



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



División de Educación Continua, Facultad de Ingeniería, UNAM.

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN REFRIGERACIÓN

MÓDULO I

INTRODUCCIÓN A LA
REFRIGERACIÓN
CA 242

TEMA

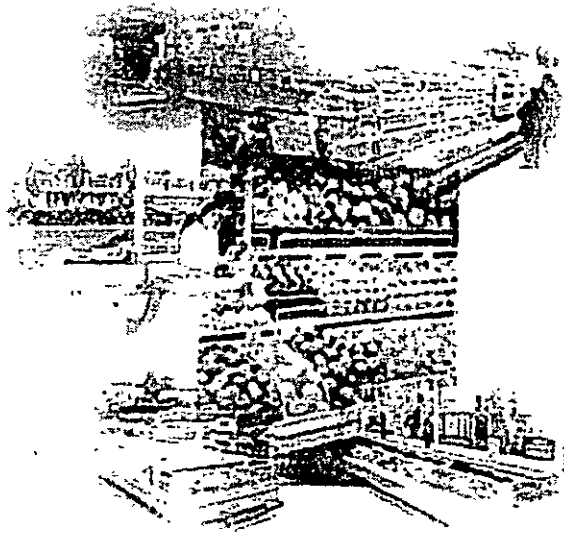
APUNTES GENERALES



INGENIERIA MECANICA

EXPOSITOR: ING. ARTURO ALBA AGUILAR
DEL 16 AL 20 DE ABRIL DE 2007
PALACIO DE MINERÍA

HVAC & R
Mejores prácticas



Arturo Alba A.

Indice

Pag.

Introducción

Objetivo del curso

1. Refrigeración

1.1 Antecedentes Históricos

Efectos del frío en alimentos

1.2 Conceptos termodinámicos

1.2.0 El frío

1.2.1 Principios

1.2.2 Presión. Atmosférica, absoluta, manométrica

1.2.3 Escalas de temperatura

1.2.4 Leyes de la termodinámica.

Energía almacenada

Energía en transición

Métodos de transferencia de calor

Tonelada americana de refrigeración

1.2.5 La segunda Ley de la termodinámica.

1.2.6 Ciclo de Carnot

1.2.7 Refrigeración definición

2. Sistema mecánico de refrigeración por compresión de vapor

2.1 El ciclo de refrigeración diagrama PH

2.1. Ciclo ideal de refrigeración.

2.2. Ejemplo del ciclo ideal

2.3 Ciclo real de refrigeración

3. Componentes básicos del sistema de refrigeración

3.1 Dispositivo de expansión.

3.1.1 La válvula de termo expansión

3.1.2 El tubo capilar

3.2 El refrigerante

3.3 El evaporador

3.4 El condensador

3.5 El compresor

3.5.1 Reciprocante

3.5.2 Rotatorio

3.5.3 Scroll

3.5.4 Tornillo Helicoidal

3.5.5 Centrifugo

3.6 Accesorios (componentes auxiliares)

- 3.6.1 Acumulador de succión
- 3.6.2 Separador de aceite
- 3.6.3 Indicador de líquido
- 3.6.4 Válvula solenoide
- 3.6.5 Filtro deshidratador
- 3.6.6 Válvula reguladora de presión del evaporador (EPR)
- 3.6.7 Válvula reguladora de presión de aspiración (CPR)
- 3.6.8 Tanque recibidor.
- 3.6.9 Antivibradores

3.7 Protecciones mecánicas.

- 3.7.1 Presostatos
 - 3.7.1.1 Alta y baja
- 3.7.2 Presión de Aceite
- 3.7.3 Control de Temperatura
- 3.7.4 Inyector de líquido
- 3.7.5 Ventiladores para cabezal
- 3.7.6 Temporizador para deshielo
 - 3.7.6.1 Microprocesador electrónico
 - 3.7.6.2 Electromecánico
 - 3.7.6.3 Accesorios para temporizadores electromecánicos
 - Disco termico
 - Retardador de tiempo (Timer)

5. Refrigerantes

- Aceites para sistemas de refrigeración.
- Aceite mineral
- Aceite sintético

6. Sistemas de refrigeración.

- 6.1 Sistema de expansión directa
- 6.2 Sistema Inundado
- 6.3 Sistema Recirculado
- 6.4 Enfriamiento intermedio
- 6.5 Refrigeración por etapas
- 6.6 Refrigeración en cascada

Bibliografía

Introducción

Las civilizaciones antiguas disponían de la refrigeración de forma natural.

La refrigeración mecánica se basa en las diferentes formas de transferencia de calor.

Hoy en día es imprescindible contar con la refrigeración en las distintas aplicaciones, doméstica, comercial e industrial.

El aire acondicionado es una aplicación técnica que se fundamenta en la utilización de la refrigeración.

La razón por la cual existe la industria de la refrigeración y el acondicionamiento de aire (refrigeración, ventilación y calefacción (HVAC & R), es porque la naturaleza no siempre proporciona las condiciones ideales interiores.

La época del ahorro de energía ha obligado a más de uno a volver a sumergirse en los cálculos térmicos y energéticos.

El ahorro es en cierta manera, un concepto económico y como tal va asociado al concepto tiempo. Un equipo consume tanta más energía cuanto más tiempo funciona.

El ahorro y uso racional de energía es responsabilidad de todas las partes que intervienen en: el diseño, selección, instalación, operación y mantenimiento de los equipos de refrigeración y aire acondicionado.

Un alto porcentaje de la energía que se consume en un edificio climatizado (de un 40 a 60%) corresponde a los equipos de aire acondicionado.

Objetivo del curso.

Al final del curso el ingeniero y/o técnico obtendrá los conocimientos básicos en que se fundamenta la operación de los sistemas de refrigeración y aire acondicionado.

Será capaz de utilizar y aplicar los conceptos teóricos en beneficio del máximo aprovechamiento y uso racional de la energía.

Estará en condiciones de realizar modificaciones y/o retrofits a equipos existentes.

Para ser capaz de proyectar, seleccionar, instalar, mantener y/o reparar, el ingeniero y/o técnico debe comprender completamente el propósito y la función de cada componente del sistema de refrigeración.

1 Antecedentes de la refrigeración

En épocas prehistóricas, el hombre encontró que su vida durante las épocas en que el alimento no estaba disponible era muy difícil si no contaba con reservas de alimentos almacenados en el frío de una cueva o embalados en la nieve. En China, antes del primer milenio, el hielo fue cosechado y almacenado. Hebreos, Griegos, y Romanos colocaron cantidades grandes de nieve en los hoyos de almacenaje cavados en la tierra y aislados con madera y paja. Los egipcios antiguos llenaron los tarros de barro de agua hervida y los pusieron en sus azoteas, así exponiendo los tarros a la noche se refrescaban con el aire. Cuando un líquido se vaporiza rápidamente, se expande. Las moléculas de levantamiento del vapor aumentan precipitadamente su energía cinética y este aumento se dibuja de los alrededores inmediatos del vapor, estos alrededores por lo tanto se refrescan.

La etapa intermedia en la historia de alimentos que se refrescaban era agregar los productos químicos como el nitrato de sodio o el nitrato del potasio al agua que hacía bajar la temperatura. El vino que se refrescaba vía este método fue registrado en 1550, al igual que las palabras "a refrigerar".

Las bebidas que se refrescaban vinieron en vogue antes de 1600 en Francia. En vez del agua que se refrescaba en la noche, la gente rotó las botellas en el agua en la cual el salitre había sido disuelto. Esta solución se podía utilizar para producir temperaturas muy bajas y para hacer el hielo. Antes de fin del siglo 17, los licores helados y los jugos congelados eran populares en la sociedad francesa.

La refrigeración artificial primero sabida fue demostrada por Guillermo Cullen en la universidad de Glasgow en 1748. Cullen dejó el éter ethyl hervir en un vacío parcial; él sin embargo, no utilizó el resultado para ningún propósito práctico.

En cuanto al hielo para fines prácticos de enfriamiento los primeros indicios que se conocen de su distribución nos relatan que primero fue enviado comercialmente fuera de la calle del canal en la ciudad de Nueva York a Charleston, Carolina del Sur en 1799, desafortunadamente, no había mucho hielo en buen estado cuando llegaba el envío a su destino. Los nuevos ingleses Frederick Tudor y Nathaniel Wyeth vieron el potencial para el negocio del hielo y revolucionaron la industria con sus esfuerzos por la primer mitad de 1800s. Tudor, que se conocía como el "rey del hielo", centraba sus envíos de hielo a los climas tropicales. Él experimentó con los materiales aislantes y construyó los icehouses que disminuyeron pérdidas por derretimiento a partir de 66 por ciento a menos de 8 por ciento. Por su parte Wyeth ideó el método de los bloques uniformes que de manera barata y rápidamente transformaron la industria del hielo, permitiendo apresurar técnicas de tramitación en almacenaje, el transporte y la distribución con menos pérdida.

En 1805, un inventor americano, Oliver Evans, diseñó la primera máquina de la refrigeración que utilizó el vapor en vez de líquido. Evans nunca construyó su máquina, pero una similar a él fue construido por un médico americano, Juan Gorrie. En 1842, el médico americano Juan Gorrie, diseñó una máquina para refrescar habitaciones de pacientes en un hospital de la Florida, diseñado y construido un aparato aire para tratar a

pacientes de la fiebre amarilla. Su principio a base de comprimir un gas, que lo enfría enviándolo a través de bobinas de la radiación, y después ampliarlo para bajar la temperatura más lejos, (esta base es la que se ha usado en refrigeradores de tiempos modernos.) Dando buenos resultados de su práctica médica, le concedieron la primer patente en ESTADOS UNIDOS para la refrigeración mecánica en 1851.

La refrigeración comercial se cree pudo haber sido iniciada por un hombre de negocios americano, Alexander C. Twining, en 1856. Luego, un australiano, James Harrison, examinó los refrigeradores usados Gorrie e introdujo la refrigeración de la compresión de vapor a las industrias de elaboración de la cerveza y empacadoras de carne.

Ferdinand Carré de Francia desarrolló un sistema algo más complejo en 1859. Semejante de máquinas anteriores de compresión, que utilizaron el aire como líquido refrigerador, el equipo de Carré contuvo el amoníaco rápidamente que se ampliaba. (El amoníaco en fase líquida en una temperatura mucho más baja que el agua absorbe más calor.) Los refrigeradores de Carré fueron utilizados extensamente, y la refrigeración de la compresión del vapor se convirtió, y sigue siendo, el método más extensamente usado para enfriamiento. Sin embargo, el coste, el tamaño, y la complejidad de los sistemas de refrigeración de aquel tiempo, juntados con la toxicidad de sus líquidos refrigerantes de amoníaco, previnieron el uso general de refrigeradores mecánicos en el hogar. La mayoría de las casas utilizaron los iceboxes que fueron provistos casi diariamente de los bloques del hielo de una instalación frigorífica local.

Comenzando en el 1840s, los coches refrigerados fueron utilizados para transportar la leche y la mantequilla. Antes de 1860, el transporte refrigerado fue limitado sobre todo a los mariscos y a los productos lácteos. El coche refrigerado del ferrocarril fue patentado por J.B. Sutherland de Detroit, Michigan en 1867. Él diseñó un coche aislado con las arcones del hielo en cada extremo. El aire vino adentro en la tapa, pasó a través de las arcones, y circuló a través del coche por la gravedad, controlada por el uso de colgar las aletas que crearon diferencias en temperatura del aire. El primer coche refrigerado para llevar la fruta fresca fue construido en 1867 por Parker Earle de Illinois, que envió las fresas en el ferrocarril de la central de Illinois. Cada pared contuvo 100 libras de hielo y 200 cuartos de galón de fresas. No era hasta 1949 que un sistema de refrigeración hizo su manera en la industria que acarrea por un dispositivo que enfriaba montado en los techos, patentado por Fred Jones.

La elaboración de la cerveza era la primera actividad en los estados norteros de los estados unidos de america para utilizar la refrigeración mecánica extensivamente, comenzando con una máquina de la absorción usada por Sons Brewing Company de S. Liebmann en Brooklyn, Nueva York en 1870. La refrigeración comercial fue dirigida sobre todo en las cervecerías en 1870s y antes de 1891, casi cada cervecería fue equipada de las máquinas de refrigeración.

La fuente natural del hielo se convirtió en una industria y así mismo más compañías incorporaron el negocio, precios disminuidos, y la refrigeración que usaba el hielo llegó a ser más accesible. Antes de 1879, había 35 plantas comerciales de hielo en América, más

de 200 a la década siguiente, y 2000 antes de 1909. No había laguna segura de no raspar para la producción de hielo, por ejemplo en el lago de Walden donde 1.000 toneladas de hielo fueron extraídas cada día en 1847.

Sin embargo, como es de imaginarse el hielo como medio de la refrigeración, se convirtió en un problema de salud debido principalmente a la contaminación de los lagos por las descargas de aguas residuales. Las muestras de un problema eran primero evidentes en el sector cervecero. Muy pronto los sectores de empacadoras de carne y lecheros siguieron con sus quejas. La tecnología de la refrigeración proporcionó la solución: enfriar mecánicamente, dando a luz a la refrigeración mecánica.

Carl (Paul Gottfried) von Linde en 1895 instaló una planta en grande para la producción del aire líquido. Seis años más tarde él desarrolló un método para separar el oxígeno líquido puro del aire líquido que dio lugar a la conversión industrial extensa a los procesos que utilizaban el oxígeno (un ejemplo de esto último: en la fabricación de acero).

Aunque los empacadores de carne eran más lentos en adoptar la refrigeración que las cervecerías, utilizaron en última instancia la refrigeración pervasively. Antes de 1914, la maquinaria instalada en casi todas las plantas americanas del empaque de carne era el sistema de la compresión del amoníaco, que tenía una capacidad de refrigeración sobre 90.000 tons/día.

A pesar de las ventajas inherentes, la refrigeración tenía sus problemas. Los refrigerantes como el dióxido de sulfuro y el cloruro metílico hacían morir a la gente. El amoníaco tenía un efecto tóxico igualmente serio si se escapaba. Los ingenieros de refrigeración buscaron substitutos aceptables hasta los años 20, cuando un número de refrigerantes sintéticos llamados los halocarbonos o CFCs (chlorofluorocarbonos) fueron desarrollados por Frigidaire. Estas sustancias fueron patentadas bajo la marca de Freón. Químicamente, Freón es inodoro y es tóxico solamente en dosis extremadamente grandes.

Sin embargo el hielo, elaborando cerveza, y las industrias de empaque de carne eran beneficiarios importantes de la refrigeración, refrigeración encontrada para muchas de las otras industrias a favor de su negocio. La producción del hierro consiguió un alza, como la refrigeración quitó la humedad del aire entregado a los altos hornos, aumentando la producción. Los molinos del textil utilizaron la refrigeración en mercerizar, blanquear, y teñir. Las refinerías de petróleo la encontraron esencial, al igual que los fabricantes del papel, de medicinas, del jabón, del pegamento, del pulimento del zapato, del perfume, del celuloide, y de materiales fotográficos.

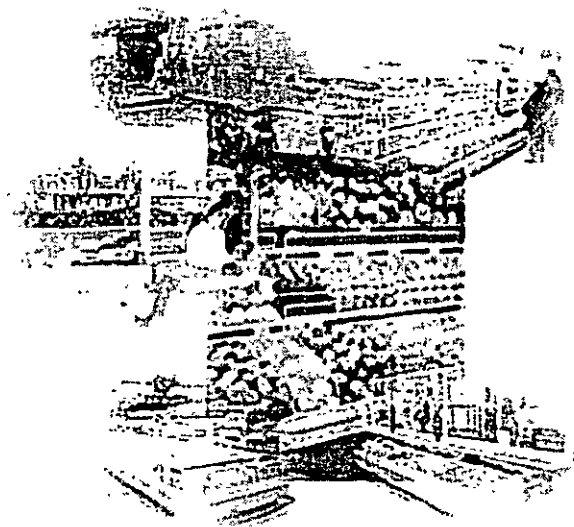
La piel y el almacenaje de lana de las mercancías podían batir las polillas usando almacenes refrigerados. La refrigeración también ayudó a cuartos de niños y a floristas a resolver especialmente necesidades estacionales puesto que las flores del corte podrían durar más tiempo. Por otra parte, había el uso mórbido de preservar cuerpos humanos. Los negocios del turismo incluyendo los hoteles, restaurantes, salones, y fuentes de sodas, demostraron ser mercados grandes para el hielo.

Durante la Guerra Mundial la refrigeración en fábricas de municiones proporcionó el control terminante requerido de temperaturas y de la humedad. Las naves que luchaban

aliadas sostuvieron las máquinas del anhídrido carbónico para guardar la munición bien debajo de las temperaturas en las cuales los explosivos altos llegan a ser inestables.

En 1973 el profesor James Lovelock divulgó encontrar cantidades de rastro de gases refrigerantes en la atmósfera. En 1974, Sherwood Rowland y Mario Molina predijeron que los gases refrigerantes del chlorofluorocarbono alcanzarían la estratosfera alta y allí dañarían la capa protectora de ozono. En 1985 el "agujero de ozono" sobre el antártico había sido descubierto y antes de 1990 la predicción de Rowland y de Molina estaba correctamente probada.

Los componentes básicos del sistema de refrigeración moderno de hoy son un compresor; un condensador; un dispositivo de expansión, que puede ser una válvula, un tubo capilar, un motor, o una turbina y un evaporador. El líquido refrigerador de gas primero es comprimido, generalmente por un pistón, y en seguida empujado a través de un tubo en el condensador. En el condensador, el tubo del serpentín que contiene el vapor se pasa a través del aire que circula o de un baño del agua, que quita algo de la energía térmica del gas comprimido. El vapor enfriado se pasa a través de un dispositivo de expansión a un área de una presión mucho más baja; mientras que el vapor se amplía, dibuja la energía de su extensión de sus alrededores o del medio en contacto con él. Las evaporadores pueden refrescar directamente un espacio dejando el vapor venir en contacto con el área que se enfriará, o pueden actuar indirectamente es decir refrescando un medio secundario tal como agua. En la mayoría de los refrigeradores domésticos, la bobina que contiene el evaporador entra en contacto con directamente el aire en el compartimiento del alimento. En el final del proceso, el gas calentado va hacia el compresor.



Efectos del frío en los alimentos

La refrigeración es una técnica de conservación que se basa en la aplicación de ciertas temperaturas constantes sobre el producto a conservar, con objeto de mantener sus cualidades organolépticas y nutritivas un determinado período de tiempo, que dependerá de la especie y variedad de que se trate.

Las condiciones de temperatura de conservación pueden ser variables, para adaptarse mejor a las distintas exigencias fisiológicas.

El producto en régimen de refrigeración permanece con sus propias características, tratándose de frenar sus procesos vitales y de evitar la acción de los microorganismos causantes de su alteración, con objeto de prolongar su vida en las mejores condiciones para el consumo.

El intervalo de temperaturas a que normalmente se conservan los frutos y hortalizas se extiende desde -2°C hasta $+15^{\circ}\text{C}$ aproximadamente y la duración de la conservación desde unas 2 semanas hasta 8 meses, variando lógicamente estas condiciones en función de las características inherentes al producto que tratamos de conservar. Por tanto, cada fruta u hortaliza requiere unas condiciones específicas de tratamiento en refrigeración.

La aplicación del frío tiene como efectos fundamentales:

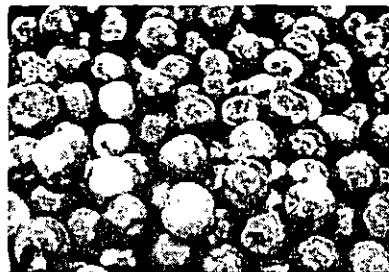
- Frena el metabolismo y la actividad respiratoria, lo que se traduce en una reducción de las pérdidas de azúcares, vitaminas, ácidos orgánicos, etc.
- Como consecuencia de los efectos citados, retrasa la maduración biológica y comercial de los productos.
- Disminuye los riesgos de aparición y desarrollo de ciertos agentes de alteración tales como las bacterias, hongos y levaduras.

Sin embargo, la incorrecta aplicación del frío puede presentar efectos perjudiciales, provocando, en ciertos casos, desviaciones del metabolismo normal que conducen a la aparición de las denominadas alteraciones o enfermedades fisiológicas. Así por ejemplo, si la temperatura alcanza o desciende del punto de congelación, se produce la congelación del agua de composición, ocasionando lesiones en las paredes celulares y, en consecuencia, la muerte de tejidos, que se manifiesta por la pérdida de textura, oscurecimiento y alteración de las características físicas, químicas y organolépticas del producto.

Aún sin que la temperatura alcance el punto de congelación, temperaturas bajas e inadecuadas pueden provocar otro tipo de alteraciones, como la escaldadura o pardeamiento superficial, el pardeamiento interno, el picado o "*pitting*", la peteca, la adustiosis, la membránosis, el envejecimiento, etc, e incluso modificar solamente alguna característica del producto como el aroma, el sabor u otras apreciaciones sensoriales, en detrimento de su calidad final para el consumo.

Es importante señalar que, en todo caso, la acción del frío va ligada, no solamente a las propiedades biológicas y fisiológicas del material vegetal, sino también al tiempo de permanencia bajo determinada temperatura, condiciones en que se ha alcanzado el régimen térmico, su estabilidad y homogeneidad y características del medio ambiente que se obtienen en el recinto de conservación de los productos: estado higrométrico, composición de la atmósfera, ventilación y renovación del

Así pues, es muy elevado el número de factores que intervienen en el proceso de refrigeración de los productos vegetales y todos ellos se encuentran íntimamente relacionados, produciéndose innumerables efectos combinados, sinérgicos o no, favorables o perjudiciales, que resultan en la práctica difíciles de dominar por completo. Por tanto, nos veremos limitados a controlar un cierto número de parámetros.



Varios factores influyen en la conservación

Los dos parámetros principales a controlar en una cámara de refrigeración son la temperatura y la humedad. Existen tablas que, para cada producto alimenticio, recomiendan las condiciones de temperatura y humedad relativas para asegurar un buen almacenamiento. Además indican el tiempo que pueden conservarse en esas condiciones y otra información, de utilidad para el cálculo de la carga de enfriamiento. No obstante no se establece de forma clara si los datos que ofrecen estas tablas son el resultado de deseos de mantener las características organolépticas y comerciales o de consideraciones adicionales que incluyen las pérdidas de peso. Se presentan, pues, dos objetivos a cumplir, de naturaleza diferente: uno, es lograr las condiciones físicas necesarias en el aire ambiente; el otro, reducir a un mínimo las pérdidas de peso en los productos, de forma compatible con las condiciones físicas deseadas.

LA REFRIGERACION

1.1. EL FRÍO.

El enfriamiento es un proceso de eliminación de calor de un cuerpo o un espacio, el cual puede ocurrir por medio de un abatimiento de la temperatura sin que el cuerpo sufra un cambio de estado físico a temperatura constante. De manera natural los cuerpos pueden enfriarse hasta la temperatura de los ambientes naturales, sin embargo, se requieren de medios o técnicas especiales para lograr mantener el cuerpo a una temperatura inferior al ambiente. Con base a lo anterior existen métodos de enfriamiento basados en procesos tanto naturales como artificiales.

Los procesos de enfriamiento natural consisten en la pérdida de calor espontánea, como ocurre en los procesos de enfriamiento debido a la pérdida de calor por radiación (enfriamiento radiativo) y por convección- evaporación (enfriamiento evaporativo).

Los procesos de enfriamiento artificial están basados en la utilización de procesos de muy variada naturaleza, utilizando por lo general fluidos cuyas propiedades termodinámicas los sitúan como grandes absorbedores de calor, los cuales se conocen como refrigerantes, quienes tienen como función extraer el calor de un cuerpo de manera constante.

Existen diferentes niveles de enfriamiento por debajo de los valores de la temperatura ambiente:

- a) El enfriamiento propiamente dicho que va de los 24 a los 14 °C, en donde se sitúa el bienestar humano y las temperaturas alcanzadas por diferentes procesos naturales como el enfriamiento evaporativo y el radiativo, el acondicionamiento del aire y la conservación de algunos productos perecederos.
- b) La refrigeración en donde comienzan a suceder los cambios de estado, principalmente del agua y en donde el abatimiento de la temperatura va desde la temperatura de 14 °C hasta cerca los 0 °C, en la mayoría de los casos no ocurre un cambio de fase.
- b) La subrefrigeración, la cual opera en un dominio de temperaturas que va desde 0 °C hasta cerca de -15 °C. En este dominio se lleva a cabo la formación de hielo.
- c) La congelación, en un dominio de temperaturas entre -15 y -35 °C, siendo una técnica utilizada para la conservación prolongada de los productos perecederos.
- d) La subgelación, en un dominio de temperaturas los -30 a -200 °C.
- e) la criogenia o generación de muy bajas temperaturas, a valores cercanos al cero absoluto (-273.16 °C), dominio utilizado para el estudio de propiedades de superconductividad y superfluidez, criocirugía, conservación de espermatozoides y conservación en general.

1.2. PRODUCCIÓN DE FRÍO.

La producción de frío es básicamente un fenómeno endotérmico (absorción de calor), en donde la fuente de calor es el producto o el espacio a enfriar, lo que provoca el abatimiento de su temperatura. Existe una gran diversidad de métodos de producción de frío, los cuales en su mayoría están basados en la extracción de calor de un cuerpo o un espacio por intermedio de la absorción del mismo por un fluido (refrigerante), el cual lo utiliza a su vez y de manera espontánea, para cambiar de estado de agregación, como la evaporación, fusión, sublimación, etc. cuyas transiciones se desarrollan a bajas temperaturas.

Refrigeración

Principios y Sistemas

Conceptos Físicos

Temperatura. Cantidad de calor.

Frío. Sensación de "Ausencia" de calor.

Calor. Es una forma de energía, y que es transferida de un cuerpo a otro debido a una diferencia de temperatura.

Calor latente. Cuando el calor agregado o removido de una sustancia resulta en un cambio de estado (a temperatura constante), sin que exista un cambio de temperatura.

Calor sensible. Calor agregado o extraído de una sustancia creando un cambio de temperatura sin que exista un cambio de estado

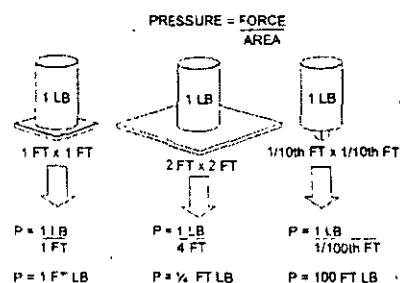
Energía. Causa capaz de producir trabajo.

Trabajo. Fuerza por distancia.

Temperatura (Unidades y conversiones) medida de la cantidad de calor que tiene un cuerpo, sustancia, etc..

Entalpía. "sinónimo de calor", energía almacenada por la temperatura y la presión. Es la medida del contenido de calor de una sustancia

Presión. Fuerza por unidad de area.



Ejemplo

Un tanque de almacenamiento de agua helada, contiene 300 lb de agua, el tanque tiene 3 pies de largo por 2 pies de ancho. ¿Cuál es la presión que se ejerce sobre el fondo del tanque en libras por pie cuadrado?

Solución

la presión se ejerce sobre un área de 2 x 3 pies, o 6 pies². la fuerza que actúa sobre el fondo es el peso total del agua.

$$P = F / A = 300\text{lb} / 6 \text{ pie}^2 = 500 \text{ lb} / \text{pie}^2$$

Presión atmosférica

La presión se expresa como una fuerza perpendicular ejercida sobre un área o superficie. Pues bien la presión atmosférica será la fuerza de gravedad que atrae la capa de gases que componen la atmósfera sobre la superficie terrestre, y se denomina presión atmosférica estándar a la presión atmosférica a nivel del mar.

Presión absoluta

Generalmente, la presión absoluta expresa en términos de bar o de kilogramo-fuerza por centímetro cuadrado o (libras-fuerza por pulgada cuadrada) y se cuenta a partir del vacío perfecto en el cual no existe la presión atmosférica. Por tanto en el aire a nuestro alrededor, la presión absoluta y la atmósfera son iguales.

Presión manométrica

Un manómetro de presión está calibrado para leer 0 kilogramo-fuerza por centímetro cuadrado o (libras-fuerza por pulgada cuadrada) cuando no está conectado a algún recipiente con presión; por tanto, la presión absoluta de un sistema cerrado será siempre la presión manométrica más la presión atmosférica.

Las presiones inferiores a la presión atmosférica Standard son realmente lecturas de depresión en los manómetros y se denominan vacíos. Un manómetro de refrigeración mixto (compound) está calibrado en el equivalente en milímetros (pulgadas) de Mercurio por las lecturas de depresión. Puesto que 1.03 Kg/cm² (14.7 PSI) equivale aproximadamente a 760 milímetros de columna de Mercurio (29.92 pulgadas).

Es importante recordar que la presión manométrica es siempre relativa a la presión absoluta. La TABLA N° 1 demuestra la relación de presiones a diferentes altitudes suponiendo que las condiciones atmosféricas sean normales.

La columna en milímetros (pulgadas) de Mercurio, indica los milímetros (pulgadas) de Mercurio que una bomba de vacío perfecta debería obtener teóricamente. Por lo tanto a 1.525 metros (5ies) de altura y bajo condiciones atmosféricas normales, un vacío perfecto sería de 632 milímetros (24.89 pulgadas) de Mercurio, mientras que al nivel del mar sería de 760 milímetros de Mercurio (29.92 pulgadas).

RELACIÓN DE PRESIONES A DIFERENTES LATITUDES

ALTITUD		PRESIONES						PUNTO DE EBULLICIÓN DEL AGUA	
Metros	pies	MANOMETRICAS		ABSOLUTA		ATMOS		°C	°F
		Kg/cm2	PSIG	Kg/cm2	PSIA	mm Hg	Pulg Hg		
0	0	0	0	1.03	14.7	760	29.92	100	212
305	1000	0	0	1.00	14.2	733	28.85	99	210
610	2000	0	0	0.96	13.7	707	27.82	98	208
915	3000	0	0	0.93	13.2	681	26.81	97	205
1220	4000	0	0	0.89	12.7	656	25.84	96	205
1525	5000	0	0	0.86	12.2	632	24.89	95	203

Ejemplo

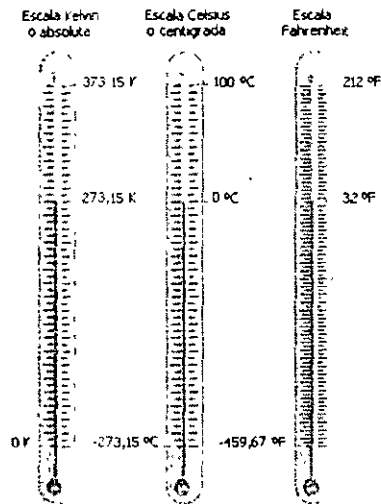
Un manómetro de presión conectado a la descarga de una bomba de una torre de enfriamiento en una empresa de Acapulco Gro. indica 15 psig ¿Cuál es la presión absoluta en la descarga de la bomba?

Solución

El manómetro de presión indica la presión manométrica (por encima de la atmosférica), Acapulco esta al nivel del mar, la presión atmosférica es aproximadamente de 14.7 psi

$$P_{abs} = P_{man} - P_{atm} = 15 \text{ psig} + 14.7 \text{ psi} = 29.7 \text{ psia}$$

Escalas de Temperatura



$$^{\circ}\text{F} = 1.8 \text{ }^{\circ}\text{C} + 32$$

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32)/1.8$$

$$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$$

- Realizar la siguiente conversión de temperaturas:
- 95°F a °C
- -10°C a °F
- 32°C a °K

La termodinámica

La termodinámica es el estudio de la energía, su transformación, y su relación con los estados de la materia.

Un sistema termodinámico es una región en el espacio o una cantidad de materia limitado por una superficie cerrada.

Los conceptos que rigen en cualquier sistema termodinámico son la entropía y la energía.

La entropía mide el desorden molecular de un sistema.

La energía tiene la capacidad de producir un efecto.

Energía almacenada.

Energía térmica (interna). Es la energía poseída por un sistema causada por el movimiento de las moléculas y/o fuerzas intermoleculares.

Energía potencial. Es la energía poseída por un sistema causada por las fuerzas de atracción existentes entre las moléculas, o la elevación del sistema.

$$PE = mgz$$

Donde: m = masa
 g = aceleración local de la gravedad
 z = elevación arriba del plano de referencia horizontal.

Energía cinética es la energía poseída por un sistema causada por la velocidad de las moléculas y expresada como:

Donde V es la velocidad de un fluido a través del sistema delimitado.

Energía química es la energía poseída por el sistema causada por el arreglo de átomos que componen las moléculas.

Energía nuclear (atómica) es la energía poseída por el sistema debido a las fuerzas de cohesión manteniendo a los protones y neutrones junto al núcleo del átomo..

Energía en transición.

Calor (Q) es el mecanismo que transfiere energía a través del límite de los sistemas con diferente temperatura, siempre respecto a la temperatura baja.

Trabajo es el mecanismo que transfiere energía a través de los límites del sistema con diferente presión (o fuerzas de cualquier tipo), siempre con respecto a la baja presión.

Mecánica es la energía entregada o absorbida por un mecanismo, como una turbina, un compresor de aire, un motor de combustión interna.

Flujo de trabajo. Es la energía llevada hacia dentro o transmitida a través de los límites del sistema por que un proceso de bombeo ocurre en algún lugar externo del sistema, causando que el fluido entre al sistema.

La termodinámica es una rama de la ciencia que trata sobre la acción mecánica del calor. Hay ciertos principios fundamentales de la naturaleza, llamadas leyes termodinámicas,

que rigen nuestra existencia aquí en la tierra, varios de los cuales son básicos para el estudio de la refrigeración. La primera y la más importante de estas leyes dice:

“La energía no se crea ni se destruye solo se transforma.”

El calor se transfiere de la sustancia más caliente hacia la más fría.

El calor es una forma de energía, creada principalmente por la transformación de otros tipos de energía en energía de Calor; por ejemplo, la energía Mecánica que opera una rueda causa fricción y crea calor. Calor es frecuentemente definido como energía en transito, porque nunca se mantiene estática, ya que siempre está transmitiéndose desde cuerpos cálidos a los cuerpos fríos.

