



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGON

EL REEMPLAZO DE LOS REFRIGERANTES CONTAMINANTES
POR ECOLÓGICOS Y SUS REPERCUSIONES EN LOS EQUIPOS
DE AIRE ACONDICIONADO INSTALADOS EN CENTRALES
TELEFÓNICAS.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :
JOSÉ GABRIEL GARCÍA GÓMEZ

ASESOR:

M. EN I. ALBERTO REYES SOLIS

SAN JUAN DE ARAGÓN, EDO. DE MÉX., JUNIO 2002



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

**Con gran cariño y profundo agradecimiento dedico el presente trabajo a mis
Padres Esperanza Gómez Andrade y José García Méndez por su ejemplo,
motivación y apoyo incondicional.**

A mis hermanos Blanca Lilia, Laura Olivia, Gerardo y Esperanza

A mi amiga Patricia Liliana Rivero †

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Agradecimientos

Quiero expresar mi mas sincero agradecimiento al M.en I. Alberto Reyes Solís por el apoyo en la realización del presente trabajo, así como a cada uno de los profesores, compañeros y amigos de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

OBJETIVOS	I
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I GENERALIDADES	5
1.1 Ecuaciones de estado del gas perfecto	5
1.2 Calor	8
1.2.1 Calor específico	8
1.2.2 Calor sensible	8
1.2.3 Calor latente	9
1.3 Temperatura	10
1.4 Transferencia de calor	11
1.4.1 Conducción	11
1.4.2 Convección	13
1.4.3 Radiación	14
CAPITULO II REFRIGERACIÓN	15
2.1 Ciclo mecánico de compresión	15
2.2 Máquinas térmicas	17
2.3 Bomba de calor	18
2.4 Ciclo de Carnot	18
2.4.1 Ciclo inverso de Carnot	20
2.5 Ciclo de compresión del vapor	23
2.6 Compresión	25
2.6.1 Funciones del compresor	27
2.6.2 Tipos de compresores	29
2.7 Condensación	34
2.7.1 Tipos de condensadores	35
2.8 Evaporación	37
2.8.1 Clasificación de evaporadores	38
2.8.2 El lado del aire	39
2.8.3 El lado del refrigerante	40
2.8.4 Tipos de evaporadores	40
2.9 Expansión	42
2.9.1 Efecto de refrigeración	43
2.9.2 Capacidad del sistema	44
2.9.3 Tonelada de refrigeración	44
2.9.4 Tipos de dispositivos de control de flujo	44
CAPITULO III ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL EN CENTRALES TELEFÓNICAS ...	49
3.1 Central telefónica	49
3.1.1 Etapa de concentración	49
3.1.2 Etapa de distribución	50
3.1.3 Etapa de expansión	50
3.2 Servicio telefónico	51
3.3 Necesidades de acondicionamiento del equipo telefónico	52
3.4 Clasificación de equipos de aire acondicionado instalados en centrales telefónicas ..	55
3.4.1 Equipos autocontenidos	56

**TESIS CON
 FOLIA DE ORIGEN**

3.4.2	Sistemas divididos (split system)	60
3.4.3	Sistema de expansión directa	60
3.4.4	Serpentín de expansión directa	63
3.4.5	Sistema de agua helada (chiller-water)	64
3.4.6	Serpentín de enfriamiento por agua helada	66
3.5	Máquina centrífuga	68
3.5.1	Sistemas principales	68
3.5.2	Componentes de la máquina centrífuga	69
3.5.3	Ciclo de refrigeración	70
3.6	Refrigeración por absorción	72
CAPITULO IV REFRIGERANTES		76
4.1	Características	76
4.2	Clasificación	79
4.3	Grupo de hidrocarburos halogenados	81
4.3.1	Refrigerante R-11	83
4.3.2	Refrigerante R-12	83
4.3.3	Refrigerante R-22	84
4.4	Grupo de hidrocarburos	87
4.5	Mezclas azeotrópicas	87
4.6	Compuestos inorgánicos	88
4.7	¿Por qué reemplazar a los CFC's y HCFC's?	90
4.8	Refrigerantes alternativos	93
4.8.1	Refrigerante R-134a	96
4.8.2	Refrigerante R-123	98
4.8.3	Refrigerante R-407c y R-410a	99
4.9	Factores ecológicos a considerar para la selección de un refrigerante	101
4.9.1	Limite aceptable de exposición	101
4.9.2	Potencial de agotamiento del ozono	103
4.9.3	El efecto invernadero	104
4.9.4	Potencial de calentamiento global	105
4.9.5	Impacto total equivalente de calentamiento	107
4.10	Producción de fluorocarbonos a nivel mundial	108
CAPITULO V REEMPLAZO DE REFRIGERANTES		111
5.1	Evaluación de la conversión de equipos a refrigerantes alternativos	111
5.1.1	Vida útil restante del equipo de aire acondicionado	112
5.1.2	Costos operativos actuales	113
5.1.3	Costos de conversión	115
5.2	Las implicaciones económicas y financieras para equipos de aire acondicionado	115
5.3	La planeación es vital	117
5.4	Informe sobre el reemplazo de refrigerante R-407c en equipos que operan con refrigerante R-22	120
5.4.1	Alcance del reemplazo	120
5.4.2	Procedimiento del reemplazo en el equipo de prueba No.1	121
5.4.3	Resultados obtenidos en el equipo de prueba No. 1	123
5.4.4	Análisis de resultados obtenidos en el equipo de prueba No. 1	124
5.4.5	Procedimiento del reemplazo en el equipo de prueba No. 2	125
5.4.6	Resultados obtenidos en el equipo de prueba No. 2	127

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

5.4.7	Análisis de resultados obtenidos en el equipo de prueba No. 2	129
5.4.8	Conclusión de los reemplazos	130
5.4.9	Costo del reemplazo	133
5.4.10	Determinación del costo del reemplazo del equipo de prueba No. 1	133
5.4.11	Determinación del costo del reemplazo del equipo de prueba No. 2	134
5.4.12	Análisis del reemplazo del refrigerante versus cambio de equipo nuevo	135
5.5	Informe sobre el reemplazo de refrigerante en equipo centrífugo chiller que opera con refrigerante R-11 por R-123	136
5.5.1	Acondicionamiento para seguir usando R-11 (CFC)	137
5.5.2	Reemplazo del refrigerante R-11 por el refrigerante R-123	137
5.5.3	Cambio por un equipo nuevo	138
5.5.4	Análisis de resultados en equipos chiller	139
5.6	Aplicación de los resultados obtenidos al inventario de equipos instalados y en operación en las centrales telefónicas de Telmex	140
5.6.1	Costo de inversión por el reemplazo de refrigerantes así como por cambios de equipos nuevos aplicados al inventario de Telmex	144
5.7	Análisis para la evaluación del proyecto	148
5.7.1	Método del valor presente	148
5.7.2	Método de tasa de rendimiento	149
5.7.3	Método del periodo de recuperación	149
5.7.4	Desarrollo de cálculos y obtención de resultados	150
5.8	El mantenimiento y el costo por fugas de refrigerante	154
CONCLUSIÓN		157
BIBLIOGRAFIA		160
ANEXOS		163
Diagrama 1	Presión – Entalpia del refrigerante R-134a	164
Diagrama 2	Presión – Entalpia del refrigerante R-407c	165
Diagrama 3	Presión – Entalpia del refrigerante R-410a	166
Diagrama 4	Presión – Entalpia del refrigerante R-123	167

**TESIS CON
 PALLA DE ORIGEN**

OBJETIVOS

El objetivo general del presente trabajo, es conocer las repercusiones técnico-económicas que se presentarán al reemplazar el gas refrigerante contaminante que daña la capa de ozono por un gas refrigerante ecológico alternativo, en los equipos de aire acondicionado que se encuentran en operación en las centrales telefónicas. Así, se proponen los siguientes:

Objetivos particulares

- Describir los procesos del ciclo de refrigeración, así como conocer cada uno de los elementos que lo forman.
- Valorar la importancia que tiene el acondicionamiento ambiental en las telecomunicaciones
- Conocer los diferentes tipos de equipos de aire acondicionado que se encuentran en las centrales telefónicas.
- Proporcionar las características de los gases refrigerantes contaminantes así como de los gases alternativos ecológicos para la mejor elección del reemplazo.
- Detallar cada uno los pasos que se deben realizar en el equipo de aire acondicionado para reemplazar el gas refrigerante contaminante por el gas refrigerante ecológico alternativo.
- Estimar las repercusiones que se presentarán como consecuencia del reemplazo del gas refrigerante en los equipos de aire acondicionado.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

INTRODUCCIÓN

En 1982 se dan a conocer los primeros estudios sobre un fenómeno que estaba ocurriendo en la Antártida, las mediciones realizadas por satélites en los años 70 ya lo habían revelado, mostrando en primer lugar una drástica reducción de la concentración de ozono sobre el polo sur; año tras año sucede este fenómeno justamente al término del invierno antártico, el "Agujero de Ozono".

La capa de ozono se localiza en la estratosfera, aproximadamente de 15 a 50 Km. sobre la superficie del planeta, es un gas inestable de tres átomos de oxígeno, el cual actúa como un escudo en apariencia inmaterial pero muy eficaz, su concentración varía con la altura pero nunca es más de una cienmilésima de la atmósfera en la que se encuentra, sin embargo, este filtro tan delgado es suficiente para bloquear casi todas las dañinas radiaciones ultravioletas del sol, cuanto menor es la longitud de onda de la luz ultravioleta (UV), más daño puede causar a la vida, pero también es más fácilmente absorbida por la capa de ozono. La radiación ultravioleta de menor longitud conocida como UV-C es letal para todas las formas de vida y es bloqueada casi por completo. La radiación UV-A de mayor longitud es bastante inofensiva y pasa casi en su totalidad a través de la capa, entre ambas está la UV-B, menos letal que la UV-C pero peligrosa, la capa de ozono la absorbe en su mayor parte.

La pequeña cantidad de radiación UV-B, que consigue penetrar el escudo provoca daños de importancia en los seres vivos, dependiendo de su intensidad y tiempo de exposición; estos daños pueden abarcar desde quemaduras en la piel, conjuntivitis y deterioro en el sistema de defensas, hasta llegar a afectar el crecimiento de las plantas y dañando el fitoplancton, con las posteriores consecuencias que ocasiona para el desarrollo normal de la fauna marina.

Desde hace muchos años se ha sostenido la teoría de que los gases emanados de la tierra provocan un deterioro en la capa de ozono, esta hipótesis, se presentó por primera vez en 1974 por el científico Mexicano Mario J. Molina y compartida con el investigador Estadounidense Sherwood Rowland y el Danés Paul Crutzen, habiendo obtenido en 1995 el Premio Nobel, por sus trabajos sobre la Capa de Ozono y los gases que la destruyen.

Derivado de los trabajos presentados, la comunidad científica mundial y los gobiernos de diferentes países se dieron a la tarea de desarrollar un proyecto, para iniciar las bases para la descontinuación en la fabricación de los gases refrigerantes clorofluorocarbonos (CFC), éste fue planteado en 1985 en la llamada Convención de Viena; una vez discutidas por parte de los países miembros, se establecieron los acuerdos y compromisos por parte de los participantes, en relación a las fechas en las cuales se llevaría a cabo el proceso de

TESIS CON
ALLA DE ORIGEN

descontinuación total en la fabricación de los refrigerantes, así en 1987 se firmó el Protocolo de Montreal, debiéndose cumplir cinco años más tarde los compromisos ahí planteados, para dar seguimiento a éste y posteriormente a su firma, se realizaron más reuniones en 1990 en Londres, 1992 en Copenhague y en 1995 de nuevo en Viena para verificar los avances en los logros en el proceso de suspensión de la fabricación de los gases refrigerantes clorofluorocarbonos (CFC's) a nivel mundial.

Hoy se ha demostrado que la aparición del agujero de ozono, a comienzos de la primavera austral sobre la Antártida está relacionado con la fotoquímica de los gases Clorofluorocarbonos (CFC's), componentes químicos presentes en diversos productos comerciales como, aerosoles, pinturas, gases refrigerantes, etc.

Los gases refrigerantes fabricados con CFC's usados en sistemas de refrigeración, cámaras frigoríficas para conservación de alimentos y sistemas de aire acondicionado a nivel mundial, se han hecho indispensables para la vida cotidiana en lugares de climas extremos, siendo de vital importancia para el confort humano. Los sistemas de acondicionamiento de aire se han convertido en el factor primordial para el funcionamiento de procesos industriales y uno de ellos en particular y que será el desarrollo del presente trabajo de tesis, es la necesidad de acondicionamiento del aire en centrales telefónicas.

La central telefónica es el conjunto de dispositivos digitales que permiten realizar una comunicación telefónica local, nacional, internacional y mundial entre clientes ó abonados; el más importante de los dispositivos digitales que se encuentra en una central es el equipo de conmutación telefónica, éste crea un camino de conexión semi-permanente entre dos o más elementos dentro de la red telefónica, únicamente por el tiempo que se necesiten intercambiar información (voz, datos, video), en la actualidad en la planta telefónica perteneciente a Teléfonos de México, S.A. de C.V. (TELMEX) cuenta con tres sistemas de conmutación (los más utilizados), los cuales son:

- a) S-12 tecnología perteneciente a Alcatel Indetel
- b) AXE tecnología perteneciente a Ericsson Telecom.
- c) 5ESS tecnología perteneciente a Lucent Technologies

Los componentes de los equipos de conmutación telefónica, son principalmente circuitos y tarjetas electrónicas, las cuales disipan una cantidad considerable de calor por lo que se necesita de un ambiente controlado de temperatura y humedad para un funcionamiento óptimo. Por la importancia que desarrolla el

equipo de conmutación telefónica, debe de contar con un sistema de aire acondicionado que lo mantenga en las condiciones de temperatura y humedad recomendadas por los fabricantes.

Debido a lo anterior TELMEX tiene que brindar a sus abonados y grandes usuarios un servicio de calidad, por lo cual se puso en marcha un programa de modernización de la planta telefónica, teniendo en cuenta que para llegar a este objetivo es importante contar con un sistema de apoyo al equipo de telefonía, siendo uno de los más importantes el sistema de acondicionamiento ambiental dentro de las salas telefónicas.

Obligado a cumplir con tan importante tarea, es preciso contar con un clima artificial que cumpla con las características y especificaciones técnicas que exigen los fabricantes de equipo telefónico, así como las normas que dicta TELMEX para sus salas.

Los equipos de aire acondicionado instalados en la planta telefónica, tienen que cumplir con las normas de operación y funcionamiento que TELMEX requiere, para mantener un estándar de calidad en el acondicionamiento ambiental, asegurando con estas medidas la continuidad del servicio telefónico dentro de las salas, y evitar las fallas asociadas por alta temperatura en los equipos de conmutación telefónica; así como también contar con programas de mantenimiento preventivos, correctivos, la herramienta y personal altamente capacitado a fin de mantener en óptimas condiciones los equipos de aire acondicionado.

Una vez que se ha identificado el papel tan importante que tiene el equipo de acondicionamiento ambiental para la operación en una Central Telefónica; el principal punto de estudio de este trabajo de tesis, es conocer las características esenciales del proceso de refrigeración para poder comprender la importancia que tiene sustituir los gases refrigerantes CFC's contaminantes (R-11, R-12 y R-22). El conocer las características termodinámicas de estos gases, para poder así determinar un gas alternativo adecuado y que pueda cumplir con las propiedades de los CFC's, pero que no sea contaminante, tóxico y que además durante el funcionamiento del equipo, no disminuya la eficiencia del proceso, lo que se verá reflejado en la capacidad de enfriamiento que a su vez, repercutirá en el consumo de energía que necesitarán los equipos para poder alcanzar las temperaturas requeridas. Lo anterior se traducirá en un costo económico, que tarde o temprano se deberá realizar, por lo cual se podrá llegar a determinar si será necesario invertir en el cambio por refrigerantes alternativos ó tomar la decisión de reemplazar totalmente el equipo, por uno nuevo, que de fábrica contenga el gas refrigerante denominado Ecológico.

Dentro de los programas de mantenimiento no hay que pasar por alto una de las situaciones donde se escapa a la atmósfera la mayor cantidad de los gases refrigerantes CFC, es ocasionado por una falta de capacitación y desconocimiento en la operación de los equipos de aire acondicionado.

Debido a la importancia que en este momento tienen los CFC's, el reacondicionamiento de los equipos y sistemas instalados en centrales telefónicas presentará retos importantes en la logística y la operación, así como las consecuencias técnico-económicas que resultarán del reemplazo de los gases contaminantes por alternativos los cuales deberán ser inofensivos para el ambiente, por lo que la planeación es la clave para seleccionar una estrategia adecuada; el presente trabajo de tesis ayudará a tomar decisiones adecuadas y en consecuencia reducir de manera importante el costo por la eliminación de los CFC's.

CAPITULO I

GENERALIDADES

Los principios básicos de la refrigeración tienen como fundamento las leyes de la termodinámica. Ésta estudia las relaciones entre el calor y otras formas de energía, por lo que es importante comprender el concepto de calor, así como algunas relaciones útiles para el cálculo y análisis de su magnitud como: temperatura, calor específico, calor sensible y calor latente de las sustancias de trabajo que se utilizan en los sistemas de refrigeración.

También, es importante conocer los mecanismos de transferencia de calor, como son conducción, convección y radiación los cuales son básicos para entender su comportamiento en los cuatro elementos básicos que forman el sistema de refrigeración, como son el evaporador, condensador, compresor y válvula de expansión.

Se analizará el ciclo de Carnot, sus procesos termodinámicos, la determinación de ecuaciones para la evaluación de la eficiencia en el ciclo, así como el comportamiento de los fluidos de trabajo en cada uno de los elementos básicos del sistema de refrigeración, a fin de poder determinar los parámetros para seleccionar el fluido refrigerante que cumpla con las mejores condiciones de funcionamiento en el sistema de refrigeración y determinar las consecuencias térmicas y mecánicas debidas al cambio del fluido de trabajo en equipos que actualmente están en operación.

1.1 ECUACIONES DE ESTADO DEL GAS PERFECTO

Existen muchas propiedades, por ejemplo presión, volumen, temperatura, masa, densidad y energía, que ayudan a describir la termodinámica de un sistema. Para poder definir el estado del sistema y lograr que la primera ley de la termodinámica (la cual se puede enunciar de la siguiente manera : "La suma total de la energía del universo es una cantidad constante, es decir, no puede incrementarse, disminuirse, crearse o destruirse, sino únicamente transformarse); sea utilizable para los procesos, es necesario tener una descripción completa del sistema, lo que significa que se necesita un número infinito de puntos correspondientes a datos para identificar por completo todas sus propiedades. Se necesita esta descripción del estado del sistema inmediatamente antes de que comience el proceso, y por lo menos una vez más al final del mismo. Entonces se pueden aplicar los conceptos de la primera ley, por fortuna se están considerando sistemas homogéneos y simples lo que significa que sólo se deben determinar unos pocos datos sobre las propiedades para representar el estado del sistema.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Algunas propiedades del sistema, como la masa, la densidad y el volumen, están relacionadas a determinados estados en un sistema de modo que es necesario deducir algunas otras relaciones que puedan reducir aún más el número de propiedades que se deben medir para determinar el estado del sistema.

Los gases como el aire, cambian su densidad en relación con los cambios en la presión como ha sido observado durante mucho tiempo. Leonardo da Vinci hizo notar hacia fines del siglo XV que "El aire no ofrece resistencia a menos que se haga más denso", esto constituye una observación de que la densidad del aire aumenta con la presión, lo que es exactamente la relación conocida por lo general como ley de Boyle, a saber

$$\frac{p}{\rho} = \text{constante} = B$$

p = presión

ρ = densidad

La ley de Boyle se cumple sólo para gases livianos y para aquellos casos en los cuales la temperatura permanece constante. La ecuación anterior se expresa por lo general como:

$$pV = B$$

p = presión

V = volumen

En conjunción con esta ley existe otra denominada ley de Charles, que describe el volumen y la temperatura de un gas a presión constante, esto es:

$$V = CT$$

donde C es otra constante. Se puede demostrar que durante un proceso arbitrario, el gas que obedece las leyes de Boyle y de Charles en forma independiente, también cumple la relación:

$$pV = RT \quad (a)$$

También se puede describir esta relación sin perder generalidad como:

$$pV = mRT \quad (b)$$

que se denomina la ley de los gases perfectos. Las ecuaciones (a) y (b) también se conocen como ecuaciones de los gases perfectos dado que cualquier gas que las cumpla se define como gas perfecto o gas ideal. Obsérvese que las leyes de Boyle y de Charles son relaciones especiales que resultan de restricciones impuestas en las ecuaciones (a) y (b).

En estas ecuaciones, la constante R se denomina constante de los gases y se relaciona con el peso molecular de un gas, *PM* a través de la expresión :

$$R = \frac{8.3143 \cdot \text{kJ} / \text{kg} \cdot \text{mol} \cdot ^\circ\text{K}}{PM}$$

donde la constante $8.3143 \cdot \text{kJ} / \text{kg} \cdot \text{mol} \cdot ^\circ\text{K}$ se denomina la constante universal de los gases, R_u es $1544 \text{ lbf} - \text{pie} / \text{lbm} \cdot \text{mol} \cdot ^\circ\text{R}$

La ecuación para los gases perfectos es la ecuación de estado más común y de uso más fácil pero es necesario tener cuidado en su aplicación. Las sustancias que obedecen las ecuaciones de los gases perfectos tienen las siguientes características:

- 1.- Son gases suficientemente rarificados de modo que no existan fuerzas de atracción o repulsión entre sus átomos.
- 2.- Son gases suficientemente densos de modo que el material pueda considerarse un medio continuo y uniforme sin regiones de vacío.
- 3.- Sus átomos sufren colisiones perfectamente elásticas (colisiones reversibles) entre sí y con el material del recipiente que lo contiene.

Estas suposiciones son bastantes difíciles de verificar pero por lo general es útil "sentir" cuándo existen estas características. Entre los materiales que obedecen la ley de los gases perfectos se incluyen el aire, la mayoría de los gases livianos y los electrones libres en un sólido capaz de conducir la electricidad. Por supuesto, los líquidos, los sólidos y los gases densos como el vapor de agua, no obedecen la ley de los gases perfectos y las ecuaciones (a) y (b) no pueden utilizarse para definir estos materiales.

Las ecuaciones de estado, sirven para poder analizar el comportamiento de los gases refrigerantes y poder definir las propiedades termodinámicas de ellos, afin de evaluar cuales son los más adecuados para nuestras necesidades en la sustitución de gases contaminantes por alternativos en los equipos de aire acondicionado.

1.2 CALOR

Calor se define como una forma de energía, y puede ser aprovechado para producir trabajo. El calor se presenta en un proceso cuando hay un gradiente de temperatura entre el sistema y sus alrededores. Por ejemplo, supóngase que se desea conocer la potencia necesaria para hacer funcionar un refrigerador; en este ejemplo, los límites del sistema serán la superficie externa del refrigerador; cualquier cosa incluida dentro de esta superficie será el sistema. Por otra parte, si interesa sólo el funcionamiento del compresor del refrigerador, entonces éste será el sistema.

La dirección de la transición de energía se produce siempre hacia la zona de menor temperatura. El calor dejará un sistema si éste está más caliente que sus alrededores; si es más frío, el sistema ganará calor. Esta transición de energía continuará en la misma dirección hasta que el sistema y sus alrededores se separen o hasta que se alcance el equilibrio térmico.

El calor se identificará con el símbolo Q y el calor por unidad de masa con q . En el sistema métrico de unidades se utiliza para medir el calor una unidad denominada caloría. Esta unidad se define de la siguiente forma:

Una Caloría es la cantidad de calor necesaria para elevar en 1°C la temperatura de 1g de agua a 4°C .

La caloría se relaciona con la unidad habitual de energía, el Joule que equivale a 4.1868 por una caloría.

En el sistema inglés de medida la unidad común que se utiliza para el calor es la unidad térmica británica (BTU) que está dada por la siguiente definición:

Un Btu es la cantidad de calor necesaria para elevar en 1°F la Temperatura de 1 Lb de agua a 39°F .

1.2.1 CALOR ESPECIFICO

El calor específico es la cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de una libra de la sustancia de que se trate un grado Fahrenheit. El agua se usa como punto de referencia, por lo cual el calor específico del agua es 1, la cantidad de calor usada para elevar la temperatura de una libra de agua 1°F se aplica a las otras sustancias para determinar su calor específico.

1.2.2 CALOR SENSIBLE

El calor sensible es la cantidad de calor requerido para hacer subir o bajar la temperatura de una sustancia sin cambiar su estado.

Por ejemplo, supongase que un espacio cuya temperatura es de 100°F está aislado térmicamente. Si se coloca un recipiente con agua a 45°F, como se ilustra en la figura 1-1, el calor del espacio fluirá hacia el agua hasta lograr un equilibrio térmico entre ella y el espacio, sin que el estado del agua se vea afectado.

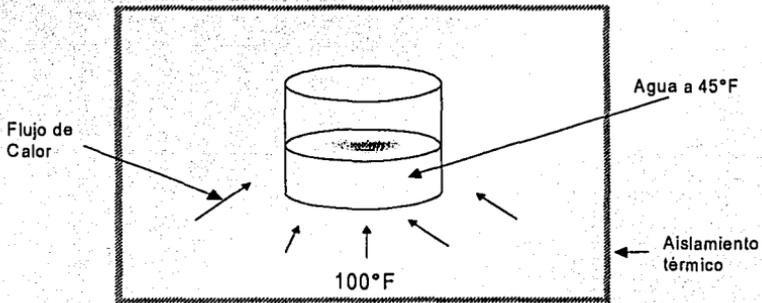


Figura 1-1. Proceso Sensible

1.2.3 CALOR LATENTE

El calor latente es cuando la temperatura de una sustancia, al absorber calor, permanece constante y causa cambio de estado. Por ejemplo, si se coloca un trozo de hielo a 32 °F en un espacio aislado térmicamente, cuya temperatura es de 100 °F, el hielo absorberá calor, pero no cambiará su temperatura, sólo su estado físico se verá afectado al pasar de sólido a líquido como se puede ver en las figura 1-2 (a) y (b). Al proceso realizado se le da el nombre de latente.

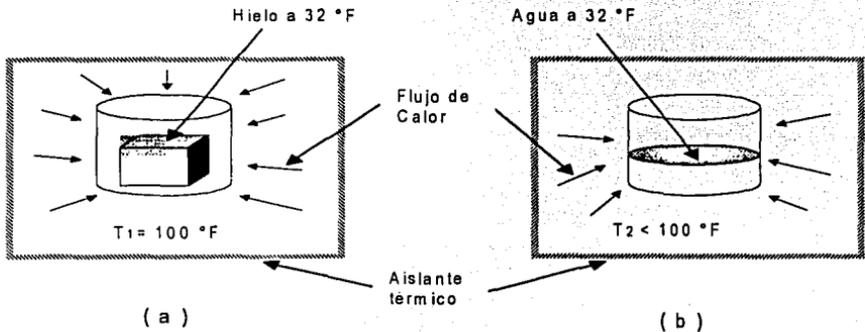


Figura 1-2: Proceso latente

TEL. CON
FALLA DE ORIGEN

El calor necesario para cambiar el estado de sólido a líquido se llama calor latente de fusión. El calor necesario para cambiar de estado líquido a vapor se llama calor latente de evaporación. Cuando el hielo se funde, su temperatura no cambia, aunque absorbe 144 Btu/lb, por lo tanto, el calor latente de fusión del agua es igual a 144 Btu, el calor latente de evaporación del agua es 970 Btu/lb.

1.3 TEMPERATURA

En termodinámica es necesario considerar un equilibrio térmico; la propiedad que determina este tipo de equilibrio se denomina Temperatura y depende de la concentración de calor contenido en un objeto.

Cuando se determina la temperatura de un sistema, el procedimiento característico consiste en permitir que un medidor de temperatura (termómetro) alcance el equilibrio térmico con el sistema y posteriormente medir el cambio en alguna propiedad del termómetro, que se denominará propiedad termométrica. En la tabla 1 se presentan algunos de los más importante tipos de termómetros con sus propiedades termométricas relacionadas.

Tabla 1. Propiedades termométricas para la medición de temperatura.

Tipo de termómetro	Propiedad termométrica
Mercurio en vidrio	Volumen
Termistor	Resistencia eléctrica
Termopar	Voltaje
Gas a volumen constante	Presión del gas
Gas a presión constante	Volumen del gas

La temperatura se registra en grados Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$), que es la unidad inglesa o en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), que es la unidad en el sistema internacional. Estas escalas son arbitrarias, pero ambas se caracterizan porque se definen mediante el punto de ebullición y de congelación (o de fusión) del agua pura a la presión de 1.01 bars, éstos son los siguientes: el punto de ebullición es de 100°C equivalente a 212°F y el punto de congelación es 0°C que equivale a 32°F .

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Se observa graficando temperatura en grados Fahrenheit contra temperatura en grados Celsius como se muestra en la figura 1-3 que:

$$\text{Temp } ^\circ\text{F} = (180^\circ\text{F} / 100^\circ\text{F})\text{Temp } ^\circ\text{C} + 32^\circ$$

$$\text{Temp } ^\circ\text{F} = (9 / 5) \text{Temp } ^\circ\text{C} + 32^\circ$$

$$\text{Temp } ^\circ\text{C} = (5 / 9) (\text{Temp } ^\circ\text{F} - 32^\circ)$$

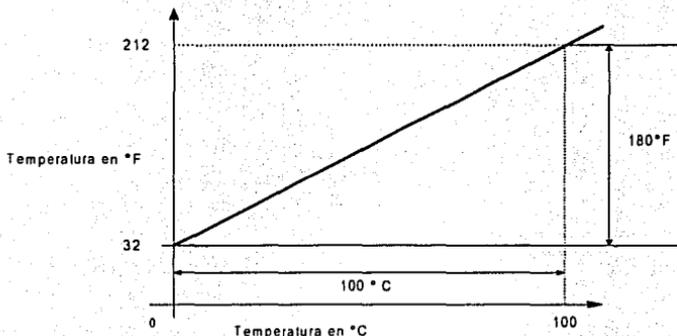


Figura 1-3. Grados Fahrenheit versus grados Celsius

1.4 TRANSFERENCIA DE CALOR.

Se considera que la transferencia de calor se lleva a cabo por tres procesos, la forma en que se transmite el calor y los factores que la determinan se describen a continuación.

1.4.1 CONDUCCIÓN

La conducción es la diferencia de calor que se efectúa generalmente en los cuerpos sólidos debido al movimiento molecular cuando existe una diferencia de temperaturas.

Considérese un recipiente de cobre con agua colocada sobre una fuente de calor (estufa). El agua comenzará a calentarse y si se deja sobre la estufa se vaporizará (hervirá).

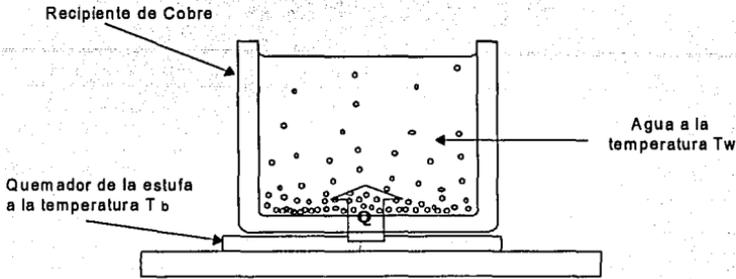


Figura 1-4. Disposición Física para el ejemplo de transferencia de calor por Conducción

En el dispositivo que se muestra en la figura 1-4, existe sin duda un cambio en el agua y en el recipiente. Se puede identificar fácilmente este cambio como calor o proceso de transferencia de calor en el cual aumenta la energía interna del agua. Se pierde energía desde la superficie del quemador y se transfiere bajo la forma de calor o se conduce a través del recipiente de cobre hacia el agua. La transferencia de calor a través de las paredes del recipiente de cobre se denomina conducción y la velocidad de esta conducción está dada por la ley de Fourier de la conducción:

$$Q = \left(\frac{kA\Delta T}{\Delta x} \right)$$

donde Q es la velocidad de transferencia de calor con respecto al tiempo, correspondiente a una cantidad de calor Q , dividida por el tiempo τ , o más exactamente:

$$Q = \frac{dQ}{d\tau}$$

donde dQ es una pequeña cantidad de calor transferida durante un pequeño periodo $d\tau$. En la primera ecuación A es el área superficial del quemador en contacto con el área correspondiente del recipiente de cobre; ΔT es la diferencia de temperatura a través de la porción inferior del recipiente que es $T_b - T_w$; Δx es el espesor del recipiente y k es la conductividad térmica del material (cobre) del recipiente, las unidades

en el sistema internacional de unidades son $\frac{W}{m \cdot ^\circ K}$ y para el sistema Inglés son $\frac{Btu}{pie \cdot ^\circ F \cdot h}$

Los materiales considerados de tipo refractario, se caracterizan por una dependencia mínima de k con la temperatura y se utilizan en aplicaciones a temperaturas muy altas como en hornos e incineradores. Los materiales aislantes poseen conductividad térmica baja y son por lo tanto capaces de retardar la

transferencia de calor, mientras que los materiales conductores poseen valores relativamente elevados de conductividad térmica y tienen valores elevados de transferencia de calor. Cabe agregar que la conductividad térmica y la conductividad eléctrica de los metales puros están relacionadas entre sí, sin embargo, a temperaturas muy bajas los metales se convierten en superconductores de la electricidad, pero no así del calor.

1.4.2 CONVECCIÓN

El fenómeno de transferencia de calor por convección es un proceso de transporte de energía que se lleva a cabo como consecuencia del movimiento de un fluido (líquido o gas) y está íntimamente relacionado con su movimiento. Considerando el ejemplo anterior en donde se calienta agua en el recipiente de cobre, una observación más cuidadosa de este problema revelaría que el agua en el fondo (más próxima a la fuente de energía o al quemador de la estufa) hervirá primero. En efecto, si bien el agua no estará toda a la misma temperatura simultáneamente, ésta puede hacerse más uniforme por medio de la agitación. Este tipo de transferencia de calor es entonces un ejemplo de convección forzada figura 1-5 y constituye un fenómeno que comprende conducción y flujo de material debido a algún agente externo (que agita el agua), otro ejemplo típico de convección forzada es el radiador en el sistema de enfriamiento de un automóvil.

Existe otra forma de convección llamada convección libre o natural; regresando al ejemplo donde el agua se calienta dentro del recipiente de cobre, se observa que el agua que se encuentra en el fondo del recipiente posee una temperatura mayor que la que se encuentra en la superficie, esto se debe a que existe un movimiento del fluido como una consecuencia de los gradientes en densidad que éste experimenta.

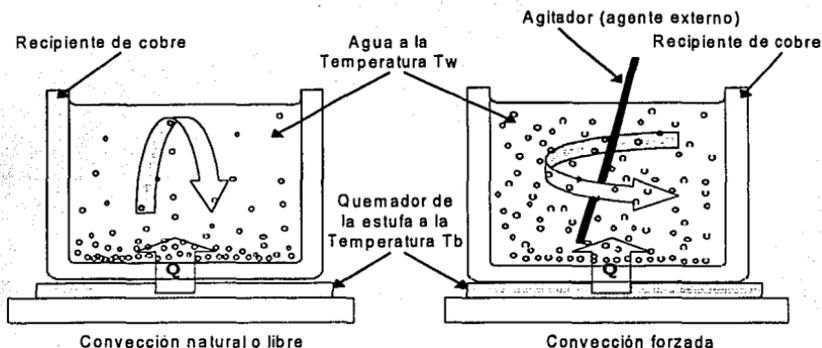


Figura 1-5. Disposición Física para el ejemplo de transferencia de calor por Convección

Un ejemplo típico de convección libre es el enfriamiento de transformadores eléctricos, donde el fluido es el aceite dieléctrico.

La transferencia de calor Q , para la transferencia de calor por convección se encuentra por medio de la ecuación conocida como ley de Newton de la transferencia del calor:

$$Q = hA\Delta T$$

donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección, que es una función dependiente de la naturaleza del material utilizado, la magnitud del movimiento del material y su temperatura; ΔT es la diferencia de temperatura entre los dos materiales que conducen el calor a través de la superficie A

1.4.3 RADIACIÓN

La conducción y la convección son dos tipos de transferencia de calor que se producen como consecuencia de un íntimo contacto entre los materiales. Ni uno ni otro puede ocurrir a través del vacío, pero la radiación o la transferencia de calor por radiación se produce aun en ausencia de materia. Éste es el tipo de transferencia de calor o energía que tiene lugar entre la tierra y el sol, y sin el cual no sería posible la vida. Toda materia emite radiación, y la emisión puede establecerse por medio de la ecuación:

$$Q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

donde

T = Temperatura del cuerpo que emite el calor radiante

A = Superficie perpendicular a la radiación

$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K^4}$ constante de Stefan-Boltzmann para el sistema internacional.

$\sigma = 0.174 \times 10^{-8} \frac{Btu}{h \cdot pies^2 \cdot ^\circ R^4}$ constante de Stefan-Boltzmann para el sistema inglés.

ε = emisividad, o coeficiente de transferencia de calor por radiación.

Para un objeto que tiene una emisión y absorción perfecta ε tiene un valor de 1 (uno). Un objeto formado por material que posee estas características se denomina un cuerpo negro. Puede decirse que a una temperatura dada, todos los cuerpos emiten radiación en forma de energía electromagnética de diferentes longitudes de onda, siendo la radiación dependiente de la temperatura absoluta del cuerpo y de sus características superficiales. Sin embargo, sólo aquella fracción que se encuentra en el rango de longitudes de onda de 0.1 a 100 micrones aproximadamente, se considera como radiación térmica, dentro de este intervalo del espectro electromagnético se localiza el rango ultravioleta, el visible y el infrarrojo.

CAPITULO II

REFRIGERACIÓN

Refrigeración es la rama de la termodinámica que estudia el proceso de reducir y mantener un espacio, a una menor temperatura que su alrededor; por lo cual se realiza una transferencia de calor, de un lugar donde no se desea a otro donde no importa cederlo.

La primera y la más simple forma de producir enfriamiento es utilizando un pedazo de hielo, esta sustancia fría, la cual es agua solidificada, es capaz de enfriar un espacio determinado, una hielera por ejemplo, debido a que puede atraer el calor del medio que lo rodea y usarlo para pasar de sólido a líquido. Un problema con el hielo es que sólo enfriará, hasta que el último pedazo se derrita, así que para conservar fría la hielera será necesario añadir más hielo.

Sin embargo, si se fuera capaz de llevar el agua resultante de la fusión del hielo, extraerle el calor y volver a convertirlo en hielo, para nuevamente introducirlo a ese espacio se puede conservar un enfriamiento continuo en la hielera.

Eso es justamente lo que hace un sistema de refrigeración, excepto que en lugar de usar un sólido usa un líquido llamado refrigerante, que por sus propiedades termodinámicas, absorbe calor y cambia a gas, y en lugar de evaporarse en un lugar abierto se evaporará en una cámara de tal forma que se recupera el gas para convertirlo de nuevo en líquido y así sucesivamente para repetir el ciclo.

La refrigeración se ha vuelto una necesidad primordial para el ser humano, en los procesos industriales, para la conservación de alimentos y productos que requieran de un control de temperatura, para el confort humano, en regiones de climas extremos por mencionar algunas de las aplicaciones más importantes.

Para el presente estudio se enfocará principalmente en la refrigeración industrial, en específico en el control de temperatura de salas telefónicas.

Los equipos de conmutación que se encuentran funcionando en las salas telefónicas, disipan una gran cantidad de calor de sus componentes electrónicos y éste no debe operar en condiciones de temperatura altas, ya que podrían dañarse estos elementos, para estas situaciones el equipo telefónico cuenta con alarmas para el bloqueo y protección del mismo, por lo que es importante mantener cierto rango de temperatura a fin de no poner en riesgo la continuidad del servicio telefónico.

2.1 CICLO MECÁNICO DE COMPRESIÓN

El funcionamiento del sistema se divide en cuatro procesos descritos en la figura 2-1, los cuales constituyen el llamado ciclo de refrigeración, estos procesos son: Evaporación, Compresión, Condensación y Control, de los

cuales se derivan los cuatro componentes básicos para el funcionamiento del sistema de refrigeración: Evaporador, Compresor, Condensador y Válvula de control de flujo.

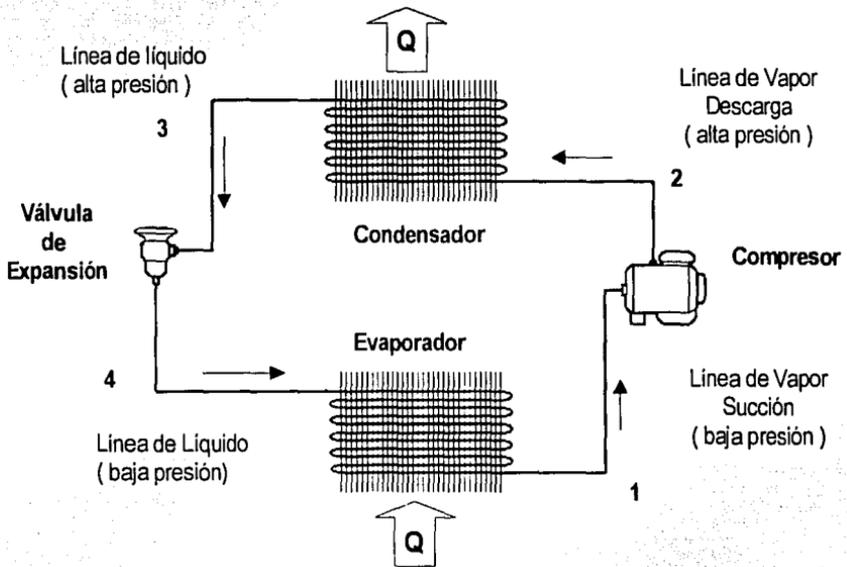


Figura 2-1. Ciclo completo de refrigeración

[4 - 1] Evaporación

En la etapa de evaporación el refrigerante absorbe calor del espacio que lo rodea y por consiguiente lo enfría. Este proceso tiene lugar en un componente denominado evaporador, el cual es llamado así debido a que, al absorber calor del refrigerante, lo cambia de líquido a gas, es importante que el refrigerante sea evaporado totalmente ya que si, llegará líquido al compresor éste se dañaría (golpe de líquido), debido a que ningún líquido es compresible.

[1 - 2] Compresión

Después de evaporarse, el refrigerante es transportado por la línea de succión, el vapor se conduce a baja presión del evaporador al compresor donde se le aumenta su presión, este aumento de presión y temperatura es necesario para que el gas refrigerante cambie fácilmente al estado líquido.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

[2 – 3] Condensación

Una vez elevada su presión y temperatura, se transporta por la línea de descarga, el vapor se conduce a alta presión del compresor al condensador, donde el gas refrigerante cede su calor a un medio a menor temperatura como puede ser el aire ambiente, agua, u otro fluido, cambiando su estado de gas a líquido.

[3 – 4] Control

El refrigerante líquido es transportado por la línea de líquido a alta presión del condensador a la válvula de control. La fase de control es desarrollada por un mecanismo de control de flujo, este mecanismo regula el flujo del refrigerante hacia el evaporador y también actúa como trampa de presión. Después que el refrigerante deja la válvula de control de flujo se dirige al evaporador por la línea de líquido a baja presión y comienza de nuevo el ciclo.

2.2 MÁQUINAS TÉRMICAS

Un sistema termodinámico que avanza a través de un conjunto de procesos y regresa periódicamente a su estado inicial, se define como un dispositivo cíclico. El conjunto de procesos que permite el regreso del sistema a su estado inicial se denomina ciclo. Como ejemplos de dispositivos cíclicos se pueden mencionar: las plantas generadoras de energía eléctrica, los motores de combustión interna y los refrigeradores.

