

**UNIVERSIDAD DON BOSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**



**TRABAJO DE GRADUACIÓN**  
**PARA OPTAR AL GRADO DE**  
**INGENIERO MECÁNICO**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS**  
**UTILIZANDO R-134a**  
**PARA EL LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN DE LA ESCUELA**  
**DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD DON BOSCO**

**PRESENTADO POR:**  
**ROBERTO CARLOS BARAHONA CERÓN**  
**EDWIN SALVADOR MENDOZA LÓPEZ**  
**JOSÉ LUIS PONCE ZOTELO**

**ASESOR:**  
**ING. MARIO ARNOLDO MOLINA ARGUETA**

**JULIO 2008**  
**EL SALVADOR, CENTROAMERICA**

**UNIVERSIDAD DON BOSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**



**RECTOR**  
**ING. FEDERICO MIGUEL HUGUET**

**SECRETARIO GENERAL**  
**ING. YESENIA XIOMARA MARTÍNEZ OVIEDO**

**DECANO FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ING. ERNESTO GODOFREDO GIRÓN**

**JULIO 2008**  
**EL SALVADOR, CENTROAMERICA**

**UNIVERSIDAD DON BOSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**



**TRABAJO DE GRADUACIÓN**  
**PARA OPTAR AL TÍTULO DE**  
**INGENIERO MECÁNICO**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS**  
**UTILIZANDO R-134a**  
**PARA EL LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN DE LA ESCUELA**  
**DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD DON BOSCO**

---

ASESOR

---

LECTOR

---

ADMINISTRADOR

JULIO 2008  
EL SALVADOR, CENTROAMERICA



# INDICE

<b>Prefacio .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Fundamentos de refrigeración</b>	
<b>2. Marco teórico</b>	
<b>3. Diseño – Procedimiento de cálculo</b>	
<b>4. Proceso de fabricación del banco de pruebas</b>	
<b>5. Guías de laboratorio</b>	
<b>6. Conclusiones y recomendaciones</b>	
<b>7. Glosario de términos.....</b>	
<b>8. Anexos.....</b>	



## PREFACIO

Muchos de los procesos industriales que en los últimos años han marcado la pauta del desarrollo a nivel mundial, les encontramos también presentes en el ámbito industrial de nuestro país; situación que demanda la adecuación de equipo educativo a todas las instituciones que prestan los servicios de enseñanza académica superior, tal es el caso, de la Universidad Don Bosco y el Centro de Investigaciones y Transferencia de Tecnología (CITT).

La importancia de re-orientar el equipo de laboratorio para las Prácticas relacionadas con el área de Aire Acondicionado y Refrigeración, radica en que ésta, es una de las áreas de la mecánica que forman un pilar importante en los procesos industriales. La falta de conocimientos sobre el funcionamiento de sistemas de refrigeración, no permite enfrentar adecuadamente los problemas que se presentan cotidianamente dentro del ámbito industrial.

El presente documento parte de una necesidad en la institución educativa universitaria, y reúne cierta base teórica relacionada al área de refrigeración, la cual se complementa con una serie de cálculos que respaldan el diseño y fabricación de un banco de pruebas didáctico para tan importante área de la ingeniería mecánica.

Complementariamente, se presentan una serie de guías de laboratorio propuestas para ser desarrolladas dentro de los programas educativos que la institución universitaria considere convenientes, y un manual de operaciones en el que se detallan el funcionamiento y el plan de mantenimiento a seguir con el equipo.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL:**

- Diseñar y construir como medio didáctico, un banco de pruebas de un sistema de refrigeración utilizando el refrigerante ecológico 134a, para comprobar el funcionamiento de los diferentes dispositivos que conforman un ciclo de refrigeración, permitiendo observar el comportamiento de las distintas variables termodinámicas que intervienen dentro del mismo.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Ofrecer una herramienta de apoyo didáctico a la teoría recibida en la cátedra de Aire Acondicionado y Refrigeración.
- Proponer un conjunto de guías de laboratorio
- Diseñar la estructura física del equipo de laboratorio.
- Documentar el proceso de diseño y selección de cada parte y componentes del Sistema de Refrigeración.
- Construir un Banco de Pruebas de Refrigeración a partir de los resultados de diseño.
- Elaborar un Manual de Operación y Mantenimiento del equipo propuesto.



# Fundamentos de Refrigeración



## 1.1. Introducción

Toda investigación se fundamenta en cierta base histórica, por lo que en la primera parte del presente capítulo se hace una referencia de la refrigeración a través de los años desde su aparecimiento como un método para preservación de alimentos. Posteriormente se hace referencia sobre algunas definiciones básicas relacionadas con el área de refrigeración, y se presentan los tipos de aplicación que tiene esta rama de la mecánica. Se hará un repaso a la teoría básica relacionada con leyes de la termodinámica, los cambios de estado de la materia, y los métodos de transmisión de calor entre otros. El capítulo finaliza con la presentación de los accesorios básicos utilizados para la construcción de sistemas de refrigeración.

## 1.2. La refrigeración a través de los años

Aun cuando los primeros antepasados del hombre, conocieron y observaron, los efectos del frío, hielo y nieve sobre sus cuerpos y sobre las cosas alrededor de ellos tales como carnes que traían de sus cacerías no es hasta la historia china que encontramos alguna referencia al uso de estos fenómenos naturales de refrigeración, para mejorar la vida de la gente y luego únicamente para el enfriamiento de bebidas. Posteriormente otros usos se desarrollaron; los chinos fueron los primeros en recolectar y almacenar hielo del invierno empacándolo en paja o hierba seca, para utilizarlo en los meses de verano.

El hielo natural y la nieve fueron los únicos medios de refrigeración por muchos siglos. Los antiguos egipcios descubrieron que la evaporación podía causar enfriamiento, así aprendieron a colocar su vino y otros líquidos dentro de recipientes de barro colocándolos en los techos durante las noches, de tal manera que las brisas frías causaban evaporación y enfriaban el contenido. Los griegos y romanos dispusieron de la nieve que bajaba desde la parte superior de las montañas hasta fosas de forma cónica que se forraron con paja y ramas, y se recubrieron con techumbre de paja.

Mediante estudios científicos es evidente que los alimentos frescos pueden conservarse con seguridad a temperaturas de 10°C o menores. Así es posible preservar los alimentos por medio del secado, ahumado, especiado, salado o enfriamiento.

La industria de la refrigeración y del aire acondicionado cada día se extiende más y encuentra más aplicaciones.

En los inicios de la refrigeración mecánica, el equipo disponible era voluminoso, caro y no muy eficiente. Además, era de tal naturaleza que requería continuamente los servicios de un mecánico o de un ingeniero de servicio. Esto limitaba el uso de la refrigeración mecánica a unas cuantas aplicaciones tales como plantas de hielo, plantas empacadoras de carne y a grandes bodegas de almacenamiento.

Poca gente con excepción de aquellas que están relacionadas directamente con la industria, están enteradas de la parte tan importante que la refrigeración juega en el desarrollo de la sociedad que se tiene en América, ni se dan cuenta de la dependencia de la sociedad con respecto a la refrigeración mecánica para contribuir a su existencia; por ejemplo, en la conservación de alimentos en cantidades suficientes para la alimentación.

### **1.3. Generalidades**

Usualmente los usuarios confunden la palabra refrigeración con frío y con enfriamiento; sin embargo, la práctica de ingeniería de refrigeración, trata casi enteramente con la transmisión de calor. En general se define la refrigeración como cualquier proceso de eliminación de calor. Más específicamente, se define a la refrigeración como la rama de la ciencia que trata con los procesos de reducción y mantenimiento de la temperatura de un espacio o material a temperatura inferior con respecto a los alrededores correspondientes.

Para lograr lo anterior, debe sustraerse calor del cuerpo que va a ser refrigerado y ser transferido a otro cuerpo cuya temperatura es inferior a la del cuerpo refrigerado. Debido a que el calor eliminado del cuerpo refrigerado es transferido a otro cuerpo, es evidente que refrigeración y calefacción son en realidad los extremos opuestos del mismo proceso. A menudo, sólo el resultado deseado distingue o uno del otro. Se puede resumir diciendo que refrigerar consiste en conseguir una temperatura más baja que la del medio ambiente inmediato.

### **1.3.1. Necesidad de aislamiento térmico**

Debido a que el calor fluye de una región de temperatura alta a una región de temperatura baja, siempre se tendrá un flujo de calor hacia la región refrigerada de los alrededores calientes. Para limitar el flujo de calor hacia la región refrigerada de manera que sea mínimo, resulta necesario aislar la región de sus alrededores con un buen material aislante de calor.

### **1.3.2. La carga de refrigeración**

La velocidad a la cual deba ser el calor eliminado de un espacio o material refrigerado a fin de producir y mantener las condiciones deseadas de temperatura se le llama carga de refrigeración, la carga de enfriamiento o la carga térmica. La cual comprende la suma de las ganancias de calor debido a:

- ✎ Calor transmitido por conducción a través de paredes aisladas
- ✎ Calor debido a infiltraciones, o sea abrir y cerrar de puertas
- ✎ Calor a eliminar del producto a refrigerar

- ✗ Calor cedido por la gente, motores, alumbrado y otros equipos que producen calor y que operan en el espacio a refrigerar.

### **1.3.3. El agente refrigerante**

En cualquier proceso de refrigeración, la sustancia empleada para absorber calor o agente de enfriamiento, se le llama refrigerante.

Los procesos de enfriamiento se clasifican en sensibles y latentes.

- ✗ Sensible: Cuando el calor absorbido causa un aumento en la temperatura del refrigerante.
- ✗ Latente: Cuando el calor absorbido causa un cambio en el estado físico/del refrigerante (fusión o vaporización).

Para cualquiera de ambos procesos, si el proceso refrigerante es secuencial, la temperatura del refrigerante debe mantenerse en forma continua por abajo del material o del espacio que está siendo refrigerado.

### **1.3.4. Clasificación de las aplicaciones**

Por convenir más a su estudio, las aplicaciones de la refrigeración se han agrupado en seis categorías generales:

- ✗ Refrigeración doméstica
- ✗ Refrigeración comercial
- ✗ Refrigeración Industrial
- ✗ Refrigeración marina y de transportación
- ✗ Acondicionamiento de aire (para producir confort y/o aplicaciones industriales)
- ✗ Conservación de alimentos

No se tienen límites exactos que definan estas áreas, las cuales, precisamente no están bien definidas, produciéndose por consiguiente, traslape o coincidencia entre las mismas.

## **Refrigeración doméstica**

El campo de la refrigeración doméstica está limitado principalmente a refrigeradores y congeladores caseros. Sin embargo, debido a que es muy grande el número de unidades en servicio, la refrigeración doméstica representa una parte muy significativa en la refrigeración industrial. Las unidades domésticas generalmente son de tamaño pequeño teniéndose capacidades de potencia que fluctúan entre 1/20 y 1/2 HP y son del tipo de sellado hermético.

## **Refrigeración comercial**

Esta se refiere al diseño, instalación y mantenimiento de unidades de refrigeración del tipo que se tienen en establecimientos comerciales para su venta, restaurantes, hoteles e instituciones que se dedican al almacenamiento.

## **Refrigeración industrial**

La refrigeración industrial a menudo es confundida con la refrigeración comercial porque la división entre las dos áreas no está claramente definida. Como regla general, las aplicaciones industriales son más grandes en tamaño que las aplicaciones comerciales y, la característica que las distingue es que requieren tener un empleado para su servicio, que por lo general es un ingeniero.

Algunas aplicaciones industriales típicas son plantas de hielo, grandes plantas empacadoras de alimentos (carne, pescado, pollos, alimentos congelados, etc.) cervecerías, lecherías y plantas industriales, tales como refinerías de petróleo, plantas químicas, plantas productoras de hule, etc.

## **Refrigeración marítima y de transportación**

La refrigeración marina se refiere a la que se tiene a bordo de barcos; por ejemplo, en barcos pequeños, barcos que transportan productos putrescibles y en depósitos que se tengan en toda clase de barcos.

La refrigeración en transportación se refiere a la que se da en camiones, tanto para cuando se tenga que dar un servicio a largas distancias, como para entrega local, así como también en furgones refrigerados.

## **Acondicionamiento de aire**

Como lo implica su nombre, el acondicionamiento de aire concierne con la condición del aire en alguna área o espacio designado. Por lo general, esto involucra no únicamente el control de la temperatura del espacio, sino también de la humedad del mismo y el movimiento del aire incluyéndose el filtrado y la limpieza de éste.

De acuerdo a sus propósitos, existen dos tipos de aplicaciones

- ✎ Para producir confort
- ✎ Para uso industrial

## **Conservación de alimentos**

Uno de los usos más comunes de la refrigeración mecánica es la conservación de artículos comerciales putrescibles particularmente comestibles.

Es importante mencionar que la conservación de alimentos es simple cuestión de prevenir o retardar el deterioro y la descomposición, independientemente del método a utilizar, es conveniente conocer las causas que producen el deterioro y la descomposición como un prerrequisito al estudio de los métodos de conservación a fin de mantener su alta calidad en lo que respecta a apariencia, olor, sabor y contenido vitamínico, ya que su deterioro reduce el valor comercial del producto.

Los productos animales (sustancias alimenticias sin vida) son afectados por la actividad natural de las enzimas. Las enzimas que causan la mayoría de los problemas son aquellas cuya hidrólisis catalizadora y oxidación se asocian con la

descomposición de las grasas del animal, esto se controla colocando el producto bajo refrigeración, lo que reduce la actividad de las enzimas.

### **1.3.5. Métodos de congelamiento**

Cuando a un producto se le desea conservar en su estado fresco original por períodos relativamente largos, por lo general se les congela y almacena a aproximadamente 0 °F o menos.

Los siguientes factores regulan la calidad última y tiempo de almacenaje para cualquier producto congelable:

- 1- Naturaleza y composición del producto a congelar
- 2- Los cuidados empleados en seleccionar, manejar y preparar el producto que vaya a congelarse.
- 3- El método de congelamiento
- 4- Las condiciones de almacenaje.

Los productos alimenticios pueden ser congelados de forma lenta o rápida. En el congelamiento lento se coloca el producto en un cuarto de temperatura baja y se deja congelar lentamente, generalmente en aire tranquilo. La temperatura en los congeladores lentos se mantiene en el rango de 0 °F y -40 °F., ya que la circulación de aire es por lo general por convección natural, la transferencia de calor del producto puede ser desde 3 horas hasta 3 días, según el volumen del producto y de las condiciones del congelador. Algunos productos típicos que son congelados en forma lenta son carne de res y cerdo en canales, pollos en cajas, frutas en cajas y en otros depósitos más grandes, y huevos (claras, yemas o enteros) en cajas de 10 a 30 lb.

El congelamiento rápido o por combinación de ellas se obtiene en cualquiera de las tres formas siguientes:

- ☒ Inmersión
- ☒ Contacto directo

✎ Corrientes de aire.

El congelamiento por inmersión se obtiene introduciendo al producto en una solución de salmuera de baja temperatura.

Entre las ventajas de esta aplicación se pueden mencionar que debido a que el líquido refrigerado es un buen conductor y hace muy buen contacto con todo el producto, la transferencia de calor es rápida y el producto es congelado totalmente en un período muy corto de tiempo. Otra ventaja es que el producto se congela en unidades individuales en lugar de hacerlo en forma masiva.

La desventaja principal es que existe la tendencia de extracción por osmosis de los jugos del producto. Esto produce una contaminación y debilitamiento del líquido congelante. Además si la salmuera utilizada es cloruro de sodio, podrá algunas veces tenerse una penetración excesiva de sal en el producto. Por otra parte, cuando la fruta es congelada en una solución de azúcar, la penetración de azúcar en la fruta es muy benéfica.

El pescado y el camarón son los productos más comúnmente congelados por inmersión.

El congelamiento por contacto directo, por lo general se proporciona a través de congeladores de puertas en donde el producto es colocado encima de placas metálicas a través de las cuales se hace circular el refrigerante; la transferencia de calor que se efectúa es por conducción, de manera que la eficiencia del congelador dependerá de la cantidad de superficie de contacto.

En algunos casos el producto es llevado hacia los túneles de congelamiento y para ello se utilizan bandas transportadoras de movimiento lento.

## **1.4. Base teórica**

### **1.4.1. Calor**

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 tránsito, 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 solo términos comparativos.

Existe calor a cualquier temperatura arriba del cero-absoluto, incluso en cantidades extremadamente pequeñas. Cero-absoluto es el término usado por los científicos para describir la temperatura más baja que teóricamente es posible lograr, en el cuál no existe calor, y que es de  $-273^{\circ}\text{C}$ . La temperatura más fría que podemos sentir en la tierra es mucho más alta en comparación con esta base.

### **1.4.2. Temperatura**

La temperatura es la escala usada para medir la densidad del calor y es el indicador que determina la dirección en que se moverá la energía de calor. También puede definirse como el grado de calor sensible que tiene un cuerpo en comparación con otro. En algunos países, la temperatura se mide en grados Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ), pero en nuestro país, y generalmente el resto del mundo, se usa la escala de Grados Centígrados, algunas veces llamadas Celsius. Ambas escalas tienen dos puntos básicos en común: el punto de congelación y el de ebullición del agua al nivel del mar.

Al nivel del mar, el agua se congela a  $0^{\circ}\text{C}$  o a  $32^{\circ}\text{F}$  y hierve a  $100^{\circ}\text{C}$  o a  $212^{\circ}\text{F}$ . La relación existente entre las escalas Fahrenheit y Centígrados se establece con la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned}^{\circ}\text{C} &= 5/9 * (^{\circ}\text{F} - 32) = 0.55 * (^{\circ}\text{F} - 32) \\ ^{\circ}\text{F} &= 9/5 * (^{\circ}\text{C}) + 32 = 1.8 * (^{\circ}\text{C}) + 32\end{aligned}$$

Aunque sea muy común relacionar que tan caliente o frío esta algo con la temperatura, no es fácil definirla exactamente. De acuerdo con las sensaciones fisiológicas, el nivel de temperatura se expresa en un sentido cualitativo con palabras como *congelado, frío, tibio, caliente y ardiente*. Sin embargo, no es posible asignar valores numéricos a las temperaturas sólo con base en las sensaciones. Además, los sentidos pueden estar equivocados. Una silla metálica, por ejemplo, se percibirá mucho más fría que una de madera, aunque ambas estén a la misma temperatura.

### **1.4.3. Ley Cero de la Termodinámica**

Es común observar que una taza de café caliente que se deja sobre la mesa se enfría a la larga y que una bebida fría después de cierto tiempo adquiere cierta tibieza. Cuando un cuerpo entra en contacto con otro cuerpo que tiene diferente temperatura, el calor del cuerpo a temperatura más alta se transfiere al de temperatura inferior hasta que ambos alcanzan la misma temperatura. En ese punto, la transferencia de calor se detiene y se dice que ambos cuerpos han alcanzado el equilibrio térmico. La igualdad de temperatura es el único requerimiento para el equilibrio térmico.

Dos cuerpos están en equilibrio térmico si indican la misma lectura de temperatura, incluso si no se encuentran en contacto

### **1.4.4. Proceso de cambio de fase de Sustancias Puras**

Hay varias situaciones prácticas en que dos fases de una sustancia pura coexisten en equilibrio. El agua existe como una mezcla de líquido y vapor en la caldera y en el condensador de una central termoeléctrica. El refrigerante pasa de líquido a vapor en el congelador de un refrigerador. En vista de que es una sustancia familiar, se empleará el agua para demostrar los principios básicos. Recuerde que en todas las sustancias puras se observa el mismo comportamiento general.

### **Líquido Comprimido y Líquido Saturado**

Considere un dispositivo de cilindro-émbolo que contiene agua líquida a 20 °C y 1 atm de presión. En estas condiciones el agua existe en fase líquida y se denomina líquido comprimido o líquido sub-enfriado, lo que significa que *no está a punto de evaporarse*. El calor se transfiere al agua hasta que su temperatura aumenta a, por ejemplo, 40 °C. A medida que aumenta la temperatura, el agua líquida tendrá cierta expansión y, por ello, aumentará su volumen específico. Como respuesta a esta expansión, el émbolo se moverá ligeramente hacia arriba. Durante este proceso la presión en el cilindro permanece constante en 1 atm, ya que depende de la presión barométrica exterior y del peso del émbolo, que son constantes. En este estado el agua sigue siendo un líquido comprimido, puesto que no ha comenzado a evaporarse.

## **Vapor Saturado y Vapor Sobrecalentado**

Una vez que empieza la ebullición, el aumento de temperatura se detendrá hasta que el líquido se evapore por completo. La temperatura permanecerá constante durante todo el proceso de cambio de fase, si la presión se mantiene constante. Es posible verificarlo con facilidad colocando un termómetro dentro de agua que hierve sobre un horno. A nivel del mar ( $P = 1 \text{ atm}$ ), el termómetro siempre leerá 100°C, aun si la cacerola está descubierta o cubierta con un tapa ligera. Durante un proceso de evaporación (ebullición), el único cambio observable es un gran aumento en el volumen y una disminución estable en el nivel del líquido, como resultado de una mayor cantidad de líquido convertido en vapor.

## **Temperatura de Saturación y Presión de Saturación**

Comúnmente el agua comienza a "hervir" a 100 °C; sin embargo, en sentido estricto el enunciado "el agua hierve a 100 °C" es incorrecto; el enunciado correcto es "el agua hierve a 100 °C con 1 atm de presión". La razón por que el agua empieza a hervir a 100 °C es porque se mantiene la presión constante a 1 atm (101.35 kPa). Si la presión dentro del cilindro se elevara a 500 kPa, añadiendo peso sobre la parte superior del émbolo, el agua empezaría a hervir a 151.9 °C. La temperatura a la cual

el agua empieza a hervir depende de la presión; en consecuencia, si se fija la presión, lo mismo sucede con la temperatura de ebullición.

## Mezcla Saturada Líquido-Vapor

Durante un proceso de evaporación, una sustancia existe como parte líquida y como parte vapor. Esto es, es una mezcla de líquido y vapor saturados. Para analizar esta mezcla de manera apropiada, es necesario conocer las proporciones de las fases líquida y de vapor en la mezcla. Esto se obtiene al definir una nueva propiedad llamada la calidad  $x$  como la razón entre la masa de vapor y la masa total de la mezcla.

$$X = m_{\text{vapor}} / m_{\text{total}} \quad \text{Donde:} \quad m_{\text{total}} = m_{\text{líquido}} + m_{\text{vapor}}$$

La calidad tiene importancia sólo para *mezclas saturadas*. No tiene significado en las regiones de líquido comprimido o vapor sobrecalentado. Su valor se encuentra siempre entre 0 y 1. La calidad de un sistema compuesto por *líquido saturado* es 0 (o 0 por ciento) y la calidad de un sistema compuesto por *vapor saturado* es 1 (o 100 por ciento).

## Primera Ley de la Termodinámica

La primera ley de la termodinámica establece que “la energía ni se puede crear ni destruir; solo se transforma de una forma a otra”. (Con el desarrollo de la energía nuclear, lo anterior ya no es correcto. Sin embargo para los fines didácticos, la primera ley de la termodinámica se aplica en su totalidad)

### 1.4.5. Segunda Ley de la Termodinámica

#### Enunciado de Kelvin-Planck

Ninguna máquina térmica convierte todo el calor que recibe en trabajo útil. Esta limitación en la eficiencia térmica de las máquinas térmicas forma la base del enunciado de Kelvin-Planck de la segunda ley de la termodinámica, el cual expresa:

*Es imposible para cualquier dispositivo que opera en un ciclo, recibir calor de un solo depósito y producir una cantidad neta de trabajo.*

## **Enunciado de Clausius**

Hay dos enunciados clásicos de la segunda ley: el enunciado de Kelvin-Planck, el cual se relaciona con las máquinas térmicas, y el enunciado de Clausius, el cual se relaciona con refrigeradores o bombas de calor. El enunciado de Clausius se expresa como:

*Es imposible construir un dispositivo que opere en un ciclo y cuyo único efecto sea producir la transferencia de calor de un cuerpo de temperatura más baja a un cuerpo de temperatura más alta.*

### **1.4.6. Comportamiento de la materia y el calor**

#### **Cantidad de calor**

La cantidad de calor es distinta de la intensidad de calor, porque tiene en cuenta no solo la temperatura de la sustancia que se está midiendo, sino también su peso. La unidad de cantidad de calor es la unidad térmica británica (BTU). El agua se usa como norma para esta unidad; una BTU es la cantidad de calor necesaria para variar la temperatura de 1 libra de agua 1 grado Fahrenheit al nivel del mar. Dos BTU provocarían un cambio de temperatura de 2 °F en 1 lb. de agua; o bien causarían un cambio de temperatura de 1 °F de 2 lb. de agua. Por lo tanto, cuando se examina el cambio de temperatura del agua, se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$\text{Calor (en BTU)} = W \times \Delta T = \text{peso (en libras)} \times \text{diferencia de temperaturas}$$

#### **Calor específico**

El calor específico de una sustancia es la cantidad de calor en BTU necesaria para cambiar la temperatura de 1 libra de agua 1 grado Fahrenheit, o para cambiar la temperatura de la misma cantidad de agua la misma unidad de medida en un termómetro.

Por lo tanto, el calor específico del agua es 1.0; y el agua es la base de la tabla de calores específicos de la tabla 1-1, donde se observa que las diferentes sustancias tienen diversas capacidades para absorber o ceder calor. Los valores de calor específico de la mayor parte de las sustancias varían al cambiar la temperatura; algunos varían tan solo un poco, mientras que otros pueden cambiar en forma considerable.

**Tabla 1- :** Calores específicos de sustancias comunes (en BTU/lb. °F, o Cal/Kg. °C)

Agua	1.00
Hielo	0.50
Aire Seco	0.24
Vapor	0.48
Aluminio	0.22
Latón	0.09
Plomo	0.03
Hierro	0.10
Mercurio	0.03
Cobre	0.09
Alcohol	0.60
Petróleo	0.50
Aceite de Oliva	0.47
Vidrio	0.20
Pino	0.67
Mármol	0.21

Supongamos que dos recipientes se colocan frente a un elemento calefactor o quemador, lado a lado. Uno de ellos contiene agua y el otro un peso igual de aceite de oliva. Se apreciara pronto que la temperatura del aceite de oliva aumenta a mayor velocidad que la del agua, lo cual demuestra que el aceite de oliva absorbe calor con más rapidez que el agua. Si la rapidez del aumento de temperatura del aceite de oliva fuera aproximadamente el doble que la del agua, se podría decir que el aceite de oliva solo necesito la mitad de calor en comparación con el agua.

Si la rapidez del aumento de temperatura del aceite de oliva fuera aproximadamente el doble que la del agua, se podría decir que el aceite de oliva solo necesita la mitad de calor en comparación con el agua para aumentar su temperatura 1 grado Fahrenheit. En base al valor de 1.0 para el calor específico del aceite de oliva debe ser 0.5 en forma aproximada, o sea, la mitad del agua. (En la tabla de los calores específicos de diversas sustancias se observa que el aceite de oliva tiene un calor específico igual a 0.47)

La ecuación anterior, se puede escribir ahora de la siguiente forma:

$$BTU = W \times c \times \Delta T$$

Donde:  $c$  = Calor específico de la sustancia

El calor específico de una sustancia también cambiara cuando cambia el estado de la misma. El agua es un muy buen ejemplo de esta variación de calor específico. Ya se documentó en los párrafos anteriores que en estado líquido su calor específico es 1.0; pero como sólido (hielo), su calor específico es de 0.5 y 0.48 es el valor del calor específico en el estado gaseoso (vapor de agua)

En un circuito de refrigeración nos interesarán, en especial, sustancias en estado líquido o gaseoso, y su capacidad para absorber o ceder calor. También, en la distribución de aire para enfriamiento o calentamiento de determinada zona, nos interesaran los posibles cambios de valores de calor específico.<sup>1</sup>

## **Cambio de estado**

Los cinco cambios principales de estado son:

- Solidificación: Es un cambio de estado líquido a sólido
- Licuefacción: Es un cambio de estado sólido a líquido
- Vaporización: Es un cambio de estado líquido a vapor (gaseoso)

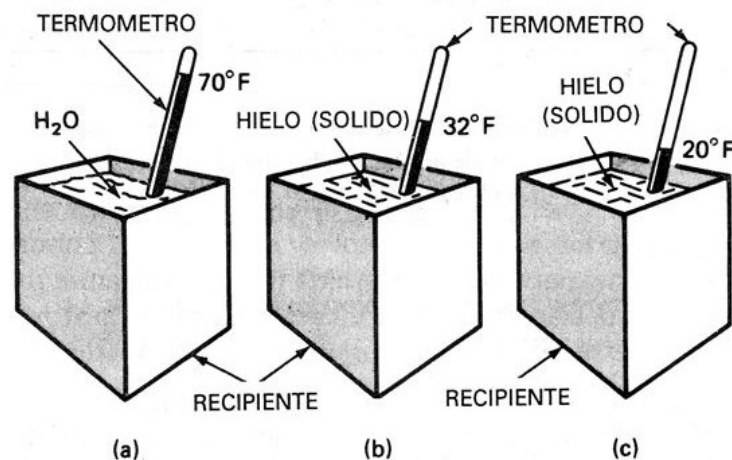
---

<sup>1</sup> Como el calor específico es una relación de calor de determinada sustancia con respecto a la del agua, su valor es igual en los diversos sistemas de unidades. El calor específico del agua es 1 BTU/lb °F, y también 1 Cal/kg °C

- Condensación: Es un cambio de estado gaseoso a líquido
- Sublimación: Es un cambio de estado sólido a vapor, sin pasar por el estado líquido

Cuando se calienta una sustancia sólida, el movimiento molecular es principalmente de oscilación, y las moléculas no llegan muy lejos de su posición normal y original. Pero a determinada temperatura, diferente para las diversas sustancias, si se agrega más calor no necesariamente aumentara el movimiento molecular; en lugar de ello, el calor agregado hará que algo del sólido licue (que se vuelva líquido). Así, el calor adicional origina un cambio de estado del material.