La mayor parte del calor en la tierra se deriva de las radiaciones del Sol.

Una cuchara sumergida en agua helada pierde su calor y se enfría; una cuchara sumergida en café caliente absorbe el calor del café y se calienta. Sin embargo, las palabras “Más Caliente” y “Más Frío”, son sólo términos comparativos.

La primera ley de la termodinámica es frecuentemente llamada ley de la conservación de la energía. La siguiente forma de la ecuación de la primera ley es valida solo en la ausencia de una reacción química o nuclear. Basado en la primera ley o ley de la conservación de la energía para cualquier sistema. Abierto o cerrado hay un balance de energía.

energía de entrada – energía de salida = cambio de energía
en el sistema.

- 1ª Ley de la Termodinámica
- “La energía no se crea ni se destruye solo se transforma.”

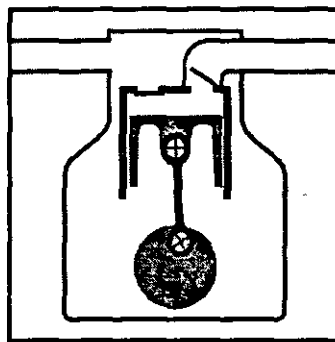
Ejemplo

Un compresor requiere 2.6 n.p para comprimir un gas refrigerante. Hay una pérdida calor del gas, a través de las paredes del compresor, igual a 900 Btu/h, hacia el medio ambiente. ¿Cuál es el régimen de ganancia o pérdida de energía del gas?

Solución

El problema se resuelve mediante la aplicación de la ecuación de la energía. Las unidades correspondientes al régimen de flujo de energía, deben ser todas iguales, como se muestra en la conversión de h.p a Btu/h

$$ECAM = E_{ent} - E_{sal}$$



Gas entrada
 $E_{ent} = 2.6 \text{ hp}$

Gas de Salida
 $E_{sal} = 900 \text{ Btu/h}$

Solucion

$$\begin{aligned} &= 2.6 \text{ h.p} \times (2545 \text{ Btu/h} / 1 \text{ h.p}) - 900 \text{ Btu/h} \\ &= 6617 \text{ Btu/h} - 900 \text{ Btu/h} \\ &= 5717 \text{ Btu/h} \end{aligned}$$

Esto es, la energía del gas refrigerante se aumento en 5717 Btu/h en el compresor.

En este ejemplo la energía del sistema (el gas) se aumento, como indica el resultado, el cual tiene un valor positivo. Un valor negativo indicaría que hubo una disminución neta, o sea una pérdida de energía en el gas.

Ejemplo

Los ventiladores del evaporador de una cámara de refrigeración, disipan 400 W de energía térmica. Las manzanas almacenadas en la cámara disipan 280 W (J/seg) de calor de respiración ¿Cuál es el régimen de cambio de entalpía en el aire de la cámara?

Solución.

$$\begin{aligned} \text{ECAM} &= E_{\text{ent}} - E_{\text{sal}} \\ &= 420 \text{ W} + 280 \text{ W} - 0 \\ &= 700 \text{ W} \end{aligned}$$

La entalpía del aire de la cámara aumenta a un régimen de 700 W. se debe observar que debido a que solo se utiliza una unidad para el régimen de energía (el Watt) no es necesario hacer conversiones.

Métodos de Transferencia de Calor

Radiación. Ejemplo el sol



Conducción. Generalmente a través de Materiales sólidos



Convección. Densidad de masas.

Radiación. Es la transferencia de calor por rayos, a una sustancia mas fria, a través de un medio, por ejemplo, el aire, sin calentar el medio mismo. El calor generado por el sol, una lampara eléctrica o una flama abierta son ejemplos de radiación.

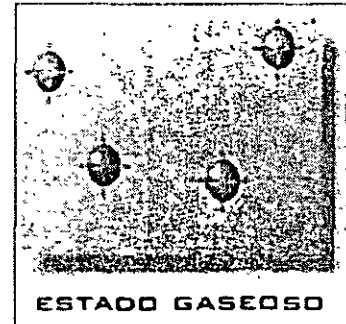
Convección. Es la transferencia de calor causada por el aire en contacto con una sustancia mas caliente. El aire calentado se eleva y es reemplazado por aire mas frío el cual remueve mas calor de la sustancia mas caliente.

Conducción. La conducción generalmente se asocia con sustancias sólidas tales como paredes, vidrios, serpentines, refrigerantes y otros cuerpos sólidos



LÍQUIDOS. Un líquido es una sustancia la cual toma la forma de un contenedor, aún así, sus moléculas se atraen fuertemente entre sí.

GASES. Un gas es una sustancia física la cual puede ser encerrada en un contenedor sellado para evitar que escape a la atmósfera. Hay poca atracción entre las moléculas



UNIDADES DE MEDICION DE CALOR.

Las unidades de medición del calor en el Sistema Inglés es el BTU (British Thermal Unit), y se define como la cantidad de calor requerida para elevar la temperatura de una libra de agua 1 grado Fahrenheit. en el Sistema Internacional de Unidades la unidad de calor es el Joule (J). Por ser una unidad muy pequeña, se utilizará más comúnmente un kilojoule (kJ), y se define como la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 kg. de agua 1 grado centígrado es igual a 4.187 kJ.

En el sistema Inglés, la unidad de calor es la BRITISH THERMAL UNIT (B.T.U.). Un B.T.U. Puede definirse como la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de una libra de agua 1 °F. Por ejemplo: Para aumentar la temperatura de un Galón de agua (Aproximadamente 8,3 Lb) de 70 °F a 80 °F, se requieren 83 BTU

$$8.3 \times (80 - 70) = 83 \text{ B.T.U.}$$

Otra unidad métrica y la más comúnmente usada es la caloría, que es la cantidad de calor requerida para elevar la temperatura a 1 gr. de agua 1 grado centígrado. Al ser una unidad muy pequeña, se utiliza la kilocaloría (kCal) que equivale a 1000 calorías.

Equivalencias de unidades:

$$1 = 0.004 \text{ kJ} = 0,004 \text{ BTU}$$

$$1 \text{ BTU} = 1.055 \text{ kJ} = 252 \text{ Cal} = 0.252 \text{ kCal}$$

FLUJO DE CALOR. El calor siempre fluye de la substancia más caliente a la más fría.

CALOR SENSIBLE: Se define como el calor que provoca un cambio en la temperatura de la substancia.

- $Q = m \times c_p \times \Delta T$

Ejemplo

Un enfriador de agua enfría 80 GPM de agua, de 60°F a 45°F ¿Cual es la capacidad de enfriamiento del equipo, expresado en Btu/h?

Solucion

$$Q = 80 \text{ GPM} \times (500 \text{ Lb/h} / 1 \text{ GPM}) \times (1 \text{ Btu/lb-}^\circ\text{F}) \times (60-45)^\circ\text{F} \\ = 600,000 \text{ Btu/h.}$$

Tonelada americana de refrigeración

Aún en nuestro medio es muy frecuente hablar de toneladas de refrigeración, la cual es realmente una unidad americana basada en el efecto frigorífico de la fusión del hielo. La tonelada de refrigeración puede definirse como la cantidad de calor absorbida por la fusión de una tonelada de hielo sólido puro en 24 horas. Puesto que el calor latente de fusión de una libra de hielo es de 144 BTU, el calor latente de una tonelada americana (2000 libras) de hielo será $144 * 2000$, o sea 288,000 BTU por 24 horas. Para obtener el calor por hora es necesario dividir entre las 24 horas, lo cual da una cantidad de 12.000 BTU/HORA, que recibe el nombre de "TONELADA DE REFRIGERACION".

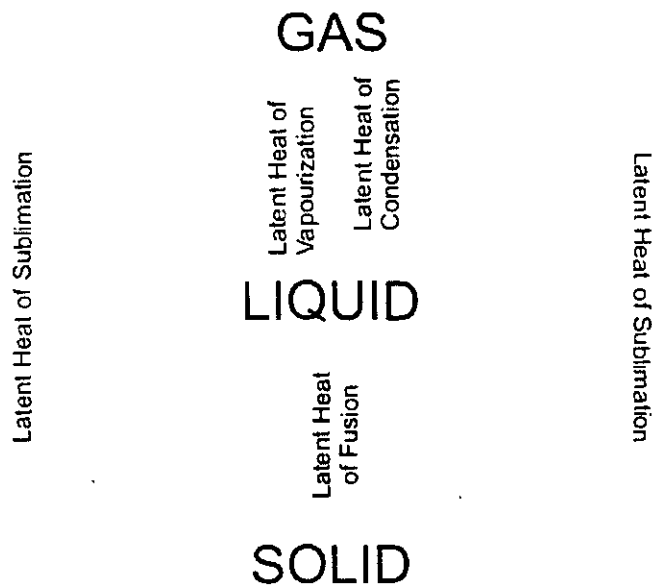
Puesto que el calor latente del hielo en el sistema métrico es de 80 Kilo- Calorías y que y una tonelada americana e igual a 907.187 kilos, la tonelada de refrigeración es igual a $80 * 907.185$ o sea 72.575 kilo- calorías por 24 horas, es decir, 3.024 kilo-calorías por hora.

CALOR ESPECÍFICO. El calor específico de una sustancia es la cantidad de calor agregado o liberado para que se produzca un cambio en su temperatura de un grado centígrado por cada kilogramo de ella o en otro sistema de unidades, la cantidad de calor agregado o cedido para cambiar la temperatura de una libra de una sustancia 1 grado Farenheit. Para el caso del agua este valor es en kCal/kg°C ó en BTU/lb°F.

Para cuantificar la cantidad de calor recibido o emitido por una sustancia cuando se modifica su temperatura se utiliza la siguiente ecuación:

- $Q = m C_p (T_2 - T_1)$
- Donde: Q = calor cedido o agregado (en kCal ó BTU).

- m = cantidad de material (en kg ó libras).
- C_p = calor específico (en kCal/kg°C ó en BTU/lb°F).
- T_2 = temperatura final (0C ó 0F).
- T_1 = temperatura inicial (0C ó 0F).



Segunda ley de la Termodinamica

La segunda ley de la termodinámica. la comprensión y la aplicación de esta, permitirá investigar problemas que conciernen a una utilización mas eficiente de la energía. Actualmente, la conservación de la energía es motivo de un mayor interés y preocupación.

Desafortunadamente, las acciones para lograr esto se han efectuado a veces en forma caprichosa, debido en parte a la falta de comprensión de la segunda ley de la termodinámica.

Si bien esta, se puede expresar como ecuación, su utilización no resulta sencilla en el análisis de la utilización de la energía.

Un cierto numero de efectos físicos irreversibles ocasionan una perdida de la energía disponible para realizar trabajo, u originan un aumento de energía necesaria para producir una cantidad dada de refrigeración.

Los ciclos de refrigeración de transferencia de energía térmica de una región de baja temperatura T_R de alta temperatura. Generalmente el sumidero de calor de la alta temperatura es el aire del ambiente o agua de enfriamiento.

El desempeño de un ciclo de refrigeración es generalmente descrito como un coeficiente de desempeño. COP es definido como el beneficio del ciclo (cantidad de calor removido) dividido entre la energía de entrada requerida para operar el ciclo.

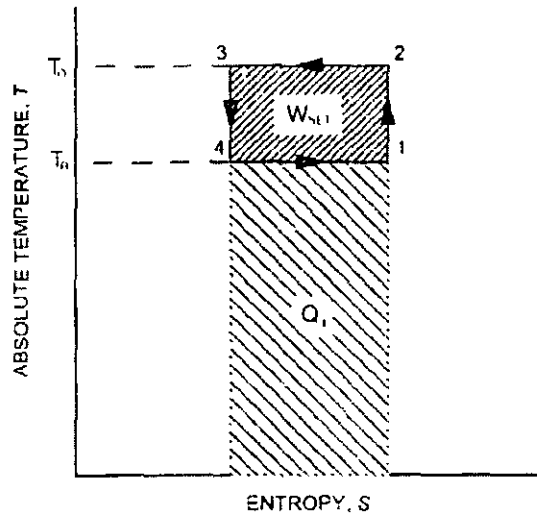
Para un sistema de compresión de vapor mecánico, la energía neta proporcionada esta en forma de trabajo, mecánico o eléctrico, y puede incluir trabajo para el compresor y ventiladores o bombas.

$$\text{COP} = Q_i/W_{\text{net}}$$

La producción de frío es básicamente un fenómeno endotérmico (absorción de calor), en donde la fuente de calor es el producto o el espacio a enfriar, lo que provoca el abatimiento de su temperatura. Existe una gran diversidad de métodos de producción de frío, los cuales en su mayoría están basados en la extracción de calor de un cuerpo o un espacio por intermedio de la absorción del mismo por un fluido (refrigerante), el cual lo utiliza a su vez y de manera espontánea, para cambiar de estado de agregación, como la evaporación, fusión, sublimación, etc. cuyas transiciones se desarrollan a bajas temperaturas.

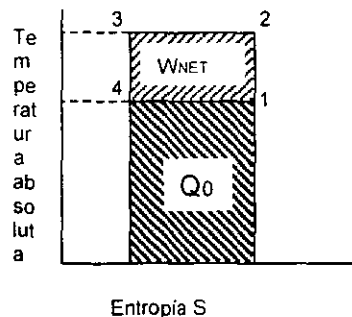
Ciclo de Carnot

El principio de operación del ciclo básico de refrigeración se basa en el ciclo invertido de Carnot el cual se presenta en la siguiente figura.



El refrigerante se comprime entre los puntos a y b, elevando la temperatura de T1 a T2. El refrigerante cede calor a una temperatura constante T2 en el tramo b-c. En el punto c el refrigerante se expande disminuyendo la temperatura de T2 a T1 de modo que el calor de la sala sea absorbido por el refrigerante a lo largo de d-a, repitiéndose nuevamente el ciclo.

El cual es completamente reversible, es un modelo perfecto para la operación de un ciclo de refrigeración entre dos temperaturas fijadas, o entre dos fluidos a diferente temperatura y cada uno con una capacidad de calor infinita.



$$Q_0 = T_c (S_2 - S_3)$$

$$Q_i = T_h (S_1 - S_4) = T_h (S_2 - S_3)$$

$$W_{net} = Q_0 - Q_i$$

$$COP = T_c / (T_h - T_c)$$

Ejemplo

Determine el cambio de entropía, trabajo, y el coeficiente de desempeño para el ciclo mostrado en la figura anterior, la temperatura del espacio refrigerado T_R es de 400°R y la de la atmósfera es de T_0 es 500°R . La carga de refrigeración es de 200 Btu.

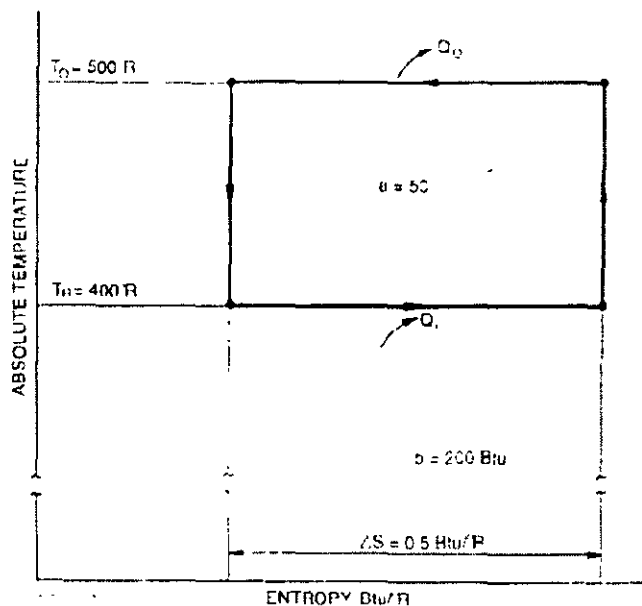
$$\Delta S = S_1 - S_4 = Q_i / T_R = 200/400 = 0.500 \text{ Btu/}^\circ\text{R}$$

$$W = \Delta S (T_0 - T_R) = 0.5 (500 - 400) = 50 \text{ Btu}$$

$$\text{COP} = Q_i / (Q_0 - Q_i) = Q_i / W = 200 / 50 = 4$$

Flow of energy and its area representation in Figure 6 is:

Energy	Btu	Area
Q_i	200	b
Q_o	250	$a + b$
W	50	a



Refrigeración

Definición

“Remoción o retiro de calor de un cuerpo o sustancia para mantenerlo a una temperatura menor o llevarlo a una temperatura deseada mas baja y/o mantenerlo en esa condición”

El sistema de refrigeración mecánico

Componentes basicos:

- Disposito de control de flujo



- Evaporador



- Compresor



- Condensador

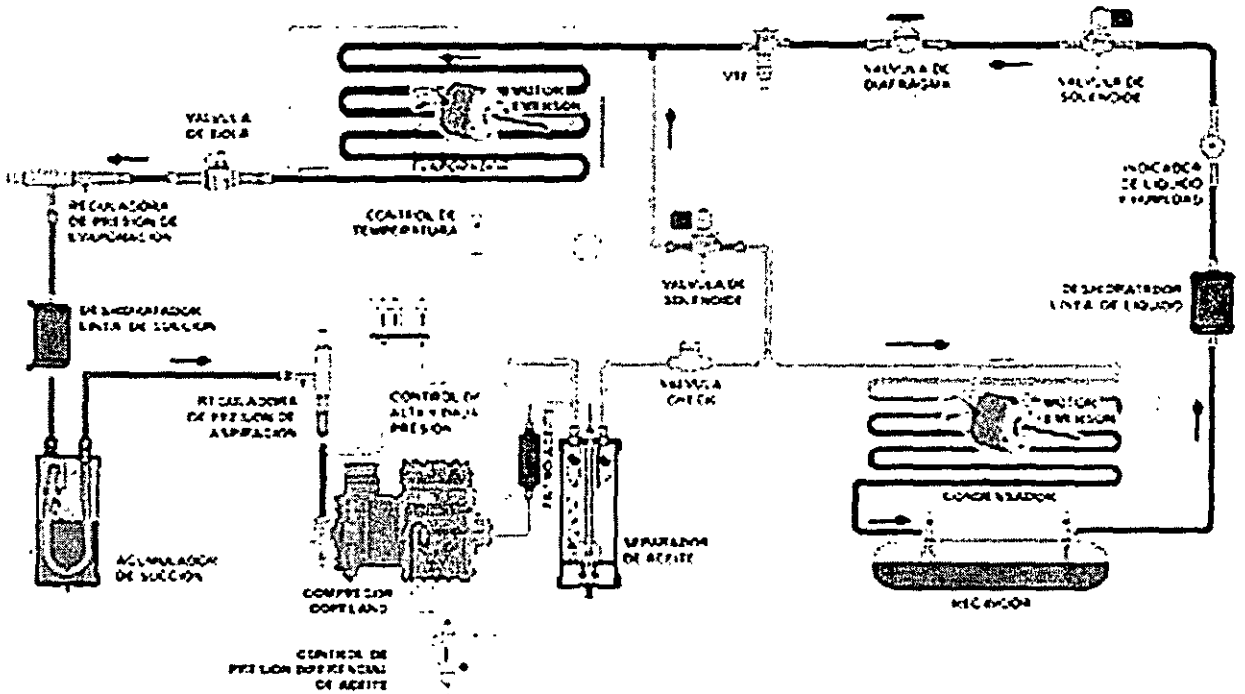


- El Refrigerante

- La Tuberia

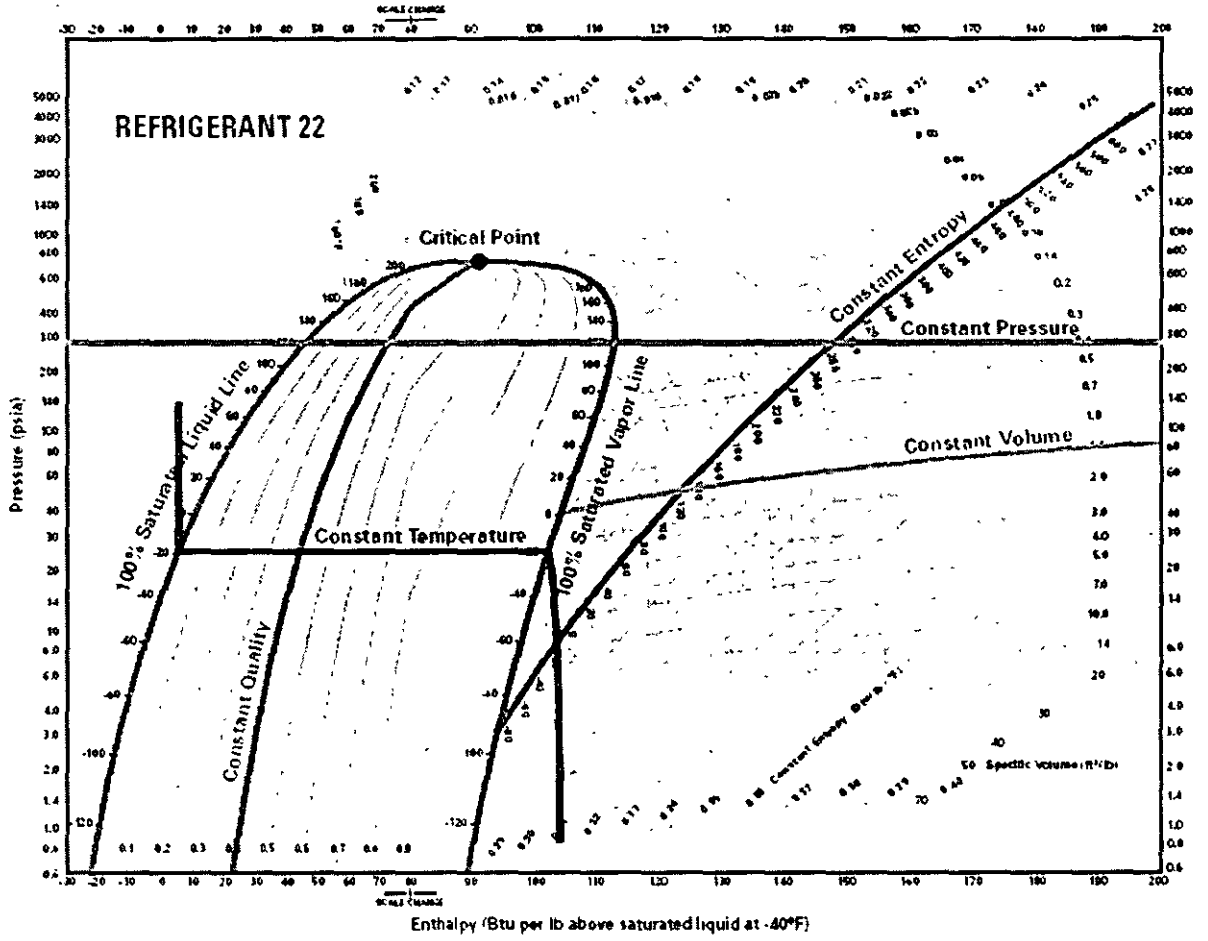
Sistema mecánico de refrigeración.

Componentes principales y accesorios

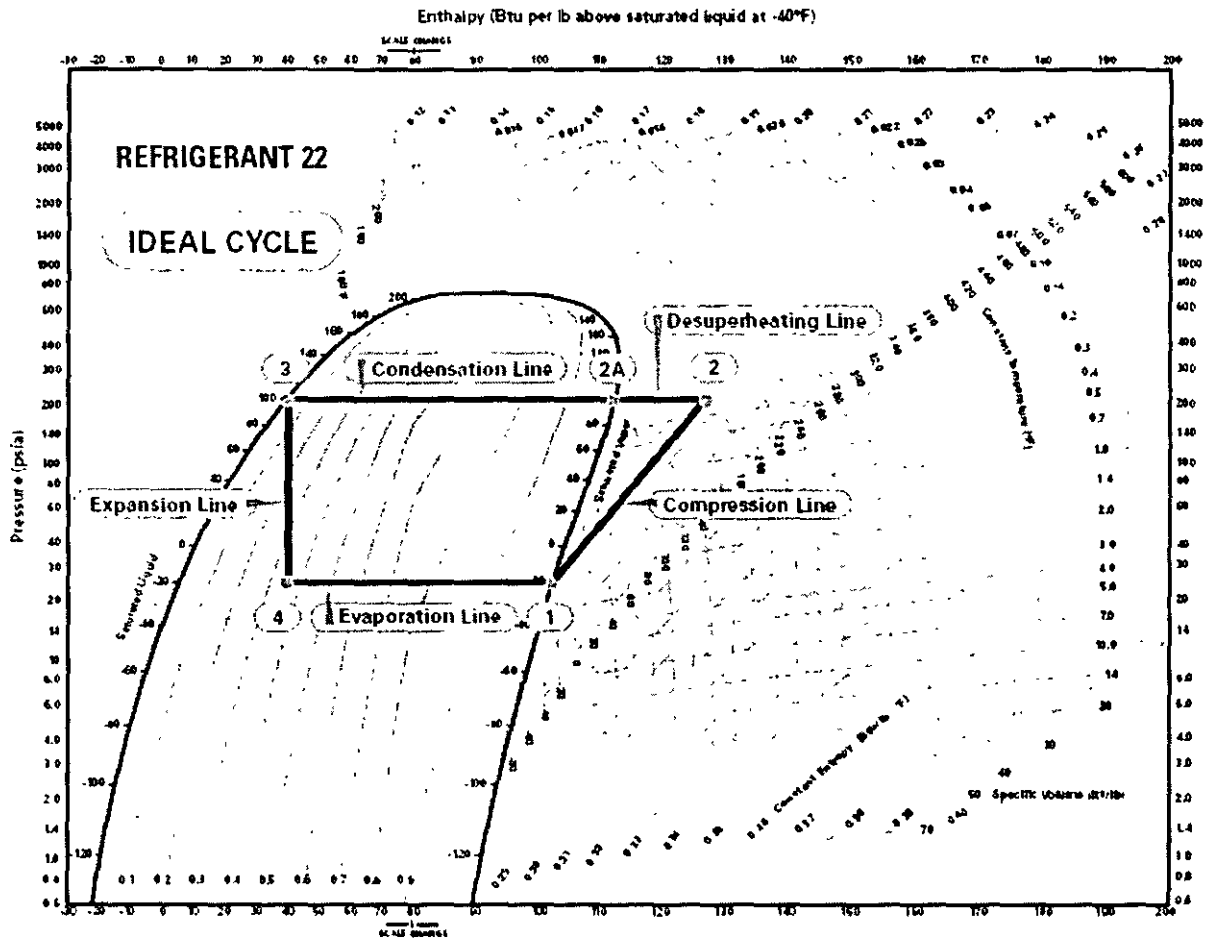


Ciclo de refrigeración.

El diagrama PH



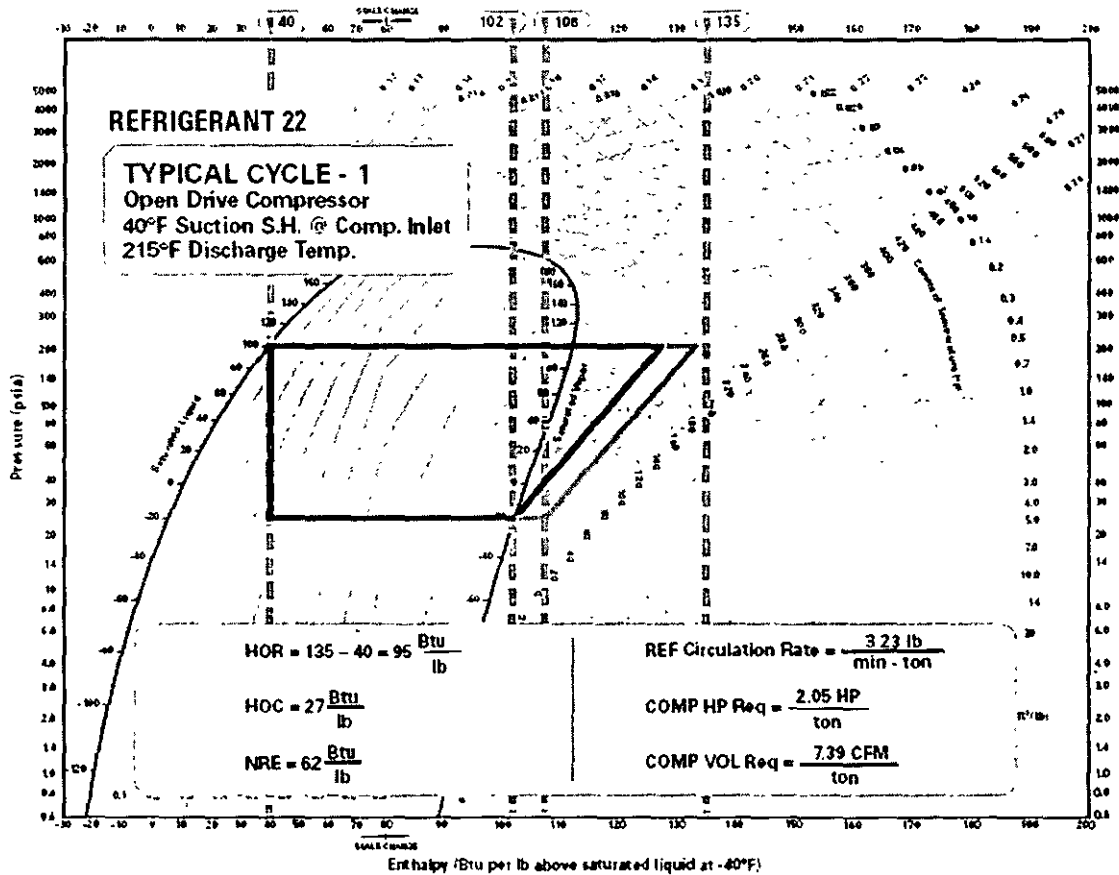
Ciclo ideal de refrigeración



Ejemplo Ciclo Ideal

Asumamos una temperatura de evaporación de -25 °F y una presión de condensación de 100 °F utilizando R-22, representando en la Carta de P-H tenemos, antes haremos unas consideraciones en el ciclo ideal no hay pérdidas por caída de presión en válvulas, tubería de refrigeración, etc...

Ciclo real de refrigeración.

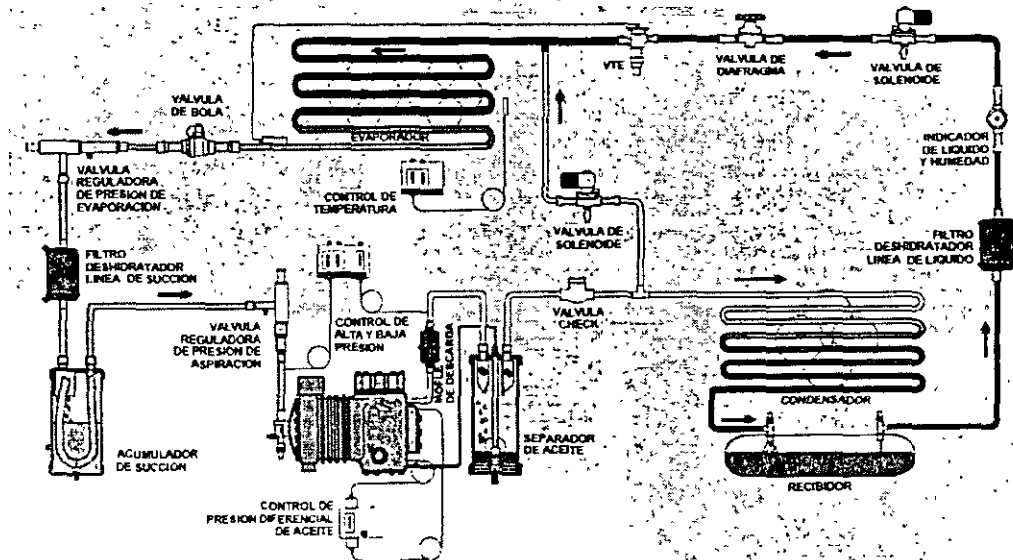


- **Formulas**

- Efecto refrigerante (HOR) $hc - hb = hc - ha$
- Flujo Masico del refrigerante $m = Q / E.R$; $m = 200 / E.R$ 1 TR = 200 Btu/min
- $m = \text{flujo masico en lb/min}$
- Calor de compresión $W = C.C. = hd - hc$
- Potencia Teorica Requerida por el compresor $P = W \times m$
- Calor de Rechazo $C.R. = hd - ha$

Ejemplo.

Componentes básicos del sistema de refrigeración mecánica por compresión de vapor.

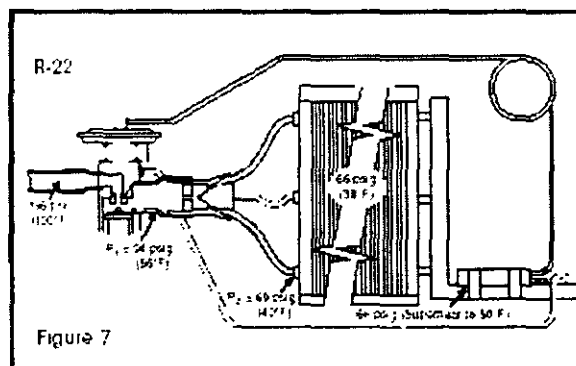
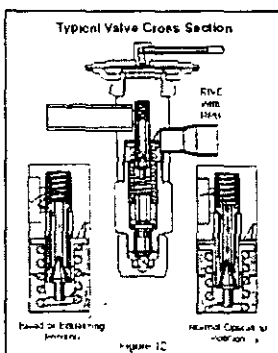


Dispositivo de control de Flujo

También llamado dispositivo de expansión.