Se denomina máquina térmica a un tipo especial de dispositivo cíclico que transfiere calor a los alrededores, es necesario tener presente que el término máquina térmica no implica necesariamente componentes mecánicos tales como engranajes, ejes, cilindros con pistón, sino que puede ser cualquier dispositivo que comprenda la participación de calor y trabajo.

La máquina térmica convierte entonces la energía transferida en trabajo mecánico y descarga el exceso a una región de baja temperatura, ésta es la forma de operación general de todas las máquinas térmicas; se puede conocer el sitio donde suceden estos fenómenos en un dispositivo dado, realizando un estudio inicial de un diagrama del sistema. En los dispositivos cíclicos no se acumula energía ni tampoco la máquina proporciona energía, toda ella se toma de una fuente exterior y se descarga en otra.

2.3 BOMBA DE CALOR

Si se considera que la máquina térmica es reversible, se puede visualizar la transferencia de energía calorífica y de trabajo que se producen en ambas direcciones. En la figura 2-2, se muestra este tipo de máquina térmica reversible en la cual las flechas discontinuas representan el conjunto de transferencias que podrían ocurrir con respecto al conjunto representado por las flechas continuas. Puede verse que la disposición de la transferencia de energía representada por las flechas de trazo continuo, constituyen precisamente un dispositivo que proporciona la capacidad de refrigeración, esto es, que bombea energía desde una fuente de menor temperatura por medio de la realización de trabajo. Este tipo de máquina térmica se conoce como bomba de calor.

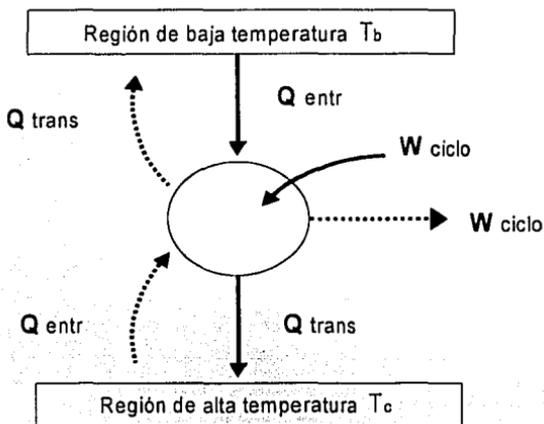


Figura 2-2. Máquina térmica reversible (bomba de calor)

2.4 CICLO DE CARNOT

El ciclo reversible de Carnot, es la teoría básica para cualquier sistema práctico de refrigeración ver figura 2-3. La máxima cantidad de trabajo se puede obtener dejando pasar una cantidad de calor de un cuerpo, que sea una fuente de calor, a otro que sea un receptor, a través de una máquina que trabaje de una manera reversible.

Reversible no sólo respecto de su acción interna, sino también de la transferencia de calor de la fuente de calor a la máquina y de la máquina al receptor de calor.

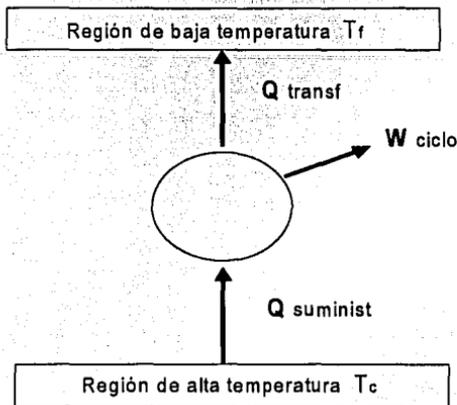


Figura 2-3. Diagrama del sistema de Carnot

En 1824, Sadi Carnot publicó un tratado de termodinámica en el cual ideó un ciclo compuesto por cuatro procesos particulares. La máquina térmica que utiliza este ciclo (pero que nadie ha construido aún) ha sido denominada máquina de Carnot y el ciclo correspondiente, ciclo de Carnot. En la figura 2-4 se muestran los cuatro procesos que constituyen este ciclo y son por orden los siguientes:

- [1 - 2] Compresión isotérmica, el calor es cedido a una temperatura T_f
- [2 - 3] Compresión adiabática reversible desde la temperatura más baja T_f a la temperatura más elevada T_c
- [3 - 4] Expansión isotérmica reversible a la temperatura T_c
- [4 - 1] Expansión adiabática reversible desde la temperatura T_c a la temperatura T_f .

El proceso a temperatura constante ó **isotérmico**, comprende transferencia de trabajo y calor, así como cambios de energía.

Se han considerado procesos en los cuales una propiedad importante permanece fija o constante, esto es, la presión, el volumen o la temperatura. Se considerará a continuación la condición en la cual la **transferencia de calor es cero**, lo que se denomina **proceso adiabático**.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

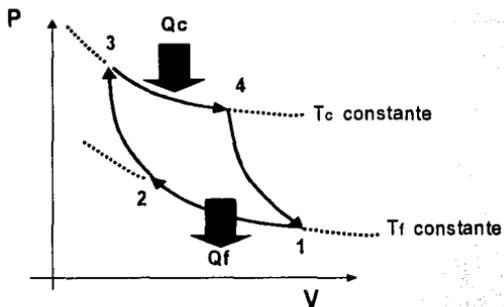


Diagrama P-V para el ciclo de Carnot

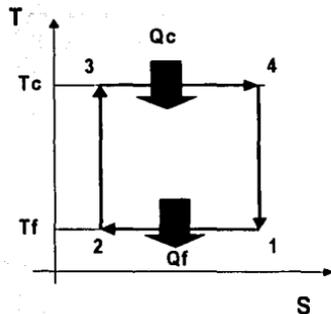


Diagrama T-S para el ciclo Carnot

Figura 2-4. Diagramas P-V y T-S del ciclo de Carnot

2.4.1 CICLO INVERSO DE CARNOT

Se ha mencionado el ciclo de Carnot como una máquina de calor que opera entre dos regiones de temperatura y que produce trabajo ver figura 2-5. A la inversa del ciclo de Carnot, ya se tiene un dispositivo denominado la bomba de calor, la cual transfiere energía desde una región de baja temperatura a otra de temperatura mayor; ya se tiene una introducción a este dispositivo, denominado la bomba de calor.

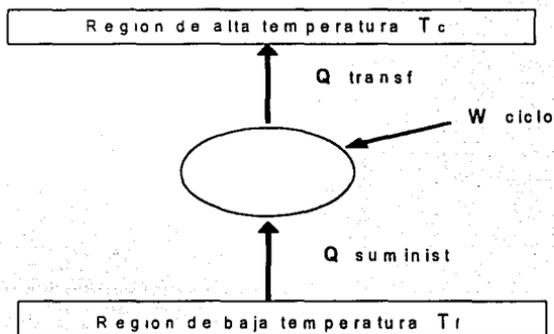


Figura 2-5. Diagrama del sistema inverso de Carnot (bomba de calor)

TESIS
FALLA DE ORIGEN

Considérese el ciclo de Carnot al operar en sentido inverso. Esta es la bomba de calor que de acuerdo a la segunda ley de la termodinámica, requiere tener un aporte neto de trabajo o potencia hacia el dispositivo para que éste sea posible. La figura 2-6 muestra Los cuatro procesos que constituyen este ciclo son los siguientes:

- [1 - 2] Compresión adiabática, la cual se realiza en el compresor.
- [2 - 3] Compresión isotérmica, este proceso se lleva a cabo en el condensador.
- [3 - 4] Expansión adiabática, se realiza en la válvula de control (expansión).
- [4 - 1] Expansión isotérmica, este proceso se lleva a cabo en el evaporador.

Sobre el gas se realizará trabajo durante la compresión, y el gas realizará trabajo durante la expansión, con un trabajo neto, que es la diferencia representada en el diagrama P-V como el área 1 2 3 4 1.

En el diagrama T-S el calor cedido por el sistema, está representado por el área 2 3 5 6 2. El calor suministrado al sistema es 4 1, 6 5 4; la diferencia 1 2, 3 4 1 es la energía que se suministra en forma de trabajo.

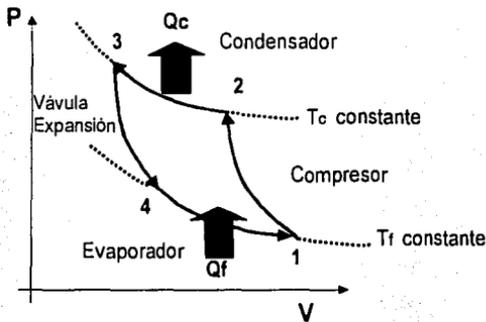


Diagrama P-V para el ciclo inverso de Carnot (Bomba de calor)

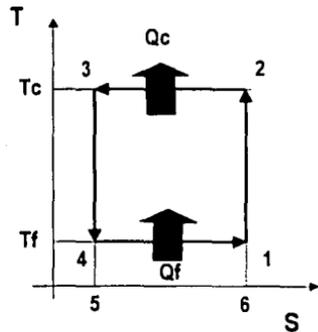


Diagrama T-S para el ciclo inverso de Carnot (Bomba de calor)

Figura 2-6. Diagrama P-V y T-S para el ciclo inverso de Carnot (bomba de calor)

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Obsérvese que las áreas encerradas en los diagramas de propiedades deben de ser iguales para el ciclo reversible, de manera que:

$$W_{\text{ciclo}} = Q_{\text{neto}} = \Sigma Q = Q_{\text{suministrado}} + Q_{\text{transferido}}$$

Para la máquina de Carnot se tiene que:

$$Q_{\text{suministrado}} = T_f \cdot \Delta S$$

$$Q_{\text{transferido}} = -T_c \cdot \Delta S$$

donde ΔS es el valor absoluto del cambio de entropía durante la transferencia isotérmica de calor y el suministro de calor. Por consiguiente

$$Q_{\text{neto}} = (T_f - T_c) \cdot \Delta S = W_{\text{ciclo}}$$

y el coeficiente de rendimiento COP se define por la siguiente ecuación:

$$COP = \frac{\text{calor transferido}}{\text{calor neto del ciclo}} = \frac{Q_{\text{transferido}}}{W_{\text{ciclo}}}$$

se reduce a

$$COP = \frac{T_c}{T_c - T_f}$$

El coeficiente de refrigeración COR se define mediante la ecuación:

$$COR = \frac{-Q_{\text{suministrado}}}{W_{\text{ciclo}}}$$

la cual, para la bomba de calor de Carnot, se obtiene de

$$COR = \frac{T_f}{T_f - T_c}$$

Una de las unidades más comunes del sistema inglés para describir la capacidad frigorífica del dispositivo de una bomba de calor (como un aire acondicionado o congelador) es la tonelada de refrigeración:

Una tonelada de refrigeración es la cantidad de energía absorbida por una tonelada de agua a 32°F y 14.7 psia, en la conversión de un líquido puro a sólido (hielo) durante un periodo de 24 horas.

2.5 CICLO DE COMPRESIÓN DEL VAPOR

La bomba de calor de Carnot representa el último avance en ciclos de refrigeración. Una aplicación práctica del ciclo ideal es el ciclo de compresión del vapor, definido por los siguientes procesos:

[1 – 2] Compresión adiabática, la cual se realiza en el compresor.

[2 – 3] Transferencia de calor a presión constante, este proceso se lleva a cabo en el condensador.

[3 – 4] Estrangulamiento de la expansión a entalpía constante, se realiza en la válvula de control.

[4 – 1] Suministro de calor a presión constante durante un cambio de fase del medio de funcionamiento, este proceso se lleva a cabo en el evaporador.

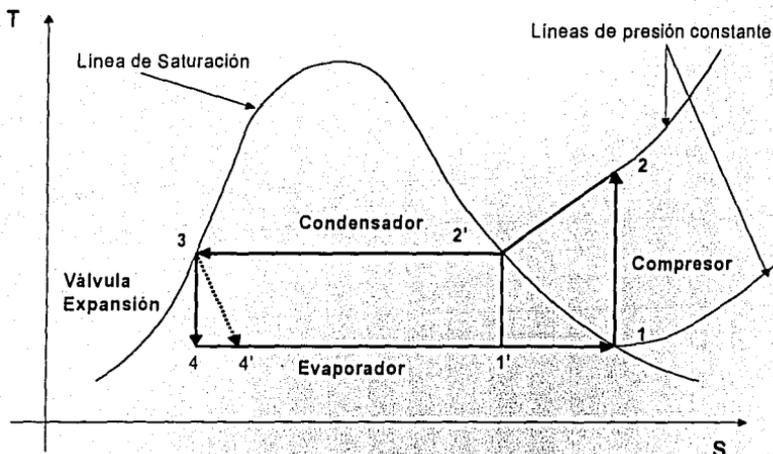


Figura 2-7. Ciclo de un refrigerante en el diagrama Temperatura-Entropía

Obsérvese que se puede realizar una compresión del vapor seco (sobrecalentado) o con una mezcla vapor saturado y líquido. Como lo da a entender la descripción de los ciclos mostrados en la figura 2-7, el de compresión en seco entraña un proceso de compresión con un vapor seco [1 – 2], mientras que el ciclo de compresión del vapor húmedo comprende una mezcla de vapor y líquido durante la compresión [1' – 2'].

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El ciclo de compresión en seco parece ser el más popular en la aplicación de dispositivos modernos de refrigeración, no obstante que la compresión húmeda se aproxima más estrechamente al ciclo inverso de Carnot; es decir, el COP del ciclo de compresión húmeda se esperaría que excediese al COP de la compresión en seco, ambos operando bajo las mismas presiones. La razón en que radica el éxito del ciclo de compresión en seco es que los compresores se comportan mejor con un vapor puro que con una mezcla vapor y líquido, hay que recordar que los líquidos no son compresibles, por lo cual, en los compresores se debe manejar solamente vapor para evitar un daño mecánico llamado "golpe de líquido", esto es, el paso de líquido a los cilindros de compresión.

A partir de esta observación, se debe esperar que se tomen decisiones razonadas al seleccionar los agentes de funcionamiento o refrigerantes en el diseño de una unidad refrigeradora.

Los refrigerantes que normalmente se seleccionan para los ciclos de compresión de vapor, obedecen a los siguientes criterios:

- 1.- Económicos
- 2.- No Tóxicos o perjudiciales al medio ambiente
- 3.- No inflamables
- 4.- Alto valor del calor latente de condensación, a la temperatura de refrigeración
- 5.- Baja presión de saturación a la temperatura de operación

Termodinámicamente, el criterio (4) representa un aspecto más importante de los medios de funcionamiento. Un alto calor latente de condensación refleja una capacidad para la adición de una gran cantidad de calor al ciclo refrigerante por unidad de masa refrigerante. Sin embargo, se debe recordar que la sola consideración del calor de vaporización no debe determinar los refrigerantes más convenientes. Inclusive algunas propiedades diferentes como la viscosidad, solubilidad, o conductividad térmica, podrían figurar entre los requerimientos para la selección de los medios de funcionamiento para los ciclos de refrigeración.

2.6 COMPRESION

La compresión en un ciclo teórico se supone que es un proceso adiabático. En la figura 2-8 se le llama compresión seca cuando se lleva a cabo desde la línea de saturación a la región de sobrecalentamiento CD y húmeda si empieza en la región de saturación y termina en las proximidades de la línea de saturación C'D'

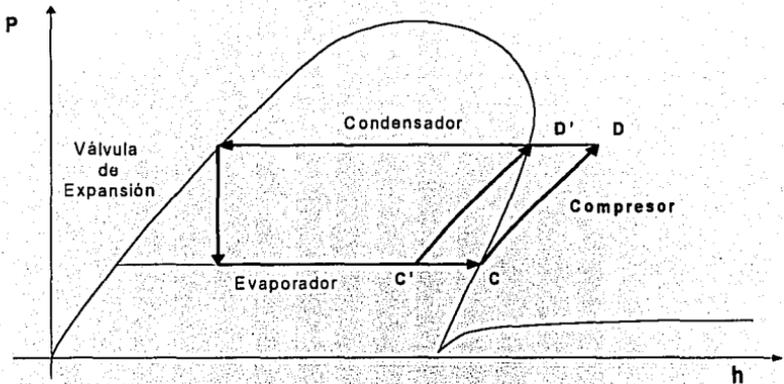


Figura 2-8. Ciclo de un refrigerante en el diagrama Presión-Entalpia.

El calor de compresión por libra de refrigerante es de

$$q_2 = h_D - h_C$$

donde q_2 = calor de compresión en Btu/lb

h_C = entalpia del refrigerante al entrar al compresor en Btu/lb

h_D = entalpia del refrigerante al salir del compresor en Btu/lb

El trabajo necesario será:

$$W = J \cdot q_2 = J(h_D - h_C)$$

$$HP = \omega \frac{(h_D - h_C)}{42.42}$$

en donde ω = gasto de refrigerante en lb/min

$$1 \text{ HP} = 42.42 \text{ Btu/min}$$

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

o bien,

$$HP = \frac{W}{33000 \cdot t}$$

donde t = tiempo en minutos.

Capacidad del compresor

La capacidad de un compresor recíprocante al transportar refrigerante depende del desplazamiento volumétrico y de la eficiencia volumétrica.

La eficiencia volumétrica es la relación de cantidad de vapor transportado en pies cúbicos por minuto a la presión y temperatura de succión al desplazamiento del pistón por minuto.

La eficiencia volumétrica η_v en compresores recíprocantes es del orden de 76% a 90%. Se recomienda un valor de 86% para cálculos aproximados.

Desplazamiento efectivo

Para una máquina de acción sencilla, el desplazamiento volumétrico vale:

$$DV' = C \cdot \frac{\pi \cdot d^2 \cdot S \cdot N}{4 \times 1728} \cdot \eta_v$$

donde

DV' = desplazamiento volumétrico en pies^3/min

C = número de cilindros

d = diámetro del cilindro en pulgadas

S = carrera del cilindro en pulgadas

N = revoluciones por minuto (rpm)

η_v = eficiencia volumétrica

Trabajo requerido para comprimir

La forma general del trabajo requerido para una compensación adiabática es:

$$W_t = \frac{144 \cdot k}{778 \cdot (k-1)} P_c V_c \left[\frac{P_D (k-1)/k}{P_c} - 1 \right]$$

en donde

$$k = C_p / C_v$$

P_c = presión inicial en lb / plg^2 (absoluta)

V_c = volumen inicial en $pies^3$

P_D = presión inicial en lb / plg^2 (absoluta)

Por otro lado se tiene que:

$$T_2 / T_1 = (P_2 / P_1)^{(k-1)/k}$$

La potencia será:

$$HP = \frac{144}{33000} \times \frac{k}{k-1} (P_c V_c) \left[\frac{P_D (k-1) / k}{P_c} - 1 \right]$$

2.6.1 FUNCIONES DEL COMPRESOR

Las funciones básicas del compresor son tres y se describen a continuación

a) **Diferencia de presión requerida.** Esta es la primera de las tres funciones desarrolladas por los compresores, el refrigerante evaporado bajo presión reducida debe ser comprimido para poderlo condensar. El sistema de refrigeración debe operar con la parte correspondiente a evaporación a baja presión, y la parte de condensación a alta presión. De acuerdo a esto, a la porción del sistema en el lado de succión del compresor se le llama "lado bajo", mientras que a la succión del sistema en el lado de descarga del compresor se le llama "lado alto".

El nivel de presión requerido en ambos lados dependerá de la temperatura de operación del condensador y evaporador y del refrigerante usado en el sistema.

La presión del gas es medida en libras/pulgada cuadrada (PSI = Pound Square Inch) ó kilogramos /centímetro cuadrado (Kg/cm^2).

Puede expresarse como presión absoluta (PSIA) (kg/cm^2 Absoluta) ó como presión manométrica (PISG) (kg/cm^2 manométrica), esto es:

$$\text{Presión Absoluta} = \text{Presión Atmosférica} + \text{Presión manométrica}$$

La presión manométrica menor que la presión atmosférica se expresa como vacío y se mide en pulgadas (cm) de mercurio.

Como ejemplo, se tiene un sistema de aire acondicionado cargado con refrigerante R-12 con el compresor sin funcionar y la temperatura a 100°F (37.8°C) la presión que le corresponde de tablas al refrigerante será de 84.3 PSIG (5.9 Kg/cm²) en ambos lados, y no habrá ni evaporación ni condensación del refrigerante.

Con el compresor funcionando, la presión de descarga puede aumentar a 117.4 PSIG (8.25 Kg/cm²), la cual corresponde a 100°F (37.8°C) para el refrigerante R-12; el calor podría entonces fluir del condensador a 100°F (37.8°C) al aire a 80°F (26.7°C) y el vapor del refrigerante podría condensarse.

Simultáneamente, por la acción de succión del compresor se reducirá la presión del evaporador debajo de 84.3 PSIG (5.9 Kg/cm²) y su temperatura caería por debajo de los 80°F (26.7°C) permitiéndole absorber calor.

Para la evaporación a 40°F (4.4°C), la presión del vapor tendría que ser de 37 PSIG (2.6 Kg/cm²)

b) Relación de compresión.- Este término indica cuál es el cambio de presión que debe crear el compresor en un sistema. Se determina dividiendo la presión absoluta de descarga entre la presión absoluta de succión del compresor.

$$RC^* = \frac{P_{descarga}}{P_{succión}}$$

donde:

RC^* = Relación de compresión

$P_{descarga}$ = presión absoluta de descarga

$P_{succión}$ = presión absoluta de succión.

Tomando el ejemplo anterior se tiene que para una temperatura de evaporación de 40°F (4.4°C) la razón de compresión es de 2.4, el trabajo en el compresor para esta relación es aceptable; para 0°F (-17.8°C) es de 5.6, el compresor necesitará más esfuerzo para llegar a la presión requerida y para -40°F (-40°C) es de 14.2 la cual resulta en un trabajo excesivo que pudiera resultar dañino para el compresor.

A menor temperatura la razón de compresión requerida es mayor, con baja eficiencia y difícil operación del compresor. Debido a que la eficiencia baja y el funcionamiento del compresor se dificulta operando a altas razones de compresión, se ha establecido un límite de 10 a 1 y hasta 7 a 1. Sin embargo, no es raro encontrarse con compresores pequeños operando a razones de 12 a 1. Por otro lado hay compresores diseñados especialmente para altas razones de operación, con anillos adicionales en los pistones, tolerancias más rígidas y sistemas de enfriamiento más elaborados.

c) Bombear el volumen suficiente de refrigerante. - Esta es la segunda de las tres funciones desarrolladas por el compresor. Entonces cuál es el volumen suficiente de refrigerante en un sistema de refrigeración, la contestación depende de la temperatura de operación. A menor temperatura de operación mayor volumen de refrigerante deberá circular.

Esto significa que se necesita un compresor más grande para enfriar una carga dada a una temperatura muy baja, que para enfriar la misma carga a temperatura moderadamente baja.

d) Selección del compresor por el tipo de refrigerante utilizado.- La tercera función de cualquier compresor es ser el más indicado para el refrigerante que se use. El refrigerante afecta el diseño del compresor en detalles tales como: el tamaño de las válvulas, la tensión de los resortes de las válvulas y el diseño del sistema de enfriamiento.

Por ejemplo, algunos refrigerantes como el amoníaco se calientan demasiado por la compresión. El diseño de un compresor para amoníaco puede necesitar un dispositivo externo de enfriamiento con circulación de agua, mientras que el diseño de compresores para refrigerantes que no se calientan demasiado como el R-12 por ejemplo, pueden requerir solamente aletas de enfriamiento

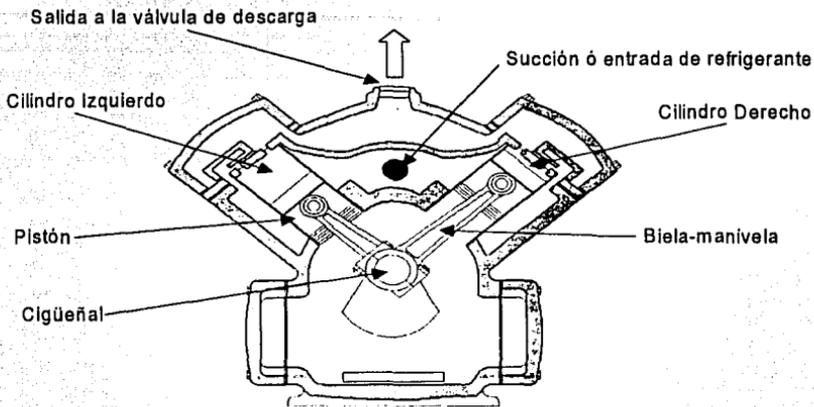
Los materiales de construcción también influyen: el amoníaco, por ejemplo atacaría al cobre o a sus aleaciones, el refrigerante R-12 y otros refrigerantes similares atacarían algunos tipos de plásticos o hules.

2.6.2 TIPOS DE COMPRESORES

Los compresores crean diferencias de presión y pueden ser de tres tipos:

a) Compresor recíprocante

Los compresores recíprocantes tienen uno o más cilindros. Las unidades pequeñas tienen uno y las unidades grandes tienen hasta doce. Los cilindros pueden arreglarse en línea, en "V" o en "W", sin embargo, independientemente del arreglo, cada cilindro consta de las siguientes partes básicas: un cilindro fijo, un pistón con anillos o ranuras aceitadas para dar un sello positivo, un cigüeñal con una biela conectada a un pistón, y en la parte alta una placa con válvulas de entrada y salida separadas por una pared. La acción de bombeo del pistón moviéndose hacia arriba y hacia abajo dentro del cilindro introduce el refrigerante, el cual al comprimirse es descargado.



Corte de un compresor alternativo mostrando el flujo del refrigerante

Figura 2-9. Compresor abierto ó semi-hermético

La fuerza que mueve al cigüeñal, el cual a su vez mueve al pistón puede provenir de un motor eléctrico, el cual la transmite a través de poleas y bandas. Al compresor mostrado en la figura 2-9, se le llama "abierto" ó semi-hermético debido a que el motor y un extremo del cigüeñal estarán a la intemperie. Para evitar fugas se requiere de un sello en la flecha donde esta entra al compresor.

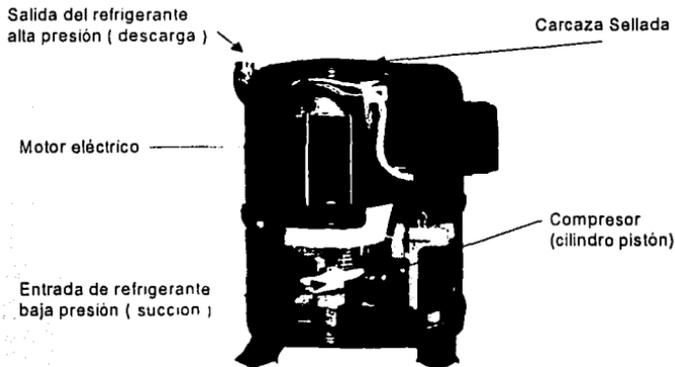


Figura 2-10 Compresor cerrado, sellado ó hermético.

El tipo de compresor sellado ó hermético como se muestra en la figura 2-10, tiene el motor y compresor contruidos como una unidad, encerrados en una carcaza, y ha llegado a ser muy utilizado por varias razones:

- 1) No necesita sello alrededor de la flecha, dado que el compresor y el motor están dentro de la misma cámara, esto significa disminución de servicio de mantenimiento.
- 2) El motor puede ser más compacto debido a que es enfriado por el mismo refrigerante
- 3) Estas unidades son de fabricación más económica, que las unidades con motores separados.
- 4) Este tipo de compresor no se repara, cuando sufre un daño se cambia completamente, esto es debido, a que al fabricarlo se sella con una soldadura y equipo especial, así como se debe tener una hermeticidad total para evitar la entrada de aire húmedo dentro de la carcaza del compresor. Cuando se llegan a abrir para repararlos, al momento de cerrarlo y soldarlo, pueden quedar poros en la unión de la soldadura, así mismo, los componentes del compresor al estar en contacto con el aire ambiente adquiere cierta humedad la cual, se debe eliminar, ya que reaccionará con el refrigerante y atacará la protección aislante de los cables de cobre en el devanado del motor eléctrico. A consecuencia de esto, habrá un corto circuito del motor eléctrico. es decir, se quemará el motor y contaminará el refrigerante, lo que resultará que todo el sistema tendrá refrigerante contaminado, y la reparación será mayor ya que se deberá cambiar nuevamente el compresor, el refrigerante, el aceite, los filtros, verificar si se dañaron las válvulas, si es así, se deberán reemplazar ésta también.

El compresor recíprocante es el tipo más comúnmente usado para refrigeración, es ampliamente utilizado en uso doméstico, en refrigeración comercial y en grandes sistemas industriales.

b) Compresor rotatorio

Este compresor es conocido por su larga vida, funcionamiento suave y mínimos problemas. Como se muestra en la figura 2-11 en lugar de un pistón central con movimiento ascendente y descendente, tiene un rotor excéntrico que gira dentro de una cámara de compresión, la cual tiene a su vez válvulas de entrada y salida y una aleta sostenida contra el rotor por medio de un resorte.

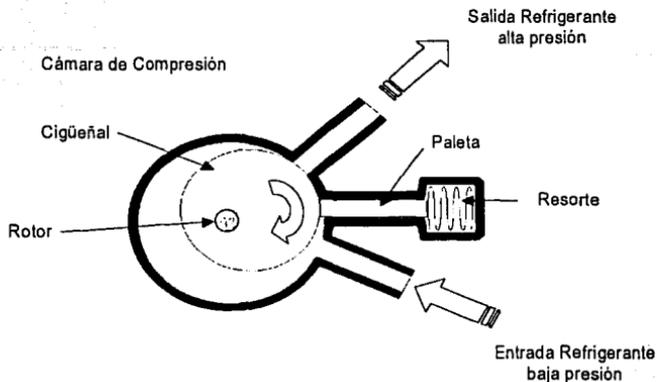


Figura 2-11. Compresor rotatorio

La acción de compresión se efectúa debido al atrapamiento del gas entre el rotor excéntrico y las paredes de la cámara, existe otro tipo de compresor que usa dos tornillos entrelazados, los cuales sirven para comprimir el gas, comúnmente llamado compresor de tornillo

Se clasifican como componentes rotatorios debido a que sus partes componentes giran, los compresores rotatorios son usados para sistemas industriales.

c) Compresor centrifugo

El compresor centrifugo aumenta la presión del gas no por opresión, como en los otros dos métodos, sino debido al movimiento acelerado producido por la acción de un impelente a alta velocidad, figura 2-12. Es apropiado para refrigerantes que operan a baja presión y gran volumen, tales como el R-11, pero presenta limitaciones para operar a presiones altas.

Algunas veces los compresores centrifugos son de etapas, o sea que usan impelentes en serie; son empleados en grandes sistemas (de 50 toneladas de capacidad o más), tales como refrigeración de oficinas, edificios, hoteles, teatros, etc., pueden funcionar con motores eléctricos y turbinas de vapor o de gas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

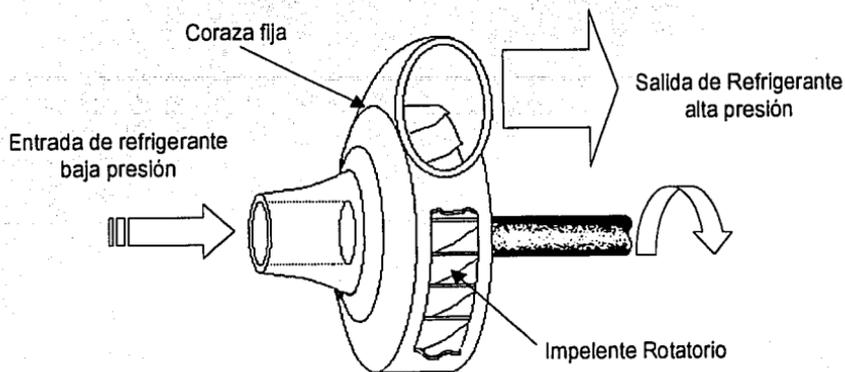


Figura 2-12. Compresor centrifugo

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.7 CONDENSACION

En el condensador es donde el agente absorbe el calor del refrigerante, transformando el gas sobrecalentado que sale del compresor, en líquido saturado o subenfriado como se muestra en la figura 2-13.

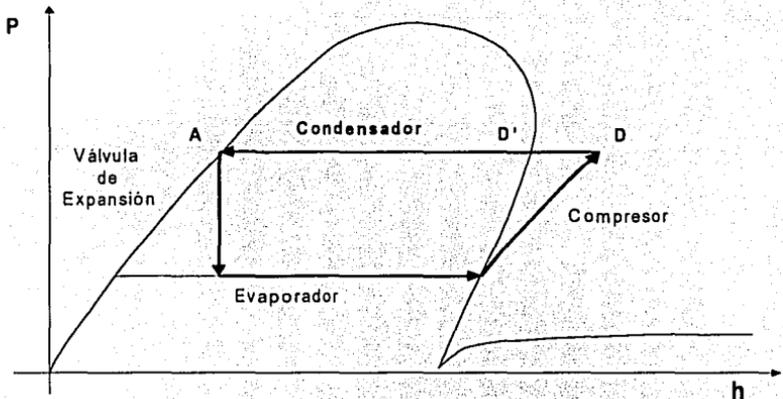


Figura 2-13. Ciclo de un refrigerante en el diagrama Presión-Entalpia

El proceso DD' se realiza a presión constante bajando la temperatura hasta la saturación; el proceso D'A se realiza a presión y temperatura constantes.

El calor absorbido por el condensador es igual al calor absorbido en el evaporador más el calor equivalente al trabajo suministrado por el compresor, es decir

$$q_3 = q_1 + q_2$$

donde

q_3 = calor absorbido por el condensador por libra de refrigerante en Btu/lb

q_1 = calor absorbido en el evaporador en Btu/lb

q_2 = calor equivalente al trabajo suministrado por el compresor en Btu/lb

o bien

$$q_3 = h_D - h_A$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La operación de un condensador es justamente contraria a la de un evaporador. El gas refrigerante caliente y a alta presión cede calor a los alrededores, sea agua o aire, condensándose hasta transformarse en refrigerante líquido.

El refrigerante licuado puede ser almacenado en un recipiente separado llamado receptor, o bien en un condensador-receptor especial, el cual es una combinación de condensador y receptor dentro de una misma unidad. Los condensadores son suministrados en combinación con un compresor, cuando se suministran como un componente unitario se les llama "unidad de alta" ó "unidad condensadora".

El condensador debe ser del tamaño adecuado para eliminar todo el calor absorbido al refrigerante. Esto supone un gran trabajo, pues no sólo incluye la eliminación del calor recibido en el evaporador, sino también el calor producido durante la compresión.

2.7.1 TIPOS DE CONDENSADORES:

a) Condensador enfriado por aire

La figura 2-14 ejemplifica un condensador enfriado por aire, es similar al evaporador y tiene muchos de los mismos dispositivos, incluyendo aletas, una abanico para mejorar el flujo de calor y puede ser de circuitos múltiples.

Los condensadores enfriados por aire deben conservarse limpios para obtener una mayor transferencia de calor y por consiguiente una mayor eficiencia, cualquier señal de basura o grasa en los tubos o aletas disminuyen la transferencia de calor en la misma forma que la película de aire que se vio anteriormente.

Una desventaja de estos condensadores es que la temperatura del aire es muy variable. Para altas temperaturas del aire el compresor debe de trabajar con sobrecarga para obtener la presión de condensación y compensar la reducida capacidad de enfriamiento del aire

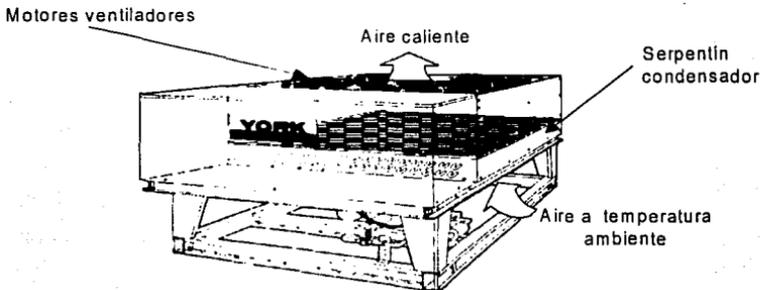


Figura 2-14. Unidad condensadora enfriada por aire

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

b) Condensadora enfriada por agua

Para eliminar los problemas ocasionados por la fluctuación de temperatura del aire, algunas veces se utiliza agua como medio de enfriamiento lo que permite mantener baja la presión de condensación, ya que el agua tiende a permanecer fría y estable aún en climas calientes. Los condensadores pueden manejar grandes cargas y pueden hacerse más compactos ya que el agua absorbe más Btu's (calorías) que el aire.

c) Condensador de coraza y tubos

Como se muestra en la figura 2-15 el gas refrigerante caliente entra por la parte superior de la coraza cediendo su calor al agua que circula a través de tubos, se condensa y sale por la parte inferior prosiguiendo por la línea de líquido. Los tubos de estos condensadores deben limpiarse periódicamente para eliminar depósitos que dificultarían el flujo de calor.

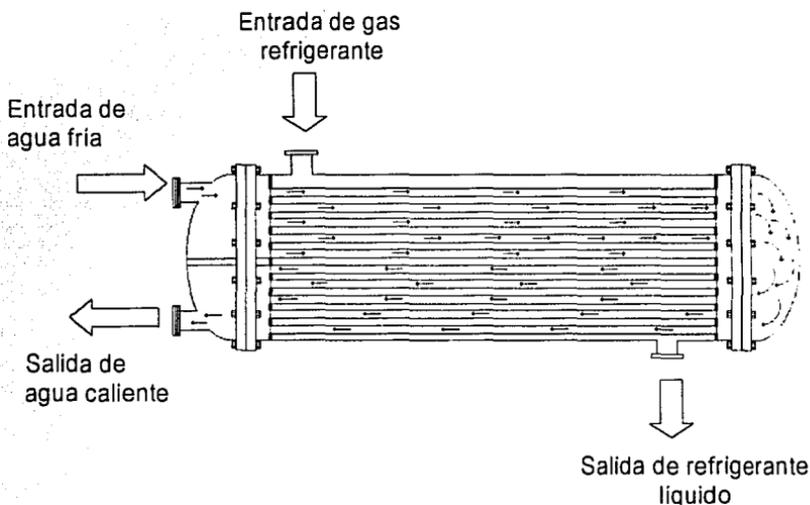


Figura 2-15. Condensador de coraza y tubos

d) Torre de enfriamiento

Debido al costo de agua necesaria para hacer funcionar los condensadores de agua fría, muchos sistemas están equipados con aparatos tales como torres de enfriamiento que permiten recircular el agua, la cual es bombeada a lo alto de la torre para posteriormente caer; una pequeña parte se evapora ocasionando que el resto del agua se enfríe y se pueda volver a usar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.8 EVAPORACION

El proceso de evaporación se realiza en el evaporador. El líquido que sale de la válvula de expansión cambia a vapor, conforme va absorbiendo calor del espacio a refrigerar.

El calor absorbido incrementa la entalpía del refrigerante, y el vapor a la salida se considera en el ciclo teórico, seco y saturado en el punto C. En un ciclo real, generalmente el refrigerante sale del evaporador sobrecalentado hasta el punto C'. El proceso de vaporización se lleva a cabo a presión y temperatura constante.

El calor absorbido en el evaporador por libra de refrigerante, es de:

$$q_1 = h_c - h_B$$

donde q_1 = calor absorbido en Btu/lb

h_c = entalpía del refrigerante que sale del evaporador en Btu/lb

h_B = entalpía del refrigerante que entra al evaporador en Btu/lb

En el diagrama P-h de la figura 2-16, la distancia B'C representa el calor latente total del refrigerante a la presión de vaporización, el calor aprovechado o efecto de refrigeración es BC; la diferencia BB' es la pérdida en la válvula de expansión.

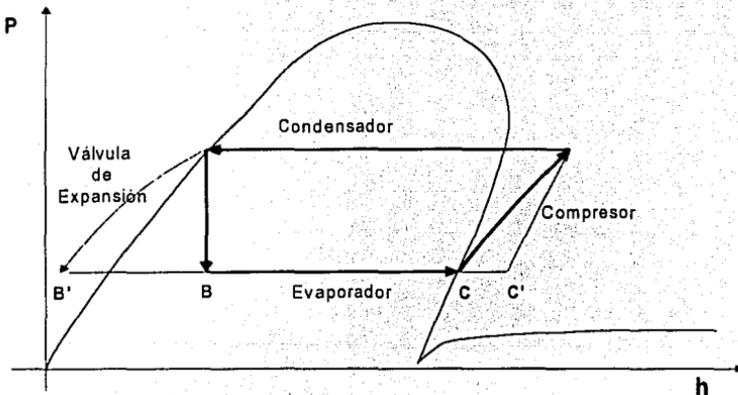


Figura 2-16. Vaporización del refrigerante

TEJES CON
FALLA DE ORIGEN

El evaporador es el elemento a través del cual el calor entra al sistema de refrigeración, también son llamados intercambiadores de calor y operan debido a la tendencia natural de flujo de calor, de una parte caliente a otra fría. Durante la operación de un evaporador, el refrigerante dentro de los tubos estará más frío que el aire exterior circundante, como resultado de esto, la transferencia de calor se llevará a cabo del aire que estará a una temperatura mayor y lo absorberá el refrigerante, este flujo es continuo.

En la operación de un evaporador se produce un flujo del refrigerante líquido dentro de los tubos del evaporador, esto produce una transferencia de calor del aire al refrigerante produciendo dos resultados: El aire al perder calor se enfría y el refrigerante al absorber calor se evapora. Una vez evaporado, el refrigerante es extraído por medio del compresor, lo que deja espacio libre para permitir la entrada de nuevo refrigerante líquido y mantiene una baja presión en el refrigerante líquido que permite que se evapore nuevamente a una temperatura baja.

2.8.1 CLASIFICACION DE EVAPORADORES

En términos de operación, los evaporadores se clasifican en dos grandes grupos:

1.- Evaporadores de expansión seca

Son aquellos en los cuales el refrigerante se evapora completamente, de tal forma que solamente a la salida del evaporador tenemos refrigerante en forma de gas como se muestra en la figura 2-17, este tipo de evaporador es el más utilizado por los fabricantes en los equipos de acondicionamiento de aire.

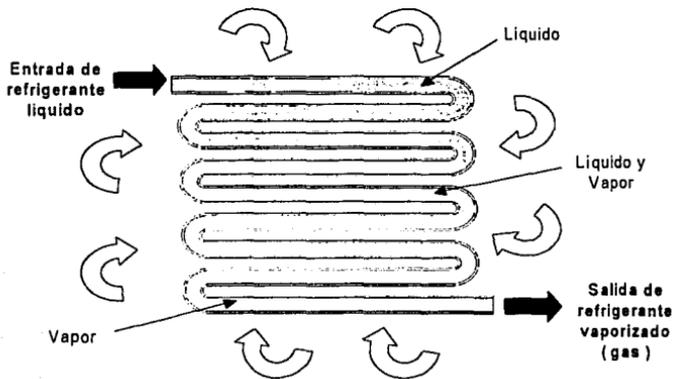


Figura 2-17. Evaporador de expansión seca

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.- Evaporadores sumergidos

Están diseñados de tal forma que a la salida del evaporador pase una pequeña porción de refrigerante en forma líquida como se observa en la figura 2-18, con la finalidad de aumentar el mojado de la superficie interior de la tubería en el evaporador, para mejorar la transferencia de calor.

