significativa la capacidad y eficiencia del sistema, así como poner en peligro la confiabilidad del compresor.

Se continúan investigando las características de retorno de aceite y la transferencia de calor de los lubricantes hidrocarburos convencionales (aceite mineral / alquilbencenos) con los refrigerantes HFC, debido al fácil manejo y bajo costo.

La estabilidad y compatibilidad con los componentes refrigerantes y el refrigerante mismo comúnmente usados son importantes. Se han efectuado pruebas extensas de la compatibilidad del material del tubo y se ha descubierto que los aceites poliol ester seleccionados tienen una compatibilidad aceptable con los materiales usados comúnmente en los sistemas de refrigeración.

Tanto los lubricantes de alquilbenceno (AB) como los lubricantes de poliol ester (POE) pueden ser usados como los refrigerantes de servicio.

Para brindar un óptimo retorno de aceite, se recomienda un único cambio de aceite lubricante del compresor y pasar de aceite mineral a lubricante AB de la misma viscosidad. Este proceso reemplazará, normalmente, entre el 50 y el 80% del aceite mineral existente y satisface las recomendaciones y requisitos de la mayoría de los fabricantes de compresores.

1. ¿Qué es un poliol ester?

Los poliol éster son una familia de lubricantes sintéticos que se usan básicamente para la lubricación del motor. Hay muchos tipos y grados de éstos y es importante comprender que todos los aceites poliol ester no son iguales. Las áreas de diferenciación incluyen el grado de lubricación - lubricidad, miscibilidad con el refrigerante, viscosidad, paquetes de aditivos, punto para verterlo y el contenido de humedad. A diferencia de los aceites minerales naturales, el aceite poliol ester está completamente libre de cera. Además, el aceite poliol ester tiene más estabilidad termal que los aceites minerales refrigerantes.

El aceite poliol ester está hecho de materiales más caros que los aceites refrigerantes tradicionales. Sin embargo, algunas de las características del aceite poliol ester ayudan a compensar su alto costo. Por ejemplo, el aceite poliol ester es compatible a la inversa con el aceite mineral, lo que significa que se puede instalar en un sistema de refrigeración que contenga aceite mineral. Además, los aceites poliol ester que se recomiendan son compatibles con todos los refrigerantes, de manera que un compresor que tenga aceite poliol ester puede instalarse en un sistema que contenga CFC, HCFC o los nuevos HFC. En esta forma, por el costo más alto inicial del aceite poliol ester obtenemos una flexibilidad significativa frente a los cambios traídos a colación por el tema CFC.

Un segundo aspecto positivo del aceite poliol ester es que puede ser diseñado para llenar los requisitos de lubricidad de aquellos aceites minerales usados con CFC y HCFC. Algo que también influye en la superioridad del aceite poliol ester es el hecho de que su viscosidad tiene menos variación con la temperatura que el aceite mineral.

Un tercer aspecto positivo del aceite poliol ester es que su miscibilidad con el refrigerante puede igualarse fácilmente a la del aceite mineral en sistemas R-12, R.502 o HCFC-22. De esta forma, el aceite poliol ester debe tener características de retorno de aceite similares al aceite mineral con refrigerantes convencionales que contienen cloro.

Finalmente, desde un punto de vista ambientalista, el aceite poliol ester es altamente biodegradable y causa una ecotoxicidad baja.

2. El manejo de lubricantes poliol ester

El poliol ester tiene un aspecto negativo y es que, substancialmente, es más higroscópico (absorbe humedad) que el aceite mineral. Consecuentemente, el exponer el poliol ester al aire resultará en una rápida absorción de la humedad y llega a niveles que son inaceptables en los sistemas de refrigeración.

El poliol ester también atrapa la humedad en forma más compacta que el aceite mineral, y por eso retirarlo con un aspirador es más difícil. Las especificaciones sobre el contenido máximo de humedad en el aceite poliol ester que se va a añadir a los sistemas de refrigeración es de 50 partes por millón (ppm). Si el contenido de humedad en el aceite en un sistema de refrigeración sube arriba de las 100 ppm, puede ocurrir corrosión en varios materiales metálicos y en las placas de cobre. Además, se pueden formar ácidos y alcoholes (por medio del proceso de hidrólisis) que pueden tener un impacto negativo en la durabilidad y en el desempeño a largo plazo del compresor y del sistema. Es imperativo que los niveles de humedad del sistema se mantengan debajo de 100 ppm. Es de igual importancia que se filtren los contaminantes indeseados que se recogen como resultado de la solvencia aumentada del poliol ester. Esto se puede lograr por medio de una adecuada instalación y técnicas de servicio, así como del uso correcto de filtros y secadoras

Obviamente, es imperativo que los recipientes de poliol ester se mantengan sellados con la excepción de cuando se vierte el aceite. También es imperativo que los compresores y sistemas se mantengan cerrados con excepción de cuando se está trabajando con el equipo. Dejar el equipo abierto durante los recesos de trabajo o durante la noche, o cuando se desempeñe otro trabajo resultará rápidamente en niveles inaceptables de humedad en los lubricantes poliol ester.

Es igualmente importante que el poliol ester se guarde adecuadamente en su recipiente original, porque muchos plásticos que se usan para empacar los aceites son permeables a la humedad. Aunque la tapadera se mantenga en su lugar, la humedad puede penetrar a través del plástico y contaminar el aceite poliol ester.

La inminente salida del mercado de los refrigerantes con base de cloro exige que la industria de refrigeración se mueva a los lubricantes que trabajen bien con los nuevos refrigerantes HFC. Estos lubricantes deben tener tan buenos o mejores niveles de confiabilidad y desempeño que los que han sido previamente experimentados con los aceites minerales tradicionales utilizados con los refrigerantes que contienen cloro. Debido a su compatibilidad con todos los refrigerantes de uso común, el poliol ester ofrece una gran medida de flexibilidad al tratar con las muchas opciones de refrigerantes que están siendo introducidos al mercado. Esta flexibilidad debe ayudar a reducir la confusión sobre exactamente cuáles lubricantes y refrigerantes son compatibles.

3. Aceites Alcalino Bencenos

Otra opción de bajo costo para el uso con los refrigerantes de servicio de término intermedio como los HCFCs R-401A R401B, R-402Ay R-402B es una mezcla de alcalino bencenos (AB) y aceite mineral. En este caso, por lo menos la mitad del aceite mineral se debe remover del compresor y se debe reponer con un alcalino benceno. Esta opción no se puede usar con los refrigerantes sin cloro que deben usar aceites poliol ester.

Cuando se tome la decisión de si se debe usar poliol ester o un alcalino benceno con un refrigerante de servicio de término intermedio, recuerde que el alcalino benceno no inicia el proceso de drenaje para reemplazar el aceite mineral del sistema. Si el sistema se convierte a HFC más adelante, el proceso completo de drenaje se tendrá que hacer con un lubricante poliol ester.

4. Guías para el cambio de aceite

Al convertir muchos sistemas CFC a refrigerantes de servicio HCFC (R402A, R402B o R408), el lubricante recomendado para un retorno óptimo de aceite es el Alquibenceno. Un cambio de aceite a AB removerá entre el 50 y 80% del aceite mineral existente, lo cual satisface los requerimientos y las recomendaciones de la mayoría de fabricantes de compresores.

Al convertir un sistema CFC a uno con refrigerante HFC (R404A o R507), el lubricante recomendado es el POE. Al menos el 95% del aceite mineral o alquibenceno debe ser reemplazado con POE de viscosidad similar. Esto generalmente requiere de múltiples cambios de aceite. Resultados en pruebas llevadas a cabo han demostrado que al menos son necesarias tres operaciones de limpieza con poliol ester y, por lo menos, de un día a una semana de operación se requerirán para remover la mayoría del aceite mineral residual en el sistema. Durante este tiempo, éste deberá operarse con el refrigerante original CFC. Al momento que el aceite mineral residual es menor al 5%, el refrigerante CFC puede ser eliminado y reemplazado por un refrigerante HFC.

P. ¿Qué se espera después de la Reconversión?

Tabla No. 7. Qué esperar después de cambiar de R502 a sus alternativos

REFRIG.	P. DESCARGA (PSI)	P. DE SUCCIÓN (PSI)	T. DE DESCARGA (F)	CAP. DE REFRIG. (%)	SOBRECAL. ESPERADO (F)
R402A	+40	+5	-5	+15	+4
R402B	+30	+5	+15	+15	Mismo
R408A	+5	Misma	+20	+5	-3
R404A	+20	Misma	-10	Misma	+2
R507	+30	Misma	-15	Misma	+4

* + significa aumento; - descenso

Q. Guías Generales para la Reconversión

1. Reconversión a HCFC (Un cambio de aceite)

El procedimiento recomendado para reconvertir los sistemas 502 a R402A, R402B o R408A es el siguiente:

1. Establecer el desempeño de base con CFC: Recopilar datos de desempeño mientras el viejo refrigerante se encuentra en el sistema.
2. Trasladar el CFC del sistema a un cilindro de recuperación.
3. Drenar el aceite mineral del sistema y medir el volumen removido.
4. Agregar lubricante AB. Utilizar el mismo volumen que el extraído en el paso No. 3.
5. Reemplazar el filtro secador.
6. Evacuar el sistema y verificar la existencia de perdidas.
7. Cargar el refrigerante. Cargar inicialmente con aproximadamente el 75% en peso de la carga original. Remover del cilindro en estado líquido.
8. Poner en marcha el sistema, ajustar el tamaño de la carga.

2. Reconversión a HFC (Múltiples cambios de aceite)

1. Establecer un desempeño de base con CFC.
2. Drenar el aceite mineral del sistema y medir el volumen removido.
3. Agregar el POE. Utilizar el mismo volumen que el extraído en el paso No. 2.
4. Reemplazar el filtro/secador.
5. Operar la unidad 48 horas como mínimo. Repetir pasos 2 al 4 hasta que el aceite mineral sea menor a 5%.

6. Trasladar el CFC del sistema a un cilindro de recuperación.
7. Evacuar el sistema y verificar la existencia de fugas.
8. Cargar el refrigerante. Cargar inicialmente con aproximadamente el 75% en peso de la carga original. Remover del cilindro en estado líquido.
9. Poner en marcha el sistema, ajustar tamaño de carga.

R. Guías para la Reconversión de Accesorios del Sistema

La reconversión de refrigerantes y lubricantes para los sistemas de refrigeración y aire acondicionado requieren de conocimientos de cómo un sistema en particular está operando antes de los cambios en el mismo. Esta información provee una línea base para la conversión de los sistemas a refrigerantes amigables al ozono. La falta de estos conocimientos operativos puede provocar problemas en el funcionamiento del sistema.

Algunos de los parámetros que se deben revisar antes de la conversión son:

1. Presión/temperatura: descarga, succión, líquido, evaporador.
2. Amperaje del compresor
3. Temperatura de entrada y salida del aire del evaporador
4. Sobrecalentamiento de la válvula de expansión
5. Establecimiento del punto de control de presión: reguladores, presiostatos de aceite y controles de presión dual.

DuPont tiene una plantilla de datos para llenar al momento de hacer la reconversión. Ver Anexo # 9.

Los puntos que deben tomarse en cuenta dependerán del tipo de sistema y del grado de complejidad de la reconversión.

1. Procedimiento General:

Las reconversiones que implican un cambio de lubricante o refrigerante en el sistema requerirán que los empaques de los sellos internos sean reemplazados. El material utilizado en pasadas producciones puede no ser compatible con el medio de reconversión.

Se ha trabajado con muchas empresas de refrigerantes para asegurarse que los nuevos refrigerantes son compatibles con los compresores nuevos que se usan actualmente en la industria de refrigeración. Los materiales utilizados en los compresores, generalmente, son compatibles con los nuevos aceites refrigerantes. Sin embargo, hay excepciones a esta declaración general de compatibilidad. El material de aislamiento usado en los motores antes de 1973 puede o no ser compatible con las mezclas HCFC o con los refrigerantes HFC y/o lubricantes. No se recomienda el cambio de ningún sistema que use compresores que tengan un número de serie que indique que el compresor fue construido en 1973 ó antes de ese año.