Los más conocidos

- Válvula de Expansión Termostática VET
- Tubo capilar

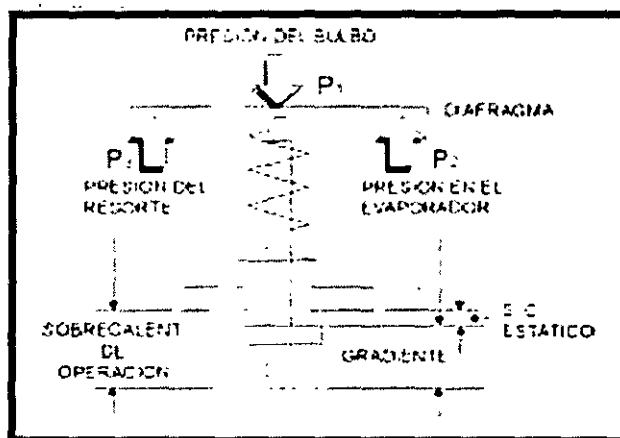


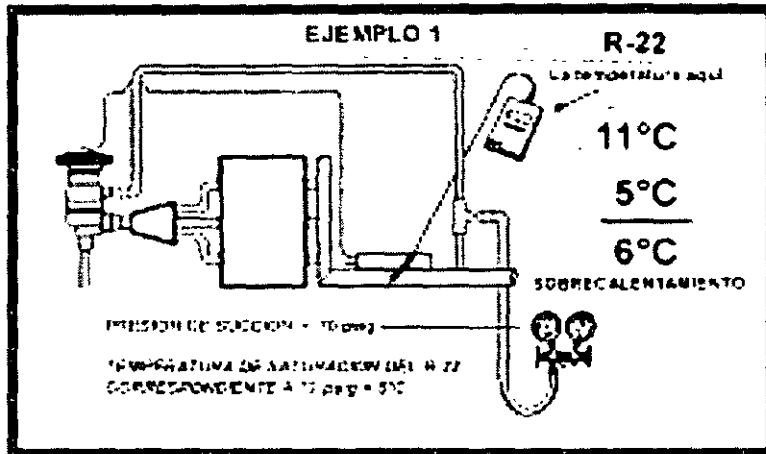
La Válvula de Thermo Expansión tiene tres funciones:

- Reduce la presión del refrigerante líquido que entra al evaporador para que se evapore a baja temperatura y absorba calor (enfrie).
- Controla el refrigerante que entra al evaporador para que haya líquido que evapora, justo en toda su superficie de evaporación.
- Controla el sobrecalentamiento del gas en la salida del evaporador, a fin de asegurar que dicho evaporador trabaja al 100% de su capacidad y no pase líquido al compresor.

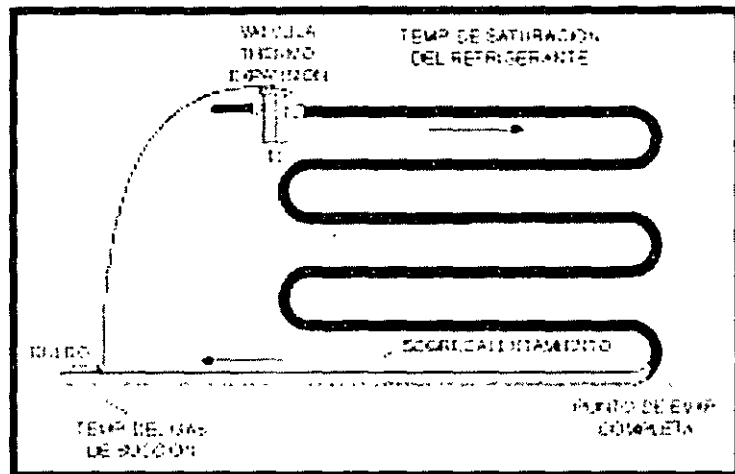
Saturación. El refrigerante está en condición de saturación cuando está en proceso de cambio de estado, ya sea evaporando, o condensando. Bajo esta condición, su presión y temperatura permanecen constantes, solo cambia de estado físico.

Sobrecalentamiento del gas. Son los grados de temperatura, adicionales, que el vapor de salida del evaporador adquiere, sobre la temperatura de evaporación del líquido. Estos grados son sentidos por el bulbo para que la VTE pueda regular el flujo de líquido al evaporador. Esto significa, que a partir de donde se termina el líquido, empieza a sobrecalentarse el vapor. El sobrecalentamiento que gane el gas después del bulbo sensor será perjudicial al sistema puesto que le hará perder capacidad.





VET con igualador externo

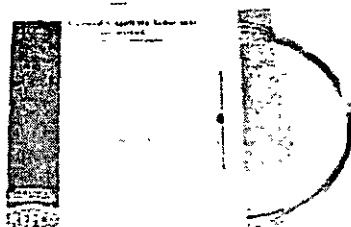
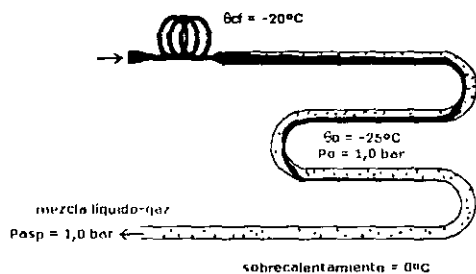


Dispositivos de control de flujo

El tubo capilar.

Este dispositivo de control de flujo consiste en un tramo de tubería de muy pequeño diámetro. Normalmente el diámetro interior varía de 0.02 a 0.10 pulg y la longitud de 2 a 12 pies o mas.

El dispositivo se utiliza en pequeñas unidades herméticas con serpentines de expansión directa.



El Refrigerante

En los sistemas de refrigeración, el fluido que absorbe el calor en el interior del gabinete, y lo libera en el exterior es llamado refrigerante.

Estos fluidos, en su forma bajo presión reducida absorben calor en el evaporador y absorbiendo este calor cambian a vapor.

En forma de vapor, el fluido pasa al compresor donde su temperatura y presión se incrementan.

Esto facilita que el calor que fue absorbido en el evaporador sea liberado en el condensador, en donde el refrigerante vuelve a líquido para reiniciar el ciclo.

De manera general, un refrigerante es cualquier cuerpo o sustancia que actúe como agente de enfriamiento, absorbiendo calor de otro cuerpo o sustancia.

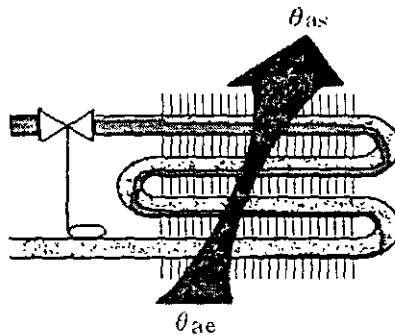
Desde el punto de vista de la refrigeración mecánica por evaporación de un líquido y la compresión de vapor, se puede definir al refrigerante como el medio para transportar calor desde donde lo absorbe por ebullición, a baja temperatura y presión, hasta donde lo rechaza al condensarse a alta temperatura y presión.

El Evaporador

Función:

Proporciona la superficie para absorber la carga térmica.
Proporciona suficiente espacio para el refrigerante.

Debe proporcionar espacio para la circulación del refrigerante sin excesiva caída de presión tanto en la entrada como en la salida

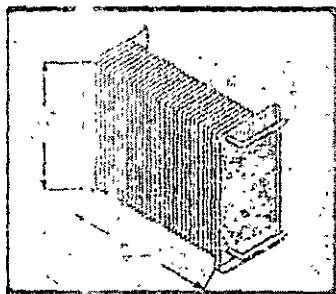


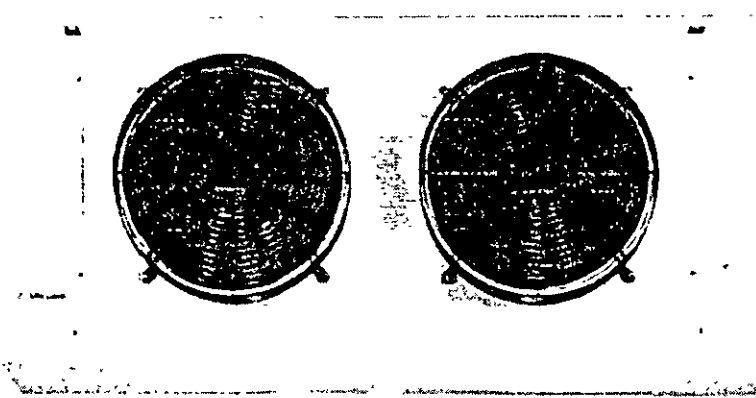
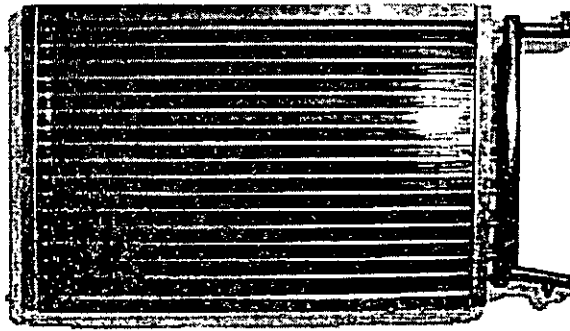
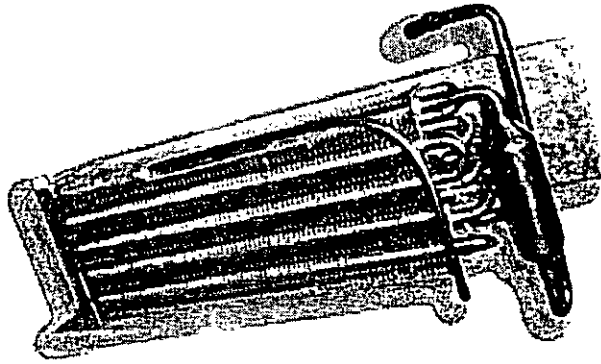
Operación.

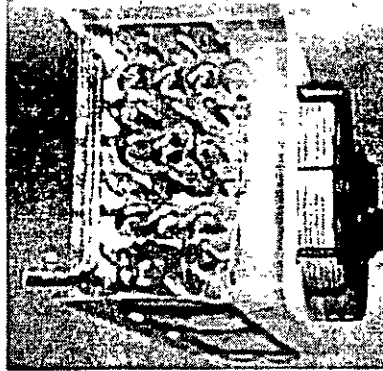
El evaporador es un intercambiador de calor.
Transmite calor de la sustancia que se está enfriando al refrigerante.

Tipos

Expansión Seca
enfriadores de líquidos
casco y tubo
casco y serpentín.





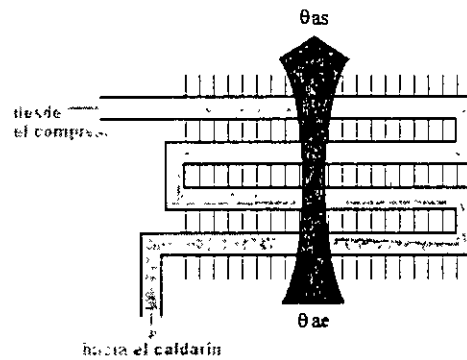


Condensador

Función:

Remover el calor del vapor refrigerante que sale del compresor de manera que el refrigerante se condense a su estado líquido.

El condensador es básicamente un intercambiador de calor, en donde el calor absorbido por el refrigerante en el proceso de evaporación es cedido al medio de condensación (al aire en este caso). A medida que el calor es cedido por el vapor de alta temperatura y presión, desciende su temperatura hasta el punto de saturación, condensándose el vapor y convirtiéndose en líquido, por eso el nombre Condensador.

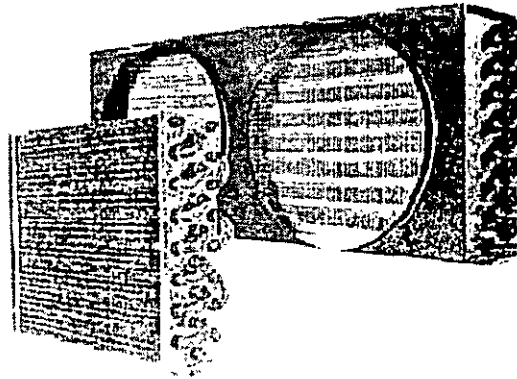


Operación

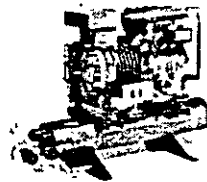
El condensador es un cambiador de calor lo mismo que el evaporador. En el condensador, el calor se transfiere del refrigerante a un medio de enfriamiento, ya sea el aire o el agua.

Tipos

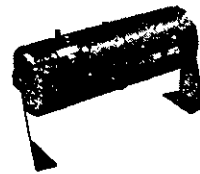
El tipo de condensador más comúnmente usado es el de tubo con aletas en su exterior, que disipan calor al aire ambiente. La transferencia de calor se lleva a cabo de modo eficaz mediante la utilización de ventiladores con aspas de succión que permiten establecer un flujo de aire uniforme.



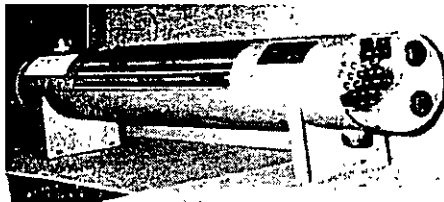
Enfriados por agua



De doble tubo

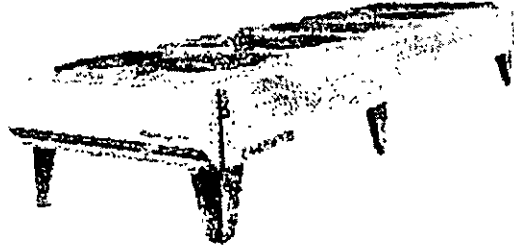


Casco y serpentín



Horizontal de casco y tubo

Enfriados por aire.



El Compresor

Función

Crear la diferencia de presiones.

Disminuir la presión en el evaporador para que el refrigerante se evapore.

Aumentar la presión de evaporación, hasta la presión a la cual el gas puede ser condensado.

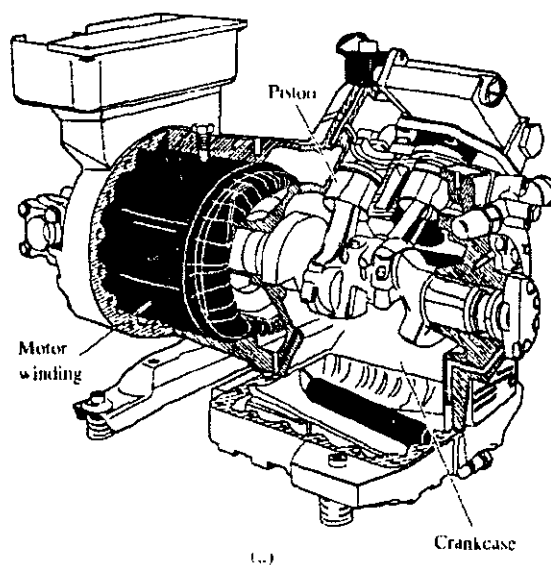
Por su construcción.

Reciprocantes

Operación. Una maquina o motor eléctrico acciona el pistón del compresor mediante un sistema de transmisión.

Construcción.

La construcción de los compresores Reciprocantes es similar a la de los motores Reciprocantes del tipo automotriz, los cuales se componen de cilindros, pistones, un eje de transmisión y válvulas de succión y descarga. El compresor puede tener uno o mas cilindros.



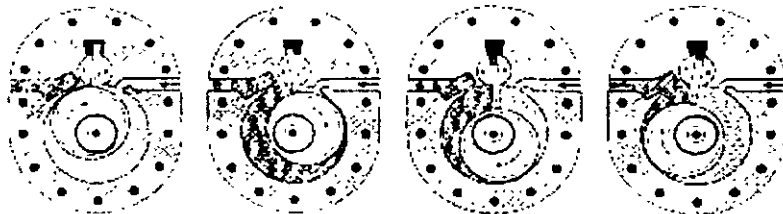
Rotatorios.

Operación.

Son maquinas de desplazamiento positivo, lo mismo que los compresores Reciprocantes. Sin embargo el movimiento del compresor es rotatorio (circular) en vez del reciprocante (lineal).

Construcción.

Tiene un rodillo montado en un eje excéntrico con respecto a la caja del cilindro. Un alabe o paleta estacionaria se mantiene permanentemente en contacto con el rodillo por medio de un resorte



El compresor tipo Scroll

Operación.

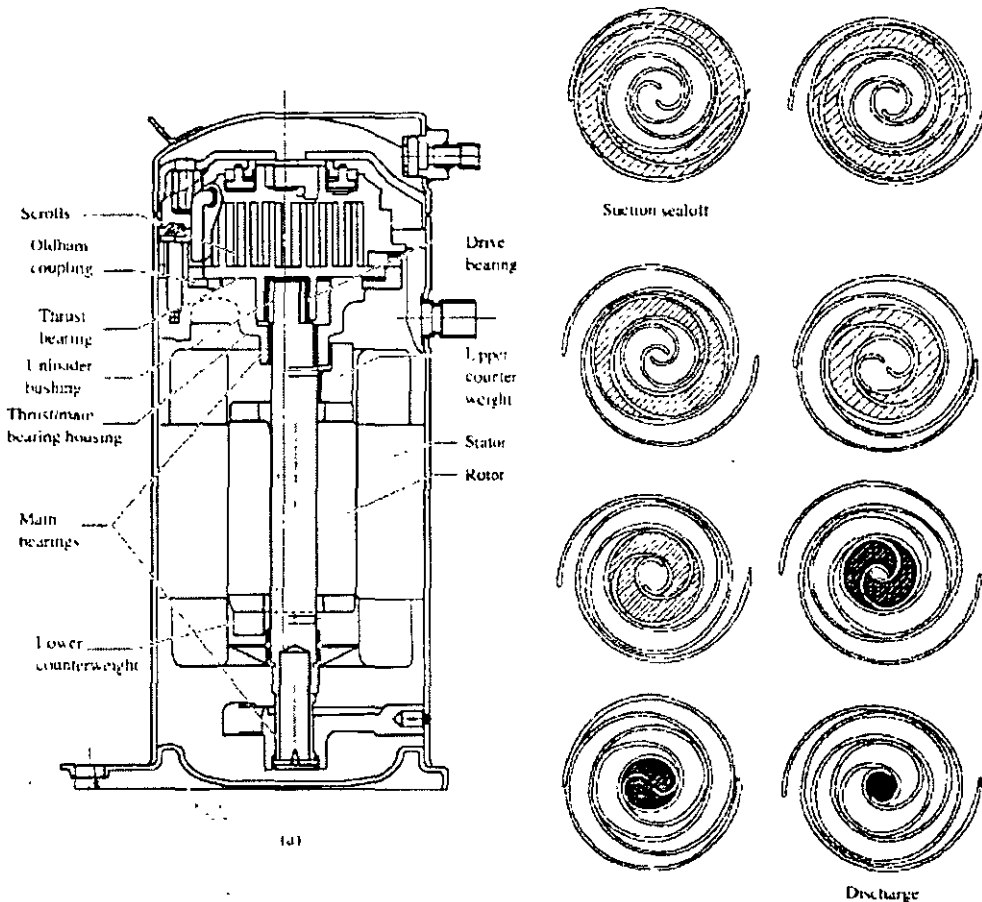
El compresor tipo Scroll realiza el proceso de compresión utilizando dos configuraciones en espiral.

Construcción.

Consta de dos espirales, una móvil y una fija. Las espirales se embonan cara a cara. La espiral superior es la espiral fija, y en ella se ubica el puerto de descarga del gas. La espiral inferior es la espiral móvil.

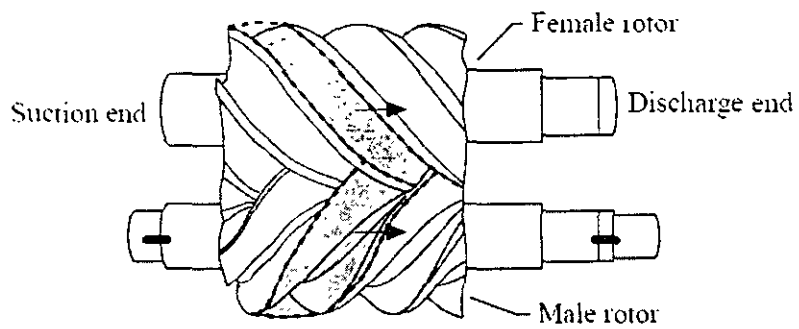
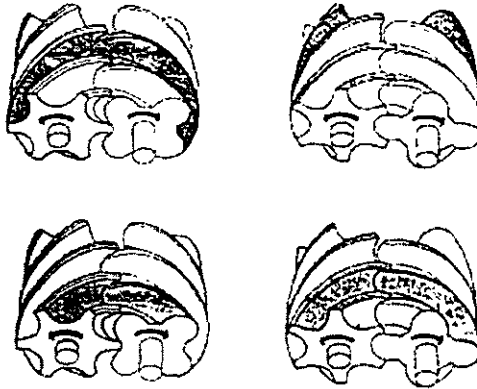
Importante: nunca operar en forma inversa, podría dañarse.

Admite golpes de líquido, tiene bajo nivel sonoro y de vibraciones, no arrastra casi aceite, tiene bajo par de arranque y se utiliza generalmente en aire acondicionado.

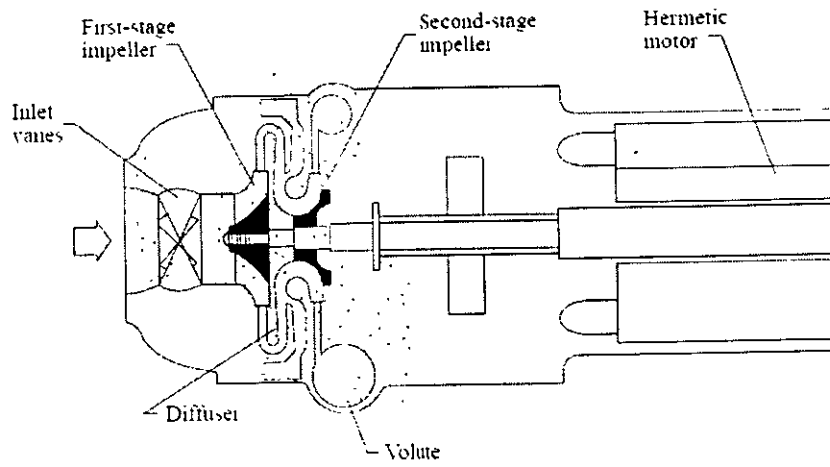


El Compresor de tornillo

Esta formado por dos tornillos que van aspirando y comprimiendo gas a la vez.
De manera que el espacio entre los dos tornillos se va reduciendo y comprimiendo el gas.



El compresor centrífugo



Accesorios

Acumulador de Succión

Aplicación

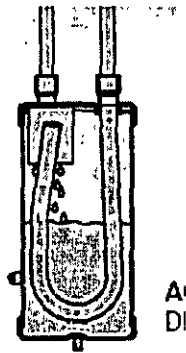
En sistemas de refrigeración de baja temperatura, sujetos a deshielos.

En sistemas de refrigeración que operan bajo variaciones de carga térmica.

En sistemas riesgosos o propensos a regreso de líquido al compresor.

Función

Evita el regreso de refrigerante líquido al compresor.



Separador de aceite

Función

La función del separador de aceite es asegurar el correcto retorno de aceite al compresor.

El uso de un separador de aceite puede representar un significativo ahorro de energía y costo de operación al asegurar que el evaporador funciona libre del exceso de aceite.

El separador de aceite se recomienda para:

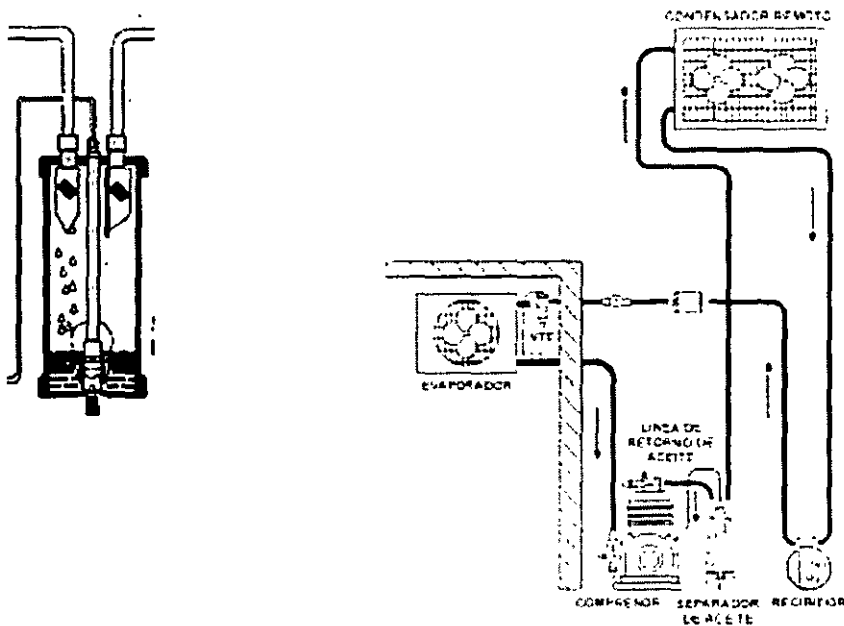
Aplicaciones de baja temperatura de evaporación (congelación).

Aplicaciones de temperatura media (refrigeración), cuando la unidad condensadora queda más alto que la unidad evaporadora.

Aplicaciones donde hay tuberías de refrigeración muy largas, como por ejemplo: supermercados y equipos de aire acondicionado divididos muy distanciados.

Cuando no hay seguridad de que las tuberías de refrigeración estén adecuadamente diseñadas.

El separador de aceite se instala en posición vertical, en la línea de descarga, a la salida del compresor, teniendo cuidado de conectar la línea de retorno de aceite, entre el separador y el cárter del compresor, como se muestra en la figura.



En suma, la utilización de un separador de aceite contribuye a:

- Mayor vida útil del compresor
- Un mejor rendimiento del sistema, lo que se refleja en un mayor ahorro de energía.
- Una operación del sistema más suave, al reducir el sonido de válvulas y pistones.

Indicador de líquido

El indicador de líquido y humedad ILH de forja de latón, es un accesorio que previene al técnico visualmente, indicando si son adecuadas las condiciones que guarda el refrigerante en la línea de líquido, antes de la válvula de expansión: que esté totalmente líquido y que su nivel de sequedad sea aceptable.



CONEXIONES
FLARE

CONEXIONES
HEMERA - MACHO
(FM)



CONEXIONES MACHO Y
EXTENSIÓN CON TUERCA
(UM)

SOLDAR CON
EXTENSIONES



Válvula solenoide

En la mayoría de las aplicaciones de refrigeración es necesario abrir o detener el flujo en un circuito de refrigerante.

Su función básica es la misma que una válvula de paso operada manualmente; pero, siendo accionada eléctricamente, se puede instalar en lugares remotos y puede ser controlada convenientemente por interruptores eléctricos simples.

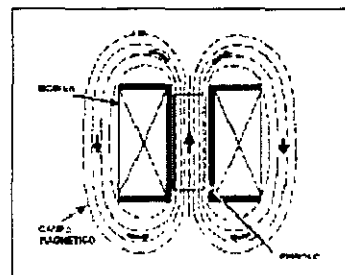
Las Válvulas Solenoide pueden ser operadas por interruptores termostáticos, de flotador, de baja presión, de alta presión, por reloj, o cualquier otro dispositivo que abra o cierre un circuito eléctrico, siendo el interruptor termostático el dispositivo más común utilizado en sistemas de refrigeración.

Operación

Una Válvula Solenoide se compone de dos partes interdependientes: la válvula y la bobina solenoide. Este solenoide es un conductor eléctrico enrollado en espiral, en forma de bobina, alrededor de la superficie de forma cilíndrica.

Cuando se hace pasar corriente eléctrica a través de la bobina, esta actúa como un electroimán poderoso, formando un campo magnético capaz de atraer hacia sí, un émbolo móvil de hierro, que es el vástago de la válvula para que pueda abrir.

Una bobina solenoide tiene muy variados usos, como: descargadores de capacidad en las cabezas de compresores, contactores magnéticos, relays, transportadores por electroimán, etc..



Filtro deshidratador

Se utiliza para retirar la humedad que pudiera existir en el sistema, para atrapar partículas extrañas (soldadura, rebabas, sedimentos, etc.,etc..)

Se instalan tanto en la línea de succión (gas) como en la línea de líquido.

Uno de los contaminantes que puede causar mayor daño a los sistemas es la humedad. Esta humedad puede ser producto de diversos factores como: inadecuado o insuficiente vacío antes de efectuar la carga del refrigerante, utilización de aceite expuesto a la humedad del ambiente, refrigerante contenido en recipientes con humedad, defectos en la hermeticidad del sistema (especialmente en sistemas operando a bajas temperaturas), etc. El agua contenida en el sistema puede convertirse en hielo, pudiendo bloquear las válvulas de expansión y los capilares. Los filtros secadores eliminan la humedad, y además tienen la capacidad de retener las impurezas que pueda presentar el líquido refrigerante.

Se considera una buena práctica el cambiar el filtro secador por uno nuevo cada vez que se abre el sistema.



Válvula reguladora de presión del evaporador

El regulador de presión de evaporación se instala en la línea de aspiración detrás del evaporador para regular la presión de evaporación en instalaciones con uno o más evaporadores y un compresor.

Los reguladores ORIT permiten mantener una presión mínima predeterminada en el evaporador, con el objeto de establecer una temperatura mínima de evaporación. Se utilizan, por ejemplo, en unidades enfriadoras, evaporadores de aire donde no se quiera la formación de hielo, o en instalaciones para el control de humedad.

Pueden emplearse tanto en sistemas de evaporadores simples como en sistemas de múltiples evaporadores. En sistemas múltiples, el regulador puede instalarse en uno o más evaporadores para mantener presiones mayores a la presión de la línea de succión en común.

Los reguladores responden sólo a variaciones en la presión de entrada, y se abrirán cuando dicha presión sea superior a la de ajuste.

El ajuste se puede realizar en base a las necesidades de cada caso, y poseen un rango de graduación que va desde 0 a 3,5 bar (0 a 50 psi) para la ORIT-6.

Para su instalación se deben ubicar en la línea de succión, a la salida del evaporador.



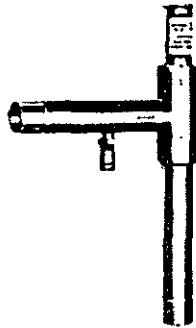
Válvula reguladora de presión de aspiración.

Los reguladores CROT, son válvulas reguladoras de presión, diseñadas para prevenir la sobrecarga del motor del compresor, al limitar la presión de succión en el cárter durante y después de finalizar un ciclo de deshielo, o después de un período normal de detención del compresor.

La válvula debe situarse en la línea de succión, entre el evaporador y el compresor, después de cualquier otro control o accesorio.

Cuando se instala correctamente, esta válvula retiene automáticamente el flujo de refrigerante evaporado desde el evaporador, hasta que el compresor pueda recibir esta carga.

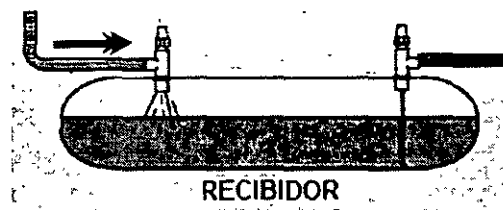
Todos los modelos responden únicamente a la presión de salida (presión del cárter o de succión), y tienen capacidad de modulación para impedir que la presión de succión del compresor se eleve por encima del ajuste de la válvula.



Tanque Recibidor

Consiste de un tanque utilizado para almacenar el refrigerante líquido que no se utiliza en la operación, y la carga total cuando el sistema no esta operando. Si el condensador dispone de un volumen adecuado de almacenamiento, generalmente no es necesario instalar un recibidor por separado.

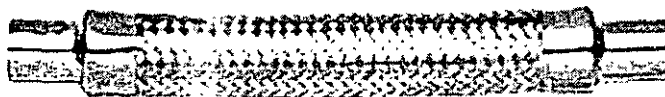
Un estanque (recibidor) de líquido es básicamente un depósito de almacenamiento para refrigerante en estado líquido, utilizado prácticamente en todas las unidades enfriadas por aire equipadas con válvula de expansión. Su tamaño deberá ser suficiente como para almacenar la totalidad del refrigerante contenido en el sistema. Para mantener almacenado el refrigerante el estanque incluye una válvula en la conexión de salida.



Antivibradores

Los Antivibradores están diseñados para su instalación en las líneas de succión y descarga de los equipos de refrigeración y aire acondicionado, para eliminar la transmisión a las tuberías de las vibraciones inducidas por el compresor.

Los antivibradores se deben instalar lo más cerca posible del compresor y en forma perpendicular a la dirección de la mayor vibración. Instale el antivibrador horizontalmente siempre que se pueda. El antivibrador debe ser instalado siguiendo una línea recta; no está concebido para compensar la desalineación de las tuberías.