La temperatura a la cual se lleva a cabo este cambio de estado de la sustancia se llama su punto de fusión. Supongamos que se deja en el congelador un recipiente de agua al que se ha puesto un termómetro (figura 1-5). Cuando se le saca del congelador se ha transformado en un bloque de hielo; se ha llevado a cabo la solidificación. Supongamos también que el termómetro en el hielo, indica que la temperatura es 20 °F. Si se deja estar a temperatura ambiente, el hielo absorberá calor del aire ambiente hasta que el termómetro indique una temperatura de 32 °F, y entonces algo del hielo comenzara a cambiar y transformarse en agua.

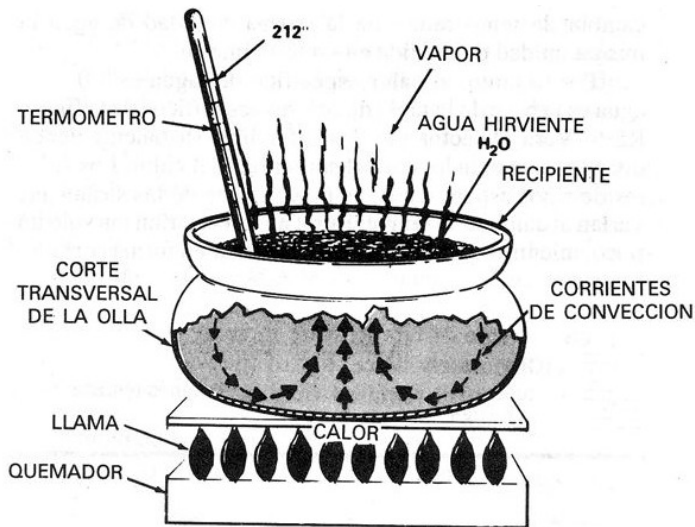


**Figura 1- :** Esquematación de la solidificación del agua

Si el calor continua pasando del aire del recinto al hielo, más hielo se convertirá en agua, pero el termómetro continuara marcando 32 °F hasta que se

haya fundido todo el hielo. Se ha llevado a cabo la licuefacción. Después se describirá este cambio de estado, sin cambio de temperatura.

Como se dijo, cuando se ha fundido todo el hielo, el termómetro indicara una temperatura de 32 °F, pero la temperatura del agua continuara subiendo hasta que alcance o iguale la temperatura del recinto.



**Figura 1-** : Corrientes de convección originadas por una diferencia de temperaturas

Si se agrega el calor suficiente al recipiente de agua mediante dispositivos adecuados (Figura 1-6) como un quemador o un soplete, la temperatura del agua aumentara hasta llegar a 212 °F (100 °C). A esta temperatura, y bajo presión atmosférica “normal”, le efectuara otro cambio de estado: la vaporización, o evaporación. Algo del agua se convertirá en vapor; sin embargo, la temperatura del agua no pasara de 212 °F. Este cambio de estado, en el que no cambia la temperatura, se describirá también después.

Si el vapor se pudiera confinar en un recipiente cerrado, y si se quitara la fuente de calor, el vapor cedería calor al aire que le rodea y se condensaría de nuevo formando agua líquida. Lo que se ha llevado a cabo es la condensación, que es el proceso inverso de la vaporización.

El oxígeno es gaseoso a más de -297 °F; es líquido entre esa temperatura y -324 °F, y sólido a menores temperaturas que la última citada. El hierro es sólido

hasta que su temperatura alcanza 2,800 °F, y se evapora a una temperatura aproximadamente a 4,950 °F.

Lo que hemos aprendido hasta ahora, con algunos ejemplos, es que puede pasar un sólido a líquido, y como puede pasar un sólido a líquido, y como puede pasar un líquido a vapor. Pero es posible que una sustancia cambie su estado físico para pasar directamente de sólido a vapor, sin fundirse primero formar líquido. A esto se le llama sublimación.

Es probable que todos nosotros hayamos visto este cambio físico, cuando se lleva a cabo, sin darnos cuenta completamente. Los trapos húmedos mojados, al colgar en el exterior a temperaturas inferiores a la congelación, se secan con rapidez debido a la sublimación; también hielo seco (dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, sólido) se sublima y pasa a gas bajo presión y temperatura normales.

## **Calor sensible**

El calor que se puede sentir o medir se llama calor sensible. Es el calor que provoca un cambio de la temperatura de una sustancia, pero no un cambio de su estado. Las sustancias, al estar en estado sólido, líquido o gaseoso, contienen calor sensible hasta cierto grado, siempre que sus temperaturas sean mayores que el cero absoluto. Las ecuaciones que se emplearon para calcular la cantidad de calor, al igual que las que se usaron para los calores específicos, se podrán clasificar como ecuaciones para calor sensible, ya que en ninguna de ellas interviene un cambio de estado.

Como ya se menciona, una sustancia puede existir en forma sólida, líquida o gaseosa. La sustancia en estado sólido tendrá algo de calor de calor sensible, al igual que en los demás estados de la materia. La cantidad de calor necesaria para hacer cambiar una sustancia de estado sólido a vapor comprende el calor que se necesita para llevar a cabo los dos cambios de estado, y depende de:

1. Su temperatura inicial cuando era sólido.

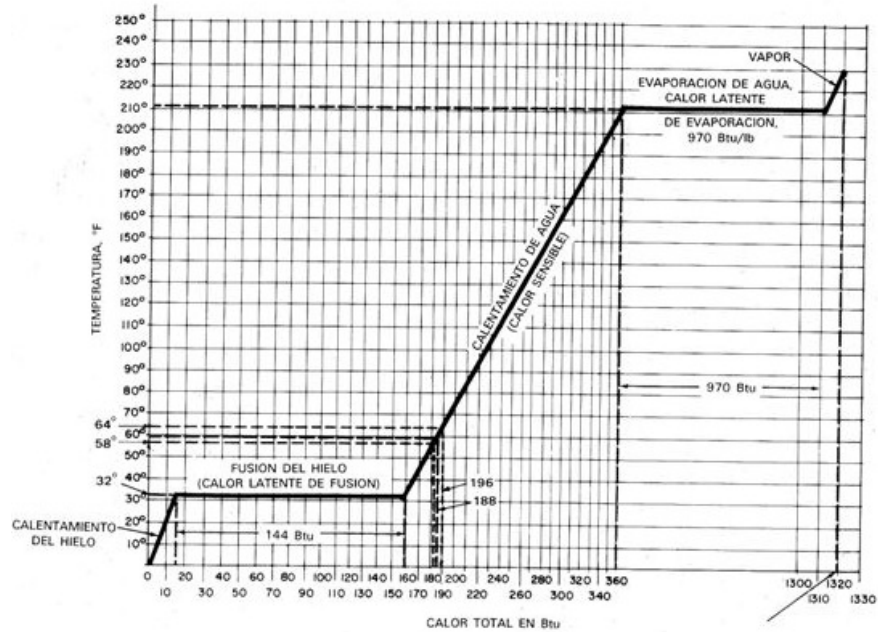
2. La temperatura a la cual cambia del estado sólido al líquido.
3. La temperatura a la cual pasa del estado líquido al vapor.
4. Su temperatura final como vapor

## **Calor latente**

En un cambio de estado la mayor parte de las sustancias tienen un punto de fusión al cual pasan de un estado sólido al líquido sin aumentar su temperatura. En este punto, si la sustancia está en líquido y se le quita calor, se solidificará sin cambiar su temperatura. El calor que interviene en ambos procesos: pasar de sólido a líquido o de líquido a sólido, sin cambiar la temperatura, se llama *calor latente de fusión*.

La figura 1-7 muestra la relación entre la temperatura en grado Fahrenheit y los calores tanto sensible como latente, ambos en BTU.

Como se hizo notar antes, el calor específico del agua es 1.0 y el del hielo 0.5 y esta es la razón de la diferencia dependientes de las rectas que representan al sólido (hielo) y al líquido (agua). Para aumentar la temperatura de 1 libra de hielo 0 °F a 32 °F solo se necesitan 16 BTU de calor; la otra recta muestra que solo se necesitan 8 BTU para cambiar 8 °F la temperatura de una libra de agua, de 60 °F a 68 °F, y el calor aumenta de 188 a 196 BTU/lb.



**Figura 1-** : Gráfica que muestra las relaciones de calor sensible y latente al fundirse el hielo, pasarlo a agua líquida, y ésta a vapor

También la figura 1-7 muestra que intervienen un total de 52 BTU de calor sensible en las 196 BTU necesarias para convertir una libra de hielo a 0 °F en una de agua a 68 °F. Esto implica una diferencia de 144 BTU, que es el calor latente de fusión del hielo, o de congelación del agua, dependiendo de si se está quitando o agregando calor.

La palabra latente se deriva del vocablo latino que significa escondido. Se trata de calor escondido que no lo registra un termómetro ni se puede sentir. No es necesario decir que no hay aumento o disminución de movimiento molecular en el interior de la sustancia porque se indicaría con una variación de temperatura que mostraría el termómetro.

$$BTU = (W_1 \times c_1 \times \Delta T_1) + (W \times \text{Calor latente}) + (W_2 \times c_2 \times \Delta T_2)$$

## Métodos de transmisión de calor

La segunda Ley de la Termodinámica dice que el calor pasa sólo en una dirección, que es de la mayor temperatura (intensidad) a la menor temperatura

(intensidad). Este paso se lleva a cabo mediante uno o más de los siguientes métodos básicos:

1. Conducción.
2. Convección.
3. Radiación.

### Conducción:

Se define la conducción como el paso de calor entre las moléculas vecinas de una sustancia, o entre sustancias que se tocan y tienen buen contacto entre sí. Cuando se lleva a cabo el paso de calor dentro de una sola sustancia, como por ejemplo en una varilla metálica con un extremo en una flama el movimiento térmico continúa hasta que hay un equilibrio de temperatura a lo largo de la varilla.

La rapidez a la cual se conduce el calor a través de una sustancia depende de factores tales como:

1. El espesor del materia
2. El área de sección transversal
3. La diferencia de temperaturas entre los dos lados del material
4. La conductividad térmica (factor  $k$ ) del materia
5. La duración del flujo de calor

En la Tabla 1-2 se presentan los valores de conductividades térmicas (factores  $k$ ) de algunos materiales comunes.

**Tabla 1- :** Conductividad térmica de materiales comunes de construcción y aislamientos (en BTU/hr-pie<sup>2</sup>-°F/pulg.)

Material	Conductividad <i>k</i>
Triplay	0.80
Fibra de vidrio, aglomerante orgánico	0.25
Aislamiento de poliestireno expandido	0.25
Aislamiento de poliuretano expandido	0.16
Mortero	5.00
Estuco	5.00
Ladrillo común	5.00
Maderas duras (arce, encino)	1.10
Maderas blandas (abeto, pino)	0.80
Yeso con agregado de arena	5.60

Los factores *k* están dados en BTU/hr-pie<sup>2</sup>-°F/pulg. de espesor del material. Esos factores se usan en forma adecuada con la siguiente ecuación:<sup>2</sup>

$$BTU = \frac{A \times k \times \Delta T}{X}$$

Siendo:

*A* = área de la sección transversal en pie<sup>2</sup>

*k* = conductividad térmica en BTU/hr-pie<sup>2</sup>-°F/pulg.

Los metales que tienen alta conductividad se usan en el sistema de refrigeración porque se desea que la transferencia de calor sea rápida tanto en el evaporador como en el condensador. El evaporador es donde se elimina el vapor del espacio o sustancia acondicionada, y el condensador disipa ese calor a otro medio o ambiente.

### Convección:

Otro método de transmisión de calor es por el movimiento del material mismo, y se limita a los líquidos o a los gases. Cuando se calienta un material, se establecen en su interior corrientes de convección y las partes más calientes suben, ya que el

<sup>2</sup> Para convertir el calor latente del sistema inglés al métrico y viceversa, se usan las fórmulas siguientes:

BTU/lb. = (Cal/Kg.) x 1.8;      Cal/Kg. = (BTU/lb.)/1.8

calor provoca la disminución de la densidad de los fluidos, o lo que es lo mismo, aumentan su volumen específico.

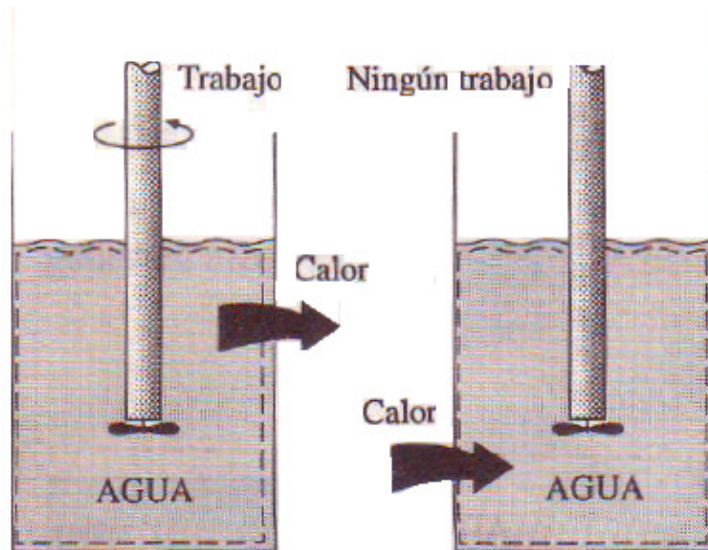
Los principales ejemplos del resultado de las corrientes de convección son el aire en el interior de un refrigerador, o el agua, cuando se calienta en una palangana. El aire en contacto con el serpentín de enfriamiento de un refrigerador se enfría y por lo tanto aumenta su densidad, y comienza a descender hacia el fondo del refrigerador. Al hacerlo, absorbe calor del alimento y las paredes del refrigerador, las cuales, mediante conducción, han recogido calor del recinto.

#### Radiación:

Un tercer método de transmisión de calor es mediante la radiación, por medio de ondas semejantes a las de la luz o del sonido. Los rayos de sol calientan la tierra por ser ondas caloríficas radiantes, que viajan en línea recta sin calentar el espacio o el aire intermedios. El calor de un foco eléctrico, o de una estufa caliente es de naturaleza radiante y lo sienten quienes están próximos, aunque no se caliente el aire entre la fuente y el objeto, a pesar de que los rayos pasen a través de él.

### **1.4.7. Máquinas térmicas**

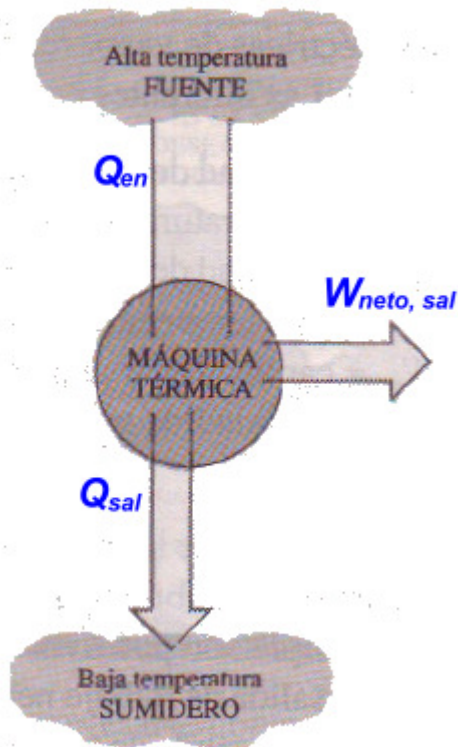
El trabajo puede convertirse fácilmente en otras formas de energía, pero convertir otras formas de energía en trabajo no es así de sencillo. Por ejemplo, el trabajo mecánico efectuado por un eje se convierte primero en la energía interna del agua (figura 1-8). Después esta energía sale del agua como calor. De acuerdo con la experiencia, es obvio que fracasará cualquier intento para invertir este proceso. Esto es, transferir calor al agua no provocará el giro del eje. De ésta y otras observaciones se concluye que el trabajo es convertible en calor directa y completamente, pero que convertir el calor a trabajo requiere el uso de algunos dispositivos especiales. Estos dispositivos se llaman *máquinas térmicas*.



**Figura 1-** : El trabajo siempre puede convertirse directa y completamente en calor; pero no ocurre lo inverso

Las máquinas térmicas difieren considerablemente unas de otras, aunque todas se caracterizan por lo siguiente (figura 1-9):

- Operan en un ciclo.
- Reciben calor de una fuente de alta temperatura (energía solar, hornos de petróleo, reactores nucleares, etc.)
- Convierten parte de este calor en trabajo (normalmente en la forma de un eje en rotación).
- Liberan el calor de desecho remanente en un sumidero de baja temperatura (la atmósfera, ríos, etc.).



**Figura 1-** : Parte del calor recibido por una máquina térmica se convierte en trabajo, en tanto que el resto se desecha en un sumidero

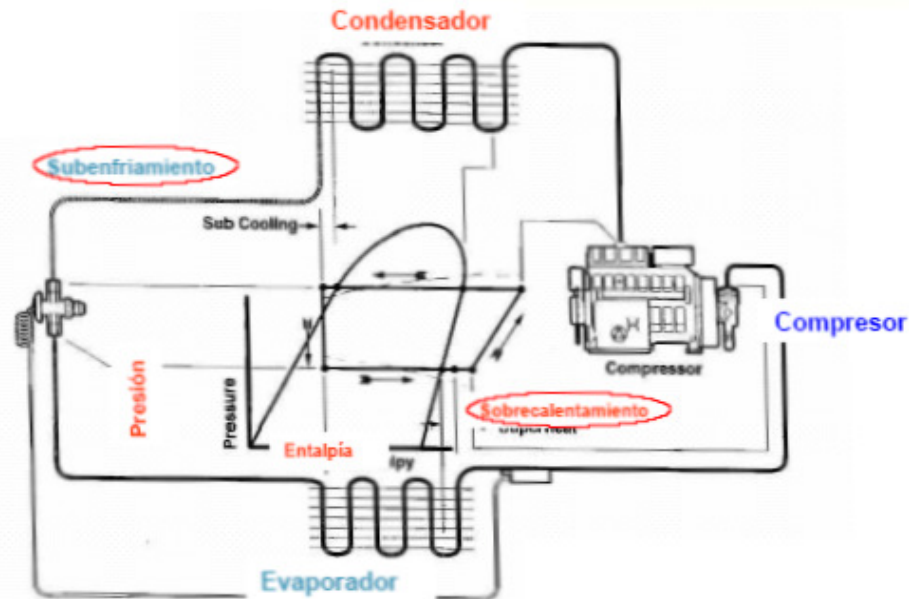
Las máquinas térmicas y otros dispositivos cíclicos suelen incluir un fluido al y desde el cual el calor se transfiere mientras se somete a un ciclo. Este fluido recibe el nombre de *fluido de trabajo*.

## Refrigeradores y bombas de calor

Es obvio, por la experiencia, que el calor fluye en la dirección de la temperatura decreciente; de medios de alta temperatura a medios de baja temperatura. Este proceso de transferencia sucede en la naturaleza sin requerir ningún dispositivo. Sin embargo, el proceso inverso, no puede ocurrir por sí solo. La transferencia de calor de un medio de baja temperatura a uno de alta temperatura requiere dispositivos especiales llamados **refrigeradores**.

Los refrigeradores, como las máquinas térmicas, son dispositivos cíclicos. El fluido de trabajo utilizado en el ciclo de refrigeración se llama **refrigerante**. El ciclo de refrigeración que se usa con mayor frecuencia es el *ciclo de refrigeración por*

*compresión de vapor*, que incluye cuatro componentes principales: un compresor, un condensador, una válvula de expansión y un evaporador (figura 1-10).



**Figura 1- :** Ciclo de refrigeración por compresión de vapor

El refrigerante entra al compresor como un vapor y se comprime a la presión del condensador. Sale del compresor a una temperatura relativamente alta y se enfría y condensa conforme fluye por el serpentín del condensador liberando calor hacia el medio circundante. Luego entra a un tubo capilar donde su presión y su temperatura descienden drásticamente, debido al efecto de estrangulación. El refrigerante de baja temperatura entra luego al evaporador, donde se evapora absorbiendo calor del espacio refrigerado. El ciclo se completa cuando el refrigerante sale del evaporador y vuelve a entrar al compresor.

## **1.5. Accesorios básicos de refrigeración**

### **1.5.1. Tubería de cobre**

#### **Proceso de fabricación**

La fabricación de tubos de cobre inicia con la fundición en forma de lingotes (tochos) con la siguiente composición: Cobre (99.9%) y Fósforo (0.015 a 0.04%). Existen 2 métodos de fabricación para las diversas tuberías de cobre:

### Extrusión:

Este proceso consiste en calentar el lingote a temperaturas plásticas y empujarlo a presión mediante un émbolo a través de un dado con la forma de una barra hueca o tubo controlando a través del proceso continuo el espesor y las dimensiones externas e internas, mediante la combinación de presión y velocidad de extrusión. La fabricación de tubería de cobre por extrusión y estiramiento en frío permite tubos de una sola pieza, sin costura y de paredes lisas y tersas, lo cual asegura la resistencia a la presión de manera uniforme y un mínimo de pérdidas de presión por fricción en la conducción de fluidos.

### Perforación:

La obtención del tubo en este método se logra mediante la perforación rotativa del centro o corazón del lingote o billet previamente calentado a altas temperaturas. Una vez extraído o perforado, el tubo pasa a cubos de decapado, punteado y después se lleva a las máquinas de estirado en frío o trefiladores. El estirado consiste en la reducción controlada (por agujeros cónicos sucesivos) del diámetro exterior y pared hasta la obtención de la medida requerida. Durante el proceso se alternan las reducciones o estiramientos con recocimiento para equilibrar las estructuras internas. Una vez obtenidos los productos terminados, se cortan a las longitudes especificadas y en el caso de tuberías flexibles se enrollan para pasar a un nuevo recocimiento (templado) en hornos de temperatura controlada y de ahí al almacén.

A partir de 1960, se utiliza un tercer método para la fabricación de tubos, la soldadura continua eléctrica de tiras o flejes de lámina de cobre, soldadura eléctrica sin aporte de metal, con remoción de salientes por ambos lados de manera de obtener una superficie lisa antes del enfriado del tubo resultante. El tubo de cobre se fabrica también con recubrimiento de plástico, proporcionando mayor resistencia a la corrosión, cuando el tubo va enterrado en medios agresivos. El aire contenido entre el tubo de cobre y el revestimiento proporciona un aislamiento térmico y se usan cuando se desea que las pérdidas de calor a través del tubo sean mínimas.

## Diseño de sistemas de tuberías

En el diseño de un sistema de tuberías, se deben considerar los siguientes factores:

- Presión inicial del fluido que se conducirá por la red.
- Volumen de fluido
- La longitud de la línea
- Pérdidas de presión por rozamiento con la pared interior

Cuando el líquido que se conduce es agua, los aditivos y las sales contenidas en la misma pueden causar adherencias e incrustaciones en las paredes interiores del tubo, ocasionando con esto la pérdida de capacidad de flujo por fricción. Las pérdidas por fricción dependen de la rugosidad, de acuerdo al material con que están fabricadas las distintas tuberías se han clasificado en rugosas, semirugosas y lisas. De acuerdo a la instalación de la tubería, se deben considerar los aspectos de corrosión y protección de las mismas. Las tuberías pueden ser instaladas en tres maneras:

- Instalación subterránea (bajo tierra)
- Empotradas en muros o pisos
- Instalación interior o exterior visible

La tendencia de un metal a la corrosión se debe a la presencia de oxígeno el cual ataca a los metales por oxidación y por ácidos con desprendimiento de hidrógeno que afectan al metal. El cobre, dentro de los metales comúnmente usados en la fabricación de tuberías, es el que presenta menor tendencia a la corrosión y permanece sin ser afectado por las condiciones que hacen que otros metales se corroan. Cuando las tuberías de cobre conducen fluidos a temperaturas diferentes a las del medio ambiente sufren el fenómeno de expansión o contracción, por lo cual en la colocación y fijación de tuberías de cobre se deben tomar las medidas necesarias para la libre contracción y dilatación de los tubos, realizar uniones que sean perfectamente herméticas, sin remiendos de ninguna clase, así como, apoyar

las tuberías de modo que el peso de los tubos cargue sobre los soportes y no sobre las uniones.

## **Especificaciones de la tubería**

### *Tuberías de temple rígido:*

Las tuberías de cobre rígido tienen las características de ser ideales en la conducción de fluidos en las instalaciones fijas, utilizándose en una amplia gama de servicios que van desde las redes de agua potable o ventilación, hasta redes de tipo industrial que conduzcan líquidos o gases a temperaturas y presiones considerablemente elevadas. Los tipos de tuberías rígidas son:

### *Tubería de cobre rígido tipo "L":*

Es utilizada en tomas domiciliarias, instalaciones de gas, redes de agua fría y caliente, en líneas principales de edificios de gran altura o que requieran bastante presión. El rango de presión de trabajo va desde 21.0 kg/cm<sup>2</sup> y hasta 62.43 kg/cm<sup>2</sup>. Se fabrica en diámetros comerciales que van de 3/8" hasta 6" y en tramos de 6.10m y 3.05 m.

### *Tuberías de temple flexible:*

Las características de las tuberías de cobre flexible difieren de las tuberías rígidas precisamente en el temple dado en su proceso de fabricación, por lo tanto, las condiciones de uso serán diferentes aún cuando ambas sean parte de una misma instalación.

Los usos para este tipo de tuberías son dados por la capacidad de movimiento de éstas, siendo muy utilizadas principalmente en instalaciones de gas, tomas domiciliarias, aparatos de refrigeración y aire acondicionado, sin embargo pueden emplearse en cualquier instalación que requiera de movilidad o en donde se requieren curvados especiales.

## **Ventajas de la tubería**

### *Tuberías de cobre de temple rígido*

Esta tubería presenta una excelente resistencia a la corrosión tanto interna, generada por el fluido que transporta; como externa, provocada por el material utilizado en la construcción.

Facilidad de unión dada por el sistema de soldadura capilar que permite efectuar con rapidez y seguridad las uniones de la tubería.

La tubería de cobre se fabrica sin costura, por lo cual resiste sin dificultad las presiones internas de trabajo, permitiendo el uso de tubos de pared delgada e instalándose en espacios reducidos.

La tubería de cobre tiene paredes lisas, lo que permite ofrecer continuidad en el flujo, disminuyendo la pérdida de carga.

El proceso de cortado y unión de los tubos es sencillo, aunado a la ligereza del material, permiten la prefabricación de gran parte de las instalaciones, repercutiendo en rapidez y calidad de la instalación, además de mayor control de los materiales, pudiendo reducir los costos.

### *Tuberías de cobre de temple flexible*

Su principal ventaja está dada por su flexibilidad, pues facilita notablemente la instalación y manejo, adaptándose a cualquier trayectoria sin detrimento de ninguna de sus características técnicas.

La longitud de los rollos elimina, en la mayoría de las instalaciones, las uniones de acoplamiento, creando así una instalación continua y de una sola pieza.

El sistema de unión da flexibilidad a la tubería, sin restar hermeticidad y resistencia a la presión.

Las propiedades físicas del cobre con que se fabrican las tuberías proporcionan ventajas tales como: paredes interiores completamente lisas, mínimo de pérdidas de presión, flujo uniforme.

## **Características generales**

Las siguientes son características comunes aplicables a tuberías de Cobre Rígido tipo "M", "L", "K" y tuberías de Cobre Flexible tipo "L" y "UG".

### Maleabilidad.

Permite gran variedad de hechuras y formas que dan como resultado menores pérdidas de eficiencia y energía.

### Capacidad de flujo.

La sección del tubo es perfectamente circular y su pared interior completamente lisa, lo que permite un mejor flujo de agua y menos pérdidas de carga.

### Resistencia.

A pesar de la delgadez de la pared, resiste grandes presiones de agua.

### Facilidad de Instalación.

El tubo de cobre es unido por soldadura capilar mediante uniones del mismo material, proceso que requiere menor tiempo de montaje y ahorro en mano de obra. La unión es hermética y tan o más fuerte que el propio tubo, en efecto las uniones soldadas presentan una gran resistencia a los esfuerzos térmicos y vibración.