2. Válvulas de Control de Presión

Los nuevos refrigerantes no son idénticos a los refrigerantes que están reemplazando. En todos los casos, los nuevos refrigerantes tienen presiones más altas. De esta forma todos los controles de presión y las válvulas operadas por presión podrían necesitar volver a ser ajustados para que operen en forma adecuada. Algunos de los controles y algunas de las válvulas podrían necesitar ser reemplazados. Las válvulas operadas por piloto deben revisarse para asegurarse que están operando apropiadamente. La válvula operada por piloto, en muchos casos, requiere un diferencial de presión mínimo para abrir y la válvula no operará apropiadamente a menos que el diferencial de la presión sea el correcto. Las válvulas o los controles pueden necesitar volver a ser remedidos. Los otros componentes del sistema se verán afectados también por los nuevos refrigerantes y lubricantes.

a. Válvulas de Expansión

En la tabla No.8 se presenta un listado de los factores de corrección para varios grupos de refrigerantes. La comparación de los factores de corrección a 100°F indicará las diferencias en la capacidad relativa entre los sustitutos del refrigerante

Tabla No. 8. Factor de Corrección de Válvula

TEMP. LIQ.	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
R502	1.86	1.78	1.69	1.61	1.52	1.44	1.35	1.26	1.18	1.09	1.00	0.91	0.82	0.73	0.64
R404A/ FX70	1.89	1.81	1.74	1.64	1.56	1.48	1.39	1.31	1.20	1.11	1.01	0.90	0.79	0.68	0.57
R402A	1.92	1.84	1.75	1.65	1.59	1.49	1.4	1.31	1.20	1.12	1.02	0.92	0.82	0.71	0.59
R402B	2.09	2.00	1.91	1.82	1.75	1.66	1.56	1.49	1.39	1.28	1.20	1.09	1.00	0.90	0.78
R507	1.9	1.80	1.72	1.63	1.54	1.45	1.37	1.27	1.18	1.09	0.99	0.89	0.79	0.67	0.55

Por ejemplo, a 100°F el sustituto del R-502, el R402B tiene un factor de corrección de 1.20 vs. 1.00 para el R502. Esto significa que la válvula usada en 502 fluirá 20% más que la válvula equivalente sobre R502 en ésta condición y la válvula de expansión necesitará ser revisada. Al hacer la reconversión de un sistema en donde la capacidad del sustituto excede la del refrigerante reemplazado por más de 10%, se podrá requerir del reajuste de la válvula de expansión. Debido a diferencias en relaciones de temperatura/presión, se debe verificar siempre cualquier posible sobrecalentamiento, antes y después de la reconversión.

Verificar con anterioridad que el funcionamiento inicial del sistema sea conocido y hacerlo posteriormente para asegurar el funcionamiento adecuado del mismo.

Al usar un refrigerante con un diferencial de temperatura, siempre deben usarse las tablas de vapor saturado para el ajuste de sobrecalentamiento. Las gráficas de presión de temperatura proveen las propiedades del vapor saturado a menos de 50°F, para mezclas con un diferencial. Más arriba de 50°F, las presiones mencionadas son para líquido saturado y son útiles para calcular el subenfriamiento. El método de dos temperaturas para ajustar el sobrecalentamiento

no es recomendable, debido al efecto de la caída de presión en el evaporador o al efecto del diferencial de temperatura.

b. Los Solenoides y Reguladores

Si una reconversión involucra el uso de un refrigerante a más alta presión que el original, al ser reacondicionado, el sistema puede operar a diferenciales de más alta presión. Los diferenciales máximos de presión de operación de las válvulas solenoides en un sistema reconvertido no deberán excederse, pero en general esto no debe ser una preocupación. Un sistema R-502 que opera a -30°F (9.2 psig) evaporador y 110°F condensación (247.9 psig) tiene un sistema de presión diferencial de 238.7 psig. Comparativamente el R507 (AZ-50) a -30 (11.1 psig)/110 (280.6 psig) tiene un diferencial de sistema de 269.5 psig lo cual es un incremento de 30.8 psig sobre el R502. Cuando los sistemas están operando a temperaturas de alta condensación, se debe asegurar que los solenoides en el sistema tienen suficiente MOPD para los diferenciales de presión del sistema reconvertido.

El ajuste de válvulas operadas por piloto que requieren de un diferencial de presión para operar se verá afectado por los diferenciales de capacidad del refrigerante, por lo tanto, es necesario asegurarse que los solenoides operados por piloto funcionan bajo las nuevas condiciones.

c. Reguladores y Controles de Presión

Debido a las diferencias de presión entre los refrigerantes, se necesitará hacer ajuste de los instrumentos que responden a la presión. Por ejemplo, un regulador ajustado para mantener a 22°F evaporador sobre R-12 será ajustado a una presión de 22.4 psic, pero con el R-134A este mismo regulador necesitará ser ajustado a 19.9 psic para producir la misma temperatura evaporador.

En los controles de alta presión se presentarán diferencias más grandes en el punto fijo que aquellas experimentadas a bajas presiones. Un R-502 de control de presión ajustado para abrir a 130°F temperatura de condensación tendrá un punto fijo de presión de 321 psig. Un R-402a (HP80) control de presión ajustado para los mismos 130°F temperatura de condensación tendrá un punto fijo de 377 psic, lo cual es un incremento de 56 psi.

Los reguladores con un punto fijo controlan a una presión establecida cualquiera que sea el refrigerante, por lo tanto la temperatura de condensación cambiará cuando se reconvierta un refrigerante de sistema.

3. Visor / Indicador de Humedad

Los indicadores de humedad y visores que están disponibles actualmente pueden ser usados con los nuevos refrigerantes y lubricantes. Sin embargo, el indicador de humedad estará incorrecto. El nivel real de humedad del aceite poliol ester va a ser más alto de lo que especifica

el visor. El visor / indicador de humedad deben ser usados sólo como un visor y el sistema debe ser monitoreado con mucho cuidado para determinar si hay humedad en el sistema.

Las muestras de aceite deben tomarse del sistema y deben analizarse en un laboratorio independiente para determinar su nivel de humedad verdadero. Este es un resultado de la diferencia en los niveles de saturación de humedad para los diferentes refrigerantes. Como un ejemplo, el R-134 A a 70°F puede disolver aproximadamente tres veces más humedad que el R-12 a la misma temperatura. Ya que los cambios de color en los indicadores de humedad son una función de la humedad relativa, se necesitan niveles de humedad substancialmente altos para lograr un cambio de color específico. Los fabricantes de los indicadores de humedad han publicado lineamientos para los niveles de cambio de color por humedad. Se debe establecer comunicación con los fabricantes para obtener información específica de cada refrigerante.

4. Aparato de Control de Líquidos

El aparato para control de líquidos o el aparato medidor puede ser un tubo capilar o una válvula de expansión termal. El propósito del aparato de control de líquidos es controlar el flujo del refrigerante al evaporador. El aparato de control de líquidos no deberá ser cambiado cuando se hace la reconversión a un sistema R-502 con un R-402 A, un R-404 A o un R-507. La capacidad del aparato de control de líquidos es virtualmente la misma.

Mientras que a la mayoría de sistemas puede hacerse una reconversión sin cambiar el líquido del aparato, será necesario ajustar la válvula de sobrecalentamiento o la carga del sistema. Los sistemas que usan válvulas de expansión todavía requieren una columna sólida de refrigerante líquido en la entrada de ésta.

5. Filtros-Secantes

Los sistemas reconvertidos con alcalino benceno o poliol ester (POE) tienden a circular contaminantes sólidos a mayor grado que el aceite mineral

Los filtros y los secantes de filtro removerán éstos a un mayor grado. Los sistemas que funcionan con aceite mineral depositan los contaminantes sólidos a través de un sistema, mientras que el poliol ester y alcalino benceno removerán estos depósitos y llevarán las partículas sólidas en suspensión a través del sistema. La filtración juega un rol mayor en la presencia de lubricantes alternativos.

Debido a la naturaleza higroscópica de los aceites POE, es crítico llevar a cabo la remoción de humedad. Los secantes deben ser reemplazos cuando se cambia el aceite o el refrigerante y cuando los sistemas se abren a la atmósfera.

Si no se logran mantener los niveles de humedad a los niveles recomendados por los fabricantes del compresor puede resultar una formación de hielo en los instrumentos de expansión o en la generación de ácidos dentro del sistema refrigerante.

a. Lubricantes Polioli Ester (POE)

Recientemente se ha afirmado que para los refrigerantes alternativos se deben tener secantes 100% moleculares. Los resultados de las pruebas muestran que los nuevos lubricantes POE se descompondrán para formar ácidos a una humedad en el refrigerante de 75ppm. Los secantes con el 100% de cedazo molecular ciertamente mantendrán los contenidos de humedad bajo esa cifra, sin embargo es prácticamente imposible mantener este nivel de humedad durante el arrancado y cuando el secador se satura. Se han hecho pruebas que muestran que una vez que el ácido se forma no puede ser absorbido por el cedazo molecular, mientras que el alumina activado tiene una alta capacidad para estos ácidos. La primera prioridad de los secantes para los refrigerantes alternativos deberá ser mantener un bajo contenido de humedad en el sistema, pero también tiene que tener la capacidad de absorber los ácidos creados cuando el contenido de humedad es alto.

VI. ESTUDIO TÉCNICO

La selección y aprobación de un refrigerante aceptable a largo plazo es una tarea complicada y toma mucho tiempo. Muchos factores tienen que ser tomados en consideración. Asuntos como las siempre cambiantes leyes del medio ambiente, la inminente salida del mercado de los CFC y la disponibilidad de refrigerantes alternativos, son tan solo algunos de los asuntos que deben ser tomados en consideración, por lo que se recomiendan los siguientes criterios claves al evaluar y seleccionar refrigerantes:

A. Medio Ambiente

Ambientalmente, los candidatos deben tener cero o bajo potencial de destrucción de ozono. El calentamiento global debe ser revisado desde el punto de vista del equivalente total del impacto de calentamiento (TEWI). De ahí, el calentamiento global directo combinado con el indirecto que varía con la eficiencia de la energía debe ser menor que el refrigerante reemplazado.

De las propiedades físicas de los refrigerantes de reemplazo, podemos formar la siguiente tabla comparativa. Para efectos de nuestro estudio no tomaremos el TEWI ya que no se cuenta con los datos necesarios para determinar éste. Por lo tanto se compararán los potenciales de calentamiento global directo (GWP).

Tabla No. 9. Comparación del potencial de agotamiento de la capa de ozono y del potencial de calentamiento global del R502 con sus reemplazos

REFRIGERANTE	ODP	GWP
R502	0.307	5.494
R402A	0.2	2.25
R402B	0.3	1.964
R408A	0.26	2.649
R404A	0	3.26
R507	0	3.3

Se puede observar que todos los refrigerantes de reemplazo cumplen con disminuir los potenciales de agotamiento del ozono y calentamiento global, por lo que cualquiera de nuestras cinco opciones pueden ser utilizadas.

B. Seguridad

La seguridad debe mantenerse. Los nuevos refrigerantes no deben ser tóxicos. Se requiere que el AEL o TLV (Límite de exposición aceptable) sea mayor a 400ppm y no inflamable.

La clasificación ASHRAE mide tanto la inflamación como la toxicidad (Ver sección sobre Inflamabilidad y Explosividad). Un refrigerante al ser no tóxico y no inflamable lleva la clasificación A1.

Tabla No. 10. Comparación del Límite de exposición aceptable (AEL) y de la Clasificación ASHRAE del R-502 con sus reemplazos.

REFRIGERANTE	AEL (PPM)	CLASIFICACIÓN ASHRAE
R502	1000	A1/A1
R402A	1000	A1/A1
R402B	1000	A1/A1
R408A	1000	A1/A1
R404A	1000	A1/A1
R507	1000	A1/A1

Se observa que ninguna de las variables cambia. El límite de exposición aceptable es mayor a 400 ppm y la clasificación ASHRAE indica que no se corre peligro por inflamabilidad, ni por toxicidad. Por lo tanto cualquier opción es buena.