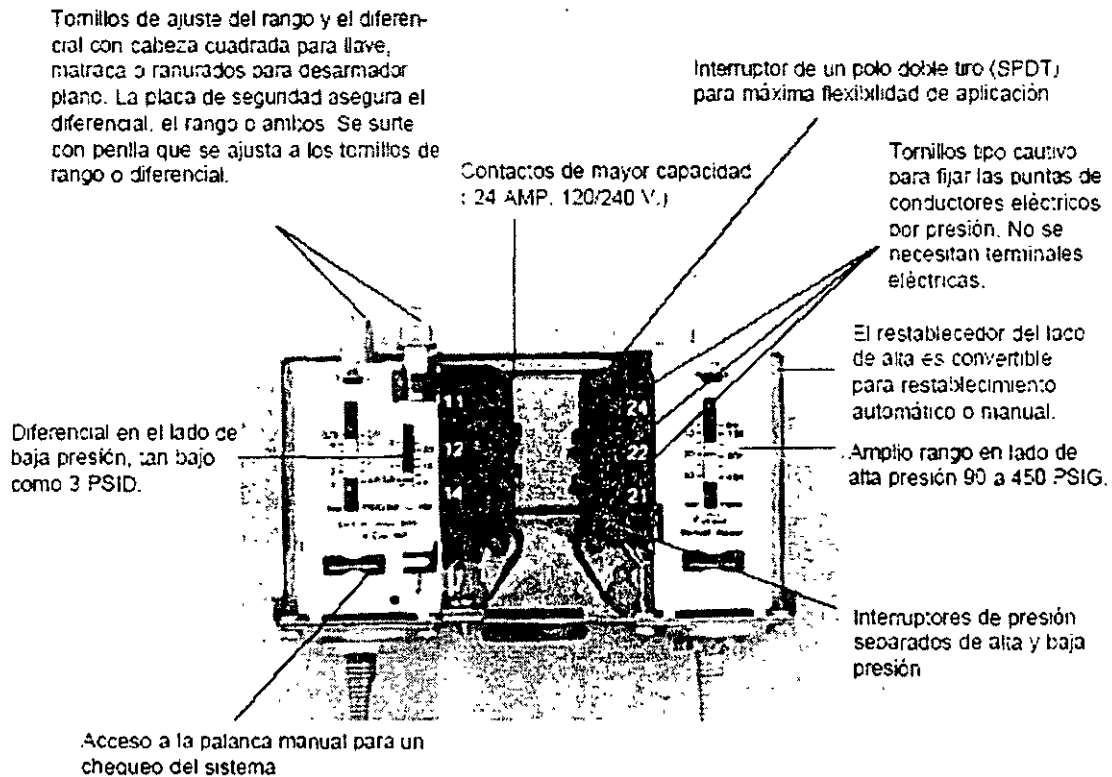
Protecciones mecánicas

Presostatos

Los compresores pueden estar provistos de un cierto número de controles y dispositivos de seguridad:

Los interruptores de seguridad de alta y baja presión detienen al compresor cuando hay baja presión de succión o alta presión de descarga.

Con frecuencia se combinan los dos en un solo dispositivo.



Los Presostatos son utilizados en los sistemas de refrigeración como elementos de protección contra presiones de aspiración (línea de succión) demasiado bajas o una presión de descarga excesiva.

El control de baja presión se utiliza frecuentemente como único control en pequeños sistemas, que pueden tolerar ciertas fluctuaciones en la temperatura que ha de mantenerse.

El control de baja presión estándar cierra el circuito al subir la presión y lo interrumpe al descender ésta.

Su utilidad se basa en que durante el funcionamiento normal, la temperatura en el evaporador va disminuyendo poco a poco y, con el compresor en marcha, también disminuye la presión del lado de baja (presión de succión del compresor). Aquí, el presostato de baja actúa deteniendo el compresor.

Cuando el compresor está detenido, la presión de baja aumenta y consecuentemente aumenta también la temperatura, logrando que el presostato vuelva a hacer funcionar el compresor.

El control de baja presión sólo puede adaptarse en sistemas con válvulas de expansión termostática, pues si se emplean válvulas de expansión automáticas, que mantienen una presión fija en el lado de baja, el presostato no podría actuar por no existir fluctuaciones de presión.

Por otra parte, el control de alta presión es sensible a la presión de descarga del compresor, utilizándose normalmente para detener el compresor en el caso que exista una presión excesiva. El control deberá elegirse teniendo en cuenta el refrigerante del sistema, pues el límite de presión permisible varía según el refrigerante. Un control de alta presión cierra el contacto cuando baja la presión y lo interrumpe cuando ésta aumenta.

Los presostatos combinados o duales, están compuestos de un control de baja presión y un control de alta presión, y protegen al sistema contra las posibles puntas de presión excesivamente altas o bajas.

Los presostatos se utilizan también para arrancar y parar los ventiladores de condensadores enfriados por aire.

Los Presostatos son utilizados en los sistemas de refrigeración como elementos de protección contra presiones de aspiración (línea de succión) demasiado bajas o una presión de descarga excesiva.

El control de baja presión se utiliza frecuentemente como único control en pequeños sistemas, que pueden tolerar ciertas fluctuaciones en la temperatura que ha de mantenerse.

El control de baja presión estándar cierra el circuito al subir la presión y lo interrumpe al descender ésta.

Su utilidad se basa en que durante el funcionamiento normal, la temperatura en el evaporador va disminuyendo poco a poco y, con el compresor en marcha, también disminuye la presión del lado de baja (presión de succión del compresor). Aquí, el presostato de baja actúa deteniendo el compresor.

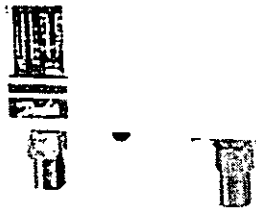
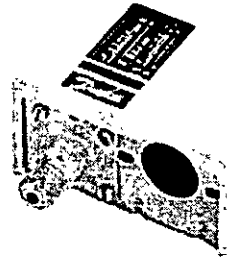
Cuando el compresor está detenido, la presión de baja aumenta y consecuentemente aumenta también la temperatura, logrando que el presostato vuelva a hacer funcionar el compresor.

El control de baja presión sólo puede adaptarse en sistemas con válvulas de expansión termostática, pues si se emplean válvulas de expansión automáticas, que mantienen una presión fija en el lado de baja, el presostato no podría actuar por no existir fluctuaciones de presión.

Por otra parte, el control de alta presión es sensible a la presión de descarga del compresor, utilizándose normalmente para detener el compresor en el caso que exista una presión excesiva. El control deberá elegirse teniendo en cuenta el refrigerante del sistema, pues el límite de presión permisible varía según el refrigerante. Un control de alta presión cierra el contacto cuando baja la presión y lo interrumpe cuando ésta aumenta.

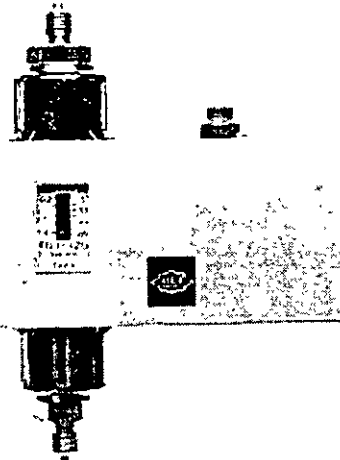
Los presostatos combinados o duales, están compuestos de un control de baja presión y un control de alta presión, y protegen al sistema contra las posibles puntas de presión excesivamente altas o bajas.

Los presostatos se utilizan también para arrancar y parar los ventiladores de condensadores enfriados por aire.



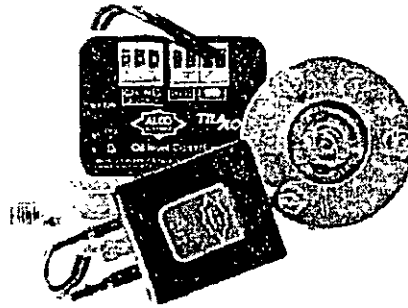
Presión de aceite

El control de seguridad de presión de aceite detiene el compresor, cuando el diferencial de la presión de la bomba de aceite disminuye por debajo de un valor que no es seguro.



Los presostatos diferenciales para aceite se utilizan como interruptores de seguridad para proteger a los compresores de refrigeración contra presiones de aceite demasiado bajas.

Si se produce una caída de presión, con una duración mayor al tiempo de retardo del presostato, el compresor se detendrá



El TraxOil OMA de ALCO, es un control electrónico que monitorea, mantiene y protege el nivel apropiado de aceite de sus compresores.

Tiene integrada una pequeña válvula solenoide que se acciona para alimentar aceite al compresor conforme disminuya su nivel. Si el nivel correcto de aceite no es alcanzado dentro de un periodo de tiempo razonable, o disminuye, se activa una señal de alarma, y seguidamente, se activa también el paro del compresor.

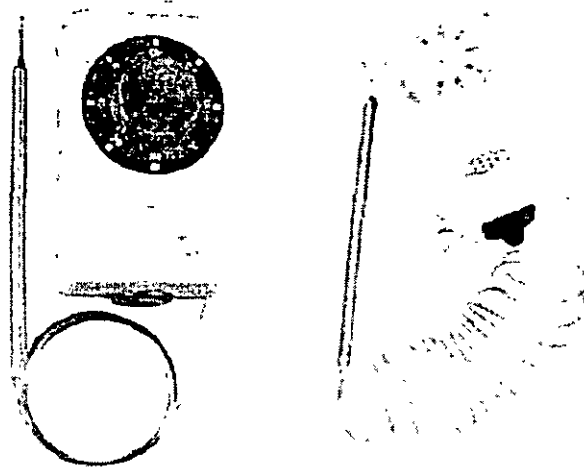
El TraxOil OMA es indispensable para todos los sistemas de refrigeración con compresores en paralelo, que cuentan a su vez, con un sub-sistema de separación y retorno de aceite.

Se instala en el compresor, en lugar de la mirilla indicadora de nivel de aceite, por medio de un adaptador diferente para cada tipo de compresor. El adaptador se suministra por separado.

El TraxOil OMA debe ser instalado en forma horizontal para una correcta operación.

Control de temperatura.

Han sido diseñados para sensar las temperaturas de espacios o superficies en aplicaciones de refrigeración, aire acondicionado o calefacción para aplicaciones de ciclo o de alarma.



Aplicaciones

- Cámaras.
- Enfriadores de refrescos.
- Máquinas para fabricación de helados.
- Enfriadoras de leche.
- Vitrinas refrigeradas.
- Unidades de aire acondicionado.

Inyector de líquido

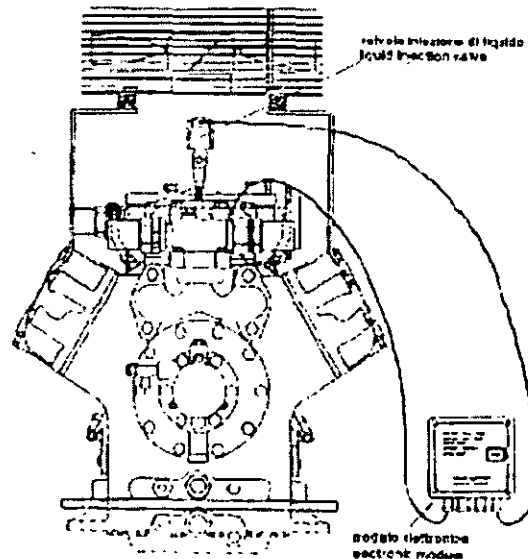
Cuando se usa R22 con una alta relación de compresión, es necesario garantizar un adecuado enfriamiento del compresor y una temperatura de descarga no mayor a 130° C.

Esto es necesario para evitar la descomposición del aceite lubricante.

El sistema de Inyección de Líquido es un dispositivo que incluye principalmente, un sensor de temperatura lineal que se ubica en el compresor (cerca del cabezal), una válvula solenoide normalmente cerrada y un módulo electrónico que controla el funcionamiento del sistema.

Este módulo, entre otras cosas, se encarga de abrir y cerrar la válvula solenoide. Al abrirse la válvula solenoide permite que refrigerante líquido (tomado en la línea de líquido, más allá del condensador) fluya hacia la zona de succión, permitiendo que el compresor se enfríe.

La inyección de refrigerante líquido en el flujo de succión aumenta la densidad de la masa de refrigerante y garantiza una temperatura de descarga entre los 128 y 130°C



Ventiladores para cabezal

Existen situaciones en las que es necesario otorgar un enfriamiento adicional al compresor. Esto se debe a que en determinadas circunstancias, la temperatura de descarga del compresor puede exceder los límites de operación, pudiendo provocar daños graves

al compresor y al sistema. Para evitar este tipo de problemas, los compresores requieren (según las condiciones de operación y el modelo del compresor) la utilización de un ventilador de cabezal.

Temporizador para deshielo

En los sistemas que trabajan a temperaturas bajo cero, la humedad ambiente presente se condensa formando hielo. En estas condiciones, el ventilador del evaporador pierde eficiencia al no poder hacer que el aire fluya libremente a través del serpentín del evaporador.

Para evitar esta situación, los evaporadores pueden equiparse con un sistema de deshielo periódico. Este sistema puede estar comandado por un microprocesador electrónico o por un control electro-mecánico. El microprocesador otorga un control total sobre los tiempos (inicio, finalización y retardos) y temperaturas, que pueden ser programadas fácilmente.

El temporizador electro-mecánico en cambio, requiere de otros dispositivos, como un retardador de tiempo y un disco térmico, para equiparar las funciones del microprocesador. Recuerde además, que para poder realizar el deshielo, su evaporador debe estar equipado con Calefactores de Deshielo (banco de resistencias) (Véase Calefactores de Deshielo Eléctricos)

Microprocesador electrónico

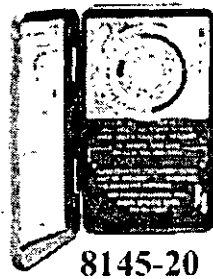
Con dos termo-sensores (ambiente y evaporador), controla de manera inteligente la refrigeración, el deshielo y las fases posteriores, proporcionando un mejoramiento del rendimiento frigorífico y un ahorro de energía. Posee veintidós importantes funciones, con acceso facilitado.



Electromecánicos.

La duración del deshielo es auto-ajustable dependiendo de la carga y de las condiciones atmosféricas, lo que se logra al conectar un switch de presión adicional o termostato (vease Disco Térmico) al control. El tiempo límite de terminación (en el caso de que el ciclo de descongelación se prolongue

anormalmente) puede ajustarse desde 4 a 110 min, con incrementos de 2 min. Los deshielos pueden programarse a intervalos desde cada 4 horas.



Accesorios para temporizadores electromecánicos

Disco termico

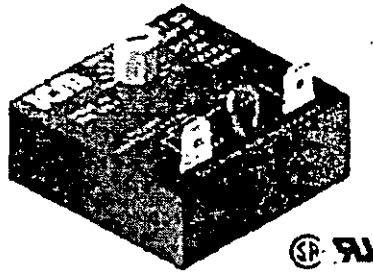
El Disco Térmico para Control de Deshielo no es más que un termostato de deshielo que se conecta en serie con los Calefactores Eléctricos y con el Control de Deshielo. La función del Disco Térmico es limitar la temperatura que alcanza el evaporador debido al funcionamiento de los calefactores durante el ciclo de deshielo. Los calefactores se encienden al inicio del ciclo de deshielo y cuando el hielo se ha derretido los calefactores se desconectan indicando al temporizador que el ciclo de deshielo ha finalizado.



Retardador de tiempo

El retardador de inicio se utiliza para retardar la puesta en marcha de los ventiladores del evaporador. Su función es evitar que al arrancar el compresor, después de un ciclo de deshielo, el evaporador arroje aire a mayor temperatura que la del ambiente a refrigerar. Esto ocurre porque los calefactores de deshielo hacen subir la temperatura del evaporador, y una vez finalizado el ciclo de deshielo, el fluido refrigerante debe primero enfriar el evaporador hasta la temperatura de trabajo. Una vez enfriado el evaporador, ya se puede comenzar a distribuir el aire frío mediante la utilización de los ventiladores. También permite retardar la partida de los ventiladores para dar mayor tiempo para que el evaporador desagüe

toda el agua descongelada en el deshielo, evitando así que ésta se congele nuevamente en los ductos de desagüe.



Refrigerantes

El gas refrigerante es el fluido utilizado para transmitir calor en los sistemas de refrigeración; se debe absorber calor de un ambiente a baja temperatura y presión, y cederlo a un ambiente con temperatura y presión más elevada. La refrigeración se logra en el proceso de condensación y evaporación del refrigerante, esto es, el cambio de estado del fluido refrigerante; en la evaporación se absorbe el calor del medio a refrigerar, en la condensación se cede ese calor al medio externo.

Un refrigerante debe cumplir con dos requisitos fundamentales:

- 1) Absorber el calor rápidamente a la temperatura requerida por la carga del producto.
- 2) El sistema debe usar el mismo refrigerante constantemente por razones de economía y para lograr un enfriamiento continuo.

No existe el refrigerante perfecto, y hay una gran variedad de opiniones acerca de cuál es más apropiado para aplicaciones específicas. Por otra parte, la mayoría de los refrigerantes poseen el inconveniente de dañar la capa de ozono y de contribuir al efecto de calentamiento global, que tiene que ver con el aumento de la temperatura promedio de la tierra, llamado también efecto invernadero.

El cloro presente en algunos refrigerantes, es responsable de contribuir al agotamiento de la capa de ozono. Los CFC (Clorofluorocarbonos) poseen el potencial de agotamiento más alto, y actualmente están siendo eliminados progresivamente (R11, R12, R502, R13).

Los Hidroclorofluorocarbonos (HCFC) tienen menos cloro, siendo su potencial de agotamiento del ozono mucho menor (R22, R123, R124). Éstos tenderán a ser Reemplazados por los Hidrofluorocarbonos (HFC), o también llamados ecológicos, como el R134a y el R404A, que al no poseer cloro no dañan la capa de ozono, además de tener un menor potencial de calentamiento global.

Aceites para sistemas de refrigeración.

Objetivo

Los aceites se utilizan en los compresores de refrigeración para lubricar las superficies que están en contacto y friccionan entre sí.

El aceite forma una delgada película entre las superficies.

Formulados especialmente para lubricar las partes y piezas mecánicas de los compresores de refrigeración y aire acondicionado. La elección del grado y tipo adecuado de aceite, garantiza el correcto funcionamiento del compresor, pues las altas revoluciones y las elevadas temperaturas que alcanza un compresor moderno, hacen indispensable una buena lubricación.

Aceite Mineral

Debe emplearse en sistemas que utilicen refrigerantes completamente miscibles con este tipo de aceite (R11, R12, R22, R502 y Cloruro de Metilo), o parcialmente miscible (Dióxido de Sulfuro). NO APTO para refrigerantes ecológicos basados en Hidrofluorocarbonos (HFC), incluyendo al R134a y al R404A.

Aceite sintético.

Lubricantes sintéticos a base de Éster (Polyol-Ester). Proporcionan una excelente lubricación, estabilidad y protección contra la corrosión. Son miscibles en refrigerantes HFC, como el R-134a y el R-404A.

Los aceites Polyol Éster poseen una mejor estabilidad térmica en comparación a los aceites minerales, pero requieren de mayor cuidado en su manejo, pues son 100 veces más higroscópicos (grado de absorción de la humedad ambiente) que el aceite mineral.

Los lubricantes sintéticos son fabricados de una base de componentes más costosa respecto a los aceites minerales, y por eso su precio es mayor. Sin embargo, las mejores características de este aceite sobrepasan con creces su mayor costo.

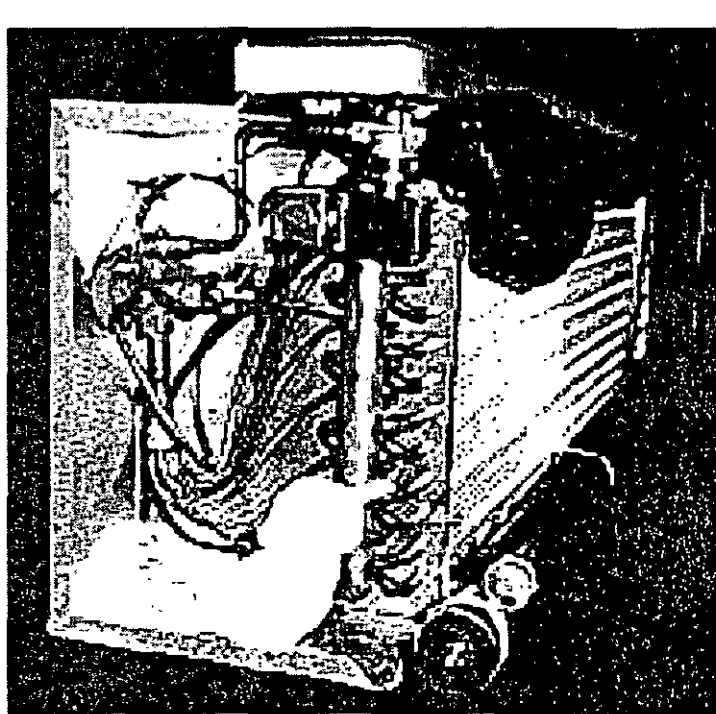
El aceite éster es compatible con todos los refrigerantes, por lo que un compresor que contiene aceite éster puede ser instalado en un sistema que contiene CFCs, HCFCs, o los nuevos HFCs, otorgando una gran flexibilidad.

Además estos aceites son altamente biodegradables, y por lo tanto tienen una baja ecotoxicidad.

6 CLASES DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

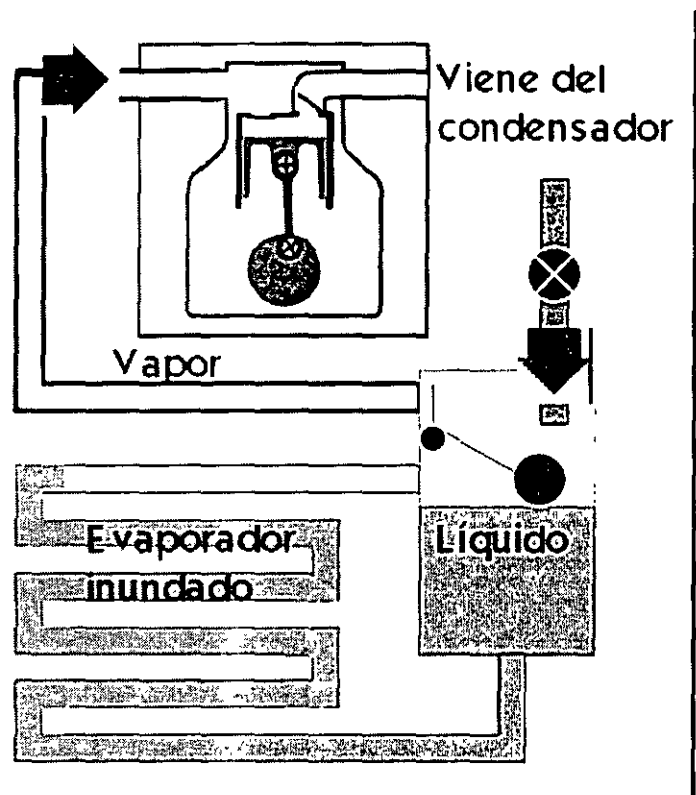
6.1 Sistema de expansión directa

Se caracteriza por que el refrigerante que ingresa al evaporador se convierte 100% en vapor, no existe retorno de refrigerante líquido. Son llamados también sistemas de expansión seca.



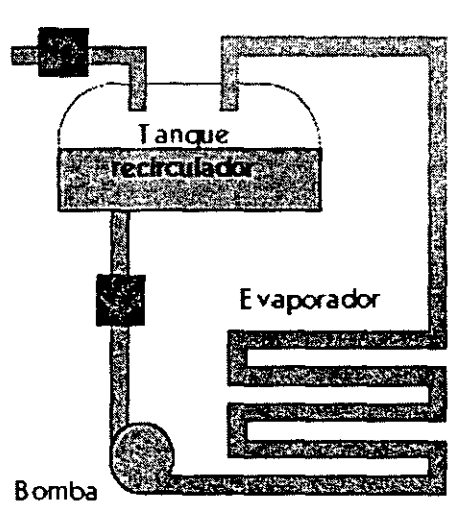
6.2 Sistema inundado

Se caracteriza por que el nivel de refrigerante en el evaporador es alto y continuo gracias a un tanque acumulador a la entrada. Son llamados también sistemas con sobrealimentación de líquido.



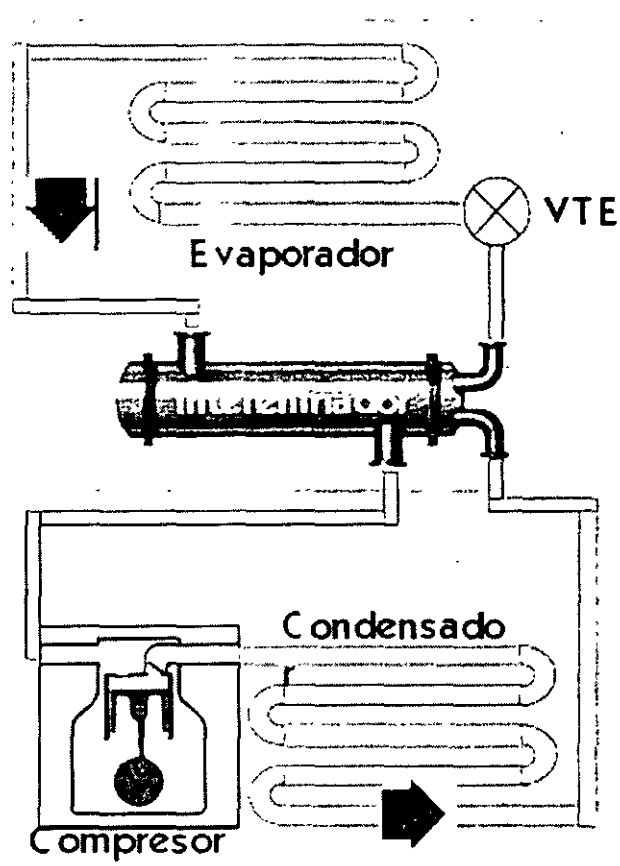
6.3 Sistema recirculado

Se caracteriza por que el flujo masico de refrigerante líquido que entra al evaporador supera al que sale. El retorno de refrigerante al sistema es una mezcla de líquido y vapor. Son llamados también sistemas con sobrealimentación de líquido.



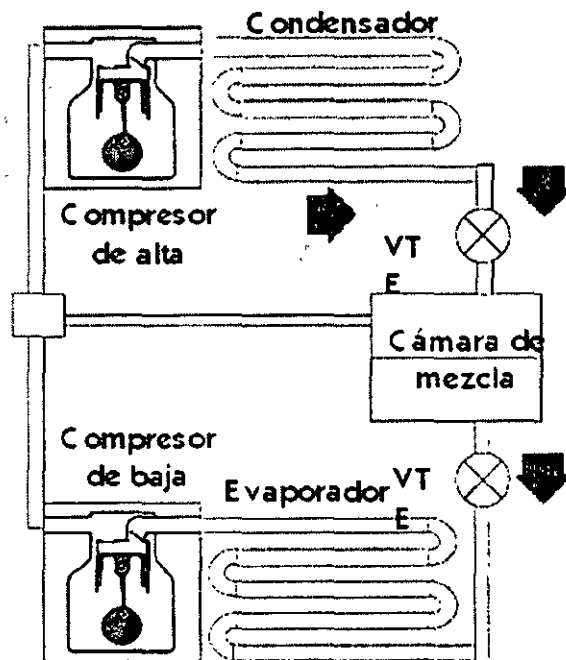
6.4 Enfriamiento intermedio

En sistemas de doble etapa además de eliminar los vapores instantáneos se utiliza un enfriamiento intermedio del vapor, el cual disminuye la potencia requerida en los compresores. El proceso de enfriamiento requiere un sumidero de bajas temperaturas, ya que la mayor parte de la disipación ocurre a temperaturas por debajo de la ambiente.



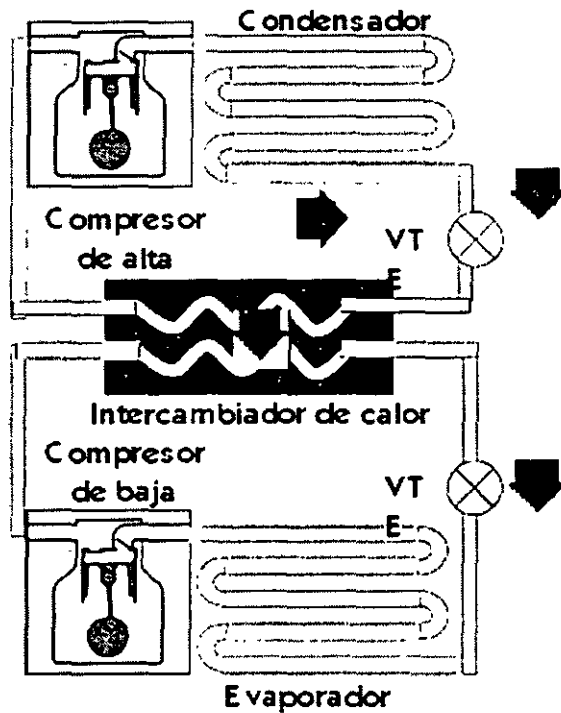
6.5 Refrigeración por etapas

En plantas de refrigeración industrial se tienen grandes diferencias entre la temperatura de evaporación y la de condensación. Esta diferencia es fuente de varios problemas y de algunas oportunidades. La utilización de varias etapas requiere una mayor inversión en los equipos pero requerir menos potencia en la operación.



6.6 Refrigeración en cascada

Se utiliza para obtener temperaturas muy bajas, criogénicas para la licuefacción de gases como el oxígeno, nitrógeno entre otros. Se usan diferentes refrigerantes.



Bibliografía

2001 ASHRAE Handbook CD
Ashrae

Principios y Sistemas de refrigeración
Edgard G. Pita
Ed. Limusa

Refrigeration 1997
Ashrae

Manual técnico Valycontrol
Valycontrol
Emerson Technologies

HANDBOOK OF AIR CONDITIONING AND REFRIGERATION
Shan K. Wang
McGraw Hill



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



División de Educación Continua, Facultad de Ingeniería, UNAM

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN REFRIGERACIÓN

MÓDULO I

INTRODUCCIÓN A LA
REFRIGERACIÓN
CA 242

TEMA

ANEXO



INGENIERIA MECANICA

EXPOSITOR: ING. ARTURO ALBA AGUILAR
DEL 16 AL 20 DE ABRIL DE 2007
PALACIO DE MINERÍA

Introducción

En toda actividad realizada por el ser humano, hay la necesidad de medir "algo"; ya sea el tiempo, distancia, velocidad, temperatura, volumen, ángulos, potencia, etc.

Todo lo que sea medible, requiere de alguna unidad con que medirlo, ya que la gente necesita saber qué tan lejos, qué tan rápido, qué cantidad, cuánto pesa, etc., en términos que se entiendan, que sean reconocibles y que se esté de acuerdo con ellos.

Para esto, fue necesario crear unidades de medición, las cuales en la antigüedad eran muy rudimentarias (codos, leguas, barriles, varas, etc.), y variaban de una región a otra. Algunas de estas unidades aún se siguen usando y conservando su nombre original.

En los últimos tres siglos de la historia de la humanidad, las ciencias han tenido su mayor desarrollo, y éste ha sido más vertiginoso de finales del siglo XIX a la fecha. Las unidades de medición tenían bases más científicas, y para efectuar cálculos matemáticos, hubo necesidad de agruparlas. Así se originaron los sistemas de unidades. Era (y sigue siendo) común, que a las unidades se les diera el nombre del científico que las descubría o inventaba.

Para evitar variaciones en el valor o magnitud de una unidad de un lugar a otro o de un tiempo a otro, fue necesario fijar patrones o puntos de referencia, para que basándose en dichos criterios, la unidad tuviera el mismo valor en cualquier lugar que se utilizara. Conforme ha avanzado el tiempo, algunos puntos de referencia de

algunas unidades han cambiado (pero no la unidad), siempre tratando de buscar más precisión. Por ejemplo, la unidad de longitud del Sistema Métrico Decimal, el metro (m.), originalmente se definía como la diezmillonésima parte de la longitud del cuadrante del meridiano del polo norte al ecuador, que pasa por París. Sin embargo, posteriormente se definió como la distancia entre dos marcas, hechas en una barra metálica de una aleación de platino e iridio, mantenida a una temperatura de 0°C, graduada en el museo de Sèvres en Francia. Actualmente, la longitud de un metro se define, de una manera más precisa e invariable que antes, como igual a $1'650,763,73$ longitudes de onda en el vacío del kriptón 86, excitado eléctricamente.

Aritmética Básica

Como ya sabemos, las operaciones aritméticas básicas se representan por los símbolos siguientes:

- + más o suma. Ejemplo: $2 + 5 = 7$.
- = igual a o mismo valor.
- menos o resta. Ejemplo: $6 - 4 = 2$.
- x multiplicación. Ejemplo: $2 \times 4 = 8$.
- ÷ división. Ejemplo: $6 \div 2 = 3$.
- multiplicación. Ejemplo: $2 \cdot 4 = 8$.
- () paréntesis: las operaciones dentro de paréntesis se hacen primero. Ejemplo: $(7-2) + 4 = 5 + 4 = 9$.

- ()² cuadrado; significa que el número dentro del paréntesis, se debe multiplicar por sí mismo (elevar al cuadrado). Se puede hacer sin paréntesis. Ejemplo: $(3)^2 = 3^2 = 3 \times 3 = 9$.
- ()³ cubo; significa que el número dentro del paréntesis, se debe multiplicar dos veces por sí mismo (elevar al cubo). Se puede hacer sin paréntesis. Ejemplo: $(3)^3 = 3^3 = 3 \times 3 \times 3 = 27$.
- a/b significa una división; el número de arriba "a" se va a dividir entre el número de abajo "b". Ejemplo: Si "a" = 8 y "b" = 2, $a/b = 8/2 = 8 \div 2 = 4$.
- Δ (delta), significa una diferencia. Ejemplo: ΔT = diferencia de temperaturas.

La mayoría de los cálculos incluyen el uso de unidades básicas. Estas se expresan en dígitos. En la relación $9 \times 3 = 27$, 9 y 3 son dígitos y 27 está formado por dos dígitos, 2 y 7. En la mayoría de los sistemas de unidades, como el métrico, la unidad básica es 1 y los dígitos múltiplos (mayores de la unidad) y sub múltiplos (menores de la unidad), están sobre la base de 10 (decimal). Por ejemplo, si el dígito 1 lo multiplicamos por 10, será 10; cada multiplicación subsecuente por 10 será 100, 1.000; 10.000; 100.000 y así sucesivamente. Si la unidad se divide entre 10, será 0.1 y cada división subsecuente será 0.01; 0.001; 0.0001 y así sucesivamente.

Cada nivel de multiplicación o división tiene un nombre, por ejemplo los múltiplos de la unidad:

simb.	prefijo	cantidad	ejemplos
D	= deca	= 10	Decámetro
H	= hecta	= 100	Hectómetro
K	= kilo	= 1.000	Kilogramo
M	= mega	= 1.000.000	Mega ohm
G	= giga	= 1.000.000.000	Gigabyte
T	= tera	= 1.000.000.000.000	

Y los submúltiplos de la unidad.

d	= deci	= 0.1	decímetro
c	= centi	= 0.01	centígrado
M	= mili	= 0.001	mililitro
μ	= micro	= 0.000001	micron
n	= nano	= 0.000000001	nanofaradio
p	= pico	= 0.000000000001	

En algunos cálculos, es difícil trabajar con cantidades que utilizan muchos ceros, ya sea a la derecha o a la izquierda del punto decimal. En estos casos se puede emplear un número especial llamado "potencia de diez" para expresar estos tipos de cantidades.