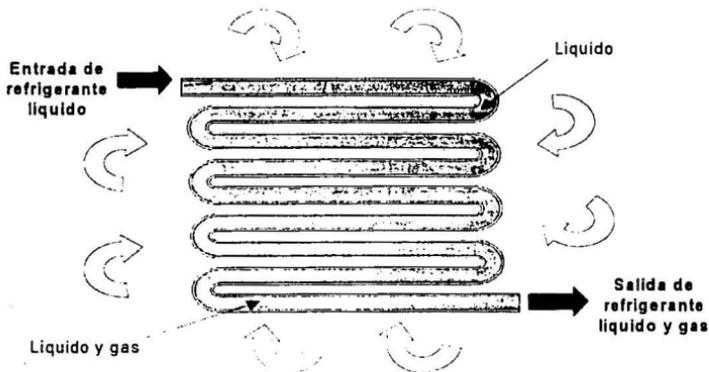


Figura 2-18. Evaporador inundado

Sobre la superficie de los tubos en el evaporador, el aire en el exterior y el refrigerante en el interior forman zonas de resistencia al flujo de Btu's (calorías), a estas zonas de resistencia se les llama "película de Superficie", analíticamente este valor es el que representa h que es el coeficiente de transferencia de calor por convección.

2.8.2 EL LADO DEL AIRE

La película de superficie del lado del aire en especial impide el flujo de calor debido a que el aire, al igual que muchos gases, es por naturaleza un conductor pobre, de hecho, esta película es el principal obstáculo al flujo de calor de un intercambiador.

Un método usado a menudo para compensar la película de superficie del lado del aire consiste en aumentar la superficie de la tubería del intercambiador de calor equipándolo con aletas o collares, con esto no se elimina la película de aire, pero aumenta la superficie de transferencia.

Otra técnica es introducir una corriente rápida de aire sobre el intercambiador de calor con un ventilador, esto es muy efectivo y además proporciona un flujo de calor adicional al crear corrientes de convección forzadas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.8.3 EL LADO DEL REFRIGERANTE

En el interior del evaporador, el problema de la película de superficie puede reducirse aumentando el grado de mojado de las paredes del tubo del refrigerante, al haber mojado en la superficie, es mínima la formación de películas y el flujo de calor es mejor y más eficiente.

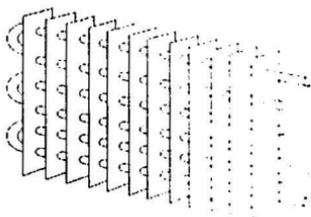
La principal dificultad para tener el mojado en la superficie interior del tubo, radica en el hecho que dentro de un evaporador funcionando, una porción del refrigerante está constantemente cambiando a gas, el cual tiende a cubrir las paredes del tubo impidiendo que el líquido llegue a ellas.

Por la propia naturaleza de los evaporadores no pueden evitarse la formación de gas, pero si se puede aumentar el mojado de la superficie diseñando intercambiadores de calor que usen varios serpentines en lugar de uno solo. Este circuito múltiple también ayuda a mejorar las condiciones de trabajo en el compresor ya que el refrigerante fluirá más libremente.

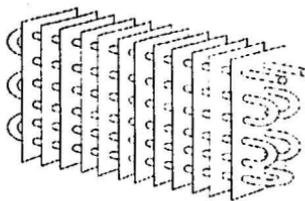
2.8.4 TIPOS DE EVAPORADORES

a) Evaporador de serpentin

El evaporador de serpentin, a menudo llamado serpentin de enfriamiento, es uno de los más utilizados y más simples, consta únicamente de un circuito de tubos y aletas que pueden ser de distintos materiales con altos grados de conductividad térmica, como por ejemplo de aluminio ó cobre. Para eficientar aún más la disipación de calor en el serpentin, se le pueden agregar circuitos para contar con una mayor superficie de contacto en las aletas y así tendrá una mayor transferencia de calor, a este tipo de serpentines se les denomina serpentin múltiple.



Evaporador de circuito simple



Evaporador de circuito múltiple

Figura 2-19. Evaporador de serpentin

Si el serpentín del evaporador tiene abanico se le clasifica algunas veces como de aire inducido o de circulación inducida. Se diferencia del de convección natural en que este último no usa ventilador para la circulación de aire.

b) Evaporador de tubos y coraza o enfriador

Este evaporador consta esencialmente de un tanque o recipiente que contiene uno o varios circuitos de serpentines, se usa para enfriar un líquido llamado "enfriador secundario", el cual circula a través del serpentín sumergido en el refrigerante líquido. Algunas veces se le nombra enfriador de agua, enfriador de líquido o enfriador de salmuera.

El líquido enfriador secundario es bombeado a otro intercambiador de calor donde se usa para enfriamiento, a tales arreglos se les llama sistemas de enfriamiento secundarios, y generalmente consta de un sistema central de refrigeración y uno o más intercambiadores de calor localizados en lugares alejados del sistema.

c) Placas de enfriamiento

Hay muchos otros tipos de diseño de evaporadores tales como los llamados placas de enfriamiento ver figura 2-20, los cuales constan de dos placas metálicas soldadas de tal manera que, entre las dos, formen el conducto de flujo del refrigerante. Pueden ser de aluminio o de lámina metálica, tratada con pintura especial para evitar la corrosión, este tipo de evaporador se instala en refrigeradores y congeladores domésticos, por su facilidad de limpieza y economía.

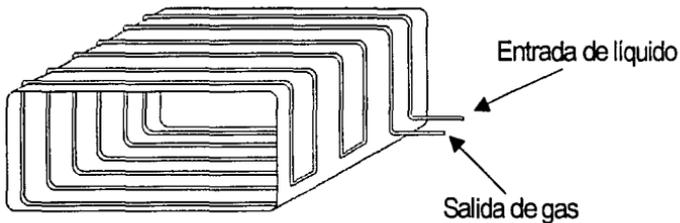


Figura 2-20. Evaporador de placas de enfriamiento

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.9 EXPANSION

El proceso de expansión ocurre en la válvula, ver figura 2-21; la presión del líquido se reduce de la presión de condensación a la presión de evaporación. Cuando ocurre la expansión a través del orificio de la válvula, la temperatura del líquido también se reduce de la temperatura de condensación a la de evaporación.

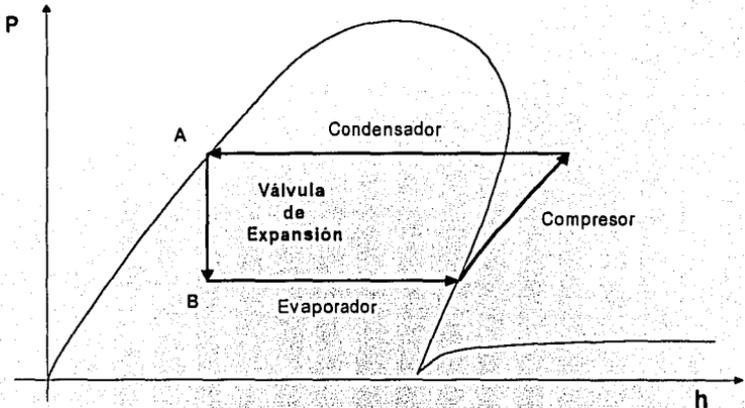


Figura 2-21. Ciclo de un refrigerante en el diagrama Presión-Entalpia

El proceso de expansión AB es isentálpico, es decir, ocurre sin producir trabajo. Es un proceso de estrangulamiento en el que según la ecuación general de la energía para una libra de refrigerante se tiene:

$$\frac{V_A^2}{2g} + h_A = \frac{V_B^2}{2g} + h_B$$

Como la energía cinética de salida difiere muy poco de la de entrada, se puede decir que el proceso es a entalpia constante, luego:

$$h_A = h_B$$

$$h_{f1} = h_{fB} + Xh_{gB}$$

de donde:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

$$X = \frac{h_{fA} - h_{fB}}{h_{fgB}}$$

V_A = Velocidad en A, en pies/seg

V_B = velocidad en B, en pies/seg

g = constante gravitacional

h_A = entalpía en A en Btu/lb

h_B = entalpía en B en Btu/lb

h_{fA} = entalpía del líquido que entra a la válvula en A en Btu/lb

h_{fB} = entalpía del líquido que sale de la válvula en B en Btu/lb

h_{fgB} = calor latente del refrigerante en B en Btu/lb

X = Calidad expresada en decimales.

La calidad X representa la cantidad de líquido que se evapora en la válvula, en otras palabras:

$$(h_{fgB} - Xh_{fgB})$$

es el calor latente que queda disponible de una libra de refrigerante para absorberse en el evaporador, y se le da el nombre de efecto de refrigeración.

2.9.1 EFECTO DE REFRIGERACIÓN

El efecto de refrigeración es la cantidad de calor que absorbe un peso dado de refrigerante. Una libra de hielo a 32°F por ejemplo, absorbe al derretirse 144 Btu.

El efecto de refrigeración de un refrigerante líquido es igual al calor latente del refrigerante a la presión de vaporización, menos la cantidad del calor que desprende el líquido al enfriarse de la temperatura de la válvula a la temperatura de salida; este calor evapora parte del mismo líquido antes de entrar al evaporador, o sea:

$$ER = h_{fgB} - (h_{fA} - h_{fB})$$

donde

$$(h_{fA} - h_{fB}) = \text{calor cedido por el líquido al bajar su temperatura de A a B}$$

o bien,

$$ER = h_{fgB} - h_{fB} - h_{fA} + h_{fB}$$

$$ER = h_{gB} - h_{fA}$$

donde

h_{gB} = entalpía total del vapor en B

o todavía como se determinó anteriormente

$$ER = h_{fgB} - Xh_{fgB}$$

2.9.2 CAPACIDAD DEL SISTEMA

La capacidad del sistema es la cantidad de calor extraído del espacio por refrigerar. Se designa en Btu/h o en toneladas de refrigeración.

2.9.3 TONELADA DE REFRIGERACION

Cuando se derrite una tonelada de hielo, absorbe 288,000 Btu por lo tanto, una libra, absorberá 144 Btu. Si una tonelada se derrite en 24 horas, absorberá 288,000 Btu/día, o bien 12,000 Btu/h, o bien 200 Btu/min. Esto es a lo que se designa como tonelada de refrigeración (tonelada de 2,000 lb).

2.9.4 DISPOSITIVOS DE CONTROL DE FLUJO

La fase de control es desarrollada por un mecanismo de control de flujo. Este mecanismo regula el flujo del refrigerante dentro del evaporador, y también actúa como trampa de presión. Después que el refrigerante deja el control de flujo se dirige al evaporador y comienza de nuevo el ciclo.

Los dispositivos de control de flujo son:

1.- **Válvula de expansión manual.** El tipo más simple de control de flujo, ver figura 2-22, es la válvula manual común, sin embargo, es poco usada debido a que debe ser ajustada constantemente para controlar los cambios de carga en el sistema.

Ajuste manual de la presión por medio de una manivela y resorte

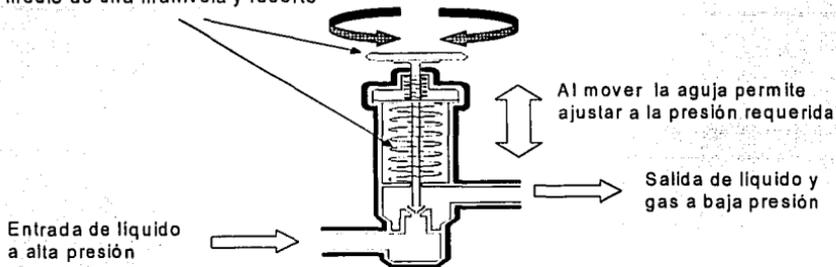


Figura 2-22. Válvula de expansión manual

2.- Válvula de expansión automática: Un control de flujo que se usa menos frecuentemente es la válvula de expansión automática ver figura 2-23; de hecho, es un regulador de presión constante (calibrada para una determinada presión), es de capacidad muy limitada para reaccionar a cambios de carga, por esta razón se utiliza en condiciones de operación relativamente constantes.

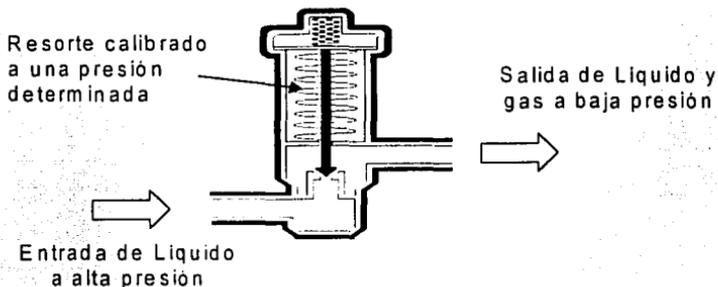


Figura 2-23 Válvula de expansión automática

3.- Válvula de expansión termostática Este elemento percibe las condiciones del refrigerante a la salida del evaporador, y usa esta información como guía para el control automático del flujo de refrigerante dentro de él. Esta información a la salida del evaporado lo realiza el bulbo sensor, el cual en su interior contiene un gas que reacciona con la temperatura detectada y acciona la válvula para dejar pasar un mayor o menor flujo de refrigerante hacia el interior del evaporador como se muestra en la figura 2-24.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Este tipo de válvula de control de flujo de refrigerante es el más utilizado por los fabricantes de equipos de refrigeración para los sistemas de aire acondicionado.

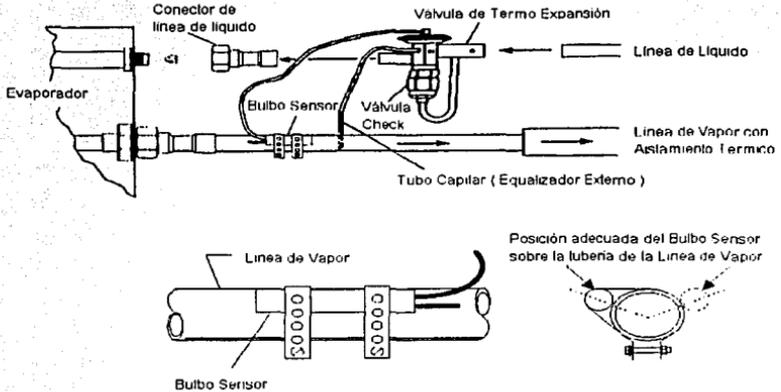


Figura 2-24. Válvula de termo-expansión

4.- Distribuidor de refrigerante: Con un circuito múltiple de evaporadores, el flujo del refrigerante se reparte por medio de un distribuidor a la salida de la válvula de expansión como se muestra en la figura 2-25. El distribuidor usa una cámara de mezclado para mantener el líquido y el vapor juntos.

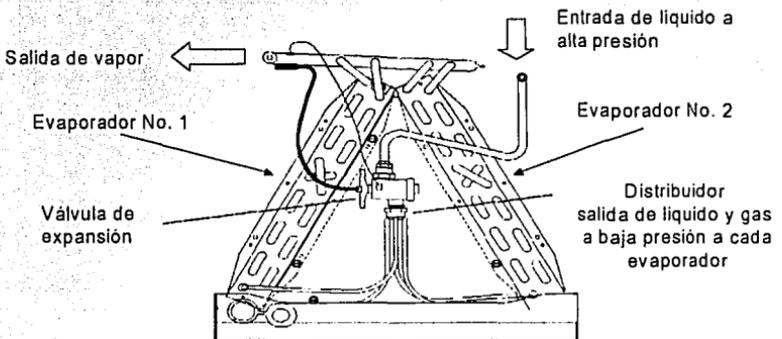


Figura 2-25. Distribuidor del refrigerante

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.- Tubos capilares: Este es un sistema muy elemental de control de flujos. El aparato consiste esencialmente en un tubo largo de diámetro pequeño, el cual ejerce control por imposición de una restricción de flujo. Los tubos capilares son meramente restricciones al paso del líquido en forma de tubos largos y delgados. El tubo capilar tiene una capacidad limitada para ajustarse a los cambios de carga; son satisfactorios en aquellas aplicaciones donde las condiciones son más ó menos constantes ó de capacidades de operación relativamente pequeñas.

Este tipo de dispositivo se utiliza en refrigeradores de alimentos domésticos, que tienen una carga térmica constante, así como también en los equipos de refrigeración para sistemas de aire acondicionado de capacidades bajas.

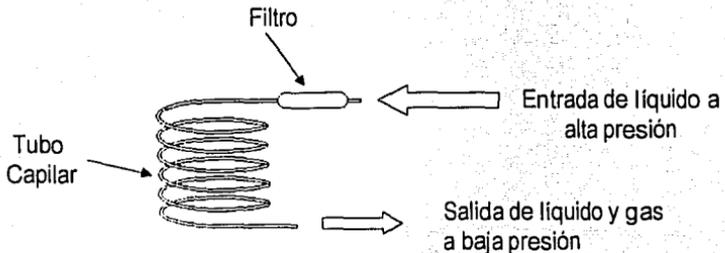


Figura 2-26. Tubo capilar

6.- Válvula flotante: Es un mecanismo relativamente simple, ver figura 2-27, el cual sirve para mantener constante el nivel de un líquido.

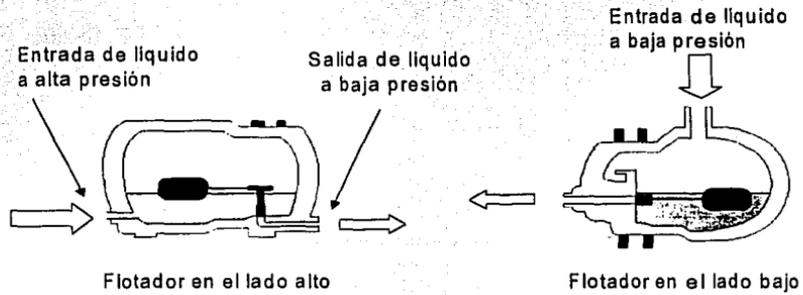


Figura 2-27. Válvula flotante

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Un flotador de lado alto es aquel que se encuentra en el lado de alta presión de la válvula. Si el líquido sube en la cámara de flotación, el flotador subirá abriendo la válvula y vaciando el líquido más rápidamente.

Un flotador de lado bajo es aquel que se localiza en el lado del evaporador del sistema; o sea, en el lado de baja presión. Es un buen control para alimentación del refrigerante en los evaporadores de tipo sumergido.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO III

ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL EN CENTRALES TELEFONICAS

3.1 CENTRAL TELEFÓNICA.

Al conjunto de dispositivos que se encargan de realizar las operaciones de conmutación, entre las líneas correspondientes a los clientes (abonados ó suscriptores) del servicio telefónico se le conoce como central telefónica. De manera general, en la figura 3-1 se presenta el diagrama de bloques de una central telefónica típica.

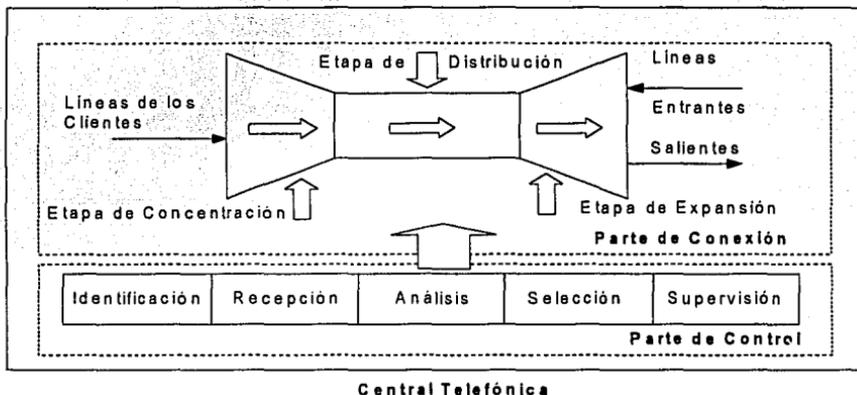


Figura 3-1. Diagrama de bloques de una central telefónica

A continuación se describen de manera general las funciones de cada uno de los bloques que conforman la central:

3.1.1 ETAPA DE CONCENTRACIÓN

De la figura anterior, se puede observar que esta etapa es la encargada de conectar las líneas de abonado al equipo de conmutación, que en lo sucesivo se llamará equipo telefónico; las funciones principales de esta etapa son:

- a) Conectar las líneas del abonado (cliente) a la central
- b) Proporcionar los tonos y señales hacia las líneas de abonado
- c) Cooperar con la etapa de control en el establecimiento de las llamadas

3.1.2 ETAPA DE DISTRIBUCIÓN

Esta etapa permite la interconexión de la etapa de concentración y la etapa de expansión.

3.1.3 ETAPA DE EXPANSIÓN

La misión principal de la etapa de expansión es realizar la conexión de la central telefónica con otras centrales, aumentando para dicho propósito el número de vías de conexión.

Parte de control .- En la parte de control se efectúan las funciones relevantes en la operación y el mantenimiento de la central en su conjunto, a grandes rasgos las funciones que realiza la parte de control son:

- a) identificación .- aunque de manera general, las funciones de identificación se realizan dentro de la etapa de concentración, el almacenamiento de la identidad del abonado es un dato que se utiliza por la parte de control en el encaminamiento de las llamadas.
- b) Recepción.- Al igual que la función anterior en donde la mayoría de las operaciones se realizan a través de la etapa de concentración, al almacenamiento de los datos relevantes lo lleva a cabo en la parte de control.
- c) Análisis.- Las funciones de análisis se refieren al tratamiento ó a la serie de acciones (ruta o rutas a utilizar, tráfico, terminación anticipada de la llamada, etc.) a tomar después de recibir la información de las funciones anteriores.
- d) Selección.- La función de selección consiste en marcar de ocupado a otros dispositivos que quieran utilizar la línea, mientras esta realiza la conexión ó llamada con otro abonado.
- e) Supervisión.- La función de supervisión se refiere al monitoreo de cada una de las etapas requeridas para la correcta operación de estas en el establecimiento de las llamadas y las acciones de mantenimiento que en su momento cada una de estas requiera. Otra fase de la función de supervisión es la del establecimiento de una interfaz hacia el operador Telefónico (Teléfonos de México TELMEX, Avantel, AT&T, Bestel) para realizar labores de operación, mantenimiento y la recopilación de datos para la facturación del servicio telefónico.

3.2 SERVICIO TELEFONICO

Para comprender la importancia de la necesidad de acondicionamiento ambiental en centrales telefónicas y en especial de las salas de telefonía, primero hay que describir como se realiza el proceso del servicio telefónico, en particular una llamada de voz.

Se requiere hacer una llamada, el cliente ó abonado, levanta el auricular del teléfono, mismo que le da tono de marcado, que es la invitación a marcar el número deseado, al efectuar esta operación, ya se está en comunicación con la central telefónica; el abonado marca el número a donde necesita llamar, este número se convierte en una señal eléctrica en su aparato telefónico, y se recibe en la central a través de la red de cobre que va desde el domicilio del abonado y se conduce hacia la central telefónica donde está suscrito el abonado, una vez recibida la solicitud (número telefónico) es identificada y codificada, iniciando la tasación (es el registro por el uso de la llamada a realizar para su cobro, puede ser por cantidad de llamadas efectuadas, si es larga distancia por el tiempo de duración de la llamada y otros servicios como celulares,

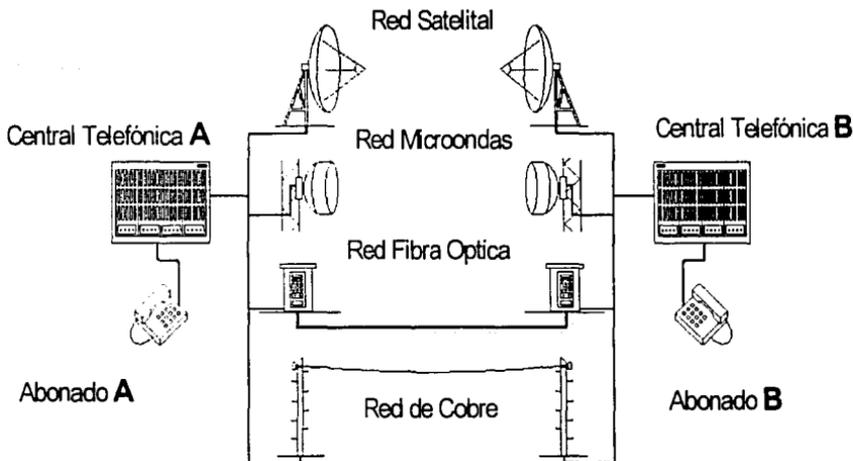


Figura 3-2. Red telefónica

llamadas a números de encuestas, concursos, etc.) y se selecciona el medio de transmisión más adecuado para canalizar la llamada hacia su destino final como se muestra en la figura 3-1, las funciones anteriores se realizan en el equipo de Conmutación Telefónica.

Puede ser una llamada que está en la misma área geográfica donde está suscrita la persona a la que se le llamará, por lo cual solamente es llevada hacia el domicilio del abonado receptor, a través de la red local.

Si la llamada es fuera de su área geográfica la central la envía hacia la central más cercana del lugar donde se necesita la comunicación.

Si se requiere una llamada de larga distancia la central identifica el sitio a donde se desea llamar por la clave de larga distancia y la canaliza ya sea por la red de microondas, fibra óptica ó la red satelital, a la zona geográfica más cercana.

Una vez identificado el sitio geográfico donde se enviará la llamada, la central tendrá que decidir de acuerdo al tráfico de llamadas existente en ese momento, esto es, que se detectará la saturación de llamadas en la red telefónica, la conducirá ya sea por cable de cobre ó enviarla por microondas ó fibra óptica y si éstas últimas están saturadas la enviará a una estación terrena para enviarla por vía satélite.

Cuando el abonado a quien se le quiere llamar recibe la señal en su teléfono, éste suena avisando que hay una llamada por entrar, con lo cual al levantar el auricular se inicia la intercomunicación entre los dos abonados; una vez terminada la llamada se coloca el auricular en su lugar y esto propicia la interrupción de la comunicación dejando libres a los dos abonados, para estar listos para recibir o efectuar una nueva llamada cada uno.

3.3 NECESIDAD DE ACONDICIONAMIENTO DEL EQUIPO TELEFONICO

Se ha descrito el proceso y los elementos que se necesitan para efectuar una llamada telefónica, como se ha visto es importante mantener en buenas condiciones de operación el equipo de conmutación telefónico, ya que es el cerebro de una central telefónica.

Este equipo ha evolucionado con el paso del tiempo y ha necesitado diversas formas de acondicionamiento ambiental, desde el uso de equipos de conmutación en los que telefonistas (mujeres) efectuaban manualmente la canalización de llamadas a los destinos solicitados, requiriéndose un acondicionamiento, más que al equipo telefónico, para mantener una temperatura de confort a las mujeres que atendían el conmutador.

Debido al auge en el crecimiento del uso del teléfono, se necesitó inventar conmutadores que fueran capaces de realizar más operaciones sin la necesidad del recurso humano, con lo cual se desarrolló un equipo automático que por medio de relevadores, efectuaba las operaciones de conmutación, estos equipos eran de grandes dimensiones, ocupando grandes áreas en las salas telefónicas e incluso edificios completos.

La disipación de calor en los conmutadores automáticos empezó a ser importante para mantener su buena operación, para ello se desarrolló un sistema de aire lavado, cuyo funcionamiento principal era succionar el aire caliente con impurezas de la sala telefónica, hacerlo pasar por un panel de cartón ó paja mojada para que se "Lavara" mejorando de esta forma las condiciones de calidad del aire e inyectar posteriormente un aire limpio y fresco.

Al circular aire limpio en la sala telefónica evitaba que se formaran capas de polvo en los contactos de los relevadores, con lo cual su buena operación se podía mantener por un tiempo más largo, lo que se reflejaba en la disminución de costos de mantenimiento del equipo de conmutación telefónica.

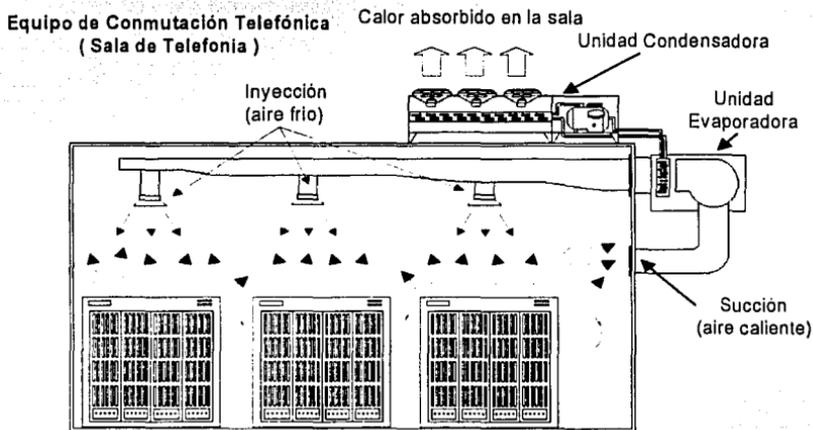


Figura 3-3. Calor disipado por el equipo de conmutación telefónica

La evolución tecnológica en la telefonía sustituyó los relevadores y los sistemas electromecánicos por sistemas electrónicos, lo que derivó en la reducción de las dimensiones de los equipos de conmutación telefónica.

Los componentes electrónicos disipan una mayor cantidad de calor que los electromecánicos y sumado a la disminución de áreas libres para flujo de aire, se necesita controlar, no sólo la calidad del aire para que sea limpio y fresco, sino también se necesita controlar su temperatura, ya que el calor y la falta de disipación de éste, hace que se envejezcan prematuramente dichos componentes.

Por esta razón, ahora se necesitan sistemas de apoyo que mantengan una temperatura adecuada en el ambiente que rodea al equipo de conmutación telefónica, como resultado de ello el equipo de

TESTES CON
FALLA DE ORIGEN

acondicionamiento de aire se presenta no como un apoyo, sino como un equipo necesario. La figura 3-3, muestra una instalación del sistema de aire acondicionado para una sala telefónica.

La evolución tecnológica motivó a los fabricantes de equipo de conmutación telefónica (Ericsson, Alcatel y Lucent Technologies) a demandar condiciones ambientales para la operación de sus equipos, marcando parámetros de humedad y temperatura, lo que llevó a los fabricantes de equipo de conmutación a dotarlos con alarmas de aviso, así como alarmas de paro de equipo por alta temperatura.

Como parámetro estandar de temperatura y humedad para la operación del equipo de conmutación telefónica se considera una temperatura de 75°F (24°C) y una humedad relativa del 50%, estos valores son los recomendados por los fabricantes de equipo, para condiciones de operación normal, la temperatura de operación puede llegar a 122°F (50°C) y una vez que sobrepase este límite de temperatura por falta de disipación de calor, entra en acción la protección dejando de funcionar el equipo con consecuencias que pueden ser muy serias, ya que se dejaría sin servicio telefónico de 1000 a 15000 usuarios (abonados), lo que repercute en pérdidas económicas que son enormes en comparación del costo de un equipo de aire acondicionado.

3.4 CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO INSTALADOS EN CENTRALES TELEFÓNICAS

Debido a que existen una gran diversidad de fabricantes de equipo de aire acondicionado, y cada uno de ellos cuenta con un catalogo de modelos de equipos bajo sus marcas, Se enfocará solamente a los tipos de equipos que están instalados y en operación en las centrales telefónicas, centros operativos y oficinas corporativas de Teléfonos de México (TELMEX).

a) Equipos autocontenidos

- Tipo ventana
- Tipo paquete

La capacidad de los equipos tipo ventana puede ir desde $\frac{3}{4}$ hasta 5 toneladas de refrigeración, los tipo paquete pueden ir desde 3 hasta 20 toneladas de refrigeración, ambos tipos se instalan principalmente en repetidores de microondas, en salas con carga térmica pequeña, salas de telefonía rural, salas de radios, etc.

b) Equipos divididos (split sistem)

- Expansión directa
- Agua helada (Chiller-Water)

En los equipos divididos su capacidad va desde 7.5 hasta 40 toneladas de refrigeración; este tipo es el mas utilizado dentro de las salas telefónicas, aproximadamente el tipo dividido representa el 80% del inventario de equipos instalados y funcionando dentro de Telmex.

Los equipos generadores de Agua helada son instalados en edificios administrativos ó centrales de gran cantidad de líneas donde la carga térmica es alta, sus capacidades van desde 60 a 400 toneladas de refrigeración.

c) Equipos centrifugos

Para este tipo de sistemas de acondicionamiento ambiental debe haber una carga térmica muy grande, en Telmex se encuentran instalados en centrales de gran demanda de trafico de llamadas como el Centro Telefónico San Juan (el cual se cuentan con 4 sistemas de 250 toneladas de refrigeración cada uno), por donde hace unos años salían hacia el exterior del país el 80% del total de llamadas de larga distancia internacional.

Por lo anterior su capacidad de los equipos generadores de agua helada tipo centrifugo va desde 150 hasta 1000 toneladas de refrigeración

d) Equipos de absorción

Este tipo de sistema de acondicionamiento es para grandes capacidades, existe sólo un equipo instalado en Telmex, éste se encuentra en el edificio administrativo Parque Vía 190, donde existen dos unidades de absorción de 350 toneladas de refrigeración, que climatiza dieciséis pisos del edificio corporativo. Las capacidades de estos equipos van desde 100 hasta 1500 toneladas de refrigeración.

3.4.1 EQUIPOS AUTOCONTENIDOS

a) Tipo ventana

Estos equipos contienen en un gabinete todos los elementos principales del ciclo de refrigeración y algunos accesorios de operación y de protección, estos últimos dependiendo de la marca del fabricante y su nombre se deriva de que en la mayoría de los casos su instalación se efectúa en las ventanas de casas y oficinas. Las unidades de ventana ver figura 3-4, se diseñaron para uso residencial principalmente ya que sus acabados exteriores son estéticos adecuados para una casa habitación u oficina, pero se pueden usar, dentro de las limitaciones de capacidad y funcionamiento en otro tipo de servicio; por ejemplo en centrales telefónicas donde la capacidad del local no exceda de 3 T.R. (Toneladas de Refrigeración), deben instalarse con una parte en el interior de la sala telefónica a acondicionar y la otra en el exterior donde tenga contacto con el medio exterior, con el fin de que el calor absorbido en la sala, sea desechado al medio ambiente exterior.

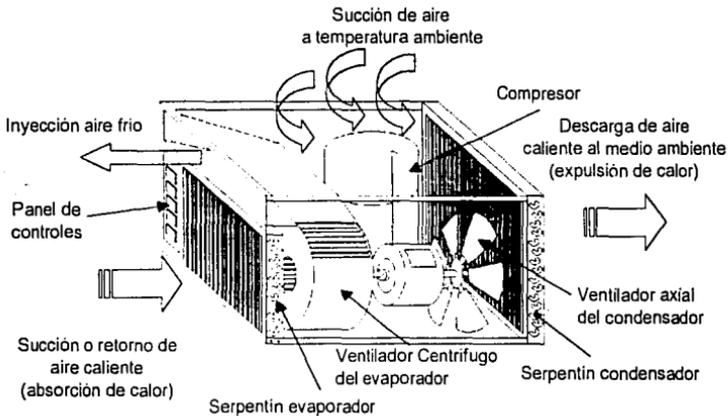


Figura 3-4. Equipo de aire acondicionado tipo ventana

El evaporador de estas unidades es del tipo serpentín con aletas, el flujo del aire acondicionado es logrado por un ventilador, centrífugo ó axial; el compresor es de tipo hermético sellado, de tipo rotatorio o de movimiento alternativo, de un cilindro y ocasionalmente de dos, con desplazamiento horizontal (motor vertical); el condensador es del tipo serpentín con aletas, enfriado por aire, el cual es manejado por un ventilador axial.

Dentro del gabinete de la unidad, existe separación física entre la sección del evaporador y la sección del condensador; la sección del evaporador contiene las compuertas, cuya posición apropiada permite manejar aire recirculado, aire exterior ó extraer el aire, por lo que las tomas de aire exterior o descarga del aire extraído deben de quedar en la parte exterior de la sala; la sección del condensador contiene también el compresor; esta sección debe quedar al exterior para el correcto funcionamiento del condensador.

La unidad de ventana descarga (inyecta) el aire libremente al interior de la sala; su diseño no las hace adecuadas para descargar en ductos

Los equipos de aire acondicionado tipo ventana realizan las siguientes funciones:

- a) Enfriamiento.- En esta fase la unidad maneja solamente aire recirculado del cuarto y es cuando cumple la capacidad de enfriamiento especificada por el fabricante. Debe cerrarse el circuito eléctrico para que el ventilador del evaporador trabaje; normalmente este ventilador es de dos velocidades, por lo que el control correspondiente debe colocarse en la velocidad de alta (frio alto) o en la velocidad baja (frio bajo), el control de temperatura debe colocarse en la posición más conveniente para cada caso; este control tiene dos posiciones extremas: calentamiento y máximo enfriamiento, con diferentes posiciones intermedias. En esta fase, se produce además del enfriamiento, la deshumidificación del aire por condensación del vapor de agua en el evaporador.
- b) Calefacción.- En las unidades de ventana que dispongan del aditamento para calefacción, se obtiene poniendo a trabajar el ventilador del evaporador con unas resistencias eléctricas las cuales calentarán el aire y lo inyectará a la sala, en esta fase el aire será recirculado.
- c) Ventilación.- En esta fase, la unidad maneja sólo aire del exterior, colocando en posición las compuertas para la entrada del aire ambiente e inyectándolo a la sala, si la unidad cuenta con el aditamento de calefacción podrá calentar el aire, si no el aire no se tratará, la capacidad de la unidad baja considerable,

tanto en enfriamiento como en calefacción, ya que solamente está inyectando aire a temperatura del medio ambiente.

- d) Extracción.- Si se coloca la posición de las compuertas en extracción la unidad maneja solamente el aire que está en la sala y lo arroja al exterior, esta fase debe emplearse periódicamente para renovar el aire viciado de la sala.

Para que la unidad trabaje en la fase deseada, es necesario hacer manualmente los cambios, operando las teclas, palancas o perillas agrupadas e identificadas en una estación de controles que va montada al frente del equipo de clima y una vez seleccionada una condición, los controles la mantienen automáticamente; si esta condición sobrepasa las condiciones que se requieren mantener en el exterior de la sala, el ajuste se tendrá que hacer manualmente.

b) Tipo paquete

Se llaman también unidades acondicionadoras tipo compacto o paquete; su característica principal es que contienen completos los elementos principales del ciclo de refrigeración mecánica de compresión en un solo gabinete, se fabrican en capacidades nominales desde 4 T.R. hasta 60 T.R.

Existe una amplia gama de diseños de estas unidades, dependiendo principalmente del tipo y arreglo de los elementos del ciclo de refrigeración y del tipo de ventilador que usan para mover el aire tratado.

Las unidades auto contenidas emplean generalmente compresores de tipo hermético, sellados en el caso de las de menor capacidad y semi-herméticos para capacidades mayores; La capacidad de los compresores en la mayoría de los casos, está limitada a 20 T.R. nominales, por ejemplo, una unidad auto contenida de 60 T.R. nominales, tiene tres compresores de 20 T.R. cada uno.

En las unidades con dos o tres compresores, se tienen 2 ó 3 circuitos de refrigerante independientes o bien, los dos ó tres compresores pueden estar conectados en paralelo, formando parte de un solo circuito.

Unas unidades se instalan en la sala telefónica, con descarga libre a través de una rejilla y puesto que la resistencia al flujo del aire es mínima, se emplea un ventilador axial para mover el aire tratado; otras son para instalación en el exterior o en un cuarto de equipo, debiéndose conducir el aire del aparato a los espacios acondicionados por una red de ductos, requiriéndose en este caso, del empleo de ventiladores centrifugos.

Estas unidades auto contenidas están dotadas de filtros mecánicos para la limpieza del aire que manejan, los cuales pueden ser de tipo desechable o permanentes lavables.

Las unidades auto contenidas han sido diseñadas para acondicionamiento de verano, pero pueden convertirse en acondicionadores para verano e invierno, si se le agrega el elemento de calefacción, el cual puede contener uno o varios serpentines de calefacción por agua caliente o por vapor, o bien, un banco de resistencias eléctricas, o un calentador a gas en el ducto de descarga. Deberá agregarse también el elemento para humidificar el aire.

Las unidades auto contenidas están dotadas de los elementos de control de operación y de protección formado por un circuito eléctrico integral, excepto el control de temperatura que puede ser remoto.

3.4.2 SISTEMAS DIVIDIDOS (SPLIT SYSTEM)

Uno de los sistemas más utilizados dentro de las instalaciones telefónicas de Teléfonos de México a nivel nacional, son los equipos llamados Divididos, los cuales constan de dos elementos básicos fundamentales:

- a) Unidad condensadora (UC)
- b) Unidad manejadora de aire (UMA)

Ambas unidades están unidas por tubería de cobre por donde circula refrigerante; se les da el nombre de sistemas divididos, debido a que la unidad manejadora de aire estará instalada lo más próximo a la sala telefónica a acondicionar, mientras la unidad condensadora deberá estar en un lugar (azoteas, patios, etc.) donde exista una buena corriente de aire ambiente, ya que ahí desechará el calor absorbido de la sala.

Los sistemas divididos se clasifican en expansión directa y agua helada (Chiller-Water):

3.4.3 SISTEMAS DE EXPANSIÓN DIRECTA

Los sistemas de expansión directa son también sistemas divididos, teniendo sus dos equipos fundamentales: la unidad condensadora y la unidad manejadora de aire ó evaporadora.

Técnicamente todo equipo de aire acondicionado o sistema, que en el enfriamiento y en la condensación se dé por medio de aire-refrigerante, es decir, que en el serpentín evaporador y condensador, circule directamente a través de los tubos el refrigerante y que al pasar el aire, por medio de una ventilación mecánica, realice la transferencia de calor y de por resultado el cambio de estado de líquido a vapor, en el evaporador y de vapor a líquido en el condensador, a este proceso se le da el nombre de expansión directa.

La costumbre ha dado lugar a designar como sistemas de enfriamiento de aire por expansión directa, a aquellos sistemas compuestos de diferentes unidades condensadoras con unidades acondicionadoras cuyo serpentín de enfriamiento de aire sea del tipo de expansión directa; así se tiene por ejemplo, sistemas compuestos por una unidad condensadora y una ó varias unidades evaporadoras o sistemas con dos o tres unidades condensadoras combinadas con varias unidades evaporadoras; las combinaciones que pueden lograrse, le dan una gran flexibilidad a estos sistemas para adaptarse a las diferentes cargas, así como también a las variaciones de las cargas; esta flexibilidad, por otra parte, se ve afectada por las limitaciones en

los recorridos de las tuberías de refrigerante que unen las dos secciones de unidades, sobre todo cuando se instalan en diferentes niveles, va en relación a las recomendaciones que los fabricantes de equipo de aire acondicionado marcan en sus especificaciones técnicas de instalación para considerar las distancias máximas tanto horizontal como verticalmente.

Las capacidades que existen en el mercado de este tipo de sistemas van desde las 5 T.R. hasta 40 T.R. (Toneladas de Refrigeración).

a) Unidad condensadora de expansión directa

Las unidades condensadoras contienen, dentro de un gabinete, ciertas partes del ciclo de refrigeración como son el compresor y el serpentín condensador enfriado por aire; dependiendo de la capacidad, la mayoría de las marcas incorporan ciertos accesorios como la mirilla de líquido y humedad, el filtro-deshidratador, la válvula de expansión y ocasionalmente el silenciador. Los controles de protección son los interruptores por alta y baja presión, arrancadores o contactores de los motores del compresor y de los ventiladores del condensador con sus protecciones de sobre carga; la unidad condensadora es fabricada para uso exterior ó intemperie.

Las unidades condensadoras empleadas en los sistemas de expansión directa, generalmente tienen de dos a cuatro compresores de tipo hermético reparable (semi-hermético), con dos a cuatro ventiladores para mover el aire de condensación. En la mayoría de los casos, se tienen circuitos independientes para la condensación del refrigerante, esto es, cada compresor está ligado a un condensador en forma independiente de los demás compresores; las líneas de líquido separadas, concurren a un tanque receptor común; de la unidad condensadora sólo sale una línea de líquido y retorna una línea de succión, ésta llega normalmente a un cabezal de succión de donde parten, en forma separada, las tuberías de succión para cada uno de los compresores.