### Ligereza.

El peso reducido comparado con otros materiales que facilita el transporte a menor costo y el manejo en obra, con el ahorro subsecuente en mano de obra. Este

ahorro se refuerza en el caso de viviendas de tipo popular en las que es factible la pre-fabricación en el taller.

#### Resistencia.

El cobre resiste la corrosión producida por el agua circulante tanto en instalaciones interiores como en medios externos (intemperie). Por otra parte, el cobre no es atacado por el cemento, concreto, cal o yeso, las tuberías de cobre son completamente impermeables.

#### Higiénico.

El cobre es un material con propiedades fungicidas y bactericidas, lo que lo hace un medio de conducción y almacenaje de agua en que no proliferan los gérmenes patógenos.

#### Térmico.

El cobre es muy buen conductor de calor lo que lo convierte en el material ideal para la conducción de agua fría o caliente.

#### Reciclable.

Los tubos de cobre y aleaciones tienen alto valor residual. El material rescatado se convierte en chatarra que puede ser reciclada y tiene casi el mismo valor y calidad que el cobre primario.

### **1.5.2. Herramientas para refrigeración**

Es natural que la caja de herramientas dependa de las necesidades, las cuales varían algo, según si interviene en instalaciones o reparaciones, o en ambas cosas; también del tipo de trabajo: refrigeración, aire acondicionado, calefacción, o los tres. Independientemente de las necesidades del trabajo, lo importante es la cuidadosa selección, conservación y conocimiento del empleo de las herramientas.

La mano de obra deficiente o hasta los accidentes se pueden achacar, con frecuencia, a una falta de herramientas de mano, o su empleo inadecuado.

A continuación se presenta una lista parcial de las herramientas de mano que necesita un técnico en refrigeración. Algunas de ellas no necesitan explicación; otras, ameritan la mención de sus propósitos o sus usos.

- Llaves, de diversos tipos
- Pinzas, de varios tipos
- Nivel de burbuja
- Cizalla de hojalatero
- Destornilladores, de diversos tipos
- Mazos con cabezas no metálicas: de plástico, madera y hule
- Arco con seguetas de 14, 18 y 32 dientes por pulgada
- Escobillones, de diversos tipos
- Limas, de diversos tipos
- Cintas métricas y reglas de mano
- Micrómetros y calibradores
- Puntos, para marcar lugares de barrenación
- Cincel, cortafrío plano de  $\frac{3}{4}$ "
- Brocas, de diversos tipos
- Tornillos de banco, de mecánico y prensa de tubo
- Cable eléctrico de extensión de 15 metros
- Cronómetro



deduce que para la refrigeración o técnica de frío de absorber calor a temperaturas inferiores a la ambiental, será necesario emplear cierta cantidad de energía adicional.

### 2.2.1. Ciclo de Carnot invertido

El ciclo de Carnot Inverso es considerado como el estándar de comparación dentro de los ciclos de refrigeración existentes, en este caso, el ciclo Carnot debe ser recorrido en sentido opuesto a como se sigue en la máquina térmica. La figura 2-1 indica el esquema de una instalación frigorífica, trabajando según el ciclo de Carnot, el cual está compuesto por cuatro procesos reversibles.

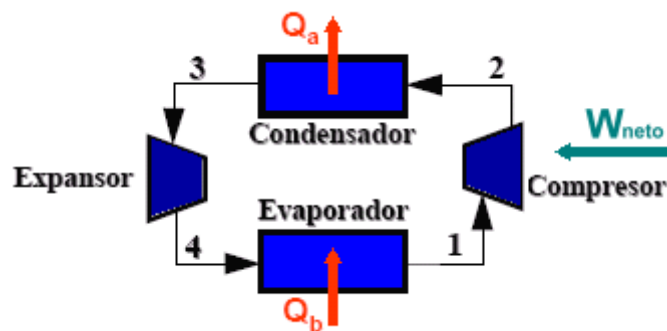
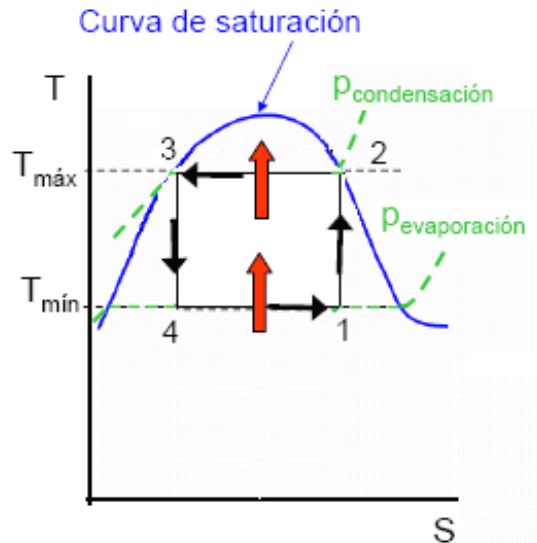


Figura 2- Ciclo de Carnot invertido

- 1→2 Compresión isoentrópica o adiabática: donde el vapor húmedo que sale del evaporador a la temperatura  $T_0$  y a la presión correspondiente a la de saturación a esta temperatura, es comprimido hasta la presión  $P$  del condensador, pasando de una temperatura  $T_1$  a una  $T_2$  (donde  $T_2 > T_1$ ) al realizar un trabajo sobre el gas.
- 2→3 Condensación isobárica e isotérmica: donde el vapor saturado (estado 2) condensa, cediendo calor  $Q_A$  a la zona de alta temperatura o receptor.
- 3→4 Expansión isoentrópica o adiabática: donde el líquido se expande hasta alcanzar la presión del evaporador  $P_0$ , pasando de una temperatura  $T_3$  a una  $T_4$  (donde  $T_3 > T_4$ )
- 4→1 Evaporación isobárica e isotérmica: donde el vapor húmedo formado absorbe calor  $Q_B$  de la zona de baja temperatura y se vaporiza al estado 1.

Nótese que para lograr el funcionamiento del ciclo de Carnot reversible, se requiere una entrada de trabajo  $W_{\text{neto, en}}$ . En la figura 2-2 se muestra el cambio de estado del refrigerante, que tiene lugar en la zona de vapor húmedo.



**Figura 2-** Diagrama T-s del Ciclo de Carnot invertido

Aplicando la primera ley de la Termodinámica para un proceso cíclico cerrado, el principio de la conservación de la energía requiere que:

$$W_{\text{neto, en}} = Q_A - Q_B$$

Entonces:

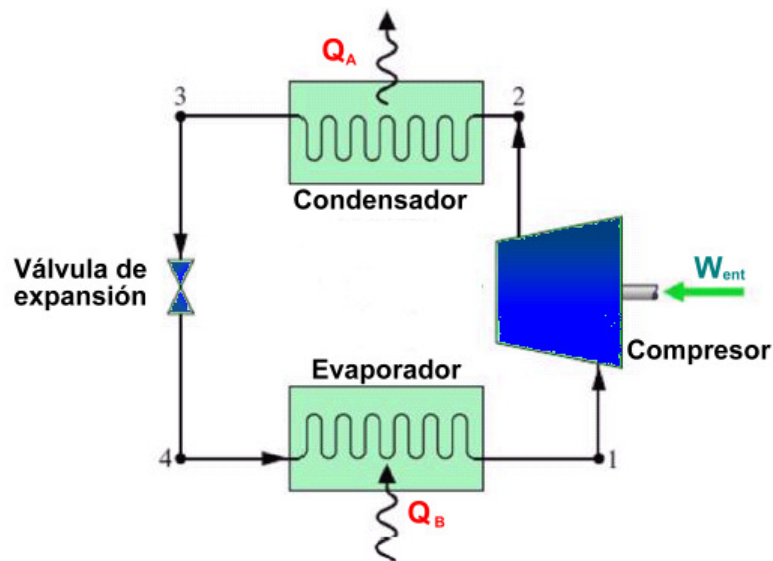
$$Q_A = Q_B + W_{\text{neto, en}}$$

$W_{\text{neto, en}}$  se obtiene de la diferencia entre el trabajo de compresión  $W_{12}$  y el trabajo de expansión  $W_{34}$ . De la figura también puede observarse que el coeficiente de eficiencia del ciclo es:

$$\text{Eficiencia} = \frac{T_B}{T_A - T_B}$$

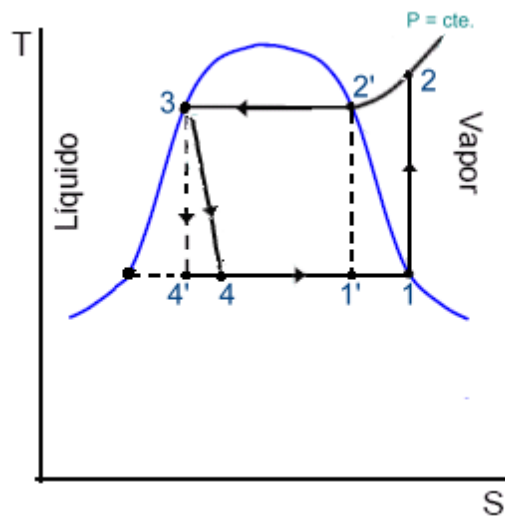
## 2.2.2. Ciclo de refrigeración por compresión de vapor

El ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor (figura 2-3) se representa mediante la trayectoria 1-2-3-4-1. Entra vapor saturado a baja presión al compresor y sufre una compresión reversible y adiabática, 1-2. El calor es cedido a presión constante en el proceso 2-3, y la sustancia de trabajo sale del condensador como líquido saturado; sigue un proceso adiabático de estrangulamiento durante 3-4, luego, la sustancia de trabajo se evapora a presión constante durante 4-1, lo cual completa el ciclo.



**Figura 2-** Ciclo de refrigeración por Compresión de Vapor

La similitud entre este ciclo y el ciclo de Rankine es evidente, ya que se trata del mismo ciclo, pero invertido. Este proceso de estrangulamiento es irreversible, mientras que el proceso de bombeo del ciclo Rankine es reversible. La divergencia de este ciclo ideal, con el ciclo de Carnot  $1'-2'-3-4'-1'$  es notoria en el diagrama T-s presentado en la figura 2-4.



**Figura 2-** Diagrama T-s del ciclo

La razón de la divergencia se debe a que es mucho más conveniente tener un compresor que opere solo vapor y no una mezcla de líquido y de vapor, como sería necesario durante el proceso 1'-2' del ciclo del Carnot.

Es virtualmente imposible comprimir (en una relación razonable) una mezcla tal, como la representada por el estado 1', y mantener el equilibrio entre el líquido y el vapor, ya que ahí debe haber un calor y una masa transferida a través de los límites de fase; es mucho más sencillo que el proceso de expansión tenga lugar irreversiblemente en una válvula de expansión, a que lo haga en un dispositivo de expansión que reciba líquido saturado, y descargue una mezcla de líquido y de vapor, como se necesitaría en el proceso 3-4'.

### **2.2.3. Ciclo de refrigeración por absorción de amoníaco**

El ciclo de refrigeración por absorción de amoníaco difiere del ciclo por compresión de vapor en la manera como se lleva a cabo la compresión. En el ciclo de absorción, los vapores del refrigerante (vapor saturado de baja presión) que salen del evaporador son absorbidos en otro fluido (líquido subenfriado) formando una disolución débil de amoníaco; este proceso tiene lugar a una temperatura ligeramente superior que la del medio circundante, y debe transmitirse el calor al medio exterior durante este proceso. La solución líquida fuerte de amoníaco se

bomba elevando su presión por medio de una bomba de líquido haciéndola circular a través de un intercambiador hacia el generador, donde se mantiene una temperatura y una presión alta; bajo estas condiciones, los vapores de amoníaco son expulsados de la solución como resultado de la transmisión de calor de una fuente de temperatura alta, liberándose el refrigerante como vapor sobrecalentado que continua hacia el condensador. Los vapores van a un condensador donde se condensan, como en un sistema de compresión de vapor, y luego a la válvula de expansión y al evaporador. La solución débil de amoníaco proveniente del generador retorna al absorbedor a través del intercambiador de calor. La figura 2-5 muestra una distribución esquemática de los elementos esenciales del sistema.

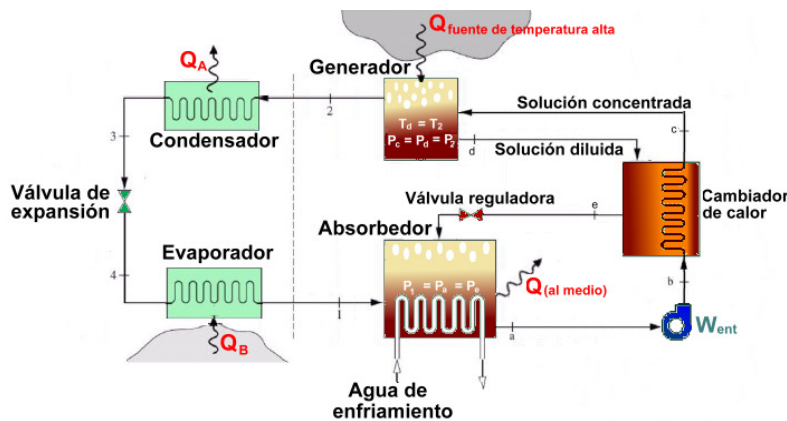


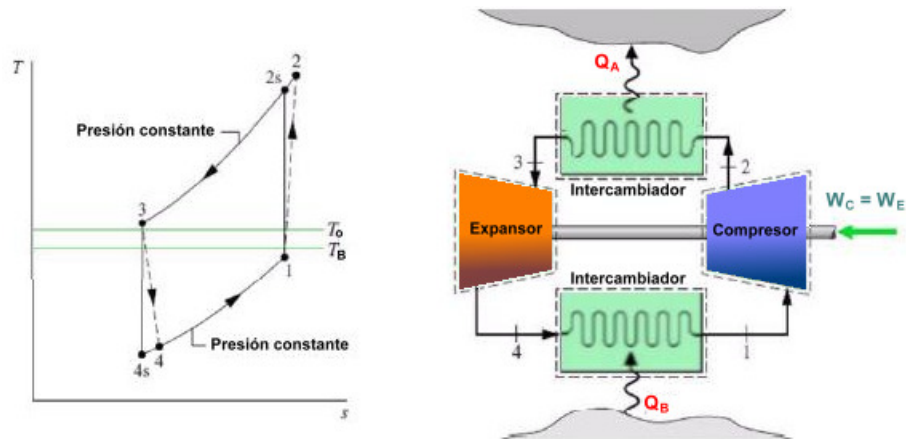
Figura 2- Ciclo de refrigeración por absorción de amoníaco

## 2.2.4. Ciclo de refrigeración de aire normal

Su principal uso en la práctica es en la licuefacción del aire y de otros gases y en ciertos casos especiales donde se requiere refrigeración.

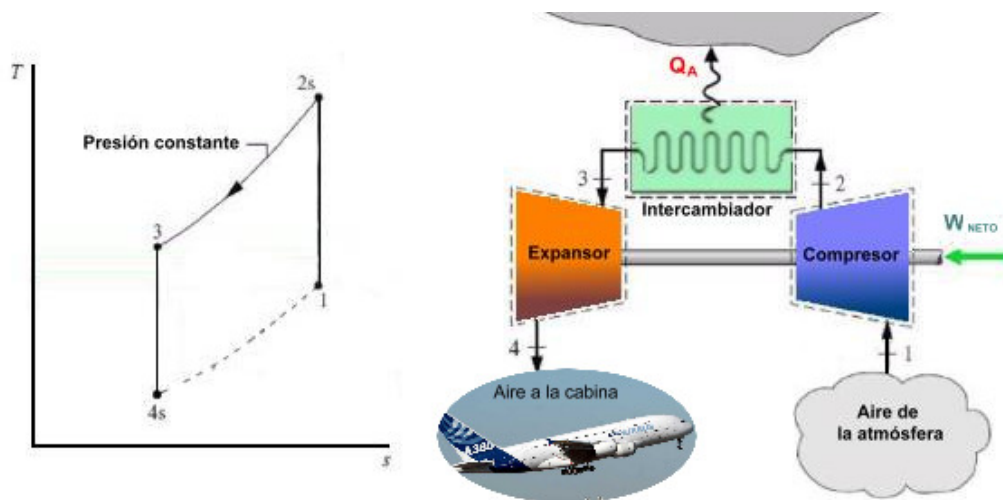
La forma simple del ciclo de refrigeración de aire normal, que en esencia es el ciclo de Bryton invertido (figura 2-6). El compresor y el expansor puede ser de émbolos o rotatorios. Después de la compresión de 1 a 2, el aire se enfría como resultado de la transmisión de calor del medio circundante a la temperatura  $T_0$ ; después se expande el aire en el proceso 3-4 hasta la presión de entrada al compresor, y la temperatura desciende a  $T_4$  en el expansor; entonces puede transmitirse calor al aire hasta que se alcanza la temperatura  $T_L$ . El trabajo de este

ciclo está representado por el área 1-2-3-4-1, y el efecto de refrigeración por el área 4-1-b-a-4. El coeficiente de realización es la relación entre estas dos áreas.



**Figura 2-** Ciclo de Bryton invertido

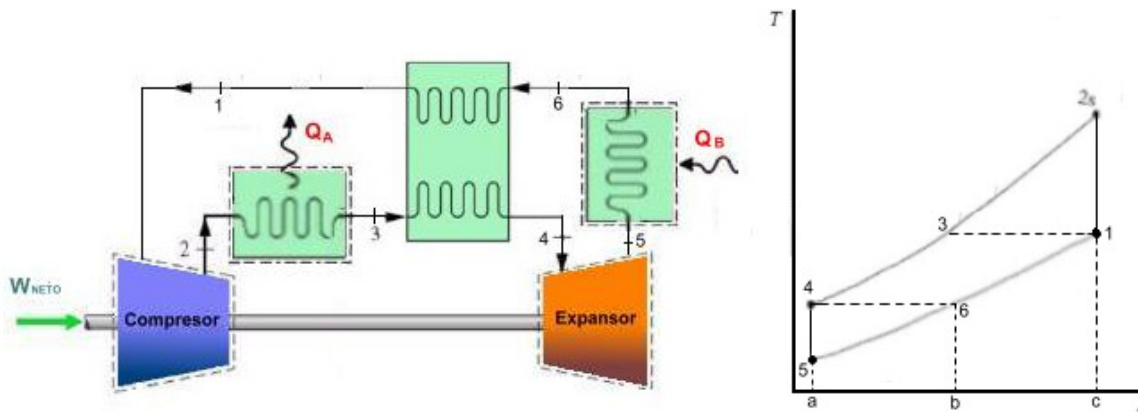
En la práctica se ha usado para el enfriamiento de aviones en un ciclo abierto, cuya forma simplificada se en la figura 2-7. A medida que sale el aire frío del expansor, se circula directamente dentro de la cabina proporcionando así el enfriamiento donde se necesita.



**Figura 2-** Ciclo de refrigeración de aire que puede utilizarse para el enfriamiento de aviones

Cuando se incorpora un cambiador de calor de flujos opuestos, pueden observarse temperaturas muy bajas. Este es, esencialmente, el ciclo utilizado en plantas de licuefacción de baja presión y en otros aparatos de licuefacción como el hielo. El ciclo ideal en este caso es el que se muestra en la figura 2-8. Es evidente

que el expansor opera a muy baja temperatura y que los únicos problemas que presenta al proyectista, es el de la lubricación y el de los materiales.



**Figura 2-** Ciclo de refrigeración de aire que utiliza un cambiador de calor

### 2.3. Rendimiento de los sistemas de refrigeración

Los sistemas de compresión mecánica que utilizan vapores refrigerantes predominan dentro de los diferentes métodos de refrigeración. Un sistema mecánico de refrigeración es un ciclo termodinámico cerrado.

Para expresar el rendimiento de los sistemas de refrigeración se utilizan varios términos arbitrarios. La unidad común de capacidad, excepto en sistemas pequeños, es la *Tonelada de Refrigeración*, que se define como la extracción de calor a razón de 200 BTU por minuto. La palabra “tonelada” es un anacronismo, que viene de los días en que el principal medio de refrigeración era el hielo; es la cantidad de calor absorbido cuando se funde una tonelada (2000 lb<sub>m</sub>) de hielo durante un periodo de 24 horas; la tonelada de refrigeración se calcula multiplicando el peso del hielo que se funde en un día (2000 lb/día) por el calor latente de fusión del hielo (144 BTU/lb), entonces:

$$(2000 \text{ lb}/24 \text{ horas})(144 \text{ BTU/lb}) = 288,000 \text{ BTU}/24 \text{ horas} = 288,000 \text{ BTU}/\text{día}$$

Al aplicar el factor de conversión correspondiente dividiendo 288,000 BTU/día entre 24 horas, se obtiene el valor de 12,000 BTU/hora, que nos da la equivalencia ya conocida de:

$$1 \text{ ton de refrigeración} = 12,000 \text{ BTU/hr}$$

### 2.3.1. **Coefficiente de funcionamiento (C.O.P.)**

El Coefficient Of Performance (C.O.P.) ó Coeficiente de Funcionamiento, expresa la efectividad de un sistema de refrigeración. Es una relación adimensional definida por la expresión:

$$C.O.P. = \frac{\text{Efecto refrigerante útil}}{\text{Energía neta suministrada por fuentes externas}}$$

En un sistema de compresión mecánica la fuente externa suministra trabajo; o sea:

$$C.O.P. = \frac{Q}{W}$$

Es práctica común expresar el rendimiento de un sistema de compresión mecánica en función de la potencia requerida para producir una tonelada de refrigeración, es decir:

$$W = \frac{Q}{C.O.P.}$$

Y si Q es igual a una tonelada de refrigeración, entonces:

$$HP / Ton = \frac{12,000}{(2,545)(C.O.P.)} = \frac{4.72}{C.O.P.}$$

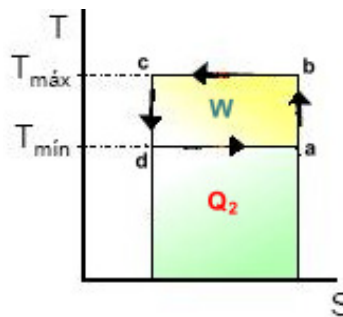
### 2.3.2. **Rendimiento de refrigeración ( $\eta_R$ )**

El rendimiento de refrigeración  $\eta_R$  expresa la aproximación del ciclo o sistema a un ciclo ideal reversible de refrigeración. Por definición:

$$\eta_R = \frac{(C.O.P.)}{(C.O.P.)_{rev}}$$

El ciclo de Carnot sirve como ciclo ideal reversible. Hay dos conceptos sobre ciclos reversibles:

- 1) Un ciclo de refrigeración no puede tener mayor coeficiente de funcionamiento que un ciclo reversible cuando opera entre las mismas temperaturas.
- 2) Todos los ciclos de refrigeración reversibles que operan entre las mismas temperaturas, tienen el mismo coeficiente de funcionamiento.



**Figura 2-** Procesos del Ciclo de Refrigeración de Carnot

Las energías transferidas se expresan:

$$Q_1 = T_{\max} (S_b - S_c)$$

$$Q_2 = T_{\min} (S_b - S_c)$$

$$W = Q_1 - Q_2$$

Es decir que por la ecuación del C.O.P.:

$$C.O.P. = \frac{T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}}$$

Para el caso de la siguiente figura, al aplicar la ecuación de energía sobre la base de una libra, se obtiene:

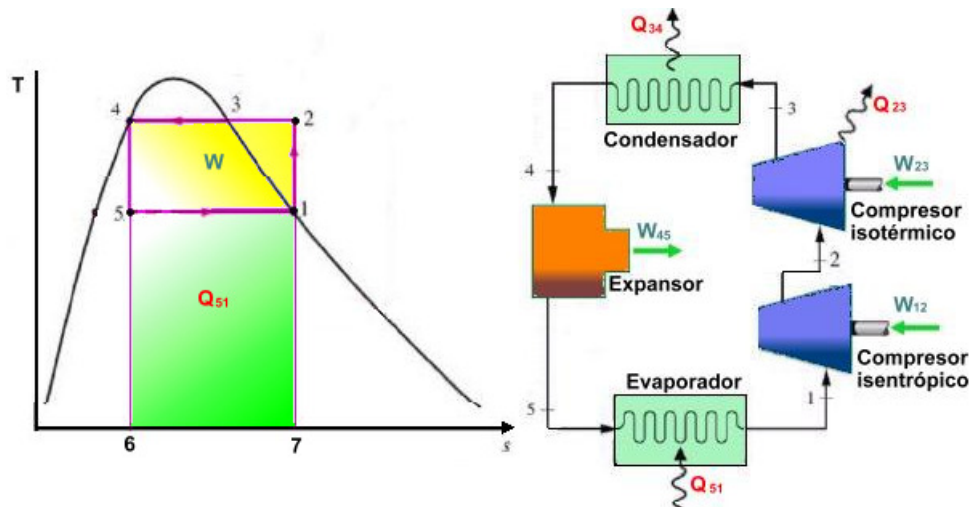


Figura 2- Ciclo de compresión de vapor de Carnot

$$W_{45} = h_4 - h_5$$

$$W_{12} = h_2 - h_1$$

$$W_{23} = T_2(S_2 - S_3) - (h_2 - h_3)$$

$$Q_{51} = h_1 - h_5$$

$$Q_{51} = \text{área } 5-6-7-1-5$$

El trabajo neto para el ciclo es:

$$W = W_{12} + W_{23} - W_{45}$$

$$W = \text{área } 5-1-2-3-4-5$$

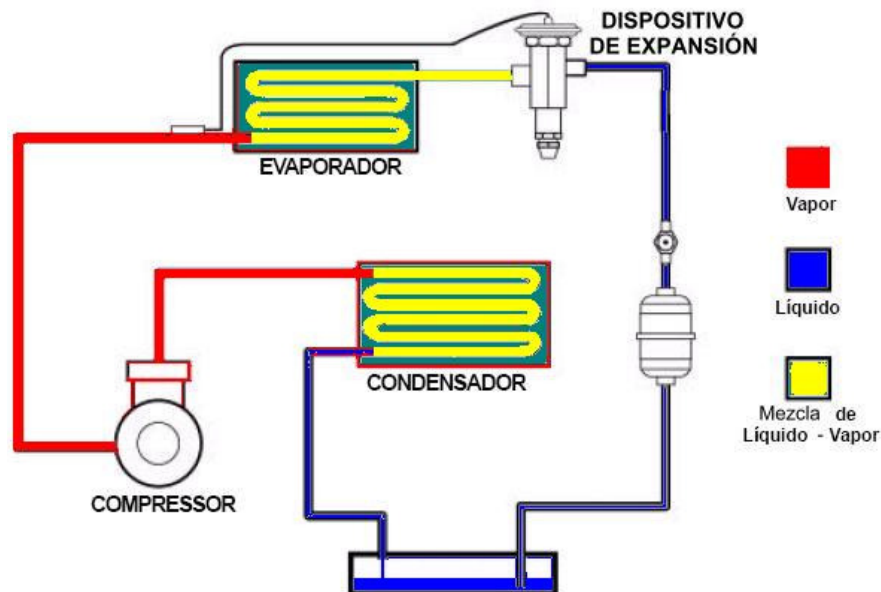
Y:

$$C.O.P. = \frac{Q_{51}}{W} = \frac{T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}}$$

## 2.4. Ciclo de refrigeración, componentes y funcionamiento

Para estudiar un sistema de refrigeración o de producción de frío, es preciso fijarse en el comportamiento del refrigerante y mediante qué elementos se produce la variación de las características físicas para llevar a cabo tal proceso.

Inicialmente y de forma muy esquemática los elementos principales que intervienen en un ciclo de refrigeración por compresión de vapor pueden resumirse en: compresor, condensador, colector, válvula de expansión y evaporador, como se muestra en el siguiente esquema.



**Figura 2-** Componentes del ciclo de refrigeración por compresión de vapor

La función básica de un sistema de refrigeración es extraer calor del elemento a refrigerar. En el proceso tienen lugar dos fenómenos con balance de calor:

- La evaporación de un refrigerante en estado líquido produce la absorción de calor o, lo que es lo mismo, baja la temperatura en el recinto o cámara donde se encuentra, produciendo sensación de frío.
- La condensación del Vapor de un refrigerante se produce mediante una cesión de calor al ambiente, lo cual se traduce en una elevación de temperatura del mismo.

Situémonos en el punto antes de la válvula de expansión, previa al evaporador, en que el refrigerante se encuentra en estado líquido a una cierta presión; su paso al evaporador se controla mediante una válvula automática denominada EXPANSIÓN TERMOSTÁTICA cuyo funcionamiento está regulado por la temperatura y por la presión.

Dicha válvula produce una estrangulación brusca que hace que la presión descienda desde la que tenía en el punto a la salida del condensador hasta la existente a la entrada del evaporador. La válvula es el regulador automático de los límites entre los que se denomina parte de alta presión y parte de baja presión, presiones entre las cuales la válvula se ve forzada a trabajar.

Esta bajada de presión en el evaporador hace que el refrigerante hierva y se produzca su evaporación, auxiliado por la cantidad de calor que absorbe del recinto en que se encuentra, a través del aire del mismo y transfiriéndolo al líquido, que se va transformando en vapor en el interior de los tubos del serpentín hasta que se evapora completamente.