"Potencia de diez", significa que el número 10 se multiplica por sí mismo, el número deseado de veces para obtener el número de ceros requeridos. El número de veces que 10 se debe de multiplicar por sí mismo, se muestra por un pequeño número arriba y a la derecha del número 10. Este número también se llama "exponente", y se utiliza como se muestra a continuación:

Para números mayores que la unidad:

$$10^1 = 10 \text{ ó } (10)$$

$$10^2 = 100 \text{ ó } (10 \times 10)$$

$$10^3 = 1000 \text{ ó } (10 \times 10 \times 10)$$

$$10^5 = 1'000'000 \text{ ó } (10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10) \text{ etc.}$$

Así por ejemplo, para indicar 540.000 se puede expresar 5.4×10^5

Para números menores que uno.

$$10^{-1} = 0.1 \text{ ó } (0.10)$$

$$10^{-2} = 0.01 \text{ ó } (0.10 \times 0.10)$$

$$10^{-3} = 0.001 \text{ ó } (0.10 \times 0.10 \times 0.10)$$

$$10^{-6} = 0.000001 \text{ ó } (0.10 \times 0.10 \times 0.10 \times 0.10 \times 0.10 \times 0.10) \text{ etc.}$$

Así por ejemplo, para indicar 0.00072 se puede expresar 7.2×10^{-4} .

Redondeo de Números

En cálculos de refrigeración, no es frecuente el uso de fracciones (o decimales) de la unidad, sobre todo cuando no se requiere tanta precisión. En estos casos, cuando el decimal es menor de cinco, se redondea el número ignorando la fracción decimal. Cuando la fracción es 5 o mayor, se redondea al siguiente número más grande. Por ejemplo 27.3 se redondea a 27 y 27.5 a 28.

Sistemas de Unidades

Desde que el científico inglés ISAAC NEWTON (1642-1727) estableció el trascendental enunciado de que sobre la tierra y en su vecindad inmediata, la aceleración de un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza resultante que actúa sobre el mismo, e inversamente proporcional a su masa ($a = F/m$), desde entonces, los sistemas de unidades han sido basados en esto.

Antes de este enunciado, las unidades no estaban agrupadas. Las unidades de longitud eran el metro, el pie y sus múltiplos y submúltiplos; las unidades de tiempo son el segundo, minuto, hora, día, etc. No existían los sistemas de unidades bien definidos como los conocemos ahora. Analizando la ecuación de la segunda ley de Newton, podemos expresarla también como $F = ma$, y así, podemos decir que una unidad de fuerza (F) es producida por una unidad de aceleración (a), sobre un cuerpo que tiene una masa (m) de una unidad. Esto es muy simple aunque suene complicado; pero, ¿cómo denominaremos a esas unidades de aceleración, de masa y de fuerza? Primeramente definiremos un sistema de unidades como sistema de unidades compatibles y de proporción constante con la segunda ley de Newton.

Partiendo de esta definición un sistema de unidades debe tener unidades compatibles con la masa y la fuerza. Así, si medimos la masa en kilogramos y la aceleración en m/seg^2 entonces la fuerza tendrá las siguientes unidades:

$$F = ma = \text{kg} \times \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} = \text{Newton (N)}$$

Si utilizamos unidades inglesas:

$$F = ma = \text{lb} \times \frac{\text{pie}}{\text{seg}^2} = \text{poundal}$$

Las unidades de la fuerza son, pues, una combinación de las unidades fundamentales, y como se puede observar, deben ser compatibles; no se combinan kilogramos con pies, ni libras con metros. Así pues, se formaron los primeros sistemas de unidades. Curiosamente, a la unidad de fuerza en el sistema métrico se le llamó Newton, en honor a este científico inglés, y la unidad de fuerza en el sistema inglés se llama poundal.

Sistema Inglés - Es el sistema que tiene como base el pie (ft), la libra (lb) y el segundo (seg). El sistema inglés no es un sistema decimal como el métrico, sino que sus unidades están basadas en múltiplos y submúltiplos de 8 y de 12. Ejemplo: 1 pie = 12 pulgadas; 1 yarda = 3 pies = 36 pulgadas; 1 galón = 4 cuartos = 8 pintas; 1 libra = 16 onzas; etc. Se originó en Inglaterra, y actualmente se usa en algunos países en los que se impuso, por ser estos conquistados o colonizados por los ingleses. Aunque estos países son una minoría, tiene una difusión grande y una fuerte influencia, sobre todo en Asia y en América. En el caso particular de nuestro país, donde el sistema oficial es el Métrico Decimal, existe una gran influencia del sistema inglés por la cercanía con Estados Unidos, donde se usa el sistema inglés. Esta influencia se debe principalmente a la importación de tecnología y literatura.

Este sistema tiende a desaparecer, ya que se creó un sistema de unidades basado en el sistema métrico, y que se pretende que sea el único que se use en el mundo (ver Sistema Internacional). En Estados Unidos se adoptó desde hace unos 20 años, pero el proceso de cambio obviamente se va a llevar algunos años más.

CANTIDAD O "DIMENSION"	UNIDAD	SIMBOLO
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Corriente eléctrica	ampere	A
Temperatura	kelvin*	K
Cantidad de sustancia	mol	mol
Intensidad luminosa	candela	cd
Angulo plano	radian	rd
Angulo sólido	steradian	sr

* Aunque el grado Kelvin es la unidad de temperatura absoluta oficial en el SI, se permite el uso de grados centígrados o Celsius (°C) $K = ^\circ C + 273.15$

Tabla 15.1 - Unidades básicas del Sistema Internacional

Otras unidades del sistema inglés son: °F, btu, hp, el galón, psi, etc. y los múltiplos y submúltiplos de:

pie: milla, rod, fathom, yarda y pulgada.

libra: tonelada, onza y grano.

galón: bushel, peck, cuarto, pinta, gill, onza, dram, y minim.

Sistema Métrico Decimal - Tiene como unidades básicas el kilogramo (kg), el metro (m) y el segundo (seg). Al sistema métrico se le llama decimal, porque algunas unidades son en base del 10, como el metro y el kilogramo. Hasta hace poco, era el sistema de unidades más ampliamente utilizado en todo el mundo, incluyendo nuestro país, donde era el sistema de unidades oficial. Decimos que "era", porque también se tiene que adoptar el Sistema Internacional, como ya lo han hecho muchos otros países. Ya que se tiene que hacer este cambio, las otras unidades del sistema métrico se mencionaran en el sistema internacional, ya que algunas son las mismas y otras son muy parecidas, puesto que son derivadas de las mismas unidades básicas.

Sistema Internacional (SI) - Le *Système International d'Unités*, es un sistema de unidades que se pretende se utilice en todos los países del mundo, para uniformar los conceptos y que desde el punto de vista técnico, se hable el mismo lenguaje.

En la actualidad, en casi todos los países europeos es obligatorio el uso del SI, pero todavía faltan muchos países por adoptarlo.

Las unidades básicas en el SI son el metro (m), el kilogramo (kg) y el segundo (s), entre otras.

CANTIDAD	UNIDAD	SIMBOLO	FORMULA
Frecuencia	Hertz	Hz	1/s
Fuerza	Newton	N	kg m/s ²
Presión (esfuerzo)	Pascal	Pa	N/m ²
Energía (trabajo, calor)	Joule	J	N·m
Potencia	Watt	W	J/s
Carga eléctrica	Coulomb	C	A·s
Potencial eléctrico (fem)	Volt	V	W/A
Capacitancia	Farad	F	C/V
Resistencia eléctrica	Ohm	Ω	V/A
Conductancia	Siemens	S	A/V
Flujo magnético	Weber	Wb	V·s
Densidad del flujo mag	Tesla	T	Wb/m ²
Inductancia	Henry	H	Wb/A
Flujo luminoso	Lumen	lm	cd·sr
Iluminancia	Lux	lx	lm/m ²

Tabla 15.2a - Unidades derivadas del SI las cuales tienen nombres especiales

En las tablas 15.1, 15.2a y 15.2b, se presenta una lista completa de las unidades del SI. En las demás tablas se muestran los factores de conversión de las unidades del sistema inglés y del sistema métrico "antiguo" al Sistema Internacional y viceversa.

CANTIDAD	UNIDAD	SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD	SÍMBOLO
Aceleración lineal	metro por segundo cuadrado	m/s ²	Permeabilidad	Henry por metro	H/m
Aceleración angular	radián por segundo cuadrado	rad/s ²	Energía específica	Joule por kilogramo	J/kg
Área	metro cuadrado	m ²	Entropía específica	Joule por kilogramo - kelvin	J/kg K
Concentración	mol por metro cúbico	mol/m ³	Volumen específico	metro cúbico por kilogramo	m ³ /kg
Densidad de corriente	ampere por metro cuadrado	A/m ²	Tensión superficial	Newton por metro	N/m
Densidad masa	kilogramo por metro cúbico	kg/m ³	Conductividad térmica	Watt por metro - kelvin	W/m K
Densidad de carga eléctrica	coulomb por metro cúbico	C/m ³	Velocidad lineal	metro por segundo	m/s
Densidad de flujo eléctrico	coulomb por metro cuadrado	C/m ²	Velocidad angular	radián por segundo	rad/s
Entropía	joule por kelvin	J/K	Viscosidad dinámica	pascal - segundo	Pa s
Capacidad calorífica	joule por kelvin	J/K	Viscosidad cinemática	metro cuadrado por segundo	m ² /s
Fuerza de campo magnético	ampere por metro	A/m	Volumen	metro cúbico	m ³
Momento de fuerza	newton - metro	N m	Capacidad calorífica específica	joule por kilogramo - kelvin	J/kg K

Tabla 15.2b - Unidades comunes derivadas del SI

Abreviaturas y Símbolos de Unidades

A continuación se listan en orden alfabético, las abreviaturas y símbolos de las unidades del sistema métrico y del sistema inglés; ya que las del Sistema Internacional de Unidades (SI), son las que se indican en las tablas 15.1, 15.2a y 15.2b.

atm	atmósfera	hp	horse power	lb/in ²	libras por pulgada cuadrada
brit	británico	m	pulgada (inch)	m	metro
btu	british thermal unit	in ²	pulgada cuadrada	mi	milla
btu/ft ³	btu por pie cúbico	in ³	pulgada cúbica	mi/h	millas por hora
btu/lb	btu por libra	in Hg	pulgadas de mercurio	mi/min	millas por minuto
°C	grado Celsius (centígrado)	in ³ /lb	pulgadas cúbicas por libra	mi naut	milla náutica
cal	caloría	kcal	kilocaloría	min	minuto
cc	centímetros cúbicos = cm ³ =ml	kcal/kg	kilocaloría por kilogramo	ml	mililitro = cc = cm ³ (de líquido)
cm	centímetro	kcal/m ³	kilocaloría por metro cúbico	mm	milímetro
cm ²	centímetro cuadrado	kg	kilogramo	mm Hg	milímetros de mercurio
cm ³	centímetro cúbico	kg/cm ²	kilogramo por centímetro cuadrado	m ³ /s	metros cúbicos por segundo
cm ³ /g	centímetros cúbicos por gramo	kg/h	kilogramo por hora	oz	onza (avoirdupois)
cSt	centiStoke	kg f	kilogramo fuerza	oz t	onza troy
cv	caballo de vapor (métrico)	kg/m ²	kilogramo por metro cuadrado	psi	libras por pulgada cuadrada
gal	galón seco	kg/m ³	kilogramo por metro cúbico	psia	libras por pulg ² absoluta
dm	decímetro	kg/s	kilogramos por segundo	psia	libras por pulg ² manométrica
°F	grado Fahrenheit	km	kilómetro	qt	cuarto (de galón)
ft	pies (feet)	km ²	kilómetros cuadrados	s	segundo
ft ²	pies cuadrados	km/h	kilómetros por hora	St	Stoke
ft ³	pies cúbicos	l	litro	ton	tonelada
ft ³ /lb	pies cúbicos por libra	l/kg	litros por kilogramo	Torr	Torricelli = mm Hg
g	gramo	l/min	litros por minuto	T.R	ton de refrigeración standard comercial
gal	galón	o	libra	U.S.A	estadounidense
g/cm ³	gramos por centímetro cúbico	lb f	libra fuerza	μ	micrón
h	hora	lb/ft ²	libras por pie cuadrado	yd	yarda
ha	hectarea	lb ft ³	libras por pie cúbico		

Tabla 15.3 - Abreviaturas y símbolos

Temperatura

La temperatura, es una propiedad que mide la intensidad o nivel de calor de una sustancia. La temperatura no debe confundirse con el calor, ya que la temperatura no mide la cantidad de calor en una sustancia, sólo nos indica qué tan caliente o qué tan fría está esa sustancia.

La temperatura debe designarse en forma más precisa con referencia a una escala. El instrumento para medir temperatura se llama termómetro; el más común, es el que se basa en la expansión uniforme de un líquido dentro de un tubo de vidrio sellado. Este tubo tiene en el fondo un bulbo donde se aloja el líquido (mercurio o alcohol).

°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F			
-73	-100	-148	-189	-2	28.4	10.5	51	123.9	40.0	104	219.2	56.1	133	271.4
-68	-90	-130	-180	-1	30.2	11.1	52	125.6	40.6	105	221.0	56.7	134	273.2
-62	-80	-112	-178	0	32.0	11.7	53	127.4	41.1	106	222.8	57.2	135	275.0
-57	-70	-94	-172	1	33.8	12.2	54	129.2	41.7	107	224.6	57.8	136	276.8
-51	-60	-76	-167	2	35.6	12.9	55	131.0	42.2	108	226.4	58.3	137	278.6
-45.6	-50	-58.0	-16.1	3	37.4	13.3	56	132.8	42.8	109	228.2	58.9	138	280.4
-45.0	-49	-56.2	-15.6	4	39.2	13.9	57	134.6	43.3	110	230.0	59.4	139	282.2
-44.4	-48	-54.4	-15.0	5	41.0	14.4	58	136.4	43.9	111	231.8	60.0	140	284.0
-43.9	-47	-52.6	-14.4	6	42.8	15.0	59	138.2	44.4	112	233.6	60.6	141	285.8
-43.3	-46	-50.8	-13.9	7	44.6	15.6	60	140.0	45.0	113	235.4	61.1	142	287.6
-42.8	-45	-49.0	-13.3	8	46.4	16.1	61	141.8	45.6	114	237.2	61.7	143	289.4
-42.2	-44	-47.2	-12.8	9	48.2	16.7	62	143.6	46.1	115	239.0	62.2	144	291.2
-41.7	-43	-45.4	-12.2	10	50.0	17.2	63	145.4	46.7	116	240.8	62.8	145	293.0
-41.1	-42	-43.6	-11.7	11	51.8	17.8	64	147.2	47.2	117	242.6	63.3	146	294.8
-40.6	-41	-41.8	-11.1	12	53.6	18.3	65	149.0	47.8	118	244.4	63.9	147	296.6
-40.0	-40	-40.0	-10.6	13	55.4	18.9	66	150.8	48.3	119	246.2	64.4	148	298.4
-39.4	-39	-38.2	-10.0	14	57.2	19.4	67	152.6	48.9	120	248.0	65.0	149	300.2
-38.9	-38	-36.4	-9.4	15	59.0	20.0	68	154.4	49.4	121	249.8	65.6	150	302.0
-38.3	-37	-34.6	-8.9	16	60.8	20.6	69	156.2	50.0	122	251.6	66.1	151	303.8
-37.8	-36	-32.8	-8.3	17	62.6	21.1	70	158.0	50.6	123	253.4	66.7	152	305.6
-37.2	-35	-31.0	-7.8	18	64.4	21.7	71	159.8	51.1	124	255.2	67.2	153	307.4
-36.7	-34	-29.2	-7.2	19	66.2	22.2	72	161.6	51.7	125	257.0	67.8	154	309.2
-36.1	-33	-27.4	-6.7	20	68.0	22.8	73	163.4	52.2	126	258.8	68.3	155	311.0
-35.5	-32	-25.6	-6.1	21	69.8	23.2	74	165.2	52.8	127	260.6	68.9	156	312.8
-35.0	-31	-23.8	-5.6	22	71.6	23.9	75	167.0	53.3	128	262.4	69.4	157	314.6
-34.4	-30	-22.0	-5.0	23	73.4	24.4	76	168.8	53.9	129	264.2	70.0	158	316.4
-33.9	-29	-20.2	-4.4	24	75.2	25.0	77	170.6	54.4	130	266.0	70.6	159	318.2
-33.3	-28	-18.4	-3.9	25	77.0	25.6	78	172.4	55.0	131	267.8	71.1	160	320.0
-32.8	-27	-16.6	-3.3	26	78.8	26.1	79	174.2	55.6	132	269.6			
-32.2	-26	-14.8	-2.8	27	80.6	26.7	80	176.0						
-31.7	-25	-13.0	-2.2	28	82.4	27.2	81	177.8						
-31.1	-24	-11.2	-1.7	29	84.2	27.9	82	179.6						
-30.6	-23	-9.4	-1.1	30	86.0	28.3	83	181.4						
-30.0	-22	-7.6	-0.6	31	87.8	28.9	84	183.2						
-29.4	-21	-5.8	0	32	89.6	29.4	85	185.0						
-28.9	-20	-4.0	0.6	33	91.4	30.0	86	186.8						
-28.3	-19	-2.2	1.1	34	93.2	30.5	87	188.6						
-27.8	-18	-0.4	1.7	35	95.0	31.1	88	190.4						
-27.2	-17	1.4	2.2	36	96.8	31.7	89	192.2						
-26.7	-16	3.2	2.8	37	98.6	32.2	90	194.0						
-26.1	-15	5.0	3.3	38	100.4	32.9	91	195.8						
-25.6	-14	6.8	3.9	39	102.2	33.3	92	197.6						
-25.0	-13	8.6	4.4	40	104.0	33.9	93	199.4						
-24.4	-12	10.4	5.0	41	105.8	34.3	94	201.2						
-23.9	-11	12.2	5.6	42	107.6	35.0	95	203.0						
-23.3	-10	14.0	6.1	43	109.4	35.6	96	204.8						
-22.8	-9	15.8	6.7	44	111.2	36.1	97	206.6						
-22.2	-8	17.6	7.2	45	113.0	36.7	98	208.4						
-21.7	-7	19.4	7.8	46	114.8	37.2	99	210.2						
-21.1	-6	21.2	8.3	47	116.6	37.9	100	212.0						
-20.6	-5	23.0	8.9	48	118.4	38.3	101	213.8						
-20.0	-4	24.8	9.4	49	120.2	38.9	102	215.6						
-19.4	-3	26.6	10.0	50	122.0	39.4	103	217.4						

VALORES DE GRADOS SOLO				
°C	°F	°F	°C	
1=	1.8		1=	7.5
2=	3.6		2=	1.1
3=	5.4		3=	1.67
4=	7.2		4=	2.22
5=	9.0		5=	2.78
6=	10.8		6=	3.33
7=	12.6		7=	3.89
8=	14.4		8=	4.44
9=	16.2		9=	5.00

$^{\circ}\text{F} = 1.8^{\circ}\text{C} + 32 = 9/5^{\circ}\text{C} - 32$
 $^{\circ}\text{C} = 5/9(^{\circ}\text{F} - 32) = (^{\circ}\text{F} - 32) \cdot 1/9$
 $\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$
 $\text{K} = 5/9^{\circ}\text{R}$
 $\text{R} = \text{F} + 459.69$
 $\text{R} = 1.8\text{K}$

Tabla 15.4 - Tabla de conversión de temperaturas

Escalas de Temperatura Fahrenheit y Celsius

En 1592, Galileo inventó un termómetro, pero no tenía una escala bien definida. En 1720, el holandés Gabriel Fahrenheit, fue el primero que ideó un termómetro con una escala graduada, pero los puntos de referencia que escogió fueron la temperatura del cuerpo humano (100°F) y la de una mezcla de hielo con sal (0°F). En 1742, el sueco Anders Celsius, tomando el antecedente de Fahrenheit, ideó la escala de temperatura Celsius o Centígrada, usando como puntos de referencia la temperatura de una mezcla de hielo y agua pura (0°C), y la de ebullición del agua pura (100°C).

Estas dos escalas (la Fahrenheit y la Celsius), son las de uso más común en trabajos cotidianos. Ambas escalas tienen valores positivos (arriba del cero) y valores negativos (abajo del cero)

Escalas de Temperatura Absolutas, Kelvin y Rankine

Para trabajos más científicos, se requiere el uso de temperaturas absolutas (totales), que no tengan valores negativos. Las escalas absolutas comienzan de cero hacia arriba. El cero absoluto es una temperatura que se determinó matemáticamente, y se supone que a esa temperatura, se detiene el movimiento molecular de cualquier sustancia. Es la temperatura más baja posible en la tierra, y se supone también que en este punto, hay una total ausencia de calor.

Las escalas usadas para medir temperaturas absolutas son la Kelvin (Celsius absoluta) y la Rankine (Fahrenheit absoluta). La Kelvin usa las mismas divisiones o graduaciones que la escala Celsius, y el cero absoluto (0°K) equivale a -273.15°C . La escala Rankine usa las mismas divisiones que la escala Fahrenheit, y el cero absoluto (0°R) equivale a -460°F .

La unidad de temperatura en el SI es el Kelvin (K), aunque se permite el uso de $^{\circ}\text{C}$. Las fórmulas para convertir grados de una escala a otra, se localizan al pie de la tabla 15.

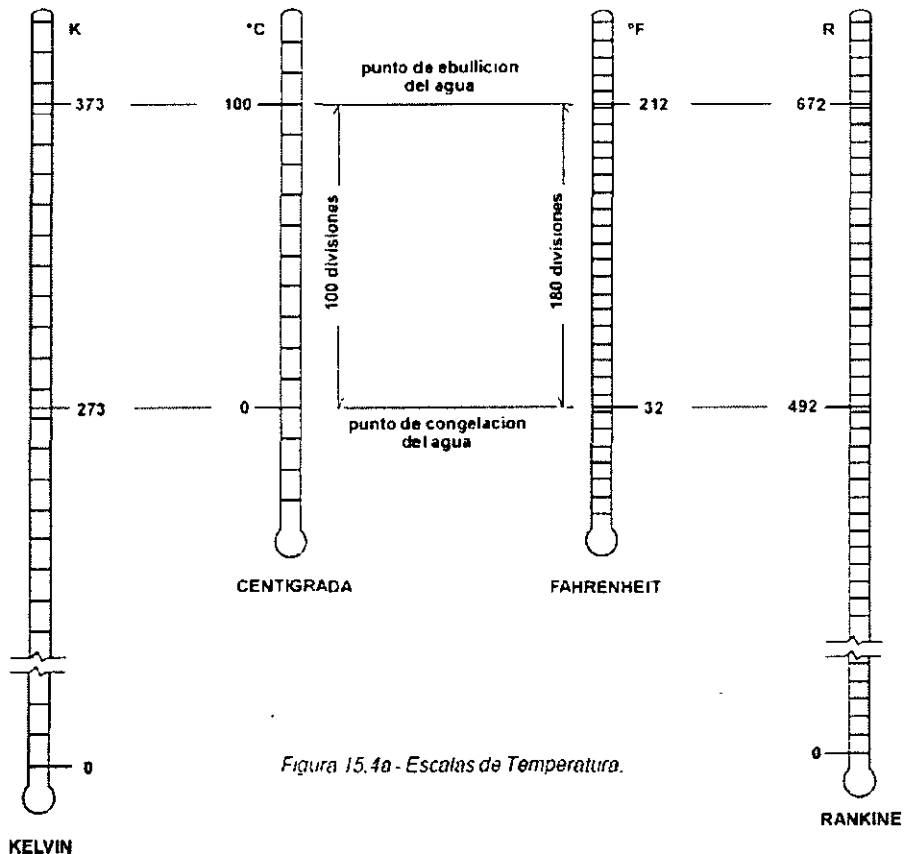


Figura 15.4a - Escalas de Temperatura.

Presión

La presión se define como la fuerza aplicada sobre una superficie, por lo que sus unidades son $\text{kgf}/\text{m}^2 = \text{N}/\text{m}^2$. Es una de las propiedades termodinámicas más útiles, porque se mide directamente con facilidad. La unidad de presión en el SI, es el N/m^2 y se le llama Pascal (Pa), en honor al físico francés Blaise Pascal.

Existen tres tipos de presión: a) Atmosférica o Barométrica, b) Manométrica, y c) Absoluta.

Presión Atmosférica - Es la presión ejercida por el peso del aire atmosférico, al ser atraído por la fuerza de la gravedad. Esta presión varía con relación a la altitud sobre el nivel del mar (ver figura 13.6 del capítulo de Psicrometría). También se le llama presión barométrica, porque el instrumento utilizado para medirla, se llama barómetro. El italiano Evangelista Torricelli, fue el primero en medir esta presión, utilizando un barómetro de mercurio. El valor que él obtuvo es de 760 mm de mercurio al nivel del mar. A estas unidades (mm Hg) también se les llama Torricelli (Torr). El valor de la presión atmosférica al nivel del mar, es como sigue:

Sistema Internacional = 101.325 Pa
(kiloPascuales) = 101.325 kPa

Sistema Métrico = $1.033 \text{ kg}/\text{cm}^2 = 760 \text{ mm Hg}$.

Sistema Inglés = $14.696 \text{ psi} = 29.92 \text{ in Hg}$.

Presión Manométrica - Cuando se desea medir la presión dentro de un sistema cerrado, se utiliza un instrumento llamado manómetro, por eso se le llama presión manométrica. La presión dentro de un sistema cerrado, puede ser mayor o menor que la atmosférica. A la presión mayor que la atmosférica, se le llama positiva; y a la menor, se le llama negativa o vacío. El manómetro marca la diferencia de presiones entre la que existe dentro del sistema y la presión atmosférica del lugar.

Presión Absoluta - Es la suma de la presión atmosférica más la presión manométrica. Si esta última es positiva, suman, y si es negativa, se restan.

Presión Absoluta = presión atmosférica + presión manométrica

Presión Absoluta = presión atmosférica - presión manométrica (vacío).

Las unidades con que se miden comúnmente las presiones son kg/cm^2 en el sistema métrico, y lb/in^2 en el sistema inglés. Las presiones negativas o vacío, se acostumbra medirlas en mm de Hg y pulgadas de mercurio, respectivamente.

En la solución de la mayoría de los problemas de ingeniería sobre presión y volumen, es necesario utilizar valores de presión absoluta. La escala de presión absoluta, al igual que las de temperatura absoluta, no tiene valores negativos ni combina diferentes unidades. Inicia en el cero absoluto (0 Pa), que corresponde al vacío absoluto, y allí aumenta. En la mayoría de las operaciones, el Pascal (Pa) resulta una unidad muy pequeña, por lo que generalmente se utilizan múltiplos de éste, que son kiloPascal (kPa) que es igual a 1,000 Pa, o bien el bar, que es igual a 100,000 Pascales = 100 kPa. Al kiloPascal también se le conoce como piéze (pz).

En el sistema inglés, se hace una clara distinción en libras por pulgada cuadrada absolutas (psia por sus siglas en inglés de Pound per Square Inch Absolute), y libras por pulgada cuadrada manométricas (psig por sus siglas en inglés de Pounds per Square Inch Gauge). Cuando sólo usa psi sin la "a" o la "g", generalmente se refiere a diferencias o caídas de presión.

kiloPascuales (kPa)	x 0.010197 = kg/cm ²	mm Hg (Torr)	x 0.13333 = kPa
	x 0.14504 = lb/in ² (psia)		x 0.00136 = kg/cm ²
	x 7.5 = mm Hg abs.		x 0.01934 = lb/in ² (psia)
	x 0.2953 = in Hg abs.		x 0.03937 = in Hg
	x 0.01 = bar		x 0.001333 = bar
	x 0.00987 = atmosferas		x 0.00136 = atm
x 10,000 = barve (µb)	x 1,000 = micrones (µ)		
kg/cm ²	x 98.066 = kPa	in Hg (pulg. Hg)	x 3.3864 = kPa
	x 14.2234 = lb/in ² (psia)		x 0.03453 = kg/cm ²
	x 735.514 = mm Hg		x 0.49115 = lb/in ² (psia)
	x 28.9572 = in Hg		x 25.4 = mm Hg
	x 0.987 = bar		x 0.03386 = bar
	x 0.96778 = atmosferas		x 0.03342 = atm
lb/in ² (psia)	x 6.89474 = kPa	atmosfera (atm)	x 25.400 = micrones (µ)
	x 0.07031 = kg/cm ²		x 101.325 = kPa
	x 51.715 = mm Hg		x 1.03329 = kg/cm ²
	x 2.036 = in Hg		x 14.6969 = lb/in ²
	x 0.06895 = bar		x 760 = mm Hg
	x 0.0604 = atm		x 29.9212 = in Hg
1 psig = 15.696 psia = 108.22 kPa.			x 1.01325 = bar
0 psig = 14.696 psia = 101.325 kPa			x 33.9 = pres. de agua

Tabla 15.5 - Factores de conversión de unidades de presión

Factores de Conversión

Un factor de conversión es una cantidad (entera o fraccionaria) que muestra la relación entre dos unidades de medida.

Los factores de conversión son muy útiles para resolver problemas donde se utilizan fórmulas en que intervienen o más unidades diferentes o donde la respuesta requiere una unidad de medición diferente a la usada en el problema.

A continuación se verán los factores para convertir unidades de un sistema a otro, principalmente del inglés a métrico, agrupándolos por cada una de las cantidades más comúnmente utilizadas. También, se definirán las cantidades importantes y se darán algunos ejemplos y formulas para calcularlas.

Longitud

La longitud se define como la distancia entre dos puntos. La unidad de longitud en el SI es el metro (m).

1 m = 10 decímetros (dm) = 100 centímetros (cm) = 1 000 milímetros (mm) = 1'000,000 micrones (μm) = 0,001 kilómetros (km).

kilómetros (km)	x 0.62137	= millas	yardas (yd)	x 0.9144	= metros	
	x 0.5399	= millas náuticas		x 3	= pies	
	x 198.838	= rods		x 36	= pulgadas	
	x 546.8	= fathoms (traza)		x 91.44	= centímetros	
	x 1,094	= vargas		pies (ft)	x 0.3048	= metros
	x 3.281	= pies			x 0.3333	= yardas
	x 1,000	= metros			x 12	= pulgadas
millas (mi)	x 320	= rods	pulgadas (in)	x 30.48	= centímetros	
	x 1,760	= vargas		x 0.0254	= metros	
	x 5,280	= pies		x 0.02777	= yardas	
	x 1,609.35	= metros		x 0.08333	= pies	
	x 1,609.35	= kilómetros		x 2.54	= centímetros	
milla náutica (mi naut)	x 1.85325	= kilómetros	centímetros (cm)	x 25.4	= milímetros	
	x 1.15155	= millas		x 25,400	= micrones	
	x 368.497	= rods		x 30.48	= pies	
metros (m)	x 1,853.25	= metros	milímetros (mm)	x 2.54	= pulgadas	
	x 1.093613	= yardas		x 25.4	= pulgadas	
	x 3.28083	= pies		x 304.8	= pies	
	x 39.37	= pulgadas		x 1,000	= micrones	
	x 1,609.35	= millas		micrones	x 25,400	= pulgadas
x 0.19884	= rods					
1 rod	x 5.03	= metros				

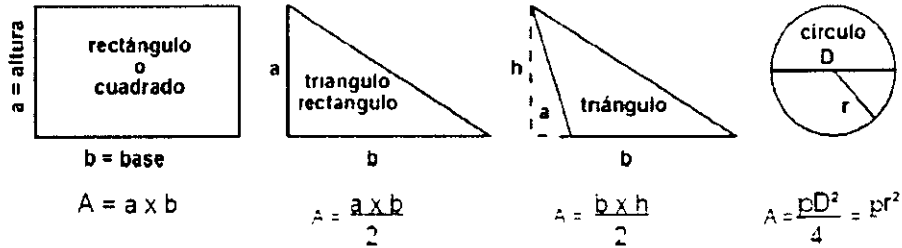
Tabla 15.6 - Factores de conversión de unidades de longitud

Área

La medición de una área o superficie, es la medición de un espacio bidimensional. Las unidades de área en el SI, son las unidades de longitud al cuadrado ($m \times m = m^2$).

$1 m^2 = 100 dm^2 = 10.000 cm^2 = 1 \times 1'000.000 mm^2 = 0.001$ hectareas (ha).

El área de las diferentes figuras geométricas, se encuentra aplicando fórmulas sencillas; por ejemplo:



millas cuadradas (mi ²)	x 2,59	= m ²	metros cuadrados (m ²)	x 0,0001	= hectareas
	x 640	= acres		x 0,10569	= yd ²
	x 259	= hectareas		x 10,7639	= ft ²
	x 2,589,989	= m ²		x 1,549,16	= m ²
kilómetros cuadrados (km ²)	x 0,3661	= m ²	pies cuadrados (ft ²)	x 0,092903	= m ²
	x 100	= hectareas		x 0,11111	= yd ²
	x 247,104	= acres		x 144	= m ²
acres	x 1'000,000	= m ²	pulgadas cuadradas (ln ²)	x 629,03	= cm ²
	x 0,001563	= m ²		x 6,4516	= cm ²
	x 4,840	= m ²		- 144	= ft ²
	- 247,104	= m ²		x 645,16	= mm ²
	x 4,046,86	= m ²		- 1,296	= yd ²
hectáreas (ha)	x 43,560	= ft ²	centímetros cuadrados (cm ²)	x 0,155	= m ²
	- 259	= m ²		- 929,03	= ft ²
	x 0,01	= m ²		x 100	= mm ²
	x 2,47104	= acres		x 0,0001	= m ²
	x 10,000	= m ²			
	x 11,959,9	= yd ²			

Tabla 15.7 - Factores de conversión de unidades de área

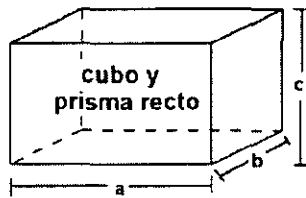
Volumen y Capacidad (Líquido)

La medición del volumen, es la medición de un espacio tridimensional. La unidad del volumen en el SI, es la unidad de longitud al cubo ($m \times m \times m = m^3$). En mediciones de capacidad, se puede usar el litro (l) y sus múltiplos y submúltiplos.