Es característico de estas unidades la disposición de un control de capacidad que gobierna el número de compresores que operan para satisfacer la carga impuesta a la máquina en un momento dado, así como también el orden en que deben arrancar.

b) Unidad evaporadora de expansión directa

La unidad manejadora de aire ó evaporadora, contiene dentro de un gabinete, la parte elemental complementaria del ciclo de refrigeración, esto es, el evaporador consistente en un serpentín de expansión directa, en el cual tiene lugar el cambio de estado físico del refrigerante de su fase líquida a la fase gaseosa.

La unidad evaporadora es fabricada para uso interior.

En el serpentín evaporador se enfría y deshumidifica el aire del sistema, por lo que la unidad evaporadora consta también de un ventilador del tipo centrífugo, que sirve para mover el aire desde esta unidad hasta las salidas a los espacios acondicionados, a través de la red de ductos. Para efectuar la limpieza del aire, la unidad cuenta con filtros para el aire, fabricados de fibras especiales para retener partículas que existan en el aire que circula, pueden ser desechables ó permanentes (requieren de un mantenimiento regular) según la capacidad y marca.

Entre los accesorios de refrigeración incorporados a las unidades evaporadoras, se cuenta una válvula de solenoide montada en la línea de líquido, por cada serpentín de enfriamiento, la cual es operada por el termostato de sala, su función es realizar el paro del equipo por baja presión, en condiciones normales de operación, quiere decir que el equipo llegó a la temperatura requerida en el espacio acondicionado.

En algunos casos, se incorpora a la unidad manejadora de aire la válvula de expansión y la combinación filtro-deshidratador.

El arrancador eléctrico para el motor ventilador (ó ventiladores) se instala fuera de la unidad manejadora de aire.

Las tuberías de refrigerante que ligan la unidad condensadora con la unidad evaporadora, es la línea de líquido (que va del condensador al evaporador) y la línea de succión (que va del evaporador al compresor)

Los sistemas divididos operan con refrigerante R-12, R-22 ó R-500.

En la selección de las dos unidades, es decir, de la combinación de condensadora con evaporadora, debe existir una correcta coordinación respecto a sus capacidades, ya que existen en el mercado una gran diversidad de capacidades para ambas, por lo que se deberá tener cuidado, que la capacidad del evaporador corresponda con la condensadora, ya que si hay una diferencia entre las capacidades, el funcionamiento será deficiente con un alto riesgo que el equipo no abata la carga térmica en la sala.

A las unidades evaporadoras de los sistemas divididos se les pueden incorporar algunos elementos opcionales, entre los que se encuentran:

- a) Banco de resistencias eléctricas, para calentamiento del aire, convirtiendo así el sistema para verano e invierno.
- b) Humidificador, para uso en invierno, cuando es necesario elevar la humedad del aire tratado.
- c) Cámara plena y rejilla de descarga del aire, cuando la unidad evaporadora se instala en el espacio acondicionado y la descarga del aire tratado es libre, o sea que no se emplean ductos.

- d) Charola de recibo y drenaje de condensados, para recolección de la humedad condensada en el serpentín de enfriamiento y su desalojo al drenaje.

3.4.4 SERPENTÍN DE EXPANSIÓN DIRECTA

Un serpentín de expansión directa para enfriamiento de aire es un aparato constituido por un conjunto de tubos de cobre que llevan montadas unas placas de aluminio llamadas aletas, todo soportado por un marco de lámina galvanizada. El serpentín de expansión directa es un intercambiador de calor entre el aire que va a ser tratado removiéndole su calor y el refrigerante; el aire pasa por los espacios entre las aletas y tubos, el refrigerante circula por el interior de estos últimos.

El aire cede calor al refrigerante que ha entrado en estado líquido evaporándolo, pasando del estado líquido al gaseoso, es la razón por la que al serpentín de expansión directa se le llama también evaporador.

El calor cedido por el aire puede ser calor sensible solamente o calor sensible y calor latente; la remoción de calor sensible del aire se manifiesta por la disminución de su temperatura de bulbo seco y la de calor latente, por la disminución de su humedad, la cual se logra por condensación del vapor de agua del aire; el hecho de que el serpentín de expansión directa sea capaz de retirar calor latente del aire, es la razón por la cual a este serpentín se le llama también deshumidificador.

El efecto refrigerante de un serpentín de expansión directa está representado por el calor que requiere el refrigerante para pasar del estado líquido al gaseoso, calor que es suministrado por el aire y que depende principalmente de la cantidad de refrigerante que se circula por el interior de los tubos.

Para obtener las condiciones del aire al salir del serpentín, el refrigerante debe repartirse de acuerdo a las condiciones del aire antes y después de ser tratado en el serpentín para lo cual los tubos se agrupan en circuitos balanceados, empleando un dispositivo que se denomina múltiple de distribución o simplemente distribuidor. El refrigerante líquido procedente de la sección condensadora, llega a la válvula o válvulas de expansión y pasa al distribuidor, todos los tubos que conducen el refrigerante del distribuidor al serpentín son de la misma longitud asegurando una distribución uniforme del refrigerante.

El refrigerante gaseoso que abandona cada circuito de tubos, es recogido en un cabezal de succión de donde es conducido de regreso a la sección condensadora.

En los serpentines de enfriamiento, al igual que en los de calefacción, todos los tubos que se encuentran en un mismo plano paralelo a la cara frontal, forman una hilera de tubos, siendo los más comunes los de 4, 6 y 8

hileras por pulgada; las aletas se encuentran más espaciadas que en los serpentines de calefacción, encontrándose en número de 8 y 14 aletas por pulgada, los tubos constituyen la superficie primaria de transmisión de calor y las aletas la superficie secundaria.

La velocidad de paso del aire por la cara frontal del serpentín no debe exceder de 600 pies / minuto para que no arrastre la humedad condensada sobre las aletas y exista una buena transferencia de calor entre el aire y las aletas.

Para especificar y seleccionar un serpentín de enfriamiento es necesario mencionar la cantidad de aire que va a ser tratado (PCM), las condiciones iniciales del aire, expresadas por sus temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo y las condiciones finales, expresadas también por sus temperaturas de bulbo seco y húmedo o por las cantidades de calor sensible y de calor latente que deben removerse del aire. Con estos datos se determinan las dimensiones del serpentín, el número de hileras y de aletas y el número de circuitos.

Los serpentines de enfriamiento se encuentran formando bancos integrados en la obra o formando parte integral de equipos fabricados en planta como las unidades evaporadoras, las unidades de serpentín ventilador (fan and coil) y las unidades manejadoras de aire.

3.4.5 SISTEMA DE AGUA HELADA (CHILLER-WATER)

Los sistemas de agua helada son también sistemas divididos, teniendo ahora tres equipos fundamentales: la unidad generadora de agua helada, la unidad manejadora de aire ó evaporadora y la torre de enfriamiento ó condensadora enfriada por agua.

En la unidad generadora de agua helada tendremos el sistema de compresores que por lo regular en este tipo de equipos son varios lo llaman Banco de compresores, lo anterior es por las capacidades que se manejan que son grandes a comparación del sistema de expansión directa, el evaporador, el condensador y la válvula de expansión en un solo gabinete: la diferencia con el equipo de expansión directa, es que la transferencia de calor en el condensador y en el evaporador ahora es por medio de agua, ésto se lleva a cabo en un intercambiador de calor para evaporación y otro para condensación, primeramente describiremos el proceso en el evaporador.

El evaporador estará dentro de un intercambiador de calor, el serpentín evaporador no es como el de expansión directa, está dentro de una carcasa donde los tubos por donde circula el refrigerante estarán en contacto con agua a contra flujo del refrigerante para así absorber el calor contenido en el agua en vez del aire como en la expansión directa. el agua entra al intercambiador de calor a 18°C y sale a una temperatura de 8°C , esta agua es enviada por medio de una tubería de cobre hacia la unidad manejadora de aire, que

ahora contará con un serpentín para agua helada, es decir, que ahora en lugar de circular refrigerante en los tubos del serpentín será agua helada, ahora en la unidad manejadora no existe cambio de fase, simplemente una transferencia de calor ahora entre el agua y el aire, el cual será enfriado e inyectado a la sala a acondicionar.

El proceso de condensación se realizará a través de un intercambiador de calor, donde circulará el refrigerante a alta presión y a alta temperatura por el interior de unos tubos y a contraflujo circulará agua para realizar la transferencia de calor, el agua absorberá el calor cedido por el refrigerante efectuando el cambio de estado de vapor a líquido.

Una vez que el calor es cedido, el agua a una temperatura alta será conducida por medio de bombas a través de tuberías a la torre de enfriamiento, en la cual, por medio de ventilación mecánica y la circulación del agua sobre paneles, cederá el calor al medio ambiente, regresando agua a una temperatura menor que la de entrada, para volver al condensador.

La torre de enfriamiento se utiliza para capacidades grandes, sin embargo, para capacidades menores se utiliza un intercambiador de calor (dry cooler), el cual contendrá un serpentín de tubos y aletas, ahora en lugar de circular refrigerante circulará agua y contará con ventiladores que ayudarán a la transferencia de calor del agua caliente hacia el medio ambiente a través de la circulación de aire, es importante mencionar que no existe cambio de estado ya que solamente es una transferencia de calor del agua del sistema de condensación al medio ambiente.

Las principales marcas en el mercado de estos tipos de sistemas tienen una capacidad de 40 a 400 T.R. Este tipo de sistema se instala principalmente en edificios ó instalaciones en donde las distancias sean demasiado largas, ya que el sistema de agua helada tiene la ventaja sobre la expansión directa que se tiene una mínima caída de presión por distancia entre la unidad manejadora y la unidad generadora de agua y que es posible corregir esta caída de presión del agua aumentando la capacidad de la bomba de distribución de agua a las evaporadoras ó unidades manejadoras de aire, por esta sencilla razón es utilizado en lugares donde el equipo generador de agua helada se encuentra instalado en sótanos o azoteas de edificios, alimentando de agua helada a cada una de las unidades manejadoras de aire con las que cuenta, en cada nivel en edificios de más de 10 pisos, para los sistemas de expansión directa ésto sería imposible.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

a) Sistema de agua helada con condensador de expansión directa

Este sistema contará con el evaporador dentro del intercambiador de calor y enfriará agua, será conducida por medio de una bomba a la unidad manejadora de aire, la cual contará con un serpentín enfriador por medio de agua helada.

El condensador será de expansión directa, lo que significa que se tendrá un cambio de estado en el serpentín condensador, ya que circulará refrigerante a través de los tubos de éste.

Este tipo de arreglos se debe a situaciones de espacio y diseño arquitectónico, más que factores económicos, ya que en ciertas instalaciones el instalar una torre de enfriamiento puede ser muy complicado, por esta razón se dan este tipo de alternativas de arreglos de los equipos.

b) Sistema de agua helada con evaporador de expansión directa

Este sistema contará con un evaporador ó unidad manejadora de aire de expansión directa, el cual contará con un serpentín enfriador por medio aire, el cual será ayudado por un ventilador para efectuar la transferencia de calor y por consiguiente el cambio de estado de líquido a vapor .

El condensador será del tipo de intercambiador de calor, lo que significa que se tendrá un serpentín dentro de un intercambiador de calor en el cual el refrigerante y el agua realizaran la transferencia de calor del refrigerante al agua circulante en el sistema.

Como se mencionó en el arreglo anterior este tipo de arreglos se debe a situaciones de espacio y diseño arquitectónico, más que factores económicos, por esta razón al momento de proyectar la instalación de los equipos se pueden presentar complicaciones de obra civil, con lo que se recurre a los arreglos que el proveedor del equipo ofrece para solucionar los problemas que se puedan presentar.

3.4.6 SERPENTÍN DE ENFRIAMIENTO POR AGUA HELADA

Son aparatos similares a los serpentines de calefacción, presentando diferencias tales como, un mayor espaciamiento de las aletas, un mayor número de hileras (4 a 8 hileras por pulgada) y un arreglo de circuitos relacionado con la proporción de calor sensible y de calor latente, que remueven del aire; cuando sólo se remueven del aire y sólo se remueve calor sensible, el serpentín será de tipo seco y cuando se remueva calor sensible y calor latente, el serpentín será de tipo húmedo o deshumidificador.

Los serpentines de enfriamiento por agua helada, emplean agua enfriada en una estación central sufriendo un aumento de temperatura (calor sensible) debido al calor que cede el aire al agua a través de los tubos y aletas del serpentín.

La velocidad de paso del aire por el serpentín está limitada a 600 pies/ minuto respecto al área frontal, para evitar arrastres de la humedad condensada cuando el serpentín trabaja húmedo.

Como en el caso de los serpentines de expansión directa, el serpentín a base de agua refrigerada requiere de una charola para recolección de condensados y desagüe al drenaje, esta charola deberá tener aislamiento térmico y barrera de vapor.

La transferencia de calor del aire al agua refrigerada ocurre en el serpentín a contrafujo, por lo que el aire debe pasar entrando por el lado en donde se encuentra la salida del agua y saliendo por donde entra al agua con la menor temperatura.

Para la selección de un serpentín de enfriamiento no basta especificar la cantidad de calor que se requiere retirar del aire, sino que es necesario mencionar cuanto calor sensible y cuanto calor latente componen el calor total.

3.5 MAQUINA CENTRIFUGA

El equipo centrífugo funciona en base al principio del evaporador inundado. El equipo está constituido por un gran envolvente dividido en dos secciones; la parte alta constituye el condensador del equipo y la parte baja el evaporador. Para lograr la evaporación del refrigerante, se crea una succión por medio de un rotor centrífugo (parecido al de una bomba) que gira aproximadamente a 12000 r.p.m., la descarga del rotor al pasar por la voluta del equipo convierte la velocidad de descarga en presión y es descargado el vapor refrigerante hacia el condensador.

Para el rango de operación de un equipo centrífugo se requiere un refrigerante con bajas presiones de condensación y una presión de evaporación moderada.

Las presiones de operación normales para un equipo centrífugo son del siguiente orden:

Alta presión (Condensador)	7 a 8 psig
Baja presión (Evaporador)	16" de vacío

El refrigerante empleado generalmente es el R-11 por sus propiedades adecuadas al rango de presiones requeridas, sin embargo, existen algunos equipos que operan con R-12.

La velocidad del rotor es constante y para regular la capacidad del equipo, se modifica la caída de presión de la succión del compresor centrífugo por medio de un juego de álaves móviles que cierran el paso al flujo del gas; al disminuir el flujo de vapor disminuye la presión de succión y aumenta el punto de ebullición del refrigerante, controlándose así la capacidad del equipo.

3.5.1 SISTEMAS PRINCIPALES

a) Motor-impulsor

En algunas marcas de equipo, el motor de la unidad se encuentra dentro de un recipiente sellado formando parte del interior del equipo; en este caso el motor es enfriado por una corriente de refrigerante que circula por medio de diferencias de presión entre el evaporador y el condensador; el sistema de lubricación del grupo mecánico se lleva a cabo por medio de una bomba de aceite que opera inclusive durante algún tiempo después de que el equipo ha dejado de operar. Ya que las velocidades a las que opera este equipo son muy altas, el cuidado del sistema de lubricación es primordial para la vida del equipo.

b) Flujo del refrigerante líquido.

El refrigerante pasa del condensador al evaporador por medio de una válvula reguladora de flujo de líquido; se pretende mantener constante el nivel del evaporador para cualquier capacidad y un nivel mínimo en el condensador, para algunos modelos se emplea una válvula de flotador y para otros una válvula de orificio variable que ha demostrado mayor versatilidad a las variaciones de carga.

c) Sistema de purga

Siendo que la parte de baja presión de la máquina funciona a una presión inferior a la atmosférica, es frecuente encontrar pequeñas entradas de aire al sistema, principalmente por el eje de mando de las compuertas de control de capacidad y algunas veces, en equipos en mal estado hay entrada de agua de los serpentines enfriadores. Se requiere de un sistema que elimine estas impurezas que afectan en forma determinante el funcionamiento del equipo y para esto se emplea el sistema de purga, que en algunos equipos es automático y en otros manual.

3.5.2 COMPONENTES DE LA MÁQUINA CENTRIFUGA

a) Casco evaporador-condensador

El casco contiene el evaporador, el condensador y la cámara de las válvulas de flotación. El evaporador se localiza en la parte baja del casco y es un intercambiador de calor que enfría la salmuera, que pasa a través de los tubos. Esto se realiza por medio de la evaporación del refrigerante en el cual los tubos están inmersos. El condensador localizado en la parte alta del casco, es el intercambiador de calor que hace líquido al refrigerante que pasa a través de él desde el compresor. La cámara de flotación es un dispositivo de medición entre el condensador y el evaporador que controla el flujo del refrigerante.

b) Compresor

El compresor recibe el refrigerante evaporado, lo comprime y lo descarga hacia el condensador.

c) Unidad de recuperación de purga

La unidad de recuperación de purga es en realidad una pequeña unidad de condensación con un separador el cual extrae continuamente gas de la parte alta del condensador y lo purifica quitándole vapor de agua o aire presente.

d) Controles

Estos instrumentos controlan la temperatura de la salmuera, protegen los demás componentes de la máquina y encienden y apagan automáticamente el compresor. Cuando se requiere, se puede equipar con controles automáticos adicionales para operación completamente automática o para interconectar equipos tales como bombas y ventiladores.

e) Mecanismo de propulsión

El mecanismo es un motor eléctrico encerrado herméticamente el cual proporciona la potencia para mover el compresor a través de la transmisión.

3.5.3 CICLO DE REFRIGERACIÓN

La máquina centrífuga opera en un ciclo de compresión estándar usando refrigerante R-11: El ciclo refrigerante empieza en el evaporador, la salmuera que fluye a través de los tubos del evaporador está más caliente que el refrigerante en el casco alrededor de los tubos, consecuentemente, el calor es transferido de la salmuera al refrigerante, enfriando entonces ésta. Este calor evapora el refrigerante a una temperatura que corresponde con la baja presión en el evaporador, como la mantenida por el compresor.

El vapor refrigerante evaporado (gas) fluye hacia los alabes en el compresor de una sola etapa donde es comprimido por el impulsor y descargado dentro del condensador.

El vapor de refrigerante descargado por el compresor se condensa en la parte externa de los tubos del condensador, a una temperatura que corresponde con la presión en el condensador. Esta temperatura es más alta que la temperatura del agua en los tubos; por lo tanto, el calor es transferido al agua de condensación. El refrigerante ya líquido se drena dentro de la cámara de flotación donde una válvula de flotación mantiene un sello líquido para evitar que el gas pase hacia dentro del evaporador, como el nivel de refrigerante en la cámara de flotación se eleva, la válvula de flotación abre y permite que el líquido refrigerante pase dentro del evaporador, mientras el líquido refrigerante que pasa de la cámara de flotación hacia el canal de distribución del evaporador, es sujeto a una presión más baja. Una pequeña cantidad de líquido refrigerante empieza a convertirse en vapor y enfría la porción restante del líquido bajándolo a una temperatura que corresponde con la presión más baja; el refrigerante líquido es distribuido uniformemente a través de todo el evaporador por el canal de distribución y el ciclo se repite.

El refrigerante líquido subenfriado fluye a través del orificio hacia las espreas en el motor hermético las cuales dirigen el líquido frío en circulación continua a través del rotor y el estator del motor. En el enfriado del motor,

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

algo de líquido es atomizado por un ventilador y dirigido alrededor de los devanados y a través de los hoyos en el estator para enfriar los devanados del otro extremo. El refrigerante líquido convertido en gas y el exceso de líquido se recogen en una cavidad y son regresados del evaporador a través de la válvula de contrapresión.

Bajo ciertas condiciones de operación, el vapor del refrigerante a la presión del condensador es alimentado hacia un laberinto de sellado detrás del interruptor. En esta línea, una válvula solenoide controla automáticamente la alimentación del gas sellante.

Para este tipo de sistemas de refrigeración por equipo centrífugo, las capacidades van de 150 a 2100 T.R., por lo cual principalmente se instalan en edificios de oficina, hoteles, hospitales y lugares donde se necesite acondicionar un área demasiada extensa, como salas de convenciones, foros, teatros, etc.

Este tipo de equipos están instalados y funcionando en edificios Telefónicos, como el Centro Telefónico San Juan, D.F. una de las centrales más importantes de México por el tráfico de llamadas nacionales, internacionales y mundiales, así como Centro Telefónico Puebla, Pue., Central Mitras, en Monterrey N.L. , Central Fresno, Jalisco, en cada una de estas centrales, tienen sus salas telefónicas que requieren de acondicionamiento ambiental.

Es importante mencionar que el refrigerante R-11 es uno de los más dañinos para la capa de ozono y este tipo de refrigerante por sus características termodinámicas es el óptimo para este tipo de equipos centrifugos, los cuales deberán ser los primeros en ser programados en el reemplazo de este tipo de refrigerante por uno alternativo.

3.6 REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN

Los sistemas de refrigeración por absorción no entran en la clasificación de equipos de aire acondicionado por compresión de gas ya que no cuenta con este elemento para realizar el proceso de compresión, donde la potencia del compresor fue sustituida por un arreglo de activación térmica. En este tipo de equipos el refrigerante que usan es agua, y no refrigerantes a base de cloro, como el R-11, R-12 ó R-22 que son los que dañan la capa de ozono.

Una de las características importantes de este tipo de sistema por absorción es que puede manejar grandes capacidades de refrigeración, por lo cual estos equipos están instalados en fabricas, edificios, hospitales, etc. donde se necesite acondicionar grandes áreas y por cuestiones de consumo de energía de los compresores mencionados anteriormente es incosteable, por lo que la mejor alternativa es el sistema de refrigeración por absorción. Por dar algunos lugares donde se encuentran instalados y funcionando este tipo de sistemas, está el edificio administrativo de Teléfonos de México (TELMEX) en Parque Vía 190 de 18 pisos de altura, la torre ejecutiva de Petróleos Mexicanos (PEMEX) con más de 47 pisos de altura y el aeropuerto internacional de la ciudad de México.

El equipo de refrigeración por absorción no entra en la lista de sistemas de aire acondicionado para cambiar su refrigerante, sin embargo, se considera de gran importancia conocer su funcionamiento, debido a que su ciclo de refrigeración es diferente a los de compresión mecánica, por lo cual se describirán sus antecedentes, operación y funcionamiento.

Los principios de refrigeración por absorción se conocen desde principios del siglo XIX. En el año 1824 el físico Michel Faraday realizó una serie de experimentos basados en que el cloruro de plata (un polvo blanco) es capaz de absorber grandes cantidades de gas amoníaco formando un ión complejo; este proceso puede hacerse reversible por medio de la aplicación de calor y se liberará amoníaco en forma gaseosa. Faraday introdujo en un tubo en forma de "U" invertido cloruro de plata amoniacal y al calentar uno de los extremos se genera amoníaco que se condensa en el otro extremo por medio de enfriamiento con agua; al retirar la fuente de calor y enfriamiento respectivamente, se inicia una evaporación del amoníaco que consume calor para llevar a cabo el cambio de estado (líquido a vapor) produciéndose un efecto de refrigeración; tomando como base este principio, el científico francés de nombre Ferdinand Carre, tuvo éxito en la operación de absorber calor con una máquina usando amoníaco como refrigerante y agua como absorbente. Esta combinación fue de importancia comercial sólo durante el siglo XIX y principios del siglo XX.

Durante los años 1920-1939 muchas investigaciones fueron dedicadas al ciclo de refrigeración por absorción, estas tuvieron éxitos significativos, especialmente con máquinas de bajas capacidades.

En 1940 la empresa Carrier una de las más importantes fabricantes de equipo de aire acondicionado, inició investigaciones intensivas referentes a la refrigeración por absorción aplicadas a máquinas de gran capacidad, característica fundamental de este tipo de equipos.

Cinco años después en 1945 la primera máquina de gran capacidad fue instalada en la planta Sealright Corporation en Fulton, New York, su capacidad fue de 150 T.R., ésta fue usada para un proceso de enfriamiento de agua de servicio continuo. Hoy día existen varios fabricantes de máquinas de absorción de gran capacidad todas usan Bromuro de Litio (Li Br) como absorbente y agua como refrigerante.

Las primeras máquinas fueron complejas en apariencia, con una gran cantidad de tubería exterior, por tal circunstancia no eran muy atractivas.

A través de los años, las máquinas se han estado perfeccionando y han sufrido mejoras en su apariencia, métodos de control, materiales, confiabilidad y funcionamiento. Las máquinas de absorción son usadas como enfriadores líquidos en muchas industrias y en cientos de sistemas de acondicionamiento de aire. Las unidades comerciales son disponibles en capacidades de 100 a 1120 T.R.

Entre los equipos de refrigeración empleados para enfriar líquidos se encuentran absorción, centrífugos y alternativos. Como es conocido, los equipos centrífugos y alternativos usan un refrigerante volátil, tal como R-12 ó R-22 (volátil, se evapora a temperatura ambiente).

Mecánicamente las unidades de absorción, utilizan una acción térmica para su funcionamiento donde el refrigerante es el agua y el Bromuro de Litio es utilizado como absorbente, de hecho reemplaza la acción de bombeo de los compresores centrífugos y alternativos.

Estas máquinas son ensambladas, alambradas y enviadas con vacío al sitio de aplicación. Solamente las máquinas de mayores capacidades se envían en dos secciones para facilitar el manejo y la instalación.

Cuando se habla de refrigeración mucha gente piensa en compresores recíprocos ó compresores del tipo centrífugo usando refrigerante volátil. El calor para evaporar el refrigerante es tomado del aire o el agua pasando sobre un serpentín directamente cuando el refrigerante está fluyendo, mucha gente no piensa del agua como refrigerante, actualmente, la temperatura a la cual se evapora el agua puede ser variada controlando la presión y de hecho es el principio que se utiliza para emplear el agua como refrigerante.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El absorbedor contiene una solución de Bromuro de Litio, la cual absorbe vapor de agua del mismo modo que la sal de mesa absorbe agua en un día húmedo, a medida que el Bromuro de Litio absorbe vapor de agua, más agua se evapora. Esta evaporación produce un efecto de refrigeración y el resto del agua se enfría. Para utilizar este efecto de refrigeración, se coloca un serpentín en el evaporador. Un rociador se utiliza para humedecer la superficie del serpentín y mejorar la eficiencia y se utiliza una bomba para circular el agua. La evaporación del agua en el evaporador y su efecto de refrigeración hacen que se enfríe el agua que circula dentro del serpentín hasta temperaturas de 40°F. Esta agua fría es entonces circulada hasta la carga de refrigeración, sin embargo, cuando la solución Li Br esta continuamente absorbiendo vapor de agua según ocurre en el ciclo de funcionamiento se va diluyendo, de manera que va perdiendo su afinidad para absorber vapor de agua. Para mantener su capacidad absorbente el Li Br es bombeado a otro recipiente, el generador, donde se le aplica calor a través de un serpentín de calentamiento y al subir su temperatura se evapora el vapor de agua; de esta manera se vuelve a concentrar la solución, la cual regresa al absorbedor para comenzar de nueva cuenta el ciclo.

El cuarto componente es el condensador, en esta cámara, el vapor de agua que fue evaporada en el generador se condensa para retornarlo al evaporador. Este es el ciclo de una máquina de absorción, expresado en forma más simple.

Las máquinas de absorción no son tan simples como las figuras anteriores mostradas, por supuesto que hay válvulas, serpentines, controles y otros elementos.

Pero básicamente comparada con otras máquinas de refrigeración es sencilla. Esta sencillez redundando en ventajas de funcionamiento y mantenimiento, típicas de la máquina de absorción, que podría ser el mejor sistema, las máquinas de absorción no son exigentes por el tipo de calor a emplearse o por una fuente de calor: vapor a baja presión de una caldera, válvulas reductoras de presión o central de vapor, agua caliente, calor de desecho provenientes de motores a gas, sistema de energía total, o procesos industriales pueden proveer la energía.

Otra ventaja de esta máquina es el uso de los tubos en el generador, del tipo U Bent (curvo) permitiendo que éstos puedan expandirse o contraerse cuando la unidad del generador se expone a cambios rápidos de temperatura evitando así fallas por desgaste o fricción debido al movimiento del tubo.

Como la potencia eléctrica de las pequeñas bombas de la solución y del refrigerante son mínimas, no existen las costosas tarifas de demanda. Por lo tanto, los requerimientos eléctricos del equipo de absorción se miden en vatios en lugar de kilovatios.

Uno de los modelos más utilizados de una larga serie de enfriadores de agua por absorción, es el modelo que utiliza el tipo de construcción de casco dividido, el casco superior contiene el generador y condensador; el casco inferior al evaporador y absorbedor, este tipo de modelo ofrecen un funcionamiento completamente estable a pesar de los cambios bruscos de la temperatura exterior.

El diseño redondo del casco dividido provee varias funciones importantes, forma un colector debajo de cada haz de tubos y también forma una barrera térmica para evitar transferencia de calor entre los colectores.

Aun más importante es el hecho de que este diseño provee una altura estática que permite el flujo de refrigerante desde el condensador hasta el evaporador y de la solución concentrada de Bromuro de Litio desde el generador hasta el rociador del absorbedor por gravedad. Esto elimina la necesidad de una bomba para la solución concentrada y significa que el flujo de la solución concentrada pueda variarse sin preocuparse de la altura total de bombeo, lubricación o enfriamiento de la bomba.

El evaporador es aislado para prevenir ganancias térmicas y de condensación de humedad de la atmósfera, esto proporciona un mejoramiento en la eficiencia del sistema y un ahorro en el agua del condensador así como de vapor.

CAPITULO IV

REFRIGERANTES

4.1 CARACTERISTICAS DE LOS REFRIGERANTES

Los refrigerantes son los fluidos de transporte que conducen la energía calorífica desde el nivel a baja temperatura al nivel a alta temperatura, donde en términos de transferencia de calor, pueden ceder su calor. En un amplio sentido, los gases incluidos en los procesos de licuefacción o en los ciclos de compresión de un gas pasan por una fase de temperatura baja y por tanto, pueden llamarse refrigerantes, de una manera similar a los fluidos de compresión de vapor más convencionales.

Uno de los atributos que deben considerarse en los sistemas de compresión de vapor es el punto de ebullición normal, ya que éste es importante en la selección de un fluido que esté a una presión superior a la atmosférica en la parte baja y, por tanto, libre de la posibilidad de entradas de aire; se suele dividir a los refrigerantes, en cuatro amplias categorías, basadas en las temperaturas de ebullición:

- a) Temperaturas ultra bajas: -65°F (-53°C) o más bajas
- b) Temperaturas bajas: -65°F (-53°C) a -20°F (-28.89°C)
- c) Temperaturas Intermedias: -20°F (-28.89°C) a $+20^{\circ}\text{F}$ (-6.67°C)
- d) Temperaturas altas: $+20^{\circ}\text{F}$ (-6.67°C) o más

Lo ideal de un refrigerante sería que la presión de evaporación fuera ligeramente mayor que la presión atmosférica, para que nunca existiera el vacío en el sistema.

Las propiedades térmicas esperadas de un refrigerante son:

- 1) Presiones convenientes de evaporación y condensación
- 2) Alta temperatura crítica y baja temperatura de congelamiento
- 3) Alto calor latente de evaporación y alto calor específico del vapor
- 4) Baja viscosidad y alta conductividad térmica de la película.

Las propiedades prácticas deseadas incluyen:

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

- 1) Bajo costo
- 2) Inactividad física y química en las condiciones de operación
- 3) No corrosivo con los materiales comunes de construcción
- 4) Poco riesgo de explosión, tanto sólo como mezclado con aire.

El refrigerante no debe ser tóxico ni irritante, tampoco debe de causar deterioro del lubricante empleado, las fugas deben ser detectadas por pruebas sencillas y fáciles de realizar.

El volumen específico del refrigerante que se va a utilizar es importante cuando se usan compresores reciprocantes, ya que va a determinar el tamaño del compresor; con un compresor centrífugo el manejo de grandes volúmenes no es un inconveniente e incluso puede ser una ventaja en el caso de unidades pequeñas. Desde el punto de vista de pérdidas de tolerancia, una razón de compresión alta no es deseable en compresores reciprocantes, y puede hacer necesario el uso de la compresión compuesta.

El coeficiente de comportamiento de un refrigerante es la medida de su eficiencia en utilizar la energía gastada en el compresor, en relación con la energía absorbida durante la evaporación, así que mientras menos energía necesite el refrigerante para comprimirse, mayor será el coeficiente de comportamiento en el sistema.

La resistencia de un fluido a circular a través de una tubería u orificio es una indicación de su densidad, esta resistencia a fluir es mayor mientras mayor sea la densidad. Si el refrigerante es de alta densidad, al fluir en las tuberías tendrá mayor fricción y, por lo tanto, una caída de presión considerable. Por esto, los refrigerantes de baja densidad tienen más ventajas y puede ser un factor importante para seleccionarlos; una caída de presión muchas veces puede causar evaporación prematura en la línea de líquido y reducir la capacidad del sistema. Para evitar las pérdidas excesivas de presión, es evidente que se necesitan mayores diámetros de las tuberías, con lo cual se baja la velocidad del fluido.

El refrigerante seleccionado debe tener una temperatura crítica mayor que la temperatura más alta al salir del compresor; de otra manera, la condensación sería imposible, independientemente del valor de la presión. La temperatura crítica de casi todos los refrigerantes está muy arriba de la temperatura de condensación.

La presión crítica también debe estar muy arriba de la presión de condensación, esta presión está regida por la calidad y temperatura del medio de enfriamiento.

Los refrigerantes deben ser de tal naturaleza que los continuos cambios de presión y temperatura no afecten sus propiedades; asimismo, deben resistir cualquier descomposición química ocasionada por contaminación con el aire, el aceite ó el agua. Muchos refrigerantes, en su estado puro, no son corrosivos, pero al combinarse con agua se vuelven muy corrosivos.

La presencia de aceite lubricante en un sistema es obvia, por lo que el refrigerante y el aceite deben ser compatibles química y físicamente. El refrigerante ideal es el que permanece químicamente estable en presencia de aceite lubricante y, a su vez, no influye en las características químicas del lubricante.

Hay refrigerantes que tienen la capacidad de mezclarse con el aceite (miscibilidad) en cualquier proporción, algunos se mezclan poco y otros nada, ésto hace que el diseño de un sistema tenga variaciones de un refrigerante a otro.

El efecto de la miscibilidad es reducir la viscosidad del aceite y disminuir la temperatura a la que se congela un lubricante; por ello, representa una ventaja y una desventaja.

El efecto de un lubricante en el sistema es bajar la eficiencia, ya que se forma una capa en los tubos del evaporador y baja la transmisión de calor; ésto sucede con refrigerantes poco miscibles. Por otro lado, baja la eficiencia debido a que la presencia de vapores de lubricante desplaza los vapores del refrigerante y entran en el compresor cuando el refrigerante es miscible. Cuando el refrigerante viene mezclado con el lubricante, éste lubrica bien las válvulas y alarga su vida.

Existen separadores de aceite de tipo mecánico que trabajan por medio de la fuerza centrífuga, gravedad, congelación, etc. Cuando el refrigerante es miscible, no hay posibilidad de tener depósitos de aceite en el evaporador, ya que el aceite no viene solo sino mezclado.

Existe peligro de intoxicación, de lo cual hay que tener cuidado, debido a la gran posibilidad de fuga que puede existir en los sistemas de refrigeración, la sofocación y el envenenamiento están comprendidos en la toxicidad; casi todos los fluidos que se utilizan en la refrigeración son tóxicos, con excepción del aire; el grado de toxicidad varía de uno a otro y depende de sus características y del tiempo en que se esté expuesto a los mismos, debe tenerse en cuenta el grado de toxicidad, que muchas veces es decisivo, al escoger el refrigerante.

Bajo el punto de vista de seguridad, un refrigerante no debe ser inflamable, ni explosivo, las fugas pueden causar una concentración crítica y causar incendios ó explosiones, se deben tener muchas precauciones cuando se presente una fuga, como ventilación, extracción, alarmas, etc.

Un buen refrigerante debe poseer características que ayuden a detectar una fuga en el sistema, algunos refrigerantes tienen más capacidad para fugarse que otros; mientras más denso es un refrigerante, menor es su posibilidad de fuga; cuando la presión es menor que la atmosférica, la fuga es en sentido contrario, esto es, que en lugar de fugarse refrigerante, absorbe aire el sistema debido a la presión negativa y las consecuencias son de tipo térmico, disminuyendo la eficiencia del sistema, la fuga provoca pérdidas costosas de refrigerante, peligro, baja eficiencia, etc.

Cuando hay una fuga, los refrigerantes olorosos se detectan con facilidad, pero en ciertos casos no se puede permitir.

El costo de un refrigerante en unidades de refrigeración pequeñas, no es de mucha importancia; lo contrario sucede en instalaciones grandes, el costo se debe analizar bajo el punto de vista de la eficiencia térmica y no simplemente del costo por peso. El refrigerante que absorba o ceda calor al mínimo costo por Btu (caloría) es el más económico, sin importar el costo por peso; otro factor que debe tenerse en cuenta al seleccionar un refrigerante y en un momento dado es el factor determinante, es su disponibilidad.

4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS REFRIGERANTES

La norma 34 de la ASRE (American Society of Refrigerating Engineers: Sociedad Americana de Ingenieros en Refrigeración) clasifica los refrigerantes en varios grupos de acuerdo con sus compuestos químicos:

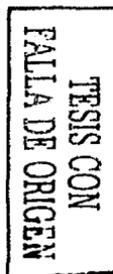
1.- Grupo de Hidrocarburos halogenados

1.1.- Hidrocarburos clorados

Cloro metano	CH_3Cl
Cloro etano	CH_3CH_2Cl
Di cloro metano	CH_2Cl_2
Di cloro etano	$CHCl \cdot CHCl$
Tricloro etano	$CHCl \cdot CCl_2$

1.2.- Hidrocarburos fluorados (serie metanos)

R-11	Tricloromonofluorometano	CCl_3F
R-12	Diclorodifluorometano	CCl_2F_2



ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

R-13	Monoclorotrifluorometano	$CClF_3$
R-14	Tetrafluorometano	CF_4
R-21	Dicloromonofluorometano	$CHCl_2F$
R-22	Monoclorodifluorometano	$CHClF_2$

1.3.- Hidrocarburos fluorados (serie de etanos)

R-113	Triclorotrifluoroetano	CCl_2FCClF_2
R-114	Diclorotetrafluoroetano	$CClF_2CClF_2$

1.4.- Hidrocarburos fluorados (bromuros)

R-131	Bromotrifluorometano	$CBrF_3$
-------	----------------------	----------

2.- Grupos de Hidrocarburos

2.1.-	R-170	Etano	CH_3CH_3
2.2.-	R-150	Eteno	CH_2CH_2
2.3.-	R-290	Propano	$CH_3CH_2CH_3$
2.4.-	R-600a	Isobutano	$CH(CH_3)_3$
2.5.-	R-600	Butano	$CH_3CH_2CH_2CH_3$

3.- Mezclas Azeotrópicas

4.- Compuestos Inorgánicos

4.1.-	R-717	Amoníaco	NH_3
4.2.-	R-744	Dióxido de carbono	CO_2
4.3.-	R-764	Dióxido de azufre	SO_2
4.4.-	R-718	Agua	H_2O
4.5.-	R-727	Aire	

4.3 GRUPO DE HIDROCARBUROS HALOGENADOS

Hacia fines de la década de 1920 un grupo de ingenieros y científicos trabajando con el Dr. Thomas Midgley, Jr. desarrollaron una nueva familia de refrigerantes que tienen características excepcionales. La característica más sobresaliente de este grupo nuevo fue su extremada baja toxicidad, lo que contribuyó a la pronta aceptación de uno de éstos para ser muy usado en instalaciones de aire acondicionado.

El grupo de los hidrocarburos halogenados comprende refrigerantes que contienen uno o más de los tres halógenos: cloro, fluor y bromo.

En el grupo de los hidrocarburos halogenados aparecen los populares refrigerante 12 y refrigerante 22, los más usados actualmente en la industria del aire acondicionado y la refrigeración. El refrigerante 22 es el más utilizado en los equipos de acondicionamiento de aire para las salas de equipo telefónico.

Según la ANSI (American National Standards Institute: Instituto Nacional de Estándares Americanos), los refrigerantes son designados por números, a saber:

- El número de identificación del refrigerante, o la palabra Refrigerante, o ambos, puede ser precedido por la marca de fábrica.
- Los siguientes son ejemplos: 'Isotron' 12 ó refrigerante 'Isotron' 12; 'Genetrón' 12 ó refrigerante 'Genetrón' 12; 'Freon' 12 ó refrigerante 'Freon' 12 ó 'Freón' 12 refrigerante ó 'F-12' refrigerante.

Por lo anterior, los fabricantes manejan la denominación de los gases refrigerantes bajo sus marcas propias y bajo patentes registradas, como *Genetron*® que es una marca registrada de fluorocarbonos, de la empresa AlliedSignal, Inc., así como *Freon*® y *Suva*® que son marcas registradas de la empresa E.I. Dupont de Nemours & Co. Inc., la marca *Klea*® de la empresa ICI Chemicals & Polymers Ltd., la marca *Forane*® de la empresa Francesa Elf Atochem S.A. y la empresa Italiana Ausimont S.p.A con su marca *Meforex*® Por mencionar algunas de las más importantes a nivel mundial.

Los refrigerantes de este grupo son refrigerantes de sustitución, en los que los átomos de halógeno, principalmente el cloro y el fluor, son sustituidos en una estructura de hidrocarburos por átomos de hidrógeno. El metano, cuya fórmula química es CH_4 , ha sido tomado como modelo. Por ejemplo, supóngase que 2 átomos de cloro y 2 de fluor se usan para reemplazar los átomos de hidrógeno en el metano; La fórmula resultante es CCl_2F_2 , el dicloro-difluoro-metano, otro refrigerante es el $CHClF_2$, al cual debe llamarsele monoclorodifluorometano o también al CCl_3F llamado tricloromonofluorometano.

TESIS CON
ALLA DE ORIGEN

Tales nombres, aunque lógicos, son largos y difíciles de recordar de tal manera que en lugar de usar nombres tan largos se emplean otros: al diclorodifluorometano se le llama Freón-12, Genetrón-12, Isotrón-12, etc. Y al monoclorodifluorometano se le llama Freón-22, Genetrón-22, etc. El uso de muchos nombres y marcas pueden crear confusiones, por lo que la ASRE decidió adoptar el nombre estándar simple de refrigerante con un número: al CCl_2F_2 como refrigerante 12, el $CHClF_2$ como 22, CHF_3 como 23, al CH_2F_2 como 32, etc.

El sistema de numeración del grupo de los hidrocarburos halogenados sigue la siguiente regla:

- El primer dígito a partir de la derecha es el número de átomos de fluor en el compuesto.
- El segundo dígito es uno más que el número de átomos de hidrógeno del compuesto.
- El tercero es uno menos que el número de átomos de carbono del compuesto.
- Cuando el último dígito es cero se omite.

En la tabla 2 se muestra una lista de algunos refrigerantes tabulados de acuerdo con el sistema de la ASRE.

Tabla 2. Sistema de numeración de refrigerantes por la ASRE

Designación ASRE	Nombre químico	Fórmula química
10	Carbontetracloruro	CCl_4
11	Tricloromonofluorometano	CCl_3F
12	Diclorodifluorometano	CCl_2F_2
13	Monoclorotrifluorometano	$CClF_3$
14	Carbontetrafluoruro	CF_4
20	Cloroformo	$CHCl_3$
21	Dicloromonofluorometano	$CHCl_2F$
22	Monoclorodifluorometano	$CHClF_2$
23	Trifluorometano	CHF_3
30	Cloruro de metileno	CH_2Cl_2
110	Hexacloroetano	CCl_3CCl_3
111	Pentacloromonofluoroetano	CCl_3CCl_2F
112	Tetraclorodifluoroetano	CCl_2FCCl_2F

Debido a que existen una gran diversidad de refrigerantes hidrocarburos fluorados, se analizarán principalmente los refrigerantes R-11, R-12 y R-22 para describir sus propiedades físicas y termodinámicas, ya que estos son los fluidos más utilizados en los sistemas de acondicionamiento de aire para las centrales telefónicas, así como en edificios administrativos y son los principales gases contaminantes, objeto del presente trabajo de tesis.