C. Costo y Disponibilidad

Una de las características requeridas de un refrigerante es que exista disponibilidad y su costo sea accesible.

En el año 2006 se reducirá en gran escala la disponibilidad del R-502, ya que estará prohibida su importación y consumo y sus costos no serán rentables ya que su disponibilidad será cada vez más escasa.

Los refrigerantes HCFC estarán disponibles hasta el 2015 y su costo es cada vez más rentable. Como los HFC no contienen cloro no tienen fecha de salida, por lo que su disponibilidad al momento es ilimitada y sus precios al igual que los HCFC se hacen cada vez más bajos.

Si se toma en cuenta el factor de costo y disponibilidad, se descartará la opción de utilizar el R-502 hasta que se acabe, ya que se desea tener la mayor disponibilidad del refrigerante.

D. Temperatura de descarga

Asuntos de confiabilidad requieren que la temperatura de descarga del compresor no sea mayor que la temperatura del refrigerante al que reemplaza.

De la tabla No. 7. (Qué esperar después de una reconversión), se puede extraer el siguiente cuadro comparativo

Tabla No. 11. Aumento o Descenso de la Temperatura de Descarga después de la Reconversión

REFRIGERANTE	TEMPERATURA DE DESCARGA (°F)
R402A	-5
R402B	+15
R408A	+20
R404A	-10
R507	-10

* El - ó + indica disminuye o aumenta respectivamente

Se observa que los únicos refrigerantes que no aumentan la temperatura de descarga son los R402A, R404A, y R507. En las siguientes secciones solo se analizarán estos 3 refrigerantes de reemplazo ya que se desea la mayor confiabilidad posible.

E. Lubricantes

Es deseable que los lubricantes trabajen con la tecnología actual de control de aceite, que cumplan o mejoren los requerimientos actuales de durabilidad, y que sean compatibles a la inversa con sistemas de aceite mineral.

Tabla No. 12. Comparación de lubricantes a utilizar con R-502 y con sus alternativos

REFRIGERANTE	LUBRICANTE
R502	Aceite Mineral, Alcalino Benceno o Poliol Ester
R402A	Alcalino Benceno
R404A	Poliol Ester
R507	Poliol Ester

En el marco teórico se observó que ambos el aceite alcalino benceno como el poliol ester son compatibles a la inversa con el aceite mineral (actual lubricante del sistema)

Debe de mantenerse la compatibilidad del material entre los nuevos refrigerantes, lubricantes y materiales de construcción en el compresor y componentes del sistema. Como se

vio en el estudio teórico el R402A, R404A y R507 son compatibles con los componentes del sistema a excepción de los compresores construidos antes de 1973 el cual no es el caso.

F. Funcionamiento y Capacidad

El funcionamiento de los nuevos refrigerantes debería ser muy similar a los refrigerantes a los cuales reemplazan. El R502 para refrigeración a temperaturas bajas y medianas, el R12 para aplicación en temperaturas medianas y altas y HCFC22 para temperaturas altas de aire acondicionado.

Todos los refrigerantes de reemplazo tienen un funcionamiento muy similar al del R-502 para temperaturas de evaporación de hasta -40°C . La temperatura de evaporación del sistema a estudiar es de -30°C .

Al observar de nuevo la tabla No. 7 (Qué esperar después de la reconversión) se puede determinar que de los 3 refrigerantes que están en consideración sólo uno aumenta la capacidad de refrigeración y éste es el R402A. De aquí que la opción No. 1 (técnicamente hablando) es el R402A, el cual es un HCFC. Las opciones del R404A y R507 todavía no quedan descartadas ya que éstas no disminuyen la capacidad del sistema, sino que la mantienen, por lo tanto, estos dos refrigerantes serán las opciones 2 y 3.

Tabla No. 13. Comparación del Aumento o Descenso de la Capacidad de Refrigeración para los Refrigerantes Alternativos al R-502.

REFRIGERANTE	CAP. DE REFRIGERACIÓN (%)
R402A	+15
R404A	Misma
R507	Misma

* El - ó + indica disminuye o aumenta respectivamente

G. ¿Cuál es la edad y la condición en que se encuentra el equipo?

La unidad tiene 10 años de estar en uso y se encuentra en buenas condiciones, ya que se le ha dado mantenimiento de una manera continua. Se espera que la unidad trabaje de 15 a 20 años más.

En Guatemala quedará prohibida la importación y consumo de HCFC después del año 2015 y la vida útil del equipo se espera será hasta el 2017. La opción de hacer la reconversión a un HCFC todavía es viable, ya que en esas fechas lo más rentable para la empresa será cambiar el equipo, debido a que la confiabilidad y capacidad de éste se verá seriamente afectada por su edad.

H. Diferencial de Temperaturas

Al comparar el diferencial de temperaturas se puede formar la siguiente tabla comparativa

Tabla No. 14. Comparación de diferenciales de temperatura

REFRIGERANTE	DIFERENCIAL DE TEMPERATURA
R402A	2.5
R404A	1.5
R507	0

El R507 por ser un azeótropo no tiene diferencial de temperatura. Esta característica lo pone por encima del R404A. El R402A sigue siendo la opción número uno, ya que si se toman todas las precauciones necesarias para cargar el sistema, éste no debería causar problemas.

I. Reconversión de Accesorios

Ya que los nuevos refrigerantes no son idénticos a los que se están reemplazando y éstos tienen presiones más altas, todos los controles y válvulas de presión deberán ser ajustadas o cambiadas.

1. Válvula de Expansión

No se posee manual del sistema, pero se sabe que esta válvula es no ajustable. Al momento de decidirse el cambio por un refrigerante alternativo, la válvula deberá ser cambiada según los nuevos requerimientos.

2. Válvula Solenoide

Como se vio en el marco teórico (sección 18.2.2), para sistemas que usan R502 no se debe cambiar la válvula solenoide, ya que el diferencial máximo de presión de operación es mínimo. Además, esta válvula es de uso eléctrico y no de control de presión, por lo que no debería afectar.

3. Reguladores y Controles de Presión

Los presiostatos deberán ser ajustados de acuerdo a los requerimientos del nuevo refrigerante.

4. Válvulas de Paso

Existen dos válvulas de paso, una de cada lado del filtro (ver figura 1). La primera válvula con una capacidad de hasta 500 psi. La presión máxima del sistema con R502 es de 250 psi, lo más que incrementará la presión de succión en el sistema (según tabla # 6) es 40 psi, de lo que se deduce que dicha válvula no deberá cambiarse.

Para la segunda válvula no se tiene ningún dato, por lo tanto, por seguridad debería cambiarse.

5. Filtro

Al convertir un sistema a alquilbencenos o poliol ester se debe cambiar el filtro (ver sección 18.5), por lo que se considerará el cambio de dicho accesorio.

VII. ESTUDIO ECONÓMICO

A. Costos de Reconversión

Aunque técnicamente la opción número uno es el R402A, también se estudiarán las otras dos opciones de mayor conveniencia técnica, el R507 y R404A.

A continuación se estudiará qué tan caros son los costos de reconversión para las tres opciones restantes.

Para estos cálculos se necesita primero que todo establecer cuál es el tamaño de carga tanto del lubricante como del refrigerante.

Tabla No. 15. *Tamaño de Carga para el Lubricante y el Refrigerante del Equipo*

DESCRIPCIÓN	TAMAÑO DE CARGA
Refrigerante	35 libras
Lubricante	2 galones

Los costos incluirán:

- Mano de obra
- Costo del refrigerante
- Costo del lubricante
- Costo del filtro

Estos costos serán promedio, ya que éstos varían de acuerdo al proveedor y a sus especificaciones.

La mano de obra incluirá:

- Recuperación del refrigerante
- Cambio de filtro
- Recuperación del aceite
- Limpieza del separador de aceite
- Limpieza de tubería
- Carga de refrigerante
- Carga de lubricante
- Ajuste de presiostatos y válvulas de presión

Los costos se examinarán con precios actuales. Estos costos no se proyectarán y se trabajarán en dólares ya que se calcula que siempre tenderán a la misma proporción el uno del otro.

1. Costo de Reconversión para el R402A

Se debe tomar en cuenta que para llevar a cabo esta reconversión se debe cambiar de aceite mineral a alquilbenceno. Para llevar a cabo éste procedimiento sólo se necesitará un cambio de aceite.

Tabla No. 16. Costo de Reconversión para el R402A

DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO	TAMAÑO DE CARGA	COSTO TOTAL
Mano de obra			\$500
Costo de lubricante AB (1 cambio) (gal)	\$30	2	\$60
Costo del refrigerante (lb)	\$11.69	35	\$409.15
Costo del filtro	\$30		\$30
Costo de válvula de expansión	\$65		\$65
Costo de válvula de paso	\$20		\$20
Total			\$1084.15

2. Costo de Reconversión para el R404A

El R404 A es un HFC, por lo que utiliza únicamente aceite poliol ester. Para llevar a cabo la reconversión se deberán elaborar por lo menos tres cambios de aceite, lo que subirá el costo del lubricante y de la mano de obra.

Tabla No. 17. Costo de Reconversión para el R404A

DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO	TAMAÑO DE CARGA	COSTO TOTAL
Mano de obra			\$650
Costo de lubricante POE (3 cambios) (gal)	\$80	2	\$480
Costo del refrigerante (lb)	\$9.38	35	\$328.30
Costo del filtro	\$30		\$30
Costo de válvula de expansión	\$65		\$65
Costo de válvula de paso	\$20		\$20
Total			\$1573.30

3. Costo de Reconversión para el R507

El R507 al igual que el R404A es un HFC, lo que significa que también se deberán hacer tres cambios de aceite poliol ester.

Tabla No. 18. Costo de Reconversión para el R507A

DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO	TAMAÑO DE CARGA	COSTO TOTAL
Mano de obra			\$650
Costo de lubricante POE (3 cambios) (gal)	\$80	2	\$480
Costo del refrigerante (lb)	\$6.88	35	\$240.80
Costo del filtro	\$30		\$30
Costo de válvula de expansión	\$65		\$65
Costo de válvula de paso	\$20		\$20
Total			\$1485.80

En el estudio teórico se indicó que el costo de convertir a un HFC es mayor que a un HCFC. Esta aseveración se comprueba al observar que el menor costo de reconversión lo tiene el R402A. Por lo tanto este refrigerante será la opción a tomar tanto técnica como económicamente.

Tabla No. 19. Comparación de Costos de Reconversión de los distintos Refrigerantes Alternativos Estudiados

REFRIGERANTE	COSTO DE RECONVERSIÓN
R-402A	\$ 1084.15
R404A	\$ 1573.30
R507	\$ 1485.80

B. Momento Óptimo para el cambio de refrigerante R-502 a R402A

Al investigar los costos anteriores del R502 y del R402A, se observa que los precios del R502 están subiendo y continuarán así, ya que cada vez se produce en menor cantidad. Los precios del R402A están bajando y esto es porque se están produciendo en mayor cantidad, ya que es utilizado para la reconversión de todos los equipos R502. La tabla a continuación muestra los precios históricos y actuales del R502, así como el del R402A.