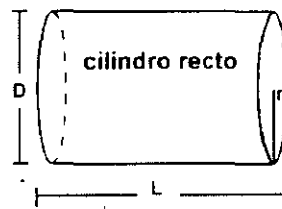
$$1 m^3 = 1,000 dm^3 = 1,000,000 cm^3 = 1,000 \text{ litros (l)}$$

$$1 l = 10 \text{ decilitros (dl)} = 100 \text{ centilitros (cl)} = 1,000 \text{ mililitros (ml)} = 1,000 \text{ centímetros cúbicos (cm}^3 \text{ o cc)} = 1 \text{ decímetro cúbico (dm}^3\text{)}$$

Para calcular el volumen de diferentes cuerpos geométricos, se emplean fórmulas sencillas:



$$V = a \times b \times c$$



$$V = \pi r^2 L = \frac{\pi D^2}{4} L$$



$$V = \frac{4}{3} \pi r^3$$

metro cúbico (m³)	<ul style="list-style-type: none"> x 1 30795 = yd³ x 35 31447 = ft³ x 28 38 = bushels U.S. x 220 = gal (brit.) x 264 1728 = gal (U.S.) x 1 000 = litros (dm³) 	Bushel (U.S.)	<ul style="list-style-type: none"> x 35 2393 = litros (dm³) x 2 150 42 = m³ x 1 24448 = ft³ x 9 7092 = gal liq (U.S.) x 8 0 = gal seco (U.S.) x 0.035239 = m³
pies cúbicos (ft³)	<ul style="list-style-type: none"> x 0 028317 = m³ x 28 317 = dm³ x 1 728 = in³ x 0 80356 = bushels U.S. x 7 48055 = gal (U.S.) x 6 230 = gal (brit.) 	galón líquido (gal)	<ul style="list-style-type: none"> x 3 78543 = litros x 8 34 = libras de agua x 0 13368 = ft³ x 231 = in³ x 4 0 = cuartos (liq.) x 8 0 = pintas x 1 28 = onzas (líquidas)
litros (l)	<ul style="list-style-type: none"> x 1,000 = cm³ ó ml x 61 0234 = in³ x 0 227 = gal seco (brit.) x 0 26418 = gal liq (U.S.) x 0 035314 = ft³ x 2 1142 = pintas x 4.54374 = galón imperial x 1 05668 = cuartos liq. x 33 8135 = onzas fluidas (U.S.) x 35 1988 = onzas fluidas (brit.) 	galón seco (d gal)	<ul style="list-style-type: none"> x 4 4049 = litros x 0 15556 = ft³ x 268 803 = in³ x 4 0 = cuartos (secos)
barril	x 42 = gal (petróleo)	centímetros cúbicos (cm³ ó cc)	<ul style="list-style-type: none"> x 0 001 = litros (dm³) x 0 061024 = in³ x 1 0 = ml x 0 03381 = onzas fluidas (U.S.) x 0 03519 = onzas fluidas (brit.)
pinta	<ul style="list-style-type: none"> x 16 = oz fluidas x 0.473 = litros 	pulgadas cúbicas (in³)	<ul style="list-style-type: none"> x 16 387 = cm³ - 1.728 = ft³ x 0 016387 = dm³ (litros) x 16.387 = mm³
cuarto (qt)	<ul style="list-style-type: none"> x 2.0 = pintas x 32 0 = onzas x 0.946 = litros 		

Tabla 15.6 - Factores de conversión de unidades de volumen.

Masa

En nuestra vida cotidiana, por tradiciones usamos un sistema de unidades mixto e incompatibles es decir, usamos kg tanto como unidad de fuerza, como de masa o para presión.

La literatura abunda en una confusión entre fuerza y masa, que sin duda, proviene de que la masa puede medirse la fuerza de gravedad (como en una báscula) y, consecuentemente, se usa la misma unidad (el kilogramo) para cada una, sin indicar si es de masa o de fuerza. Es importante hacer la diferencia entre lo uno y lo otro. La palabra **kg** se usa para indicar fuerza de gravedad, y **masa**, es la que se compara en una báscula o balanza. Ejemplo: cuando dice "ese bulto pesa 30 kg", es más probable que se quiera indicar una masa. Cuando se dice "el empuje del resorte sobre el pistón es de 6 kg", se está haciendo referencia a una fuerza.

Un kg. masa, es una cantidad absoluta de materia. Esto significa que un kg de materia en reposo, siempre es un kg independientemente de su situación en el espacio, aún cuando la fuerza de gravedad sea pequeña o nula.

La unidad de masa en el SI, es el kilogramo (kg).

1 kg = 1,000 gramos (g) = 1'000,000 miligramos (mg) = 1 litro agua @ 4°C.

Nota: En el sistema de unidades inglés, existen dos tipos de masa, el Avoirdupois y el Troy.

Tonelada (ton)	X 1,000 = kg	Libras (troy) (lb t)	X 0.37324 = kg
	X 1.10231 = ton corta (U.S.)		X 12.0 = oz (troy)
	X 0.98421 = ton larga (brit)		X 5,760 = granos
	X 2.20458 = lb		X 373.24 = g
Tonelada Corta (U.S.)	X 2,000 = lb (avoir)	Libras (avoir) (lb)	X 0.82286 = lb (avoir)
	X 0.9072 = ton		X 13.1657 = oz (avoir)
	X 0.89286 = ton larga		X 0.45359 = kg
	X 907.185 = kg		X 16.0 = oz (avoir)
Tonelada Larga (brit)	X 2.240 = lb (avoir)	Kilogramos (kg)	X 7,000 = granos
	X 1.01605 = ton		X 453.59 = g
	X 1.12 = ton corta		X 1.21528 = lb (troy)
	X 1.01605 = kg		X 2.204585 = lb (avoir)
Gramos (g)	X 0.001 = kg	Onzas (troy) (oz t)	X 2.67923 = lb (troy)
	X 0.03527 = oz (avoir)		X 1.000 = g
	X 0.03215 = oz (troy)		X 35.2734 = oz (avoir)
	X 15.432 = granos		X 32.1507 = oz (troy)
	X 20.0 = gotas agua		X 15,432.4 = granos
Onzas (avoir) (oz)	X 31.10 = g	Onzas (avoir) (oz)	X 28.35 = g
	X 1.09714 = oz (avoir)		X 0.9115 = oz (troy)
	X 480.0 = granos		X 437.5 = granos

Tabla 15.9 - Factores de conversión de unidades de masa y peso

Caudal (Flujo)

El caudal es el paso de una cantidad de masa (kg), por una unidad de tiempo (s). El caudal se mide de 3 maneras distintas, y las unidades en el sistema internacional SI, son diferentes para cada una:

Caudal en base a la masa - kg/s

Caudal en base al volumen - m³/s

Caudal en base a la masa por área - kg/m²s

EN BASE A LA MASA			EN BASE AL VOLUMEN					
kg/s	X 0.001	= g/s	m ³ /s	X 60	= m ³ /min			
	X 3,600	= kg/h		X 3,600	= m ³ /h			
	X 3.6	= ton/h		X 60,000	= l/min			
	X 7,936.5	= lb/h		X 35.3147	= ft ³ /s			
	X 2,204.62	= lb/s		X 2,118.87	= ft ³ /min			
kg/m ²	X 3,600	= kg/h m ²		X 15,850.4	= gal/min (USA)			
	X 0.2048	= lb/s ft ²		X 13,199	= gal/min (brit)			
	X 737.35	= lb/h ft ²		ft ³ /min	X 0.02832	= m ³ /min		
	X 5.12	= lb/h in ²			X 28.32	= l/min		
						X 7.482	= gal/min (USA)	
X 6.228			= gal/min (brit)					
gal/min (USA)			X 0.2271			= m ³ /h		
			X 3.78543	= l/min				
			X 8.019	= ft ³ /h				
			l/min	X 0.8326	= gal/min (brit)			
				X 0.06	= m ³ /h			
				X 2.1186	= ft ³ /h			
							X 0.2642	= gal/min (USA)
							X 0.22	= gal/min (brit)

Tabla 15.10 - Factores de conversión de unidades de caudal

Velocidad Lineal

La velocidad lineal es el desplazamiento de un objeto con respecto al tiempo; por lo que, sus unidades son de longitud por tiempo. En el SI son m/s.

Pies/seg (ft/s)	X 0.3048	= m/s	Metros/seg (m/s)	X 3.28083	= ft/s
	X 30.48	= cm/s		X 2.23693	= mi/h
	X 1.097283	= km/h		X 3.6	= km/h
	X 0.68182	= mi/h		X 39.37	= in/s
	X 12.0	= in/s		X 1.94254	= nudos
	X 0.59209	= nudos		(km/h)	X 0.27778
Millas/Hora (mi/h)	X 1.60935	= km/h	X 0.62137		= mi/h
	X 0.44704	= m/s	X 0.53959		= nudos
	X 26.8217	= m/min	X 0.91134		= ft/s
	X 1.46667	= ft/s	X 16.6667		= m/min
				X 0.86839	

Tabla 15.11 - Factores de conversión de unidades de velocidad lineal

Aceleración Lineal

La aceleración se puede definir como el incremento de velocidad con respecto al tiempo. Como vimos al principio de este capítulo, una cantidad unitaria de aceleración se indica por un metro por segundo y por segundo: es decir, unidades de la aceleración son dimensiones de longitud por unidad de tiempo al cuadrado m/s^2 .

ft/s²	X 0.3048	= m/s ²	m/s²	X 3.2808	= ft/s ²
	X 12.0	= in/s ²		X 100	= cm/s ²
	X 30.48	= cm/s ²		X 39.37	= in/s ²
	X 0.68182	= m/hs		X 3.6	= km/hs
	X 1.09728	= kg/hs		X 2.237	= m/hs

Tabla 15.12 - Factores de conversión de unidades de aceleración lineal

Fuerza

Una fuerza cuando se aplica a un cuerpo en reposo, lo hace que se mueva.

Como vimos al inicio de este capítulo, la fuerza es igual a una unidad de masa (kg) por una unidad de aceleración (m/s^2), lo que resulta $F = kg \times m/s^2$. La unidad de fuerza en el SI es entonces el $kg \cdot m/s^2$ que se le llama Newton (1 N = 1 $kg \cdot m/s^2$). El Newton es la fuerza que aplicada a un cuerpo con masa de 1 kg, le da una aceleración 1 m/s^2 .

Otra unidad de fuerza es el kilogramo - fuerza (kgf) que se le llama así para diferenciarlo del kilogramo masa (kg) 1 kgf = 9.8066 N (aceleración de la gravedad).

En la mayoría de los países europeos, se ha adoptado el kilopond como unidad de fuerza, en lugar del kgf.

Newton (N)	X 100.000	= dinas	kgf	X 980.665	= dinas
	X 0.001	= sthene (sn)		X 9.80665	= N
	X 0.2248	= lbf		X 0.000981	= sthene
	X 7.233	= poundal		X 2.20453	= lbf
	X 0.10197	= kgf			

Tabla 15.13 - Factores de conversión de unidades de fuerza

Volumen Específico (Masa Volumétrica)

El volumen específico de cualquier sustancia, es el volumen (m³) que ocupa una unidad de masa (kg); en otras palabras, es el volumen de un kilogramo de gas en condiciones normales (20°C y 101.3 kPa). Para darnos una mejor idea, el volumen específico de un kilogramo de aire seco y limpio es de 0.84 m³. Comparándolo con el hidrógeno, un kilogramo de éste ocupa 11.17 m³, y un kilogramo de amoníaco ocupa 1.311 m³. A los gases que ocupan mayor espacio que el aire, se les llama gases ligeros, los que ocupan menor espacio que el aire, se les llama gases pesados.

Las unidades en el SI para medir el volumen específico son m³/kg

$$1 \text{ m}^3/\text{kg} = 1.000 \text{ cm}^3/\text{g} = 1.000 \text{ l}/\text{kg} = 1.000 \text{ dm}^3/\text{kg}$$

Pies cúbicos/lb (ft ³ /lb)	X 1.728 = m ³ /lb	Metros cúbicos/kg (m ³ /kg)	X 16.01847 = ft ³ /lb
	X 62.427 = l/kg=(dm ³ /kg)		X 119.842 = gal/lb (liq)
	X 62.427 = cm ³ /g		X 2.706 = m ³ /lb
	X 0.062427 = m ³ /kg		X 1.000 = l/kg=dm ³ /kg
	X 7.48055 = gal/lb (liq)		X 1.000 = cm ³ /g
Pulgada cúbicos/lb (in ³ /lb)	- 1.728 = m ³ /lb	Centímetros cúbicos/g (cm ³ /g)	X 0.001 = m ³ /kg
	X 0.03613 = l/kg=dm ³ /kg		X 1.0 = l/kg=dm ³ /kg
	X 0.03613 = cm ³ /g		X 27.07 = in ³ /lb
	- 27.700 = m ³ /kg		X 0.0160185 = ft ³ /lb
	- 231 = gal/lb (liq)		X 0.11943 = gal/lb (liq)
gal/lb (liq)	X 8.3454 = l/kg=dm ³ /kg	Partes por millón (ppm)	X 20.0 = gotas de agua
	X 0.13369 = ft ³ /lb		X 1.0 = mg/l = mg/kg
	X 0.008345 = m ³ /kg		X 0.056416 = granos/gal
	- 231.0 = in ³ /lb		X 0.007 = granos/lb

Tabla 15.14 - Factores de conversión de unidades de volumen específico

Para determinar cualquier factor de conversión donde intervienen dos mas unidades, el procedimiento es muy simple, por ejemplo, el factor para convertir m³/kg a ft³ de la tabla 15.14, el cual es 16.01847, se determina de la siguiente manera:

Las unidades que conocemos son m³/kg, y queremos convertir una cantidad cualquiera a ft³/lb. Primero, necesitamos saber cuantos pies cúbicos tiene un metro cúbico. De la tabla 15.6 vemos que 1 m³ = 35.31447 ft³. También necesitamos saber cuantas libras tiene un kilogramo: de la tabla 15.9 vemos que 1 kg = 2.20455 lb. El procedimiento es el siguiente:

$$1 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \times \frac{35.3145 \text{ ft}^3}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{2.20455 \text{ lb}} = \frac{35.3145 \text{ ft}^3 \cdot \text{kg}}{2.20455 \text{ lb} \cdot \text{m}^3} = 16.01847 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

En el caso de que no conociéramos la equivalencia de volumen entre m³ y ft³ pero conocemos la equivalencia de longitud entre m y ft (1 m = 3.28084 ft), también se puede determinar el mismo factor procediendo como sigue:

$$1 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \times \frac{(3.28084 \text{ ft})^3}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{2.20455 \text{ lb}} = \frac{35.3145 \text{ ft}^3}{2.20455 \text{ lb}} = 16.0187 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

De la misma manera se puede proceder para cualquier otro factor, aun conociendo solamente las equivalencias básicas. Nótese que el valor de una de las unidades es siempre uno (1) y que se puede utilizar como multiplicador o como divisor sin cambiar el valor de la ecuación.

Ejemplo, encontrar el volumen en m³ de una cámara que tiene las siguientes dimensiones, largo = 80 pies, ancho = 50 pies y alto = 12 pies.

De la fórmula para encontrar el volumen de un prisma recto (tabla 15.7) v = largo x ancho x alto.

$$v = 80 \text{ ft} \times 50 \text{ ft} \times 12 \text{ ft} = 48.000 \text{ ft}^3$$

$$v = 48.000 \text{ ft}^3 \times \frac{1 \text{ m}^3}{35.3145 \text{ ft}^3} = 1.359 \text{ m}^3$$

Obsérvese que el uno del factor de conversión, va arriba en este caso para que se puedan cancelar los factores comunes (ft³).

Potencia

La potencia es la rapidez o velocidad con que la energía se transforma en trabajo; de aquí que sus unidades sean de trabajo (J) por unidades de tiempo (s). La unidad de la potencia en el SI es el Watt (W); entonces $1 \text{ W} = \text{J/s}$. Algunas veces se emplea mejor el kiloWatt (kW) que equivale a 1.000 W. Otras unidades comunes de potencia son el caballo de vapor (cv) en el sistema métrico, y el horse power (hp) en el sistema inglés. También, el kilogramo fuerza · metro por segundo (kgf·m/s).

kiloWatt (kW)	X 859.8	= kcal/h	horse power (hp)	X 1.01387	= cv
	X 3.412 14	= btu/h		X 745.65	= W
	X 1.359	= cv		X 550.0	= lbf ft/s
	X 1.341	= hp		X 76.04	= kgf m/s
	X 101.97	= kgf m/s		X 2.544 06	= btu/h
	X 737.4	= lbf ft/s		X 641.232	= kcal/h
Caballo de vapor (cv)	X 1.000	= W	X 4.716	= TR	
	X 0.284535	= TR	X 9.8006	= W	
	X 0.7355	= kW	X 7.233	= lbf ft/s	
	X 0.6863	= hp	X 9.4312	= kcal/h	
	X 75.0	= kgf m/s	X 33.48	= btu/h	
	X 542.475	= lbf ft/s	lbf ft/s	X 1.3558	= W
X 632.48	= kcal/h	X 0.13826		= kgf m/s	
X 2.509 85	= btu/h	X 1.1853		= kcal/h	
X 4.781	= TR	X 4.626	= btu/h		

Tabla 15-17 - Factores de conversión de unidades de potencia

Viscosidad

La viscosidad de un fluido se puede definir como su resistencia a fluir. Por eso existe la fricción en los fluidos.

Debido a que existen más de cinco unidades diferentes para la viscosidad absoluta, es preciso entender el concepto físico de ésta para utilizar las unidades apropiadas.

Un fluido al deslizarse sobre una superficie, la parte baja del fluido que está en contacto con la superficie tendrá menor velocidad que la parte superior, debido a la fricción. Mediante un razonamiento matemático, después de que el fluido ha recorrido una distancia, tenemos que la viscosidad es:

$$\text{viscosidad} = \frac{\text{fuerza} \times \text{distancia}}{\text{área} \times \text{velocidad}}$$

A esta viscosidad se le llama viscosidad dinámica o absoluta. Sustituyendo por las unidades respectivas del SI tenemos:

$$\text{viscosidad} = \frac{\text{kg} \times \text{m}}{\text{m}^2 \times \text{m/s}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \cdot \text{s} \text{ (Pascal segundo)}$$

La unidad más común para medir la viscosidad dinámica es el Poise.

$$1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 1 \text{ N} \cdot \text{s} / \text{m}^2 = 10 \text{ Poise}$$

$$1 \text{ Poise} = 100 \text{ centiPoise (cP)}$$

Otro tipo de viscosidad es la cinemática, que es la misma viscosidad dinámica dividida por la densidad. Las unidades deben ser compatibles; así, en el SI, la viscosidad cinemática es igual a m^2/s y se le llama myriastoke, aunque es más común el uso del Stoke (St) y el centiStoke (cSt).

VISCOSIDAD DINAMICA O ABSOLUTA			VISCOSIDAD CINEMATICA		
Poise	X 0.10	= Pa·s	m ² /s	X 10.000	= St
	X 3.60	= kg m/h		X 10.7643	= ft ² /s
	X 0.002088	= lbf s/ft ²		X 645.86	= ft ² /min
Pa·s	X 10	= Poise	St	X 0.0001	= m ² /s
	X 1.000	= cP		X 0.001076	= ft ² /s
	X 0.02088	= lbf s/ft ²		X 0.01	= cSt

Tabla 15-18 - Factores de conversión de unidades de viscosidad.

Entalpía y Entalpía Específica

La entalpía se puede definir como el contenido de calor de una sustancia. La entalpía es todo el calor contenido en un kilogramo de sustancia, calculada a una temperatura de referencia que es de 0°C para el agua y vapor de agua, y de -40°C para refrigerantes. Como la entalpía es calor, sus unidades en el SI son las mismas que para la energía: Joules (J). En el sistema inglés son btu y en el métrico son kilocalorías (kcal).

La entalpía específica es la entalpía descrita arriba pero referida a una unidad de masa; esto es, Joules por kilogramo (J/kg) en el SI. En el sistema inglés las unidades son btu/lb. Como el J/kg es una unidad pequeña, es más común utilizar el kiloJoule por kilogramo (kJ/kg).

EN BASE A LA MASA			EN BASE AL VOLUMEN		
kJ/kg	X 0.239	= kcal/kg	kJ/m ³	X 0.239	= kcal/m ³
	X 0.43	= btu/lb		X 0.026836	= btu/ft ³
kcal/kg	X 4.184	= kJ/kg	kcal/m ³	X 4.184	= kJ/m ³
	X 1.8	= btu/lb		X 0.11236	= btu/ft ³
btu/lb	X 2.3244	= kJ/kg	btu/ft ³	X 37.2566	= kJ/m ³
	X 0.5556	= kcal/kg		X 8.9	= kcal/m ³

Tabla 15.19 - Factores de conversión de unidades de entalpía

Entropía y Entropía Específica

La entropía es una propiedad termodinámica muy útil, sobre todo en trabajos de ingeniería. Es difícil dar una explicación sencilla; pero de una manera simple, se puede decir que la entropía de una sustancia, es su calor disponible medido en Joules. Al igual que la entalpía, la entropía está basada en una temperatura de referencia de 0°C para el agua y -40°C para refrigerantes. También, al igual que la entalpía, al efectuar cálculos, lo que importa no es su valor absoluto, sino el cambio de entropía. Un cambio de entropía es la suma de todos sus incrementos diferenciales de calor, dividida entre la temperatura absoluta que existe en el momento de cada incremento. Entropía es entonces = calor/temp. absoluta = Joules/K en el SI.

La entropía específica es la referida a una unidad de masa, por lo que sus unidades en el SI son J/kg K. En el

sistema métrico, sus unidades son kcal/kg °C y en el sistema inglés las unidades son btu/lb R y btu/lb °F.

Como sabemos, el Joule (J) es una unidad muy pequeña, por lo que es más común el uso de kiloJoule (kJ).

kJ/kg K	X 0.239	= kcal/kg °C
	X 0.236865	= btu/lb °F
kcal/kg °C	X 1.9	= btu/lb °F
	X 4.184	= kJ/kg K
btu/lb °F	X 4.1868	= kJ/kg K
	X 1.0	= kcal/kg °C

Tabla 15.20 - Factores de conversión de unidades de la entropía

Transferencia de Calor

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA			COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR		
W/mK	X 0.8598	= kcal/h m °C	W/m ² K	X 0.5596	= kcal/h m ² °C
	X 0.5778	= btu/h ft °F		X 0.17611	= btu/h ft ² °F
kcal/h m °C	X 1.16222	= W/mK	kcal/h m ² °C	X 1.16222	= W/m ² K
	X 0.627	= btu/h ft °F		X 0.2048	= btu/h ft ² °F
btu/h ft °F	X 1.7307	= W/mK	btu/h ft ² °F	X 5.6782	= W/m ² K
	X 1.428	= kcal/h m °C		X 4.883	= kcal/h m ² °C

Tabla 15.21 - Factores de conversión de unidades de transferencia de calor

Nota: En la tabla 15.26 se muestra una lista de la conductividad térmica de algunos materiales.

Calor Específico (Capacidad Calorífica)

De acuerdo a la definición de kilocaloría, = la cantidad de calor que se requiere agregar (o quitar) a un kilogramo de agua para aumentar (o disminuir) su temperatura en un grado centígrado; la capacidad calorífica (c) del agua es 1.0 kcal/kg °C (1 kcal/1 kg x 1°C = 1).

Pero no todas las sustancias tienen la misma capacidad que el agua, para aumentar o disminuir su temperatura con los cambios de calor, ni aún el hielo; por lo que la mayoría de las sustancias van a tener valores diferentes, algunas mayores y otras menores a 1.0 (ver tabla 15.23).

Así, pues, el calor específico se puede definir igual que la kilocaloría, pero referido a cualquier sustancia diferente de agua. Esto es, el calor específico (c) es la cantidad de calor requerido para aumentar la temperatura de cualquier sustancia en un grado, en relación a la cantidad de calor requerido para aumentar en un grado, la temperatura de una masa igual de agua.

Por ejemplo, de la tabla 15.23 el calor específico de alcohol es 0.615 kcal/kg °C, esto nos indica que para elevar un °C la temperatura de un kilogramo de alcohol se requieren 0.615 kcal con relación a un kg de agua, que se requiere 1 C kcal.

kJ/kg K	X 0.239	= kcal/kg °C
	X 0.2388	= btu/lb °F
kcal/kg °C	X 4.184	= kJ/kg K
	X 1.0	= btu/lb °F
btu/lb °F	X 4.1868	= kJ/kg K
	X 1.0	= kcal/kg °C

Tabla 15.22 - Factores de conversión de unidades de calor específico

MATERIAL	CALOR ESPECÍFICO		MATERIAL	CALOR ESPECÍFICO	
	kcal/kg °C	kJ/kg K		kcal/kg °C	kJ/kg K
Acero (Hierro)	0.129	0.5397	R-502	0.255	1.0669
Agua	1.0	4.184	Salmuera al 20%	0.850	3.5564
Aire	0.242	1.0125	Vidrio	0.187	0.7824
Alcohol metílico	0.615	2.5732	Zinc	0.095	0.3975
Aluminio	0.214	0.8953	ALIMENTOS		
Amoniaco (4°C)	1.10	4.6024	Apio	0.91	3.8074
Asbesto	0.20	0.8368	Carne de cerdo	0.50	2.092
Bronce	0.104	0.4351	Carne de res	0.75	3.1380
Carbon	0.241	1.0083	Carne de ternera	0.70	2.9288
Cartón	0.324	1.3556	Col	0.93	3.8911
Cobre	0.095	0.3975	Durazno	0.92	3.8493
Concreto	0.156	0.6527	Frijol	0.91	3.8074
Corcho	0.485	2.0292	Huevos	0.76	3.1798
Glicerina	0.576	2.410	Leche	0.90	3.7656
Grafito	0.200	0.8368	Mantequilla	0.60	2.5104
Hielo	0.504	2.1087	Manzana	0.92	3.8493
Ladrillo	0.200	0.8368	Pescado	0.60	3.3472
Latón	0.09	0.3766	Papas	0.80	3.3472
Madera	0.327	1.3681	Pollo	0.90	3.7656
Mercurio	0.033	0.1394	Queso	0.64	2.6778
R-12	0.213	0.8912	Sidra	0.90	3.7656
R-22	0.280	1.0872	Uvas	0.92	3.8493

Tabla 15.23 - Calores específicos promedio de algunas sustancias

Equivalentes de Refrigeración

A continuación, veremos algunas equivalencias de las unidades más comúnmente empleadas en refrigeración. Sin duda la que más destaca es la Tonelada de Refrigeración, la cual es una medida arbitraria que surgió en E. U., donde la única unidad que se manejaba era el btu. Como el btu es demasiado pequeño, para medir capacidades nominales de las plantas frigoríficas y para clasificar equipo, había necesidad de una unidad más adecuada.

La tonelada de refrigeración está basada en la cantidad de calor en btu, que se requiere extraer a una tonelada corta (2,000 lb) de agua a 32°F, para convertirla en hielo a 32°F.

El calor latente de congelación (solidificación) del agua, es muy cercana a 144 btu/lb; por lo tanto, para congelar 2,000 lb de agua, se requiere extraerle (2,000 lb X 144 btu/lb)=288,000 btu. Esta cantidad es la que define, de manera precisa, la unidad de refrigeración norteamericana, y se llama tonelada estándar de refrigeración. Si esta unidad

térmica se refiere a una unidad de tiempo, como un día (24 hrs) se le llama Tonelada Estándar comercial, y es igual a 288,000 btu/24h = 12,000 btu/h. 1 T.R. = 12,000 btu/h.

T.R.	x 12,000	= btu/h
	x 200	= btu/min
	x 3,024	= kcal/h
	x 3,5145	= kW
	x 12,652	= kJ/h
kcal/h	- 4,716	= hp
	x 3,6683	= btu/h
	+ 3,024	= T.R.
btu/h	- 960,437	= kW
	- 12,000	= T.R.
	x 0,252	= kcal/h
	- 3,413	= kW

Tabla 15.24 - Factores de conversión de unidades de refrigeración

Información Técnica

Fracción de pulgada	Fracción decimal de pulgada	Milímetros	Fracción de pulgada	Fracción decimal de pulgada	Milímetros
1/64	0.0156	1.1807	13/64	0.2031	13.0368
1/32	0.0312	2.3614	17/32	0.5312	13.4937
3/64	0.0468	3.5421	5/8	0.625	13.8506
1/16	0.0625	4.7228	9/16	0.5625	14.2875
5/64	0.0781	5.9035	37/64	0.5781	14.6844
3/32	0.0937	7.0842	15/32	0.4687	15.0813
7/64	0.1093	8.2649	39/64	0.6093	15.4782
1/8	0.125	9.4456	5/8	0.625	15.875
9/64	0.1406	10.6263	41/64	0.6406	16.2718
5/32	0.1562	11.8070	21/32	0.6562	16.6687
11/64	0.1718	12.9877	43/64	0.6718	17.0656
3/16	0.1875	14.1684	11/16	0.6875	17.4625
13/64	0.2031	15.3491	45/64	0.7031	17.8594
7/32	0.2187	16.5298	23/32	0.7187	18.2562
15/64	0.2343	17.7105	47/64	0.7343	18.6531
1/4	0.25	18.8912	3/4	0.75	19.05
17/64	0.2656	20.0719	49/64	0.7656	19.4468
9/32	0.2812	21.2526	25/32	0.7812	19.8437
19/64	0.2968	22.4333	51/64	0.7968	20.2406
5/16	0.3125	23.6140	13/16	0.8125	20.6375
21/64	0.3281	24.7947	53/64	0.8281	21.0344
11/32	0.3437	25.9754	27/32	0.8437	21.4313
23/64	0.3593	27.1561	55/64	0.8593	21.8282
3/8	0.375	28.3368	7/8	0.875	22.225
25/64	0.3906	29.5175	57/64	0.8906	22.6218
13/32	0.4062	30.6982	29/32	0.9062	23.0187
27/64	0.4218	31.8789	59/64	0.9218	23.4156
7/16	0.4375	33.0596	3/4	0.9375	23.8125
29/64	0.4531	34.2403	61/64	0.9531	24.2094
15/32	0.4687	35.4210	17/32	0.5312	24.6062
31/64	0.4843	36.6017	63/64	0.9687	25.0031
1/2	0.5	37.7824	1	1.000	25.4

Tabla 15.25 - Fracciones y decimales de pulgada y su equivalente en milímetros

MATERIAL	k	R	MATERIAL	k	R*
SUSTANCIAS VARIAS			MATERIALES AISLANTES		
Aire	0.175	5.714	Corchón (granulado)	0.04	2.941
Concreto	8.0	0.125	Madera Balsa	0.12	3.125
Vidrio	5.0	0.200	Feltro	0.25	4.00
Plomo	243.0	0.004	Fibra de Vidrio	0.29	3.448
Vacio (alto)	0.004	250.0	Poliolefino	0.16	6.25
			Espejo (Alum.)	0.77	2.703
			Asbesto (fibra)	0.57	1.754
			Lana	0.26	3.846

Tabla 15.26 - Conductividad térmica de algunos materiales

k = está dado en $\text{btu} \cdot \text{hr}^{-1} \cdot \text{ft}^{-1} \cdot \text{F}^{-1}$

*R = recíproco del coeficiente de transferencia de calor (k)

Tubería de Cobre - La mayoría de la tubería utilizada en refrigeración es de cobre (excepto con amoníaco)

La tubería de cobre viene disponible en tipos rígido y flexible. Ambos tipos los hay disponibles en dos espesores de pared, K y L. El tipo K es de pared gruesa, y el tipo L es de espesor mediano. La tubería más usual en refrigeración es el tipo L. El cobre suave se presenta en rollos de 8 m y 15 m, y se utiliza principalmente en refrigeración doméstica y comercial. Es muy flexible y se dobla fácilmente. Se fabrica en diámetros desde 3/16 hasta 3/4 de pulgada.

El tubo de cobre duro o rígido, se usa en refrigeración comercial y aire acondicionado. No se debe doblar ni hacer conexiones "flare", las uniones son soldadas. Se presenta en tramos de tubo de 6 m.