El refrigerante, en forma de gas, entra en el compresor por la tubería denominada de aspiración o succión, a través de la válvula de aspiración (semejante a los cilindros de un automóvil). Aquí el refrigerante es comprimido aumentando por ello su presión y su temperatura hasta llegar al punto en cuyas condiciones fluye hasta la entrada del condensador. La válvula de salida del cilindro del compresor actuará de retención, impidiendo que el gas regrese hacia el mismo.

En el condensador, mediante la acción de un fluido exterior (aire, agua o ambas a la vez), se extrae el calor al gas refrigerante, lo cual produce un enfriamiento del mismo favoreciendo su condensación hasta alcanzar el estado líquido; a partir de aquí es impulsado de nuevo por la tubería hacia la válvula de expansión, donde se repite el ciclo explicado.

Este proceso es continuo y depende de las condiciones que los elementos que configuran la instalación impongan al refrigerante.

Como puede observarse, en el proceso existen varias temperaturas diferentes, lo cual hace que el estado del refrigerante sea distinto en varios puntos; no obstante, en principio sólo hay dos presiones perfectamente diferenciadas, que son las que corresponden a la evaporación y a la condensación. Es por ello que puede hablarse del *Lado de Alta Presión* y del *Lado de Baja Presión* de una planta o instalación frigorífica.

### **2.4.1. Compresores**

Un compresor de refrigeración es el corazón del sistema, su función es la de elevar la presión del refrigerante y proporcionar la fuerza primaria para que circule el refrigerante, produce el efecto de la refrigeración en el evaporador, lo transforma a la forma líquida en el condensador, y en las válvulas de admisión a una presión más baja por el dispositivo estrangulador.

Existen varios tipos básicos de compresores y marcas los cuales pueden clasificarse según:

Su aplicación:

- Refrigeración doméstica.
- Refrigeración comercial.
- Refrigeración Semi-industrial
- Refrigeración industrial.

Su desplazamiento:

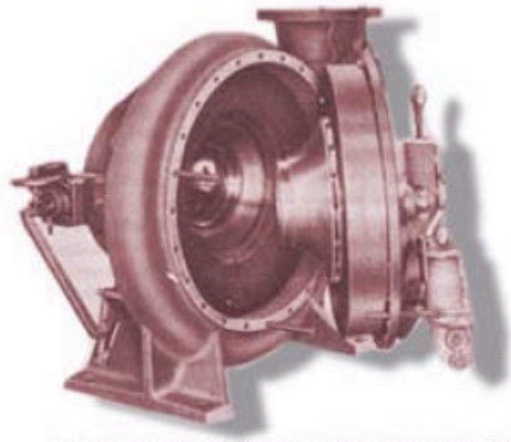
- De desplazamiento positivo.
- De desplazamiento no positivo

Su sistema:

- Compresor Alternativo Hermético.
- Compresor Alternativo Semi- Hermético.
- Compresor Alternativo Semi- Abierto.
- Compresor Alternativo Abierto o Alternativo.
- Compresor Tornillo.

La base de funcionamiento es la misma en donde se busca la transformación de energía eléctrica en energía mecánica.

Un compresor de desplazamiento positivo aumenta la presión del vapor del refrigerante reduciendo el volumen interno en la cámara de la compresión por la fuerza mecánica aplicada. El único tipo de compresor de refrigeración no positivo (figura 2-12) es el que se utilizó extensamente en sistemas de refrigeración con compresores centrífugos. En un compresor centrífugo, el aumento de la presión del vapor del refrigerante depende principalmente en la conversión de la presión dinámica a la presión constante.



**Figura 2-** Compresor centrífugo de un paso, de desplazamiento no positivo

Resulta muy extenso desarrollar un apartado sobre compresores para refrigeración, ya que para cada variante deben considerarse sus principales características físicas, constructivas y funcionales; por lo tanto, considerando la finalidad didáctica del presente documento, en el mismo solo se presenta la información relacionada a los compresores aplicados en los sistemas de refrigeración domésticos hasta los semi-industriales.

## **Distintos tipos de compresores**

### *Compresor hermético*

En este compresor el motor y el compresor están sellados o soldados en la misma carcasa, como el mostrado en la figura:



**Figura 2-** Compresor hermético

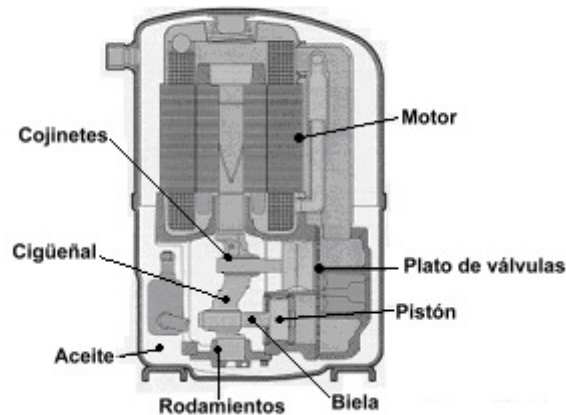
Los compresores herméticos tienen dos ventajas:

- ✗ Aminoran la fuga de refrigerante.
- ✗ El motor puede ser refrigerado por el vapor de la succión que fluye por el aire generado por el motor.

Este debe ser compatible con el refrigerante y la lubricación a base de petróleo para resistir el efecto abrasivo del vapor de la succión y tener una alta resistencia dieléctrica. Los compresores soldados se utilizan generalmente para instalaciones pequeñas de 1 hp a 24 hp (0.7 kW a 18 kW).

Los compresores herméticos son conducidos directamente por el motor ó bien movido por un conjunto de engranajes. La siguiente figura muestra la construcción interna de un compresor hermético de la marca Copeland:

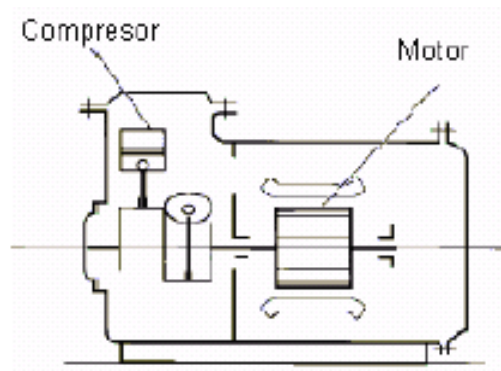
### Compresor Hermético Copeland para Refrigeración



**Figura 2-** Construcción interna de un compresor hermético

### Compresor semi-hermético

La ventaja principal que tienen sobre los anteriores, es el acceso para la reparación durante una rotura del compresor, o para la conservación regular. Las otras características son semejantes a las de los compresores herméticos. La mayor parte de los compresores de potencia media son semi herméticos.

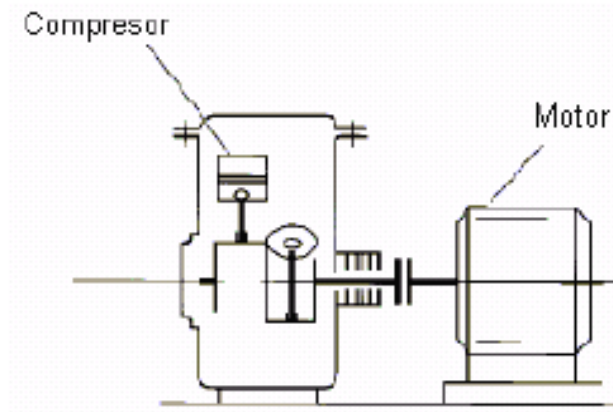


**Figura 2-** Representación esquemática de un Compresor Semi-hermético

### Compresor abierto

En este caso el compresor y el motor están completamente separados, como se muestra en la figura 2-16. Un compresor abierto necesita sellos para evitar la pérdida del refrigerante. En la mayoría de los casos tienen un ventilador que se

utiliza para refrigerarlo utilizando el aire de ambiente. Muchos compresores de los grandes sistemas de refrigeración son compresores abiertos.



**Figura 2-** Representación esquemática de un Compresor abierto

Los compresores semi herméticos y los abiertos pueden ser movidos directamente, por engranajes ó por bandas tipo “V”. El propósito de un tren de engranajes es aumentar la velocidad del compresor. El engranaje es compacto y gira sin patinar como las bandas.

Tanto los engranajes como las bandas en “V”, requieren cerca de un tres por ciento más de potencia del motor que la que necesita el compresor.

Algunos grandes compresores abiertos pueden ser también movidos por turbinas de vapor, por turbina de gas, o por motor diesel en vez de un motor eléctrico.

## Desempeño de los compresores

La eficiencia volumétrica ( $\eta_v$ ) de un compresor de refrigeración se define como

$$\eta_v = \frac{V_{a,v}}{V_{dis}}$$

donde

✎  $V_{a,v}$  = volumen inducido real de vapor de succión en la presión en ft<sup>3</sup> ó (m<sup>3</sup>)

✎  $V_{dis}$  = desplazamiento teórico de compresor, en ft<sup>3</sup> ó (m<sup>3</sup>).

El Volumen del compresor se ve influenciado por:

- ✂ *El volumen del Espacio Libre y proporción de compresión:* Factores que afectan el volumen de gas de re-expansión atrapado en el volumen del espacio libre.
- ✂ *El efecto de calentamiento:* Cuando el vapor refrigerante entra al compresor, el calor absorbido por el vapor tiene como resultado un efecto que aumenta el volumen específico del refrigerante  $V_{a, v}$ .
- ✂ *Espacio libre entre anillos y émbolo:* Disminuyen los escapes de refrigerante por el espacio entre los anillos del émbolo y el cilindro en un compresor alternativo.

La eficiencia del motor se define como:

$$\eta_{mo} = \frac{P_{com}}{P_{mo}}$$

donde

- ✂  $P_{com}$  = salida de potencia del motor ó entrada de potencia al compresor, Hp (Kw.).
- ✂  $P_{mo}$  = entrada de potencia al motor, en Hp (Kw)

La eficiencia mecánica  $\eta_{mec}$  se define como:

$$\eta_{mec} = \frac{W_v}{W_{com}}$$

donde:

- ✂  $W_v$  = trabajo entregado al vapor refrigerante, Btu/lb (kJ/kg)
- ✂  $W_{com}$  = entrada de trabajo en el compresor, en BTU/lb (KJ/kg)

La eficiencia de compresión  $\eta_{cp}$  se define como:

$$\eta_{cp} = \frac{W_{isen}}{W_v}$$

donde:

- ✎  $W_{isen}$  = es el trabajo requerido para la compresión, en Btu/lb (kJ/kg).
- ✎  $W_v = h_2 - h_1$ , donde  $h_1$  y  $h_2$  representan la entalpía de vapor de admisión del refrigerante y del gas caliente descargado, respectivamente, en un proceso de compresión, en Btu/lb (kJ/kg). La diferencia entre la entrada del trabajo en el compresor y el trabajo entregado al vapor  $W_{com} - W_v$  es causado principalmente por la pérdida en la fricción y la pérdida por turbulencia del flujo de refrigerante. La eficiencia del compresor  $\eta_{com}$  es el producto de  $\eta_{cp}$  y  $\eta_{mec}$ , y eso es:

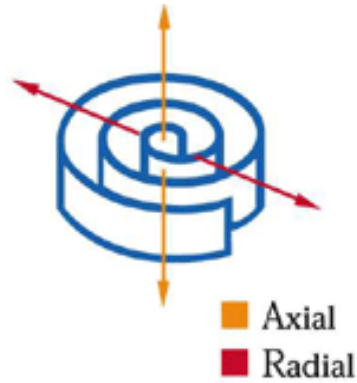
$$\eta_{com} = \eta_{cp} \eta_{mec}$$

## Nueva tecnología de compresores

En los últimos años, se han realizado muchos esfuerzos para lograr equipos más eficientes, dentro de estos esfuerzos surgen los compresores herméticos para refrigeración tipo Scroll, los cuales presentan menor peso y tamaño que cualquier otro equipo de capacidad equivalente.

Los compresores Scroll (de 2 a 15 Caballos de Fuerza) son diseñados y construidos exclusivamente para aplicaciones de refrigeración. Los compresores Scroll contienen 70% menos de cantidad de partes móviles y son altamente confiables, sólo dos partes están involucradas en el trabajo de la compresión, versus al menos 9 por cilindro que requiere una tecnología a pistón convencional.

El diseño de compresores Scroll se basa en el movimiento de dos espirales que pueden separarse tanto radial como axialmente.



**Figura 2-** Movimientos para la compresión en los equipos tipo Scroll

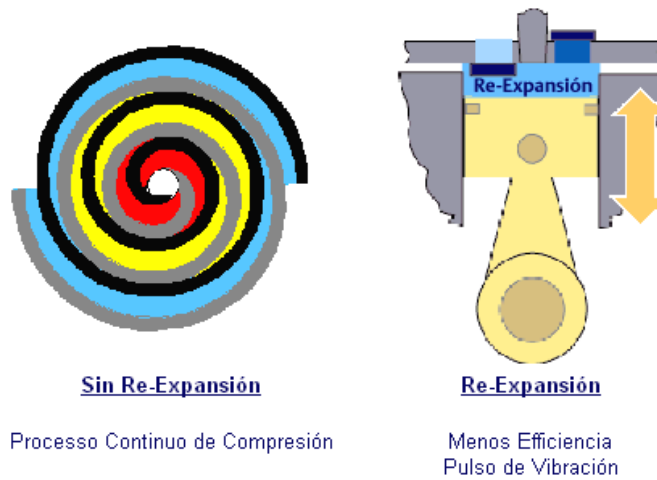
Los equipos Scroll poseen bujes impregnados con una resina sintética especial que mejora su confiabilidad en condiciones de lubricación exigida.

Este tipo de compresores son de bajo nivel sonoro, hasta tres veces más silenciosos y exentos de vibraciones que cualquier otra tecnología a pistón; se necesita hacer funcionar tres compresores Scroll al mismo tiempo para alcanzar el nivel de ruido de un compresor a pistón de capacidad equivalente.



**Figura 2-** Comparativo en decibelios entre un equipo Scroll Vrs. uno de pistón

Finalmente, a diferencia de cualquier tecnología a pistón, en un compresor Scroll no existe re-expansión, con lo cual se logra el 100% de su eficiencia volumétrica.



**Figura 2-** Diferencia entre los compresores Scroll y de pistón

Existen modelos para aplicaciones en un amplio rango, incluyendo bajas temperaturas de hasta  $-40^{\circ}\text{F}$ .



**Figura 2-** Seccionado de un compresor hermético tipo Scroll

Adicionalmente, muchas aplicaciones han sido aprobadas para temperaturas de baja condensación de hasta  $15^{\circ}\text{F}$ .

## 2.4.2. Condensadores

El condensador de un circuito frigorífico es un intercambiador de calor situado a la salida del compresor, que recibe el gas comprimido por este, a alta temperatura.

### El proceso de condensación

Cuando el vapor saturado está en contacto con una superficie que tiene una temperatura más baja que la temperatura de la saturación, ocurre la condensación en la superficie; la condensación de un vapor puede producirse en varias formas:

1. Extrayendo calor
2. Aumentando la presión y manteniendo la temperatura constante
3. Combinando ambos métodos

### Extrayendo calor

Un vapor saturado es aquel en una condición tal que cualquier enfriamiento posterior causará la condensación de parte del vapor; cuando se enfría el vapor, las moléculas no pueden mantener la suficiente energía y velocidad para vencer las fuerzas atractivas mutuas y permanecer como moléculas de vapor. Algunas moléculas, sujetas a las fuerzas de atracción recuperan la estructura molecular del estado líquido, si se sigue extrayendo calor más moléculas licuarán, hasta convertirse todas en líquido

El proceso de la transferencia de calor en un condensador ocurre en tres etapas:

1. Sobrecalentamiento del gas.
2. Condensación del gas al estado líquido y de liberación del calor latente
3. Sub enfriamiento del líquido refrigerante

Aunque el coeficiente de superficie de la transferencia de calor sea más bajo en el lado caliente de gas durante el sobrecalentamiento, hay una diferencia más grande de la temperatura entre el gas refrigerante caliente y el medio de refrigeración. El sub-enfriamiento sólo ocupa una porción pequeña del área del condensador. Por lo tanto, para la simplificación, un coeficiente medio de la transferencia de calor se utiliza para la superficie total del condensador.

La rapidez con la que fluya el calor a través de las paredes del condensador al medio condensante es una función de tres factores:

1. Área de superficie condensante.
2. Coeficiente de conductancia de las paredes del condensador
3. Diferencia de temperaturas entre el refrigerante y el medio condensante

Si consideramos los antiguos condensadores de tubo de cobre y aletas de aluminio, con tubo de unos 10 mm de diámetro, la separación entre tubos era de unos 20 mm con lo que cabían pocos en un espacio fijo; si en vez de tubo de 10 mm se utilizaran tubos de 5 mm de diámetro cabrían más tubos en el mismo espacio. Pero esta operación no es tan simple, porque al reducir el paso aumenta la pérdida de carga y pasa menos gas. La sección de un tubo de 10 mm es de 78,54 mm<sup>2</sup>; la sección de un tubo de 5 mm es de 19,63 mm<sup>2</sup>, por lo cual, para simplemente tener la misma sección habría que colocar 4 tubos de 5 por cada uno de 10, sin tener en cuenta las pérdidas de carga. Para lograr una mejor condensación se han construido tubos de aluminio extrusionados y reticulados. De esta forma se acerca la totalidad del gas a las paredes del tubo, con lo cual se aumenta la conductibilidad del calor y con menos longitud se mejora la condensación

Se ha mejorado aún este sistema con los condensadores de flujo paralelo, que también usan tubos de aluminio extrusionado y reticulado, pero de menor grosor tanto el tubo como las paredes y para obviar el problema de las pérdidas de carga se montan tubos entre los colectores con lo que se aumenta mucho el paso de gas.

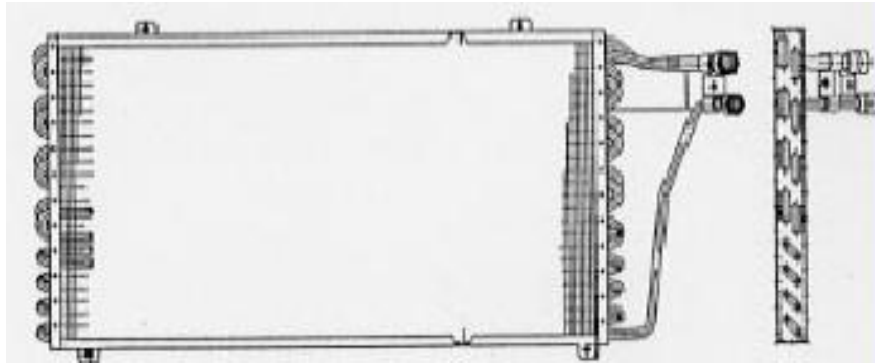
## **Tipos de condensadores**

El condensador es el componente mayor de un sistema de refrigeración. Es también un intercambiador de calor de contacto indirecto en el que el calor total rechazado del refrigerante es quitado por un medio de refrigeración, generalmente aire o agua. Como resultado, el gas refrigerante es enfriado y condensado.

Existen varios tipos de condensador:

*Serpentín de tubos de cobre y aletas de aluminio*

Normalmente estos condensadores están formados por dos circuitos paralelos de tubo de cobre. Igual que en los evaporadores, están formados por tiras de aletas embutidas y dobladas. A través de las mismas se colocan las horquillas de tubo de cobre.

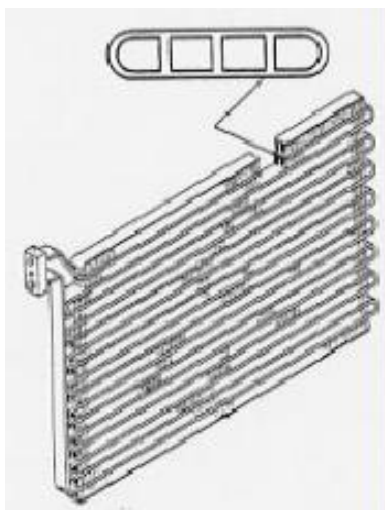


**Figura 2-** Serpentín de tubos de cobre y aletas de aluminio

Formado el paquete, los tubos son expansionados haciéndose el total contacto con las aletas. Finalmente se sueldan las curvas a los tubos en horquilla formando los circuitos y los tubos de entrada y salida.

*Serpentín de tubo extrusionado plano, reticulado de aluminio y aletas de aluminio*

Este modelo tiene la ventaja sobre otros modelos que su rendimiento es muy elevado y de precio menos caros que los otros.



**Figura 2-** Serpentín de tubo reticulado

Entre los tubos planos va una aleta de aluminio embutida, y soldada al horno.

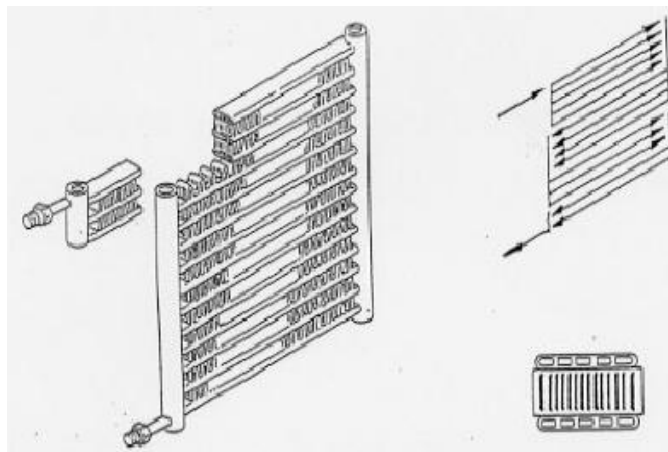
### Serpentín de flujo paralelo y multifujo

Este tipo es el de mayor rendimiento existente; su construcción es parecida a los radiadores. Formado por dos colectores laterales unidos por tubo reticulado extrusionado de sección muy delgada (unos 2 mm) de grosor en aluminio. Entre los tubos, se ubican unas aletas embutidas, rasgadas y dobladas en zigzag. Todo el conjunto es soldado al horno. EL paquete de tubos es cambiado en sentidos direccionales de paso por medio de placas insertadas en los colectores. Este tipo de condensador fue proyectado para trabajar con el nuevo refrigerante ecológico R-134a.

### Serpentín de flujo paralelo y aletas

Este modelo, también de un alto rendimiento, es de fabricación similar al modelo anterior.

Pero los tubos en vez de ser tramos rectos forman serpentines en forma de S con lo cual permite que las dilataciones y contracciones producidas al calentarse y enfriarse tiene un cierto nivel de elasticidad mejorando el rendimiento por fatiga.



**Figura 2-** Serpentín de flujo paralelo y aletas

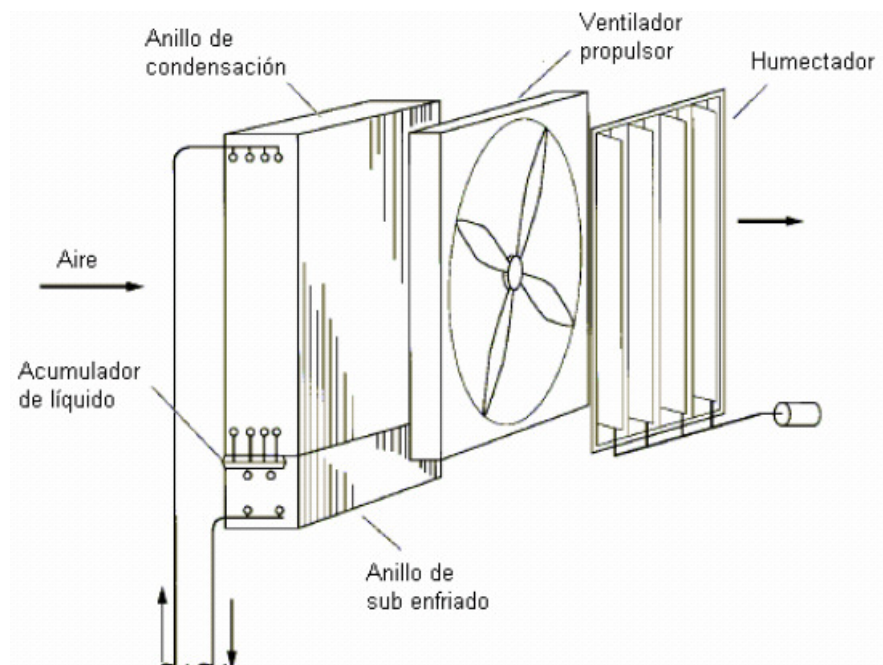
Independientemente del tipo de condensador utilizado, el líquido refrigerante es a menudo sub-enfriado hasta una temperatura de 15°F (8.3°C) por debajo de la

temperatura saturada de condensación. Basado en el medio de refrigeración y los condensadores utilizados, los sistemas de refrigeración pueden ser clasificados en las siguientes tres categorías:

1. Condensadores húmedos
2. Condensadores ventilados
3. Condensadores evaporadores

### Condensadores enfriados por aire

Los condensadores enfriados por aire son fáciles de instalar, baratos de mantener, no requieren agua y no tienen peligro de congelación en tiempo de mucho frío, sin embargo, es necesario un suministro de aire fresco y el ventilador puede crear problemas de ruido en grandes instalaciones.



**Figura 2-** Representación esquemática de un condensador enfriado por aire

El ventilador propulsor tiene una presión baja y un volumen elevado de flujo, que lo hacen más conveniente para los condensadores ventilados por aire. Las aspas de succión que arrastran el aire a través del condensador, resultan más

apropiadas por establecer un flujo de aire uniforme que las aspas del tipo de descarga. El tipo de aspas de succión se prefiere normalmente puesto que una distribución uniforme del aire aumenta la eficacia del condensador.

### Condensadores enfriados por agua

Cuando se encuentra disponible de agua de condensación adecuada a bajo costo, son preferibles los condensadores enfriados por agua dado que tienen presiones de condensación más bajas y es posible un mejor control de la presión de descarga.

El agua, especialmente de manantiales, es generalmente mas fría que la temperatura del aire durante el día. Si se utilizan torres de enfriamiento, la temperatura del agua de condensación puede ser bajada a un punto muy cercano a la temperatura del bulbo húmedo. Esto permite la continua recirculación de agua de condensación y reduce el consumo de ésta al mínimo.

### Condensadores evaporativos

Los Condensadores de Evaporación se utilizan frecuentemente cuando se desean temperaturas de condensación inferiores a las que pueden obtenerse con condensadores enfriados por aire y en donde el suministro de agua no es adecuado para una intensa utilización.

El vapor de refrigerante caliente fluye a través de tuberías dentro de una cámara con rociadores de agua, en donde es enfriado mediante la evaporación del agua que entra en contacto con los tubos de refrigerante.

## **2.4.3. Dispositivos de expansión**

Un componente fundamental e indispensable de cualquier sistema de refrigeración es el control de flujo o dispositivo de expansión. Sus principales propósitos son:

- ✎ Permitir el flujo de refrigerante al evaporador a la razón necesaria para remover el calor de la carga.
- ✎ Mantener el diferencial de presión apropiado entre los lados de alta y baja en el sistema de refrigeración.

Los cinco tipos principales de dispositivos de expansión son:

1. Válvula de expansión automática.
2. Válvula de expansión termostática.
3. Tubo capilar.
4. Flotador de baja.
5. Flotador de alta

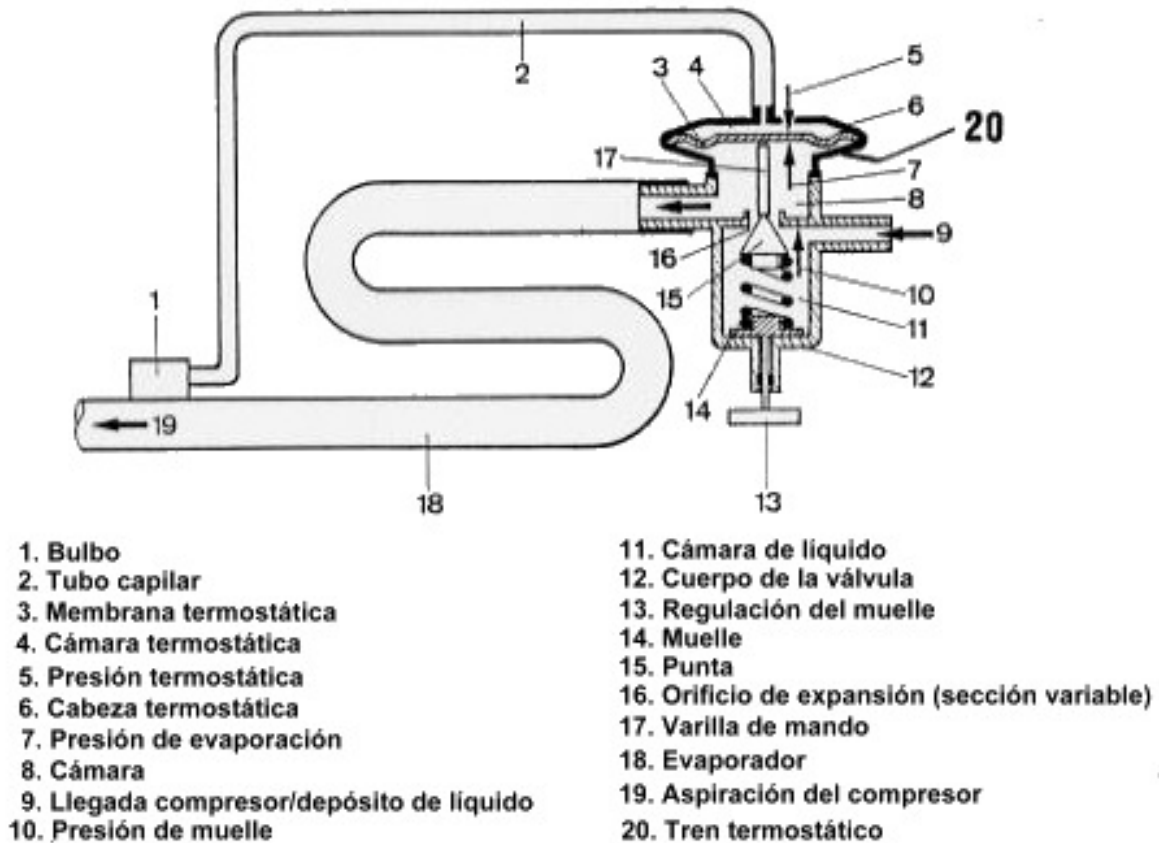
### **2.4.3.1. Válvula de expansión termostática**

Las válvulas de expansión termostáticas (VET) son extensamente utilizadas en su mayoría para estrangular los dispositivos de expansión en sistemas de refrigeración de expansión directa.