4.3.1 REFRIGERANTE 11

Se utiliza como refrigerante en compresores centrífugos, en sistemas de aire acondicionado para industrias, edificios grandes y para el enfriamiento de agua o salmueras, especialmente para controlar temperaturas de proceso en la industria. Cuando se utiliza con salmueras, se llegan a alcanzar temperaturas de -100°C . También se le utiliza como solvente para la limpieza y/o desengrasado de un sistema de refrigeración; por ejemplo, luego de producirse el quemado del devanado de un motor, al suceder esto el sistema se contamina, por lo que se deberá lavar para eliminar los residuos y reemplazar el refrigerante y aceite.

El refrigerante-11 es de los llamados refrigerantes de vacío, esto es, que las temperaturas de refrigeración en el evaporador pueden obtenerse sólo a presiones subatmosféricas.

El refrigerante-11 prácticamente es inodoro y relativamente no tóxico aun en altas concentraciones, si no se tiene exposición continua en periodos largos de tiempo. No es explosivo y casi no es inflamable, pero en la presencia de flamas y superficies muy calientes forma productos de descomposición tóxica. No tiene acción corrosiva sobre los metales comunes de construcción, pero si ataca a los empaques de hule.

El volumen específico de un refrigerante de vacío es generalmente tan alto que el gran volumen de gases puede ser manejado efectivamente sólo por compresores centrífugos. Para volúmenes muy grandes de vapores, las dimensiones requeridas de un compresor recíprocante resultan ser prohibitivas.

4.3.2 REFRIGERANTE 12

Es el gas que más se emplea en los refrigeradores de uso doméstico, se utiliza también en unidades de refrigeración comerciales e industriales. Por ejemplo, vitrinas para la exhibición de lácteos o refrescos, en surtidores de agua, depósitos para almacenamiento de alimentos a temperaturas inferiores a los -15°C y en camiones, vagones o contenedores refrigerados. Se emplea en sistemas de aire acondicionado especialmente para automóviles y autobuses. También en bombas de calor, para calentar agua hasta 60°C . Este refrigerante se utiliza en todo tipo de compresores: herméticos y abiertos, rotativos, centrífugos y de tornillo.

El refrigerante 12 conocido comúnmente como freón-12 ó genetron-12, es muy usado en los sistemas de confort de aire acondicionado, es químicamente estable y casi no tiene efectos corrosivos sobre metales ordinarios, a menos que estén contaminados con impurezas, como el agua. Este refrigerante no es combustible aunque en presencia de flamas abiertas o de superficies muy calientes se descompone y forma gases tóxicos. El vapor en sí mismo casi no es tóxico, aun en concentraciones arriba del 20% por volumen de aire; aparentemente la única dificultad es la de reducir la cantidad de oxígeno; tiene sólo olor muy ligero.

Las juntas en las tuberías que conducen halocarburos deben hacerse con cuidado para prevenir fugas de gases. Para pequeñas instalaciones se acostumbra usar tuberías de cobre soldadas. Si se usa aceite mineral de grado selecto y libre de agua, se pueden presentar algunas dificultades en el sistema de lubricación ya que el aceite y el lubricante son mutuamente solubles uno en el otro. Debe de tenerse mucho cuidado de que no se pase el aceite del compresor hacia el evaporador, poniendo en peligro la lubricación del compresor así como también la reducción de la transferencia de calor en el evaporador. Los empaques de hule son inconvenientes en la mayoría de los refrigerantes hidrocarburos-halogenados, pero se pueden usar satisfactoriamente en muchos casos empaques de composición sintética (neopreno).

El agua debe eliminarse por completo de los sistemas refrigerantes, con excepción de aquellos que usan amoníaco, y los sistemas tienen que conservarse continuamente secos para evitar la hidrólisis, así como también congelamiento y obstrucción en las válvulas de expansión; se deben instalar, en forma temporal o permanente, deshidratadores, con objeto de eliminar la humedad, algunos tipos de deshidratadores usan materiales como sílica gel, alumina activa, drierita (sulfato de calcio), etc. En muchos casos, antes de empezar a trabajar el sistema, se hace un alto vacío sobre el sistema caliente para evaporar (secar) cualquier humedad que se tenga en la tubería.

4.3.3 REFRIGERANTE 22

Se emplea en sistemas de aire acondicionado domésticos, comerciales e industriales, y en sistemas de refrigeración comerciales e industriales incluyendo: cámaras de conservación e instalaciones para el procesamiento de alimentos, refrigeración y aire acondicionado a bordo de diferentes transportes, bombas de calor para calentar aire y agua. se puede utilizar en compresores de pistón, centrífugos y de tornillo.

El refrigerante 22 es el más utilizado en los equipos de aire acondicionado instalados en las diferentes centrales telefónicas a nivel nacional se puede decir que más del 95% de los equipos instalados en Centrales, oficinas, y centros de trabajo de Telefonos de México, usan el refrigerante 22 en los equipos de acondicionamiento ambiental.

Este tipo de refrigerante en compresores recíprocos, al igual que el refrigerante 12, es químicamente estable, casi sin olor, no es irritante y no presenta efectos nocivos permanentes en concentraciones hasta de 18% por volumen para exposiciones de menos de 2 horas de duración. De acuerdo a sus propiedades termodinámicas el refrigerante 22 es particularmente útil para usarse en campos de baja temperatura, por que su presión es más alta que para el amoníaco, el refrigerante-12 y de hecho para casi la mayoría de los refrigerantes con excepción del CO_2 y algunos de los hidrocarburos. El volumen específico es moderado a presiones bajas y para el valor relativamente bueno del calor latente que este refrigerante posee, puede tenerse una evaluación razonable del valor del desplazamiento del pistón por tonelada de refrigeración aun para temperaturas bajas de succión. Este refrigerante está siendo usado mucho en la gama de temperaturas moderadas, (acondicionamiento de aire), debido a que su volumen es bajo, en compresores de un cierto tamaño (desplazamiento del pistón) proporcionando una carga en toneladas mayores que la obtenida con el refrigerante-12. Este refrigerante casi no es inflamable y no es explosivo.

Tabla 3 CARACTERÍSTICAS COMPARATIVAS DE REFRIGERANTES BÁSICO
(basadas en temperatura de 5°F en el evaporador y 86°F en el condensador)

	R-11 Tricloromono- fluorometano	R-12 Diclorodifluoro- metano	R-22 Monoclorodi- fluorometano	R-113 Tricloro- fluorocetano	R-717 Amoníaco
Fórmula química	CCl_3F	CCl_2F_2	$CHClF_2$	$C_2Cl_3F_3$	NH_3
Peso Molecular	137.4	120.9	86.5	187.4	17.0
Punto de ebullición (°F) a 14.7 lb/plg ²	74.7	-21.6	-41.4	117.6	-28.0
Presión en el evaporador a 5°F (lb/plg ²)	2.9	26.5	43.0	0.98	34.3
Presión de condensación a 86°F (lb/plg ²)	18.3	108.0	174.5	7.86	169.2
Punto de congelación (°F) a 14.7 lb/plg ²	-168	-252	-256	-31	-108
Temperatura crítica (°F)	388	234	205	417	271
Presión crítica (lb/plg ²)	635	597	716	495	1657
Temp. en la descarga del compresor (°F)	112	100	131	86	210
Razón de compresión (86°F/5°F)	6.24	4.07	4.06	8.02	4.94
Viscosidad del líquido saturado a 5°F (centipoises)	0.650	0.328	0.286	1.200	0.250
Viscosidad del líquido saturado a 86°F (centipoises)	0.405	0.251	0.229	0.619	0.207
Viscosidad del vapor a 5°F y 14.7 lb/plg ² (centipoises)	0.0096	0.0114	0.0114	0.0093*	0.0085

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Viscosidad del vapor a 86°F y 14.7 lb/plg ² (centipoises)	0.0111	0.0127	0.0131	0.0105*	0.0102
Volumen específico del vapor saturado a 5°F (pies ³ /lb)	12.27	1.49	1.25	27.04	8.15
Calor latente de vaporización a 5°F (Btu/lb)	84.0	69.5	93.6	70.6	565.0
Calor especif. del líquido a 86°F (Btu/lb°F)	0.21	0.24	0.34	0.22	1.14
Calor especif. del vapor a presión cte. de 14.7 lb/plg ² y 86°F (Btu/lb°F)	0.13	0.15	0.15	0.15	0.51
Relación de calor especif. A 86°F y 14.7 lb/plg ² ($k = C_p / C_v$)	1.14	1.14	1.18	1.09	1.32
Potencia ideal de refrigeración en caballos/ton	0.927	1.002	1.011	0.960	0.989
Flujo de refrigerante/ton ideal de refrigeración (lb/min)	2.96	3.92	2.89	3.73	0.422
Desplazamiento del compresor/ton de refrigeración (pies ³ /min)	36.32	5.81	3.60	100.76	3.44
Conductividad térmica del líquido saturado a 32°F (Btu pie/pie ² *F)	0.0680	0.0559	0.0704	0.0576	0.29
Conductividad térmica del líquido saturado a 86°F (Btu pie/pie ² *F)	0.0609	0.0492	0.0595	0.0521	0.29
Conductividad térmica del vapor a 32°F y 14.7 lb/plg ² (Btu pie/pie ² *F)	0.0045	0.0048	0.0060	0.0038*	0.0128
Conductividad térmica del vapor a 86°F y 14.7 lb/plg ² (Btu pie/pie ² *F)	0.0048	0.0056	0.0068	0.0045*	0.0145
Estabilidad (descomposición de productos tóxicos)	Si	Si	Si	Si	No
Flamabilidad	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Si
Olor	Etéreo	Etéreo	Etéreo	Etéreo	Agrio
Tipo de compresor que puede usarse	Centrifugo	Todos	Reciprocante rotativo	Centrifugo	Todos
Gama de Temperaturas en el evaporador *F	-20 a 50	-100 a 50	-125 a 50	-25 a 50	-90 a 20

* A 0.1 atmósferas

*A 0.5 atmósferas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.4 GRUPO DE HIDROCARBUROS

Algunos hidrocarburos se utilizan como refrigerantes, especialmente para uso en las industrias del petróleo y petroquímica; son incoloros y derivados del petróleo y del gas natural. Son muy poco usados y mezclados con el aire son inflamables y explosivos, no son venenosos, pero sí anestésicos, no atacan los metales y son miscibles con el aceite; se descubren con burbujas de agua jabonosa y atacan el hule. Pueden seleccionarse diferentes hidrocarburos para trabajar a la presión y a las gamas de temperaturas deseadas, algunos de éstos son :

Butano .- refrigerante-600, tiene una presión moderadamente baja y ejerce una presión absoluta de 13.1 lb / plg^2 a 5°F y 59.5 lb / plg^2 a 86°F .

Propano.- refrigerante-290 está en una gama de presiones intermedias, 42.1 lb / plg^2 (abs.) a 5°F y 185.3 lb / plg^2 a 86°F .

Etano.- refrigerante-170, trabaja en una gama de presiones altas alrededor de 240 lb / plg^2 (abs.) a 5°F y 676 lb / plg^2 a 86°F .

Etileno.- refrigerante-1150, fue muy usado para trabajar a temperaturas muy bajas, trabaja como gas licuado y disociado, hierve a -154.7°F a 14.7 lb / plg^2 (abs.) y tiene una temperatura crítica de 49.3°F a 743 lb / plg^2 (abs.)

4.5 MEZCLAS AZEOTRÓPICAS

Un azeotrópico es una mezcla de dos o más sustancias químicas en el cual se mantiene la misma relación de constituyentes químicos en ambas fases, líquida y de vapor, por ejemplo, los constituyentes de una mezcla azeotrópica no pueden ser separados por destilación; han sido propuestos varios refrigerantes azeotrópicos, pero sólo el refrigerante-500 ha sido muy usado. El refrigerante -500, también conocido como Carrene-7, es una mezcla azeotrópica de 73.8% de refrigerante-12 (CCl_2F_2), 26.2% de refrigerante-152a (CH_3CHF_2). Este refrigerante tiene una presión de saturación de 31.1 lb / plg^2 (abs.) a 5°F y un volumen específico del vapor de $1.5231 \text{ pies}^3 / \text{lb}$. La presión de saturación a 86°F es de 128.1 lb / plg^2 . Aunque otros azeotrópicos han sido propuestos, ninguno ha tenido aceptación comercial.

4.6 COMPUESTOS INORGÁNICOS.

a) Amoniaco

El amoniaco (NH_3) posee muchas de las ventajas de un magnífico refrigerante; por eso muchos operadores y fabricantes lo prefieren. El amoniaco es el refrigerante más antiguo y de más uso. Por sus características térmicas y físicas, es muy eficiente, económico y no requiere equipo muy pesado. Es químicamente estable, no afecta al lubricante y pesa la mitad del aire, prácticamente no se mezcla con el aceite, ni reduce su viscosidad, cuando hay humedad, el aceite y el amoniaco forman una emulsión que causa dificultades.

El amoniaco tiene alto el calor específico del líquido, pero también es alto el calor específico del vapor, tiene muy alto efecto de refrigeración, es volátil, no se quema a temperaturas ordinarias, sólo cuando se expone a una llama abierta. Cuando se combina con cierta proporción de aire y se comprime, forma mezcla explosiva y es más grave si en la mezcla también existe vapor de lubricante, es muy irritante a las membranas mucosas y a los ojos, y nunca se usa para aire acondicionado en hospitales, instalaciones marinas, etc.

Se le puede detectar fácilmente por el olor y con velas de sulfuro causa humos que, al combinarse con el amoniaco producen nubes blancas, en presencia del agua ataca metales no ferrosos; por eso nunca se usa con bronce o cobre.

b) Bióxido de Carbono

El bióxido de carbono (CO_2) requiere equipo sumamente pesado, en virtud de la excesiva presión y requiere un costo inicial muy elevado; su temperatura crítica es $87.8^\circ F$, por lo que requiere temperaturas muy bajas para los agentes enfriadores en el condensador. Es excelente para muy bajas temperaturas, pues se obtienen $-110^\circ F$ a la presión atmosférica. No permanece líquido cuando la presión está abajo del punto triple de 75.1 lb / plg^2 , ésto se debe a que la evaporación ocurre tan rápidamente que la temperatura del líquido baja del punto de congelamiento formando nieve o CO_2 sólido (hielo seco).

Bajo la presión atmosférica el hielo seco se sublima, la temperatura del hielo seco es de $-110^\circ F$ a $-114^\circ F$ a 1 atmósfera, pesa 1.53 más que el aire, no huele, es incoloro, es difícil de detectar sus fugas, no es tóxico, en grandes concentraciones causa la muerte por sofocación y no es inflamable. Es químicamente estable, es inmiscible con aceite y no varía su viscosidad, no afecta ningún metal, su efecto de refrigeración es bajo y su volumen específico también es bajo.

c) Dióxido de azufre

El dióxido de azufre (SO_2) es incoloro, pesa aproximadamente el doble que el aire, no es inflamable y no se quema a temperaturas ordinarias, sus fugas no perjudican los alimentos, por el contrario los conservan. No afecta la viscosidad del aceite, combinado con éste, produce un lodo que obstruye los conductos; tiene bajo efecto de refrigeración y alto volumen específico, lo cual requiere grandes desplazamientos volumétricos, es muy tóxico, irrita las membranas mucosas y los ojos. No se usa en trabajos domésticos, es químicamente estable y tiene baja presión de condensación, las fugas se detectan con facilidad, pues se identifica con un estropajo saturado en amoníaco acuoso, hasta que aparece una nube blanca, con la humedad forma ácidos muy corrosivos.

d) Vapor de agua

Dentro de sus límites de temperaturas ($32^\circ F$), el vapor de agua es un excelente refrigerante, no es tóxico ni inflamable, por esto es el fluido más seguro para aire acondicionado. Tiene un alto efecto de refrigeración y un coeficiente de comportamiento de 4.2, su gran desventaja es el gran volumen que se requiere manejar ($476.6 \text{ pies}^3 / \text{min} / \text{ton}$, o sea 4.7 veces más que el R-113), por este motivo, se emplea con compresores centrífugos .

e) Aire

El aire como refrigerante, tiene un coeficiente de comportamiento muy bajo (1.67), como refrigerante se ha usado mucho en la industria de la aviación, para eliminar el calor generado por la fricción del aire debido a altas velocidades, sus ventajas son seguridad, disponibilidad y costo nulo.

4.7 ¿POR QUÉ REEMPLAZAR A LOS CFC's y HCFC's?

Debido a que se ha vuelto una parte esencial en nuestra vida no siempre apreciamos la importancia de la refrigeración, ésta se ha convertido en primordial en muchas actividades humanas, como son el transporte, el almacenamiento de alimentos, material médico y en muchos procesos industriales, a su vez el aire acondicionado fijo y móvil es de primera necesidad en regiones de climas extremos para muchas personas en todo el mundo.

El desarrollo de la refrigeración se debe principalmente a los gases fluorados llamados clorofluorocarbonos (CFC's como son el R-11, R-12, R-502, etc.), estos refrigerantes desarrollados hace 60 años reemplazaron al amoníaco y a otros hidrocarburos gracias a sus propiedades únicas como: baja toxicidad, no-inflamabilidad, no son corrosivos y tienen una excelente compatibilidad con otros materiales; además, los CFC's ofrecen y ofrecen propiedades termodinámicas y físicas, que los hacen ideales para muchos usos como agentes espumantes en la manufactura de aislantes, empaques, agentes limpiadores de metal y de componentes electrónicos por nombrar algunas, así como las aplicaciones en la refrigeración y el aire acondicionado.

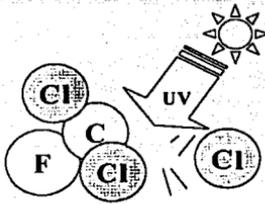
Nada de lo que se mencionó anteriormente ha cambiado ¿entonces por qué es necesaria la eliminación de los CFC's y HCFC's? La razón es que ahora se conoce ampliamente que estos compuestos, debido a su estabilidad y a su contenido de cloro deterioran la capa de ozono.

Debido a su composición los CFC's y HCFC's no se desintegran, ni causan contaminación en la baja atmósfera o tropósfera, sin embargo, estos gases son llevados íntegramente al nivel de la capa de ozono donde se descomponen bajo el efecto de la luz solar.

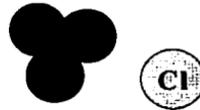
La forma por la cual destruye el ozono es bastante sencilla: La radiación UV (Ultra Violeta) arranca el cloro de una molécula de clorofluorocarbono (CFC), este átomo de cloro, al combinarse con una molécula de ozono la destruye, para luego combinarse con otras moléculas de ozono y eliminarlas. El proceso es altamente dañino, ya que en promedio un átomo de cloro es capaz de destruir hasta 100,000 moléculas de ozono, este proceso se detiene finalmente cuando este átomo de cloro se mezcla con algún compuesto químico que lo neutraliza.

En la figura 4-1, se muestra el proceso de destrucción del ozono por el refrigerante R-11 (CCl_3F)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



1) Un rayo UV libera un cloro de la molécula de CFC



2) El cloro liberado se encuentra con una molécula de ozono



3) El cloro arranca un átomo de oxígeno al ozono



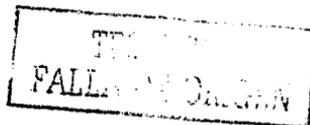
4) El cloro libera el átomo de oxígeno así se forma una molécula de oxígeno y el cloro continúa destruyendo al ozono

Figura 4-1. Proceso de destrucción del Ozono (O_3) por el R-11 (CCl_3F)

Los halones, con una estructura semejante a la de los CFC, pero que contiene átomos de bromo en vez de cloro, son aun más dañinos, los halones se usan principalmente como extintores de incendios y destruyen más ozono que los CFC. Las concentraciones de halones, si bien muy pequeñas, se duplican en la atmósfera cada cinco años; también están aumentando con rapidez los CFC, las concentraciones de CFC-11 y CFC-12 se duplican cada diecisiete años y el CFC-13 se duplica cada seis años.

Las sustancias químicas más peligrosas tienen una vida muy larga, por ejemplo el CFC-11 dura en la atmósfera un promedio aproximado de setenta y cuatro años, el CFC-12 tiene una vida media de ciento once años, el CFC-13 permanece durante unos noventa años, ésto les da tiempo suficiente para ascender a la estratósfera y permanecer ahí, destruyendo la capa de ozono.

Otros compuestos de cloro y bromo, como el tetracloruro de carbono, el metil cloroformo y el bromuro de metilo, también son dañinos para la capa de ozono; el tetracloruro de carbono se utiliza para combatir incendios y para los pesticidas, la limpieza en seco y los fumigantes para cereales; el metil cloroformo muy usado para la limpieza de metales, no es tan perjudicial, pero igualmente representa una amenaza, ya que en la estratósfera se duplicaría cada diez años.



Los óxidos nitrosos, liberados por los fertilizantes nitrogenados y por la quema de combustibles fósiles, destruyen el ozono y tienen una larga vida, pero sólo llegan a la estratósfera en proporciones muy pequeñas; además, algunas de las nuevas sustancias desarrolladas para servir como sustitutos provisionales a los CFC, también están destruyendo la capa de ozono, pero en menor grado que los CFC.

Además de los refrigerantes Clorofluorocarbonos (CFC), existen otros compuestos que también dañan la capa de ozono, pero en este trabajo únicamente se enfocará a los refrigerantes utilizados en los sistemas de acondicionamiento de aire.

4.8 REFRIGERANTES ALTERNATIVOS

Los CFC's y HCFC's están siendo reemplazados por refrigerantes llamados alternativos ó Ecológicos, este nuevo tipo de refrigerantes llamados HFC's, nombrados por sus marcas propias de los fabricantes, como por ejemplo Dupont primero desarrollo el *Freon®* y ahora lanza al mercado el refrigerante conocido como *Suva®*, con mejores propiedades ambientales, estos refrigerantes no contienen cloro y pueden ser utilizados en todas las aplicaciones de los CFC's con un alto grado de seguridad.

Los fabricantes de compuestos refrigerantes tales como Allied Chemical ICI, Dupont y Elf Asochem, continúan con sus investigaciones sobre refrigerantes alternativos; no obstante, la transición del uso de refrigerantes a base de CFC a los que utilizan HCFC ó HFC no es nada fácil. Todavía se deben usar los elementos básicos combinados para crear nuevos compuestos o mezclas de nuevos compuestos.

H																	He																												
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne																												
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar																												
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																												
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																												
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																												
Fr	Ra	Ac																																											
<table border="1"> <tr> <td>Ce</td><td>Pr</td><td>Nd</td><td>Pm</td><td>Sm</td><td>Eu</td><td>Gd</td><td>Tb</td><td>Dy</td><td>Ho</td><td>Er</td><td>Tm</td><td>Yb</td><td>Lu</td> </tr> <tr> <td>Th</td><td>Pa</td><td>U</td><td>Np</td><td>Pu</td><td>Am</td><td>Cm</td><td>Bk</td><td>Cf</td><td>Es</td><td>Fm</td><td>Md</td><td>No</td><td>Lr</td> </tr> </table>																		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																																
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																																

	Possibilidad de refrigerante		Inestable, elemento artificial o radiactivo y raro
	Tienen tendencia a formar solidos		No reacciona
	Tóxico o inestable (reactivo)		

Figura 4-2. Elementos básicos y compuestos refrigerantes

La figura 4-2 muestra la tabla periódica de los elementos, que son básicos para los componentes de los compuestos refrigerantes, sin embargo, las alternativas de dónde escoger son limitadas. Los elementos marcados con color gris claro forman compuestos que son sólidos a las temperaturas usadas para refrigeración. Los elementos con color gris medio son tóxicos o inestables. Los elementos que se han sombreado de gris oscuro tienden a formar compuestos que son inestables, a base de elementos artificiales

hechos por el hombre ó sumamente raros en estado natural; aquellos elementos marcados con color negro no reaccionan y sus puntos de ebullición son demasiado bajos para ser usados en aplicaciones refrigerantes.

Esto deja a los elementos básicos de cloro y bromo (que no se llevan con el ozono), hidrógeno, flúor, azufre, carbón, nitrógeno y oxígeno; actualmente se deben eliminar el cloro y el bromo ya que están considerados como catalizadores en la destrucción de la capa de ozono.

En consecuencia las opciones de elementos parecen ser limitadas, sin embargo, los investigadores en el área de los refrigerantes han venido explorando opciones creativas respecto de los requerimientos de refrigerantes del futuro.

Los actuales ofrecimientos de estas soluciones son una mezcla de dos o tres refrigerantes actuales y mezclas azeotrópicas que son una combinación de refrigerantes que se comportan como un solo componente. Las aplicaciones de mezclas y combinaciones azeotrópicas continúan en tanto se idean y desarrollan nuevas soluciones.

La aplicación de mezclas puede ser muy limitada en aplicaciones para enfriadores debido a cambios en la composición bajo los distintos requerimientos de presión de los enfriadores a base de refrigerantes. Si ocurriera una fuga, la composición de la mezcla podría cambiar, dejando una mezcla que contiene una proporción más alta del componente con la presión de vapor más baja, el refrigerante que quede puede ser inflamable, haciendo de su desecho una tarea difícil si no es que peligroso. Los refrigerantes azeotrópicos en aplicaciones muy probablemente no serán reemplazos automáticos a los refrigerantes CFC o CFC debido a las diferencias de presión y características de desempeño que no correspondan a lo especificado.

Durante medio siglo, las sustancias químicas más perjudiciales para la capa de ozono fueron consideradas milagrosas, de una utilidad incomparable para la industria y los consumidores e inocuas para los seres humanos y el medio ambiente. Inertes, muy estables, no inflamables, ni venenosos, fáciles de almacenar y baratos de producir, los clorofluorocarbonos (CFC) parecían ideales para el mundo moderno.

No sorprende, entonces que su uso se haya generalizado más y más; inventados casi por casualidad en 1928, se les usó inicialmente como líquido frigorígeno en los refrigeradores. A partir de 1950, han sido usados como gases propulsores en los aerosoles. La revolución informática permitió que se usaran como solventes de gran eficacia, debido a que pueden limpiar los circuitos delicados sin dañar sus bases de plástico, así como la revolución de la comida, los utilizó para dar cohesión al material alveolar de los vasos y recipientes desechables.

La mayor parte de los CFC producidos en el mundo se utilizan en refrigeradores, congeladores, acondicionadores de aire, aerosoles y plásticos expansibles, que tienen múltiples usos en la construcción, la industria automotriz y la fabricación de envases, la limpieza y funciones similares.

La figura 4-3 presenta las alternativas posibles de reemplazo de refrigerantes contaminantes (CFC) por refrigerantes ecológicos (HCFC y HFC), así como también los tiempos para los países desarrollados (principales fabricantes) para su eliminación total, así como la entrada de los nuevos refrigerantes ecológicos.

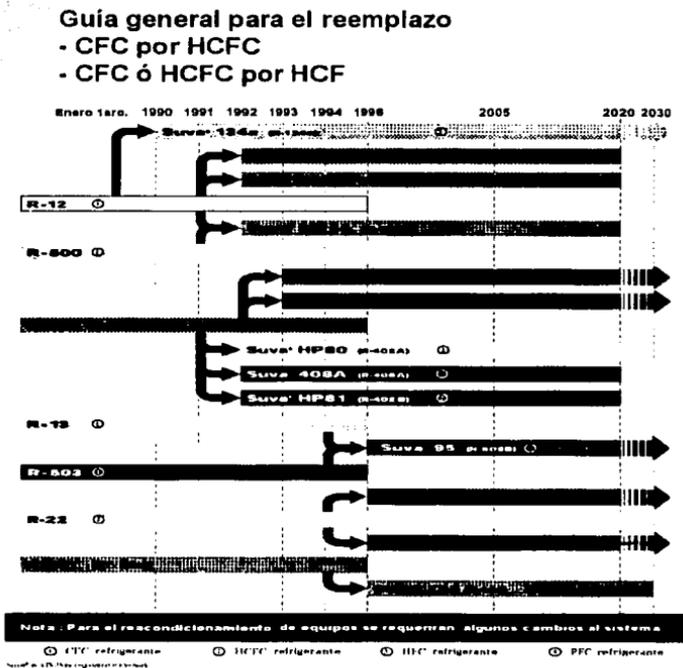


Figura 4-3. Guía para el reemplazo de refrigerantes

Debido a que existen una gran diversidad de refrigerantes alternativos, el presente trabajo se enfocará principalmente a los reemplazos de los CFC y HCFC (R-11, R-12 y R-22) para describir sus propiedades físicas y termodinámicas, ya que estos son los fluidos más utilizados en los sistemas de acondicionamiento de aire para las centrales telefónicas, así como en edificios administrativos.

4.8.1 REFRIGERANTE R-134^a (REEMPLAZA AL R-12 y R-22)

Los refrigerantes a base de hidrofluorocarburos (*HFC's*) como el *HFC134a* no contiene cloro y consecuentemente tienen un potencial de agotamiento del ozono de cero. Esto hace de los refrigerantes de tipo *HFC* la opción más prometedora para el uso a largo plazo de enfriadores. El *HFC134a* no está sujeto a ningún programa legislativo de eliminación paulatina que se aplique por el Protocolo de Montreal.

La única preocupación ambiental que reporta el *HFC134a* es su relativo potencial de recalentamiento global (que es de 550 en comparación con el dióxido de carbono tomado como una base de 1). No obstante esto no puede convertirse en un asunto legislado, toda vez que los refrigerantes con respecto al recalentamiento global, pueden ser evaluados por el impacto total equivalente de recalentamiento (Total Equivalent Warming Impact, por sus siglas en inglés TEWI) . Este índice combina el impacto total de emisiones directas y emisiones indirectas de CO_2 emitido en la generación de energía para accionar el enfriador; entre más eficiente sea el enfriador, menor será el nivel de CO_2 y por ende será menor el efecto indirecto de recalentamiento global. A medida que se diseñen nuevos equipos para operar a base de *HFC134a*, su eficiencia mejorará, lo cual se traducirá en un factor TEWI bajo para máquinas a base del refrigerante alternativo.

Por lo anterior el refrigerante R-134^a (HFC-134^a), ha sido introducido, como un reemplazo de los Clorofluorocarbonos (CFC's) en muchas aplicaciones. La estabilidad de los CFC's, aunado a su contenido de cloro han sido relacionados con el deterioro de la capa de ozono, como resultado de lo anterior se planea detener la producción de CFC's e introducir alternativas ambientales aceptables como el hidrofluorocarbono HFC-134^a o mejor conocido como refrigerante marca *Suva*®- 134^a de E.I. Dupont de Nemours & Co. Inc., que al igual otros fabricantes con sus marcas propias lanzan al mercado mundial este nuevo refrigerante alternativo como *Genetron*®-134^a, de la empresa AlliedSignal, Inc., *Klea*®-134a de la empresa ICI Chemicals & Polymers Ltd. , *Forane*®-134^a de la empresa Francesa Elf Atochem S.A. y la empresa Italiana Ausimont S.p.A con su *Meforex*®-134^a

El refrigerante HFC-134a no es inflamable y no es explosivo; sin embargo, las mezclas con gases inflamables o líquidos pueden convertirlo en inflamable y deberán manejarse con precaución; no deberá exponerse a flamas abiertas o elementos de calentamiento eléctrico, se ha mostrado que es combustible a presiones tan bajas como 5.5 psig a 177°C cuando se mezclan con el aire a concentraciones generalmente mayores a 60% en volumen de aire. Este tipo de refrigerantes no deben ser mezclados con el aire para pruebas de fugas, en

general no se debe permitir que estén presentes con altas concentraciones de aire arriba de la presión atmosférica.

La Tabla 4 muestra las características físicas y termodinámicas de los refrigerantes que sustituyen al refrigerante R-12.

Propiedades	R-134a	R-401 ^a	R-401B	R-409A	R-12
Reemplaza	R-12	R-12	R-12	R-12	N/A
Fórmula química / Composición	CH_2FCF_3	R22/R152A/R124 53/13/34 %	R22/R152A/R124 61/11/28 %	R22/R152A/R124 60/15/25 %	CCl_2F_2
Peso Molecular	102.03	94.4	92.8	97.45	120.93
Punto de ebullición a 1 atmósfera °F (°C)	-15.7 (-26.5)	-27.3 (-33.0)	-30.4 (-34.7)	-29.6 (-34.2)	-21.62 (-29.79)
Densidad del líquido a 77°F (25°C), lb/ft ³ (Kg/m ³)	75.02 (1210)	74.5 (1194)	74.4 (1193)	76 (1217)	81.84 (1311)
Presión de vapor saturado a 77°F (25°C), psia (kPa)	96 (661.9)	112.1 (772.9)	118.8 (819.2)	116.3 (801.6)	94.6 (652.1)
Calor específico del líquido a 77°F (25°C), Btu/lb°F (kJ/Kg°K)	0.339 (1.42)	0.310 (1.3)	0.310 (1.3)	N/A	0.232 (0.971)
Calor especif de Vapor a 1 atm a 77°F (25°C), Btu/lb°F (kJ/Kg°K)	0.204 (0.854)	0.176 (0.737)	0.173 (0.724)	N/A	0.145 (0.617)
Conductividad térmica del líquido saturado a 77°F (25°C), Btu/hr.ft°F (W/m°K)	0.0478 (0.0824)	0.0517 (0.09)	0.0517 (0.09)	N/A (0.0697)	0.0405 (0.0743)
Conductividad térmica del vapor a 1 atm (101.3 kPa), Btu/hr.ft°F (W/m°K)	0.00836 (0.0145)	0.00688 (0.0119)	0.00688 (0.00119)	N/A	0.00557 (0.00958)
Temperatura crítica °F (°C)	213.9 (101.1)	226 (108)	223 (106)	224.6 (107)	233.6 (112)
Presión crítica, psia (kPa)	588.9 (4060)	668 (4604)	679 (4682)	667.2 (4600)	596.9 (4116)
AEL/TLV, 8 ó 12 horas TWA, ppm	1000	1000	1000	1000	1000

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ODP, CFC-12=1	0	0.03	0.035	0.05	1
GWP, CO ₂ = 1	1300	973	1062	1288	8500

4.8.2 REFRIGERANTE R-123 (REEMPLAZA AL R-11)

El refrigerante R-123 es un sustituto viable para el CFC-11 como refrigerante; las propiedades termodinámicas y físicas en conjunto con sus características de no inflamabilidad, lo convierten en un reemplazo del CFC-11 en equipos centrífugos generadores de agua helada o llamados Chiller-water.

De hecho el refrigerante R-123 ofrece la mejor eficiencia teórica de las muchas alternativas para utilizarse en equipos centrífugos, éste nuevo refrigerante fue diseñado para utilizarse en equipos nuevos y existentes. Cuando se considere un reacondicionamiento del nuevo refrigerante R-123 a un equipo existente, debe considerarse el ciclo de vida útil del equipo, la diferencia de costos de operación, de mantenimiento y el costo del reemplazo. Los equipos nuevos que han sido diseñados para trabajar con el refrigerante R-123 tienen un menor costo de operación comparado con los equipos existentes.

La Tabla 5 muestra las características físicas y termodinámicas de los refrigerantes que sustituyen al refrigerante R-11.

Propiedades Termodinámicas	R-123	R-11
Reemplaza	R-11	N/A
Fórmula química / Composición	<i>CHCl₂CF₃</i>	<i>CCl₃F</i>
Peso molecular	152.93	137.38
Punto de ebullición a 1 atmosfera °F (°C)	82 (27.8)	74.87 (23.82)
Densidad del líquido a 77°F (25°C), lb/ft ³ (Kg/m ³)	91.3 (1463)	92.14 (1476)
Presión de vapor saturado a 77°F (25°C), psia (kPa)	13.24 (91.29)	15.3 (105.5)
Calor específico del líquido a 77°F (25°C), Btu/lb°F (kJ/Kg°K)	0.235 (0.984)	0.208 (0.871)
Calor especif de Vapor a 1 atm a 77 °F (25°C), Btu/lb °F (kJ/Kg °K)	0.172 (0.72)	0.142 a 100°F (0.595 a 38°C)
Conductividad térmica del líquido saturado a 77°F (25°C), Btu/hr.ft°F (W/m°K)	0.0471 (0.081)	0.0506 (0.087)

Conductividad térmica del vapor a 1 atm (101.3 kPa), Btu/hr.ft ² .F (W/m ² .K)	0.0064 (0.0112)	0.00451 (0.00776)
Temperatura crítica °F (°C)	362.6 (183.7)	388.4 (198)
Presión crítica, psia (kPa)	532 (3668)	639.5 (4409)
AEL/TLV, 8 ó 12 horas TWA, ppm	50	1000 máx
ODP, CFC-12=1	0.02	1
GWP, CO ₂ = 1	93	4000

4.8.3 REFRIGERANTE R-407C Y R-410A (REEMPLAZA AL R-22)

Se han desarrollado una familia de alternativas para reemplazar el HCFC (R-22) para los sistemas de aire acondicionado doméstico, industrial, comercial, cámaras de refrigeración de alimentos, etc.

El refrigerante R-407c al igual el R-410^a son refrigerantes denominados mezclas, ya que se forman de la combinación de otros refrigerantes, así su composición de ambos es la siguiente:

Refrigerante	Composición		
R-407c	R-32 / 23%	R-125 / 25%	R-134 ^a / 52%
R-410a	R-32 / 50%	R-125 / 50%	

Estas mezclas contienen hidroclorofluorocarbonos (HCFC's), productos químicos que actualmente están reglamentados en países industrializados.

En la medida de lo posible, la actualización preferida para el R-22 es el R-134^a, un refrigerante que no destruye la capa de ozono y que reemplazará al R-22 y R-12 en la mayoría de las aplicaciones para la fabricación de equipo nuevo, así como para el reacondicionamiento de equipos instalados.

Sin embargo, en algunos casos la actualización con R-134^a puede ser difícil, ya que se debe retirar casi todo el aceite mineral en el sistema; para estos casos se puede preferir fluidos o mezclas como el refrigerante R-407c ó el R-10^a, se debe tener en mente que las futuras reglamentaciones pueden restringir el uso de refrigerantes que contengan HCFC y pueden imponer el uso máximo del refrigerante R-134^a para dar servicio a equipos con R-12 ó R-22.

La Tabla 6 muestra las características físicas y termodinámicas de los refrigerantes que sustituyen al refrigerante R-22.

Propiedades	R-407c	R-410A	R-22
Reemplaza	R-22	R-22	NA
Formula Quimica / Composición	R32/R125/R134a 23/25/52 %	R32/R125 50/50 %	<i>CHClF₂</i>
Peso Molecular	86.2	72.58	86.47
Punto de ebullición a 1 atm a 77°F (*C)	-46.4 (-43.56)	-60.76 (-51.53)	-41.4 (-40.8)
Densidad del liquido a 77°F (25°C), lb/ft ³ (Kg/m ³)	70.8 (1134)	66.32 (1062)	74.53 (1195)
Presión de vapor saturado a 77°F (25°C), psia (kPa)	170.3 (1174)	239.7 (1653)	151.4 (1043)
Calor específico del liquido a 77°F (25°C), Btu/lb°F (kJ/Kg*K)	0.367 (1.54)	0.44 (1.84)	0.296 (1.24)
Calor especif de Vapor a 1 atm a 77°F (25°C), Btu/lb°F (kJ/Kg*K)	0.198 (0.829)	0.199 (0.833)	0.157 (0.657)
Conductividad térmica del liquido saturado a 77°F (25°C), Btu/hr.ft°F (W/m*K)	0.0455 (0.0819)	0.0511 (0.0886)	0.0458 (0.0849)
Conductividad térmica del vapor a 1 atm (101.3 kPa), Btu/hr.ft°F (W/m*K)	0.00758 (0.01314)	0.00772 (0.01339)	0.00621 (0.01074)
Temperatura crítica *F (*C)	188.13 (86.74)	161.83 (72.13)	205.24 (96.24)
Presión crítica, psia (kPa)	669.95 (4619)	714.5 (4926.1)	722.39 (4981)
AEL/TLV, 8 ó 12 horas TWA, ppm	1000	1000	1000
ODP, CFC-12=1	0	0	0.05
GWP, CO ₂ = 1	1,526	1,725	1,500

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

4.9 FACTORES ECOLÓGICOS A CONSIDERAR PARA LA SELECCIÓN DE UN REFRIGERANTE

Se han descrito termodinámicamente los más importantes refrigerantes que reemplazarán a los CFC's y los HCFC's (R-11, R-12 y R-22), estos refrigerantes son los más usados en la industria del aire acondicionado doméstico e industrial a nivel mundial, por lo que es primordial para el medio ambiente su gradual y total discontinuación, ya sea en su fabricación y su utilización en los equipos de aire acondicionado y refrigeración.

Doce de los principales productores químicos iniciaron conjuntamente el Estudio de la Aceptabilidad Ambiental de los Fluorocarbonos Alternativos AFEAS (Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability) en diciembre de 1988. Los resultados fueron presentados a las comisiones de evaluación del protocolo a medida que estuvieron listos, los estudios incluyeron muchos aspectos del impacto que las alternativas tendrían sobre el medio ambiente.

Los efectos tales como el calentamiento de la tierra, la toxicidad aguda (el efecto de una sola exposición de alto nivel), carcinogénesis (el potencial de causar cáncer), toxicidad del desarrollo (el potencial de causar defectos de nacimiento), genotoxicidad (el potencial de causar daño a los genes o cromosomas).

Las sustancias examinadas fueron los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) y los hidrofluorocarbonos (HFC). Los HFC, a diferencia de los HCFC, no destruyen la capa de ozono pero tienen el potencial para provocar el calentamiento global de la tierra.

Derivado de lo anterior se mencionaran los principales factores que ahora se deberán de tomar en cuenta para la elección del reemplazo más adecuado, a nuestras necesidades así como para la protección del medio ambiente.

4.9.1 LIMITE ACEPTABLE DE EXPOSICIÓN

El Límite Aceptable de Exposición (AEL) (*Acceptable of Exhibition Limit*) es un límite de exposición al gas refrigerante en el aire ambiente en un determinado tiempo, establecido por científicos para asegurar un manejo y uso seguro. Un AEL especifica las concentraciones en el aire promedio en base al tiempo (TWA), las dosis o límites biológicos que no se deben exceder, así como los periodos de tiempo aplicables. Un AEL se establece para prevenir efectos sobre la salud derivados de exposiciones en turnos de trabajo completos (ocho horas o doce horas TWA). Las exposiciones cortas no deben exceder tres veces el AEL durante más de un total de 30 minutos durante un día de trabajo, siempre que no exceda el TWA.

Bajo ninguna circunstancia deberán exceder las exposiciones un valor de cinco veces el AEL.

La inhalación de altas concentraciones de vapores de los refrigerantes alternativos como el R-134^a, primero afectan el sistema nervioso central, crean efectos narcóticos o anestésicos. Los síntomas pueden incluir mareo, una sensación de intoxicación y una pérdida de la coordinación. La inhalación continua de grandes concentraciones de vapores de HFC (R-134^a) puede producir irregularidades cardíacas, pérdida de la conciencia y finalmente la muerte. Si se experimenta cualquiera de los síntomas iniciales, deberá salir al aire fresco y buscar atención médica inmediatamente (la recuperación ocurre rápidamente con muy pequeños efectos posteriores)

Si se inhalan vapores por arriba del AEL, su corazón se puede sensibilizar a la adrenalina; esto puede ocasionar irregularidades cardíacas lo que resultará en un posible paro cardíaco. La probabilidad de estos problemas aumenta si se encuentra bajo tensión física ó emocional.

Los vapores de los refrigerantes son de 3 a 5 veces más pesados que el aire; por consiguiente los vapores que se escapan tienden a juntarse y concentrarse cerca del piso o en las partes bajas, desplazando el aire. A mayor cantidad de refrigerante, menor cantidad de aire, por lo que existe el problema potencial de sofocación.