Tabla No. 20. Precios históricos y actuales del R-502 y R402A por libra

SEMESTRE	AÑO	R-502	R-402A
2	1995	\$ 5.44	\$ 20.00
1	1996		
2	1996		
1	1997	\$ 5.99	
2	1997		
1	1998		\$ 16.29
2	1998	\$ 6.47	
1	1999		
2	1999	\$ 6.88	
1	2000		
2	2000		
1	2001		\$ 13.00
2	2001	\$ 8.02	
1	2002	\$ 8.23	\$ 11.69

A partir de estos datos se sacó una regresión lineal para cada refrigerante. Las ecuaciones que mejor encajaban el comportamiento son las siguientes:

$$y = 4.7526e^{0.0321x} \text{ para el R-502 y}$$

$$y = 23.526e^{-0.0405x} \text{ para el R402A.}$$

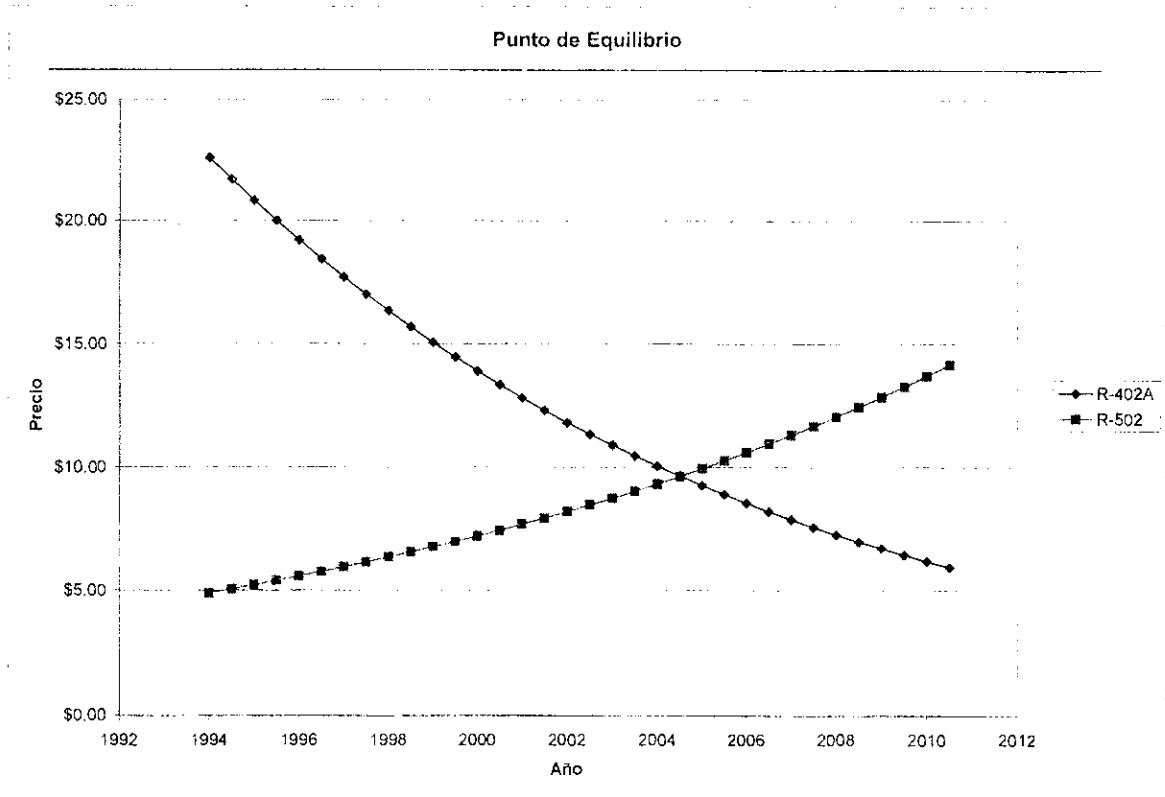
Luego con estas ecuaciones se sacó una proyección para futuros años.

Tabla No. 21. Proyección de precios del R-502 y del R402A

SEMESTRE	AÑO	R-402A	R-502
2	1995	\$20.01	\$5.40
1	1996	\$19.21	\$5.58
2	1996	\$18.45	\$5.76
1	1997	\$17.72	\$5.95
2	1997	\$17.02	\$6.14
1	1998	\$16.34	\$6.34
2	1998	\$15.69	\$6.55
1	1999	\$15.07	\$6.77
2	1999	\$14.47	\$6.99
1	2000	\$13.90	\$7.21
2	2000	\$13.34	\$7.45
1	2001	\$12.81	\$7.69
2	2001	\$12.31	\$7.94
1	2002	\$11.82	\$8.20
2	2002	\$11.35	\$8.47
1	2003	\$10.90	\$8.75
2	2003	\$10.47	\$9.03
1	2004	\$10.05	\$9.33
2	2004	\$9.65	\$9.63
1	2005	\$9.27	\$9.94
2	2005	\$8.90	\$10.27
1	2006	\$8.55	\$10.60
2	2006	\$8.21	\$10.95
1	2007	\$7.88	\$11.31
2	2007	\$7.57	\$11.68
1	2008	\$7.27	\$12.06
2	2008	\$6.98	\$12.45
1	2009	\$6.70	\$12.86
2	2009	\$6.44	\$13.28
1	2010	\$6.18	\$13.71
2	2010	\$5.94	\$14.16

El paso a seguir es graficar los puntos proyectados y observar el punto de equilibrio.

Grafica No. 1: Punto de Equilibrio del R-502 y el R-402A



El punto de equilibrio se encuentra en el año 2004.5. Esto significa que el momento óptimo para el cambio de refrigerante R-502 a R402A es el segundo semestre del 2004. El precio proyectado de ambos refrigerantes será de \$9.63.

VIII. CONCLUSIONES

- Técnica y económicamente la mejor opción es cambiar el refrigerante R-502 a HFC R402A durante el segundo semestre del 2004.
- Los lubricantes Poliol Ester son más caros que los Alquibencenos.
- El cambio a refrigerantes HFC resulta más caro debido al costo del lubricante poliol ester e incrementa más su costo porque deben hacerse varios cambios de este lubricante al momento de hacer la reconversión. Este trabajo aumenta también el costo de mano de obra, por lo que el costo de reconversión del HFC es sustancialmente mayor al de un HCFC.
- Los refrigerantes zeotrópicos o casi azeotrópicos se deben cargar en forma líquida, ya que su composición puede variar debido al fraccionamiento que sufren durante el cambio de fase.
- Los precios del refrigerante R-502 están aumentando debido a su poca disponibilidad
- Los precios del refrigerante R-402A están disminuyendo debido al incremento en su producción, ya que es utilizado para la reconversión de muchos sistemas R-502.
- Si se va a hacer una reconversión a un HCFC o HFC, es necesario cambiar el filtro y el lubricante.
- Los refrigerantes para reemplazo del R-502 son los HCFC R-402^a, R402B, R408A y los HFC R404^a y R507.
- Todos los refrigerantes de reemplazo para el R-502 tienen similar comportamiento.
- Los refrigerantes CFC son los que causan mayor destrucción de la capa de ozono y el calentamiento global. Los HCFC también contribuyen a la destrucción de la capa de ozono pero con un potencial de agotamiento de la capa sustancialmente menor al de los CFC. El calentamiento global también disminuye al cambiar de un refrigerante CFC a un HCFC
- Los HFC no destruyen la capa de ozono, aunque contribuyen al calentamiento global. Esto ocurre en menor grado que los CFC y HCFC.

- El aumento de las radiaciones ultravioletas es causa del cáncer de la piel, cataratas tanto en los seres humanos como en los animales, destrucción de las plantas y de la vida acuática.
- El aceite lubricante Polioliol ester tiene las ventajas de una mejor estabilidad termal, compatibilidad con todos los refrigerantes existentes, su viscosidad tiene menor variación con la temperatura que el aceite mineral y es altamente biodegradable, pero tiene la desventaja de ser altamente higroscópico lo cual hace delicado su manejo.
- Las características principales que deben considerarse en la selección de un refrigerante son las ambientales y de seguridad.
- Todos los refrigerantes HCFC y HFC tienen presiones más altas que los CFC.
- La temperatura de descarga del compresor debe ser la menor posible para reducir de este modo las reacciones químicas que ocurren al mezclarse el refrigerante con el lubricante y la humedad.
- Se prefiere que una fuga sea hacia fuera que hacia adentro, para que no entre humedad al sistema.
- El primer paso al empezar a hacer la reconversión es apuntar todos los datos pertinentes del funcionamiento con el refrigerante CFC, para tener una base del funcionamiento del sistema.
- El 1 de enero de 1996 quedaron eliminados (en países desarrollados) los CFC tales como el R11, 12 y 115. El R115 es un componente del CFC 502, por lo que a partir de esta fecha ya no se produce R502 en ningún país industrializado. Al disminuirse la oferta de este producto se produjo un incremento en su precio.
- En Guatemala la importación y consumo del R-502 quedará prohibida en el 2006. Sólo será posible usar R-502 como recarga por alguna pequeña fuga. Además el refrigerante tendrá para entonces tan poca disponibilidad que será muy caro hacer un servicio mayor al equipo con este producto.
- El 1 de enero del 2010 quedarán prohibidos los CFC. Esto significa que ya no se producirán, ni consumirán en ningún lugar del mundo.

- Para el 1 de enero de 2020 se tiene prevista la eliminación de HCFC en todos los países desarrollados. Ya no se producirán ni consumirán estos gases a excepción de países subdesarrollados los cuales tienen hasta el 1 de enero del 2040 para su eliminación total.
- El precio de los refrigerantes HCFC después del 2020 tenderá a subir, debido a que ya no serán producidos en países desarrollados, se piensa que tendrán el mismo comportamiento que los CFC hasta el momento
- En Guatemala según el decreto 110-97 quedará prohibida la importación y consumo de HCFC a partir del año 2015. Sólo se permitirá el uso de estos refrigerantes para servicios menores como recarga por fuga.
- Los refrigerantes HFC requieren por lo menos, un 95% de lubricante poliol ester. Para lograr un residuo menor a 5% de aceite mineral en el sistema debe llevarse a cabo una completa operación de eliminación de éstos.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Cengel, Yunus y Michael Boles. 1996. *Termodinámica. Tomo II*. Segunda edición. México. Mc. Graw-Hill Interamericana Editores, S,A, de C,V. 865 págs.
- Dossat, Roy. 1986. *Principios de Refrigeración*. Quinta Edición. México. Editorial Continental, S.A. de C.V. 594 págs.
- Plan de Manejo de Refrigerantes para Uruguay*. 2000. Comisión Técnica Gubernamental de Ozono. Montevideo. 142 págs.
- Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono*. 2000. Secretaría del Ozono. ONUN. Kenya. 51 págs.
- Refrigerant Reference Guide*. 2000. 3era edición. National Refrigerants Inc. USA. 231 págs.
- Refrigeration Equipment and Accessories*. 1999. United Refrigeration Inc. Philadelphia. 952 págs.
- Salvar la capa de ozono: cada acción cuenta*. 1996. Programa Acción Ozono. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Industria y Medio Ambiente (IMA/PNUMA). Francia. 48págs.