#### **Características de operación**

Una válvula de expansión termostática regula el flujo de refrigerante al evaporador de acuerdo al vapor sobre calentado saliendo del evaporador. En las figuras siguientes se muestran unas válvulas de expansión termostáticas conectadas a un evaporador.

A la válvula de la figura 2-27, conocida como VET de compensación interna, el gas licuado llega procedente del condensador, por lo que tiene un acoplamiento para entrada **9** y otro de salida **19**. Su construcción podemos considerarla como en forma de cruz. Entre la entrada y la salida hay un cierre, normalmente una bola de acero **15**, que empujada por un resorte **14** efectúa el cierre; este resorte es regulable por un tornillo inferior **13**. En la parte superior se encuentra una membrana de acero redonda cerrada por dos tapas, una inferior **20** que va soldada al cuerpo de la válvula **12** y otra superior **6** soldadas entre sí.

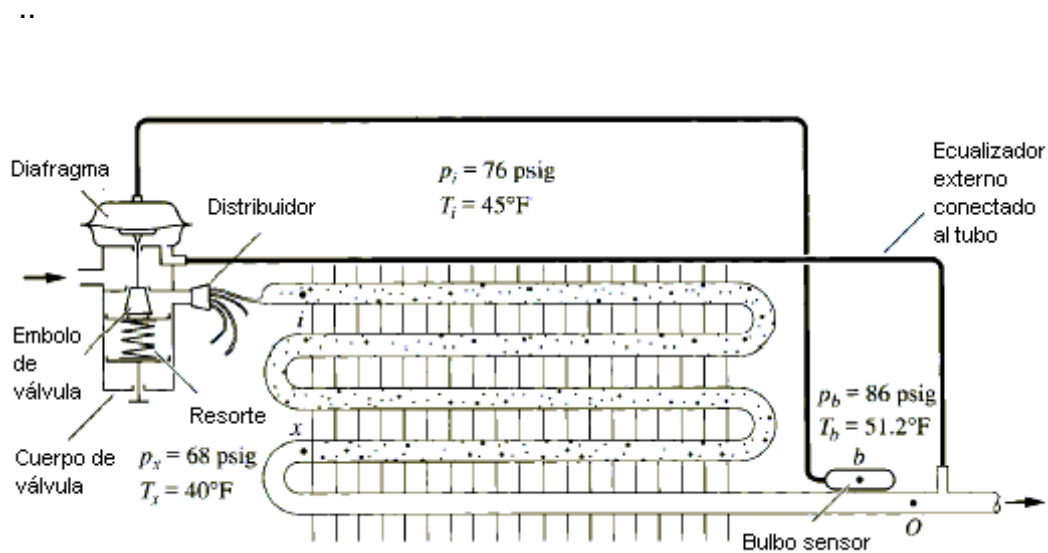


**Figura 2-** Válvula de expansión termostática con equalización interna

A la tapa superior lleva soldado un tubo capilar **2** al final del cual se efectúa un arrollamiento que actuará como sensor, este arrollamiento se hace para ganar superficie de sensor, pero también se utiliza un tramo de tubo más grueso cerrado por un extremo y con el tubo capilar soldado al otro extremo. En la parte inferior de la membrana hay un platillo de apoyo y el eje **17** que se apoya en el otro extremo de la bola de cierre. Esta válvula, aunque es regulable, hay que preseleccionarla cuando se diseña el evaporador según el caudal que será necesario para su buen funcionamiento.

La parte superior de la membrana, tubo capilar y arrollamiento o bulbo, va rellena de gas en fase líquida que se mantiene a presión. El bulbo va fijado firmemente sobre el tubo de salida del evaporador y aislado con el fin de que el gas contenido en su interior pueda detectar cualquier cambio de temperatura en el tubo

de salida del evaporador. Cuando el gas que sale del evaporador, sale mas caliente o frío, esta temperatura se transmite al gas del bulbo.



**Figura 2-** Válvula de expansión termostática con ecualización externa

Este tipo de válvula de expansión termostática consiste en un cuerpo de válvula, un diafragma, y un bulbo en la salida del evaporador. El bulbo está conectado a la parte superior del diafragma por medio de un tubo capilar. La salida de la válvula de expansión termostática es conectada a varios circuitos refrigerantes por las bocas y tubos de un distribuidor refrigerante. Cuando los líquidos refrigerantes pasan por la pequeña apertura del émbolo de la válvula; su presión es reducida a la presión de la evaporación.

El flujo del líquido refrigerante circula por los tubos de cobre y se vaporiza gradualmente; en la posición **X** (figura 2-28), todo el líquido se ha vaporizado. Cuando el vapor del refrigerante alcanza la salida **O** del evaporador, es sobrecalentado a unos pocos grados más que su temperatura saturada, esto causa un aumento en el grado de sobrecalentamiento en la salida **O**, así como un aumento en la temperatura del bulbo, porque puede ser llenado parcialmente por el mismo tipo de líquido refrigerante del evaporador, la temperatura más alta ejerce una presión más alta por encima del diafragma. Esto baja la aguja y ensancha la apertura de la

válvula y así se permite el ingreso de más líquido refrigerante al evaporador para emparejar el aumento en la carga de refrigeración

El grado de vapor refrigerante sobrecalentado en la salida puede ser ajustado variando la tensión en la válvula de la expansión termostática.

### 2.4.3.2. Tubo capilar

El tubo capilar, algunas veces también llamado tubo restrictor, es simplemente una tubería de pequeño diámetro, sin elemento móvil alguno, y se encuentra situado normalmente entre la salida del condensador y la entrada del evaporador. La función que realiza es la de reducir la presión del refrigerante desde la zona de alta presión (condensador) a la zona de baja presión del sistema (evaporador) y controlar el flujo de refrigerante a través del evaporador. Un tubo capilar cuenta además con la ventaja de tener cierta capacidad para balancear el flujo de refrigerante cuando las potencias frigoríficas cambian.

Los dispositivos de expansión de tipo capilar son de uso muy extendido en equipos de refrigeración, especialmente en unidades pequeñas y medianas como refrigeradores y congeladores domésticos, deshumidificadores y aparatos de aire acondicionado. La figura 2-29 muestra la distribución de presiones típicas en un tubo capilar.

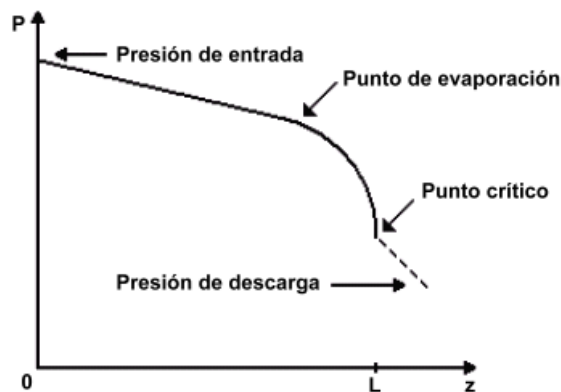


Figura 2- Distribución de presiones típicas a lo largo de un tubo capilar

### 2.4.4. Evaporadores

El evaporador es otro de los componentes principales de un sistema de refrigeración, en cuál el refrigerante se evapora con el propósito de extraer el calor del aire circundante o de otras sustancias. En los sistemas de refrigeración de compresión de vapor, el evaporador es también un intercambiador de calor de contacto indirecto. El evaporador es el elemento que proporciona finalmente la temperatura necesaria para la conservación de los productos, mediante el cambio de estado en su interior de un determinado líquido o refrigerante, a una presión y temperaturas dadas.

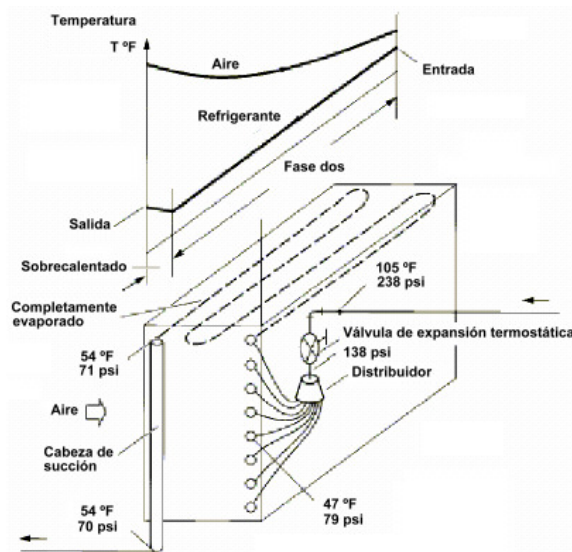
Los tubos lisos son de acero cuando se utiliza R-717 (Amoniaco) y se suelen encontrar en evaporadores de grandes capacidades. Para los refrigerantes fluorados se utiliza el cobre y suelen emplearse de forma unitaria en instalaciones de menores dimensiones, o bien de varios evaporadores.

Si a los tubos lisos se les coloca unas aletas o placas metálicas, soldadas o expandidas, a presión sobre los tubos, se consigue aumentar considerablemente la superficie de intercambio de calor. Los tubos forman un serpentín y las distancias de separación entre ellos o de las aletas es variables, siendo en general mayor la densidad cuanto menor es la temperatura y viceversa, debido a la exigencia de circulación de aire; si las aletas están muy juntas se llenan de escarcha e impiden la circulación de aire. Para temperaturas bajas la separación de aletas puede oscilar de 2 a 3 aletas por pulgada y para temperaturas cercanas a los 0° C puede llegar a ser de 14 aletas por pulgada.

#### Expansión directa (DX):

En un sistema de aire acondicionado de expansión directa, la temperatura de evaporación  $T_{ev}$  del refrigerante HCFC -22, HFC-134a, HFC-404A, HFC- 410A, HFC-407A, o HFC 407C, dentro de los tubos del serpentín generalmente se encuentra entre 37 °F y 52 °F (2.8 °C - 11.1 °C). La temperatura  $T_{ev}$  de la superficie generalmente baja al punto de rocío del aire de entrada. La condensación ocurre por fuera de la superficie del serpentín de DX.

En la figura 2-30 puede observarse como el refrigerante es suministrado generalmente por una válvula de la expansión termostática y fluye hacia un tubo distribuidor, el cual se conecta uniformemente a varios circuitos de tubos de distribución de cobre con un diámetro entre 1/4" y 5/16" (6.5 y 16 mm). La longitud del tubo distribuidor es aproximadamente igual a las longitudes de circuito y aseguran una adecuada distribución del refrigerante.



**Figura 2-** Esquema de funcionamiento del evaporador

Zona de sobrecalentamiento:

Para la simplificación, la tasa de la transferencia del calor (inclusive ambos calor sensible y latente), a menudo es multiplicada por un factor  $F_{super}$  que justifica la existencia de la región de sobrecalentamiento.

La transferencia simultánea entre el calor y la masa en un sistema de expansión directa, los potenciales que manejan para la transferencia simultánea del calor y la masa durante la refrigeración son la diferencia entre la entalpía del aire del ambiente y el aire saturado.

Esta transferencia del calor y la masa es calculada convenientemente como:

$$Q_{c,wet} = \epsilon_{wet} 60 \dot{V}_a \rho_a (h_{ae} - h_{sr})$$

Donde:

- ✎  $h_{ae}$  = entalpía de aire entrante, Btu/lb (J/kg)
- ✎  $h_{sr}$  = entalpía de la película saturada de aire en la temperatura de la evaporación del refrigerante en la superficie de los tubos interiores Btu/lb (J/kg)
- ✎  $V_a$  = flujo del volumen de aire, cfm [ $m^3/(60\text{ s})$ ]
- ✎  $\rho_a$  = densidad del aire, lb/ft<sup>3</sup> (kg/m<sup>3</sup>)

La eficiencia de un intercambiador del calor se define como la proporción de la tasa verdadera de la transferencia del calor entre los líquidos calientes y fríos a la tasa posible máxima de la transferencia del calor. La energía calorífica del condensador es pequeña y se puede ignorar.

La eficiencia se puede calcular como

$$\varepsilon_{wet} = \frac{h_{ae} - h_{al}}{h_{ae} - h_{s,r}}$$

ó

$$h_{al} = h_{ae} - \varepsilon(h_{ae} - h_{s,r})$$

Donde

- ✎  $h_{al}$  = entalpía de aire de salida, Btu/lb (kJ/kg).

Para la conveniencia, el refrigerante en el evaporador es asumido para evaporar en una temperatura constante, así que  $C_{min}/C_{max} = 0$ . Aquí  $C_{min}$  y  $C_{max}$  indican el valor más pequeño y más grande de capacidades de calor entre aire y agua, Btu/H°F (W/ °C). La eficacia mojada del rollo se calcula como:

$$\varepsilon_{wet} = 1 - \exp(-NTU)$$

El número de unidades de transferencia NTU se puede calcular también como:

$$NUT = \frac{U_o A_o}{C_o}$$

donde

- ✎  $U_o$  = coeficiente general de calor de transferencia basado en la superficie exterior, Btu/h.ft<sup>2</sup>. °F (W/m<sup>2</sup> °C)
- ✎  $A_o$  = Area total de la superficie exterior, ft<sup>2</sup> (m<sup>2</sup>)
- ✎  $C_a$  = Es la capacidad del calor del aire húmedo, Btu/H. °F (W/ °C)

Y

$$C_a = 60 \overset{\circ}{V}_a \rho_a c_{pa}$$

donde

- ✎  $C_{pa}$  = calor específico del aire húmedo, Btu/H. °F (J/kg. °C)
- ✎  $\rho_a$  = densidad de aire húmedo, la lb/ft<sup>3</sup> (kg/m<sup>3</sup>)

También

$$U_o A_o = \frac{1}{\frac{1}{\eta_s h_o A_o} + \frac{1}{h_i A_i}}$$

donde

- ✎  $h_o, h_i$  = Es el coeficiente del calor de transferencia de la superficie exterior (inclusive aletas y tubos) y de la superficie interior de tubos, Btu/h.ft<sup>2</sup> °F (W/M<sup>2</sup> .°C)
- ✎  $A_i$  = Es el área de la superficie interior, ft<sup>2</sup> (m<sup>2</sup>)

En la ecuación anterior,  $\eta$  representa la eficiencia de la superficie y se da como

$$\eta_s = \frac{1 - A_f}{A_o (1 - \eta_f)}$$

Donde

- ✎  $A_f$  = Es el área de las aletas, ft<sup>2</sup> (m<sup>2</sup>). El  $\eta_f$  de la eficiencia de la aleta se puede calcular como

$$\eta_f = \frac{\text{Calor de transferencia actual}}{\text{Calor de transferencia en la base}}$$

Los circuitos refrigerantes en equipos de expansión directa con más de 15 toneladas de capacidad se dividen generalmente en dos o más secciones, cada una con su propia válvula de la expansión, con el distribuidor, y con encabezamiento de succión.

## **2.5. Sustancias refrigerantes**

Un refrigerante es un medio de transferencia del calor que lo absorbe por evaporación a baja temperatura y lo entrega por condensación a temperatura alta y presión alta. Respecto al ciclo de compresión de vapor, un refrigerante es el fluido de trabajo del ciclo que alternativamente se vaporiza y se condensa al absorber y entregar calor, respectivamente. Para que pueda utilizarse como refrigerante en el ciclo de compresión de vapor, un fluido debe poseer propiedades químicas, físicas y termodinámicas, que lo hagan seguro y económico.

Un refrigerante ideal ha de cumplir las siguientes propiedades:

- Ser químicamente inerte hasta el grado de no ser inflamable, ni tóxico, ni explosivo, tanto en estado puro como cuando esté mezclado con el aire en determinada proporción.
- Fácil de licuarse a presión y temperatura moderadas.
- No reaccionar desfavorablemente con los aceites o materiales empleados en la construcción de los equipos frigoríficos. Buena miscibilidad con los aceites.
- No reaccionar desfavorablemente con la humedad, que a pesar de las precauciones que se toman, aparece en toda la instalación.
- Su naturaleza será tal que no contamine los productos almacenados en caso de fuga.
- El refrigerante ha de poseer unas características físicas y térmicas que permitan la máxima capacidad de refrigeración con la mínima demanda de potencia. Alto valor de calor latente.
- La relación presión-temperatura debe ser tal que la presión en el evaporador para la temperatura de trabajo sea superior a la atmósfera, para evitar la entrada de aire y de humedad en el sistema en caso de fuga.

- Finalmente ha de ser de bajo precio y fácil disponibilidad.

El refrigerante ideal será aquel que entrega al condensador todo el calor que sea capaz de absorber en el evaporador

Los refrigerantes se identifican por su fórmula química o por una denominación simbólica numérica; no es suficiente identificarlos sólo por su nombre comercial. Los refrigerantes se clasifican en tres grupos según:

Su grado de seguridad o peligrosidad. El criterio que se sigue para ello es el siguiente:

- **A. Grupo primero:** comprende los refrigerantes que no son combustibles y que poseen una acción tóxica muy pequeña o nula.
- **B. Grupo segundo:** comprende los refrigerantes que son tóxicos o corrosivos, o que al combinarse con el aire, en una proporción 3,5% o más en volumen, puedan formar una mezcla combustible o explosiva.
- **C. Grupo Tercero:** comprende los refrigerantes que, al combinarse con el aire en proporciones inferior al 3,5% en volumen, pueda constituir una mezcla combustible o explosiva.

Su fórmula química:



Figura 2- : Refrigerantes CFC's

- **CFC:** (Flúor, Carbono, Cloro). Refrigerantes clorofluorcarbonados (figura 2-31), totalmente halogenados, no contienen hidrógeno en su molécula química y por lo tanto son muy estables; esta estabilidad hace que permanezca durante largo

tiempo en la atmósfera afectando seriamente la capa de ozono y son una de las causas del efecto invernadero.

- **HCFC:** (Hidrógeno, Carbono, Flúor, Cloro). Refrigerantes hidro – clorofluorcarbonados (figura 2-32), son similares al grupo anterior, pero con átomos de hidrógeno en su molécula. La presencia de hidrógeno les confiere menos estabilidad, en consecuencia, se descomponen en la parte inferior de la atmósfera. Poseen un potencial reducido de destrucción de la capa de ozono.

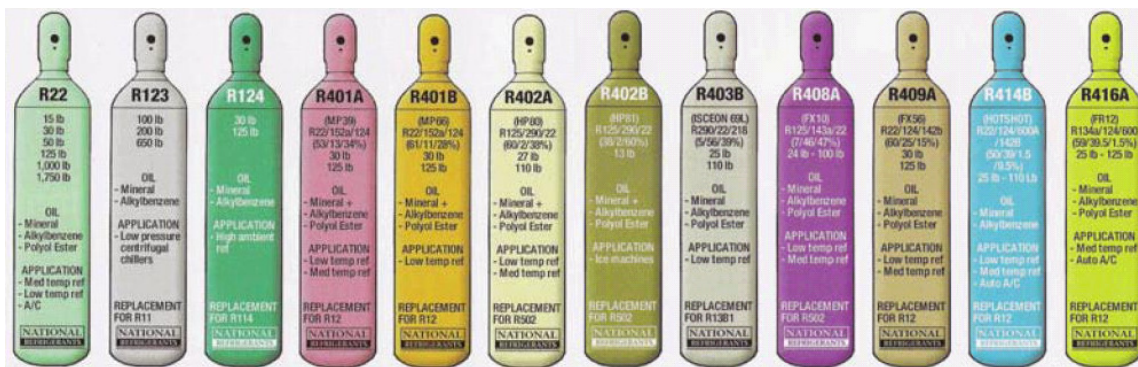


Figura 2- : Refrigerantes HCFC's

- **HFC:** (Hidrógeno, Flúor, Carbono). Refrigerantes hidrofluorcarbonados (figura 2-33), no poseen cloro, por lo que el potencial destructor del ozono es nulo. Los HFC son muy higroscópicos y absorben gran cantidad de humedad

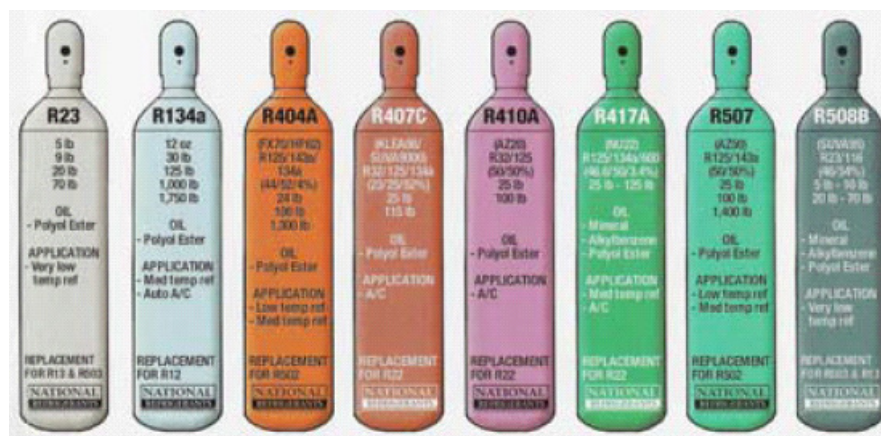


Figura 2- : Refrigerantes HFC's

## 2.5.1. Historia

Antes de la introducción de los clorofluorocarbonos (CFC's) en la década de los 30, la mayoría de los refrigerantes comúnmente utilizados era el aire, el amoníaco, bióxido de azufre, bióxido de carbono, y cloruro de metilo. Hasta que 1986, los hidrocarburos halogenados no tóxicos y no inflamables, con varios potenciales del agotamiento de ozono se empezaron a utilizar en forma casi exclusiva en los sistemas de refrigeración de compresión de vapor para aire acondicionado.

El impacto del agotamiento a la capa de ozono (figura 2-34) por parte de los refrigerantes clorofluorocarbonados (CFC's) y de los hidroclorofluorocarbonados (HCFC's) desde la década de los 80's, provocó una decisión mundial para dejar de utilizar estos refrigerantes. Se realizó una nueva clasificación de refrigerantes en grupos basados principalmente en el agotamiento de ozono que sería útil para el reemplazo de los clorofluorocarbonos por otro refrigerante alternativo.

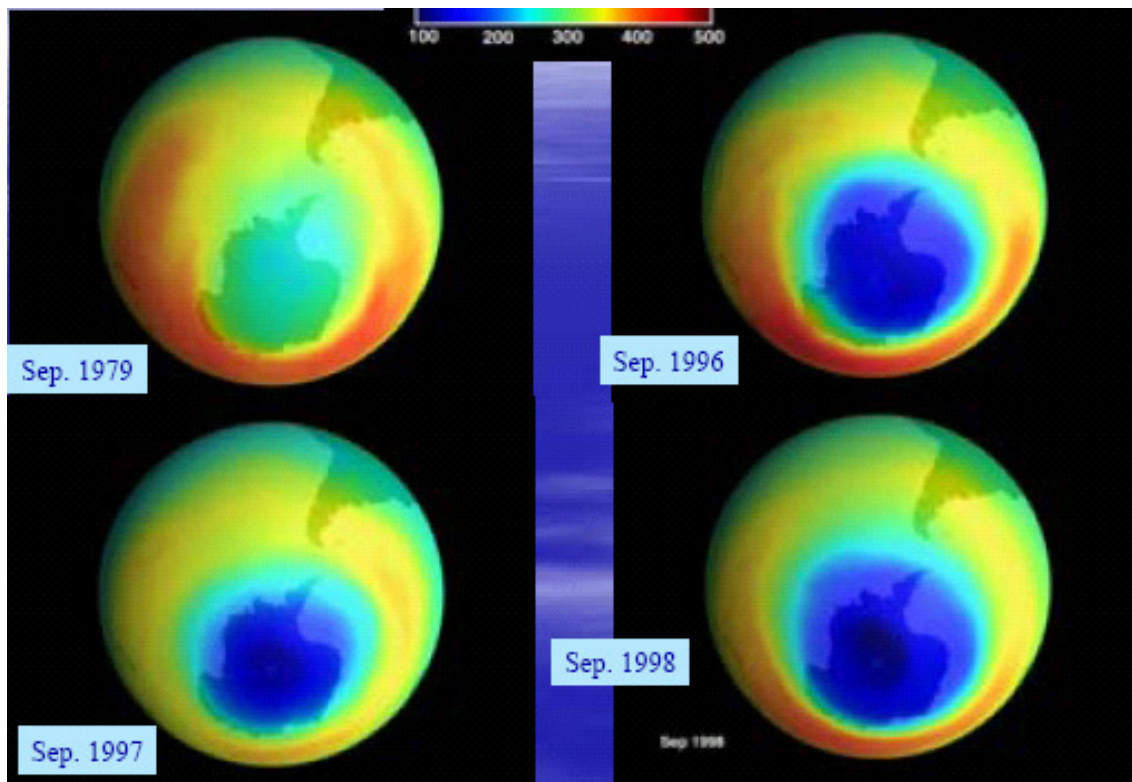


Figura 2- : Comparativo cronológico del daño a la capa de ozono

## 2.5.2. Algunos tipos de Refrigerantes

## **AMONÍACO**

Aunque el amoníaco es tóxico, algo inflamable y explosivo bajo ciertas condiciones, sus excelentes propiedades térmicas lo hacen ser un refrigerante ideal para fábricas de hielo, para grandes almacenes de enfriamiento, etc., donde se cuenta con los servicios de personal experimentado y donde su naturaleza tóxica es de poca consecuencia.

El amoníaco es el refrigerante que tiene más alto efecto refrigerante por unidad de peso. El punto de ebullición del amoníaco bajo la presión atmosférica estándar es de  $-2.22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , las presiones en el evaporador y el condensador en las condiciones de tonelada estándar de  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  son  $34.27\text{ psi}_{\text{abs}}$  y  $169.2\text{ psi}_{\text{abs}}$  respectivamente; pueden usarse materiales de peso ligero en la construcción del equipo refrigerante.

## **REFRIGERANTE 12**

Hasta su prohibición, era el CFC que más se empleaba por su buen comportamiento en general. Evapora a  $-29.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  a presión atmosférica, es miscible con el aceite mineral, posee una buena temperatura de descarga, absorbe poca humedad y por lo tanto forma poco ácido en comparación con los nuevos refrigerantes. Se empleaba mucho en sistemas pequeños, por lo que aún se puede encontrar en algunos aires acondicionados o algunas refrigeradoras. Está prohibida su fabricación desde 1995

## **REFRIGERANTE 22**

Pertenece al grupo de los HCFC, inicialmente estaba diseñado para aires acondicionados, pero hasta hace poco se empleaba para todo, en sistemas de aire acondicionado domésticos y en sistemas de refrigeración comerciales e industriales incluyendo: cámaras de conservación e instalaciones para el procesado de alimentos, refrigeración y aire acondicionado a bordo de diferentes transportes; bombas de calor para calentar aire y agua.

El R-22 ( $\text{CHClF}_2$ ) tiene un punto de ebullición de  $-40.8\text{ }^\circ\text{C}$  a la presión atmosférica; las temperaturas en el evaporador son tan bajas como  $-87\text{ }^\circ\text{C}$ . Absorbe 8 veces más humedad que el R-12. Resulta una gran ventaja el calor relativamente pequeño del desplazamiento del compresor.

### **REFRIGERANTE 134-A**

Este refrigerante perteneciente a la familia de los HFC no contiene cloro y puede ser usado en muchas aplicaciones que actualmente usan CFC-12. Sin embargo en algunas ocasiones se requieren cambios en el diseño del equipo para optimizar el desempeño del R-134a en estas aplicaciones.