Algunos refrigerantes tienen un olor ligeramente dulce que puede ser difícil de detectar, otros tienen un olor leve que no se puede detectar por medio del olfato a niveles que se consideren seguros para su exposición. Por consiguiente, es posible que se necesite una verificación de fugas y la instalación de detectores permanentes de fugas para áreas cerradas utilizadas por el personal.

La Tabla 7 muestra los valores de AEL de los refrigerantes más utilizados en los sistemas de aire acondicionado, los valores son expresados en partes por millón (ppm), entre más alto sea el valor será menos perjudicial a la salud humana.

Tabla 7 Valores AEL de refrigerantes

Propiedades	R-134a	R-401A	R-401B	R-409A	R-12	R-123	R-11	R-407c	R-410A	R-22
Reemplaza	R-12	R-12	R-12	R-12	N/A	R-11	N/A	R-22	R-22	N/A
AEL (8 ó 12 horas TWA) ppm*	1000	1000	1000	1000	1000	50	1000 máx	1000	1000	1000
ASHRAE Clasificación de Seguridad**	A1	A1	A1	A1	A1	B1	A1	A1	A1	A1

* De los valores citados; si son inhalados por una persona a concentraciones muy por arriba del AEL, el corazón puede quedar sensibilizado a la adrenalina, dando lugar a irregularidades cardíacas y a un posible paro cardíaco.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

** De los refrigerantes comunes clasificados por la Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción Refrigeración y Aire acondicionado ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers), La clasificación A es la de menor toxicidad y la clasificación B es la de mayor toxicidad. Por ejemplo en la clase B el R-123 comparte la misma clasificación que el dióxido de azufre.

4.9.2 POTENCIAL DE AGOTAMIENTO DEL OZONO

Los HCFC's y HFC's son considerados ambientalmente superiores a los CFC's, ya que éstos son destruidos principalmente en la región más baja de la atmósfera. Los HFC's no contienen cloro y su potencial de agotamiento del ozono es cero, los HCFC's contienen cloro en un porcentaje pequeño, sin embargo éste puede afectar a la capa de ozono; lo anterior quiere decir que la mayor proporción del cloro emitido, se destruye en la baja atmósfera antes de que se alcance la capa de ozono estratosférico.

Un índice llamado ODP, Potencial de Agotamiento del Ozono (Ozone Depletion Potential) ha sido adoptado con el propósito de regular el nivel de agotamiento de la capa de ozono. El ODP de un compuesto es una estimación del agotamiento del ozono total debido a 1 Kilogramo de un compuesto dividido por el agotamiento del ozono total debido a 1 Kilogramo de CFC-11 (R-11). Así el ODP muestra efectos relacionados a las emisiones comparables con varios compuestos. En la figura 4-4 se muestran los valores asignados a los principales refrigerantes.

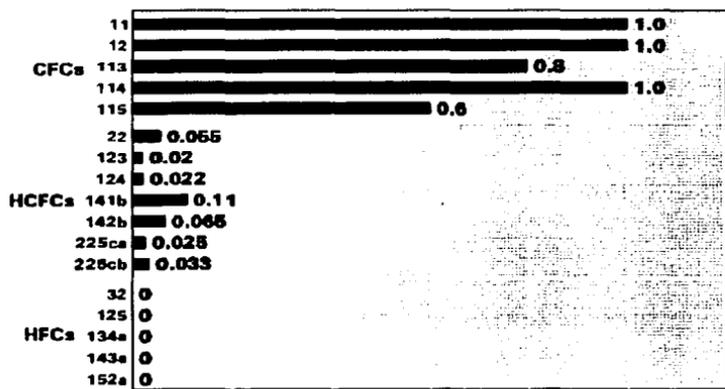


Figura 4-4. Potencial de agotamiento de la capa de ozono.

Las concentraciones de cloro atmosférico, deberán de disminuirse con la implantación de programas para la eliminación de los CFC's y de otras sustancias controladas, esto sólo puede ser logrado usando materiales alternativos y tecnologías eficientes.

4.9.3 EL EFECTO INVERNADERO

Tanto el ozono como los halocarbonos son "gases de efecto invernadero" o gases termoactivos. Al igual que el dióxido de carbono (CO_2), interceptan y reemiten la radiación infrarroja saliente de la tierra, por medio de lo cual contribuye a calentar la atmósfera interior como se muestra en la figura 4-5. Sin embargo, ni el ozono ni sus cambios tienen una distribución uniforme, de tal modo que su efecto como *forzante radiativo* (el forzamiento radiativo se mide en Wm^{-2} frecuentemente se utiliza para caracterizar un potencial sobre efectos climáticos) es más complicado que el de los otros gases principales de efecto invernadero que tienen un mayor tiempo de vida, lo que permite una mezcla más pareja. En general, el aumento de ozono en la troposfera produce calentamiento; la reducción de ozono en la estratosfera produce enfriamiento. Alguna pequeña disminución de temperatura (0.6° a 0.8°) en la capa de 12 a 20 Km. Durante los dos decenios pasados parece estar relacionada con los impactos radiactivos producidos por la disminución del ozono estratosférico.



Figura 4-5. Efecto Invernadero (Calentamiento Global)

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Una evaluación precisa del efecto radiativo de los cambios del ozono está limitada por la carencia de información detallada sobre la variación y la distribución vertical del gas con la latitud y la longitud; sin embargo, cálculos recientes apoyan las conclusiones anteriores de que el agotamiento de ozono estratosférico en decenios recientes ha dado como resultado, un forzamiento negativo radiativo (es decir, un efecto de enfriamiento sobre el clima) y tiene compensación, en orden de 15 a 20%, sobre el forzamiento positivo de efecto invernadero debido a aumentos de otros gases. El aumento de ozono troposférico desde los tiempos preindustriales puede haber acrecentado el forzamiento producido por el efecto invernadero total en alrededor del 20%. Tales cambios podrían tener un impacto sobre el balance radiativo del sistema tierra-atmósfera y la estructura térmica de la atmósfera y así, ocasionar cambios hasta ahora impredecibles en los modelos atmosféricos.

4.9.4 POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL

El potencial de calentamiento global GWP (Global Warming Potential) fue desarrollado para proporcionar un parámetro simple para describir la capacidad de afectación de las emisiones de gases que propician el efecto invernadero, y su repercusión al forzamiento radiativo, y como resultado de esto un cambio climático.

Hasta que punto el efecto invernadero de un gas contribuye directamente al forzamiento radiativo y de cómo es calculado el GWP; esto dependerá de la cantidad de gas emitido, del tiempo transcurrido antes de que la atmósfera lo eliminara y las propiedades de absorción de la energía infrarroja del gas, el índice GWP abarca las dos últimas propiedades.

El dióxido de carbono, CFC's, HCFC's y HFC's son eliminados por la atmósfera en proporciones y periodos de tiempo diferentes, la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera se deteriora muy despacio en comparación con otros gases refrigerantes.

Los CFC's también son eliminados muy lentamente con periodos que varían; para el CFC-11 un tiempo de vida de 50 años y para el CFC-115 un tiempo de vida de 1700 años.

El periodo de eliminación de los HCFC y HFC también varía su tiempo de vida pero es mucho menor que el dióxido de carbono, en la figura 4-6 se muestra el promedio de vida del HFC-134^a comparado con el dióxido de carbono.

Para evaluar las contribuciones en el futuro del calentamiento global, las políticas de los fabricantes de gases refrigerantes deberán alcanzar una decisión sobre el periodo de tiempo apropiado que se deberá calcular para los valores de los GWP's, este periodo de tiempo al que se hace referencia es llamado Tiempo de Integración en el Horizonte que se identifica con las siglas ITH (*Integration time horizon*).

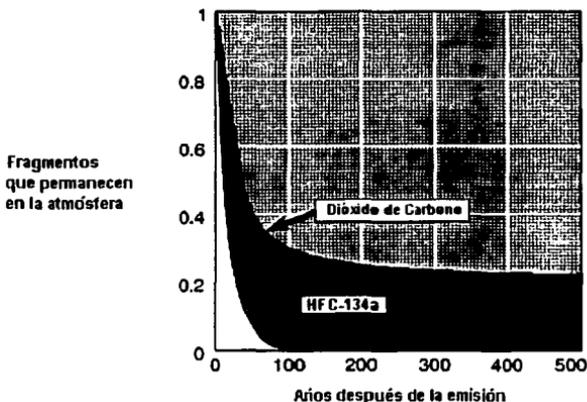


Figura 4-6. Periodo de eliminación del HFC-134^a en comparación al CO₂

Los GWP's son calculados a partir del forzamiento radiativo acumulado sobre un ITH dado. Los valores de GWP's se han reportado para los tiempos de integración ITH de 20, 100 y 500 años de vida, en cada caso el impacto de un compuesto fue evaluado en relación con el impacto del dióxido de carbono después de haber seleccionado un ITH.

Para un gas de periodo de vida corto como el HFC-134^a rápidamente disminuye su valor a cero, sin embargo, la contribución debido a las emisiones de un gas con un largo tiempo de vida como el dióxido de carbono persiste por más de 500 años.

A continuación en la tabla 8, se relacionan los GWP's en referencia al CO₂ para varios gases que propician el efecto invernadero, se dan para 20, 100 y 500 años de tiempo de integración al horizonte ITH.

Tabla 8 Potencial de calentamiento global para algunos refrigerantes usados en equipos de aire acondicionado

Compuesto	Tiempo de vida estimado en la atmósfera (años)	GWP* 20 Años	GWP* 100 Años	GWP* 500
CFC-11	50 ± 5	5000	4000	1400
CFC-12	102	7900	8500	4200

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

CFC-113	85	5000	5000	2300
CFC-114	300	6900	9300	8300
CFC-115	1700	6200	9300	13000
HCFC-22	13.3	4300	1500	520
HCFC-123	1.4	300	93	29
HCFC-124	5.9	1500	480	150
HCFC-141b	9.4	1800	630	200
HCFC-142b	19.5	4200	2000	630
HFC-23	264	9100	11700	9800
HFC-32	5.6	2100	650	200
HFC-125	32.6	4600	2800	920
HFC-134a	14.6	3400	1300	420
HFC-143a	48.3	5000	3800	1400
HFC-152a	1.5	460	140	42

* Los valores de GWP están referenciados al GWP's absoluto para el CO_2 ; la incertidumbre típica es $\pm 35\%$

4.9.5 IMPACTO TOTAL EQUIVALENTE DE CALENTAMIENTO (TEWI)

Si los HFC's (HFC-134^a) son la solución obvia para el dilema del reemplazo de los refrigerantes dañinos a la capa de ozono, ¿por qué se tiene tanta actividad en la búsqueda de refrigerantes alternativos para evitar el agotamiento de la capa de ozono? La respuesta es el potencial de calentamiento global GWP de los HFC's.

Para propósito de comparación, el R-134^a tiene un GWP de aproximadamente 1,300 mientras el del refrigerante isobutano R-600^a es aproximadamente 11, estos dos refrigerantes se usan como fluidos del reemplazo para el R-12.

Pero ¿qué significa esta diferencia de GWP? Se deberá comprender que la contribución al calentamiento global no sólo viene del refrigerante que pueda fugarse del sistema, si no también de la cantidad de dióxido de carbono que se emitirá en la planta de fuerza eléctrica para producir la energía necesaria para el funcionamiento del compresor.

El efecto del calentamiento global de un sistema de refrigeración es descrito con más exactitud por el concepto llamado Impacto Total Equivalente de Calentamiento TEWI (Total Equivalent Warming Impact) que es la suma de las emisiones directas (químicas) e indirectas (energía) que contribuyen para el calentamiento global del planeta y la afectación en los sistemas climáticos en el mundo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TEWI = Suma de los factores directos (fugas del refrigerante) + Suma de los factores indirectos (consumo de energía) que contribuyen para el calentamiento global del planeta.

En el caso del refrigerador que usa R-12, sólo el 4 % del TEWI proviene de la emisión directa del refrigerante, considerando que el R-134^a solamente tiene la quinta parte del GWP del R-12, la contribución al TEWI de usar R-134^a representa una diferencia de sólo 1 % sobre la vida útil del refrigerador.

Se estima que actualmente por emisiones causadas por factor humano, los HFC's aportan el 0.06% al calentamiento global, se prevé que crecerá esta contribución al 0.6% en el año 2010, menos del 2% para el 2030 y aproximadamente llegará al 2.6% para el año 2100.

Los planteamientos de solución al problema del calentamiento global de la tierra, han sido tomados en diferente perspectiva por varios países; en los Estados Unidos el acuerdo general es reducir el TEWI haciendo más eficiente y ecológico el proceso de generación de la energía eléctrica que utilizan los equipos de refrigeración ya que se involucra la emisión de CO₂ a la atmósfera; para los científicos Norteamericanos éste es el factor principal para el incremento del TEWI.

Sin embargo, en algunos países europeos se pone sólo énfasis en reducir la contribución directa del refrigerante al calentamiento global.

4.10 PRODUCCIÓN DE FLUOROCARBONOS A NIVEL MUNDIAL

Desde 1976, la industria química ha confirmado la producción y ventas de fluorocarbonos de forma voluntaria a través de un estudio compilado por una empresa independiente, (Grant Thornton LLP) el propósito del estudio es proporcionar datos a la comunidad científica, para poder estimar la descarga a la atmósfera de los CFC's y los fluorocarbonos alternativos.

Los datos están disponibles desde 1999 para los CFC's: R-11, R-12, R-113, R-114 y R-115; los HCFC's: R-22, R-124, R-141b y los HFC's: R-134^a.

La información proporcionada de la producción de CFC's muestra un decremento significativo como se muestra en la figura 4-7, actualmente se tiene el menor nivel desde hace 50 años.

Producción de 1999 (toneladas métricas)			Cambio entre 1998 y 1999 (toneladas métricas)	
CFC	R-11	12,871	disminuyó en 1,729	(-12%)
CFC	R-12	27,132	disminuyó en 6,137	(-18%)
CFC	R-113	1,000	disminuyó en 589	(-37%)

CFC	R-114	292	disminuyó en 907	(-76%)
CFC	R-115	396	disminuyó en 526	(-57%)
HCFC	R-22	252,375	disminuyó en 8,800	(-3%)
HCFC	R-124	3,005	disminuyó en 2,247	(-43%)
HCFC	R-141b	132,355	incrementó en 3,994	(+3%)
HCFC	R-142b	42,416	incrementó en 4,442	(+12%)
HFC	R-134 ^a	133,662	incrementó en 21,427	(+19%)

Reporte anual de la producción de fluorocarbonos 1980 - 1999

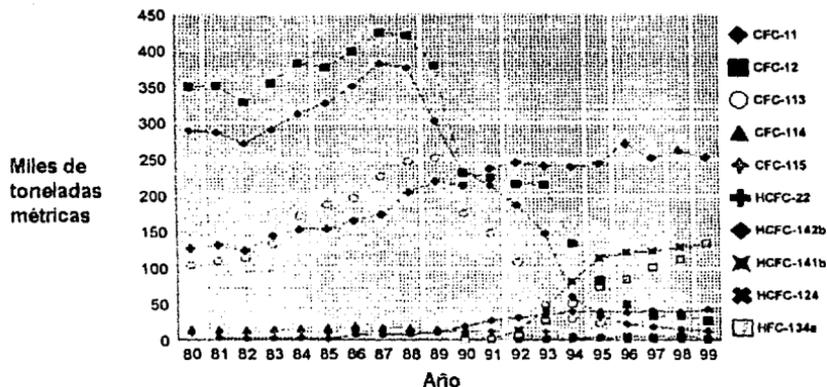


Figura 4-7. Comportamiento de la producción de fluorocarbonos a nivel mundial

Como se ha visto, en los puntos anteriores existen una gran variedad de alternativas para el reemplazo de refrigerantes convencionales, pero para poder tomar la mejor alternativa hay que considerar factores como: el precio de adquisición del gas y su comportamiento a futuro, la disponibilidad de contar con cantidades adecuadas para cubrir las necesidades requeridas, capacitación del nuevo refrigerante, etc.

Por lo ello es sumamente importante tener en cuenta todas estas consideraciones para tomar la mejor decisión en la elección ya que existen muchos refrigerantes que pueden ser útiles, pero también ahora se deben de considerar nuevos factores que hoy en día son importantes para la decisión: el ecológico-ambiental pasa a un plano principal, ahora no solamente la cuestión es cambiar por un refrigerante que sea similar en

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

características o que cumpla con las condiciones termodinámicas, los nuevos conceptos como son el ODP (potencial de destrucción del ozono), el GWP (potencial de calentamiento global), el AEL (límite aceptable de exposición), el efecto invernadero, por mencionar los más importantes.

Los factores ecológicos-ambientales en países desarrollados como Estados Unidos, Alemania, Inglaterra y Japón son considerados primordiales, ya que se cuentan con legislaciones gubernamentales muy rígidas para disminuir su fabricación, así como la regulación en el consumo, el reciclamiento y el almacenamiento; sin embargo, en países en desarrollo como México, no existe una regulación que marque las pautas para presionar a los poseedores de equipos de refrigeración, que utilizan refrigerantes contaminantes a iniciar un programa para el cambio de refrigerantes contaminantes; así como el gobierno a través de la Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, inicien proyectos ó programas para incentivar a los principales poseedores de equipos de refrigeración a realizar el cambio; se puede proponer algo similar como la bonificación económica que la Comisión Federal de Electricidad realiza por el buen uso de la energía eléctrica, a empresas que cumplan con los estándares y normas fijados en lo referente al factor de potencia, pero para llegar a la bonificación primero se debe de contar con un mantenimiento periódico e invertir económicamente en equipamiento adicional (banco de capacitores) para cumplir con los niveles que la Comisión exige.

Por lo anterior, se propondría una bonificación a las empresas que realicen el reemplazo de refrigerantes contaminantes por ecológicos, esta bonificación sería por la cantidad de refrigerante recuperado y envasado bajo ciertas especificaciones que deberán legislarse y así iniciar un programa gubernamental de recuperación y reemplazo de refrigerantes que dañen la capa de ozono.

Por otra parte, México ha recibido apoyos económicos de organizaciones mundiales, los cuales se han canalizado íntegramente a las principales empresas fabricantes de equipo de refrigeración para modificar sus líneas de producción, para iniciar la venta de equipos nuevos que ya contengan refrigerantes ecológicos.

Como se ha visto, los nuevos factores ecológicos han impactado fuertemente a los fabricantes de refrigerantes a nivel mundial por lo cual se están trabajando fuertemente para desarrollar nuevos refrigerantes que cumplan con las nuevas necesidades que la comunidad mundial marca para la protección del medio ambiente.

CAPITULO V

REEMPLAZO DE REFRIGERANTES

5.1 EVALUACIÓN DE LA CONVERSIÓN DE EQUIPOS A REFRIGERANTES ALTERNATIVOS

La implantación del Protocolo de Montreal en México, tendrá como resultado la restricción en el suministro de los refrigerantes usados comúnmente en unidades de aire acondicionado y refrigeración (CFC-11 y CFC-12). El protocolo, según su revisión en Londres, detendrá totalmente la producción de los CFC's en el año 2000 en países desarrollados y diez años después en países en vía de desarrollo.

México se comprometió a eliminar por etapas la producción y la importación de CFC's para el año 2000, siempre y cuando se le provea con la tecnología y el financiamiento de los países desarrollados. Se permitirán los suministros de CFC's reciclados para reparar el inventario de equipo disponible después de la fecha de la eliminación de la producción. Sin embargo, nadie puede predecir si los suministros de CFC's disponibles a nivel mundial, serán racionados para cubrir exactamente la demanda de todas las solicitudes de reparación del equipo restante. Por lo tanto, es posible que el déficit ó el suministro errático de CFC's podría afectar seriamente la operación de unidades de aire acondicionado y refrigeración existentes.

Muchos equipos de aire acondicionado tipo centrifugos pueden ser adaptados para el uso de HCFC-123 y HCFC-134* como refrigerantes sustitutos. Por lo general, ésto implica una conversión técnica ya que estos refrigerantes no son sustitutos simples de colocar. Hay un número de cambios involucrados en esta conversión técnica. Por ejemplo, el HCFC-123 es un refrigerante más agresivo que el CFC-11; se tienen que cambiar los sellos, los obturadores, los pasantes aislantes, los diafragmas y la protección del bobinado eléctrico del motor con componentes hechos de elastómeros compatibles con el HCFC-123. Para optimizar la eficiencia en el uso del nuevo refrigerante, frecuentemente se tienen que cambiar los termocoples, las chapas de orificios, los pistones impulsores, bobinado del motor y los controles. Esto requiere un análisis técnico usualmente realizado por representantes del fabricante de los equipos; cuando se optimiza el desempeño con HCFC-123, sera aproximadamente un dos por ciento más bajo en eficiencia que cuando operaba con CFC-11, si no se optimiza. las eficiencias podrían ser de hasta un cinco por ciento más bajas. Las pérdidas de tonelaje vinculadas con la conversión a HCFC-123 van desde aproximadamente tres por ciento hasta un veinte por ciento dada la mayor densidad de vapor del HCFC-123. La pérdida exacta de tonelaje depende de la máquina y las condiciones bajo las cuales se le opera.

Los requisitos para convertir equipos de aire acondicionado existentes empleando refrigerantes alternativos varían de más a menos simples y de relativamente baratos a importantes y costosos, dependiendo de cuantos años tiene la unidad en funcionamiento, los requisitos de aplicación, el tipo de motor (hermético versus abierto), etc. Hacer o no hacer la conversión depende de factores tales como el tiempo de funcionamiento del equipo, lo que se espera de su vida útil restante, el tipo de motor, costos locales de materiales, la mano de obra, los requisitos de aplicación y costo del consumo eléctrico.

En vista que esta decisión tiene implicaciones importantes de costo, desempeño y considerando que el Protocolo de Montreal le provee a México con asistencia financiera total para cubrir estos incrementos, es importante hacer un análisis de costo detallado caso por caso, antes y después de la conversión del equipo de refrigeración.

Se pretende suministrar las herramientas analíticas e información cualitativa, para llegar a una decisión sobre la conversión de refrigerantes en los equipos de aire acondicionado instalados en las salas telefónicas; los elementos más importantes a considerar son:

- Vida útil del equipo de aire acondicionado
- Costos operativos sin conversión
- Costos operativos y de capital asociados con la conversión.

5.1.1 VIDA ÚTIL RESTANTE DEL EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO

Este es un factor clave en la decisión de convertir o no los equipos; hay ingenieros en varias compañías fabricantes de equipo de refrigeración que indican que los sistemas de refrigeración actualmente instalados, con más de 20 años de vida útil son los principales candidatos a la conversión, ya que es muy posible que la escasez de los CFC's afecte la operación continua de ellos.

Los sistemas de aire acondicionado instalados con menos de 10 años de vida útil serán reemplazados con nuevas unidades diseñadas para refrigerantes alternativos, ya que éstos son los equipos más antiguos que en cualquier caso serán reemplazados.

Los equipos de acondicionamiento ambiental con una vida útil de 10 a 20 años precisarán de decisiones en base a un análisis muy cuidadoso, en el que se deberán de revisar factores como ahorro de energía, comportamiento de precios de los refrigerantes, la actualización tecnológica de los equipos de clima, por mencionar algunos elementos, pero el principal factor a considerar es el costo de inversión de la compra de un equipo nuevo ó el cambio de refrigerante con las consiguientes repercusiones del funcionamiento de este.

5.1.2 COSTOS OPERATIVOS ACTUALES

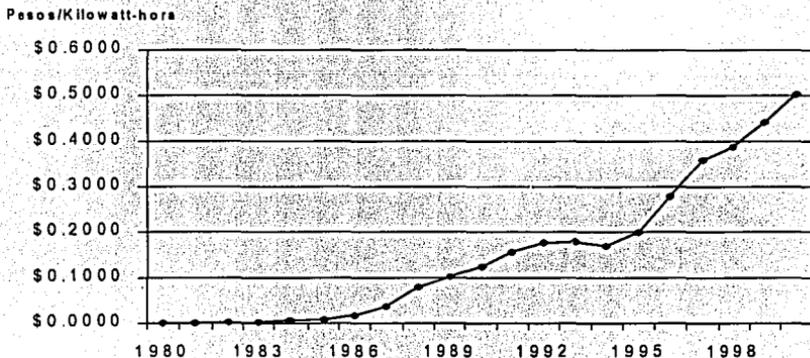
El primer paso es recoger la información sobre gastos:

- Costos eléctricos durante la vida útil restante del equipo de aire acondicionado.
- Costo del refrigerante durante la vida restante del equipo de aire acondicionado.
- Costo del mantenimiento preventivo y correctivo durante la vida útil del equipo de aire acondicionado.

Al recoger la información sobre el consumo de electricidad, es importante incluir las horas de operación a plena y media carga, es decir, precios al valor máximo y fuera de las horas pico. En la figura 5-1 se muestra la lista de precios medios del costo por KW. El costo de energía es muy importante tenerlo en cuenta, ya que aproximadamente entre el 60 y 70 % del consumo de energía eléctrica de una central telefónica, se utiliza exclusivamente para el sistema de aire acondicionado y el restante se canaliza para el equipo telefónico y alumbrado.

Los precios de los CFC's son difíciles de predecir, ya que éstos variarán día a día, se incrementarán al discontinuarse su fabricación y estará sujeto a la oferta y la demanda, este pronóstico de comportamiento de precios se muestra en la figura 5-2.

Precios medios de la energía eléctrica



Fuente: Secretaría de Energía, con información proporcionada por CFE para informe de gobierno
Cifras estimadas

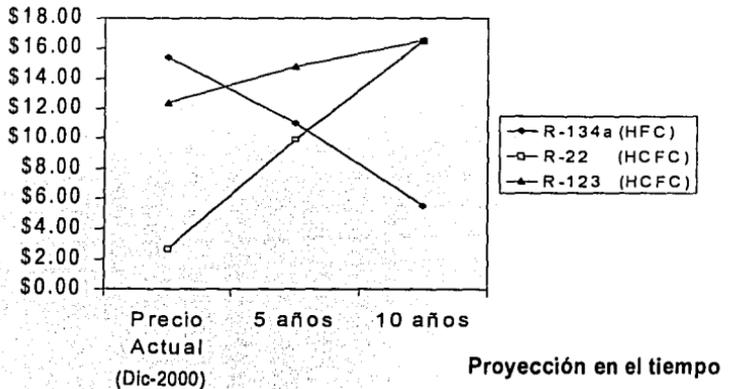
Figura 5-1 Precios medios de la energía eléctrica en México

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El siguiente paso es proyectar el flujo de costos a través de la vida del equipo y obtener el valor actual de estos costos, los valores actuales permiten dar cuenta del valor del dinero a través del tiempo y a comparar en una base común, las opciones de inversión que pueden ocurrir en diferentes periodos de tiempo. El cálculo del valor actual de los costos operativos requiere el uso de una tasa de actualización, que refleje los costos de capital de la empresa dueña de los equipos, con el valor actual de los costos operativos de la unidad durante lo que le queda de vida útil, y de esta forma proceder a calcular los costos asociados con la conversión.

Tendencias en los niveles de precio de los refrigerantes

Precio USD por Kilogramo



Fuente : E.I. Du Pont de Nemours and Company

Figura 5-2. Pronóstico del comportamiento del precio de refrigerantes

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.1.3 COSTOS DE CONVERSIÓN

Los costos de conversión se pueden dividir en dos categorías principales:

a) Capital de entrada y costos extraordinarios:

- Maquinaria y repuestos.
- Cambios en la sala donde están instalados los equipos.
- Re-entrenamiento de operadores (capacitación).

b) Aumento en costos operativos durante la vida útil restante del equipo modificado:

- Electricidad
- Nuevos refrigerantes
- Refrigerantes y lubricantes
- Aumento en la mano de obra

Los costos anteriormente indicados tienen lugar en diferentes periodos de tiempo, los costos de entrada y los costos extraordinarios ocurren en el presente mientras que los costos operativos se dan a través de la vida útil restante del equipo de aire acondicionado convertido. El cálculo del valor neto actual permite obtener una cifra total de dinero que resume los costos asociados con la conversión y la operación del equipo de clima convertido; esta cifra puede ser directamente comparada al valor neto actual de los costos operativos del equipo centrífugo que trabaja con CFC-11 existente.

5.2 LAS IMPLICACIONES ECONÓMICAS Y FINANCIERAS PARA EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN.

Como se ha mencionado anteriormente, la escasez de los CFC's conducirá al incremento de precios y a una situación de mercado negro ilegal, algunos de los operadores han almacenado CFC's para su propio uso, lo que ha traído un efecto negativo en su disponibilidad.

El efecto total de la eliminación de los CFC's sólo será aparente cuando la disponibilidad de los mismos sea muy baja; más del 80% de la producción mundial de CFC's se detuvo en 1995.

Con la desaparición de los CFC's los dueños de equipos deben tomar decisiones difíciles, básicamente se plantean cinco estrategias a considerar, cada enfoque debe analizarse cuidadosamente tomando en cuenta los costos, el desempeño y el ambiente:

1.- Seguir usando el CFC's hasta que se termine el suministro.

Esta puede ser la mejor opción para unidades viejas que están funcionando adecuadamente y que no presentan fugas considerables; sin embargo, antes de seleccionar esta opción para equipos con una esperada larga vida de servicio, hay que tener en mente que el precio de los CFC's seguirá aumentando y su disponibilidad disminuyendo.

2.- Convertir a refrigerantes de servicio.

Los refrigerantes de servicio, como son las mezclas (R-407C) ofrecen desempeño comprobado, son fáciles de usar, tienen un bajo costo de reacondicionamiento y estarán disponibles por mucho más tiempo que la vida esperada de cualquier equipo. Son más económicos ya que sólo se requiere del 75% al 90% de la carga original del CFC.

3.- Convertir a HCFC (R-22)

El HCFC (R-22) es frecuentemente considerado como una opción para el reacondicionamiento ya que ha estado en uso por muchos años y la gente está familiarizada con él. A pesar de que el R-22 es relativamente barato, los costos totales de conversión son usualmente más altos que la conversión a un refrigerante de servicio, debido a la modificación o el reemplazo del compresor, así como otros cambios necesarios al equipo. También, la eficiencia de energía se ve sacrificada cuando se usa para sustituir al R-502 en aplicaciones a baja temperatura. Pero la razón más importante para tomarse en cuenta el utilizar al R-22 como reemplazo, es que este contiene cloro, aunque en cantidades pequeñas, la presión para el reemplazo de refrigerantes que contengan Cloro, aumentará cada día y se tendrán que considerar otras alternativas para el R-22, pero por el momento es una opción viable.

4.- Convertir a HFC (R-134^a)

Reacondicionar a un refrigerante HFC como el R-134^a, es más caro que el reacondicionamiento a un refrigerante de servicio, principalmente por que un reacondicionamiento con un HFC requiere tres ó más limpiezas del lubricante. Sin embargo, los refrigerantes HFC's no están programados para eliminación, lo que los vuelve muy viables economicamente para equipos con una vida esperada de 20 o más años.

5.- Reemplazar la unidad.

Si el futuro desempeño de un sistema se juzga como no confiable, el reemplazo total es quizás la opción menos costosa. La dificultad de reacondicionar un equipo de aire acondicionado viejo o con mal funcionamiento, puede no valer la inversión ni el esfuerzo. Un bono adicional para reemplazar unidades viejas por equipo diseñado para usar refrigerantes HFC, es que las nuevas unidades pueden lograr un gran desempeño de energía.

5.3 LA PLANEACION ES VITAL

Mientras se va acumulando experiencia, el número de opciones disponibles hoy para un reemplazo económicamente efectivo han crecido. La gama de productos desarrollados para reemplazar a los CFC's es impresionante. La experiencia obtenida con mezclas relativamente baratas y la velocidad con la que muchos reacondicionamientos se pueden llevar a cabo son adelantos muy bien recibidos.

Como se puede ver existen factores que influyen para tomar una decisión en el sentido de reemplazar el equipo instalado por uno nuevo ó acondicionarlo para el cambio al nuevo refrigerante alternativo, con sus correspondientes adecuaciones al mismo.

Una vez que se decidió por alguna de las dos alternativas anteriores, el reemplazo por un nuevo equipo que de fabrica ya contenga el nuevo refrigerante, es la medida que puede llegar a ser más adecuada, que invertir en los gastos que representa prepararlo para el refrigerante alternativo.

Por otro lado, si se determinó adecuar el equipo instalado para trabajar con el refrigerante alternativo, se tendrá que iniciar un programa para el cambio de refrigerante, con esta decisión se tendrá que tomar en cuenta otros factores que involucran el funcionamiento del equipo como, la eficiencia, las presiones en el compresor, las condiciones termodinámicas de operación, ahorro de energía, contaminación ambiental, destrucción de la capa de ozono, etc.

México conciente de la problemática del agotamiento de la capa de ozono, estipuló firmemente sus compromisos ante la comunidad internacional y ha participado intensamente en el tema con una actuación sobresaliente a nivel mundial. Para ello desde 1994 el protocolo de Montreal a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) ha canalizado a México a la fecha, fondos por un monto que asciende a los \$17 millones de dólares, beneficiando a 80 empresas en los campos de refrigeración doméstica, espumas de poliuretano (construcción, aislamiento, suelas de zapatos, etc), bromuro de metilo y halones (sistemas de extinción, sistemas contra-incendio, extintores, etc).

Los campos de refrigeración comercial, aire acondicionado automotriz y central están siendo apoyados a través de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) y el Banco Mundial, respectivamente, con un monto en conjunto de 7.4 millones de dólares, empresas como Vitro y Mabe ya han sido beneficiadas con este tipo de apoyo financiero.

La entidad encargada de implementar el Protocolo de Montreal en México es el Instituto Nacional de Ecología (INE) de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). El INE ha desarrollado y gestionado ante diversos foros internacionales una serie de proyectos de inversión, para apoyar a la industria Mexicana en la adopción de tecnologías alternativas.

Actualmente el gobierno de México tiene un estricto control en la importación de las sustancias que agotan el ozono (SAO's). Se han emitido normas oficiales mexicanas como la NOM-EM-125-ECOL-1998, publicada en el diario oficial de la federación el 21 de Septiembre de 1998, con el propósito de establecer restricciones a la fabricación e importación de aparatos de refrigeración domestica, comercial y aires acondicionados, considerando que la industria nacional en estos sectores ha efectuado la conversión prácticamente en su totalidad.

Asi mismo, se está desarrollando una norma de amplio alcance para el control de otros sectores que usan los SAO's como son: espumas de poliuretano, solventes, aerosoles, agentes extintores (halones) y bromuro de melilo, que sentarán las bases para su eliminación.

Como se puede constatar, el gobierno de México cumple sus compromisos ante las organizaciones mundiales, sin embargo, la solución al problema del deterioro del ozono, no es cambiar la tecnología en la fabricación de los equipos nuevos de aire acondicionado y refrigeración, aunque no se debe minimizar este logro de las empresas fabricantes, ya que es solamente una parte de la solución.

El problema real son los equipos instalados y que están operando con gases refrigerantes contaminantes, los que deberán de ser reemplazados o convertidos a nuevos gases ecológicos; como se ha visto la ayuda financiera ha sido canalizada exclusivamente al apoyo de fabricantes de equipo de refrigeración. Por lo anterior no se cuenta aun con un programa de apoyo para las empresas en las que el sistema de aire acondicionado es sólo una parte de su proceso productivo, en particular los climas que acondicionan las salas telefónicas, esta inversión la deberá absorber totalmente el propietario de los equipos, lo que representa gastos financieros.

Debido a la falta de información de reemplazos de refrigerantes en México, se analizará el proceso de reemplazo de refrigerantes efectuado por la empresa Alemana Stulz GMBH, en dos equipos de aire acondicionado de media capacidad (20 T.R.) instalados en centros de computo en la ciudad de Londres, Inglaterra, asi como el reemplazo que la empresa Norteamericana Carrier Corporation realizó en un equipo

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

de aire acondicionado Chiller de alta capacidad (500 T.R.) instalado en un edificio de oficinas en la ciudad de Syracuse, NY., Estados Unidos.

Los informes darán un panorama de cual es el comportamiento de los equipos de aire acondicionado antes y después del cambio, esto servirá para determinar que parámetros se afectan, como son: la eficiencia del sistema, el consumo de energía, los gastos de la conversión, las horas-hombre invertidas, etc.

Una vez obtenidos los resultados, así como las repercusiones en la operación con un refrigerante ecológico, este mismo patrón de resultados se aplicará en forma teórica al inventario de equipos existentes en las centrales telefónicas con las que cuenta Teléfonos de México para poder determinar de una forma estimada un valor aproximado en las inversiones técnico-financieras, que se deberán de llevar a acabo para el cambio de refrigerantes a los equipos instalados en las centrales telefónicas.

5.4 INFORME SOBRE EL REEMPLAZO DE REFRIGERANTE R-407C EN EQUIPOS QUE OPERAN CON REFRIGERANTE R-22

Los trabajos del reemplazo los realizó la empresa alemana STULZ GmbH.

5.4.1 ALCANCE DEL REEMPLAZO

Dos salas de computo con sistemas de acondicionamiento ambiental fueron identificadas como unidades de prueba, para estudiar las posibilidades de cambiar a los equipos de aire acondicionado, el refrigerante R-22 por el refrigerante alternativo ecológico R-407C que cuenta con un potencial de destrucción del ozono de cero. El presente trabajo fue emprendido para determinar las consecuencias del cambio de refrigerante y dar propuestas para acelerar la salida de los refrigerantes contaminantes, así como la reducción en la fabricación de los mismos a nivel mundial.

El primer equipo de aire acondicionado está funcionando en una sala de computo en el centro de Londres, la marca del equipo es STLUZ, el modelo No. CCM 602 GE, con dos circuitos de enfriamiento (dos serpentines evaporadores) y para el enfriamiento utiliza compresores herméticos marca Copeland.

El segundo equipo de aire acondicionado esta funcionando en una empresa de sistemas en su sala de computo principal también en la ciudad de Londres, la marca del equipo es LIEBERT, el modelo No. FE 240 G, cuenta con dos circuitos de enfriamiento (dos serpentines evaporadores), y opera con compresores semi-herméticos de la marca Carrier. Ambos equipos son similares en tamaño y capacidad de enfriamiento.

El refrigerante R-407C es una mezcla de tres refrigerantes HFC's, su composición en porcentajes se muestran en la tabla 9; así como esta mezcla cuenta con potencial de destrucción del ozono (ODP) de cero y su potencial de calentamiento global (HGWP) es aceptable ambientalmente como se muestra en la tabla 10.

Como se ha mencionado los fabricantes de refrigerantes dan sus propios nombres a sus productos, en este caso se utilizará el refrigerante marca KLEA 66 (R-407C) manufacturado por ICI Chemicals & Polymers Ltd.

Tabla 9 Composición de la mezcla KLEA 66 (R-407C)

HFC-32	23%
HFC-125	25%
HFC-134a	52%

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Tabla 10 Comparativo de ODP y HGWP

Refrigerante	ODP	HGWP
CFC-11 (base)	1.0	1.0
HCFC-22	0.05	0.35
HFC-407C (KLEA 66)	0	0.39

Fuente: ICI Chemical & Polymers Ltd.

El R-407C (KLEA 66) tiene propiedades termodinámicas muy similares al R-22 y se anticipa que los efectos de usar el R-407C (KLEA 66) en lugar del R-22 parecerían ser mínimos para el funcionamiento de los equipos, pero esta situación se despejara una vez que se hayan realizado y analizado los resultados en la operación.

El aceite lubricante usado en ambos compresores es de origen mineral, tanto el hermético marca Copeland y el semi-hermético marca Carrier trabajan con este tipo de aceite, por lo que no es miscible (que se pueda mezclar aceite y refrigerante), con el refrigerante R-407C (KLEA 66), el aceite tendrá que ser cambiado por un aceite sintético. Una vez realizado el cambio se debe de asegurar que el aceite mineral restante en el sistema sea menos del 5% del volumen (recomendado por Copeland fabricante de compresores).

Como el refrigerante R-407C (KLEA66) es una mezcla de varios refrigerantes y cada uno tiene un punto de ebullición ligeramente diferente, se debe de cargar en el sistema en forma líquida, teniendo cuidado necesario de que no le llegue refrigerante líquido al compresor.

5.4.2 PROCEDIMIENTO DEL REEMPLAZO EN EL EQUIPO DE PRUEBA No. 1

Tipo de equipo: Marca STULZ modelo CCM 602 GE
Número de Serie: 1.0.3392
Tipo de compresor: DWM marca Copeland DRQ 12 M (hermético)
Fecha: 04/08/94 al 28/09/94

1.1.- Los datos de funcionamiento del equipo con el R-22 y el aceite mineral, fueron anotados para tener parámetros base de la operación del mismo.

1.2.1.- Se arrancan y se dejan en operación ambos compresores, cerrando la válvula de succión (baja) esta operación se realiza para atrapar el refrigerante en el sistema y así poder retirar el aceite mineral.

1.2.2.- Para facilitar que el aceite sea fácilmente removido; se retira la válvula que está encima del nivel de aceite en el compresor, y se le inserta un tubo flexible en el colector de aceite, conectándose a una bomba manual y se bombeo el aceite fuera del compresor.

1.2.3.- Se tomó una muestra del aceite mineral del sistema para propósito de análisis en el espectrómetro y tenerla como referencia si es requerido en un futuro.

1.3.- Los compresores se llenaron con el nuevo aceite sintético (Ester Oil) y los sistemas se dejaron en operación con el refrigerante R-22 por 24 horas.

1.4.1.- Una muestra de aceite fue tomada y analizada para determinar el contenido de aceite mineral, este fue menor del 5 % en ambos compresores.

1.4.2.- El aceite fue nuevamente drenado en ambos compresores y llenados con aceite sintético nuevo y limpio (Ester Oil)

Los sistemas se operaron con el refrigerante R-22 por seis días.

1.5.1.- En ambos sistemas se analizó el contenido de aceite mineral, dando como resultado que en el módulo 1 el contenido de aceite mineral estuvo abajo del 5%, pero en el modulo 2 se encontró marginalmente encima del 5%.

1.5.2.- Como en ambos compresores se tendría que cambiar nuevamente el aceite sintético antes de cargarlos con el refrigerante R-407C (KLEA 66), se decidió que se procedería con el reemplazo del refrigerante.

1.6.1.- El refrigerante R-22 fue recuperado en ambos sistemas y almacenado en cilindros de recuperación.

1.6.2.- El aceite sintético en el colector (carter) se cambió nuevamente con aceite sintético y se llenaron los compresores una vez más.

1.6.3.- Los filtros desecantes (deshumidificadores) son verificados en la línea de liquido del sistema.

1.6.4.- A ambos sistemas se les aplico un vacío por debajo de 4 Torr en ambos extremos del lado de baja presión del sistema. A continuación se carga al sistema el refrigerante R-407C en forma líquida, teniendo extrema precaución de que no llegue líquido al compresor.

1.6.5.- Se le pega una etiqueta a cada compresor informando que dichos equipos trabajan con un nuevo refrigerante R-407C (KLEA 66).

1.6.6.- Se tomaron los datos de funcionamiento del sistema con el nuevo refrigerante R-407C y se dejó operando por 9 días.

1.6.7.- El módulo 2 estaba ligeramente bajo de carga de refrigerante, sin embargo, como todo el refrigerante se utilizó, no se tenía disponible inmediatamente refrigerante para completar la carga, y se decidió que siguiera trabajando el sistema con la falta de éste.

1.6.8.- Las válvulas de termoexpansión fueron revisadas pero ningún sistema requirió ser ajustado.

1.7.1.- Se le adiciónó el refrigerante faltante para completar la carga de R-407C (KLEA 66) en el modulo 2 y se tomaron los valores ya con las cargas completas en ambos compresores.

1.7.2.- El contenido de aceite mineral en el sistema fue verificado y en ambos sistemas se obtuvieron marcas debajo del 1% de concentración.