Internet

www.refrigerants.com

www.refron.com

www.ashrae.org

www.epa.gov

www.chinarefrigerant.com

www.dupont.com

www.salvadorescoda.com

www.gelphafred.com

www.uri.com

www.compresorescopeland.com

www.quimobasicos.com.mx

www.mereti.com

www.unep.ch

www.refrigerant-supply.com

www.integralsciences.com

www.roti.org

www.ansal.com.ar

www.copeland-corp.com

X. ANEXOS

A. Anexo 1

Tabla No. 22. Propiedades Físicas para R-402A, R-402B, R-408A, R-404A, R-507 y R-502

PROPIEDAD	R-402*	R-402B	R-408*	R-404*	R-507	R-502
Reemplaza a:	R-502	R-502	R-502	R-502, R-22	R-502, R-22	n/d
Composición	R22/R125/R290 36/60/2 wt%	R22/R125/R290 60/38/2 wt%	R22/R125/R143a 47/7/46 wt%	R125/R143a/R134a 44/52/4 wt%	R125/R143a 50/50 wt%	R22/R115 44.8/51.2 wt%
No. CAS	R22: 75-45-6 R125: 354-33-6 R290: 74-98-6	R22: 75-45-6 R125: 354-33-6 R290: 74-98-6	R22: 75-45-6 R125: 354-33-6 R143a: 420-46-2	R125: 354-33-6 R143a: 420-46-2 R134a: 811-97-2	R125: 354-33-6 R143a: 420-46-2	R22: 75-45-6 R115: 76-15-3
Peso Molecular	101.55	94.71	87	97.6	98.9	111.64
Pto. Ebullición a 1 atm, °F (°C)	56.5 (-49.2)	-53.2 (-47.4)	-46.3 (-43.5)	-51.6 (-46.5)	-52.1 (-46.7)	-49.8 (-45.4)
Densidad líquido a 77°F (25°C), lb/ft³ (kg/m³)	71.86 (1151)	72.14 (1156)	66.17 (1060)	65.45 (1048)	65.36 (1047)	75.95 (1217)
Presión de vapor del líquido sat. A 77°F (25°C), psia (kPa)	194 (1337)	181.9 (1254)	168.4 (1161)	182 (1255)	187 (1287)	168.6 (1162)
Capacidad calórica del líquido a 77°F (25°C), Btu/lb°F (kJ/kgK)	0.328 (1.37)	0.32 (1.34)	n/d	0.367 (1.54)	n/d	0.253 (1.23)
Capacidad calórica del vapor a 77°F (25°C), Btu/lb°F (kJ/kgK)	0.181 (0.758)	0.173 (0.724)	n/d	0.207 (0.867)	n/d	0.164 (0.687)
Conductividad térmica del líquido a 77°F (25°C), Btu/hr.ft°F (W/mK)	0.04 (0.0691)	0.0425 (0.0735)	n/d	0.0394 (0.0683)	n/d	0.0373 (0.0642)
Conductividad térmica del vapor a 1 atm (101.3kPa), Btu/hr.ft°F (W/mK)	0.00732 (0.01266)	0.00596 (0.01205)	n/d	0.00778 (0.01346)	n/d	0.0067 (0.0115)
Temperatura crítica, °F (°C)	167.9 (75.5)	180.7 (82.6)	182.3 (83.5)	161.7 (72.1)	159.6 (70.9)	179.9 (82.2)
Presión crítica, psia (kPa)	599.7 (4135)	644.8 (4445)	629.5 (4340)	541.2 (3732)	550 (3794)	591 (4075)
AEL/TLV, 8 o 12hr TWA ppm	1000	1000	1000	1000	1000	1000
GDP, CFC-12=1	0.02	0.03	0.026	0	0	0.307
GWP, CO ₂ =1	2.25	1964	2649	3260	3330	5494
Clasificación ASHRAE	A1/A1	A1/A1	A1/A1	A1/A1	A1/A1	A1/A1
Color del cilindro, Código PMS	461	385	248	021	326	251

Información proporcionada por DuPont

B. Anexo 2

Tabla No. 23. Propiedades Termodinámicas del R-502

TEMP (°F)	PRESION (PSIA)		DENSIDAD (LB/PIE ³)		ENTALPIA (BTU/LB)		ENTROPIA (BTU/R-LB)	
	LIQ	VAP	LIQ	VAP	LIQ	VAP	LIQ	VAP
-60	11.1	10.9	93.91	0.2941	-4.736	70.99	-0.01153	0.1781
-55	12.7	12.5	93.35	0.3342	-3.561	71.59	-0.00861	0.1772
-50	14.5	14.3	92.78	0.3786	-2.38	72.18	-0.00572	0.1764
-45	16.5	16.3	92.20	0.4273	-1.193	72.77	-0.00285	0.1756
-40	18.7	18.5	91.62	0.4808	0	73.36	0	0.1749
-35	21.1	20.9	91.04	0.5394	1.2	73.95	0.00283	0.1742
-30	23.7	23.5	90.45	0.6034	2.406	74.53	0.00564	0.1736
-25	26.6	26.4	89.85	0.6731	3.619	75.11	0.00843	0.173
-20	29.8	29.6	89.25	0.749	4.839	75.68	0.01121	0.1724
-15	33.2	33.0	88.64	0.8313	6.066	76.25	0.01397	0.1719
-10	37.0	36.8	88.03	0.9205	7.301	76.81	0.01671	0.1713
-5	41.0	40.8	87.40	1.017	8.544	77.37	0.01944	0.1709
0	45.4	45.2	86.78	1.121	9.795	77.92	0.02216	0.1704
5	50.1	50.0	86.14	1.2340	11.05	78.47	0.02486	0.1700
10	55.2	55.1	85.49	1.355	12.32	79.0	0.02755	0.1696
15	60.7	60.6	84.84	1.486	13.6	79.53	0.03023	0.1692
20	66.6	66.5	84.17	1.626	14.89	80.06	0.03290	0.1688
25	72.9	72.8	83.50	1.777	16.18	80.57	0.03556	0.1684
30	79.6	79.5	82.82	1.939	17.49	81.07	0.03821	0.1681
35	86.8	86.7	82.12	2.113	18.8	81.6	0.04085	0.1677
40	94.5	94.4	81.42	2.299	20.13	82.05	0.04348	0.1674
45	102.7	102.6	80.70	2.499	21.47	82.52	0.04611	0.1671
50	111.4	111.3	79.97	2.712	22.82	82.98	0.04874	0.1668
55	120.6	120.5	79.22	2.942	24.18	83.43	0.05135	0.1665
60	130.4	130.3	78.46	3.187	25.56	83.86	0.05397	0.1662
65	140.7	140.7	77.68	3.45	26.95	84.28	0.05658	0.1659
70	152	151.6	76.88	3.731	28.35	84.68	0.05920	0.1656
75	163	163	76.07	4.033	29.77	85.07	0.06181	0.1652
80	176	175	75.23	4.357	31.2	85.43	0.06442	0.1649
85	188	188	74.37	4.705	32.66	85.78	0.06704	0.1646
90	202	202	73.49	5.079	34.13	86.1	0.06967	0.1642
95	216	216	72.58	5.481	35.62	86.4	0.0723	0.1639
100	231	231	71.64	5.914	37.13	86.67	0.07495	0.1635
105	247	247	70.66	6.382	38.67	86.91	0.07761	0.163
110	264	264	69.65	6.889	40.23	87.11	0.08029	0.1626
115	281	281	68.59	7.438	41.82	87.28	0.08298	0.1621
120	299	299	67.48	8.037	43.44	87.41	0.08571	0.1616
125	318	318	66.32	8.692	45.1	87.49	0.08847	0.1610
130	339	339	65.08	9.412	46.8	87.51	0.09127	0.1603
135	360	360	63.77	10.21	48.55	87.47	0.09412	0.1596
140	381	381	62.36	11.1	50.36	87.35	0.09704	0.1587

Información proporcionada por National Refrigerants Inc.

C. Anexo 3

Tabla No. 24. Propiedades Termodinámicas del R-402A

TEMP (°F)	PRESION (PSIA)		DENSIDAD (LB/PIE ³)		ENTALPIA (BTU/LB)		ENTROPIA (BTU/R-LB)	
	LIQ	VAP	LIQ	VAP	LIQ	VAP	LIQ	VAP
-60	13.4	12.0	89.70	0.2946	-5.41	78.16	-0.01316	0.1968
-55	15.3	13.8	89.14	0.3355	-4.067	78.80	-0.00983	0.1958
-50	17.4	15.8	88.58	0.3807	-2.718	79.45	-0.00653	0.1948
-45	19.8	18.0	88.01	0.4305	-1.362	80.09	-0.00325	0.1939
-40	22.3	20.5	87.44	0.4854	0.	80.73	0.0	0.1931
-35	25.2	23.2	86.86	0.5455	1.369	81.37	0.00323	0.1923
-30	28.3	26.1	86.28	0.6113	2.746	82.0	0.00644	0.1915
-25	31.7	29.4	85.69	0.6832	4.13	82.62	0.00962	0.1908
-20	35.4	32.9	85.09	0.7615	5.522	83.24	0.01279	0.1901
-15	39.4	36.8	84.48	0.8467	6.923	83.85	0.01594	0.1895
-10	43.8	41.0	83.87	0.9392	8.331	84.46	0.01906	0.1889
-5	48.6	45.6	83.25	1.039	9.749	85.06	0.02218	0.1883
0	53.7	50.6	82.62	1.148	11.18	85.65	0.02527	0.1878
5	59.2	56.0	81.99	1.2650	12.61	86.23	0.02835	0.1873
10	65.2	61.7	81.34	1.392	14.06	86.8	0.03142	0.1868
15	71.6	68.0	80.68	1.528	15.52	87.37	0.03448	0.1863
20	78.4	74.7	80.02	1.675	16.98	87.93	0.03752	0.1858
25	85.8	81.8	79.34	1.834	18.46	88.48	0.04055	0.1854
30	93.6	89.5	78.65	2.004	19.95	89.01	0.04357	0.185
35	102.0	97.7	77.95	2.187	21.46	89.5	0.04659	0.1846
40	110.9	106.4	77.24	2.383	22.97	90.05	0.04959	0.1842
45	120.3	115.8	76.51	2.595	24.5	90.54	0.05259	0.1838
50	130.4	125.7	75.76	2.821	26.04	91.02	0.05559	0.1834
55	141.1	136.2	75.00	3.065	27.6	91.49	0.05858	0.183
60	152.4	147.4	74.23	3.326	29.18	91.94	0.06157	0.1826
65	164.4	159.2	73.43	3.607	30.77	92.37	0.06456	0.1822
70	177	171.8	72.61	3.909	32.38	92.78	0.06755	0.1818
75	191	185	71.78	4.233	34.0	93.17	0.07054	0.1814
80	205	199	70.91	4.583	35.65	93.54	0.07354	0.181
85	220	214	70.02	4.959	37.32	93.88	0.07654	0.1806
90	235	229	69.10	5.366	39.01	94.19	0.07956	0.1801
95	252	246	68.15	5.805	40.73	94.47	0.08259	0.1797
100	269	263	67.17	6.281	42.48	94.71	0.08564	0.1791
105	287	281	66.14	6.799	44.25	94.91	0.08871	0.1786
110	306	300	65.06	7.362	46.07	95.07	0.09181	0.178
115	326	320	63.93	7.979	47.92	95.18	0.09494	0.1773
120	347	341	62.74	8.658	49.81	95.22	0.09812	0.1766
125	370	363	61.48	9.408	51.76	95.2	0.1013	0.1758
130	393	387	60.13	10.25	53.76	95.09	0.1046	0.1748
135	417	411	58.67	11.19	55.84	94.88	0.108	0.1738
140	442	436	57.07	12.26	58.01	94.55	0.1115	0.1725

Información proporcionada por National Refrigerants Inc.