Su nombre químico es 1.1.1.2-tetrafluoroetano y la fórmula  $\text{CH}_2\text{-FCF}_3$ . Su punto de ebullición a la presión atmosférica (1.013 bares) es de  $-26.5\text{ }^\circ\text{C}$ . El punto crítico es de  $100.5\text{ }^\circ\text{C}$  y la máxima temperatura de descarga es de  $125\text{ }^\circ\text{C}$ .

Es un gas exento de cloro, químicamente estable e inerte. No es tóxico ni inflamable, y su principal cualidad es que no degrada la atmósfera

Sus presiones de aspiración son más bajas que las del R-12 al que sustituye, así como también las temperaturas de descarga, que son un 10% menores. En cambio, las presiones de condensación son ligeramente más altas. De baja capacidad térmica y alta conductibilidad térmica, sus temperaturas de trabajo son apropiadas para las instalaciones de frío y acondicionamiento.

El R-134a tiene un punto de ebullición de  $-26.5\text{ }^\circ\text{C}$  a la presión atmosférica. El R-134a ha mostrado que es combustible a presiones tan bajas como 5.5 psi a  $177\text{ }^\circ\text{C}$ , cuando se mezclan con aire a concentraciones generalmente mayores al 60% en volumen de aire; a bajas temperaturas, se requieren mayores presiones para la combustibilidad. Hasta *temperaturas de evaporación de  $-10\text{ }^\circ\text{C}$* , su rendimiento es igual al del R-12. No se recomienda para trabajar a temperaturas de evaporación inferiores a  $-20\text{ }^\circ\text{C}$ . En consecuencia, los intercambiadores de calor (evaporadores y condensadores) pueden tener básicamente la misma superficie que para R-12.

## REFRIGERANTE 407C/410 A

Éste es un refrigerante reemplazante del R-22 de mayor capacidad; reemplaza el HCFC-22 en el aire acondicionado doméstico y en aplicaciones en el calentamiento de bombas; sirve para equipos nuevos o en servicio.

Se comercializa en cilindros desechables de 6.8 Kg. y en cajas de 12 latas de 3.408 Kg. cada una. Su composición en peso es de 60% HCFC-22, 23% HFC-152a y 27% HCFC-124.

### 2.5.3. Refrigerantes Hidrofluorcarbonados (HFC's)

Las sustancias refrigerantes HFC's ya no contienen átomos de cloro, por lo tanto son ambientalmente seguros y no provocan el agotamiento de ozono, sus componentes son sólo hidrógeno, flúor y átomos de carbono. Ellos son designados por el prefijo HFC; entre la gama de HFC's, ha surgido el HCF-134a como una alternativa atractiva para reemplazar a largo plazo el CFC-12; además es la alternativa a largo plazo para el HCFC-22. El HFC-134a no es inflamable, tiene una toxicidad muy baja y su calificación en cuanto a seguridad es 10<sup>3</sup>.

El HFC-134a tiene una masa molecular de 102.3 en vez del CFC-12 cuya masa molecular es de 120.93; su temperatura de condensación es 100 °F (37.8 °C). El HFC-134a se condensa a una presión de 138.83 psi<sub>a</sub> (P<sub>Abs.</sub>= 957 kPa), mientras que el CFC-12 se condensa a 131.65 psi<sub>a</sub> (P<sub>Abs.</sub> = 908 kPa). Algunas de las aplicaciones en las cuales se ha completado exitosamente la transición del R-12 al R-134a incluyen: aire acondicionado para automóviles, sistemas especializados de aire acondicionado o climatización, enfriadores (chillers) centrífugos de presión positiva, refrigeración comercial de temperatura media, gabinetes de refrigeración, plantas de refrigeración y transportes refrigerados. Los nuevos HFC tenderán a sustituir a los CFC y HCFC:

USO O SERVICIO	CFC / HCFC	HFC
Limpieza	R-11	R-141b

<sup>3</sup> Según la clasificación de ASHRAE 34 -1997

Temperatura media	R-12	R-134a
Baja temperatura	R-502	R-404 / R-507
Aire Acondicionado	R-22	R-407c

### Lubricación

- Miscibilidad entre el refrigerante y el aceite es crítica para la mayor parte de los equipos. La miscibilidad es necesaria para asegurar el retorno de aceite al compresor.
- El R-134a no es miscible con aceites minerales. Lubricantes del tipo polyolester (POE) y Glicoles polyalkalinos (PAG) son recomendados por los fabricantes de equipo para usar con el R-134a.
- Los lubricantes POE y PAG son hygroscópicos y absorben rápidamente la humedad del ambiente. Por ello deben ser manejados con cuidado para minimizar su exposición prolongada al aire ambiental.
- Generalmente, los equipos nuevos son despachados por el fabricante ya con el lubricante adecuado previamente cargado en ellos. Siempre siga las recomendaciones del fabricante del equipo.

### **Reconversiones**

En gran cantidad de aplicaciones, el R-134a se ha manifestado como un refrigerante apropiado para reconversiones de equipo diseñado para el R-12. Ejemplos de este tipo de equipo incluyen enfriadores (chillers) centrífugos, refrigeración comercial con compresores semi-herméticos, de tornillo o reciprocantes, refrigeración industrial, aire acondicionado de automóviles y algunos sistemas con refrigerantes herméticos.

Cuando se reconvierten sistemas del R-12 al R-134a, es necesario reemplazar el lubricante con aceite POE, o en el caso de sistemas de aire acondicionado de automóviles con aceite PAG. En la mayor parte de los casos, los niveles residuales de los aceites minerales o alkylbenzenos deben estar por debajo del 5%. Se debe chequear con el fabricante del equipo para determinar si existen otras recomendaciones específicas para el sistema en referencia al tipo de aceite y su

cambio; el método más popular hoy en día para cambiar el aceite, consiste en remover la mayor parte posible del aceite del sistema, reemplazar con aceite POE y hacer funcionar el sistema con R-12 durante cierto tiempo. Este proceso se repite hasta que el residuo de aceite es el buscado, en ese punto se cambia el aceite, refrigerante y los filtros secadores por última vez.

*Enfriadores Centrífugos:* Los enfriadores de R-12 que han sido reconvertidos a R-134a generalmente sufren una disminución de su capacidad y eficiencia si no se le hacen ningún tipo de cambios al equipo. Los fabricantes de enfriadores proveen recomendaciones de ingeniería y kits de reconversiones para asegurar la operación óptima de sus sistemas.

*Aire Acondicionado de Automóviles:* El R-134a es el único refrigerante alternativo aprobado por fabricantes de automóviles y organizaciones de técnicos de servicio para reconversión de sistemas de aire acondicionado. Algunos fabricantes de equipo recomiendan que el aceite mineral original se deje en el sistema y que una carga adicional de aceite PAG (ó POE) se agregue al sistema para asegurar el retorno de aceite. Esto hace que las reconversiones con R-134a sean rápidas y fáciles.

*Refrigeración (Sistemas Herméticos):* Debido a las dificultades asociadas en la eliminación del aceite mineral de un sistema hermético, se recomienda que el R-134a no sea utilizado para este tipo de reconversiones.

### Rendimiento

**Baja Temperatura:** A temperaturas bajas del evaporador (por debajo de 24 °F), la relación de presión del R-134a sube en relación al R-12, y su capacidad se reduce significativamente.

**Media/alta Temperatura:**

- El R-134a puede ser utilizado en la mayor parte de las aplicaciones del R-12 a temperaturas media y alta.

- Un análisis teórico del ciclo ideal usando las propiedades termodinámicas del R-134a muestra una ligera reducción en la capacidad y eficiencia. Cuando se introducen ciertas mejoras como, por ejemplo, el subenfriado del líquido en los cálculos, el rendimiento del R-134a llega a ser comparable al del R-12. Los fabricantes de equipos están utilizando este tipo de cambios en sus nuevos diseños.

Los nuevos refrigerantes (HFC) no son tóxicos en estado normal, pero desplazan el oxígeno produciendo asfixia; cuando están en contacto con llamas o cuerpos incandescentes, el gas se descompone dando productos altamente tóxicos y capaces de producir efectos nocivos en pequeñas concentraciones y corta exposición.

#### **2.5.4. Tratados ambientales y sustitución de refrigerantes**

En 1974, dos destacados científicos, Rowland y Molina, propusieron la teoría de que la capa de ozono que protege a nuestro planeta de los rayos ultravioletas provenientes de la energía solar, estaba siendo afectada por gases emanados desde la tierra.

Fue en la década de los 80's cuando investigaciones de otras instituciones científicas, y expediciones a los lugares más afectados, confirmaron la hipótesis. Al fenómeno generado por estos descubrimientos se dio en llamar la ciencia del ozono o ciencia atmosférica.

Una de estas sustancias, los clorofluorocarbonos (CFC's), debido a su gran estabilidad alcanzan niveles altos en la atmósfera, reaccionando con el ozono estratosférico, el cuál se encuentra a más de 10 km sobre la superficie de la tierra, ello origina que una mayor cantidad de rayos ultravioleta penetren en la atmósfera, afectando algunos sistemas biológicos.

## Protocolo Montreal

El 16 de septiembre de 1987, se firma en la ciudad de Montreal, Canadá, el documento que lleva este nombre. El objetivo de dicho acuerdo es la regulación de la producción y consumo de sustancias agotadoras de la capa de ozono. El Protocolo fue formado por las autoridades respectivas de cada país, siendo hasta ahora más de 100 naciones quienes lo respaldan.

Dentro de los mecanismos del Protocolo de Montreal, se encuentra estipulado que se dará un tratamiento especial a países que consumen menos de 300 gr per cápita anual de CFC's, concediéndoles 10 años más de plazo para la aplicación de las regulaciones. Los países que excedan de este nivel, tienen como fecha límite para eliminar el uso de los CFC's el 31 de diciembre de 1995.

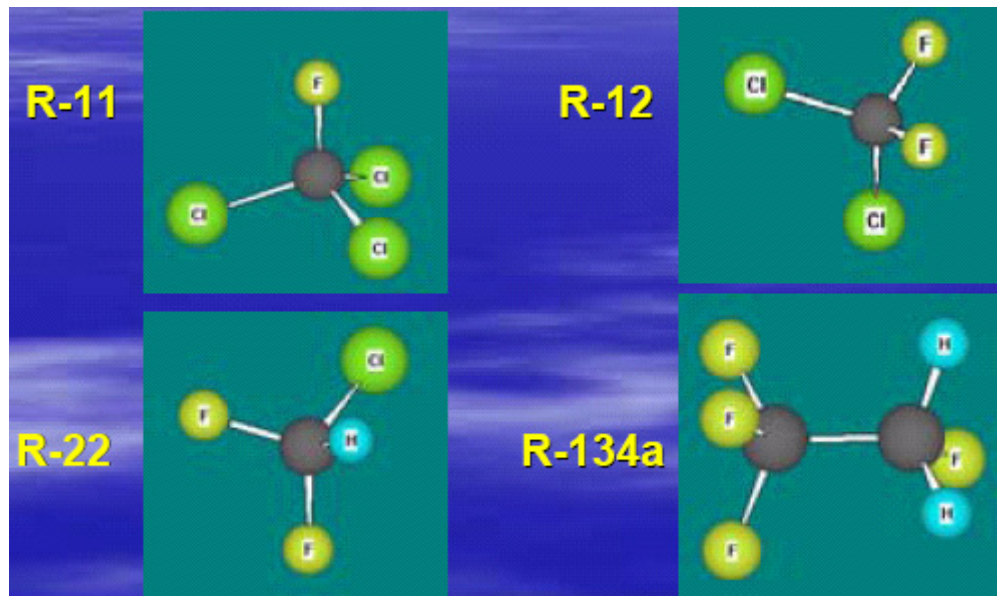
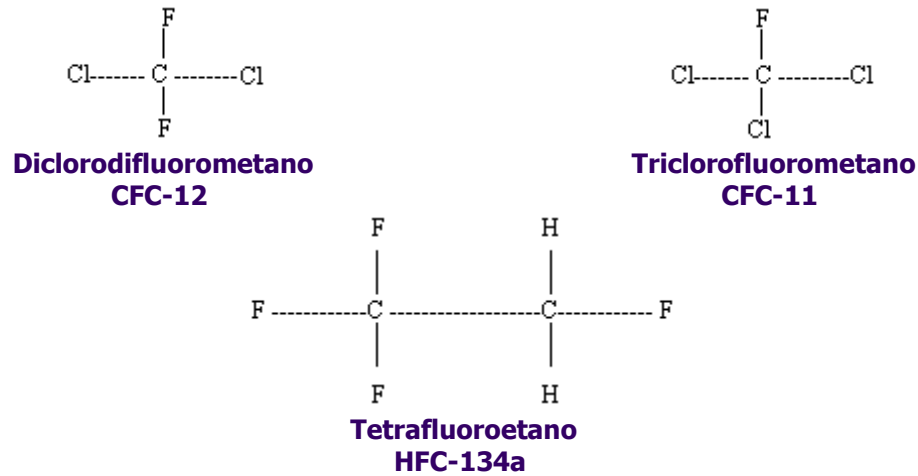
Las sustancias reguladas son las siguientes:

GRUPO I	GRUPO II	GRUPO III
CFC-11	CFC-111	Hidroclorofluorocarbonos (HCFC's), con hasta 3 carbonos en su molécula que contengan cloro y flúor
CFC-12	CFC-112	
CFC-113	CFC-211	
CFC-114	CFC-212	
CFC-115	CFC-213	
	CFC-214	

Otras se encuentran resumidas en el GRUPO II, incluyendo: Tetracloruro de carbono, Metil cloroformo, Bromuro de Metilo y Halones (sustancias para sofocación de fuegos). En los países industrializados, los HCFC's iniciarán con su eliminación en el año 2010 en la fabricación de equipo nuevo, y en el año 2020 para servicio de equipo ya existente.

Los HCFC's como el R-22, son sustancias que contienen menos cloro que los CFC's, y éste ha sido sustituido por hidrógeno; de ahí la primera letra de su nombre. Debido a ello, su potencial de agotamiento del ozono es mucho menor comparado con el R-12. La fecha de salida para éstos compuestos será después del año 2030.

Los HFC's son la nueva generación de refrigerantes. Estos no contienen cloro y no tienen capacidad de agotar el ozono estratosférico, además de tener un tiempo de vida en la atmósfera relativamente más corto que los CFC's. Un ejemplo de éstos compuestos es el HFC-134a.



**Figura 2- :** Estructura molecular de algunos refrigerantes

Otro aspecto importante tomado en cuenta para el desarrollo de alternativas a los CFC's, es el efecto de calentamiento global de cada sustancia; esto tiene que ver con el efecto de aumento de temperatura promedio de la tierra, también llamado efecto invernadero, el cuál es causado por la cantidad de rayos ultravioletas que los gases absorben cuando la tierra los refleja, lo que les impide salir a la atmósfera.

Los gases refrigerantes son solo algunas de las sustancias que contribuyen a este efecto. Algunas otras son Bióxido de Carbono, Bióxido de nitrógeno y en general, los gases generados por combustión incompleta de vehículos.



# Diseño – Procedimiento de cálculo de accesorios para el banco de prueba



## 3.1. Introducción

Para realizar ciertos cálculos en instalaciones de refrigeración es preciso disponer, y saber manejar, los diagramas que permiten trabajar a diferentes presiones, temperaturas y contenidos entálpicos del medio refrigerante que se utilice. Los diagramas permiten obtener los datos termodinámicos que se necesitan para resolver los problemas que se plantean en los ciclos de refrigeración. En el presente capítulo se provee una introducción teórica sobre algunos conceptos básicos en el área de refrigeración, y se realiza una breve descripción relacionada a la aplicación del Diagrama Presión-Entalpía.

Posteriormente se presenta el procedimiento de cálculo para el diseño de un banco para pruebas de un sistema de refrigeración, recolectando toda la información necesaria en base a los diferentes dispositivos a utilizar en el sistema. Los dispositivos mínimos a utilizar serán: compresor, evaporador, condensador, tubo capilar, manómetros para refrigeración, interruptor de alta presión, amperímetro, filtro deshidratador, visor de refrigerante líquido.

Se detalla el procedimiento de cálculo a partir de la selección del compresor, posteriormente, se diseña el banco de pruebas, tomando en cuenta que accesorios

como los intercambiadores de calor ya se encuentran en el mercado. Dimensiones del banco, la elaboración de planos y descripción de las pruebas a realizarse en el banco se presentarán en los siguientes capítulos

### **3.2. Sicrometría. Términos Básicos**

#### Sicrometría:

Es el estudio del comportamiento del aire, en lo respectivo a su contenido de agua y comportamiento al calor.

#### **Términos Básicos**

##### Atmósfera:

Es el aire, alrededor de nosotros, se compone de una mezcla de gases secos y vapor de agua. Los gases contienen aproximadamente 77% de Nitrógeno y 23% de Oxígeno, con otros gases que totalizan menos del 1%. El vapor de agua, existe en muy poca cantidad.

##### Temperatura de Bulbo Seco:

Es la temperatura medida con un termómetro ordinario.

##### Temperatura de Bulbo Húmedo:

Es la temperatura que resulta de la evaporación de agua, en una gasa húmeda, colocada sobre un termómetro común.

##### Temperatura de Rocío:

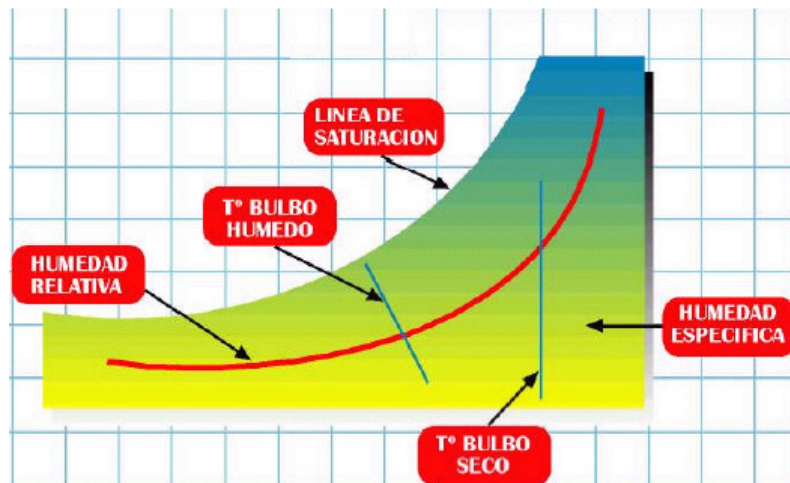
Es la temperatura de saturación, a la cuál tiene lugar la condensación del vapor de agua. Un ejemplo es la humedad sobre un vaso de agua con hielo. El vidrio frío reduce la temperatura del aire por debajo de su punto de rocío y la humedad que se condensa forma gotas sobre la superficie del vidrio.

### Humedad Específica:

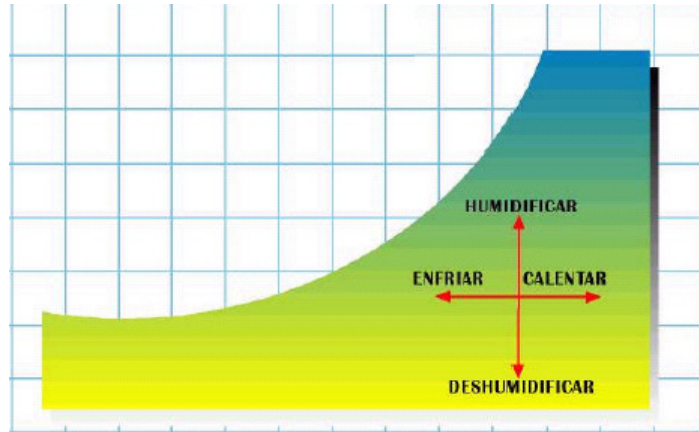
Es el peso real de vapor de agua en el aire, se expresa en gramo o libras de agua por libra o gramos de aire seco, dependiendo de los datos usados.

### Humedad Relativa:

Es la relación del vapor de agua real en el aire, comparando a la máxima cantidad que estaría presente a la misma temperatura, expresada como un porcentaje %.



**Figura 3-** : Descripción del Diagrama de Sicrometría. Puntos importantes



**Figura 3-** : Procesos involucrados en el Diagrama Psicrométrico

### 3.3. Cálculo de instalaciones frigoríficas

La carga total de una instalación frigorífica es el número de frigorías que deben obtenerse, o dicho de manera más correcta, la cantidad de calorías que deben extraerse a fin de mantener la temperatura deseada en la cámara, nevera o recipiente a enfriar<sup>4</sup>

Dicha cifra procede del total de calor que entra en el espacio a refrigerar por el conjunto de las tres causas siguientes:

- Pérdidas a través de las paredes
- Pérdidas por servicio (uso de puertas, alumbrado, calor del personal, u otras fuentes de calor)
- Pérdidas por la carga de género que entra a diario

#### Pérdidas a través de las paredes:

La cantidad de calor por pérdidas a través de las paredes depende de tres factores:

<sup>4</sup> Durante muchos años se utilizaron las unidades de BTU/h al referirse a la carga de refrigeración; con el correr del tiempo, los textos más modernos relacionados con la temática de refrigeración han venido utilizando las unidades de Frig./h; sin embargo, se está extendiendo la norma del Sistema Internacional en el uso del vatio como unidad de medida, por lo que es conveniente trasladar las frigorías citadas en el presente documento, a vatios utilizando el factor de 1.1626 que es el valor de una frigoría

- Superficie total exterior de la cámara, nevera o recipiente
- Aislamiento empleado
- Diferencia de temperatura entre la del ambiente exterior donde se halla instalada la cámara, mueble o recipiente y la que debe obtenerse en su interior

Como es natural, cuanto mayor sea la superficie total exterior, mayor será la cantidad de calor que deberá extraerse. Si el aislamiento es de mayor espesor, menores serán las pérdidas a través del mismo, y más calor deberá absorberse cuanto mayor sea la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior del espacio a refrigerar

El primer paso para obtener las pérdidas por paredes consiste en determinar la superficie total de la cámara, nevera o depósito. Para obtener dicha superficie puede emplearse la siguiente fórmula:

$$S = 2[(axb) + (bxc) + (cxa)]$$

a = ancho exterior                  b = fondo exterior                  c = alto exterior

Conocido ya este dato, y determinado el espesor del aislamiento con que se recubrirá la cámara, mueble o depósito, se buscará entonces el coeficiente de transmisión correspondiente a dicho aislamiento, en relación con la tabla 3-1

**Tabla 3- :** Coeficientes (K) de transmisión de los materiales aislantes más usados

<b>Espesor en mm</b>	<b>Corcho</b>	<b>Fibra de vidrio</b>	<b>Poliestireno</b>	<b>Poliuretano</b>	<b>Lana mineral</b>
	Frig. / h / m <sup>2</sup> / °C				
50	0.80	0.70	0.60	0.40	0.78
75	0.54	0.49	0.40	0.27	0.52
100	0.40	0.37	0.30	0.20	0.39
125	0.32	0.29	0.24	0.16	0.31
150	0.27	0.19	0.15	0.10	0.19

Estos coeficientes varían en relación con la temperatura y grado de compresión de cada sustancia, por lo que, desde un puntos de vista de orden práctico, los valores indicados deben aumentarse alrededor de un 25% para obtener

cifras reales. Así pues, en el caso particular del corcho expandido se han adoptado, como norma generalizada, los coeficientes presentados en la tabla 3-2

**Tabla 3- :** Coeficientes de transmisión corregidos para el corcho

Espesor en mm	Coefficiente (K)
50	0.97
75	0.66
100	0.50
125	0.41
150	0.33
200	0.25

Se pasará entonces a establecer la diferencia de temperatura entre el ambiente exterior y el interior de la cámara.

**Tabla 3- :** Calores específicos y temperaturas de conservación y congelación de algunos productos frutales y líquidos

	CONSERVACIÓN				CONGELACIÓN		
	Temperatura recomendada en °C	Calor específico sobre 0 °C Frig/día/Kg.	HR %	Respiración	Temperatura recomendada en °C	Calor específico sobre 0 °C Frig/día/Kg.	Calor latente congelación
Pescado Fresco (en hielo)	-1 a 2	0.82	90/95	-	-15/20	0.41	61
Pesca salada	2 a 4	0.56	65/70	-	-	0.34	36
Marisco	0 a 2	0.84	80/85	-	-	0.45	67
Líquidos							
Agua	6 a 8	1.00	-	-	-	-	-
Vinos	5 a 10	0.88	-	-	-	-	-
Cerveza	2 a 5	0.90	-	-	-	-	-
Sidra	1 a 5	0.90	-	-	-	-	-
Aceite	1 a 2	0.50	-	-	-	0.35	-
Hielo	-2 a -4	1.00	-	-	-8/10	0.508	-

Para la primera debe calcularse siempre la temperatura media en la época más calurosa, y en cuanto a la temperatura que debe mantenerse en el interior depende, naturalmente, de la naturaleza del producto que debe almacenarse, para lo que han de tenerse en cuenta las temperaturas recomendables que detalladas en la tabla 3-3. Así, pues, conocidos los factores representados por:

- $S$  = Superficie exterior de la cámara, en  $m^2$
- $K$  = Coeficiente de transmisión del aislante

- $(T-t)$  = Diferencia de temperatura

Se obtendrá la cantidad de frigorías o vatios a producir por día, utilizando la siguiente fórmula:

$$SxKx(T-t)x24horas = \text{Frigorías en 24 horas por pérdidas a través de las paredes}$$

Si existe alguna parte de la cámara o mueble que se halle aislada con cristales (como en el caso de las conocidas vitrinas-mostradores cerradas), entonces deberá deducirse de la superficie total la que corresponde a dicho espacio, calculando las pérdidas a través de los cristales por la misma fórmula anterior, pero empleando los coeficientes de la tabla 3-4

**Tabla 3- :** Coeficiente (K) de transmisión del cristal

Número de cristales	Frig. / hora / m <sup>2</sup> / °C
4 (con espacio de aire intermedio)	1.85
3 (con espacio de aire intermedio)	2.35
2 (con espacio de aire intermedio)	3.70
1	9.05

Pérdidas por servicio:

La cantidad de calor que entra en la cámara o refrigerador por este concepto, depende del número de veces que se abran las puertas, dato que, a su vez, está afectado por el uso que se haga del refrigerador. En un restaurante, por ejemplo, se abrirán más veces las puertas que en una gran cámara de almacenamiento de carne. Aunque se trata de un dato difícil de determinar de una manera exacta, la práctica ha establecido unos porcentajes de pérdidas por abertura de puertas, alumbrado, calor del personal, etc., que sirven perfectamente y que dan una idea muy aproximada de dicho valor. Dichos porcentajes se calculan sobre la cantidad de frigorías / 24 horas por pérdidas de paredes que previamente se habrá obtenido, y son como sigue:

- En grandes cámaras de conservación, generalmente provistas de antecámara... 10%
- Para detallistas.....25%
- Para restaurantes, bares y pastelerías.....40%

### Pérdidas por la carga de género:

Para obtener dicho valor, cuando se trate de la conservación de productos a temperaturas positivas, sobre cero grados centígrados, deben conocerse los factores siguientes:

- a) Cantidad en Kg. de género que entra diariamente en la cámara, o recipiente
- b) Diferencia de temperatura del género a su entrada y la que debe obtener en el interior
- c) Calor específico del producto a enfriar

La entrada diaria de género es un dato de mucha importancia y debe precisarse de la manera más aproximada posible, siendo preferible, en todo caso, pecar por exceso que fijar una cifra que se halle por debajo de la realidad, y que, por consiguiente, sirva para dar una idea errónea de las pérdidas que por este concepto correspondan. En las instalaciones de bares donde exista refrigeración de líquidos, deberá tomarse como base la cantidad de líquido (agua, cerveza, etc.) que se consume en el número de horas de mayor despacho, en lugar de fijar un total de 24 horas del día.

Conocida la temperatura de entrada del género, se obtendrá la diferencia con el interior tomando este último dato de la antes citada tabla 3-3, donde se detallan las temperaturas de conservación recomendables para cada producto determinado.

En dicha tabla se encuentra además, el factor restante, o sea, el calor específico del producto a almacenar.

Una vez fijados los tres factores, se multiplican entre sí, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$Ki \log ramos \times (T - t) \times Calor \text{ específico}$$

obteniéndose el número de frigorías a producir para el enfriamiento de la carga de género introducida.