Diámetro Nominal (pulg.)	Tipo	Diámetro		Espesor de pared (pulg.)	Peso (kg/m)	Presión de Trabajo	
		ext. (pulg.)	Int. (pulg.)			bar	psia
1/4	K	0.375	0.305	0.045	0.215	63.3	918
	L	0.375	0.315	0.030	0.173	52.7	754
3/8	K	0.500	0.402	0.049	0.400	88.1	1268
	L	0.500	0.430	0.035	0.295	46.7	677
1/2	K	0.625	0.527	0.049	0.512	53.7	779
	L	0.625	0.545	0.040	0.424	43.1	625
5/8	K	0.750	0.652	0.049	0.622	44.3	643
	L	0.750	0.666	0.042	0.539	37.7	547
3/4	K	0.875	0.745	0.065	0.954	51.5	747
	L	0.875	0.785	0.045	0.677	34.3	497
1	K	1.125	0.995	0.065	1.249	30.6	474
	L	1.125	1.025	0.050	0.975	29.4	432
1-1/4	K	1.375	1.245	0.065	1.548	32.1	466
	L	1.375	1.265	0.055	1.316	26.7	387
1-1/2	K	1.625	1.481	0.072	2.024	25.0	421
	L	1.625	1.505	0.060	1.697	24.8	359
2	K	2.125	1.959	0.083	3.066	25.9	376
	L	2.125	1.985	0.070	2.604	21.8	316
2-1/2	K	2.625	2.435	0.095	4.369	24.3	352
	L	2.625	2.465	0.080	3.690	20.3	296
3	K	3.125	2.907	0.109	5.953	23.6	343
	L	3.125	2.945	0.090	4.956	19.1	279
3-1/2	K	3.625	3.385	0.120	7.620	22.5	324
	L	3.625	3.425	0.100	6.394	18.5	268
4	K	4.125	3.857	0.134	9.683	21.7	316
	L	4.125	3.905	0.110	8.067	17.7	256

Tabla 15-27 - Medidas de tubería de cobre (ASTM B-88)

Longitud Equivalente de Tubería - Cada válvula, conexión, accesorio y vuelta en una línea de refrigeración, contribuye a la caída de presión por fricción debido a su restricción a un flujo estable. Debido a la complejidad de calcular la caída de presión a través de cada una de ellas en lo individual, la práctica normal es establecer un equivalente en longitud de tubería recta para cada accesorio

D.E. DE LINEA		CODO 90°	CODO 45°	"T" (LINEA)	"T" (RAMAL)	VALVULAS (ABIERTAS)		
mm	pulg					GLOBO	ANGULO	CHECK
12.7	1/2	0.27	0.12	0.18	0.61	4.26	2.13	1.9
15.9	5/8	0.30	0.15	0.24	0.76	4.98	2.75	2.4
22.2	7/8	0.45	0.21	0.30	1.07	6.70	3.65	3.0
28.6	1-1/8	0.55	0.27	0.46	1.37	8.50	4.60	4.3
34.9	1-3/8	0.73	0.36	0.55	1.93	11.00	5.50	4.9
41.3	1-5/8	0.85	0.43	0.61	2.13	12.60	6.40	6.1
54.0	2-1/8	1.20	0.55	0.91	3.05	17.40	9.50	7.5
66.7	2-5/8	1.40	0.67	1.07	3.55	21.00	10.40	8.3
79.4	3-1/8	1.70	0.82	1.37	4.60	25.30	12.80	9.1

Tabla 15-28 - Longitud equivalente en metros de tubo recto para válvulas y conexiones



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**



División de Educación Continua, Facultad de Ingeniería, UNAM

CURSOS ABIERTOS

DIPLOMADO EN REFRIGERACIÓN

MÓDULO I

INTRODUCCIÓN A LA
REFRIGERACIÓN
CA 242

TEMA

ANEXO 2



INGENIERIA MECANICA

**EXPOSITOR: ING. ARTURO ALBA AGUILAR
DEL 16 AL 20 DE ABRIL DE 2007
PALACIO DE MINERÍA**

CHAPTER 18

REFRIGERANTS

Phaseout of Refrigerants

Refrigerant Properties

Refrigerant Performance

Safety

Leak Detection

Effect on Construction Materials

The preparation of this chapter is assigned to TC 3.1, Refrigerants and Brines.

REFRIGERANTS are the working fluids in refrigeration, air-conditioning, and heat pumping systems. They absorb heat from one area, such as an air-conditioned space, and reject it into another, such as outdoors, usually through evaporation and condensation, respectively. These phase changes occur both in absorption and mechanical vapor compression systems, but they do not occur in systems operating on a gas cycle using a fluid such as air. (See Chapter 1 for more information on refrigeration cycles.) The design of the refrigeration equipment depends strongly on the properties of the selected refrigerant. Table 1 lists ASHRAE standard refrigerant designations from ASHRAE *Standard 34*.

Refrigerant selection involves compromises between conflicting desirable thermodynamic properties. A refrigerant must satisfy many requirements, some of which do not directly relate to its ability to transfer heat. Chemical stability under conditions of use is the most important characteristic. Safety codes may require a nonflammable refrigerant of low toxicity for some applications. Cost, availability, efficiency, and compatibility with compressor lubricants and materials with which the equipment is constructed are other concerns.

The environmental consequences of a refrigerant that leaks from a system must also be considered. Because of their great stability, fully halogenated compounds, such as **chlorofluorocarbons** (CFCs), persist in the atmosphere for many years and eventually diffuse into the stratosphere. The molecules of CFCs, such as R-11 and R-12, contain only carbon and the halogens chlorine and fluorine. Once in the upper atmosphere, CFC molecules break down and release chlorine, which destroys ozone (**ozone depletion**). In the lower atmosphere, these molecules absorb infrared radiation, which may contribute to the warming of the earth. Substitution of a hydrogen atom for one or more of the halogens in a CFC molecule greatly reduces its atmospheric lifetime and lessens its environmental impact. These compounds are called **hydrochlorofluorocarbons** (HCFCs). A similar class of compounds used as fire extinguishing agents and called halons also cause ozone depletion. **Halons** are compounds containing bromine, fluorine, and carbon. Like CFCs, halons break down, but release bromine, which is even more destructive to stratospheric ozone than chlorine.

Latent heat of vaporization is another important property. On a molar basis, fluids with similar boiling points have almost the same latent heat. Since the compressor operates on volumes of gas, refrigerants with similar boiling points produce similar capacities in a given compressor. On a mass basis, latent heat varies widely among fluids. The maximum efficiency of a theoretical vapor compression cycle is achieved by fluids with low vapor heat capacity. This property is associated with fluids having a simple molecular structure and low molecular weight.

Transport properties of thermal conductivity and viscosity affect the performance of heat exchangers and piping. High thermal conductivity and low viscosity are desirable.

No single fluid satisfies all the attributes desired of a refrigerant; as a result, a variety of refrigerants is used. This chapter describes the basic characteristics of various refrigerants, and Chapter 19 lists thermophysical properties.

PHASEOUT OF REFRIGERANTS

The Montreal Protocol is an international treaty that controls the production of ozone-depleting substances, including refrigerants containing chlorine and/or bromine (U.N. 1994, 1996). The original Protocol was signed September 16, 1987, by the European Economic Community (currently the European Union) and 24 nations, including the United States. It entered into force on January 1, 1989, and limits the 1998 production of specified CFCs to 50% of their 1986 levels. Starting in 1992, the production of specified halons (including R-13B1) was frozen at 1986 levels. Developing countries were granted additional time to meet these deadlines.

The original Protocol contained provisions for periodic revision. Two such revisions, referred to as the London and Copenhagen Amendments, were agreed to in 1990 and 1992, respectively. As of September 1996, the Montreal Protocol had been ratified by 157 parties, the London Amendment by 110 parties, and the Copenhagen Amendment by 58 parties.

The Copenhagen Amendment entered into force on June 14, 1994. It called for a complete cessation of the production of CFCs by January 1, 1996, and of halons by January 1, 1994. Continued use from existing (reclaimed or recycled) stock is permitted. Allowance is also provided for continued production for very limited "essential uses." In addition, HCFCs (including R-22) are to be phased out relative to a 1989 reference level for developed countries. Production was frozen at the reference level on January 1, 1996. Production will be limited to 65% of the reference level by January 1, 2004; to 35% by January 1, 2010; to 10% by January 1, 2015; and to 0.5% of the reference level by January 1, 2020. Complete cessation of the production of HCFCs is called for by January 1, 2030. In addition to the international agreement, individual countries may have domestic regulations for ozone-depleting compounds.

The production and use of **hydrofluorocarbon** (HFC) refrigerants (such as R-32, R-125, R-134a, and R-143a and their mixtures, including R-404, R-407, and R-410) are not regulated by the Montreal Protocol, but may be regulated by individual countries.

REFRIGERANT PROPERTIES

Physical Properties

Table 2 lists some physical properties of commonly used refrigerants, a few very low-boiling cryogenic fluids, some newer refrigerants, and some older refrigerants of historical interest. These refrigerants are arranged in increasing order of atmospheric boiling point, from helium at -452.1°F to water at 212°F .

Table 2 also includes the freezing point, critical properties, and refractive index. Of these properties, the boiling point is most important because it is a direct indicator of the temperature level at which a refrigerant can be used. The freezing point must be lower than any contemplated usage. The critical properties describe a material at the point where the distinction between liquid and gas is lost. At higher temperatures, no separate liquid phase is possible. In refrigeration cycles involving condensation, a refrigerant must be chosen that allows this change of state to occur at a temperature somewhat below the critical. Cycles that reject heat at supercritical temperatures (such as cycles using carbon dioxide) are also possible.

Lithium Bromide-Water and Ammonia-Water Solutions. These are the most commonly used working fluids in absorption refrigeration systems. Figure 1 shows specific gravity, Figure 2 shows specific heat, and Figure 3 shows viscosity of lithium bromide-water solutions. Chapter 19 has an enthalpy-concentration diagram and a vapor pressure diagram for lithium bromide-water solutions. Chapter 19 also has equilibrium properties of water-ammonia solutions.

Electrical Properties

Tables 3 and 4 list the electrical characteristics of refrigerants that are especially important in hermetic systems.

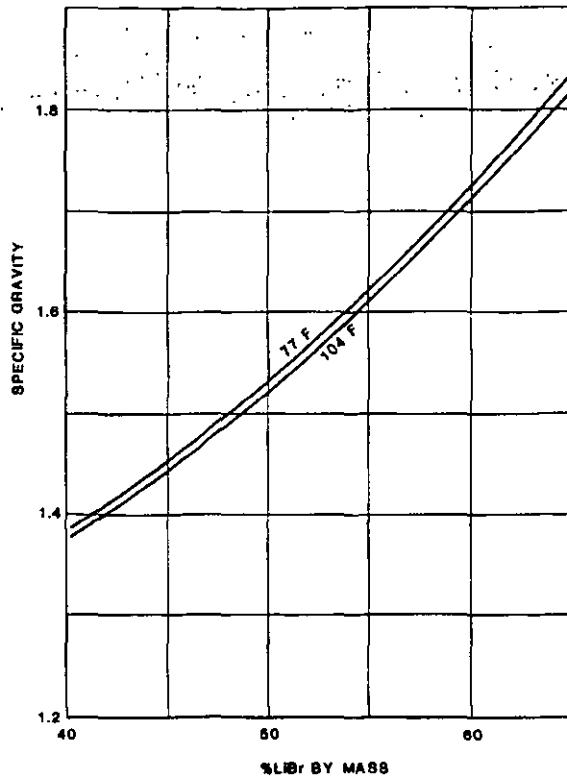


Fig. 1 Specific Gravity of Aqueous Solutions of Lithium Bromide

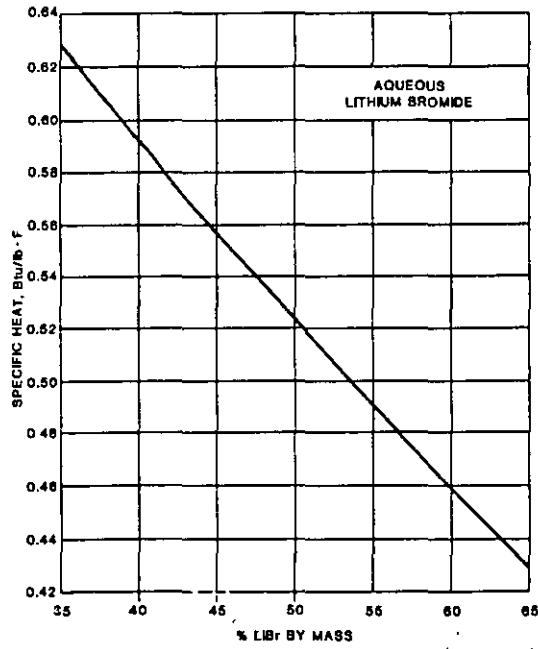


Fig. 2 Specific Heat of Aqueous Lithium Bromide Solutions

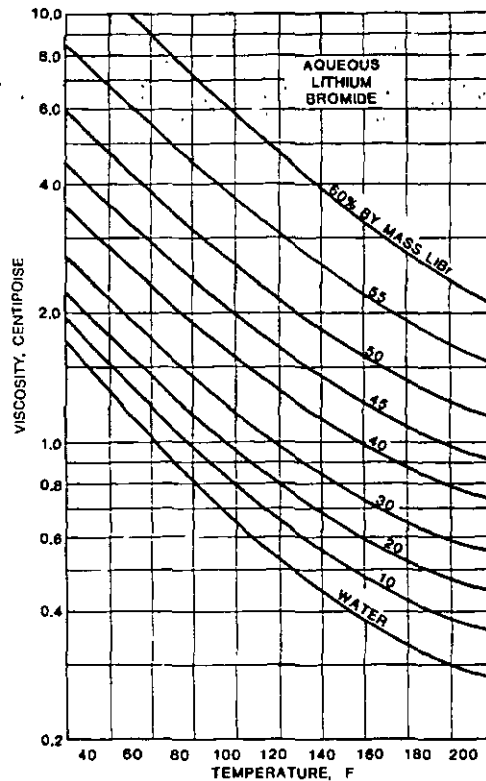


Fig. 3 Viscosity of Aqueous Solutions of Lithium Bromide

Sound Velocity

Table 5 gives examples of the velocity of sound in the vapor phase of various fluorinated refrigerants. Chapter 19 has sound velocity data for many refrigerants. The velocity increases when the temperature is increased and decreases when the pressure is increased. The velocity of sound can be calculated from the equation

$$V_a = \left(g_c \frac{dp}{d\rho} \right)_S^{0.5} = \left[\gamma g_c \left(\frac{dp}{d\rho} \right)_T \right]^{0.5} \quad (1)$$

where

- V_a = sound velocity, ft/s
- g_c = gravitational constant = 32.1740 lb_m·ft/lb_f·s²
- p = absolute pressure, lb_f/ft²
- ρ = density, lb_m/ft³
- γ = c_p/c_v = ratio of specific heats
- S = entropy, Btu/lb·°R
- T = temperature, °R

The sound velocity can be estimated from the tables of thermodynamic properties. The change in pressure with a change in density ($dp/d\rho$) can be estimated either at constant entropy or at constant temperature. It is simpler to estimate at constant temperature but then the ratio of specific heats must also be known. The practical velocity of a gas in piping or through openings is limited by the velocity of sound in the gas.

Latent Heat of Vaporization

An empirical rule of chemistry (Trouton's rule) states that the latent heat of vaporization at the boiling point on a molar basis, divided by the temperature in absolute units, is a constant for most materials. This rule is applied to refrigerants in Table 6. It applies fairly well to these refrigerants, although the result is

not entirely constant. The rule helps in comparing different refrigerants and in understanding the operation of refrigeration systems.

REFRIGERANT PERFORMANCE

Chapter 1 describes several methods of calculating refrigerant performance, and Chapter 19 includes tables of thermodynamic properties of the various refrigerants.

Table 7 shows the theoretical calculated performance of a number of refrigerants for the U.S. standard cycle of 5°F evaporation and 86°F condensation. Calculated data for other conditions are given in Table 8. The tables can be used to compare the properties of different refrigerants, but actual operating conditions are somewhat different from the calculated data. In most cases, the suction vapor is assumed to be saturated, and the compression is assumed adiabatic or at constant entropy. For R-113 and R-114, these assumptions would cause some liquid in the discharge vapor. In these cases, it is assumed that the discharge vapor is saturated and that the suction vapor is slightly superheated. In Section F of Table 8, the temperature of the suction gas is assumed to be 65°F (−10°F saturated evaporating plus 75°F superheat). Comparison with Section E illustrates the effect of suction gas superheating on refrigerant performance.

SAFETY

Table 9 summarizes the toxicity and flammability characteristics of many refrigerants. In ASHRAE *Standard 34*, refrigerants are classified according to the hazard involved in their use. The toxicity and flammability classifications yield six safety groups (A1, A2, A3, B1, B2, and B3) for refrigerants. Group A1 refrigerants are the least hazardous, Group B3 the most hazardous.

The safety classification in ASHRAE *Standard 34* consists of a capital letter and a numeral. The capital letter designates the toxicity of the refrigerant at concentrations below 400 ppm by volume:

- Class A Toxicity not identified
- Class B Evidence of toxicity identified

The numeral denotes the flammability of the refrigerant:

- Class 1 No flame propagation in air at 65°F and 14.7 psia
- Class 2 Lower flammability limit (LFL) greater than 0.00625 lb/ft³ at 70°F and 14.7 psia and heat of combustion less than 8174 Btu/lb
- Class 3 Highly flammable as defined by LFL less than or equal to 0.00625 lb/ft³ at 70°F and 14.7 psia or heat of combustion greater than or equal to 8174 Btu/lb

LEAK DETECTION

Leak detection in refrigeration equipment is a major problem for manufacturers and service engineers. The following sections describe several leak detection methods.

Electronic Detection

The electronic detector is widely used in the manufacture and assembly of refrigeration equipment. Instrument operation depends on the variation in current flow caused by ionization of decomposed refrigerant between two oppositely charged platinum electrodes. This instrument can detect any of the halogenated refrigerants except R-14; however, *it is not recommended for use in atmospheres that contain explosive or flammable vapors*. Other vapors, such as alcohol and carbon monoxide, may interfere with the test.

The electronic detector is the most sensitive of the various leak detection methods, reportedly capable of sensing a leak of 1/100 oz of R-12 per year.

A portable model is available for field testing. Other models are available with automatic balancing systems that correct for refrigerant vapors that might be present in the atmosphere around the test area.

Halide Torch

The halide torch is a fast and reliable method of detecting leaks of chlorinated refrigerants. Air is drawn over a copper element heated by a methyl alcohol or hydrocarbon flame. If halogenated vapors are present, they decompose, and the color of the flame changes to bluish-green. Although not as sensitive as the electronic detector, this method is suitable for most purposes.

Bubble Method

The object to be tested is pressurized with air or nitrogen. A pressure corresponding to operating conditions is generally used. The object is immersed in water, and any leaks are detected by observing the formation of bubbles in the liquid. Adding a detergent to the water decreases the surface tension, prevents escaping gas from clinging to the side of the object, and promotes the formation of a regular stream of small bubbles. Kerosene or other organic liquids are sometimes used for the same reason. A solution of soap or detergent can be brushed or poured onto joints or other spots where leakage is suspected. Leaking gas forms soap bubbles that can be readily detected.

Leaks can also be determined by pressurizing or evacuating and observing the change in pressure or vacuum over a period of time. This is effective in checking the tightness of the system but does not locate the point of leakage.

Ammonia and Sulfur Dioxide Leaks

Ammonia can be detected by burning a sulfur candle in the vicinity of the suspected leak or by bringing a solution of hydrochloric acid near the object. If ammonia vapor is present, a white cloud or smoke of ammonium sulfite or ammonium chloride forms. Ammonia can also be detected with indicator paper that changes color in the presence of a base.

Sulfur dioxide can be detected by the appearance of white smoke when aqueous ammonia is brought near the leak.

EFFECT ON CONSTRUCTION MATERIALS

Metals

Halogenated refrigerants can be used satisfactorily under normal conditions with most common metals, such as steel, cast iron, brass, copper, tin, lead, and aluminum. Under more severe conditions, various metals affect such properties as hydrolysis and thermal decomposition in varying degrees. The tendency of metals to promote thermal decomposition of halogenated compounds is in the following order:

(least decomposition) Inconel < 18-8 stainless steel < nickel < copper < 1340 steel < aluminum < bronze < brass < zinc < silver (most decomposition)

This order is only approximate, and exceptions may be found for individual compounds or for special use conditions. The effect of metals on hydrolysis is probably similar.

Magnesium, zinc, and aluminum alloys containing more than 2% magnesium are not recommended for use with halogenated compounds where even trace amounts of water may be present.

Warning: Never use methyl chloride with aluminum in any form. A highly flammable gas is formed, and the explosion hazard is great.

Ammonia should never be used with copper, brass, or other alloys containing copper. When water is present in sulfur dioxide systems, sulfurous acid is formed and can attack iron or steel rapidly and other metals at a slower rate.

Further discussion of the compatibility of refrigerants and lubricants with construction materials may be found in Chapter 5 of the 1994 *ASHRAE Handbook—Refrigeration*.

Elastomers

The linear swelling of some elastomers in the liquid phase of various refrigerants is shown in Table 10. Swelling data can be used to a limited extent in comparing the effect of refrigerants on elastomers. However, other factors, such as the amount of extraction, tensile strength, and degree of hardness of the exposed elastomer must be considered. When other fluids are present in addition to the refrigerant, the combined effect on elastomers should be determined. In some instances, somewhat higher swelling of elastomers is found in mixtures of R-22 and lubricating oil than in either fluid alone. Table 11 shows the diffusion rate of water and R-22 through elastomers.

Plastics

The effect of a refrigerant on a plastic material should be thoroughly examined under the conditions of intended use. Plastics are often mixtures of two or more basic types, and it is difficult to predict the effect of the refrigerant. The linear swelling of some plastic materials in refrigerants is shown in Table 12. Swelling data can be used as a guide but, as with elastomers, the effect on the properties of the plastic should also be examined. Comparable data for R-22 is limited, but the effect on plastics is generally more severe than that of R-12, but not as severe as that of R-21. The effect of R-114 is very similar to that of R-114a.

REFERENCES

- ASHRAE. 1977. *ASHRAE Handbook—Fundamentals*, Chapter 16.
- ASHRAE. 1992. Number designation and safety classification of refrigerants. ANSI/ASHRAE Standard 34-1992.
- Beacham, E.A. and R.T. Divers. 1955. Some aspects of the dielectric properties of refrigerants. *Refrigerating Engineering* 7:33.
- Brown, J.A. 1960. Effect of propellants on plastic valve components. *Soap and Chemical Specialties* 3:87.
- Charlton, E.E. and F.S. Cooper. 1937. Dielectric strengths of insulating fluids. *General Electric Review* 865(9):438.
- Chemical engineer's handbook*, 5th ed. 1973. McGraw-Hill, New York.
- CRC Handbook of chemistry and physics*, 68th ed. 1987. CRC Press, Boca Raton, FL.
- JuPont. *Bulletin B-32A*. Freon Products Division. E.I. duPont de Nemours & Co., Inc., Wilmington, DE.
- duPont. *Bulletin G-1*. Freon Products Division. E.I. duPont de Nemours & Co., Inc., Wilmington, DE.
- duPont. 1980. *Bulletin T-502*. Freon Products Division. E.I. duPont de Nemours & Co., Inc., Wilmington, DE.
- Eiseman, B.J., Jr. 1949. Effect on elastomers of Freon compounds and other halohydrocarbons. *Refrigerating Engineering* 12:1171.
- Eiseman, B.J., Jr. 1955. How electrical properties of Freon compounds affect hermetic system's insulation. *Refrigerating Engineering* 4:61.
- Fellows, B.R., R.G. Richard, and I.R. Shankland. 1991. Electrical characterization of alternate refrigerants. Proceedings of the 18th International Congress of Refrigeration. International Institute of Refrigeration, Paris, France.
- Fuoss, R.M. 1938. Dielectric constants of some fluorine compounds. *Journal of the American Chemical Society*, 1633.
- Handbook of chemistry*, 10th ed. 1967. McGraw-Hill, New York.
- Handbook of chemistry and physics*, 41st ed. 1959-60. The Chemical Rubber Publishing Co., Cleveland, OH.
- Kirk and Othmer. 1956. *The encyclopedia of chemical technology*. The Interscience Encyclopedia, Inc., New York.
- Matheson gas data book*. 1966. The Matheson Company, Inc., East Rutherford, NJ.
- McLinden, M.O. 1990. *International Journal of Refrigeration* 13:149-62.
- NIST Standard Reference Database 23. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.
- Stewart, R.B., R.T. Jacobsen, and S.G. Penoncello. 1986. *ASHRAE Thermodynamic properties of refrigerants*. ASHRAE.
- U.N. 1994. *1994 Report of the refrigeration, air conditioning, and heat pumps technical options committee*. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya. ISBN 92-807-1455-4.
- U.N. 1996. *OzonAction* (The Newsletter of the United Nations Environment Programme Industry and Environment OzonAction Programme). October (No. 20):10.

Table 1 Standard Designation of Refrigerants (ASHRAE Standard 34)

Refrigerant Number	Chemical Name or Composition (% by mass)	Chemical Formula	Refrigerant Number	Chemical Name or Composition (% by mass)	Chemical Formula
Methane Series			Zetropes (Continued)		
10	tetrachloromethane (carbon tetrachloride)	CCl ₄	403A	R-290/22/218 (5/75/20)	
11	trichlorofluoromethane	CCl ₃ F	403B	R-290/22/218 (5/56/39)	
12	dichlorodifluoromethane	CCl ₂ F ₂	404A	R-125/143a/134a (44/52/4)	
12B1	bromochlorodifluoromethane	CBrClF ₂	405A	R-22/152a/142b/C318 (45/7/5.5/42.5)	
12B2	dibromodifluoromethane	CB ₂ F ₂	406A	R-22/600a/142b (55/4/41)	
13	chlorotrifluoromethane	CClF ₃	407A	R-32/125/134a (20/40/40)	
13B1	bromotrifluoromethane	CBrF ₃	407B	R-32/125/134a (10/70/20)	
14	tetrafluoromethane (carbon tetrafluoride)	CF ₄	407C	R-32/125/134a (23/25/52)	
20	trichloromethane (chloroform)	CHCl ₃	407D	R-32/125/134a (15/15/70)	
21	dichlorofluoromethane	CHCl ₂ F	408A	R-125/143a/22 (7/46/47)	
22	chlorodifluoromethane	CHClF ₂	409A	R-22/124/142b (60/25/15)	
22B1	bromodifluoromethane	CHBrF ₂	409B	R-22/124/142b (65/25/10)	
23	trifluoromethane	CHF ₃	410A	R-32/125 (50/50)	
30	dichloromethane (methylene chloride)	CH ₂ Cl ₂	410B	R-32/125 (45/55)	
31	chlorofluoromethane	CH ₂ ClF	411A	R-1270/22/152a (1.5/87.5/11.0)	
32	difluoromethane (methylene fluoride)	CH ₂ F ₂	411B	R-1270/22/152a (3/94/3)	
40	chloromethane (methyl chloride)	CH ₃ Cl	412A	R-22/218/142b (70/5/25)	
41	fluoromethane (methyl fluoride)	CH ₃ F	Azeotropic Blends (% by mass)		
50	methane	CH ₄	500	R-12/152a (73.8/26.2)	
Ethane Series			501	R-22/12 (75.0/25.0)*	
110	hexachloroethane	CCl ₃ CCl ₃	502	R-22/115 (48.8/51.2)	
111	pentachlorofluoroethane	CCl ₃ CCl ₂ F	503	R-23/13 (40.1/59.9)	
112	1,1,2,2-tetrachloro-1,2-difluoroethane	CCl ₂ FCCl ₂ F	504	R-32/115 (48.2/51.8)	
112a	1,1,1,2-tetrachloro-2,2-difluoroethane	CCl ₃ CClF ₂	505	R-12/31 (78.0/22.0)*	
113	1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoroethane	CCl ₂ FCClF ₂	506	R-31/114 (55.1/44.9)	
113a	1,1,1-trichloro-2,2,2-trifluoroethane	CCl ₃ CF ₃	507A	R-125/143a (50/50)	
114	1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoroethane	CClF ₂ CClF ₂	508A	R-23/116 (39/61)	
114a	1,1-dichloro-1,2,2,2-tetrafluoroethane	CCl ₂ FCF ₃	508B	R-23/116 (46/54)	
114B2	1,2-dibromo-1,1,2,2-tetrafluoroethane	CBrF ₂ CBrF ₂	509A	R-22/218 (44/56)	
115	chloropentafluoroethane	CClF ₂ CF ₃	Miscellaneous Organic Compounds		
116	hexafluoroethane	CF ₃ CF ₃	<i>Hydrocarbons</i>		
120	pentachloroethane	CHCl ₂ CCl ₃	600	butane	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃
123	2,2-dichloro-1,1,1-trifluoroethane	CHCl ₂ CF ₃	600a	2-methyl propane (isobutane)	CH(CH ₃) ₃
123a	1,2-dichloro-1,1,2-trifluoroethane	CHClFCClF ₂	<i>Oxygen Compounds</i>		
124	2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoroethane	CHClFCF ₃	610	ethyl ether	C ₂ H ₅ OC ₂ H ₅
124a	1-chloro-1,1,2,2-tetrafluoroethane	CHF ₂ CClF ₂	611	methyl formate	HCOOCH ₃
125	pentafluoroethane	CHF ₂ CF ₃	<i>Sulfur Compounds</i>		
133a	2-chloro-1,1,1-trifluoroethane	CH ₂ ClCF ₃	620	(Reserved for future assignment)	
134a	1,1,1,2-tetrafluoroethane	CH ₂ FCF ₃	Nitrogen Compounds		
140a	1,1,1-trichloroethane (methyl chloroform)	CH ₃ CCl ₃	630	methyl amine	CH ₃ NH ₂
141b	1,1-dichloro-1-fluoroethane	CCl ₂ FCH ₃	631	ethyl amine	C ₂ H ₅ NH ₂
142b	1-chloro-1,1-difluoroethane	CClF ₂ CH ₃	Inorganic Compounds		
143a	1,1,1-trifluoroethane	CF ₃ CH ₃	702	hydrogen	H ₂
150a	1,1-dichloroethane	CHCl ₂ CH ₃	704	helium	He
152a	1,1-difluoroethane	CHF ₂ CH ₃	717	ammonia	NH ₃
160	chloroethane (ethyl chloride)	CH ₃ CH ₂ Cl	718	water	H ₂ O
170	ethane	CH ₃ CH ₃	720	neon	Ne
Propane Series			728	nitrogen	N ₂
216ca	1,3-dichloro-1,1,2,2,3,3-hexafluoropropane	CClF ₂ CF ₂ CClF ₂	732	oxygen	O ₂
218	octafluoropropane	CF ₃ CF ₂ CF ₃	740	argon	Ar
245cb	1,1,1,2,2-pentafluoropropane	CF ₃ CF ₂ CH ₃	744	carbon dioxide	CO ₂
290	propane	CH ₃ CH ₂ CH ₃	744A	nitrous oxide	N ₂ O
Cyclic Organic Compounds			764	sulfur dioxide	SO ₂
C316	1,2-dichloro-1,2,3,3,4,4-hexafluorocyclobutane	C ₄ Cl ₂ F ₆	Unsaturated Organic Compounds		
C317	chloroheptafluorocyclobutane	C ₄ ClF ₇	1112a	1,1-dichloro-2,2-difluoroethene	CCl ₂ =CF ₂
C318	octafluorocyclobutane	C ₄ F ₈	1113	1-chloro-1,2,2-trifluoroethene	CClF=CF ₂
Zetropic Blends (% by mass)			1114	tetrafluoroethene	CF ₂ =CF ₂
400	R-12/114 (must be specified)		1120	trichloroethene	CHCl=CCl ₂
401A	R-22/152a/124 (53/13/34)		1130	1,2-dichloroethene (trans)	CHCl=CHCl
401B	R-22/152a/124 (61/11/28)		1132a	1,1 difluoroethene (vinylidene fluoride)	CF ₂ =CH ₂
401C	R-22/152a/124 (33/15/52)		1140	1-chloroethene (vinyl chloride)	CHCl=CH ₂
402A	R-125/290/22 (60/2/38)		1141	1-fluoroethene (vinyl fluoride)	CHF=CH ₂
402B	R-125/290/22 (38/2/60)		1150	ethene (ethylene)	CH ₂ =CH ₂
			1270	propene (propylene)	CH ₃ CH=CH ₂

*The exact composition of this azeotrope is in question

Table 2 Physical Properties of Selected Refrigerants^a

No.	Refrigerant Chemical Name or Composition (% by mass)	Chemical Formula	Molecular Mass	Boiling Pt. (NBP) at		Freezing Point, °F	Critical Tempera- ture, °F	Critical Pressure, psia	Critical Volume, ft ³ /lb	Refractive Index of Liquid ^{b,c}
				14.696 psia, °F	psia, °F					
704	Helium	He	4.0026	-452.1	None	-450.3	33.21	0.2311	1.021 (NBP) 5461 Å	
702p	Hydrogen, para	H ₂	2.0159	-423.2	-434.8	-400.3	187.5	0.5097	1.09 (NBP) ^f	
702n	Hydrogen, normal	H ₂	2.0159	-423.0	-434.5	-399.9	190.8	0.5320	1.097 (NBP) 5791 Å	
720	Neon	Ne	20.183	-410.9	-415.5	-379.7	493.1	0.03316	—	
728	Nitrogen	N ₂	28.013	-320.4	-346.0	-232.4	492.9	0.05092	1.205 (83 K) 5893 Å	
729	Air	—	28.97	-317.8	—	-220.95	548.9	0.0530	—	
						-221.1	546.3	0.05007	—	
740	Argon	Ar	39.948	-302.55	-308.7	-188.48	704.9	0.0301	1.233 (84 K) 5893 Å	
732	Oxygen	O ₂	31.9988	-297.332	-361.8	-181.424	731.4	0.03673	1.221 (92 K) 5893 Å	
50	Methane	CH ₄	16.04	-258.7	-296	-116.5	673.1	0.099	—	
14	Tetrafluoromethane	CF ₄	88.01	-198.3	-299	-50.2	543	0.0256	—	
1150	Ethylene	C ₂ H ₄	28.05	-154.7	-272	48.8	742.2	0.070	1.363(-148) ¹	
744A ²	Nitrous oxide	N ₂ O	44.02	-129.1	-152	97.7	1048	0.0355	—	
170	Ethane	C ₂ H ₆	30.07	-127.85	-297	90.0	709.8	0.0830	—	
503	R-23/13 (40.1/59.9)	—	87.5	-127.6	—	67.1	607	0.0326	—	
23	Trifluoromethane	CHF ₃	70.02	-115.7	-247	78.1	701.4	0.0311	—	
13	Chlorotrifluoromethane	CClF ₃	104.47	-114.6	-294	83.9	561	0.0277	1.146 (77) ⁴	
744	Carbon dioxide	CO ₂	44.01	-109.2 ^d	-69.9 ^e	87.9	1070.0	0.0342	1.195 (59)	
13B1	Bromotrifluoromethane	CBrF ₃	148.93	-71.95	-270	152.6	575	0.0215	1.239 (77) ⁴	
504	R-32/115 (48.2/51.8)	—	79.2	-71.0	—	151.5	690.5	0.0324	—	
32	Difluoromethane	CH ₂ F ₂	52.02	-61.1	-213	173.14	845.6	0.03726	—	
125	Pentafluoroethane	C ₂ HF ₅	120.03	-55.43	-153.67	151.34	526.57	—	—	
1270	Propylene	C ₃ H ₆	42.09	-53.86	-301	197.2	670.3	0.0720	1.3640(-58) ¹	
502 ⁵	R-22/115 (48.8/51.2)	—	111.63	-49.8	—	179.9	591.0	0.0286	—	
290	Propane	C ₃ H ₈	44.10	-43.76	-305.8	206.1	616.1	0.0726	1.3397(-43)	
22	Chlorodifluoromethane	CHClF ₂	86.48	-41.36	-256	204.8	721.9	0.0305	1.234 (77) ⁴	
115	Chloropentafluoroethane	CClF ₂ CF ₃	154.48	-38.4	-159	175.9	457.6	0.0261	1.221 (77) ⁴	
500	R-12/152a (73.8/26.2)	—	99.31	-28.3	-254	221.9	641.9	0.0323	—	
717	Ammonia	NH ₃	17.03	-28.0	-107.9	271.4	1657	0.068 ^d	1.325 (61.7)	
12	Dichlorodifluoromethane	CCl ₂ F ₂	120.93	-21.62	-252	233.6	596.9	0.0287	1.288 (77) ⁴	
134a	Tetrafluoroethane	CF ₃ CH ₂ F	102.03	-15.08	-141.9	214.0	589.8	0.029	—	
152a	Difluoroethane	CHF ₂ CH ₃	66.05	-13.0	-178.6	236.3	652	0.0439	—	
40 ²	Methyl chloride	CH ₃ Cl	50.49	-11.6	-144	289.6	968.7	0.0454	—	
124	Chlorotetrafluoroethane	CHClF ₂ CF ₃	136.47	8.26	-326.47	252.5	530.84	—	—	
600a	Isobutane	C ₄ H ₁₀	58.13	10.89	-255.5	275.0	529.1	0.0725	1.3514(-13) ¹	
764 ⁶	Sulfur dioxide	SO ₂	64.07	14.0	-103.9	315.5	1143	0.0306	—	
142b	Chlorodifluoroethane	CClF ₂ CH ₃	100.5	14.4	-204	278.8	598	0.0368	—	
630 ⁶	Methyl amine	CH ₃ NH ₂	31.06	19.9	-134.5	314.4	1082	—	1.432 (63.5)	
C318	Octafluorocyclobutane	C ₄ F ₈	200.04	21.5	-42.5	239.6	403.6	0.0258	—	
600	Butane	C ₄ H ₁₀	58.13	31.1	-217.3	305.6	550.7	0.0702	1.3562 (5) ¹	
114	Dichlorotetrafluoroethane	CClF ₂ CClF ₂	170.94	38.8	-137	294.3	473	0.0275	1.294 (77)	
21 ⁷	Dichlorofluoromethane	CHCl ₂ F	102.92	47.8	-211	353.3	750	0.0307	1.332 (77) ⁴	
160 ²	Ethyl chloride	C ₂ H ₅ Cl	64.52	54.32	-216.9	369.0	764.4	0.0485	—	
631 ⁶	Ethyl amine	C ₂ H ₅ NH ₂	45.08	61.88	-113	361.4	815.6	—	—	
11	Trichlorofluoromethane	CCl ₃ F	137.38	74.87	-168	388.4	639.5	0.0289	1.362 (77) ⁴	
123	Dichlorotrifluoroethane	CHCl ₂ CF ₃	152.93	82.17	-160.87	362.82	532.87	—	—	
611 ⁶	Methyl formate	C ₂ H ₄ O ₂	60.05	89.2	-146	417.2	870	0.0459	—	
141b	Dichlorofluoroethane	CCl ₂ FCH ₃	116.95	89.6	—	399.6	616.4	—	—	
610 ⁶	Ethyl ether	C ₄ H ₁₀ O	74.12	94.3	-177.3	381.2	523	0.0607	1.3526 (68)	
216ca	Dichlorohexafluoropropane	C ₃ Cl ₂ F ₆	220.93	96.24	-193.7	356.0	399.5	0.0279	—	
30 ⁶	Methylene chloride	CH ₂ Cl ₂	84.93	104.4	-142	458.6	882	—	1.4244 (68) ³	
113	Trichlorotrifluoroethane	CCl ₂ FCClF ₂	187.39	117.63	-31	417.4	498.9	0.0278	1.357 (77) ⁴	
1130 ⁸	Dichloroethylene	CHCl=CHCl	96.95	118	-58	470	795	—	—	
1120 ⁶	Trichloroethylene	CHCl=CCl ₂	131.39	189.0	-99	520	728	—	1.4782(68) ³	
718 ⁶	Water	H ₂ O	18.02	212	32	705.18	3200	0.0498	—	

Notes:

^a Data from ASHRAE *Thermodynamic Properties of Refrigerants* (Stewart et al. 1986) or from McLinden (1990), unless otherwise noted.