D. Anexo 4

Tabla No. 25. Propiedades Termodinámicas del R-402B

TEMP (°F)	PRESION (PSIA)		DENSIDAD (LB/PIE ³)		ENTALPIA (BTU/LB)		ENTROPIA (BTU/R-LB)	
	LIQ	VAP	LIQ	VAP	LIQ	VAP	LIQ	VAP
-60	12.2	10.8	88.76	0.2454	-5.366	85.51	-0.01306	0.2154
-55	13.9	12.4	88.23	0.2798	-4.033	86.14	-0.00975	0.2141
-50	15.9	14.2	87.70	0.3178	-2.694	86.76	-0.00647	0.2129
-45	18.0	16.2	87.16	0.3598	-1.35	87.38	-0.00322	0.2117
-40	20.4	18.5	86.62	0.4061	0	87.99	0.0	0.2106
-35	23.0	20.9	86.07	0.4568	1.356	88.61	0.00320	0.2095
-30	25.9	23.6	85.52	0.5124	2.719	89.21	0.00638	0.2085
-25	29.1	26.6	84.96	0.5731	4.089	89.81	0.00953	0.2075
-20	32.5	29.9	84.40	0.6392	5.466	90.4	0.01266	0.2066
-15	36.2	33.4	83.83	0.7112	6.85	90.99	0.01577	0.2057
-10	40.3	37.3	83.25	0.7894	8.242	91.57	0.01887	0.2049
-5	44.7	41.5	82.67	0.8742	9.643	92.15	0.02194	0.2041
0	49.5	46.1	82.08	0.9659	11.05	92.71	0.02500	0.2033
5	54.7	51.1	81.48	1.0650	12.47	93.27	0.02804	0.2025
10	60.2	56.4	80.88	1.172	13.89	93.8	0.03107	0.2018
15	66.2	62.2	80.26	1.287	15.33	94.36	0.03408	0.2011
20	72.6	68.3	79.64	1.412	16.78	94.89	0.03708	0.2005
25	79.4	75.0	79.01	1.545	18.23	95.41	0.04006	0.1998
30	86.7	82.1	78.37	1.689	19.7	95.92	0.04304	0.1992
35	94.6	89.7	77.72	2.843	21.18	96.4	0.04600	0.1986
40	102.9	97.8	77.05	2.008	22.67	96.91	0.04896	0.198
45	111.8	106.5	76.38	2.186	24.17	97.38	0.05191	0.1974
50	121.2	115.7	75.69	2.376	25.68	97.84	0.05485	0.1968
55	131.2	125.5	74.99	2.58	27.21	98.29	0.05778	0.1963
60	141.9	136.0	74.28	2.798	28.75	98.71	0.06071	0.1957
65	153.1	147.0	73.55	3.032	30.31	99.13	0.06364	0.1952
70	165	158.7	72.81	3.283	31.88	99.52	0.06657	0.1946
75	178	171	72.05	3.552	33.47	99.89	0.06949	0.194
80	191	184	71.27	3.84	35.08	100.2	0.07242	0.1935
85	205	198	70.47	4.149	36.7	100.6	0.07535	0.1929
90	220	213	69.64	4.482	38.35	100.9	0.07828	0.1923
95	235	228	68.80	4.839	40.01	101.2	0.08123	0.1917
100	251	244	67.92	5.224	41.7	101.4	0.08418	0.1911
105	268	261	67.02	5.638	43.42	101.6	0.08715	0.1904
110	286	279	66.08	6.086	45.16	101.8	0.09013	0.1898
115	305	297	65.11	6.572	46.94	101.9	0.09314	0.1891
120	325	317	64.09	7.099	48.74	102.0	0.09617	0.1883
125	346	338	63.03	7.674	50.59	102.1	0.09924	0.1875
130	367	359	61.91	8.303	52.48	102.1	0.1024	0.1866
135	390	382	60.73	8.996	54.42	102.0	0.1055	0.1856
140	414	406	59.47	9.764	56.41	101.8	0.1087	0.1846

Información proporcionada por National Refrigerants Inc.

E. Anexo 5

Tabla No. 26. Propiedades Termodinámicas del R-408A

TEMP (°F)	PRESION (PSIA)		DENSIDAD (LB/PIE ³)		ENTALPIA (BTU/LB)		ENTROPIA (BTU/R-LB)	
	LIQ	VAP	LIQ	VAP	LIQ	VAP	LIQ	VAP
-60	11.2	10.9	81.7	0.288	-5.734	92.47	-0.01396	0.232
-55	12.8	12.5	81.21	0.2604	-4.311	93.14	-0.01043	0.2306
-50	14.6	14.3	80.72	0.2954	-2.881	93.79	-0.00692	0.2293
-45	16.7	16.3	80.22	0.3339	-1.444	94.45	-0.00345	0.228
-40	18.9	18.5	79.72	0.3763	0	95.1	0.0	0.2268
-35	21.4	21.0	79.21	0.4228	1.451	95.74	0.00342	0.2257
-30	24.1	23.7	78.70	0.4736	2.91	96.38	0.00682	0.2246
-25	27.1	26.6	78.18	0.5291	4.376	97.01	0.01020	0.2235
-20	30.3	29.8	77.65	0.5896	5.851	97.64	0.01356	0.2225
-15	33.9	33.3	77.13	0.6554	7.334	98.26	0.01689	0.2215
-10	37.7	37.1	76.59	0.7268	8.826	98.87	0.02021	0.2206
-5	41.9	41.3	76.05	0.8042	10.33	99.47	0.02350	0.2197
0	46.4	45.8	75.50	0.8879	11.84	100.1	0.02678	0.2189
5	51.3	50.7	74.95	0.9784	13.36	100.7	0.03005	0.2181
10	56.6	55.9	74.39	1.076	14.89	101.2	0.03329	0.2173
15	62.3	61.5	73.82	1.181	16.43	101.8	0.03653	0.2165
20	68.4	67.6	73.24	1.295	17.98	102.4	0.03975	0.2158
25	74.9	74.1	72.65	1.416	19.54	102.9	0.04295	0.215
30	81.9	81.1	72.06	1.547	21.12	103.4	0.04615	0.2143
35	89.4	88.5	71.45	1.688	22.71	103.9	0.04934	0.2137
40	97.4	96.5	70.84	1.839	24.31	104.4	0.05251	0.213
45	105.9	104.9	70.21	2.001	25.92	104.9	0.05568	0.2124
50	115.0	113.9	69.58	2.175	27.55	105.4	0.05885	0.2117
55	124.6	123.5	68.93	2.361	29.19	105.9	0.06200	0.2111
60	134.8	133.7	68.26	2.561	30.85	106.3	0.06516	0.2105
65	145.6	144.5	67.59	2.775	32.52	106.7	0.06831	0.2098
70	157	155.9	66.90	3.005	34.22	107.1	0.07146	0.2092
75	169	168	66.19	3.251	35.93	107.5	0.07461	0.2086
80	182	181	65.46	3.515	37.66	107.9	0.07776	0.2079
85	195	194	64.72	3.799	39.41	108.2	0.08092	0.2073
90	210	208	63.95	4.104	41.18	108.5	0.08409	0.2066
95	225	223	63.16	4.433	42.98	108.8	0.08726	0.206
100	240	239	62.34	4.787	44.8	109.0	0.09045	0.2052
105	257	256	61.50	5.169	46.65	109.2	0.09365	0.2045
110	274	273	60.62	5.583	48.53	109.4	0.09688	0.2037
115	293	291	59.71	6.031	50.45	109.5	0.1001	0.2029
120	312	310	58.76	6.52	52.4	109.6	0.1034	0.2021
125	332	330	57.76	7.053	54.4	109.6	0.1067	0.2012
130	353	351	56.71	7.638	56.44	109.5	0.1101	0.2002
135	375	373	55.60	8.284	58.54	109.4	0.1137	0.1991
140	398	396	54.41	9.002	60.71	109.2	0.117	0.1979

Información proporcionada por National Refrigerants Inc.

F. Anexo 6

Tabla No. 27. Propiedades Termodinámicas del R-404A

TEMP (°F)	PRESION (PSIA)		DENSIDAD (LB/PIE ³)		ENTALPIA (BTU/LB)		ENTROPIA (BTU/R-LB)	
	LIQ	VAP	LIQ	VAP	LIQ	VAP	LIQ	VAP
-60	11.8	11.3	82.53	0.2671	-5.913	81.19	-0.01439	0.2041
-55	13.5	13.0	82.01	0.3044	-4.447	81.92	-0.01075	0.2032
-50	15.4	14.9	81.48	0.3457	-2.973	82.64	-0.00714	0.2023
-45	17.6	16.9	80.94	0.3913	-1.49	83.36	-0.00356	0.2015
-40	19.9	19.3	80.40	0.4414	0	84.08	0.0	0.2008
-35	22.5	21.8	79.86	0.4965	1.499	84.79	0.00354	0.2001
-30	25.4	24.6	79.31	0.5568	3.007	85.5	0.00705	0.1994
-25	28.5	27.7	78.75	0.6228	4.524	86.2	0.01054	0.1988
-20	31.9	31.0	78.19	0.6947	6.051	86.9	0.01402	0.1982
-15	35.6	34.7	77.62	0.773	7.587	87.59	0.01747	0.1977
-10	39.7	38.7	77.05	0.8582	9.133	88.28	0.02091	0.1972
-5	44.1	43.0	76.46	0.9506	10.69	88.95	0.02433	0.1967
0	48.8	47.7	75.87	1.051	12.26	89.62	0.02773	0.1963
5	54.0	52.8	75.27	1.1590	13.84	90.29	0.03112	0.1959
10	59.5	58.3	74.66	1.276	15.43	90.9	0.03449	0.1955
15	65.5	64.2	74.05	1.403	17.03	91.58	0.03785	0.1951
20	71.9	70.5	73.42	1.539	18.64	92.21	0.04120	0.1948
25	78.7	77.3	72.78	1.686	20.27	92.83	0.04454	0.1945
30	86.1	84.6	72.13	1.845	21.91	93.44	0.04787	0.1941
35	93.9	92.4	71.46	2.016	23.57	94.0	0.05120	0.1938
40	102.3	100.7	70.79	2.2	25.24	94.62	0.05451	0.1935
45	111.2	109.5	70.10	2.397	26.92	95.19	0.05782	0.1932
50	120.7	118.9	69.39	2.61	28.62	95.74	0.06113	0.193
55	130.7	128.9	68.67	2.839	30.34	96.28	0.06443	0.1927
60	141.4	139.6	67.93	3.086	32.08	96.8	0.06774	0.1924
65	152.8	150.8	67.16	3.352	33.84	97.29	0.07104	0.1921
70	165	162.8	66.38	3.638	35.62	97.76	0.07435	0.1918
75	177	175	65.58	3.947	37.42	98.21	0.07767	0.1915
80	191	189	64.75	4.281	39.24	98.63	0.08099	0.1911
85	205	203	63.89	4.642	41.09	99.03	0.08433	0.1908
90	220	218	62.99	5.033	42.97	99.39	0.08768	0.1904
95	236	233	62.07	5.458	44.87	99.71	0.09105	0.19
100	252	250	61.10	5.921	46.81	100	0.09444	0.1895
105	270	267	60.09	6.426	48.79	100.2	0.09786	0.189
110	288	286	59.03	6.981	50.81	100.4	0.1013	0.1884
115	307	305	57.91	7.592	52.88	100.5	0.1048	0.1878
120	327	325	56.73	8.271	54.99	100.6	0.1084	0.1870
125	348	346	55.46	9.029	57.18	100.5	0.112	0.1862
130	371	368	54.08	9.886	59.43	100.4	0.1157	0.1852
135	394	392	52.58	10.87	61.79	100.1	0.1196	0.1840
140	419	416	50.92	12.01	64.26	99.6	0.1236	0.1825
145	444	442	49.01	13.39	66.9	98.9	0.1278	0.1807
150	471	470	46.73	15.13	69.81	97.78	0.1324	0.1783
155	500	498	43.74	17.55	73.21	95.98	0.1378	0.1748

Información proporcionada por National Refrigerants Inc.