### Obtención de la carga total:

Para ello se suman los tres factores obtenidos de acuerdo con las fórmulas previamente descritas:

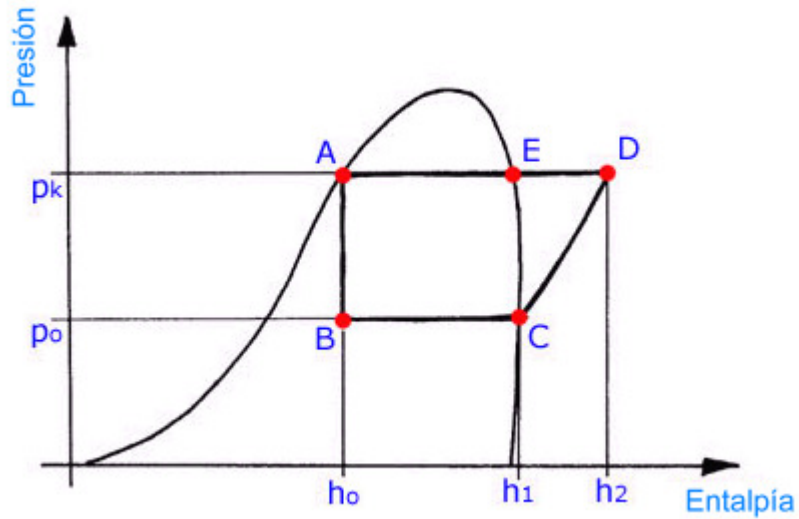
$$\text{Carga total} = \text{Pérdidas por paredes} + \text{Pérdidas por servicio} + \text{Pérdidas por carga}$$

De esta forma se conoce el total de frigorías que deben obtenerse en 24 horas. Como quiera que el rendimiento o capacidad de las unidades condensadoras se calcula generalmente a base de un trabajo máximo de 16 horas diarias en la época de más calor, a fin de asegurar un buen ciclo de desescarchado en el evaporador (en instalaciones que produzcan temperaturas sobre cero), bastará dividir la cifra total obtenida por 16 y tendremos las frigorías que deberán producirse por hora. Para instalaciones a bajas temperaturas, donde no es posible establecer un ciclo de desescarchado natural, se toma como norma la selección unidad condensadora a base de un trabajo de 18 a 20 horas diarias.

Finalmente, con objeto de cubrir todo posible imprevisto, se acostumbra añadir a la cifra obtenida el llamado *coeficiente de seguridad*, que normalmente debe calcularse en un 10%.

### **3.4. Diagrama Presión-entalpía**

Este diagrama tiene la presión en ordenadas (eje vertical) y la entalpía en abscisas (eje horizontal). Mediante líneas que atraviesan el diagrama se indican la temperatura, el volumen específico y la entropía.



**Figura 3- :** Diagrama genérico Presión-Entalpía

En el diagrama modélico indicado pueden apreciarse las zonas de Vapor saturado, líquido saturado, vapor recalentado, líquido subenfriado y mezcla líquido-vapor en el interior de la campana.

### **Cada refrigerante tiene su propio diagrama**

Esto quiere decir que el diagrama de cada refrigerante tiene su propia forma y dimensiones y no puede utilizarse un diagrama cualquiera para todos los casos, sino que debe utilizarse el específico del refrigerante.

Según sea la zona del diagrama en la que se ubique un punto es específico, así será la información brindada por este diagrama.

#### Vapor Saturado:

Es vapor que acaba de convertirse en vapor, procedente de la ebullición de un líquido. Esta representado por la curva de la derecha de la campana.

#### Vapor Recalentado:

Es vapor que se ha calentado. Está representado por la zona de la derecha de la campana.

### Líquido Saturado:

Es líquido que está a punto de hervir. Está representado por la curva de la izquierda de la campana.

### Líquido Subenfriado:

Es un líquido a una temperatura inferior a la de saturación. Esta representado por la zona de la izquierda de la campana.

### Mezcla líquido – vapor:

Es la zona interior de la campana.

La campana está rematada por el punto Crítico, que representa unas condiciones de presión y temperaturas tales que no distingue el estado del fluido (si es líquido o gas). Distingamos las características de presión (P), temperatura (T) y entalpía (h) de los puntos más representativos del proceso sobre el diagrama P-h.

El refrigerante condensando, *punto A*, está a una temperatura  $T_A$  (de condensación) y a una determinada presión  $P_K$  (presión condensación) y a una entalpía  $h_0$ .

Cuando el líquido pasa a través de la válvula de expansión su estado cambia del *punto A* al *punto B*. Este cambio de estado se produce por la ebullición del líquido, provocada por la caída brusca de presión, de  $P_K$  a  $P_0$  bajando al mismo tiempo la temperatura de ebullición del líquido a  $T_B$  como consecuencia de la disminución de presión.

En la válvula, el calor ni se aplica ni se disipa, por eso; dicho de otra manera el calor es constante, por lo que la entalpía no varía:  $h_A = h_B$

A la entrada del evaporador, *punto B*, coexisten una mezcla de vapor y líquido (parte interior de la curva p-h), mientras que a la salida del mismo, *punto C*, el vapor está saturado.

La presión  $P_C$  y la temperatura  $T_C$  son las mismas del *punto B*, pero como el evaporador ha absorbido calor del recinto donde se encuentra, la entalpía ha aumentado hasta  $h_1$ .

Cuando el vapor pasa por el compresor, éste le confiere un aumento de presión desde el *punto C* al que el vapor ha llegado, hasta el *punto D* o presión de condensación  $P_K$ . Esta energía añadida por el compresor hace que aumente también la temperatura hasta un valor  $T_D$ , que es más alto que la temperatura de condensación  $T_A$ , como consecuencia de que el vapor ha sido fuertemente recalentado. Más energía en forma de calor le es introducido, por consiguiente, la entalpía  $h_1$  aumenta alcanzando un valor de  $h_2$ .

A la entrada del condensador, *punto D*, encontramos pues, vapor recalentado a una presión de condensación  $P_K$ . Allí se evacua el calor al medio ambiente, y por esta razón, la entalpía desciende de nuevo hasta el valor del *punto A*, es decir, al valor  $h_0$ ; lo primero que sucede en el condensador es un cambio de un vapor fuertemente recalentado (*Punto D*) a un vapor saturado (*Punto E*), y luego una condensación de éste vapor permaneciendo la temperatura constante desde el *punto E* hasta el *punto A*, por tener lugar el proceso de cambio de estado de gas a líquido.

En la práctica, el ciclo ideal o teórico de refrigeración no se produce exactamente como se ha descrito, ya que debido a otras causas, suelen producirse variaciones que apartan sensiblemente el comportamiento del refrigerante de su ciclo teórico. Las variaciones que se presentan en el Ciclo Real son producto de las características de los elementos que constituyen la instalación (evaporadores, condensadores, compresores y tuberías de refrigerante); presentándose un pequeño recalentamiento del vapor que procede del evaporador, y la temperatura del líquido antes de la válvula de expansión se subenfria débilmente a causa del intercambio de calor que se produce a su alrededor.

### **3.5. Memoria de Cálculo**

El diagrama Presión-Entalpía busca poder relacionar los procesos ideales de un sistema frigorífico y fundamentar los parámetros de medición para establecer si el sistema esta funcionando según la condición esperada.

Partiendo de la temperatura de evaporación que se necesite y conocida la temperatura de condensación, puede trazarse sobre el diagrama P-h el ciclo y hallar sucesivamente los valores que se indican en el modelo de cálculo que se propone.

Los puntos característicos del sistema son:

- Compresión de *C* a *D*
- Condensación de *D* a *A*
- Dispositivo de Expansión de *A* a *B*
- Evaporación: de *B* a *C*

Para establecer los parámetros iniciales tales como la *Temperatura de Evaporación* y la *Temperatura de Condensación* se deben seguir los siguientes lineamientos<sup>5</sup>:

La *Temperatura de Evaporación*, la cual se establece con respecto a la temperatura de diseño del equipo o sistema de refrigeración específico, su valor es menor a ésta por un diferencial mínimo de 5 °C ó un máximo de 10 °C por problemas en la condensación del intercambiador de calor que se utilice.

La *Temperatura de Condensación*, la cual se establece a partir de la temperatura del medio ambiente donde se ubique el equipo (tomándose como parámetro la temperatura promedio de verano de la zona); su valor será mayor siempre, a partir de un diferencial de temperatura mayor de 10 °C y menor de 15 °C.

Con estos datos se pueden establecer los puntos en el diagrama y trazar el ciclo *A-B-C-D-A*; recordando que la compresión *C-D* se traza siguiendo la línea de entropía constante.

---

<sup>5</sup> Texto: Mantenimiento y Reparación de Sistemas de Refrigeración. INACAP

Una vez dibujado el ciclo, ya pueden determinarse las entalpías  $h_0$ ,  $h_1$ , y  $h_2$ . Otro dato que se dará como conocido es el requerimiento frigorífico de la instalación, el cual se representará por el símbolo  $R_f$ .

Los parámetros que posteriormente se deben calcular son:

- Calor absorbido en el evaporador (también conocido como efecto refrigerante):

$$Q_{evap} = (h_3 - h_2)$$

- Caudal ó flujo másico de fluido frigorífico:

$$\dot{w} = \frac{\text{Capacidad de refrigeración}}{\text{Efecto refrigerante}} = \frac{R_f}{Q_{evap}}$$

- Trabajo de compresión:

$$W_C = (h_4 - h_3)$$

- Potencia del compresor:

$$Pot = \dot{w}(W_C) = \dot{w}(h_4 - h_3)$$

- Calor desprendido del condensador (capacidad del condensador):

$$Q_{cond} = (h_4 - h_1)$$

- Potencia calorífica desprendida del condensador:

$$P_{cal} = \dot{w}(h_4 - h_1)$$

### 3.5.1. Requerimiento frigorífico

Como punto de partida, se tratará de calcular la carga total de frigorías que necesariamente debe manejar el equipo que se ha de fabricar; un equipo de refrigeración para utilizar en un bar, el cual ha de constar de una nevera para botellería y diversos víveres, y de un tanque para serpentines de líquidos; las características *consideradas* para dar inicio al proceso de cálculo son:

Lugar de instalación:

- Soyapango, San Salvador, El Salvador

Temperatura del lugar de instalación:

- Temperatura ambiente (TBS): temperatura del fluido que rodeará al equipo.

$$TBS = 32 \text{ }^{\circ}\text{C} = 89.6 \text{ }^{\circ}\text{F} = 305.15 \text{ K}$$

Nevera:

- Dimensiones exteriores: 0.75 x 0.75 x 0.75 m
- Espesor del aislamiento de corcho: 10 cm
- Temperatura a obtener: 5 °C
- Temperatura máxima del ambiente: 32 °C
- Entrada de género al día: 50 Kg. botellería de cerveza y 25 Kg. peces salados

Tanque de líquidos:

- Dimensiones exteriores: 0.30 x 0.30 x 0.30 m
- Espesor del aislamiento de corcho: 10 cm
- Temperatura a obtener: 5 °C
- Temperatura máxima del ambiente: 32 °C
- Consumo: se supondrá que durante el día habrán seis horas de consumo fuerte, en las que se despachan 50 Kg. de cerveza y 50 Kg. de agua

### Temperatura de diseño

- Temperatura que se necesita en el cuarto refrigerado, la cual depende de la utilidad a la que se destine

$$T_{\text{dis}} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C} = 41 \text{ }^{\circ}\text{F} = 278.15 \text{ K}$$

### **3.5.2. Cálculos del equipo frigorífico**

#### CÁLCULO DE CARGA DE LA NEVERA:

Superficie:             $0.75 \times 0.75 = 0.5625$   
                                  $0.75 \times 0.75 = 0.5625$   
                                  $0.75 \times 0.75 = \underline{0.5625}$   
                                  $1.6875 \times 2 = 3.375 \text{ m}^2$

#### Pérdidas por paredes:

$$(\text{Sup. nevera}) \times (\text{Coef. de aislam.} \rightarrow \text{tabla 3-2}) \times (\text{Dif. entre TBS y } T_{\text{dis}}) \times 24 \text{ h}$$

$$3.375 \text{ m}^2 \times 0.5 \times 27 \times 24 = 1,093.5 \text{ frigorías / día}$$

#### Pérdidas por servicio:

Recordando para bares: 40% sobre dato de pérdidas en paredes

$$1,093.5 \times 0.40 = 437.4 \text{ frigorías / día}$$

#### Pérdidas por carga de género o producto:

- Cantidad en Kg. de género que entra diariamente en la cámara = 50 Kg. botellería y 25 Kg. peces salados
- Diferencia de temperatura del género a su entrada y la que debe obtener en el interior =  $27 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Calor específico de los productos a enfriar =  $0.90 \text{ Frig/día/Kg}$  para la cerveza y  $0.56 \text{ Frig/día/Kg}$  para la pesca salada

$$\begin{aligned}
 \text{Cerveza:} & \quad 50 \times 27 \times 0.90 = 1,215.00 \text{ Frigorías/día} \\
 \text{Pesca salada:} & \quad 25 \times 27 \times 0.56 = \underline{378.00 \text{ Frigorías/día}} \\
 & \quad 1,593.00 \text{ Frigorías/día}
 \end{aligned}$$

Obtención de la carga parcial 1 → Nevera:

(Pérdidas por paredes) + (Pérdidas por servicio) + (Pérdidas por carga)

$$1,093.50 + 437.40 + 1,593.00 = 3,123.90 \text{ frigorías / día}$$

$$195.24 \text{ Frigorías/hora} \rightarrow P' 16 \text{ horas}$$

**CÁLCULO DE CARGA DEL TANQUE DE LÍQUIDOS:**

$$\begin{aligned}
 \text{Superficie:} & \quad 0.30 \times 0.30 = 0.09 \\
 & \quad 0.30 \times 0.30 = 0.09 \\
 & \quad 0.30 \times 0.30 = \underline{0.09} \\
 & \quad 0.27 \times 2 = 0.54 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Pérdidas por paredes:

(Sup. tanque) x (Coef. de aislam. → tabla 3-2) x (Dif. entre T<sub>S</sub> y T<sub>dis</sub>) x 24 h

$$0.54 \text{ m}^2 \times 0.5 \times 27 \times 24 = 174.96 \text{ frigorías / día}$$

Pérdidas por servicio:

Recordando para bares: 40% sobre dato de pérdidas en paredes

$$174.96 \times 0.40 \cong 70 \text{ frigorías / día}$$

Con los datos obtenidos de pérdidas por paredes y pérdidas por servicio se procede a evaluar la carga para 16 horas, ya que en las pérdidas por carga de género, se tomará en cuenta el hecho de que durante el día se presenta un consumo fuerte durante un período determinado de 6 horas.

(Pérdidas por paredes) + (Pérdidas por servicio)

$$174.96 + 70 \cong 245 \text{ frigorías / día}$$

15.31 Frigorías/hora → P' 16 horas

Pérdidas por carga de género:

- Cantidad en Kg. de género que entra diariamente en la cámara = 50 Kg. cerveza y 50 Kg. agua
- Diferencia de temperatura del género a su entrada y la que debe obtener en el interior = 27 °C
- Calor específico de los productos a enfriar = 0.90 Frig/día/Kg para la cerveza y 1.00 Frig/día/Kg para el agua

Cerveza:  $50 \times 27 \times 0.90 = 1,215.00$  Frigorías/día  
Agua:  $50 \times 27 \times 1.00 = 1,350.00$  Frigorías/día  
2,565.00 Frigorías/día

427.50 Frigorías/hora → P' 6 horas

Obtención de la carga parcial 2 → Tanque:

$[(\text{Pérdidas por paredes}) + (\text{Pérdidas por servicio})] + (\text{Pérdidas por carga})$

$15.31 + 427.50 = 442.81$  frigorías / hora

Obtención de la carga total:

(Carga de la nevera) + (Carga del tanque)

$195.24 + 442.81 = 638.05$  frigorías / hora

Añadiendo 10% de factor de seguridad = 701.86 Frig./hora  $\cong$  815.98 vatios

Luego de realizado el cálculo de la carga requerida, se procede a escoger la unidad condensadora que provea los vatios citados a una temperatura de evaporación de -5 °C, considerada a partir de un diferencial de 10 °C con respecto a la temperatura que se desea alcanzar en las recámaras de enfriamiento.

En esta instalación se necesitan dos evaporadores, uno de tubo y aletas para la nevera y otro de serpentín para el tanque.

El cálculo del evaporador tiene por finalidad determinar la superficie necesaria para obtener la debida absorción de calorías por día durante el tiempo de funcionamiento del compresor.

Sentado el hecho de que un compresor tenga la capacidad suficiente para producir durante catorce a dieciséis horas (que es el tiempo señalado como límite por día para el máximo rendimiento económico de una instalación automática) la cantidad de frío necesaria, y deducida consiguientemente la potencia horaria, el evaporador debe calcularse sobre la base de que su capacidad sea la adecuada para producir en dicho espacio de tiempo, las frigorías / hora en cuestión. Ello no quiere significar de una manera terminante que una instalación no pueda funcionar perfectamente porque el evaporador sea un poco mayor o menor que el compresor, pero si la diferencia es muy grande no podrá obtenerse en muchos casos su rendimiento máximo, y tratándose de cámaras puede hacer variar notablemente las condiciones higrométricas en perjuicio de la perfecta conservación de determinados artículos.

La capacidad frigorífica de un evaporador depende de los siguientes factores:

- a) Superficie del evaporador
- b) Diferencia de temperaturas ente la de ebullición del refrigerante y la que se desea obtener
- c) Coeficiente que varía de acuerdo con el tipo de evaporador a emplear, sistema de válvula de expansión, velocidad de movimiento del medio que rodea al evaporador, formación de hielo en su superficie y otros factores más

De lo expuesto se deduce fácilmente que cuanto mayor sea la superficie del evaporador y mayor la diferencia de temperaturas entre la de ebullición del refrigerante y la que se desea obtener, mayor será su capacidad.

Cuando se trate de obtener temperaturas superiores a un grado centígrado, para la conservación de alimentos, tales como carnes, huevos, frutas, etc., tiene una gran importancia el grado higrométrico. Éste varía de acuerdo con la diferencia de temperaturas, correspondiendo menor grado de humedad a mayor diferencia de temperaturas y, a la inversa, mayor grado higrométrico con menor diferencia de temperatura.

Los factores anteriormente citados, de los que depende la capacidad del evaporador, se relacionan por medio de la ecuación siguiente:

$$S = \frac{C}{(T-t) * K}$$

- $S$  = Superficie total del evaporador, en  $m^2$
- $C$  = Capacidad en frigorías / hora que deben obtenerse
- $T$  = Temperatura a obtener
- $t$  = Temperatura de evaporación del refrigerante
- $(T-t)$  = Diferencia de temperatura
- $K$  = Coeficiente de transmisión en calorías-hora /  $m^2$  /  $^{\circ}C$

Cuando se trata de evaporadores formados por un serpentín de tubo solamente, la superficie  $S$  se toma de la correspondiente al diámetro exterior del tubo empleado; cuando el evaporador está construido con tubo y aletas, la superficie del tubo (o a la del tubo y aletas, según el tipo de que se trate) la del depósito donde va instalado el flotador, para obtener la superficie total.

El valor del coeficiente  $K$  puede establecerse de acuerdo con los datos facilitados en la tabla 3-5

**Tabla 3- :** Coeficiente (K) para evaporadores (Frigoría / hora /  $m^2$  de superficie de radiación /  $^{\circ}C$  de diferencia de temperatura)

	Tubo liso		Tubo con aletas	
	Inundado	Seco	Inundado	Seco
SISTEMA DE EXPANSIÓN DIRECTA				

Circulación por gravedad				
Sobre 0 °C	17	12	9	6
Bajo 0 °C	14	10	8	4
Circulación forzada del aire				
1.0 m/s	16	11	8	6
4.0 m/s	47	34	24	29
SIST. DE INMERSIÓN P' BAÑOS				
En líquido quieto				
Formando ligera capa d' hielo en pared	50	40	-	-
No formando capa de hielo	75	60	-	-
En líquido agitado				
6.5 m/min.	88	66	-	-
7.5 m/min.	98	73	-	-

Los promedios de diferencias de temperaturas, entre la de *ebullición del refrigerante* y la que deba obtenerse, por disposiciones del CECOMAF (Comité Europeo de Constructores de Material Frigorífico), establecen que debe tomarse como dato la diferencia *media* de temperatura, la cual se fija, partiendo de:

- $ta_1$  = temperatura de entrada de aire
- $ta_2$  = temperatura de salida de aire
- $tr$  = temperatura del refrigerante (evaporación)
- $TDm$  = diferencia media de temperatura

Por medio de la siguiente fórmula:

$$TDm = \left( \frac{ta_1 + ta_2}{2} \right) - tr$$

Siendo preciso obtener en la nevera 195.24 Frigorías / hora, se deduce la superficie necesaria del evaporador de la siguiente manera:

$$S = \frac{C}{(T - t) * K} = \frac{195.24}{10 * 6} = 3.25m^2$$

Esta área corresponde a un evaporador sin ventilación forzada. Cuando se hace uso de un ventilador se pueden lograr evaporadores mas compactos ya que el coeficiente de calorías hora (K) aumenta considerablemente.

$$S = \frac{C}{(T-t)*K} = \frac{195.24}{10*29} = 0.67m^2$$

En cuanto al serpentín para el tanque de líquidos, que debe producir 442.81 frigorías / hora, se obtiene la superficie de evaporador utilizando la misma fórmula:

$$S = \frac{C}{(T-t)*K} = \frac{442.81}{10*100} = 0.442m^2$$

Debiendo obtener la cantidad de metros de tubo de cobre necesaria para dicho serpentín de la manera siguiente:

Empleando tubo de Ø 3/8" (9.52 mm) de diámetro:

$$L = \frac{0.442m^2}{0.03m(\text{superficie tubo } \frac{3}{8}"}) = 14.75 \text{ metros lineales}$$

Empleando tubo de Ø 1/2" (10 a 12 mm) de diámetro:

$$L = \frac{0.442m^2}{0.04m(\text{superficie tubo } \frac{1}{2}"}) = 11.08 \text{ metros lineales}$$

Empleando tubo de Ø 5/8" (14 a 16 mm) de diámetro:

$$L = \frac{0.442m^2}{0.05m(\text{superficie tubo } \frac{5}{8}"}) = 8.86 \text{ metros lineales}$$

### 3.5.3. Cálculos del sistema de refrigeración

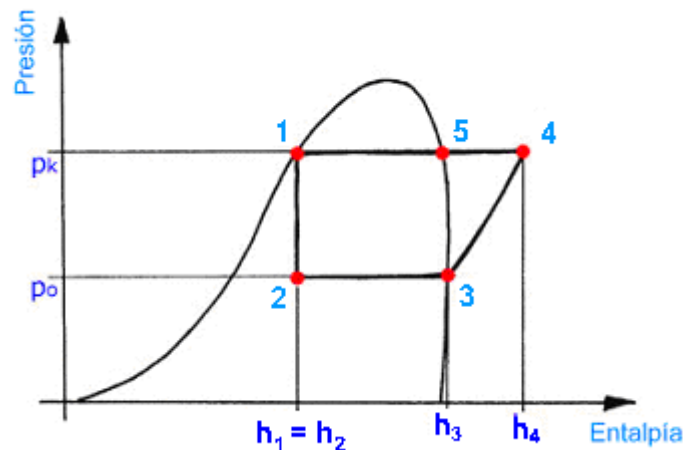
En este apartado se retoma el diagrama Presión-Entalpía, en el cual se relacionarán los procesos ideales de un sistema frigorífico. Ya antes se citó que la *Temperatura de Evaporación* se establece a partir de un diferencial mínimo de 5 °C

con respecto a la temperatura interna de la cámara a acondicionar, y con un máximo de 10 °C, y en los cálculos del equipo frigorífico se determinó trabajar con el valor de 10 °C, (ver cap. 3.5 Temperatura de evaporación).

Así también, se ha explicado que la *Temperatura de Condensación* se establece a partir de la temperatura donde se ubique el condensador (para Ciudadela Don Bosco se generaliza un TBS de 32 °C); considerando que tomará su valor a partir de un diferencial mayor de 10 °C y menor de 15 °C, se trabajará con 10 °C

Partiendo de las temperaturas de evaporación y de condensación establecidas, se traza el ciclo 1-2-3-4-1 sobre el diagrama P-h y se calculan sucesivamente los valores que se requieren en el modelo de cálculo propuesto (figura 3-4)

Se recuerda que el requerimiento frigorífico es de 701.86 Frig./hora (815.98 Vatios = 2,784.23 BTU/h  $\approx$  3,000 BTU/h  $\approx$  3,165 KJ/h)



**Figura 3-** : Diagrama presión-entalpía con los puntos de diseño indicados

Resumiendo algunos datos se tiene:

- Temperatura de diseño: temperatura que se necesita en el cuarto refrigerado, la cual depende de la utilidad a la que se destine

$$T_{\text{dis}} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C} = 41 \text{ }^{\circ}\text{F} = 278.15 \text{ K}$$

- $\Delta T_{\text{Evaporación}}$ : diferencia de temperatura asumida con respecto a la temperatura de diseño, ligada siempre a la utilidad a la que se destine el equipo

$$\Delta T_{\text{Evaporación}} = 10 \text{ }^{\circ}\text{C} = 18 \text{ }^{\circ}\text{F} = 10 \text{ K}$$

- Temperatura de evaporación: también llamada temperatura de succión, es el resultado de la diferencia entre la temperatura de diseño y el  $\Delta T_{\text{Evaporación}}$  asumido

$$T_{\text{Evaporación}} = (5 - 10) \text{ }^{\circ}\text{C} = -5 \text{ }^{\circ}\text{C} = 23 \text{ }^{\circ}\text{F} = 268.15 \text{ K}$$

- $\Delta T_{\text{Condensación}}$ : diferencia de temperatura asumida con respecto a la temperatura ambiente que rodeará al fluido, se recomienda tomar un  $\Delta T$  igual o cercano al  $\Delta T_{\text{Evaporación}}$

$$\Delta T_{\text{Condensación}} = 10 \text{ }^{\circ}\text{C} = 18 \text{ }^{\circ}\text{F} = 10 \text{ K}$$

- Temperatura de condensación: temperatura que se encuentra un  $\Delta T$  arriba de la temperatura ambiente, y determinada por el  $\Delta T_{\text{Condensación}}$  asumido

$$T_{\text{Condensación}} = (32 + 10) \text{ }^{\circ}\text{C} = 42 \text{ }^{\circ}\text{C} = 107.6 \text{ }^{\circ}\text{F} = 315.15 \text{ K}$$

Ahora se procede a obtener los datos de cada uno de los puntos indicados en el diagrama de presión-entalpía:

- Punto 1: *Líquido Saturado*
  - $T_1 = T_{\text{Condensación}} = 42 \text{ }^{\circ}\text{C} = 107.6 \text{ }^{\circ}\text{F} = 315.15 \text{ K}$
  - $P_1 = P_{\text{Liq.Sat.}} = 1.0720 \text{ MPa} = 155.48 \text{ psi}$
  - Volumen específico =  $v_1 = v_{\text{Liq.Sat.}} = 0.0008780 \text{ m}^3/\text{Kg.}$
  - Energía interna =  $u_1 = u_{\text{Liq.Sat.}} = 108.25 \text{ KJ/Kg.}$
  - Entalpía =  $h_1 = h_{\text{Liq.Sat.}} = 109.19 \text{ KJ/Kg.} = 46.94325 \text{ BTU/Lbm}$
  - Entropía =  $s_1 = s_{\text{Liq.Sat.}} = 0.3960 \text{ KJ}/(\text{Kg.} \cdot \text{K})$
- Punto 2: *Expansión*

$$h_2 = h_1 = h_{\text{Liq.Sat.}} = 109.19 \text{ KJ/Kg.}$$

$$T_2 = T_{\text{Evaporación}} = -5^\circ\text{C}$$

- $T_2 = T_{\text{Evaporación}} = -5^\circ\text{C} = 23^\circ\text{F} = 268.15 \text{ K}$
- $P_2 = P_{\text{Expansión}} = 0.24382 \text{ MPa} = 35.36238 \text{ psi}$
- Entalpía =  $h_2 = h_{\text{Expansión}} = 109.19 \text{ KJ/Kg.} = 46.94325 \text{ BTU/Lbm}$

- Punto 3: *Vapor Saturado*

$$P_3 = P_2 = P_{\text{Expansión}} = 0.24382 \text{ MPa}$$

$$T_3 = T_2 = T_{\text{Evaporación}} = -5^\circ\text{C}$$

- $T_3 = T_{\text{Vap.Sat.}} = -5^\circ\text{C} = 23^\circ\text{F} = 268.15 \text{ K}$
- $P_3 = P_{\text{Vap.Sat.}} = 0.24382 \text{ MPa} = 35.36238 \text{ psi}$
- Volumen específico =  $v_3 = v_{\text{Vap.Sat.}} = 0.082525 \text{ m}^3/\text{Kg.}$
- Energía interna =  $u_3 = u_{\text{Vap.Sat.}} = 224.28 \text{ KJ/Kg.}$
- Entalpía =  $h_3 = h_{\text{Vap.Sat.}} = 244.31 \text{ KJ/Kg.} = 105.034394 \text{ BTU/Lbm}$
- Entropía =  $s_3 = s_{\text{Vap.Sat.}} = 0.92195 \text{ KJ}/(\text{Kg.} \cdot \text{K})$

- Punto 4: *Compresión*

$$S_4 = s_3 = s_{\text{Vap.Sat.}} = 0.92195 \text{ KJ}/(\text{Kg.} \cdot \text{K})$$

$$P_4 = P_1 = P_{\text{Liq.Sat.}} = 1.0720 \text{ MPa}$$

- $T_4 = T_{\text{Compresión}} = 46.86 \text{ }^\circ\text{C} = 116.35 \text{ }^\circ\text{F} = 320.01 \text{ K}$
- $P_4 = P_{\text{Compresión}} = 1.0720 \text{ MPa} = 155.48 \text{ psi}$
- Entalpía =  $h_4 = h_{\text{Compresión}} = 274.922 \text{ KJ/Kg.} = 118.195 \text{ BTU/Lbm}$
- Entropía =  $s_4 = s_{\text{Compresión}} = 0.92195 \text{ KJ}/(\text{Kg.} \cdot \text{K})$

Finalmente se calculan los valores de los parámetros termodinámicos listados anteriormente:

- Efecto Refrigerante ó Calor absorbido en el evaporador:

$$Q_{evap} = (h_3 - h_2)$$

$$Q_{evap} = (244.31 - 109.19) \text{ KJ/Kg.} = 135.12 \text{ KJ/Kg.} = 58.09 \text{ BTU/Lbm}$$

- Calor desprendido del condensador (capacidad del condensador):

$$Q_{cond} = (h_4 - h_1)$$

$$Q_{cond} = (274.922 - 109.19) \text{ KJ/Kg.} = 165.73 \text{ KJ/Kg.} = 71.25 \text{ BTU/Lbm}$$

- Flujo másico:

$$\dot{w} = \frac{\text{Capacidad de refrigeración}}{\text{Efecto refrigerante}} = \frac{R_f}{Q_{evap}}$$

$$\dot{w} = (3,165 \text{ KJ/h}) / 135.12 \text{ KJ/Kg.} = 23.42 \text{ Kg./h}$$

- Trabajo realizado por el compresor ( $W_c$ ):

$$W_c = (h_4 - h_3)$$

$$W_c = (274.92 - 244.31) \text{ KJ/Kg.} = 30.61 \text{ KJ/Kg.} = 13.16 \text{ BTU/Lbm}$$

- Potencia requerida:

$$Pot = \dot{w}(W_c) = \dot{w}(h_4 - h_3)$$

$$Pot. = (23.42 \text{ Kg./h}) * (30.61 \text{ KJ/Kg.}) = 717.08 \text{ KJ/h} \equiv 0.267 \text{ Hp}$$

- Potencia calorífica ( $P_{cal}$ ) ó Capacidad del condensador ( $Q_{Cond.}$ ):

$$P_{cal} = \dot{w}(h_4 - h_1)$$

$$Q_{\text{Cond.}} = 23.42 \text{ Kg./h (274.92- 109.19) KJ/Kg.} = 3882.25 \text{ KJ/h} = 3679.665 \text{ BTU/h}$$

- Calidad: fracción de la mezcla total de refrigerante que corresponde a estado de vapor; es decir, cantidad de refrigerante evaporado que se tiene luego de su paso por la válvula de expansión. *Para este cálculo se utilizan valores de entalpía de “Líquido Saturado” y los correspondientes al estado N° 2 (T<sub>Evaporación</sub> = -5°C)*

$$x = \frac{h_{\text{vapor}}}{h_{\text{total}}} = \frac{h_f - h_f'}{h_{fg}} = \frac{h_f - h_f'}{h_g - h_f'}$$

$$h_f = h_1 = h_{\text{Liq.Sat.}} = 109.19 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_f' = h_{\text{Liq.Sat. (T}^\circ = -5^\circ \text{ C)}} = 43.4475 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_g = h_{\text{Vap.Sat. (T}^\circ = -5^\circ \text{ C)}} = h_3 = 244.31 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{fg} = h_{fg \text{ (T}^\circ = -5^\circ \text{ C)}} = h_3 - h_f' = 200.8625 \text{ KJ/Kg}$$

$$X = 0.327$$

### 3.5.4. Selección de elementos del sistema de refrigeración

En la actualidad ya se puede encontrar en el mercado una gama de elementos para conformar un sistema de refrigeración, sin la necesidad de estar diseñando cada uno de ellos, tal como se realizó anteriormente con el evaporador; basta con retomar los datos obtenidos en el cálculo de la capacidad del sistema, y hacer uso de tablas, gráficos o fórmulas emitidas por los diferentes proveedores que actualmente existen en el ambiente de refrigeración, para obtener un dato numérico con el cual seleccionar un elemento en especial según pruebas realizadas por los fabricantes.