5.4.3 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL EQUIPO DE PRUEBA No. 1

En la tabla 11, se muestran los resultados de las mediciones obtenidas durante el proceso, antes y después del reemplazo del refrigerante.

Tabla 11 Resultados obtenidos al sistema de aire acondicionado de prueba No. 1

STULZ CCMA 602 GE (1.0.3392)	Antes del reemplazo	Después del reemplazo	7 días después
Fecha	05/08/94	20/09/94	28/09/94
Refrigerante de trabajo	R-22 (HCFC)	R-407C (KLEA 66)	R-407C (KLEA 66)
Aceite Lubricante	Mineral	Sintético	Sintético
Temperatura del aire de retorno	19.6°C	20.8/21.8°C	21.8/21.0°C
Humedad del aire de retorno	44 % rh	38 % rh	48 % rh
Temperatura del aire de inyeccion	12.4°C	14.9/15.4°C	15.1/13.9°C

rh= humedad relativa (relative humidity)

Datos del Compresor	Circuito 1	Circuito 2	Circuito 1	Circuito 2	Circuito 1	Circuito 2
Presión de descarga (psi)	205	190	190	200	195	200
Presión de succión (psi)	62	56	58	61	58	62
TEV sobrecalentado (°C)	6.2	6.0	8.0	7.5	9.0	8.0
Temperatura de descarga (°C)	58	54	47	49	49	45
Temperatura de succión (°C)	9.6	6.8	8.0	8.5	9.0	10.0
Corriente del compresor L1 (A)	13.7	13.3	12.8	13.0	13.0	13.1
Corriente del compresor L2 (A)	13.8	13.3	12.9	13.2	13.2	13.3
Corriente del compresor L3 (A)	13.8	13.4	12.9	13.0	13.2	13.3
Mirilla limpia (Si / No)	Si	No	Si	No	Si	Si
Mirilla Seca (Si / No)	Si	Si	Si	Si	Si	Si

TEV = Válvula de Thermo Expansion (Thermo Expansion Valve)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

STULZ CCMA 602 GE (1.0.3392)	Antes del reemplazo		Después del reemplazo		7 días después	
	Circuito 1	Circuito 2	Circuito 1	Circuito 2	Circuito 1	Circuito 2
Corriente motor ventilador L1 (A)	7.3	7.2	7.1	7.1	7.1	7.1
Corriente motor ventilador L2 (A)	7.2	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
Corriente motor ventilador L3 (A)	7.4	7.4	7.3	7.1	7.2	7.3

L1-N (V)	236	239	234
L2-N (V)	236	239	237
L3-N (V)	238	241	240
Temp. de suministro Glycol (°C)	30.5	23.6 / 24.7	23.7 / 24.6
Temp. de retorno Glycol (°C)	35.6	26.0 / 26.7	26.6 / 27.0

5.4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN EL EQUIPO DE PRUEBA No. 1

Algunas consideraciones importantes para el análisis de los resultados obtenidos son:

Los datos originales con el refrigerante R-22 se tomaron al inicio de agosto cuando la temperatura ambiente es más alta, que cuando se finalizó el reemplazo con el refrigerante R-407C (KLEA 66) que fue en el mes de septiembre.

Debe recordarse que los datos obtenidos durante el reemplazo fueron tomados en una sala de computadoras en operación y no en un laboratorio, por lo que las cargas de calor, las temperaturas de retorno e inyección y las temperaturas de entrada y salida de glycol no eran constantes.

Enfriamiento .- no existió ninguna diferencia discernible en los efectos de enfriamiento medido por la diferencia de temperaturas entre el retorno e inyección del aire en la sala, este comportamiento en el enfriamiento puede suponerse por que el flujo de aire en los equipos permaneció constante, ya que no tuvieron que ser ajustados.

Presión de carga y descarga .- no se mostró ninguna diferencia considerable del sistema antes y después del reemplazo de los refrigerantes.

Consumo de energía (KW) en el compresor .- Al efectuar la medición en el compresor, se presentó una ligera disminución en el amperaje que no puede ser considerada como representativa.

Sobrecalentamiento en la TEV (válvula de termo expansión).- Se encontró operando aproximadamente con 2°C más alto con el R-407C. El ajuste del sobrecalentamiento no fue necesario ya que permanecía en un rango aceptable.

Temperatura de Descarga (compresor).- fue aproximadamente 10°C más baja al operar con el R-407C, por consecuencia la presión en el lado de alta presión disminuyó.

Tiempo utilizado en el reemplazo: 35 horas

Materiales utilizados : 16 Kg de refrigerante R-407C
30 litros de aceite sintético (Ester oil)
6 kits de prueba para aceites minerales
12 preparaciones (muestras) de aceite
2 filtros desecantes (deshidratadores)

Herramienta utilizada : Equipo de seguridad (guantes y lentes)
Manómetro de presión
Termómetro industrial
Bomba de vacío
Equipo para detectar fugas
Báscula
Unidad de recuperación
Cilindro de recuperación

5.4.5 PROCEDIMIENTO DEL REMPLAZO EN EL EQUIPO DE PRUEBA No. 2

Tipo de equipo: Marca LIEBERT modelo no. FE 240G
Número de Serie: CO 3412B
Tipo de compresor: Carrier O6D A502 18A(semi-hermético)
Fecha: 27/07/94 al 10/08/94

2.1.- Se tomaron los datos de operación con el refrigerante R-22 para ambos circuitos (21/07/94).

2.2.- Ambos compresores se operaron a fin de enviar el refrigerante al sistema por medio del cierre de las válvulas de servicio las cuales fueron cerradas.

2.3.- El aceite del compresor fue retirado por la válvula del drenaje.

2.3.1.- Se tomaron muestras de aceite de ambos compresores para determinar parámetros para antecedentes a futuro.

2.4.- Cada compresor fue llenado de aceite sintético, se verifico el nivel por la mirilla de ambos compresoras.

2.4.1.- A los compresores de les aplico vacio para asegurar el retiro de aire húmedo a fin de evitar que la humedad afecte el sistema.

2.4.2.- Una vez que se realizó el vacio, se abren las válvulas de servicio y en su posición normal de operación y se dejo operando por una noche con el refrigerante R-22 y el aceite sintético.

2.5.- A ambos compresores se les tomo una muestra para determinar el porcentaje de aceite mineral que todavia contenia el sistema dando como resultado :

Circuito 1 > 5% de aceite mineral

Circuito 2 < 1% de aceite mineral

2.5.1.- Debido al alto porcentaje de aceite mineral todavia contenido en el circuito 1, se procede a realizar nuevamente un cambio de aceite sintético nuevo y limpio, una vez realizado el cambio por aceite nuevo se dejó en operación hasta el 25/07/94.

2.5.2.- Como el circuito número dos contenia menos del 1% de aceite mineral se procedió con la próxima fase.

2.6.- Un equipo removedor de impurezas en el aceite se conecto al circuito 2 y el refrigerante R-22 fue recuperado y almacenado.

2.6.1.- El aceite en el circuito 2 aunque resultó con menos del 1% de aceite mineral se procedió a cambiar nuevamente por uno nuevo y limpio.

2.6.2.- En la linea de liquido se cambio el filtro desecante (deshidratador) en el circuito 2

2.7.- (25/07/94) En el circuito 1 se tomo una muestra de aceite para determinar que porcentaje se tenia todavia en el sistema y la prueba mostro que esta vez fue de menos del 1%, por lo que se procedió a pasar a la siguiente fase

2.8.- (03/08/94) Un equipo removedor de impurezas en el aceite se conecto al circuito 1 y el refrigerante R-22 fue recuperado y almacenado.

2.8.1.- El aceite en el circuito 1, aunque resulto con menos del 1% de aceite mineral, se procedió a cambiar nuevamente por uno nuevo y limpio

2.8.2.- En la linea de liquido se cambio el filtro desecante (deshidratador) en el circuito 1

2.9.- (04/08/94) ambos compresores se encontraban llenos y con aceite sintético virgen en los niveles adecuados, esto se verificó en las mirillas de cada uno de los compresores.

2.9.1.- A ambos sistemas se les aplico vacio con las válvulas de servicio y válvulas solenoides abiertas para que se tratara de llegar a cero en la bomba de vacio.

2.9.2.- El vacio en cada sistema fue roto al cargar el nuevo refrigerante R-407C (KLEA 66) en forma liquida directamente en la línea de liquido de cada sistema. El refrigerante fue introducido al sistema por la válvula de succión.

2.10.- Ambas válvulas de expansión fueron calibradas y ajustadas 5 / 6 °C

2.10.1.- Se tomaron datos de operación para ambos sistemas ya con el nuevo refrigerante R-407C (KLEA 66) y el aceite sintético (Ester Oil) y fueron puestos en operación por una semana.

2.10.2.- Se le colocaron etiquetas marcando que los compresores trabajaban con el nuevo refrigerante R-407C

2.11.- (10/08/94) Después de una semana de operación se verificaron los niveles de carga del refrigerante y del aceite los cuales mostraron niveles normales por lo que no se requirió agregar carga alguna.

2.11.1.- Una muestra de aceite se tomó de cada compresor y dio como resultado que ambos tenian menos del 1% de aceite mineral.

2.11.2.- Se le colocaron en forma definitiva etiquetas que marcaban en los compresores el uso del refrigerante R-407C y los sistemas fueron puestos en operación normal.

5.4.6 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL EQUIPO DE PRUEBA No. 2

En la tabla 12, se muestran los resultados de las mediciones obtenidas durante el proceso, antes y después del reemplazo del refrigerante.

Tabla 12 Resultados obtenidos al sistema de aire acondicionado de prueba No. 2

LIEBERT FE 240 G	Antes del reemplazo	Después del reemplazo	7 días después
Fecha	21/07/94	04/08/94	10/08/94
Refrigerante de trabajo	R-22 (HCFC)	R-407C (KLEA 66)	R-407C (KLEA 66)
Aceite Lubricante	Mineral	Sintético	Sintético

Temperatura del aire de retorno	18.0°C	17.0°C	19.0°C
Humedad del aire de retorno	55.6 % rh	55.3 % rh	51.0 % rh
Temperatura del aire de inyección	12.0°C	11.8°C	11.0°C

rh= humedad relativa (relative humidity)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Datos del Compresor	Circuito 1	Circuito 2	Circuito 1	Circuito 2	Circuito 1	Circuito 2
Presión de descarga (psi)	290	245	295	275	250	245
Presión de succión (psi)	63	58	69	65	58	60
TEV sobrecalentado (°C)	6.5	6.0	5.0	5.5	6.0	5.0
Temperatura de descarga (°C)	84	81	65	69	68	65
Temperatura de succión (°C)	8	5	7	7	7	7
Corriente del compresor L1 (A)	15.0	13.6	15.8	14.9	13.9	13.4
Corriente del compresor L2 (A)	15.3	14.2	15.7	15.3	13.8	13.8
Corriente del compresor L3 (A)	14.8	13.7	15.6	15.3	13.9	13.8
Mirilla limpia (Si / No)	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Mirilla Seca (Si / No)	Si	Si	Si	Si	Si	Si

TEV = Válvula de Termo Expansión(Thermo Expansion Valve)

LIEBERT FE 240 G	Antes del reemplazo	Después del reemplazo	7 días después
------------------	---------------------	-----------------------	----------------

	Circuito 1	Circuito 2	Circuito 1	Circuito 2	Circuito 1	Circuito 2
Corriente motor ventilador L1 (A)	5.2		5.2		5.1	
Corriente motor ventilador L2 (A)	5.3		5.4		5.3	
Corriente motor ventilador L3 (A)	5.3		5.4		5.3	

L1-N (V)	235	236	238
L2-N (V)	236	235	238
L3-N (V)	236	237	240
Temp. de suministro Glycol (°C)	31.0	32.0	26.0
Temp. de retorno Glycol (°C)	36.0	35.0	31.0
Temperatura ambiente (°C)	23.0	24.4	18.0

5.4.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN EL EQUIPO DE PRUEBA No. 2

Los datos que se tomaron en los equipos y durante todo el proceso fueron determinados en condiciones reales en la sala de computo y no en un laboratorio donde se hubieran podido tomar medidas más precisas.

Enfriamiento.- Los datos tomados después de siete días de operación muestran un considerable incremento en el enfriamiento medido por la diferencia de temperaturas entre el aire de retorno y el aire de succión. Sin embargo, este incremento se debe a que en el momento de la toma de datos se tenía una mayor temperatura de aire de retorno en la sala (se genera más calor en la sala) y también la presión de descarga del compresor mostró una reducción, ésto se debió a la baja temperatura ambiental que propició mayor enfriamiento del Glycol.

Presión de succión y descarga .- La presión de succión no muestra ningún cambio al funcionar con refrigerante R-407C (KLEA 66) . La presión de descarga después de siete días de operación disminuyó aproximadamente 40 psi en comparación con las primeras dos lecturas, pero este efecto sería más aplicable a la disminución de la temperatura del Glycol que a consecuencia del cambio de refrigerante.

Consumo de energía (KW) en el compresor.- El amperaje del compresor (después de siete días) disminuyó, indicando una reducción en el consumo de energía, sin embargo la temperatura ambiente estuvo muy baja y por consiguiente el compresor requirió menos trabajo para lograr la temperatura deseada.

Sobrecalentamiento en la TEV (Válvula de termo expansión).- Se ajustó un rango de 5/6°C pero ésto no fue a consecuencia del cambio sino solamente una necesidad real para ajuste de los parámetros de operación.

Temperatura de descarga en el compresor .- Al operar el sistema con el refrigerante R-407C (KLEA 66) se midió la temperatura con un termómetro de contacto sobre la tubería de descarga, presentándose una reducción de aproximadamente 16°C que cuando trabajaba el sistema con R-22. El rango de 65° - 69°C con R-407C (KLEA 66) comparado con el rango de 81° - 84°C con R-22.

Tiempo utilizado en el reemplazo: 30.5 horas

Materiales utilizados : 19 Kg de refrigerante R-407C
 19 litros de aceite sintético (Ester oil)
 5 kits de prueba para aceites minerales
 10 preparaciones (muestras) de aceite

2 filtros desecantes (deshidratadores)

Herramienta utilizada : Equipo de seguridad (guantes y lentes)
Manómetro de presión
Termómetro industrial
Bomba de vacío
Equipo para detectar fugas
Báscula
Unidad de recuperación
Cilindro de recuperación

5.4.8 CONCLUSIÓN DE LOS REEMPLAZOS

De los resultados obtenidos en ambas pruebas, se puede concluir que no existió alguna diferencia representativa en los parámetros de enfriamiento, así como en el consumo de energía después del cambio de refrigerante; sin embargo, es importante mencionar que estos resultados obtenidos en el campo no se deben de considerar como una regla general, ya que se involucran muchos factores que pueden hacer variar los resultados, como son las condiciones de operación tanto internas como externas del equipo, el factor climático ambiental es muy importante para el funcionamiento del equipo, así como considerar el refrigerante más adecuado para el tipo de equipo al que se le realizará el cambio; otro factor sumamente importante es el mantenimiento preventivo y periódico para tener en las mejores condiciones de operación y así el reemplazo se lleve a cabo sin ningún problema.

Por lo anterior los fabricantes de refrigerantes a nivel mundial, han desarrollado estudios en sus centros de investigación acerca del comportamiento en los sistemas de refrigeración después de haber realizado el cambio por refrigerantes alternativos. Estos resultados se deben considerar como parámetros base para futuros cambios en los equipos instalados aún cuando las condiciones en cada uno de los sistemas son diferentes y los resultados reales que se obtengan pueden variar con los datos proporcionados por el fabricante, sin embargo, servirán como un parámetro para tratar de alcanzar los rangos óptimos recomendados.

En la tabla 13 se muestran los resultados obtenidos por la empresa DuPont, en los cuales se indican los rangos y parámetros a considerar después de realizar el cambio de refrigerantes contaminantes por alternativos, estos datos pueden servir como una guía para el personal que tiene a su cargo el mantenimiento y así disponer de un marco de referencia para elegir el mejor refrigerante alternativo y tener un panorama

aproximado de cómo se comportarán los equipos una vez realizado el cambio. Todo esto servirá para elaborar una buena planeación para minimizar en lo más posible los efectos negativos que se puedan presentar y adecuar el equipo para poder recibir el nuevo refrigerante para así poder obtener un buen funcionamiento del equipo una vez hecho el cambio.

Tabla 13 Las expectativas después del cambio.

La información que de muestra en la tabla 13 puede servir como una guía; sin embargo, al realizar el cambio real los resultados obtenidos pueden variar.

(+) se incrementa

(-) se disminuye

Refrigerante alternativo	Sustituye al refrigerante	Presión de descarga (PSI)	Presión de Succión (PSI)	Temperatura de Descarga (°F)	Capacidad de refrigeración (%)
R-134a	R-12	+ 10	- 2	- 10	- 10
MP39 (R-401A)	R-12	+ 20	Sin cambio	+ 25	+ 10
MP66 (R-401B)	R-12	+ 30	+ 2	+ 30	+ 15
R-409A	R-12	+ 25	Sin cambio	+ 30	+ 10
HP80 (R-402A)	R-502	+ 40	+ 5	- 5	+ 15
HP81 (R-402B)	R-502	+ 30	+ 5	+ 15	+ 15
R-408A	R-502	+ 5	Sin cambio	+ 20	+ 5
HP62 (R-404A)	R-502	+ 20	Sin cambio	- 10	Sin cambio
R-507	R-502	+ 30	Sin cambio	- 15	Sin cambio
R-407C	R-22	+ 15	Sin cambio	- 15	Sin cambio

Fuente : E.I. DuPont de Nemours and Company

Así como una buena elección del refrigerante es primordial para esperar buenos resultados en el reemplazo, es también de gran importancia la elección del lubricante adecuado y recomendado por el fabricante de refrigerantes ; en la tabla 14 se muestran los diferentes lubricantes recomendados por sus características para cada tipo de refrigerante

Tabla 14 Guía de aceites lubricantes sugerida.

Refrigerante	Tipo	Tipo de Lubricante*
R-12	CFC	Aceite Mineral ó Alquibenceno
R-134a	HFC	Polioléster (aceite sintético)
R-401A	HCFC	Aceite Mineral ó Alquibenceno
R-409A	HCFC	Aceite Mineral ó Alquibenceno
R-500	CFC	Aceite Mineral ó Alquibenceno
R-401B	HCFC	Aceite Mineral ó Alquibenceno
R-13	CFC	Aceite Mineral ó Alquibenceno
R-503	CFC	Aceite Mineral ó Alquibenceno
R-23	HFC	Polioléster (aceite sintético)
R-502	CFC	Aceite Mineral ó Alquibenceno
R-404A	HFC	Polioléster (aceite sintético)
R-507	HFC	Polioléster (aceite sintético)
R-402A	HCFC	Alquibenceno
R-408A	HCFC	Alquibenceno
R-402B	HCFC	Aceite Mineral ó Alquibenceno
R-22	HCFC	Aceite Mineral ó Alquibenceno
R-407C	HFC	Polioléster (aceite sintético)
R-410A	HFC	Polioléster (aceite sintético)

Fuente : E.I. DuPont de Nemours and Company

* Los refrigerantes HCFC también son compatibles con los lubricantes Polioléster

5.4.9 COSTOS DEL REEMPLAZO

Tomando los resultados que arrojaron las pruebas en base al material utilizado y la mano de obra que se necesitó para llevar a cabo el reemplazo del refrigerante, se determinará el costo estimado y se comparará con respecto a la adquisición de un equipo nuevo de las mismas características para conocer el diferencial que existe entre reemplazar el refrigerante o adquirir un equipo nuevo.

5.4.10 DETERMINACION DEL COSTO DEL REEMPLAZO DEL EQUIPO DE PRUEBA No. 1

Tipo de equipo: Marca STULZ modelo CCM 602 GE

Capacidad : 240,000 Blu/hr (20 TR)

Tabla 15 Tiempo utilizado en el reemplazo para determinar el costo de la mano de obra.

Personal requerido	Cantidad	Precio por H.H.F.*	Importe
Especialista	35	\$ 91.21	\$ 3,192.35
Ayudante	35	\$ 67.16	\$ 2,350.60
		Total	\$ 5,542.95

* H.H.F. = Hora Hombre Fisica

Fuente : Los costos de mano de obra fueron proporcionados por Fuerza y Clima, S.A. de C.V. (precios para el 2001)

La empresa Fuerza y Clima, S.A. de C.V. es una filial de TELMEX, dedicada al mantenimiento de equipos de fuerza y clima instalados en las centrales telefónicas, repetidores de microondas, edificios administrativos, etc. Dicha empresa realizó un estudio en el cual determinó el precio de mano de obra por concepto de mantenimiento especializado en el que se considera lo siguiente : el personal que realizará las actividades (un especialista y su ayudante), el vehículo para transportar al personal, la herramienta especializada necesaria (manómetros de alta y baja presión, termómetros, bomba de vacío, equipo para detectar fugas, báscula, unidad de recuperación y cilindro de recuperación), así como los insumos para el servicio de mantenimiento; los resultados se muestran en las tablas 15 y 17 respectivamente a cada prueba.

Los materiales de las tablas 16 y 18 fueron cotizados en empresas distribuidoras de refacciones y partes para equipos de aire acondicionado, en el caso particular la empresa Refrigeración Anahuac, S.A. de C.V.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 16 Material utilizado para el reemplazo

Descripción	Cant	Unid	Precio Unitario	Importe
Refrigerante R-407C	16	Kg	\$ 138.50	\$ 2,216.00
Aceite sintético (Poliéster)	30	Lts	\$ 105.00	\$ 3,150.00
Kit de prueba para aceites minerales	6	Pza	\$ 127.00	\$ 762.00
Preparaciones (muestras) de aceite	12	Pza	\$ 95.00	\$ 1,140.00
Filtros desecantes (deshidratadores)	2	Pza	\$ 235.00	\$ 470.00
Material vario	1	Lote	\$ 500.00	\$ 500.00
			Total	\$ 8,238.00

Fuente : Refrigeración Anáhuac, S.A. de C.V. precios cotizados (25/012001)

Total por concepto de reemplazo (Prueba No. 1)	\$ 13,780.95
---	---------------------

El costo total por concepto de materiales, refacciones y mano de obra que se obtuvo, servirá para poder compararlo contra el costo de adquisición de un equipo nuevo de aire acondicionado y determinar una nueva variable económica para tomar la decisión entre el reemplazo ó cambio por un nuevo equipo.

5.4.11 DETERMINACION DEL COSTO DEL REEMPLAZO DEL EQUIPO DE PRUEBA No. 2

Tipo de equipo: Marca LIEBERT modelo no. FE 240G

Capacidad : 240,000 Btu/hr (20 TR)

Tabla 17 Tiempo utilizado en el reemplazo para determinar el costo de la mano de obra en el equipo 2

Personal requerido	Cantidad	Precio por H.H.F.	Importe
Especialista	30.5	\$ 91.21	\$ 2,781.91
Ayudante	30.5	\$ 67.16	\$ 2,048.38
		Total	\$ 4,830.29

* H.H.F. = Hora Hombre Física

Fuente : Los costos de mano de obra fueron proporcionados por Fuerza y Clima, S.A. de C.V. (precios para el 2001)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 18 Material utilizado para el reemplazo en el equipo 2

Descripción	Cant	Unid	Precio Unitario	Importe
Refrigerante R-407C	19	Kg	\$ 138.50	\$ 2,631.50
Aceite sintético (Polioléster)	19	Lts	\$ 105.00	\$ 1,995.00
Kit de prueba para aceites minerales	5	Pza	\$ 127.00	\$ 635.00
Preparaciones (muestras) de aceite	10	Pza	\$ 95.00	\$ 950.00
Filtros desecantes (deshidratadores)	2	Pza	\$ 235.00	\$ 470.00
Material vario	1	Lote	\$ 500.00	\$ 500.00
			Total	\$ 7,181.50

Fuente : Refrigeración Anáhuac, S.A. de C.V. precios cotizados (25/01/2001)

Total por concepto de Reemplazo (Prueba No. 2)	\$ 12,011.79
---	---------------------

El costo total por concepto de materiales, refacciones y mano de obra que se obtuvo, servirá para poder compararlo contra el costo de adquisición de un equipo nuevo de aire acondicionado y determinar una nueva variable económica para tomar la decisión entre el reemplazo ó cambio por un nuevo equipo.

5.4.12 ANALISIS DEL REEMPLAZO DEL REFRIGERANTE VERSUS CAMBIO DE EQUIPO NUEVO

Con los resultados obtenidos en los puntos 5.6.1 y 5.6.2 representa los importes por concepto de reemplazo; ahora con estos valores se compararan con el precio de adquisición de un nuevo equipo que contenga de fabrica el refrigerante ecológico R-134^a como se muestran en las tablas 19 y 20, el resultado de este comparativo dará como resultado un parámetro a considerar para reafirmar la decisión del reemplazo del refrigerante ó el cambio del equipo.

Tabla 19 Comparativo reemplazo del refrigerante vs. Adquisición de equipo nuevo en la prueba No. 1

Marca	Modelo	Capacidad	Precio Equipo Nuevo	Precio Reemplazo Refrigerante
Stulz	CCM 602 GE	20 TR	\$ 182,110.83	\$ 13,780.95

Fuente : El costo del equipo fue proporcionado por la empresa Soporte especializado intergral, S.A. de C.V. representante en México de la marca Stulz GmbH (Alemania) precios en pesos Mexicanos fecha de cotización (18/01/2001)

Equipo Nuevo vs. Reemplazo	7.57 %
-----------------------------------	---------------

Tabla 20 Comparativo reemplazo del refrigerante vs. Adquisición de equipo nuevo en la prueba No. 2

Marca	Modelo	Capacidad	Precio Equipo Nuevo	Precio Reemplazo Refrigerante
Liebert	FE240G	20 TR	\$ 167,948.25	\$ 12,011.79

Fuente : El costo del equipo fue proporcionado por la empresa Sinergia, S.A. de C.V. representante en México de la marca Liebert (Estados Unidos) precios en pesos Mexicanos fecha de cotización (18/01/2001)

Equipo Nuevo vs. Reemplazo	7.15 %
-----------------------------------	---------------

El porcentaje obtenido por el comparativo en ambos casos, resultó aproximadamente el 7 % del valor de un equipo nuevo, este valor variará dependiendo del estado físico, así como de las condiciones de operación de cada equipo, se estima que este valor podría llegar hasta un 10% como rango aceptable para considerar como una buena opción el reemplazo del refrigerante.

Cuando el porcentaje exceda el rango aceptable, significará que se requerirán de adecuaciones más importantes y costosas al equipo para llegar al funcionamiento óptimo con el nuevo refrigerante, en este caso se deberá tomar la decisión de si es viable el reemplazo.

5.5 INFORME SOBRE EL REEMPLAZO DE REFRIGERANTE EN EQUIPO CENTRÍFUGO CHILLER QUE OPERA CON REFRIGERANTE R-11 POR R-123

Para tener un panorama más amplio del costo que representa el reemplazo de refrigerantes, se analizaron los trabajos emprendidos por la empresa Carrier Corporation, a un equipo Centrifugo Chiller de 500 T.R. instalado en un edificio de oficinas en la ciudad de Syracuse, NY, Estados Unidos.

Se considera un equipo Chiller Centrifugo de 500 T.R. , operando con refrigerante R-11 y que cuenta con 15 años de funcionamiento y está instalado en el sótano de un edificio de oficinas, teniendo los siguientes datos:

- 1.- La eficiencia es aceptable 0.82 Kw / T.R (a plena carga)
- 2.- El tiempo de operación anual se estima en 5,500 horas
- 3.- El costo por mantenimiento anual promedio \$ 5,300 Dólares Americanos
- 4.- Las fugas de refrigerante son de menos del 10% de una carga total de 1,200 libras de refrigerante R-11
- 5.- El costo del refrigerante R-11 es de \$ 12.30 Dólares la libra

En la tabla 21 se consideran tres alternativas :

- a) Acondicionar el equipo para seguir usando el refrigerante R-11 (CFC)
- b) Reemplazar el refrigerante R-11 por el refrigerante alternativo R-123
- c) Cambiar por un nuevo equipo que contenga de fábrica refrigerante ecológico

Tabla 21 Comparativo de las tres alternativas a equipos centrifugos chiller

Actividad	Rehabilitación R-11 (a)	Reemplazo a R-123 (b)	Equipo Nuevo R-134* (c)
Equipo	---	---	\$ 125,600.00
Adecuaciones al equipo existente	\$ 29,500.00	\$ 63,000.00	---
Re-venta del refrigerante R-11	---	(\$ -4,500.00)	(\$ -4,500.00)
Servicio y mantenimiento	\$ 6,300.00	\$ 8,100.00	\$ 3,300.00
Costos de operación por año	\$ 180,400.00	\$ 184,800.00	\$ 138,600.00
Total para el primer año de operación	\$ 216,200.00	\$ 251,400.00	\$ 267,500.00

Fuente : Carrier Corporation

5.5.1 ACONDICIONAMIENTO PARA SEGUIR USANDO R-11 (CFC)

Se deberá dar al equipo una adecuación a los componentes para llegar al 2.0 % o menos en la corrección de las fugas de refrigerante que se puedan presentar, para lo cual se deberán de cambiar una cantidad considerable de elementos y partes como son : el sistema de purga, las válvulas de alivio, el sistema externo de filtros de aceite, el sensor de sobrepresión, sensor de aceite, y el sensor del refrigerante.

El costo por concepto de mantenimiento aumentará, sin embargo, los costos por concepto de operación se reducirán modestamente, una vez que se logre tener menos del 2% por concepto de fugas del refrigerante.

5.5.2 REEMPLAZO DEL REFRIGERANTE R-11 POR EL REFRIGERANTE R-123

Al equipo chiller se le reemplaza el refrigerante R-11 por el R-123, para garantizar el óptimo funcionamiento, se tendrán que modificar sustancialmente algunos sistemas y cambiar partes del equipo como son: sellos, empaques, cambio de sensores, en algunos casos el motor y estator.

El costo del refrigerante R-123 es de \$ 4.30 Dólares / Libra , el refrigerante que será retirado del equipo, se puede re-vender al fabricante para su almacenamiento y re-procesarlo para almacenarlo y tenerlo para los

equipos que todavía operaran con este tipo de refrigerante, por consiguiente su costo se elevará ya que se dejó de fabricar en el año 2000.

El costo operacional y de mantenimiento sube ligeramente (este costo puede ser más significativo en relación al tiempo que tiene operando el equipo), así como los costos por fugas de refrigerante se reducen en el primer año lo que significa un pequeño ahorro.

5.5.3 CAMBIO POR UN EQUIPO NUEVO

Si se tienen las posibilidades económicas de cambiar el equipo viejo por uno nuevo y que funcione con el refrigerante ecológico R-134^a, éste traerá beneficios, el costo operacional puede reducirse hasta un 40%, así el equipo será significativamente más eficiente lo que representará un ahorro por concepto de consumo de energía.

En la tabla 22 se presentarán los datos suministrados por la empresa Carrier Corporation, tomando en cuenta sólo el concepto de la comparación económica de la rehabilitación del refrigerante R-11, contra la adquisición de un nuevo equipo que de fábrica contenga el refrigerante ecológico R-134^a.

Tabla 22 Comparativo de la rehabilitación vs. el cambio (equipo nuevo con refrigerante R-134^a)

Rehabilitación R-11	Equipo Nuevo R-134 ^a	Diferencia
\$ 29,500.00 USD	\$ 125,600.00 USD	23 %

Fuente : Carrier Corporation

En la Tabla 23 se muestra el resultado de la comparación económica de los costos que representan el reemplazo del R-11 por un refrigerante de iguales características termodinámicas el R-123, contra la adquisición de un nuevo equipo que de fábrica contenga el refrigerante ecológico 134^a

Tabla 23 Comparativo reemplazo del refrigerante vs. el cambio (equipo nuevo con refrigerante R-134^a)

Reemplazo por R-123	Equipo Nuevo R-134 ^a	Diferencia
\$63,000.00 USD	\$ 125,600.00 USD	50 %

Fuente : Carrier Corporation

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Es importante mencionar que estos estudios fueron realizados por la empresa Carrier en equipos instalados en los Estados Unidos, por lo que las pruebas y los resultados son de equipos y costos generados en edificios e instalaciones de dicho país.

De los resultados obtenidos se tomarán como parámetros base y se aplicaran a los equipos instalados en las centrales telefónicas, para llegar a determinar de una manera estimada pero ampliamente representativa los costos de operación, así como, tomar la decisión del reemplazo de refrigerantes en los equipos que actualmente están en operación y analizar los costos por concepto de recursos humanos, técnicos y principalmente los económicos que representará la inversión ó gasto que tendrá que desembolsar TELMEX ó en su caso el dueño de los equipos, para cumplir en un futuro próximo con las normas ecológicas que marquen los países desarrollados y exijan a los países en vías de desarrollo como es México que se cumplan.

5.5.4 ANALISIS DE RESULTADOS EN EQUIPOS CHILLER

Debido a la importancia para la toma de la mejor alternativa de solución, deberá ésta ser acompañada de un estudio muy amplio de la operación y condiciones de funcionamiento del equipo chiller, ya que no se debe tomar como una regla general el tiempo de operación para decidir la alternativa a considerar, otros factores deben de tomarse en cuenta para complementar esta decisión, ya que la elección de la mejor alternativa se traducirá en una buena operación del equipo, así como en el desembolso económico que se deberá realizar como resultado de elegir la mejor opción.

Los factores que se deberán considerar :

- a) Horas de funcionamiento del equipo
- b) Consumo de energía
- c) El historial de mantenimiento

Otro factor que debe ser considerado una vez que se haya tomado la mejor decisión técnica-operativa es el factor económico-financiero, ya que éste representa el desembolso que deberá realizar el dueño del equipo una vez que se haya tomado cualquiera de las alternativas técnicas, del ejercicio presentado se analizaron las tres alternativas obteniendo un panorama económico de cualquiera de éstas.

De los resultados obtenidos de las tablas 22 y 23 se puede concluir que debido a la gran importancia en la toma de la mejor decisión, ésta se traducirá en el gasto ó la inversión que deberá desembolsar el dueño de los equipos para acatar las disposiciones de los organismos internacionales como el Protocolo de Montreal.

Por el momento en México no se le ha dado la importancia que se requiere, más bien por ahora es una decisión voluntaria que dependerá de cada propietario de equipo, el unirse o no a los programas implantados por diversos organismos mundiales para la eliminación de gases refrigerantes que se utilizan en los equipos de aire acondicionado y que dañan la capa de ozono.

Sin embargo, los resultados obtenidos en este estudio servirán como un parámetro técnico-económico, a las empresas que cuenten con equipos de aire acondicionado y que tarde o temprano deberán tomar esa decisión.

5.6 APLICACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS AL INVENTARIO DE EQUIPOS INSTALADOS Y EN OPERACIÓN EN LAS CENTRALES TELEFÓNICAS DE TELMEX.

La aplicación de los resultados obtenidos al inventario de equipos de aire acondicionado instalados y en operación en las centrales de TELMEX a nivel nacional, dará un panorama estimado del gasto necesario que se deberá realizar tarde o temprano para cumplir con los programas ambientales que marquen las organizaciones mundiales.

Los datos del inventario de equipos fue proporcionado por Fuerza y Clima, S.A. de C.V. (FYCSA) empresa filial de Teléfonos de México, S.A. de C.V. (TELMEX), su giro principal es el servicio de mantenimiento preventivo y correctivo, a equipos de aire acondicionado instalados y en operación en las centrales telefónicas, repetidores de microondas, agencias rurales, centros de operadoras, edificios administrativos, oficinas comerciales y cualquier inmueble perteneciente a TELMEX que cuente con equipo de acondicionamiento ambiental y complementa su actividad con el suministro e instalación de equipos nuevos de clima.

Los datos presentados en el presente trabajo, pertenecen al inventario de equipos incluidos en el contrato de mantenimiento de TELMEX programa 1999 y solamente al área de telefonía local, no se considera el equipo perteneciente al área de larga distancia.

Al día de hoy dicho inventario se ha incrementado, ya que TELMEX cuenta con programa de crecimiento muy agresivo en cuestión de ventas de líneas telefónicas; sin embargo, los datos presentados servirán como una

referencia para conocer el comportamiento técnico-económico del reemplazo de refrigerantes que dañan la capa de ozono por refrigerantes alternativos en los equipos en operación.

La planta telefónica en México se divide en dos grandes áreas operativas:

- a) **Telefonía Local.**- se le conoce así a las llamadas telefónicas que realizan los clientes dentro de una misma localidad, ciudad ó estado y no requiere marcación de larga distancia adicional.
- b) **Telefonía de Larga Distancia.**- Cuando se desea llamar a alguien fuera de su localidad, ciudad ó estado, incluso a otro país y se requiere marcar una clave para poder cursar una llamada de manera que este tipo se conocen como llamadas nacionales, internacionales ó mundiales.

De estas dos áreas operativas se distribuyen a nivel nacional de la siguiente manera :

Telefonía Local :

- 1) División Metropolitana : Distrito Federal , Estado de México, Morelos
- 2) División Centro : Querétaro, Zacatecas, Guanajuato, San Luis Potosí
- 3) División Pacífico Golfo: Puebla, Hidalgo, Tlaxcala, Veracruz, Oaxaca, Guerrero, Michoacán
- 4) División Norte : Chihuahua, Durango
- 5) División Noreste : Nuevo León, Tamaulipas, Coahuila
- 6) División Noroeste : Sonora, Sinaloa, Baja California Norte, Baja California Sur
- 7) División Occidente : Jalisco, Colima, Nayarit, Aguascalientes
- 8) División Sureste: Yucatán, Quintana Roo, Tabasco, Chiapas, Campeche

Telefonía Larga Distancia :

- 1) Larga Distancia Norte : Chihuahua, Durango, Nuevo León, Tamaulipas, Coahuila, Sonora, Sinaloa, Baja California Norte, Baja California Sur
- 2) Larga Distancia Centro : D F . Estado de México, Morelos, Querétaro, Zacatecas, Guanajuato, San Luis Potosí, Jalisco, Colima, Nayarit, Aguascalientes
- 3) Larga distancia Sur : Mérida, Quintana Roo, Tabasco, Chiapas, Campeche, Puebla, Hidalgo, Tlaxcala, Veracruz, Oaxaca, Guerrero, Michoacán.

Se distribuyen de diferente manera el área Local del área de Larga Distancia; para el presente trabajo se utilizarán solamente los equipos instalados en instalaciones del área Local.

En la figura 5-3 se muestra el inventario de equipos en operación en las centrales telefónicas de TELMEX, como se mencionó anteriormente solamente se tomará para el presente estudio la parte del área operativa Local quedando pendiente la parte de Larga Distancia.

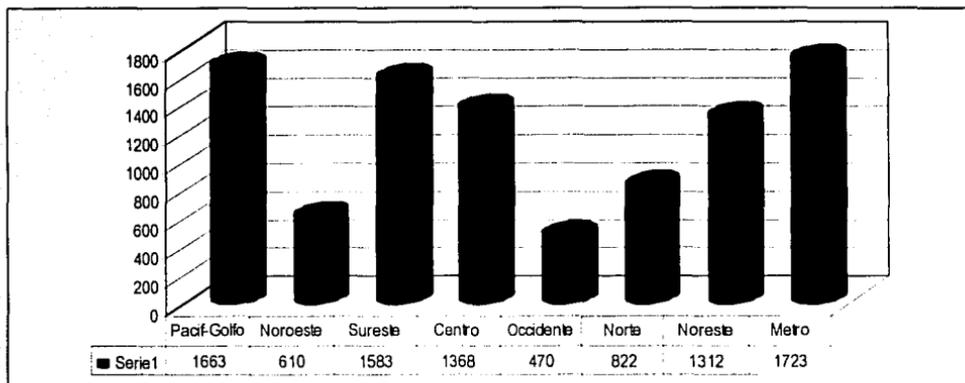


Figura 5.3 Inventario de equipos en operación en las diferentes direcciones divisionales del área operativa Local

En la Tabla 24 se muestran las capacidades de los equipos instalados; en rangos de las capacidades más representativas en Toneladas de Refrigeración (T.R.)

Tabla 24 Capacidades de equipos instalados en centrales telefónicas

Capacidad	Pacif-Golfo	Noroeste	Sureste	Centro	Occidente	Norte	Noreste	Metro
1 a 5 T.R.	1114	486	1111	953	294	663	840	538
5 a 9 T.R.	280	44	274	198	84	47	151	251
10 a 12 T.R.	86	20	72	71	30	28	50	267
15 T.R.	123	12	49	88	20	37	88	117
20 a 25 T.R.	41	26	50	44	29	47	119	349
30 a 40 T.R.	17	22	27	14	13	0	62	170
60 a 250 T.R.	2	0	0	0	0	0	2	31

Fuente : Datos proporcionados por la empresa Fuerza y Clima, S.A. de C.V.

TEL MEX
FALLA DE ORIGEN

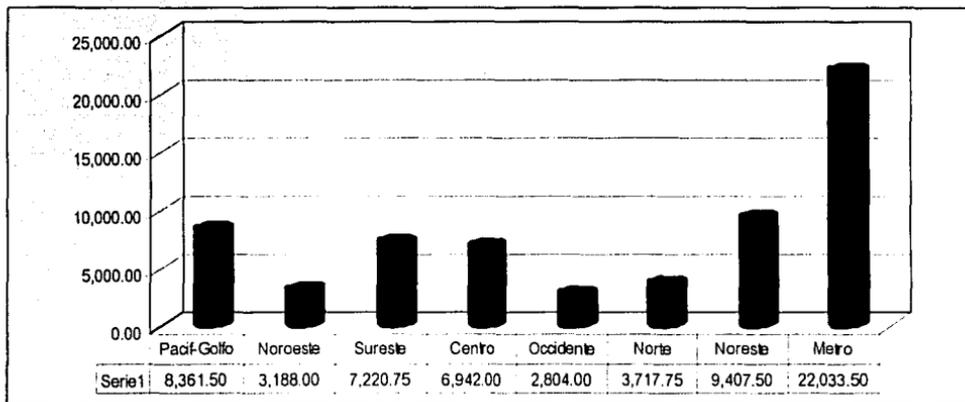
De los datos proporcionados por la filial FYCSA podemos determinar la cantidad total de equipos de aire acondicionado que se tienen en mantenimiento y que deberán de ser considerados para el reemplazo de refrigerante que daña la capa de ozono por refrigerantes ecológicos alternativos.

La cantidad total es considerando todas las capacidades de los equipos de aire acondicionado en operación en las centrales telefónicas es :

Cantidad Total de Equipos 9551

Del resultado de la cantidad de equipos, ahora se determinará de una manera estimada pero significativa la cantidad de toneladas de refrigeración (T.R.) que se encuentran en operación con gases refrigerantes que dañan la capa de ozono.

En la figura 5-4 se muestra la cantidad de toneladas de refrigeración que están en operación para acondicionar las diferentes salas telefónicas a nivel nacional



Fuente : Datos proporcionados por la empresa Fuerza y Clima, S.A. de C.V.

Figura 5-4 Toneladas de refrigeración en operación para salas telefónicas.