G. Anexo 7

Tabla No. 28. Propiedades Termodinámicas del R-507

TEMP (°F)	PRESION (PSIA)		DENSIDAD (LB/PIE ³)		ENTALPIA (BTU/LB)		ENTROPIA (BTU/R-LB)	
	LIQ	VAP	LIQ	VAP	LIQ	VAP	LIQ	VAP
-60	12.1	12.1	83.10	0.2899	-5.871	79.54	-0.01429	0.1994
-55	13.9	13.9	82.57	0.3298	-4.416	80.26	-0.01068	0.1986
-50	15.8	15.8	82.03	0.3738	-2.952	80.98	-0.00709	0.1978
-45	18.0	18.0	81.49	0.4223	-1.48	81.69	-0.00354	0.197
-40	20.4	20.4	80.94	0.4756	0	82.4	0.0	0.1964
-35	23.1	23.1	80.39	0.534	1.489	83.11	0.00351	0.1957
-30	26.0	26.0	79.83	0.598	2.987	83.81	0.00700	0.1951
-25	29.2	29.2	79.27	0.6678	4.494	84.51	0.01047	0.1946
-20	32.7	32.7	78.70	0.7439	6.01	85.2	0.01392	0.1940
-15	36.5	36.5	78.12	0.8267	7.537	85.88	0.01735	0.1935
-10	40.7	40.7	77.53	0.9166	9.073	86.56	0.02077	0.1931
-5	45.2	45.2	76.94	1.014	10.62	87.23	0.02417	0.1927
0	50.1	50.0	76.34	1.12	12.18	87.89	0.02755	0.1923
5	55.3	55.3	75.73	1.2340	13.75	88.55	0.03091	0.1919
10	61.0	60.9	75.11	1.357	15.33	89.2	0.03427	0.1915
15	67.1	67.0	74.48	1.491	16.92	89.83	0.03761	0.1912
20	73.6	73.6	73.84	1.634	18.52	90.45	0.04094	0.1909
25	80.6	80.6	73.18	1.789	20.14	91.07	0.04426	0.1906
30	88.1	88.1	72.52	1.956	21.77	91.67	0.04757	0.1903
35	96.1	96.1	71.84	2.136	23.42	92.3	0.05087	0.19
40	104.7	104.6	71.15	2.329	25.08	92.84	0.05417	0.1898
45	113.8	113.7	70.45	2.537	26.76	93.4	0.05746	0.1895
50	123.5	123.4	69.73	2.761	28.45	93.94	0.06075	0.1892
55	133.8	133.7	68.99	3.002	30.17	94.47	0.06404	0.189
60	144.7	144.6	68.23	3.262	31.9	94.97	0.06733	0.1887
65	156.3	156.1	67.45	3.541	33.65	95.46	0.07062	0.1884
70	169	168.3	66.65	3.843	35.42	95.92	0.07392	0.1882
75	182	181	65.82	4.169	37.21	96.36	0.07722	0.1879
80	195	195	64.97	4.521	39.03	96.77	0.08053	0.1875
85	210	209	64.08	4.902	40.87	97.15	0.08386	0.1872
90	225	225	63.17	5.315	42.75	97.5	0.0872	0.1868
95	241	241	62.21	5.764	44.65	97.8	0.09056	0.1864
100	258	258	61.21	6.255	46.59	98.07	0.09395	0.1859
105	276	276	60.17	6.792	48.57	98.28	0.09737	0.1854
110	294	294	59.07	7.382	50.59	98.43	0.1008	0.1848
115	314	314	57.91	8.035	52.66	98.52	0.1043	0.1842
120	334	334	56.67	8.762	54.79	98.53	0.1079	0.1834
125	356	356	55.34	9.58	56.98	98.44	0.1116	0.1825
130	379	379	53.89	10.51	59.26	98.24	0.1153	0.1814
135	403	403	52.29	11.59	61.64	97.87	0.1192	0.1801
140	428	428	50.50	12.86	64.17	97.3	0.1233	0.1785

Información proporcionada por National Refrigerants Inc.

H. Anexo 8

Tabla No. 29. Efecto del cambio de refrigerantes en la capacidad refrigerante y en los requerimientos de potencia de un modelo de compresor

TEMP EVAP °F	TEMP COND °F	R-12			R-22			R-502		
		Cap (Tons)	Flecha BHP	THR (Tons)	Cap (Tons)	Flecha BHP	THR (Tons)	Cap (Tons)	Flecha BHP	THR (Tons)
-40	80	2.50	7.01	3.5	No especificado			4.60	13.7	6.5
	100	2.00	8.2	3.0				3.60	14.1	5.6
	120	1.60	9.5	2.5				2.60	14.8	4.7
-30	80	3.76	9	4.8				6.30	16.4	9.6
	100	3.04	10	4.6				5.20	17.1	7.8
	120	2.40	11.4	4.4				4.10	18.3	6.9
-20	80	4.75	10.3	6.2				8.20	18.9	10.8
	100	4.10	11.4	5.6				7.10	20.2	10
	120	3.40	12.8	4.9				5.80	21.9	9.1
-10	80	6.40	11.4	8.1				10.8	21.1	13.7
	100	5.60	13.0	7.5				9.3	22.2	12.8
	120	4.70	14.7	6.7				7.9	24.8	11.8
0	80	8.40	12.8	10.2	13.0	20.4	15.9	14	23.2	17.4
	100	7.34	14.4	9.6	11.6	23.3	15.2	12	25.6	16
	120	6.30	16.7	9.6	9.8	26.6	13.6	10	28.7	14.4
10	80	10.6	13.9	12.9	16.4	21.2	19.4	17.7	25.0	21.8
	100	9.42	15.5	12.1	14.6	25.3	18.5	15.1	28.1	19.6
	120	8.16	17.9	11.3	12.7	29.6	17.1	12.7	31.6	17.8
	140	7.01	20.4	10.7	10.8	34.0	15.3	10.3	34.4	15.2
20	80	13.0	14.5	14.8	20.8	22.0	24.2	21.7	27.3	26.2
	100	11.8	17.2	14.3	18.5	27.2	23.0	18.7	30.5	24
	120	10.4	19.4	13.1	16.4	32.5	21.6	15.5	34.4	21.2
	140	9.3	22.2	12.2	14.2	37.5	19.6	12.7	37.7	18.3
30	80	16.3	15.7	18.5	26.0	22.7	29.6	26.7	29.0	32
	100	14.5	18.1	17.5	23.6	28.8	28.6	22.8	32.7	28.9
	120	12.8	20.4	16.0	21.0	34.8	27.0	18.8	37.2	25.4
	140	11.1	23.7	14.5	18.6	41.0	25.1	15.0	41.2	21.1
40	80	19.8	16.3	22.4	32.0	23.3	36.0	No especificado		
	100	18.7	19.6	22.0	29.0	30.2	34.5			
	120	17.4	22.0	21.5	26.0	37.0	32.8			
	140	16.0	25.7	20.5	23.9	43.0	31.6			
50	80	25.2	17.2	28.2	39.0	23.6	43.5			
	100	22.3	20.1	26.3	35.2	31.0	41.5			
	120	19.8	23.2	24.5	31.5	38.3	39.1			
	140	17.4	27.3	22.3	28.5	44.0	37.0			
60	80	No especificado			47.5	23.8	52.5			
	100				42.5	31.4	49.4			
	120				38.5	39.0	47.0			
	140				34.0	45.0	43.5			

Tabla tomada del libro Principios de Refrigeración por Roy Dossat.

I. Anexo 9

Plantilla de Datos del Sistema

Tipo de Sistema/Ubicación: _____

Fabricante del Equipo: _____	Fabricante del Compresor: _____
Modelo No.: _____	Modelo No.: _____
No. De Serie: _____	No. De Serie: _____
Tamaño de carga original: _____	Tipo de Lubricante: _____
	Tamaño Carga Lubricante: _____
Fabricante del Filtro: _____	Tipo de Filtro (marque uno)
Modelo No.: _____	Releno Suelto: _____
	Núcleo Sólido: _____

Medio de Enfriamiento del Condensador (aire/agua): _____

Dispositivo de Expansión (marque uno):	Tubo Capilar: _____
	Válvula de Expansión: _____
Si válvula de expansión:	
Fabricante: _____	
Modelo No: _____	
Control/Punto de Regulación: _____	
Ubicación del sensor: _____	

Otros controles del sistema (por ej.: Control de Presión de Cabezal) Describir: _____

Marque las unidades usadas cuando sea aplicable

Fecha/Hora				
Refrigerante				
Tamaño de carga (lb, oz/g)				
Temperatura Ambiente (°F/°C)				
Humedad Relativa				
Compresor:				
Temp. Succión (°F/°C)				
Pres. Succión (psi/kPa/bar)				
Temp. Descarga (°F/°C)				
Pres. Descarga (psi/kPa/bar)				
Temp. Caja/Montura (°F/°C)				
Evaporador:				
Temp. Entrada de Refrigerante (°F/°C)				
Temp. Salida de Refrigerante (°F/°C)				
Temp. Entrada Aire/H ₂ O Serpentina (°F/°C)				
Temp. Salida Aire/H ₂ O Serpentina (°F/°C)				
Temp. Refrigerante en Pto. De Control de Sobrecal. (°F/°C)				
Condensador				
Temp. Entrada de Refrigerante (°F/°C)				
Temp. Salida de Refrigerante (°F/°C)				
Temp. Entrada Aire/H ₂ O Serpentina (°F/°C)				
Temp. Salida Aire/H ₂ O Serpentina (°F/°C)				
Temp. Entrada Dispositivo Exp. (°F/°C)				
Amperaje Motor				
Tiempo de ciclo				
Comentarios:				

Material: propiedad intelectual de DuPont.

XI. GLOSARIO

Aceite alcalino benceno: Un aceite sintético para refrigeración conocido comúnmente como Zerol.

Aceite Ester: Un término general que se aplica a una familia de aceites sintéticos de refrigeración, basados en la química de los poliol esters. Se considera que estos aceites son los que deben usarse en la mayoría de refrigerantes alternativos. Generalmente son compatibles con los aceites minerales existentes y con los componentes del sistema. Son escasamente higroscópicos y deberán colocarse en contenedores no porosos.

Aceite mineral: Este aceite es el que actualmente se usa en refrigeración, pero no es compatible con la mayoría de refrigerantes alternativos. Las conversiones de refrigerante frecuentemente requieren de un procedimiento para la remoción del aceite mineral ya existente debido a su incompatibilidad con éstos.

Agotamiento del ozono: En la estratosfera cuando un CFC es golpeado por la luz ultravioleta, se rompe un átomo de cloro. Este reacciona con el ozono, crea oxígeno ordinario y una combinación de cloro y oxígeno, que después reacciona con un átomo libre de oxígeno libre que ordinariamente formaría el ozono con una molécula de oxígeno. El átomo de cloro suelta su socio temporal de oxígeno y se forma una molécula de oxígeno. El resultado neto es que el cloro ha roto tanto la molécula de ozono como ha prevenido que se forme una nueva y que el átomo de cloro queda disponible para repetir el proceso.

Azeótropo: Mezclas que, cuando se usan en ciclos de refrigeración, no cambian la composición volumétrica o de temperatura de saturación al evaporarse o condensarse a presión constante.

Bombeo hacia afuera: El retiro de todo el refrigerante de la parte baja de un sistema por medio del bombeo, ya sea al condensador o al receptor de líquido.

Bromuro de metilo: Sustancia química compuesta por carbono, hidrógeno y bromo que se utiliza principalmente como plaguicida agrícola y tiene un elevado potencial de agotamiento del ozono.

Calentamiento global o "Efecto invernadero": Ocurre cuando el dióxido de carbono (la mayoría proveniente de la combustión de los combustibles fósiles) y otros gases que incluyen CFC, HCFC y HFC se acumulan en la atmósfera. Estos gases permiten que penetre la luz solar y que su calor alcance la Tierra, pero bloquean el calor que de la Tierra se irradia de nuevo al espacio. Mientras más se acumulan estos gases, más calor permanece atrapado y la temperatura del planeta se incrementa.

Cáncer cutáneo: Mutación de la piel que puede ser maligna o benigna y que, en los cánceres con melanoma involucra la producción de pigmento que sintetiza células llamadas melanocitos.

Capa de ozono: Capa de moléculas de ozono finamente dispersas que se encuentra en la estratosfera. Filtra la mayoría de las radiaciones ultravioletas del sol e impide que lleguen a la Tierra.

Casi Azeótropo: Mezcla de dos o más refrigerantes con diferentes puntos de ebullición que, al estar en estado líquido o vapor, actúan como un componente, pero al cambiar de estado de líquido a vapor o de vapor a líquido, los refrigerantes individuales se evaporan o condensan a una temperatura distinta. Las mezclas casi azeotrópicas tienen un diferencial de temperatura de menos de 10°F y deben ser cargadas en el estado líquido para asegurar la buena composición de la mezcla.

Cataratas: Daño del ojo en el cual el cristalino se empaña parcial o totalmente y dificulta la visión y a veces causa ceguera. La exposición a las radiaciones ultravioletas puede causar cataratas.

CFC: El CFC se refiere a la composición química del refrigerante, clorofluorocarbono indica que el refrigerante está compuesto de cloro, fluor y carbono. Los refrigerantes CFC comunes son: R11, 12, 13, 113, 114 y 115.

Convención de Viena: Acuerdo internacional aprobado en 1985 a fin de establecer un marco de acción mundial para proteger la capa de ozono. La reglamentación internacional constituye el marco y las bases del Protocolo de Montreal.