^b Temperature of measurement (°F, unless kelvin is noted) shown in parentheses. Data from CRC *Handbook of Chemistry and Physics* (CRC 1987), unless otherwise noted.

^c For the sodium D line.

^d Sublimes

^e At 76.4 psia.

^f Dielectric constant data.

References:

¹ Kirk and Othmer (1956).

² Matheson Gas Data Book (1966).

³ Electrochemicals Department, E.I. duPont de Nemours & Co.

⁴ Bulletin B-32A (duPont).

⁵ Bulletin T-502 (duPont 1980).

⁶ Handbook of Chemistry (1967).

⁷ Bulletin G-1 (duPont).

⁸ CRC Handbook of Chemistry and Physics (CRC 1987).

Table 3 Electrical Properties of Liquid Refrigerants

Refrigerant		Temp., °F	Dielectric Constant	Volume Resistivity, MΩ·m	Ref.
No.	Chemical Name or Composition (% by mass)				
11	Trichlorofluoromethane	84	2.28		1
		a	1.92	63680	2
		77	2.5	90	3
12	Dichlorodifluoromethane	84	2.13		1
		a	1.74	53900	2
		77	2.1	> 120	3
		77	2.100		4
13	Chlorotrifluoromethane	-22	2.3	120	4
		68	1.64		
22	Chlorodifluoromethane	75	6.11		1
		a	6.12	0.83	2
		77	6.6	75	3
23	Trifluoromethane	-22	6.3		3
		68	5.51		4
113	Trichlorotrifluoroethane	86	2.44		1
		a	1.68	45490	2
		77	2.6	> 120	3
114	Dichlorotetrafluoroethane	88	2.17		1
		a	1.83	66470	2
		77	2.2	> 70	3
124a	Chlorotetrafluoroethane	77	4.0	50	3
290	Propane	a	1.27	73840	2
500	R-12/152a (73.8/26.2)	a	1.80	55750	2
717	Ammonia	69	15.5		5
744	Carbon dioxide	32	1.59		5

* Ambient temperature.

References

- 1 Data from E I duPont de Nemours & Co., Inc. Used by permission.
- 2 Beacham and Divers (1955).
- 3 Eiseman (1955).
- 4 Makita et al. (1976).
- 5 CRC *Handbook of Chemistry and Physics* (CRC 1987).

Table 4 Electrical Properties of Refrigerant Vapors

Refrigerant		Pres- sure, atm.	Tem- pera- ture, °F	Dielec- tric Con- stant	Relative Dielectric Strength, Nitrogen = 1	Volume Resis- tivity, GΩ·m	Ref.
No.	Chemical Name or Composition (% by mass)						
11	Trichlorofluoro- methane	0.5	79	1.0019			3
		a	b	1.009		74.35	2
		1.0	73		3.1		4
12	Dichlorodifluoro- methane	0.5	84	1.0016			3
		a	b	1.012	452 ^c	72.77	2
		1.0	73		2.4		4
		4.9	68	1.019			5
13	Chlorotrifluoro- methane	0.5	84	1.0013			3
		1.0	73		1.4		4
		4.9	68	1.013			5
		19.5	90	1.055			6
14	Tetrafluoro- methane	0.5	76	1.0006			3
		1.0	73		1.0		4
22	Chlorodifluoro- methane	0.5	78	1.0035			3
		a	b	1.004	460 ^c	2113	2
		1.0	73		1.3		4
		4.9	68	1.033			5
23	Trifluoromethane	4.9	68	1.042			5
113	Trichlorotri- fluoroethane	a	b	1.010	440 ^c	94.18	2
		0.4	73		2.6		4
114	Dichlorotetra- fluoroethane	0.5	80	1.0021			3
		a	b	1.002	295 ^c	148.3	2
		1.0	73		2.8		4
116	Hexafluoroethane	0.94	73	1.002			3
133a	Chlorotrifluoro- ethane	0.94	80	1.010			3
142b	Chlorodifluoro- ethane	0.93	81	1.013			3
143a	Trifluoroethane	0.85	77	1.013			3
170	Ethane	1.0	32	1.0015			1
290	Propane	a	b	1.009	440 ^c	105.3	2
500	R-12/152a (73.8/26.2)	a	b	1.024	470 ^c	76.45	2
717	Ammonia	1.0	32	1.0072			1
		a	b		0.82		4
729	Air	1.0	32	1.00059			1
744	Carbon dioxide	1.0	32	1.00099			1
		1.0	b		0.88		4
1150	Ethylene	1.0	32	1.00144			1
		1.0	73		1.21		4

Notes:

*Saturation vapor pressure.

^bAmbient temperature.

^cMeasured breakdown voltage, volts/mil

References:

1 CRC *Handbook of Chemistry and Physics* (CRC 1987)

2 Beacham and Divers (1955)

3 Fuoss (1938).

4 Charlton and Cooper (1937).

5 Makita et al (1976).

6 Hess et al. (1962).

Table 5 Velocity of Sound in Refrigerant Vapors^a

Refrigerant	Pressure, psia	Temperature, °F		
		50	100	150
		Velocity of Sound, ft/s		
11	10	b	469	490
12	10	480	503	525
22	10	583	610	635
113	10	b	435	456
114	10	391	411	430
502	10	501	525	547
123	10	b	435	456
124	10	443	465	486
125	10	477	500	521
134a	10	517	543	566
12	100	b	457	490
22	100	b	574	607
502	100	450	488	519
124	100	b	b	440
125	100	b	466	497
134a	100	b	490	528
12	200	b	b	442
22	200	b	523	572
502	200	b	435	483
125	200	b	420	467
134a	200	b	b	476

^aData in I-P units from E.I. duPont de Nemours & Co., Inc. Used by permission. Some data from NIST Standard Reference Database 23

^bBelow saturation temperature.

Table 6 Latent Heat of Vaporization Versus Boiling Point

No.	Refrigerant	Normal Boiling Pt., °F	Latent Heat λ at NBP, Btu/lb·mol	Trouton Constant, $\lambda/^\circ R^b$	Ref.
	Chemical Name or Composition (% by mass)				
717	Ammonia	-28.0	10,036	23.256	1
630	Methyl amine ^a	23.0	11,141	23.086	4
764	Sulfur dioxide	13.6	10,705	22.626	2
631	Ethyl amine	68.0	11,645	22.076	4
611	Methyl formate ^a	100.0	12,094	21.616	4
134a	Tetrafluoroethane	-15.07	9,531	21.44	5
504	R-32/115 (48.2/51.8)	-71.0	8,282	21.316	1
23	Trifluoromethane	-115.7	7,325	21.29	1
124	Chlorotetrafluoroethane	8.26	9,742	20.82	5
C318	Octafluorocyclobutane	21.5	10,017	20.81	1
21	Dichlorodifluoromethane	47.8	10,557	20.80	3
22	Chlorodifluoromethane	-41.4	8,687	20.76	1
40	Methyl chloride	-10.8	9,305	20.73	3
123	Dichlorotrifluoroethane	82.17	11,215	20.70	5
506	R-31/114 (55.1/44.9)	9.9	9,644	20.54	3
125	Pentafluoroethane	-55.43	8,295	20.52	5
113	Trichlorotrifluoroethane	117.6	11,828	20.49	1
152a	Difluoroethane	-13.0	9,045	20.25	1
502	R-22/115 (48.8/51.2)	-49.9	8,280	20.21	3
114	Dichlorotetrafluoroethane	38.8	10,005	20.07	1
216ca	Dichlorohexafluoropropane	96.2	11,154	20.07	1
505	R-12/31 (78.0/22.0) ^c	-21.8	8,735	19.95	3
11	Trichlorofluoromethane	74.9	10,648	19.92	1
500	R-12/152a (73.8/26.2)	-28.3	8,588	19.91	1
14	Tetrafluoromethane	-198.3	5,146	19.69	1
30	Methylene chloride ^a	120.0	11,398	19.66	4
600	Butane	31.1	9,641	19.64	1
13B1	Bromotrifluoromethane	-72.0	7,607	19.62	1
12	Dichlorodifluoromethane	-21.6	8,591	19.61	1
142b	Chlorodifluoroethane	14.4	9,297	19.61	1
115	Chloropentafluoroethane	-38.4	8,245	19.57	1
1270	Propylene	-53.9	7,931	19.55	1
503	R-23/13 (40.1/59.9)	-126.1	6,483	19.43	1
600a	Isobutane	10.9	9,103	19.34	1
13	Chlorotrifluoromethane	-114.6	6,670	19.33	1
290	Propane	-43.7	8,026	19.29	1
1150	Ethylene	-154.7	5,793	19.00	1
170	Ethane	-127.9	6,296	18.98	1
50	Methane	-258.7	3,521	17.52	1

Notes

^aNot at normal atmospheric pressure.

^bNormal boiling temperatures.

^cThe exact composition of this azeotrope is in question.

References:

1 ASHRAE *Thermodynamic Properties of Refrigerants* (Stewart et al. 1986).

2 CRC *Handbook of Chemistry and Physics* (CRC 1987).

3 ASHRAE (1977).

4 *Chemical Engineer's Handbook* (1973).

5 NIST Standard Reference Database 23

Table 7 Comparative Refrigerant Performance per Ton of Refrigeration^a

Refrigerant No.	Chemical Name or Composition (% by mass)	Evaporator Pressure, psia	Condenser Pressure, psia	Compression Ratio	Net Refrigerating Effect, Btu/lb _m	Refrigerant Circulated, lb _m /min	Liquid Circulated, in ³ /min	Specific Volume of Suction Gas, ft ³ /lb _m	Compressor Displacement, cfm	Power Consumption, hp	Coefficient of Performance	Comp. Discharge Temp., °F
170	Ethane	236.410	674.710	2.85	69.27	2.88704	289.1266	0.5344	1.543	1.733	2.72	123
744	Carbon dioxide	332.375	1045.360	3.15	57.75	3.46320	158.5272	0.2639	0.914	1.678	2.81	156
13B1	Bromotrifluoromethane	77.820	264.128	3.39	28.45	7.02901	129.7814	0.3798	2.669	1.134	4.16	104
125	Pentafluoroethane	58.870	228.110	3.87	37.69	5.30645	126.8148	0.6281	3.333	1.283	3.67	108
1270	Propylene	52.704	189.440	3.59	123.15	1.62401	90.7048	2.0487	3.327	1.035	4.56	108
290	Propane	42.37	156.820	3.70	120.30	1.66251	95.0386	2.4589	4.088	1.031	4.57	98
502	R-22/115 (48.8/51.2)	50.561	191.290	3.78	44.91	4.45305	103.3499	0.8015	3.569	1.067	4.42	98
22	Chlorodifluoromethane	42.963	172.899	4.02	69.90	2.86144	67.6465	1.2394	3.546	1.011	4.67	128
717	Ammonia	34.170	168.795	4.94	474.20	0.42177	19.6087	8.1790	3.450	0.989	4.77	210
500	R-12/152a (73.8/26.2)	31.064	127.504	4.10	60.64	3.29834	80.1925	1.5022	4.955	1.005	4.69	105
12	Dichlorodifluoromethane	26.505	107.991	4.07	50.25	3.97981	85.2280	1.4649	5.830	0.992	4.75	100
134a	Tetrafluoroethane	23.790	111.630	4.69	64.77	3.08785	71.8199	1.9500	6.021	1.070	4.41	108
124	Chlorotetrafluoroethane	12.960	64.590	4.98	50.93	3.92696	81.1580	2.7140	10.658	1.054	4.47	90
600a	Isobutane	12.924	59.286	4.59	113.00	1.76991	90.0059	6.4189	11.361	1.070	4.41	80
600	Butane	8.176	41.191	5.04	125.55	1.59299	77.7772	10.2058	16.258	0.952	4.95	88
114	Dichlorotetrafluoroethane ^b	6.747	36.493	5.41	43.02	4.64889	89.5631	4.3400	20.176	1.015	4.65	86
11	Trichlorofluoromethane	2.937	18.318	6.24	67.21	2.97592	56.2578	12.2400	36.425	0.939	5.02	110
123	Dichlorotrifluoroethane	2.290	15.900	6.94	61.19	3.26829	62.3495	14.0800	46.018	0.974	4.84	94
113	Trichlorotrifluoroethane ^b	1.006	7.884	7.83	52.08	3.84047	68.5997	26.2845	100.945	1.105	4.27	86

Notes: ^aBased on 5°F evaporation and 86°F condensation.

^bSaturated suction except R-113 and R-114. Enough superheat was added to give saturated discharge.

Table 8 Comparative Refrigerant Performance per Ton at Various Evaporating and Condensing Temperatures

Refrigerant No.	Chemical Name or Composition (% by mass)	Suction Temp., °F	Evaporator Pressure, psia	Condenser Pressure, psia	Compression Ratio	Net Refrigerating Effect, Btu/lb _m	Refrigerant Circulated, lb _m /min	Specific Volume of Suction Gas, ft ³ /lb _m	Compressor Displacement, cfm	Power Consumption, hp
A. -130°F Saturated Evaporating, 0°F Suction Superheat, -40°F Saturated Condensing										
1150	Ethylene	-130	30.887	210.670	6.82	142.01	1.40835	3.8529	5.426	1.756
170	Ethane	-130	13.620	112.790	8.28	156.58	1.27730	8.3575	10.675	1.633
13	Chlorotrifluoromethane	-130	9.059	88.037	9.72	45.82	4.36529	3.6245	15.822	1.685
23	Trifluoromethane	-130	9.06	103.03	11.37	79.38	2.51953	5.4580	13.752	1.753
B. -100°F Saturated Evaporating, 0°F Suction Superheat, -30°F Saturated Condensing										
170	Ethane	-100	31.267	134.730	4.31	157.76	1.26775	3.8671	4.903	1.118
13	Chlorotrifluoromethane	-100	22.276	106.290	4.77	46.23	4.32581	1.5631	6.762	1.153
125	Pentafluoroethane	-100	3.780	27.760	7.34	56.43	3.54403	8.3900	29.734	1.101
22	Chlorodifluoromethane	-100	2.380	19.629	8.25	90.75	2.20397	18.5580	40.901	1.074
23	Trifluoromethane	-100	23.74	125.99	5.31	79.37	2.51984	2.219	5.592	1.178
C. -76°F Saturated Evaporating, 0°F Suction Superheat, 5°F Saturated Condensing										
1150	Ethylene	-76	109.370	416.235	3.81	116.95	1.71021	1.1617	1.987	1.478
170	Ethane	-76	54.634	235.440	4.31	322.65	0.61987	2.2906	1.420	0.566
23	Trifluoromethane	-76	45.410	237.180	5.22	69.60	2.87356	1.2030	3.457	1.394
13	Chlorotrifluoromethane	-76	40.872	192.135	4.70	39.42	5.07389	0.8801	4.465	1.382
13B1	Bromotrifluoromethane	-76	13.173	77.820	5.91	37.80	5.29128	2.0329	10.757	1.253
125	Pentafluoroethane	-76	8.210	58.870	7.17	50.62	3.95101	4.0720	16.089	1.277
290	Propane	-76	6.150	42.367	6.89	147.39	1.35699	14.8560	20.159	1.196
22	Chlorodifluoromethane	-76	5.438	42.963	7.90	84.24	2.37425	8.5925	20.401	1.195
717	Ammonia	-76	3.18	34.26	10.79	540.63	0.37	75.7838	28.04	1.247
12	Dichlorodifluoromethane	-76	3.277	26.501	8.09	58.61	3.41219	10.2448	34.957	1.191
134a	Tetrafluoroethane	-76	2.3	23.77	10.32	78.1	2.561	17.3038	44.315	1.182
D. -40°F Saturated Evaporating, 0°F Suction Superheat, 68°F Saturated Condensing										
744	Carbon dioxide	-40	145.770	830.530	5.70	77.22	2.59000	0.6128	1.587	2.208
23	Trifluoromethane	-40	103.030	597.900	5.80	45.67	4.37924	0.5448	2.386	2.442
13B1	Bromotrifluoromethane	-40	31.855	207.854	6.53	28.81	6.94155	0.8915	6.189	1.855
125	Pentafluoroethane	-40	21.840	175.100	8.02	37.44	5.34188	1.6250	8.681	1.962
290	Propane	-40	16.099	121.560	7.55	119.33	1.67602	6.0829	10.195	1.670
22	Chlorodifluoromethane	-40	15.268	131.997	8.65	70.65	2.83106	3.2805	9.287	1.606
717	Ammonia	-40	10.4	124.31	11.95	486.55	0.411	25.1436	10.334	1.576
500	R-12/152a (73.8/26.2)	-40	10.959	96.948	8.85	60.24	3.31989	3.9895	13.245	1.583
12	Dichlorodifluoromethane	-40	9.304	82.295	8.84	49.44	4.04572	3.8868	15.725	1.596
134a	Tetrafluoroethane	-40	7.42	83.0	11.19	63.17	3.166	5.7899	18.331	1.597

Table 8 Comparative Refrigerant Performance per Ton at Various Evaporating and Condensing Temperatures (Continued)

No.	Refrigerant Chemical Name or Composition (% by mass)	Suction Temp., °F	Evaporator Pressure, psia	Condenser Pressure, psia	Compression Ratio	Net Refrigerating Effect, Btu/lb _m	Refrigerant Circulated, lb _m /min	Specific Volume of Suction Gas, ft ³ /lb _m	Compressor Displacement, cfm	Power Consumption, hp
E. -10°F Saturated Evaporating, 0°F Suction Superheat, 100°F Saturated Condensing										
123	Dichlorotrifluoroethane	-10	1.48	20.8	14.07	55.64	3.594	21.1405	75.979	1.436
11	Trichlorofluoromethane	-10	1.92	23.37	12.2	61.82	3.235	18.1691	58.777	1.398
124	Chlorotetrafluoroethane	-10	8.950	80.920	9.04	44.99	4.44543	3.8410	17.075	1.649
134a	Tetrafluoroethane	-10	16.62	138.98	8.36	56.57	3.535	2.7114	9.585	1.589
12	Dichlorodifluoromethane	-10	19.197	131.720	6.86	44.89	4.45563	1.9803	8.823	1.606
717	Ammonia	-10	23.73	211.96	8.93	461.25	0.434	11.6774	5.068	1.494
22	Chlorodifluoromethane	-10	31.231	210.670	6.75	64.07	3.12173	1.6757	5.231	1.602
502	R-22/115 (48.8/51.2)	-10	37.256	230.890	6.20	39.05	5.12177	1.0727	5.494	1.904
125	Pentafluoroethane	-10	43.320	276.950	6.39	31.09	6.43294	0.8459	5.442	2.172
F. -10°F Saturated Evaporating, 75°F Suction Superheat (Not Included in Refrigeration Effect), 100°F Saturated Condensing										
123	Dichlorotrifluoroethane	65	1.48	20.8	14.07	55.64	3.594	24.8022	89.139	1.678
11	Trichlorofluoromethane	65	1.92	23.37	12.2	61.82	3.235	21.2804	68.842	1.632
124	Chlorotetrafluoroethane	65	8.950	80.920	9.04	44.99	4.44543	4.5310	20.142	1.919
134a	Tetrafluoroethane	65	16.62	138.98	8.36	56.57	3.535	3.2359	11.439	1.906
12	Dichlorodifluoromethane	65	19.197	131.720	6.86	44.89	4.45563	2.3597	10.514	1.914
717	Ammonia	65	23.73	211.96	8.93	461.25	0.434	13.7281	5.958	1.742
22	Chlorodifluoromethane	65	31.231	210.670	6.75	64.07	3.12173	2.0121	6.281	1.924
502	R-22/115 (48.8/51.2)	65	37.256	230.890	6.20	39.05	5.12177	1.3015	6.666	2.310
125	Pentafluoroethane	65	43.320	276.950	6.39	31.09	6.43294	1.0280	6.613	2.573
G. -10°F Saturated Evaporating, 75°F Suction Superheat (Included in Refrigeration Effect), 100°F Saturated Condensing										
123	Dichlorotrifluoroethane	65	1.48	20.8	14.07	67.3	2.972	24.7971	73.697	1.387
11	Trichlorofluoromethane	65	1.92	23.37	12.2	71.88	2.783	21.2763	59.212	1.403
124	Chlorotetrafluoroethane	65	8.950	80.920	9.04	57.33	3.48857	4.5310	15.807	1.506
134a	Tetrafluoroethane	65	16.62	138.98	8.36	71.25	2.807	3.2358	9.083	1.513
12	Dichlorodifluoromethane	65	19.197	131.720	6.86	55.83	3.58251	2.3597	8.454	1.539
717	Ammonia	65	23.73	211.96	8.93	498.44	0.401	13.7506	5.514	1.612
22	Chlorodifluoromethane	65	31.231	210.670	6.75	75.95	2.63326	2.0121	5.298	1.623
502	R-22/115 (48.8/51.2)	65	37.256	230.890	6.20	51.23	3.90362	1.3015	5.081	1.761
125	Pentafluoroethane	65	43.320	276.950	6.39	45.13	4.43164	1.0280	4.556	1.773
H. 20°F Saturated Evaporating, 0°F Suction Superheat, 80°F Saturated Condensing										
125	Pentafluoroethane	20	78.400	209.270	2.67	41.47	4.82276	0.4735	2.284	0.831
290	Propane	20	55.931	144.330	2.58	128.39	1.55775	1.8873	2.940	0.721
22	Chlorodifluoromethane	20	57.786	158.360	2.74	73.12	2.73512	0.9334	2.553	0.707
717	Ammonia	20	48.19	153.06	3.18	497.1	0.402	6.0498	2.432	0.677
500	R-12/152a (73.8/26.2)	20	41.936	116.620	2.78	64.15	3.11784	1.1294	3.521	0.702
12	Dichlorodifluoromethane	20	35.765	98.850	2.76	53.22	3.75827	1.1045	4.151	0.701
134a	Tetrafluoroethane	20	33.13	101.49	3.06	67.91	2.945	1.4088	4.149	0.693
124	Chlorotetrafluoroethane	20	18.290	58.410	3.19	54.67	3.65831	1.9640	7.185	0.710
600a	Isobutane	20	17.916	53.907	3.01	121.45	1.64677	4.7361	7.799	0.706
600	Butane	20	11.557	37.225	3.22	134.18	1.49054	7.3947	11.022	0.686
123	Dichlorotrifluoroethane	20	3.48	14.07	4.04	64.75	3.089	9.5073	29.368	0.656
11	Trichlorofluoromethane	20	4.33	16.17	3.74	69.78	2.866	8.5213	24.422	0.649
I. 40°F Saturated Evaporating, 0°F Suction Superheat, 100°F Saturated Condensing										
125	Pentafluoroethane	40	111.710	276.950	2.48	37.10	5.39084	0.3312	1.785	0.860
290	Propane	40	78.782	189.040	2.40	114.96	1.73974	1.3563	2.360	0.750
22	Chlorodifluoromethane	40	83.246	210.670	2.53	68.71	2.91091	0.6557	1.909	0.696
717	Ammonia	40	73.3	211.96	2.89	480.33	0.416	4.0841	1.699	0.653
500	R-12/152a (73.8/26.2)	40	60.722	155.790	2.57	60.54	3.30344	0.7920	2.616	0.692
12	Dichlorodifluoromethane	40	51.705	131.720	2.55	50.50	3.96024	0.7784	3.083	0.689
134a	Tetrafluoroethane	40	49.77	138.98	2.79	63.72	3.139	0.9522	2.989	0.679
124	Chlorotetrafluoroethane	40	27.890	80.920	2.90	52.06	3.84172	1.3180	5.063	0.698
600a	Isobutane	40	26.750	73.364	2.74	115.83	1.72667	3.2564	5.623	0.693
600	Butane	40	17.679	51.683	2.92	129.22	1.54775	4.9754	7.701	0.669
11	Trichlorofluoromethane	40	6.99	23.37	3.34	68.04	2.939	5.4546	16.031	0.624
123	Dichlorotrifluoroethane	40	5.79	20.8	3.59	62.82	3.184	5.9212	18.853	0.635
113	Trichlorotrifluoroethane	47	2.695	10.494	3.89	54.14	3.69433	10.7059	39.551	0.710

Table 9 Comparison of Safety Group Classifications in ASHRAE Standard 34-1989 and ASHRAE Standard 34-1992

Refrigerant Number	Chemical Formula	Safety Group	
		Old	New
10	CCl ₄	2	B1
11	CCl ₃ F	1	A1
12	CCl ₂ F ₂	1	A1
13	CClF ₃	1	A1
13B1	CBrF ₃	1	A1
14	CF ₄	1	A1
21	CHCl ₃ F	2	B1
22	CHClF ₂	1	A1
23	CHF ₃		A1
30	CH ₂ Cl ₂	2	B2
32	CH ₂ F ₂		A2
40	CH ₃ Cl	2	B2
50	CH ₄	3a	A3
113	CCl ₂ FCClF ₂	1	A1
114	CClF ₂ CClF ₂	1	A1
115	CClF ₂ CF ₃	1	A1
116	CF ₃ CF ₃		A1
123	CHCl ₂ CF ₃		B1
124	CHClFCF ₃		A1
125	CHF ₂ CF ₃		A1
134a	CF ₃ CH ₂ F		A1
142b	CClF ₂ CH ₃	3b	A2
143a	CF ₃ CH ₃		A2
152a	CHF ₂ CH ₃	3b	A2
170	CH ₃ CH ₃	3a	A3
218	CF ₃ CF ₂ CF ₃		A1
290	CH ₃ CH ₂ CH ₃	3a	A3
C318	C ₄ F ₈	1	A1
400	R-12/114 (must be specified)	1	A1/A1
500	R-12/152a (73.8/26.2)	1	A1
501	R-22/12 (75.0/25.0)*	1	A1
502	R-22/115 (48.8/51.2)	1	A1
507A	R-125/143a (50/50)		A1
508A	R-23/116 (39/61)		A1
508B	R-23/116 (46/54)		A1/A1
509A	R-22/218 (44/56)		A1
600	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃	3a	A3
600a	CH(CH ₃) ₃	3a	A3
611	HCOOCH ₃	2	B2
702	H ₂		A3
704	He		A1
717	NH ₃	2	B2
718	H ₂ O		A1
720	Ne		A1
728	N ₂		A1
740	Ar		A1
744	CO ₂	1	A1
764	SO ₂	2	B1
1140	CHCl=CH ₂		B3
1150	CH ₂ =CH ₂	3a	A3
1270	CH ₃ CH=CH ₂	3a	A3

*The exact composition of this azeotrope is in question.

Table 10 Swelling of Elastomers in Liquid Refrigerants at Room Temperature

No.	Refrigerant Chemical Name or Composition (% by mass)	Linear Swell, %							
		Buna N	Buna S (GR-S)	Butyl (GR-I)	Natural Rubber	Neoprene GN	Thiokol FA	Viton B	Silicone
11	Trichlorofluoromethane	6	21	41	23	17	2	6	38
12	Dichlorodifluoromethane	2	3	6	6	0	1	9	—
13	Chlorotrifluoromethane	1	1	0	1	0	0	4	—
13B1	Bromotrifluoromethane	1	1	2	1	2	—	7	—
21	Dichlorofluoromethane	48	49	24	34	28	28	22	—
22	Chlorodifluoromethane	26	4	1	6	2	4	20	20
30	Methylene chloride	52	26	23	34	37	59	—	—
40	Methyl chloride	35	20	16	26	22	11	—	—
113	Trichlorotrifluoroethane	1	9	21	17	3	1	7	34
114	Dichlorotetrafluoroethane	0	2	2	2	0	0	9	—
502	R-22/115 (48.8/51.2)	7	3	—	4	1	—	—	—
600	Butane	1	8	20	16	3	0	—	—

Adapted from Eiseman (1949)

Table 11 Diffusion of Water and R-22 Through Elastomers

Elastomer	Diffusion Rate	
	Water ^a	R-22 ^b
Neoprene	0.717	1.31
Buna N	0.109	19.7
Hypalon 40	0.457	0.52
Butyl	0.043	0.30
Viton	—	3.61
Polyethylene	0.123	—
Natural	1.428	—

Adapted from Eiseman (1966).

^a0.003 in. film, 100% rh at 100°F. Diffusion rate per hour in pounds of water per 1000 ft² of elastomer.

^bFilm thickness = 0.001 in.; temperature = 77°F. Gas at 1 atm and 32°F. Diffusion rate per day in ft³ of gas per ft² of elastomer.

Table 12 Swelling of Plastics in Liquid Refrigerants at Room Temperature

Plastic	Linear Swell, %						
	Refrigerant						
	11	12	21	30	113	114a	22
Phenol formaldehyde resin	0	0	0	0	-0.2	-0.2	a
Cellulose acetate	0.4	0	b	b	0	-0.1	a
Cellulose nitrate	0.6	0	b	b	0	-0.1	a
Nylon	0	0	0	0	0	-0.2	1
Methyl methacrylate resin	0	-0.1	b	b	-0.2	-0.2	b
Polyethylene	6.7	0.4	4.5	4.6	2.3	0.6	2
Polystyrene	b	-0.1	b	b	-0.2	-0.2	a
Polyvinyl alcohol	0.3	-0.7	12.9	9.1	-0.1	0.2	a
Polyvinyl chloride	0	0	15.1	b	0	0.1	a
Polyvinylidene chloride	-0.2	0	1.0	2.4	-0.1	0	4
Polytetrafluoroethylene	0	-0.7	0.1	0	0	-0.3	1

Adapted from Brown (1960).

^aData not available.

^bSample completely disintegrated.