A partir de la información obtenida en la figura 5-4 se puede determinar que Telmex cuenta con la cantidad de:

Total de toneladas de refrigeración (T.R.) 63,675

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Con la información proporcionada por la empresa Fuerza y Clima, S.A. de C.V. se obtuvieron dos resultados muy importantes:

- a) La cantidad total de equipos instalados en las diferentes centrales telefónicas a nivel nacional y la diversidad de capacidades que Teléfonos de México, es importante en cuestión de planeación y ejecución de programas de mantenimiento preventivo y correctivo, así como tener un panorama para iniciar el análisis para tomar las decisiones sobre la conversión de refrigerantes en los equipos ó considerar sustituirlos por equipos nuevos que cuenten ya con los refrigerantes ecológicos, en base a los tres criterios mencionados anteriormente :
 - Vida útil del equipo de aire acondicionado
 - Costos operativos sin conversión
 - Costos operativos y de capital asociados con la conversión

- b) Con la información proporcionada acerca del inventario de equipos instalados y aplicándolo ahora en función de las capacidades, se determinaran las toneladas de refrigeración (T.R.) con los que cuenta Telmex para cubrir sus necesidades de carga térmica en sus centrales telefónicas, dato que nos servirá para evaluar costos actuales del refrigerante y como se comportará a un corto, mediano y largo plazo en cuestión económica, ya que se ha mencionado anteriormente los precios de los refrigerantes aumentarán debido a que por disposiciones de organizaciones mundiales se han dejado de producir y por consecuencia su costo estará sujeto a la oferta y la demanda; por esta razón no dudamos que se inicie un mercado negro por la falta de fabricación a nivel mundial lo que provocará que se eleven los precios de los gases que están en la situación de fase de eliminación así como las restricciones de su uso en los equipos de aire acondicionado.

5.6.1 COSTOS DE INVERSIÓN POR EL REEMPLAZO DE REFRIGERANTES ASÍ COMO POR CAMBIOS DE EQUIPOS NUEVOS APLICADOS AL INVENTARIO DE TELMEX

En base a la información proporcionada acerca del inventario de equipos instalados; ahora se aplicarán las siguientes consideraciones:

- a) **Reemplazo de refrigerante** .- Tomando en cuenta la totalidad de los equipos, se hará la siguiente consideración: el reemplazo se llevará acabo en el 95% del inventario ya que para este ejercicio, este porcentaje de equipos cumple con las especificaciones necesarias para ser considerados viables del reemplazo del gas refrigerante, así que se aplicará el porcentaje obtenido en el punto 5.4.12 que es del 7% del valor de un equipo nuevo.

En la tabla 25 se muestra el inventario, el precio de cada equipo según su capacidad, estos datos fueron proporcionados por la empresa Carrier de México, S.A. de C.V. dichos precios fueron los propuestos para el suministros de equipos para Telmex para el programa 2000-2001 de crecimiento de equipos de clima.

Tabla 25 Costo por reemplazo del gas refrigerante aplicado al inventario de equipos instalados

Cantidad de equipos 100%	Capacidad (T. R.)	95 % equipos a considerar para el reemplazo (A)	Precio del equipo cotizado en Dólares (USD)	7% del precio del equipo nuevo por reemplazo (B)	Costo por reemplazo (A) * (B)
612	1	581	\$ 407.51	\$ 28.53	\$ 16,573.43
48	1.25	46	\$ 468.60	\$ 32.80	\$ 1,508.89
1936	1.5	1839	\$ 533.49	\$ 37.34	\$ 68,676.17
1022	2	971	\$ 847.74	\$ 59.34	\$ 57,620.89
132	2.5	125	\$ 880.44	\$ 61.33	\$ 7,703.85
761	3	723	\$ 880.44	\$ 61.33	\$ 44,559.07
1488	4	1414	\$ 1,190.00	\$ 83.30	\$ 117,786.20
948	5	901	\$ 1,338.00	\$ 93.66	\$ 84,387.66
34	6	32	\$ 1,365.00	\$ 95.55	\$ 3,057.60
35	7	33	\$ 3,358.12	\$ 235.07	\$ 7,757.26
174	7.5	165	\$ 3,358.12	\$ 235.07	\$ 38,786.29
124	8	118	\$ 3,358.12	\$ 235.07	\$ 27,738.07
14	9	14	\$ 4,025.60	\$ 281.79	\$ 3,945.09
550	10	522	\$ 4,025.60	\$ 281.79	\$ 147,095.42
74	12	70	\$ 4,830.72	\$ 338.15	\$ 23,670.53
534	15	507	\$ 5,883.40	\$ 411.84	\$ 208,801.87
673	20	639	\$ 8,200.80	\$ 574.06	\$ 366,821.78
32	25	30	\$ 10,251.00	\$ 717.57	\$ 21,527.10
250	30	237	\$ 11,492.00	\$ 804.44	\$ 190,652.28
75	40	71	\$ 19,189.26	\$ 1,343.25	\$ 95,370.61
27	60	26	\$ 26,864.96	\$ 1,880.55	\$ 48,894.23
4	80	4	\$ 33,581.20	\$ 2,350.68	\$ 9,402.74
2	175	2	\$ 78,275.56	\$ 5,479.29	\$ 10,958.58
2	215	2	\$ 86,550.40	\$ 6,058.53	\$ 12,117.06

9551

9072

\$ 1,615,412.65

Fuente : Precios proporcionados por Carrier de México, S.A. de C.V., cotización con fecha (5/03/2001)

TESTE
FALLA DE ORIGEN

Una aclaración muy importante en los análisis efectuados en el punto 5.4.12 del cual se tomó exclusivamente el precio del equipo sin considerar la mano de obra y los materiales que puedan resultar de la instalación de este equipo, sin embargo, los resultados que se muestran son considerados muy representativos aun cuando son estimados, esto dará un panorama aproximadamente real, de los gastos e inversiones que se deberán considerar para el reemplazo del refrigerante.

b) Cambio por equipo nuevo .- Se consideró en el inciso anterior que el 95% de los equipos instalados son viables para el reemplazo del gas refrigerante, por consiguiente el 5% restante se considera que no reúne las especificaciones requeridas ó su vida útil de operación ya es mínima y su rehabilitación es incosteable por lo cual se ha decidido cambiarlos por equipos nuevos que ya contengan el refrigerante ecológico de fábrica.

En la tabla 26 se muestra la inversión económica que deberá realizarse por concepto de cambio de equipos obsoletos por nuevos, en base a las consideraciones propuestas al inventario de equipos de Telmex.

Tabla 26 Costo por cambios de equipos nuevos aplicado al inventario de equipos instalados en Telmex

Cantidad de equipos 100%	Capacidad (T. R.)	5 % equipos a considerar para el cambio (A)	Precio del equipo cotizado en Dólares (USD) (B)	Costo por cambio de equipo nuevo (A) * (B)
612	1	31	\$ 407.51	\$ 12,632.81
48	1.25	2	\$ 468.60	\$ 937.20
1936	1.5	97	\$ 533.49	\$ 51,748.53
1022	2	51	\$ 847.74	\$ 43,234.74
132	2.5	7	\$ 880.44	\$ 6,163.08
761	3	38	\$ 880.44	\$ 33,456.72
1488	4	74	\$ 1,190.00	\$ 88,060.00
948	5	47	\$ 1,338.00	\$ 62,886.00
34	6	2	\$ 1,365.00	\$ 2,730.00
35	7	2	\$ 3,358.12	\$ 6,716.24
174	7.5	9	\$ 3,358.12	\$ 30,223.08
124	8	6	\$ 3,358.12	\$ 20,148.72
14	9	0	\$ 4,025.60	\$ 0.00
550	10	28	\$ 4,025.60	\$ 112,716.80

74	12	4	\$ 4,830.72	\$ 19,322.88
534	15	27	\$ 5,883.40	\$ 158,851.80
673	20	34	\$ 8,200.80	\$ 278,827.20
32	25	2	\$ 10,251.00	\$ 20,502.00
250	30	13	\$ 11,492.00	\$ 149,396.00
75	40	4	\$ 19,189.26	\$ 76,757.03
27	60	1	\$ 26,864.96	\$ 26,864.96
4	80	0	\$ 33,581.20	\$ 0.00
2	175	0	\$ 78,275.56	\$ 0.00
2	215	0	\$ 86,550.40	\$ 0.00
9551		479		\$ 1,202,175.79

Fuente : Precios proporcionados por Carrier de México, S.A. de C.V., cotización con fecha (5/03/2001)

Los resultados obtenidos son los costos que Telmex requerirá desembolsar por concepto de inversión por el reemplazo de refrigerantes, así como por cambio de equipos dañados u obsoletos que se necesitarán cambiarlos por equipos nuevos.

De la tabla 25 y 26 el importe total que deberá cubrir Telmex considerando los dos puntos anteriores es como lo muestra la tabla 27 :

Tabla 27 Costo total por el reemplazo y el cambio de equipos nuevos con refrigerante alternativo

95% Se reemplazara el refrigerante	9072	\$ 1,615,412.65 USD
5% Se cambiará por equipos nuevos	479	\$ 1,202,175.79 USD
Totales	9551	\$ 2,817,588.44 USD

Es importante mencionar que los importes obtenidos son estimados y pueden cambiar de acuerdo a las condiciones de operación en las que se encuentran los equipos a considerar, así como reiterar que el mantenimiento de los equipos es un punto fundamental para disminuir el cambio a equipos nuevos, ya que se aseguraría el cumplir sin ningún problema las especificaciones técnicas necesarias para ser considerados en el reemplazo del gas refrigerante y así reducir la parte de inversión por la compra de equipos nuevos.

5.7 ANÁLISIS PARA LA EVALUACIÓN DEL PROYECTO

A continuación se desarrollan los cálculos que permitan la evaluación técnico-económica del proyecto para el reemplazo de los refrigerantes contaminantes por ecológicos en equipos de aire acondicionado instalados en centrales telefónicas; se considera para los cálculos un periodo de 15 años de vida útil de los equipos de clima y un 50% de interés sobre las inversiones, factores que se tomarán como base para poder realizar los análisis de justificación por los métodos de Valor Presente (VP), Tasa de rendimiento (TR) y periodo de recuperación (PR); Teléfonos de México planea recuperar sus inversiones, de acuerdo con el análisis de rentabilidad antes mencionados, en un periodo no mayor de 5 años por lo que se determinará que cantidad de ingresos por concepto de reemplazos de gas refrigerante deberá tener Telmex para que el proyecto sea económicamente justificable.

5.7.1 MÉTODO DE VALOR PRESENTE

Se observa que el dinero, en el transcurso del tiempo, sufre modificaciones en su valor, lo que hace necesario tener un método que transforme el valor futuro de dicho dinero, a su valor presente.

El método de VP consiste en desarrollar la suma algebraica de los ingresos y egresos que se van a hacer en un proyecto de inversión, afectándolos con un factor que logra el efecto de transformar los valores a presente.

Se tiene que matemáticamente el método de VP está definido por:

$$VP = \pm P \pm A(P/A, i, n) \pm F(P/F, i, n) \quad (5.1)$$

Donde:

$VP =$ Valor presente

$\pm P =$ Será el resultado de la suma algebraica de los costos realizados en el presente

$\pm A =$ Será el resultado de la suma algebraica de los costos anuales realizados en el proyecto

$(P/A, i, n) =$ Factor de conversión de anualidades a presente, a un interés de i , durante n periodos, el cual está definido por:

$$(P/A, i, n) = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1-i)^n} \quad (5.2)$$

Donde:

P/A = Valor presente dada una anualidad

$\pm F$ = Será la suma algebraica de los costos futuros que se hagan en el proyecto

$(P/F, i, n)$ = Factor de conversión de costo futuro a presente a un interés i , durante n periodos, factor que está definido por:

$$(P/F, i, n) = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (5.3)$$

Donde:

P/F = Valor presente dado un valor futuro

5.7.2 MÉTODO DE TASA DE RENDIMIENTO (TR)

Con este método se determina el tipo de interés para el cual, el valor actual de las entradas de dinero (ingresos ó ahorros) es igual al valor actual de las salidas de dinero (desembolsos ó ahorros de dinero que no se han aprovechado) ó bien, se encuentra el tipo de interés en el cual el valor actual de movimientos netos de dinero es igual a cero.

Para encontrar la solución, se utiliza la ecuación (5.1) de VP, igualada a cero.

$$\pm P \pm A(P/A, i, n) \pm F(P/F, i, n) = 0 \quad (5.4)$$

5.7.3 MÉTODO DEL PERIODO DE RECUPERACIÓN (PR)

Con el método de recuperación PR se obtiene el periodo en el cual se recupera la inversión de un proyecto, en este caso se sabe que Telmex quiere recuperar su inversión en un periodo de 5 años para que el reemplazo sea rentable, lo que se desconoce es el monto de los ingresos suficientes necesarios.

5.7.4 DESARROLLO DE CALCULOS Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS

Para los cálculos primero se identificarán las variables conocidas y desarrollar las ecuaciones anteriores para determinar el resultado de cada uno de los métodos.

El valor de los costos realizados en el presente, es el resultado obtenido en la tabla 27 por lo tanto :

$$P = \$ 2,817,588.44 \text{ USD}$$

Para TELMEX la vida útil mínima esperada del equipo de aire acondicionado es de 15 años y el porcentaje sobre sus inversiones es del 50%, y su plan para recuperar al inversión del proyecto de reemplazo de refrigerantes es en un plazo de 5 años, por lo que tenemos :

$$i = 50 \%$$

$$n = 5$$

Una de las variables importantes es A = que son los costos anuales realizados en el proyecto; la cual desconocemos, sin embargo dentro de estos costos anuales se determinó el costo anual por concepto de mantenimiento que es de \$ 768,554.60 USD/año, por lo tanto :

$$A = (x - \$ 768,554.60 \text{ USD/año}) \quad (5.5)$$

Para este caso se utiliza la ecuación (5.1) igualada a cero, para un periodo de 5 años.

Sustituyendo los valores conocidos en la ecuación (5.4) , se tiene que:

$$\pm P \pm A(P/A, i, n) = 0$$

$$-\$ 2,817,588.44 + (x + \$ 768,554.60)(P/A, 50, 5) = 0$$

Despejando:

$$(x + \$ 768,554.60) = \frac{\$ 2,817,588.44}{(P/A, 50, 5)} \quad (5.6)$$

sustituyendo los valores en la ecuación (5.2) :

$$(P / A, i, n) = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1-i)^n}$$

$$(P / A, 50, 5) = \frac{(1+0.50)^5 - 1}{0.50 \cdot (1+0.50)^5}$$

$$(P / A, 50, 5) = 1.7366$$

Sustituyendo los valores obtenidos en la ecuación (5.6) se tiene:

$$(x + \$768,554.60) = \frac{\$2,817,588.44}{1.7366}$$

$$(x + \$768,554.60) = 1,622,474.05$$

$$x = 1,622,474.05 + 768,554.60$$

$$x = 2,391,028.65$$

Sustituyendo en la ecuación (5.5) tenemos:

$$A = \$2,391,028.65 - \$768,554.60$$

$$A = \$1,622,474.05$$

ahora que ya contamos con las variables para poder determinar el valor presente, se evaluará en función a un periodo de 15 años como vía útil del equipo de aire acondicionado que TELMEX tiene como mínimo; sustituyendo en la ecuación (5.2) el nuevo valor de $n = 15$ lo que resulta :

$$(P/A, i, n) = (P/A, 50, 15) = \frac{(1 + 0.50)^{15} - 1}{0.50 \cdot (1 + 0.50)^{15}}$$

$$(P/A, 50, 15) = 1.9954$$

Sustituyendo todos los datos en la ecuación (5.1) tenemos:

$$VP = \pm P \pm A(P/A, i, n)$$

donde :

$$P = -\$2,817,588.44$$

$$A = \$1,622,474.05$$

$$(P/A, 50, 15) = 1.9954$$

$$VP = -\$2,817,588.44 + \$1,622,474.05 \cdot (1.9954)$$

Por lo tanto:

$$\text{Valor Presente} = \$ 419,896.27$$

Ahora se determinará la tasa de rendimiento sustituyendo los valores en la ecuación (5.4) donde i es el porcentaje a encontrar :

$$-\$2,817,588.44 + (\$1,622,474.05)(P/A, i, 15) = 0$$

Para este caso el valor de i se desconoce y representa la incógnita, despejando:

$$(P/A, i, n) = \frac{\$2,817,588.44}{\$1,622,474.05} = 1.7366$$

Calculando por "tanteos" a que interés i corresponde el factor de 1.7366, se tiene que sustituyendo en la ecuación (5.4):

Para $i = 40\%$

$$(P/A, 40, 5) = \frac{(1+0.4)^5 - 1}{0.4 * (1+0.4)^5} = \frac{4.37824}{2.151296} = 2.035516$$

Para $i = 60\%$

$$(P/A, 60, 5) = \frac{(1+0.6)^5 - 1}{0.6 * (1+0.6)^5} = \frac{9.48576}{6.291456} = 1.507720$$

Interpolando entre ambos valores:

$$Y1 \quad 40\% = 2.035516 \quad X1$$

$$Y \quad i = 1.7366 \quad X$$

$$Y2 \quad 60\% = 1.507720 \quad X2$$

$$Y = \frac{Y2 - Y1}{X2 - X1} (X - X1) + Y1 = \frac{60 - 40}{1.507720 - 2.035516} (1.7366 - 2.035516) + 40 = 51.3269$$

Por lo tanto:

Tasa de rendimiento = 51.32 %

Tabla 28 Resumen del análisis económico para el proyecto de reemplazo de refrigerantes

Por concepto de:	Resultados
Costo del proyecto de reemplazo de gas y cambio de equipos	\$ 2,817,588.44 Usd
Costo de operación y mantenimiento (egresos anuales)	\$ 768,554.60 Usd/Año
Vida útil del equipo de aire acondicionado	15 años
Periodo estimado de recuperación (PR)	5 años
Valor presente (VP)	\$ 419,896.27 Usd
Tasa de rendimiento (TR)	51.32 %
Ingresos anuales necesarios por concepto del reemplazo	\$ 1,622,474.05 Usd

Se puede concluir que el proyecto de reemplazo de refrigerantes contaminantes por ecológicos representa altos costos ya que los ingresos necesarios anuales son muy elevados, por lo que económicamente implica riesgos de inversión, sin embargo, se tiene que considerar que no se compara con el daño que se le está causando a la capa de ozono por la falta de atención a los equipos instalados y en operación con este gas contaminante.

5.8 EL MANTENIMIENTO Y EL COSTO POR FUGAS DE REFRIGERANTE

Debido a que no se tiene una adecuada cultura del mantenimiento, el cual representa un verdadero dolor de cabeza para los dueños de equipo de aire acondicionado, ya que tendrán que considerar dentro de sus presupuestos este rubro actualmente el más aplicado es el tipo correctivo, sin embargo, con una buena planeación y logística, la prevención deberá cada día tomar más importancia que la corrección.

Para Telmex, el costo por concepto de mantenimiento de sus equipos de aire acondicionado en centrales telefónicas es alto pero necesario, ya que el precio que se paga por un mantenimiento es mínimo y justificable en comparación con las pérdidas económicas que se derivarían de la interrupción del servicio telefónico. Anteriormente se contaban con programas de mantenimiento periódicos y rutinarios para cada equipo, lo que representaba un gasto mensual que actualmente es inoperante e incosteable, sin embargo, dichos programas se revisaron en su cantidad y calidad, teniendo como resultado ahora mantenimientos enfocados en rutinas más específicas en los puntos más vulnerables, así como más importantes de cada tipo y capacidad; con estas consideraciones se pretende conseguir una mayor eficiencia al recurso humano, así como el material

para lograr llegar al objetivo principal de reducir costos, tener en la planta telefónica equipos más confiables, para así reducir la atención de servicios emergentes por fallas en los equipos de clima.

Esta adecuación a los programas de mantenimiento y aplicados por la empresa Fuerza y Clima, S.A. de C.V. a los equipos instalados en las centrales telefónicas, representó una disminución aproximada entre el 35 y 40% del costo por concepto de mantenimiento.

Una vez que se ha comprendido la gran importancia que tiene el mantenimiento en cualquier actividad productiva, se valorará la calidad de éste y lo que representa una deficiente capacitación del personal técnico para la contribución en el deterioro en la capa de ozono.

La falta de capacitación así como la herramienta adecuada, es uno de los principales factores que propician las fugas de refrigerante en los sistemas; la falta de información acerca del manejo de los equipos de aire acondicionado y de los refrigerantes, da como resultado que se cometan errores dañando las válvulas de purga y carga de gas, esto es por que no se utiliza la herramienta apropiada, así también, la falta de conocimiento de la importancia que representa la recuperación de refrigerantes, sin embargo, es más fácil dejar fugar al medio ambiente el gas y una vez vacío el sistema cargarlo nuevamente con gas refrigerante, sin importar el daño que se cause y así contribuir cada día más al abalimiento de la capa de ozono.

Fuerza y Clima, S.A. de C.V. (FYCSA) empresa filial de Telmex y que tiene a su cargo el mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos de aire acondicionado en las centrales telefónicas a nivel nacional; cuenta con historiales estadísticos de consumos de refrigerantes de todos sus equipos.

Se considera como consumo por concepto de mantenimiento al reemplazo total del refrigerante debido a reparaciones de compresores, la recarga de refrigerante por fugas en algún dispositivo (Válvulas, empaques, mangueras, tuberías, sellos, etc), las fugas por malos manejos en los tanques.

Tomando en cuenta todas estas consideraciones se adquieren y se consumen para la actividad del mantenimiento preventivo y correctivo un **promedio mensual de 1000 Kilogramos** para la totalidad de equipos instalados a nivel nacional en centrales telefónicas que FYCSA atiende en programas de mantenimiento.

En la tabla 28 se determinará el porcentaje de gas que se fuga en promedio por equipo al medio ambiente tomando en cuenta el inventario aplicando la información proporcionada por FYCSA.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 28 Estimación de la cantidad de gas refrigerante que se fuga al medio ambiente.

Toneladas de refrigeración en operación y funcionamiento	Cantidad de Refrigerante contenido en equipos en operación (Ver nota 1)	Cantidad de Refrigerante que se fuga mensualmente (Ver nota 2)	Porcentaje de gas que se fuga mensualmente con respecto a la totalidad de equipos en operación
63,675 T.R.	63,675 kg	1000 Kg	1.57 %

Nota 1 : Se toma la siguiente consideración para determinar de manera aproximada la cantidad de kilogramos de refrigerante (1 Tonelada de refrigeración equivale aproximadamente a 1 Kg de refrigerante).

Nota 2 : Tomando en cuenta el dato que FYCSA proporcionó por concepto de fugas de refrigerante y solamente se utilizará para determinar de manera aproximada los costos por fugas de refrigerante.

El resultado anterior hace valorar de manera importante y preocupante lo referente al daño que le está causando a la capa de ozono y por consecuencia al medio ambiente por la emisión de gases refrigerantes contaminantes; en México existen una gran cantidad de empresas y talleres que se dedican al mantenimiento de sistemas de aire acondicionado de los cuales no se lleva una regulación por parte de alguna dependencia de gobierno y por lo cual no se puede determinar el buen uso de los refrigerantes que cada empresa o taller lleva a cabo para realizar su actividad en programas de mantenimiento.

Las empresas medianas a pequeñas generalmente no cuentan con la capacitación necesaria así como la infraestructura y el equipamiento necesario para poder manejar de una manera adecuada el gas refrigerante para poder reciclarlo ó simplemente para no dejarlo escapar al medio ambiente; si una empresa tan importante como FYCSA que maneja como un consumo mensual aproximadamente de mil kilogramos de gas y si a este dato le sumamos el consumo de cada una de las empresas grandes, medianas, pequeñas y talleres ó de cada refrigerador domestico con el cual cuenta cada hogar en México, lo que resulta una cantidad muy preocupante de gas refrigerante contaminante que está en operación y teniendo el riesgo que por negligencia o desconocimiento un porcentaje muy alto sea enviado al medio ambiente.

Por esta razón es importante tomar conciencia del daño que se le provoca a nuestro planeta, sin dejar a un lado la importancia que tiene el acondicionamiento ambiental a procesos productivos como la climatización de centrales telefónicas, para confort humano o para cualquier actividad que requiera de un clima controlado.

CONCLUSIÓN

Con el desarrollo del presente trabajo de tesis, me permitió entender cada uno de los procesos y elementos que forman el ciclo de refrigeración así como ampliar el panorama para comprender y valorar realmente la importancia que tiene el aire acondicionado para el confort humano, así como para el acondicionamiento ambiental en procesos industriales y en específico en la industria de las telecomunicaciones en particular en salas telefónicas.

Se demostró que las características térmicas de los gases refrigerantes ecológicos alternativos son similares y en algunos casos superiores a los refrigerantes contaminantes que actualmente operan en los equipos de aire acondicionado, esto se debe a que los fabricantes de gases refrigerantes a nivel mundial han aceptado el compromiso de invertir en investigación para desarrollar y mejorar cada día nuevos refrigerantes alternativos, así como tener como prioridad la conservación del ambiente, tratando siempre que los elementos que se utilicen para elaborar estos, no dañen la capa de ozono y así contribuir al mejoramiento del medio ambiente en el planeta.

En lo que respecta al funcionamiento de los nuevos refrigerantes ecológicos en los equipos de aire acondicionado instalados en las centrales telefónicas, se dio una voz de alarma en el sentido de que va a depender de manera importante el estado físico del equipo y de cada uno de sus componentes para obtener los mejores resultados en la operación al momento de reemplazar con el nuevo refrigerante, es decir que será factor determinante el mantenimiento que se le haya realizado a través de su vida de operación al equipo; al cual se le reemplazará el nuevo gas, ya que de no ser así, se espera que la eficiencia vaya disminuyendo en función del estado en que se encuentra el equipo hasta llegar a establecer que el equipo no es óptimo para el reemplazo, ya que su adecuación, rehabilitación y mantenimiento sería muy costoso, por lo que se tendrá que tomar la decisión de considerar el cambio por un equipo nuevo de fábrica que contenga el gas ecológico.

Esta baja en la eficiencia puede llegar a ser imperceptible y se tratará de minimizar por un tiempo, sin embargo, el equipo trabajará un poco más para llegar a cumplir con las condiciones de temperatura exigidos con el refrigerante anterior, también es cierto que la baja de eficiencia traerá como consecuencia el aumento en los costos de operación, como un mayor consumo eléctrico factor que hoy en día es uno de los más cuidados por el costo que representa en la operación, así como una mayor frecuencia de mantenimientos correctivos y preventivos lo que representará gastos muy importantes y no considerados en los presupuestos de mantenimiento de las empresas.

Es importante mencionar que en base en los resultados obtenidos por medio de los diferentes métodos aplicados: valor presente, periodo de recuperación y tasa de rendimiento; se determinó que no es justificable la inversión ya que los costos para llevar a cabo el proyecto de reemplazo de gases contaminantes por ecológicos son altos, si embargo debemos considerar y evaluar el costo que representaría el daño que se le esta haciendo al medio ambiente y en especial a la capa de ozono, para así poder tomar la decisión de hacer un esfuerzo para iniciar programas para el reemplazo eficaz de los gases contaminantes y trabajar en conjunto con fabricantes de gases, fabricantes de equipos de aire acondicionado, gobiernos así como autoridades responsables para encontrar los medios y apoyos necesarios para que las empresas puedan reducir los costos del reemplazo de gases contaminantes y así incentivar cada día que estas acciones sean de manera voluntaria en beneficio de nuestro medio ambiente.

En México no existe una cultura del mantenimiento preventivo, es decir que es más recurrente la aplicación del mantenimiento correctivo, por lo que mencionar "*mantenimiento preventivo*" se define como un gasto que tal vez no sea necesario o primordial, ya que mientras el equipo está operando correctamente no hay por que preocuparse, sin embargo cuando el equipo presenta una falla y pone en riesgo el proceso productivo o cuando la sala telefónica esta apunto de protegerse por alta temperatura lo que representará un costo incalculable por pérdidas de llamadas, llamadas no realizadas ó no facturadas y solamente hasta que nos sucede este tipo de situaciones es cuando se debe invertir en un programa periódico adecuado de mantenimiento garantizaremos una larga vida útil de los equipos de aire acondicionado, así como la continuidad del servicio telefónico lo que significará que el equipo que haya recibido un servicio de mantenimiento adecuado no tendrá problema significativo en el reemplazo del gas refrigerante y así el costo por este reemplazo será minimo.

Hoy en día en nuestro país se ha legislado en lo referente a la protección al ambiente de los cuales se han emitido normas que establecen especificaciones de protección ambiental y prohibición del uso de compuestos clorofluorados, pero estas normas solamente aplican para la fabricación e importación de equipos nuevos y no se ha legislado referente a la protección del ambiente por los gases que se encuentran actualmente en operación en los equipos de aire acondicionado instalados en la industria nacional, por lo que el problema potencial está latente y en espera de soluciones para evitar que este gas, que se encuentra funcionando en los equipos llegue a dañar aun más el medio ambiente; sin embargo es un gran paso el que se ha dado en las restricciones en los equipos nuevos, por lo que nos hace falta mucho trabajo de legislación en comparación con las naciones desarrolladas, que en sus leyes este tipo de temas es de primordial revisión y actualización.

Por lo que se deberá fomentar el reemplazo de los gases contaminantes por medio de incentivos fiscales, económicos ó de apoyos tecnológicos a las empresas a fin de dar solución de fondo al problema y así contribuir de manera total a la protección de la capa de ozono y asegurar la conservación del medio ambiente de nuestro país y del planeta.

BIBLIOGRAFÍA

Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study (AFEAS) Compañías miembros : Asahi Galss Co., Ltd., Ausimont S.p.A., Celanese GmbH, Daikin Industries, Ltd., E.I.DuPont de Nemours & Co., Inc., Elf Atochem, S.A., Honeywell, ICI Chemical & Polymers, Ltd., LaRoche Industries Inc., Rhodia, Ltd y Solvay, S.A.

- * *Atmospheric Chlorine: CFCs and Alternative Fluorocarbons*
www.afeas.org/atmospheric_chlorine.html
- * *Breakdown Products of Alternatives*
www.afeas.org/breakdown_products.html
- * *Contribution of Greenhouse Gases to Climate Forcing Relative to CO₂*
www.afeas.org/greenhouse_gases.html
- * *Montreal Protocol on Substances than Deplete the Ozone Layer*
www.afeas.org/montreal_protocol.html
- * *Production and Sales of Fluorocarbons*
www.afeas.org/production_and_sales.html
- * *Total Global Warming Impact (TEWI)*
www.afeas.org/tewi.html

AlliedSignal Inc. *Genetron 134a Retrofit guidelines for stationary application*
U.S.A. 1996.

Ausimont Montedison Group. Refrigeration. USA. 2000 www.ausimont.com/docs/app_refrig.html

Baumeister, T., Avallone, E., Baumeister III, T. *Marks manual del ingenirero mecánico*. McGraw Hill. México. Enero 1988.

Carrier Air Conditioning Company. *Handbook of Air conditioning, System design (Manual de Aire Acondicionado)*. Marcombo-Mc graw Hill. España. 1996.

Carrier Corporation. 2001 Catalog Light and Heavy Comercial Products and Systems. Syracuse, New York USA. 2000 www.carrier.com

Carrier México, S.A. de C.V. *Fundamentos de refrigeración*. México. 1997

Carrier México, S.A. de C.V. *El libro de oro del aire acondicionado*. Carrier Corporation. México. 1999

Carrier México, S.A. de C.V. *Presentación de Refrigerantes Alternativos*. México. 2000

E.I. du Pont de Nemours and Company, Inc.

- * *Refrigerantes SUVA* www.dupont.com.mx/suva
- * *About SUVA Refrigerants* www.dupont.com/suva/na/about
- * *Technical Information and Literature* www.dupont.com/suva/na/usa/literature/prodtsel/choose.html

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Dowdeswell, E. *Programa de Industria y medio ambiente*
Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. México.

Elf Atochem. *CFC phase out*. Francia. 2000. www.atofina.com/groupe/gb/comm

Havrella, R. *Fundamentos de Calefacción, ventilación y Acondicionamiento de Aire*.
Mac graw Hill. México. 1988.

Hernández Goribar, E. *Fundamentos de Aire Acondicionado y Refrigeración*.
Limusa. México. 1995.

Instituto Nacional de Ecología (INE), Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) y La Secretaría de Relaciones Exteriores (SER). *México cumple sus compromisos internacionales para proteger la capa de ozono con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)*. México. 1999. www.pnud.org.mx/pnud/eventos/bol_protocolo.html

Instituto Nacional de Ecología, Agencia de Protección Ambiental de E.E.U.U. y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. *Taller de Capacitación para Reducir Emisiones de Clorofluorocarbonos en la Industria de Aire Acondicionado*. 27 y 28 de Julio de 1992.

Jennings, B.H. *Aire Acondicionado y Refrigeración*.
C.E.C.S.A. México. 1979.

KLEA. *Refrigerants*. U.K. 1999. www.icikle.com/refrigeration/america/products

Nobel Foundation. *Dr. Mario J. Molina The Nobel Prize in Chemistry 1995*. Suecia. Junio 16, 2000
www.nobel.se/chemistry/laureates/1995/molina-autobio.html

Quimobásicos, S.A. de C.V. México

* *Genetron 134^a Lineamientos de Adecuación*

* *Genetron Mezclas MP Lineamientos de Adecuación*

* *Momento de cambio en la industria de la refrigeración y aire acondicionado*

* *Programa de recuperación de gases refrigerantes genetron*

Rolle, K.C. *Termodinámica*.
Interamericana. 2^a. México. 1984.

Stoecker, W.F. *Refrigeración y Acondicionamiento de Aire*.
McGraw-Hill. México. 1965.

Stulz GmbH. *Report on the retrofit of Klea 66 to reuters computer room air conditioners operating on R-22*. Alemania. 3 de Octubre de 1994

Stulz GmbH. *Seminario Equipos de aire acondicionados de precisión y humidificadores ultrasónicos*.
Hamburgo, Alemania. Noviembre 1994

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Teléfonos de México, S.A. de C.V. *Estudio comparativo entre el equipo de aire acondicionado convencional y el equipo de aire acondicionado de precisión.* México. Septiembre 1989

Teléfonos de México, S.A. de C.V. *Historia de la telefonía en México.* México. 1991

Universidad Nacional Autónoma de México, División de Educación Continua, Facultad de Ingeniería
Curso: Proyecto de Aire Acondicionado. México. 1993

United Nations Environment Programme (UNEP) *The Montreal Protocol.* USA. 1997.
www.unep.org/unep/secretar/ozone/issues.htm

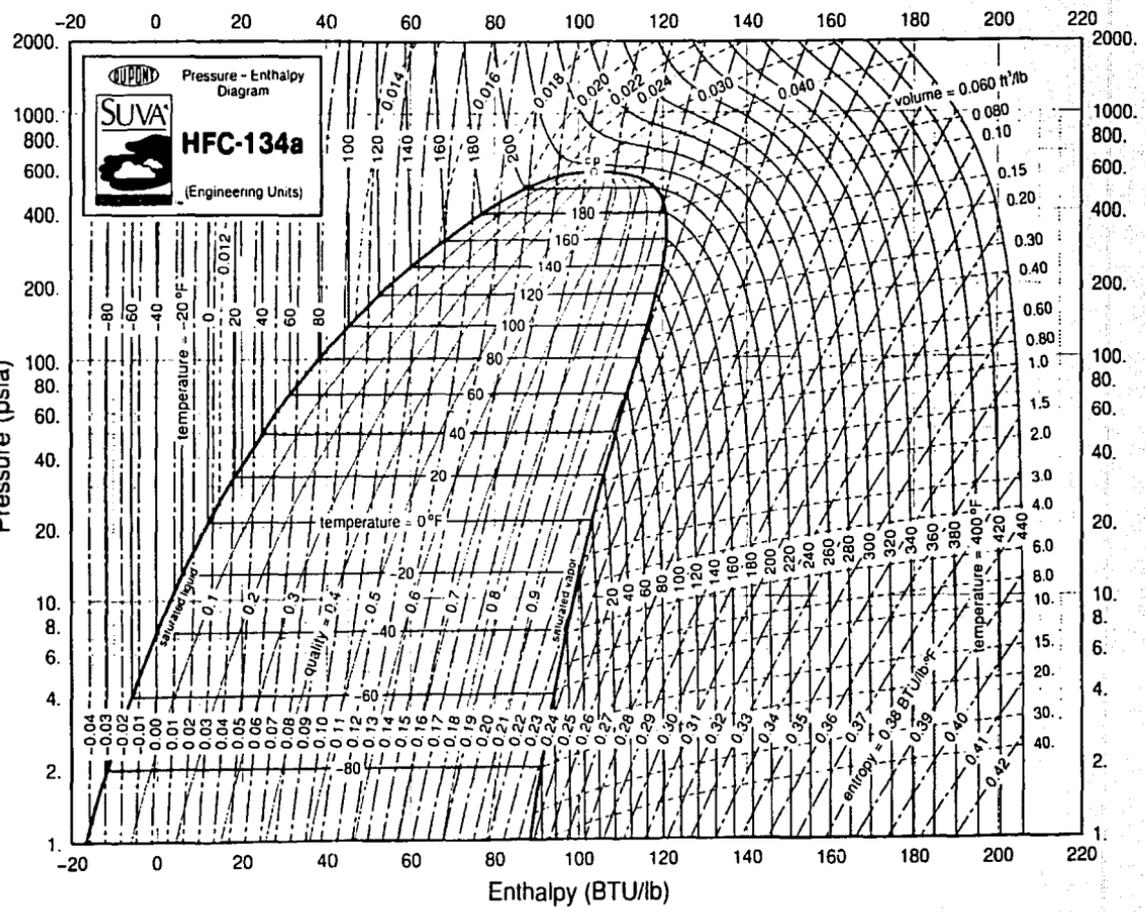
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXOS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

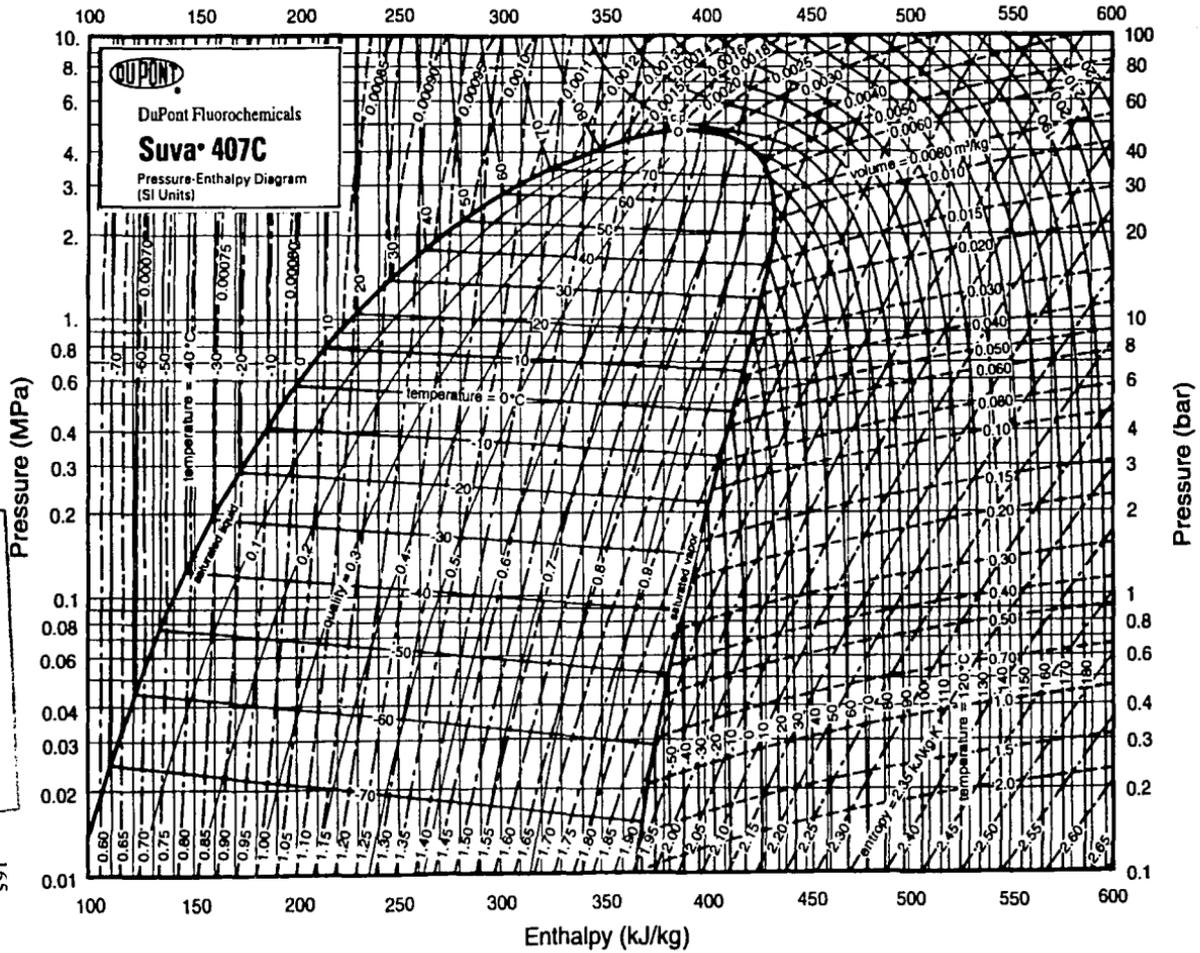
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Pressure (psia)



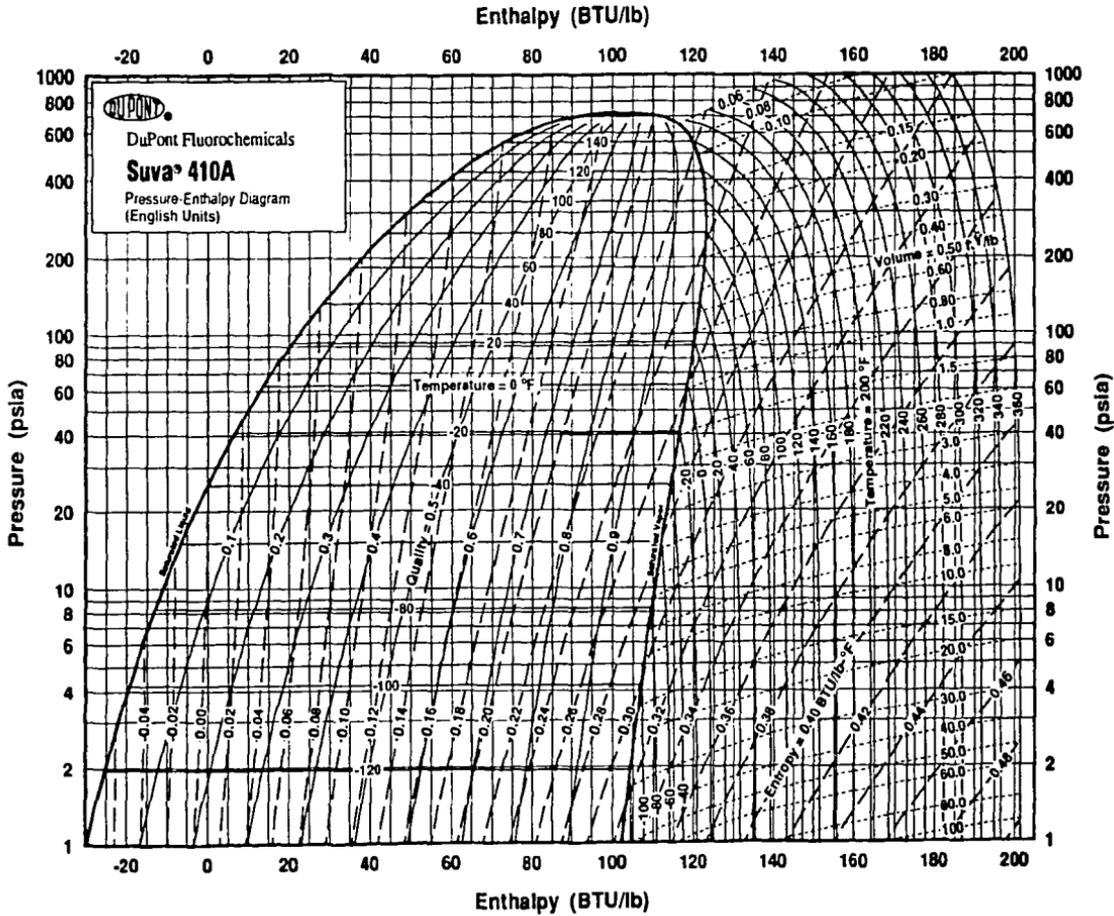
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

165



TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

166



TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

167