Compresor recíprocante: Compresor de desplazamiento positivo en el cual el cambio en volumen interno de las cámaras de compresión se acompaña por el movimiento recíprocante de uno o más pistones.

Condensador, enfriado al aire: Condensador de refrigerante en el cual la remoción del calor se logra completamente por la absorción de éste, debido al aire que fluye sobre las superficies condensadas.

Diferencial de temperatura: La diferencia de temperatura que ocurre entre los estados de vapor y líquido durante la evaporación o la condensación a una presión constante, ej: la temperatura en el evaporador y el condensador no es constante. El diferencial de temperatura ocurre en mezclas casi azeotrópicas y zeotrópicas.

Diferencial: La diferencia entre la temperatura de inicio y final del proceso de cambio de fase por un refrigerante (a presión constante) dentro de un componente del sistema de refrigeración, exclusivo de cualquier subenfriamiento o sobrecalentamiento. Este término es usualmente utilizado en la descripción de los procesos de condensación o evaporación.

Disposición: El proceso que lleva a, e incluye 1) la descarga, el depósito, el desechado o la disposición de cualquier instrumento dentro de cualquier terreno o agua, 2) el desarme de cualquier instrumento o parte para descarga, depósito, tirado o colocación de su(s) componente(s) o parte(s) descartada(s) dentro de cualquier terreno o agua ó 3) el desarme de cualquier instrumento para el reaprovechamiento de las partes que le componen.

Eficiencia de recuperación : El porcentaje de refrigerante en un instrumento que se recupera por una pieza de reciclamiento o de equipo de recobro.

Eficiencia: Relación entre el trabajo realizado y los resultados del mismo.

Equipo de recobro autocontenido: El recobro de refrigerante o el equipo de reciclamiento que es capaz de remover el refrigerante de un instrumento, sin la asistencia de los componentes contenidos en dicho instrumento.

Equipo de recobro sistema dependiente: Equipo de recobro de refrigerante que requiere la ayuda de los componentes contenidos en un aparato para remover el refrigerante del mismo.

Eliminación: El cese de toda producción y consumo de un producto químico controlado por el Protocolo de Montreal.

Eritema: Cualquier irritación de la piel, debida por ejemplo a la quemadura del sol, causada por la exposición a las radiaciones ultravioletas.

Estratosfera: Región de la atmósfera superior, entre la troposfera y la mesosfera, situada aproximadamente a 15 – 55 Km. por encima de la superficie de la Tierra

Evaporador: Parte del sistema de refrigeración en el cual el refrigerante se evapora para absorber calor de la fuente de calor contactante.

Fraccionación: Un cambio en la composición de una mezcla por la evaporación preferencial de el o los componentes más volátiles o la condensación de el o los componentes menos volátiles.

Halocarbonos: Todos los productos químicos a base de carbono que contienen uno o más elementos del grupo halógeno, comprendidos el flúor, el cloro y el bromo.

Halones: Sustancias químicas bromadas relacionadas con los CFC, que se utilizan en la extinción del fuego y tienen un potencial de agotamiento del ozono muy elevado.

HBFC: Hidrobromofluorocarbonos. Familia de sustancias químicas hidrogenadas relacionadas con los halones, pero con un potencial de agotamiento del ozono más bajo.

Hc: Un halocarbono que contiene hidrógeno y átomos de carbono.

HCFC: Hidroclorofluorocarbonos. Familia de sustancias químicas relacionadas con los CFC, que contiene hidrógeno, flúor y carbono, pero no cloro y por consiguiente no destruye la capa de ozono

HFC: HFC se refiere a la composición química del refrigerante. Hidrofluocarbono indica que el refrigerante está compuesto de hidrógeno, fluor y carbón. Los refrigerantes HFC comunes son los R134a

Higroscópico: La tendencia que tienen los aceites de refrigeración para absorber humedad de la atmósfera.

Instrumento a baja presión: Un instrumento que usa un refrigerante con un punto de ebullición mayor de 10 grados centígrados a una presión atmosférica (29.9 pulgadas de mercurio). Esta definición incluye pero no está limitada al equipo que utiliza refrigerantes –11,-113 y-123.

Instrumento de alta presión: Un instrumento que usa un refrigerante con un punto de ebullición entre -50 y 10°C a presión atmosférica de (29.9 pulgadas de mercurio). Esta definición incluye pero no está limitada a instrumentos que usan refrigerantes -12 , -22 , -114 , -500 o 502 .

Instrumentos pequeños: Cualquiera de los siguientes productos que son completamente fabricados, cargados y sellados herméticamente en una fábrica con 5 libras de refrigerante: refrigeradores y congeladores diseñados para uso domiciliar, aires acondicionados, deshumidificadores, máquinas de hacer hielo, máquinas de venta de alimentos y bebidas, enfriadores de agua.

Mantenimiento mayor, servicio o reparación: Cualquier mantenimiento, servicio o reparación que involucre la remoción de uno o todos los componentes de un instrumento: compresor, condensador, evaporador o la tubería auxiliar para transferencia de calor.

Metilcloroformo: También conocido como 1, 1, 1-tricloroetano; sustancia química compuesta por carbono, hidrógeno y cloro que se utiliza como disolvente y agente espumante y cuyo potencial de agotamiento del ozono es aproximadamente diez veces inferior al de los CFC 11.

Mezcla binaria: Una mezcla de dos componentes que contiene porciones variadas de dos diferentes refrigerantes.

Mezclas ternarias: Una mezcla de tres componentes que contienen varias proporciones de tres diferentes refrigerantes.

Mezclas: Refrigerantes que consisten de mezclas de dos o más compuestos químicos distintos, usualmente usados individualmente como refrigerantes para otras aplicaciones.

Miscibilidad: Habilidad de un líquido o gas para disolverse en forma uniforme en otro líquido o gas.

Ozono: Gas cuyas moléculas contienen tres átomos de oxígeno y cuya presencia en la estratosfera constituye la capa de ozono. El ozono es tóxico para los seres humanos, los animales y las plantas en elevadas concentraciones y es un contaminante cuando se produce en la atmósfera baja en el smog.

País Parte en el Artículo 5: Un país en desarrollo que es Parte en el Protocolo de Montreal y cuyo consumo anual de sustancias controladas es inferior a 0.3 kg por persona. Se considera que el Artículo 5 del Protocolo de Montreal ampara a estos países, lo que explica su denominación.

PAO: Potencial de agotamiento del ozono. Medición de la capacidad de una sustancia de destruir el ozono estratosférico, sobre la base de su vida atmosférica, su estabilidad, su reactividad y el contenido de elementos que pueden atacar el ozono, como el cloro y el bromo. Todos los PAO se basan en la medición de referencia de 1 para los CFC-11.

Parte: Un país que firma y/o ratifica un instrumento jurídico internacional, indicando que acepta las obligaciones impuestas por las disposiciones de dicho instrumento. Las Partes en el Protocolo de Montreal son países que han firmado y ratificado el Protocolo.

Plancton: Término colectivo para la amplia variedad de organismos vegetales y animales, a menudo de tamaño microscópico, que flotan o derivan en el mar o el agua dulce. El plancton representa el nivel básico de muchas relaciones alimentarias.

Protocolo de Montreal: El Protocolo de la Convención de Viena, firmado en 1987, que compromete a las Partes a adoptar medidas concretas para proteger la capa de ozono, congelando, reduciendo o poniendo fin a la producción y el consumo de sustancias controladas.

Radiaciones ultravioletas: Radiaciones solares con longitudes de onda entre la luz visible y los rayos X. Las UV-B (280-320 nm.) son una de las tres bandas de las radiaciones UV. Son nocivas para la vida en la superficie de la Tierra y son absorbidas en su mayor parte por la capa de ozono.

Reciclaje: Extraer refrigerante de un instrumento y limpiarlo para ser reusado sin llenar todos los requerimientos para la reclamación. En general, el refrigerante reciclado es aquel que se limpia usando la separación del aceite y una o muchas pasadas a través de instrumentos, tales como filtros-secadores reemplazables, lo que reduce la humedad, acidez y materia particular. Estos procedimientos se implementan usualmente en el lugar de trabajo o campo.

Reclamo: Para reprocesar el refrigerante al menos a la pureza especificada en el Standard ARI 700-1993, las Especificaciones para Refrigerantes Fluorocarbonos y para verificar esta pureza utilizando la metodología analítica prescrita en el Standard ARI 700-1993. En general, la reclamación involucra el uso de procesos o procedimientos disponibles solamente en una localidad de reproceso o de manufactura.

Reconvertir: Mejorar o ajustar el equipo para que se pueda utilizar en condiciones modificadas. Por ejemplo, se reconvierte equipo de refrigeración para que pueda utilizar un refrigerante que no destruye el ozono en lugar de un CFC.

Reemplazo "Drop-In": Un refrigerante alternativo que puede ser instalado directamente en un sistema existente y operado en condiciones similares sin cambios de equipo.

Reemplazo casi "Drop-In": Un refrigerante alternativo que puede ser instalado directamente en un sistema existente con cambios pequeños de equipo. La mayoría de alternativas a corto plazo caen dentro de esta categoría.

Reemplazos a corto plazo: Cualquier número de refrigerantes que están especificados para servir como solución intermedia durante la transición de refrigerantes CFC a HFC. La mayoría de estos contienen refrigerantes CFC como el R22.

Reemplazos a largo plazo: Refrigerantes alternativos que se considera no tienen efectos adversos sobre la capa de ozono estratosférica. La mayoría de estos son compuestos HFC.

Refrigerante: Agente de transferencia térmica, generalmente un líquido utilizado en equipos de refrigeradores, congeladores y acondicionadores de aire.

Refrigerante alternativo: Un refrigerante de reemplazo que puede realizar las mismas tareas que aquel al que está reemplazando, pero puede necesitar que el equipo de refrigeración o aire acondicionado sea rediseñado o reemplazado.

Refrigerante azeotrópico: Una mezcla de dos o más refrigerantes con las mismas composiciones equilibrio fase-vapor y fase-líquido, a una presión dada.

Refrigerante de presión media (MP): Un término usado para los refrigerantes alternativos diseñados para operar en temperaturas medias (rango de 0°F a 40°F).

Refrigerante HCFC: HCFC se refiere a la composición química del refrigerante, Hidro-Clorofluorocarbono indica que el refrigerante se compone de hidrógeno, cloro, fluor y carbón. Los refrigerantes HCFC comunes son los R22.

Refrigerante secundario: Cualquier sustancia volátil o no existente en un sistema de refrigeración indirecta, que absorbe el calor de una sustancia en el espacio para ser refrigerada y transfiere éste al evaporador del sistema de refrigeración.

Refrigerante zeotrópico: Mezcla de dos o más refrigerantes componentes con diferentes composiciones de equilibrio fase-vapor y fase líquido a una temperatura dada.

SAO: Sustancias que agotan la capa de ozono. Toda sustancia química que puede destruir la capa de ozono. Muchas de ellas son sustancia controladas en el marco del Protocolo de Montreal.

Sistema, baja temperatura: Un sistema de refrigeración que opera a menos 0°F (temperatura de evaporación).

Sistema, mediana temperatura: Un sistema de refrigeración que opera entre 0°F y +35°F (temperatura de evaporación).

Sustancia de transición: En virtud del Protocolo de Montreal, una sustancia química cuyo uso se autoriza como sustituto de sustancias que destruyen el ozono, pero solamente con carácter temporal debido al PAO o la toxicidad de la sustancia.

SUVA: La marca de DuPont para los refrigerantes alternativos, reemplazan el nombre de marca Freon.

TEWI: Un factor desarrollado para ayudar a medir la influencia que las plantas individuales de refrigeración tienen sobre el efecto invernadero.

Troposfera: La zona más baja de la atmósfera de la Tierra, de unos 15 Km. por encima de la superficie, en la que se definen las condiciones climáticas.

Zeótropo: Mezcla, que cuando es usada en ciclos de refrigeración, cambia la composición volumétrica y la temperatura de saturación al evaporarse o condensarse a presión constante.