#### Selección del condensador:

$$PC \times M \times \frac{15}{\Delta T} = P_{\text{sel}}$$

$$P_{\text{sel}} = PC \times M \times (15/\Delta T)$$

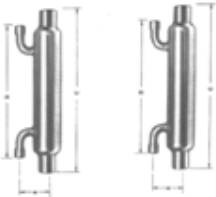
$$P_{sel} = 199 \times 1.38 \times (15 / 10)$$

$$P_{sel} = 411.9 \text{ Watt} = 0.552 \text{ Hp.} = 0.55 \text{ CV.}$$

Una de las opciones a tomar en cuenta en el banco de trabajo es un intercambiador de calor de la marca PACKLESS modelo HXR-25 de ¼" X ½" el cual como se ve en la hoja técnica el mas cercano a 0.55 CV. es de ½ CV.

**Tabla 3- 6:** Diferentes modelos de intercambiadores de calor de la marca PACKLES

INTERCAMBIADORES DE CALOR "PACKLESS"							
C	Dimensiones		Aplicación aprox. CV	Conexiones		Modelo	Código
	D	E		Líquido	Aspir.		
390	260	30	1/2	1/4	1/2	HXR-25	01-380905
320	330	41	3/4-1	3/8	5/8	HXR-50	01-380908
340	330	44	1,5	3/8	7/8	HXR-75	01-380912
350	320	47	2	3/8	1 1/8	HXR-100	01-380916
350	340	50	3-4	1/2	1 1/8	HXR-150	01-380920
360	350	60	5	5/8	1 3/8	HXR-250	01-380925
410	580	60	7,5	5/8	1 5/8	HXR-350	01-380930
430	330	74	10	7/8	2 1/8	HXR-500	01-380935



### SELECCION DEL TUBO CAPILAR

Entre las condiciones que más afectan al caudal en el capilar están las presiones de entrada y salida que, en general, se corresponden con las de condensación y evaporación, respectivamente. Una observación de tipo práctico es que un cambio de 10 K en la temperatura de condensación induce una variación de alrededor de 5 K en la de evaporación.

Asimismo, el calor que pueda intercambiar el fluido con el medio circundante tiene gran importancia. En otras palabras, la existencia de un intercambiador de calor en el recorrido del capilar (p.ej. capilar pasando "por el interior de" o "soldado externamente a" la línea de aspiración), influye extremadamente en su comportamiento. Como recomendación general, cuanto más baja es la temperatura de evaporación más necesaria es la existencia de un intercambiador. También afecta la temperatura del líquido a la entrada del capilar (grado de subenfriamiento desde la salida del

condensador).

Las diferencias de diámetro y rugosidad debidas a las tolerancias de fabricación también afectan al caudal real que proporcionará un capilar en una producción masiva.

La enumeración hecha de variables permite comprender cuán difícil es dar unas recomendaciones con carácter general. Las que se ofrecen están referidas a una temperatura de condensación de 45°C.

El uso de las tablas es muy simple. En principio se debería partir del valor del caudal de refrigerante pero, dado que, definido un ciclo de refrigeración, el caudal es proporcional a la producción frigorífica y ésta es fácil de conocer a partir del catálogo del compresor, *se toma como dato de entrada no el caudal sino la producción frigorífica que le corresponde.*

Se recuerda que el requerimiento frigorífico es de 701.86 Frig./hora (815.98 Vatios = 2,784.23 BTU/h ≈ 3,000 BTU/h ≈ 3,165 KJ/h)

$$2,784.23 \text{ BTU/h} = 701 \text{ Kcal / h.}$$

**Tabla 3- 7:** Tabla para cálculo de tubo capilar con R-134a

TABLE FOR REFRIGERANT R134a (LBP)															
		Capillary tube length (m)													
		Capillary tube internal diameter (mm) & Evaporating temperature (°C)													
Q <sub>ASH</sub>	M	0,6		0,7		0,8		0,9		1		1,2		1,5	
kcal/h	kg/h	-30	-23,3	-20	-17	-15	-12	-10	-9	-8	-8.5	-7	-6	-5	-3
75	1,69	2,81	2,96												
80	1,80	2,47	2,60												
85	1,91	2,18	2,31												
90	2,03	1,95	2,06												
95	2,14	1,75	1,85												
100	2,25	1,58	1,67												
105	2,36	1,43	1,52	3,30	3,48										

110	2,48	1,30	1,38	3,00	3,17																
115	2,59	1,19	1,26	2,74	2,90																
120	2,70	1,10	1,16	2,52	2,66																
125	2,82	1,01	1,07	2,32	2,45																
130	2,93			2,14	2,26																
140	3,15			1,85	1,95	3,82	4,04														
150	3,38			1,61	1,70	3,32	3,51														
160	3,60			1,41	1,49	2,91	3,08														
170	3,83			1,25	1,32	2,58	2,72														
180	4,05			1,11	1,17	2,29	2,42														
190	4,28					2,06	2,17	3,90	4,12												
200	4,50					1,85	1,95	3,52	3,71												
210	4,73					1,68	1,77	3,18	3,36												
220	4,95					1,53	1,61	2,90	3,06												
230	5,18					1,39	1,47	2,65	2,79												
240	5,41					1,28	1,35	2,43	2,56	4,29	4,56										
250	5,63						1,24	2,23	2,36	3,94	4,19										
275	6,19							1,84	1,94	3,25	3,45										
300	6,76							1,54	1,63	2,72	2,89										
325	7,32								1,38	2,31	2,45										
350	7,88								1,19	1,98	2,10										
375	8,45								1,03	1,72	1,83										
400	9,01										1,60	4,11	4,34								
425	9,57										1,41	3,63	3,83								
450	10,14										1,26	3,22	3,40								
475	10,70										1,13	2,88	3,04								
500	11,26										1,01	2,59	2,73								
525	11,82											2,34	2,47								
550	12,39											2,13	2,24								
575	12,95											1,94	2,05								
600	13,51											1,78	1,87								
650	14,64												1,59								
700	15,77												1,36	4,38	4,61						
750	16,89												1,18	3,79	4,00						
800	18,02												1,03	3,30	3,49						
850	19,14													2,91	3,07						
900	20,27													2,58	2,72						
950	21,40													2,30	2,42						

Revisando la tabla anterior notamos que para la selección del tubo capilar necesitamos retomar el cálculo de la producción frigorífica que es de 701 Kcal / h a una temperatura de evaporación de - 5 C, la longitud del tubo capilar a 1.5 mm es de 4.38 mts.

Se compro tubo capilar de 0.06 Pulg ( 1.5 mm aprox.) con una longitud de 14 pies (4.2 mts), que es lo más apropiado para nuestro sistema.

# Proceso de fabricación de Banco de Pruebas

XX  
XX

## 4.1. Introducción

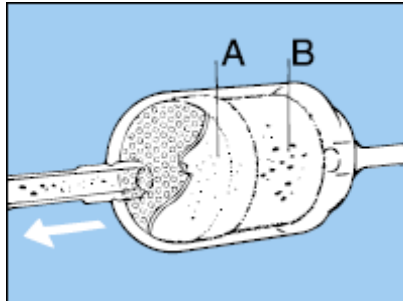
En este capítulo se describe el proceso de fabricación del banco de pruebas, detallando cierta información básica de algunos accesorios utilizados, la inversión realizada para la construcción de la obra, y documentando la información necesaria respecto al proceso de construcción del banco de pruebas.

## 4.2. Accesorios de un sistema de refrigeración

### 4.2.1. Filtro deshidratador

Para asegurar un funcionamiento óptimo, el interior del sistema de refrigeración, se requiere que esté limpio y seco. Antes de poner en marcha el sistema se elimina la humedad por vacío a una presión absoluta de 0.05 mbar. Durante el funcionamiento, es preciso recoger y eliminar suciedad y humedad, para ello se utiliza un filtro secador que contiene un núcleo sólido formado por:

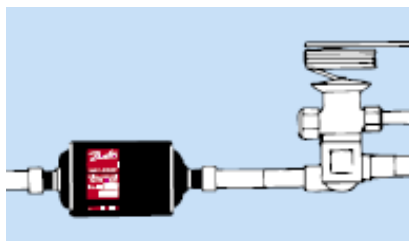
- Molecular sieves (támiz molecular)
- Gel de sílice
- Alúmina activada y una malla de poliéster (A) insertada en la salida del filtro.



El núcleo sólido es comparable a una esponja, capaz de absorber agua y retenerla. El tamiz molecular y el gel de sílice retienen el agua, mientras que la alúmina activada retiene el agua y los ácidos. El núcleo sólido (B), junto con la malla de poliéster (A), actúa asimismo como filtro contra la suciedad. El núcleo sólido retiene las partículas de suciedad grandes, mientras que la malla de poliéster atrapa las partículas pequeñas. El filtro secador es, por lo tanto, capaz de interceptar todas las partículas de suciedad de un tamaño superior a 25 micras.

### **Localización en el sistema**

El filtro secador se instala normalmente en la línea de líquido, donde su función principal consiste en proteger la válvula de expansión. La velocidad del refrigerante en la línea es baja, y por ello el contacto entre el refrigerante y el núcleo sólido del filtro secador es bueno. A la vez que la pérdida de carga a través del filtro secador es baja.



También se puede instalar un filtro secador en la tubería de aspiración para proteger el compresor contra suciedad y secar el refrigerante.

Los filtros de aspiración, también llamados filtros antiácidos, se utilizan para eliminar los ácidos tras producirse un daño en el motor. Para asegurar una reducida pérdida de carga, el filtro de aspiración debe ser mayor que el filtro de la línea de líquido.

Se debe cambiar el filtro de aspiración antes de que la pérdida de carga

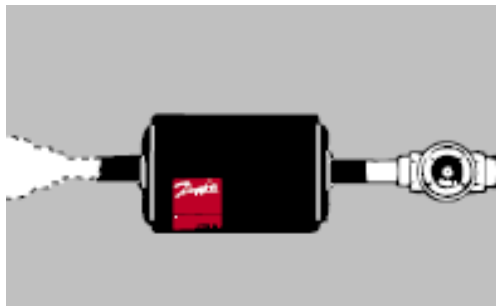
supere los siguientes valores:

Sistemas de A/A: 0.50 bar

Sistemas de refriger.: 0.25 bar

Sistemas de congel.: 0.15 bar

Detrás del filtro secador, se debe instalar un visor de líquido con un indicador de humedad.



La indicación del visor significa:

- Verde: No existe humedad “peligrosa” en el refrigerante.
- Amarillo: Contenido de humedad en el refrigerante demasiado elevado, delante de la válvula de expansión.
- Burbujas:
  - 1) La pérdida de carga a través del filtro secador es demasiado elevada.
  - 2) No hay subenfriamiento
  - 3) Falta de refrigerante en todo el sistema

Si el visor de líquido se instala delante del filtro secador, la indicación será la siguiente:

- Verde: No existe humedad “peligrosa” en el refrigerante.
- Amarillo: Contenido de humedad en el refrigerante demasiado elevado en todo el sistema.
- Burbujas:
  - 1) No hay subenfriamiento
  - 2) Falta de refrigerante en todo el sistema

Por tanto, si se precisa una indicación tanto del contenido total de humedad en el sistema de refrigeración, como del estado del refrigerante por delante de la válvula de expansión, se deberá instalar un visor de líquido a ambos lados del filtro secador.

El punto de cambio de verde a amarillo en el visor de líquido es determinado en función de la hidrosolubilidad del refrigerante. El indicador muestra el color amarillo antes de que se produzca el riesgo de congelación del agua en la válvula de expansión. No debe añadirse refrigerante simplemente porque aparezcan burbujas en el visor de líquido; antes deberá determinar la causa de las burbujas

## **Instalación**

El filtro secador se debe instalar con el caudal en la dirección indicada por la flecha que aparece en la etiqueta. El filtro secador puede instalarse en cualquier sentido, pero hay que tener en cuenta las siguientes observaciones:

- El montaje vertical con un caudal descendente se traduce en una rápida evacuación/vaciado del sistema de refrigeración.
- Con un montaje vertical y un caudal ascendente, la evacuación/vaciado será más lenta, ya que el refrigerante debe evaporarse a través del filtro secador.

Penetra humedad en el sistema:

- 1) Durante la fabricación/instalación del sistema.
- 2) Al abrir el sistema para realizar un servicio de mantenimiento.
- 3) Si se produce una fuga en el lado de absorción, si se encuentra al vacío.
- 4) Cuando se llena el sistema con aceite o refrigerante que contiene humedad.
- 5) Si se produce una fuga en un condensador refrigerado por agua.

Humedad en el sistema de refrigeración, puede provocar:

- a) Obstrucción del dispositivo de expansión debido a la formación de hielo.
- b) Corrosión de las piezas metálicas.
- c) Daños químicos en el aislamiento de compresores herméticos y semiherméticos.
- d) Descomposición del aceite (formación de ácidos).

El filtro secador elimina la humedad que permanece tras la evacuación, o que penetra posteriormente

“Nunca” deben utilizarse “líquidos anticongelantes” como metanol junto con un filtro secador, ya que puede dañarse el filtro hasta el punto de ser incapaz de absorber el agua y los ácidos.

Es conveniente cambiar el filtro cuando...

- El visor de líquido indique que el contenido de humedad es demasiado elevado (amarillo).
- La pérdida de carga a través del filtro sea demasiado elevada (burbujas en el visor durante un funcionamiento normal).
- Se haya cambiado un componente principal del sistema, por Ej. el compresor.
- Cada vez que se abra el sistema, por Ej. si se cambia el conjunto de orificio de una válvula de expansión.

“Nunca” debe realizarse el cambio de un filtro por otro filtro secador usado, ya que soltará humedad si se utiliza en un sistema con un bajo contenido de humedad, o si se calienta.

#### **4.2.2. Válvulas de expansión termostática**

Las válvulas de expansión termostática regulan la inyección de refrigerante líquido en los evaporadores. La inyección se controla en función del recalentamiento del refrigerante. Por tanto, las válvulas son especialmente adecuadas para inyección de líquido en evaporadores "secos", en los cuales el recalentamiento a la salida del evaporador es proporcional a la carga de éste.



### **Característica**

- Amplia gama de temperaturas
- Se puede aplicar en equipos de congelación, refrigeración y aire acondicionado.
- Orificio intercambiable
- Almacenamiento más fácil
- Facilita la adaptación de la capacidad a las necesidades
- Mejor servicio.
- Protege el motor del compresor de una presión de evaporación excesiva.
- Montaje rápido y sencillo.
- Buena transferencia de temperatura del tubo al bulbo.
- Conexiones abocardadas

### **4.2.3. Presostatos**

Los presostatos se utilizan como protección contra una presión de aspiración demasiado baja o una presión de descarga excesiva en el compresor. Los presostatos se utilizan también para arrancar y parar compresores de refrigeración y ventiladores de condensador refrigerados por aire.



## Características

- Acción de disparo del conmutador extremadamente corta
- Reduce el desgaste al mínimo y aumenta la fiabilidad.
- Control manual
- Resistentes a choques y vibraciones
- La prueba del funcionamiento eléctrico de los contactos se puede efectuar sin herramientas. Dotado con diferencial bajo para la regulación de la baja presión. Para refrigerantes de alta presión equipados con fuelles de seguridad positiva.
- Diseño compacto
- Fuelle enteramente soldado
- Óptima fiabilidad, tanto la mecánica como la electrónica.

## Terminología

- *Presión de trabajo admisible:* La presión de trabajo admisible es la impuesta, por razones de seguridad, a las instalaciones frigoríficas y a cada uno de sus componentes. La presión de trabajo admisible se denomina PB.
- *Presión de prueba máxima:* La presión de prueba se utiliza en pruebas de resistencia y/o de estanqueidad de las instalaciones frigoríficas o de cada uno de sus componentes. La presión de prueba se denomina p'.

### 4.2.4. Válvulas de cierre

Las válvulas de cierre manual se utilizan en tubería de líquido, de aspiración y de gas caliente en instalaciones de refrigeración.

## Características

- Puede utilizarse con todos los refrigerantes fluorados.
- Equipada con tres membranas de acero inoxidable que impiden las fugas durante toda la vida útil de la válvula.
- El disco de válvula de poliamida ofrece un cierre completo con un par mínimo.
- La cubierta de válvula con contraasiento impide la penetración de humedad.



## Datos técnicos

- Gama de temperatura de 55 a 100\_C
- Gama de funcionamiento  $\Delta p = -1$  a 21 bar
- Presión de trabajo máxima PB = 28 bar
- Presión de prueba máxima  $p' = 30.8$  bar.

Las válvulas están disponibles en versión de paso recto y en versión de tres vías. La versión de tres vías permite cerrar la conexión lateral, pero los conectores de los extremos permanecerán siempre abiertos. La válvula puede dotarse de un soporte de montaje. El cuerpo de válvula, la tapa y el husillo son de latón, el volante de maniobra de plástico de color. Las válvulas tienen un sello de membrana triple concebido de manera que, por su propia tensión, levanta el plato de válvula de su asiento cuando la válvula se abre.

El plato de válvula propiamente dicho es de nilón y asegura una estanqueidad absoluta después de un ligero par de apriete. La zapata de empuje impide un contacto directo entre el husillo y las membranas, lo que contribuye a aumentar la vida útil de la válvula. El muelle puede mantener la válvula abierta con presiones de trabajo que descienden hasta -1 bar.

El contraasiento de la tapa protege contra la introducción de la humedad en posición totalmente abierta. Cuando la válvula está abierta, la presión del lado de salida no debe exceder la presión del lado de entrada en más de 1 bar.

### **4.3. Inversión del proyecto**

#### **Estructura:**

Con el fin de sujetar y mantener fijos todos los circuitos y componentes del banco didáctico, se hace indispensable la disposición de un tablero o mueble sobre el cual sean suspendidos, según corresponda, cada uno de los elementos antes mencionados. Por lo que atendiendo la necesidad de rigidez, durabilidad, estética y maniobrabilidad de dicho mueble, se concretizó en hacer uso de un plywood como tablero, al cual se le refuerza con tubo industrial de  $\frac{3}{4}$ ", fijándose luego en una base de polin C de 3" con rodos; los costos incurridos se detallan a continuación:

CANT.	CONCEPTO	\$ / UNIT.	\$ / TOTAL
1	Plywood 3/8"	\$20.50	\$20.50
2	Rodo giratorio	\$6.00	\$12.00
2	Rodo fijo	\$4.55	\$9.10
6	Sierra	\$0.68	\$4.08
20	Perno Hex. Zinc. 1/4" x 1 1/2"	\$0.10	\$2.00
20	Perno Hex. Zinc. 1/4" x 2"	\$0.11	\$2.20
10	Perno Hex. Zinc. 1/4" x 2 1/2"	\$0.14	\$1.40
50	Tuerca Zinc. 1/4"	\$0.03	\$1.50
2	Lb. Electrodo H/Dulce	\$1.75	\$3.50
3	Lija # 100	\$0.81	\$2.43
1	1/4 Anticorrosivo negro	\$3.96	\$3.96
2	Brocha 1"	\$0.53	\$1.06
1	1/8 Pintura Exc. Roja	\$2.66	\$2.66
1	1/8 Pintura Exc. Azul	\$2.66	\$2.66
1	Broca p' hierro 4 mm	\$0.49	\$0.49
6	Broca p' hierro 1/4"	\$0.60	\$3.60
2	Tubo H/Negro 3/4"	\$12.50	\$25.00
2	Polin "C" de 3"	\$22.00	\$44.00
25	Arandela plana Zinc. 1/4"	\$0.02	\$0.50
15	Arandela presión Zinc. 1/4"	\$0.03	\$0.45
20	Cincho plástico 6"	\$0.06	\$1.20
15	Cincho plástico 7"	\$0.08	\$1.20
1	Spray Almendra	\$2.25	\$2.25
1	Spray Cobre	\$2.00	\$2.00
1	1/4 Pintura aceite Blanco hueso	\$3.50	\$3.50
1	Botella solvente	\$1.00	\$1.00
1	1/8 Pega p' zapato	\$3.25	\$3.25
1	Varios	\$25.00	\$25.00
1	Alquiler equipo para soldadura	\$20.00	\$20.00
1	Transporte	\$15.00	\$15.00
			<b>\$217.49</b>

### Componentes del sistema de refrigeración:

Para ofrecer la diversidad de prácticas de posibles arreglos en sistemas de refrigeración, se adquirió una serie de dispositivos con los que se puede presentar esta opción al estudiante; y para ordenarlo y seccionarlo en el banco de trabajo, se hizo uso de válvulas de cierre manual, que permiten direccionar el paso del refrigerante según el sistema que se desee analizar. Se presenta la opción de dos condensadores, uno enfriado por aire y otro enfriado por agua, tres opciones de sistema de expansión los cuales son una válvula directa de control manual, un tubo capilar y una válvula de expansión con ecualización interna; finalmente, se presentan dos opciones de evaporador, uno con acondicionamiento por ventilación forzada y otro por acondicionamiento por conducción (oasis); por lo que combinando todas las

posibilidades se cuenta con 18 opciones de diversos arreglos del sistema. Los costos incurridos para esta área se detallan a continuación:

CANT.	CONCEPTO	\$ / UNIT.	\$ / TOTAL
20	Tuerca flare 1/4"	\$0.58	\$11.60
6	Tuerca flare 1/4"	\$0.70	\$4.20
12	Tuerca flare 3/8"	\$0.48	\$5.76
6	Tuerca flare 3/8"	\$0.57	\$3.42
10	Tubo Capilar	\$0.26	\$2.60
6	Válvula de paso 3/8"	\$4.94	\$29.64
8	Válvula de paso 1/4"	\$12.00	\$96.00
1	Válv. Expansión	\$55.60	\$55.60
1	Compresor 1/3 HP	\$88.04	\$88.04
1	Manifold	\$25.95	\$25.95
1	Filtro deshidratador	\$5.77	\$5.77
1	Visor de líquido	\$7.56	\$7.56
1	Ventilador	\$7.76	\$7.76
1	Termostato	\$6.00	\$6.00
1	Resistencia	\$2.00	\$2.00
5	Codo de cobre 1/4" a 90º	\$0.25	\$1.25
4	Codo de cobre 3/8" a 90º	\$0.49	\$1.96
2	Codo de cobre 1/2" a 90º	\$0.48	\$0.96
6	Tee soldable de cobre 3/8"	\$0.38	\$2.28
10	Tee soldable de cobre 3/8"	\$0.45	\$4.50
8	Pie tubo cobre 1/4"	\$0.57	\$4.56
15	Pie tubo cobre 1/4"	\$0.77	\$11.55
8	Pie tubo cobre 3/8"	\$0.77	\$6.16
15	Pie tubo cobre 3/8"	\$1.30	\$19.50
3	Pie tubo cobre 1/2"	\$1.02	\$3.06
1	Intercambiador de calor HXR-25	\$27.49	\$27.49
2	Niple flare/npt 1/2" x 3/8"	\$0.98	\$1.96
1	Fibra rígida 4' x 10' x 1'	\$40.28	\$40.28
2	Rubatex en tubo 3/8" x 3/4"	\$1.29	\$2.58
1	Alquiler equipo p' soldadura y vacío	\$50.00	\$50.00
			<b>\$529.99</b>

### Sistema eléctrico:

Como todo sistema de refrigeración por compresión de vapor, se requiere de una fuente de alimentación eléctrica para el accionamiento del motor (compresor) del sistema, además, para siempre con la visión de lograr mayor diversidad de casos de estudio, se ha instalado una caja de control, en la que además de accionar o parar el funcionamiento del equipo, se tenga la posibilidad de manipular el funcionamiento o no de los ventiladores de los intercambiadores de calor (condensador y evaporador), en este mismo punto se controla el switch de baja presión, para habilitarlo o deshabilitarlo, considerando que al trabajar con el sistema de capilar, las presiones

en el punto de succión descienden un poco más y este dispositivo evitaría observar el completo funcionamiento del equipo; finalmente, también se presenta la opción para el educador de eliminar la luz de los leds que indican una falla por alta o baja presión, para que sea el alumno quien analice y descubra un problema determinado. Por otra parte, para permitir al educando relacionar teoría con práctica, se ha colocado un diagrama presión entalpía, en el que se puede apreciar los cambios termodinámicos sufridos por el refrigerante dentro del proceso. Los costos incurridos se detallan a continuación:

CANT.	CONCEPTO	\$ / UNIT.	\$ / TOTAL
1	Diagrama	\$5.00	\$5.00
40	Led 5 mm Red	\$0.20	\$8.00
2	Tableta perforada de cobre 1 1/2" x 1 3/4"	\$1.06	\$2.12
6	ECG4017 IC CMOS	\$0.40	\$2.40
3	ECG955 IC KS555 Sansung	\$0.57	\$1.71
2	Resistencia	\$0.21	\$0.42
3	Surtido de potenciómetro	\$0.57	\$1.71
7	Switch 13A/125V neón	\$0.99	\$6.93
2	Luz piloto rojo	\$4.07	\$8.14
2	Luz piloto verde	\$4.07	\$8.14
1	Luz piloto amarilla	\$4.07	\$4.07
4	Alambre THHN 12	\$0.53	\$2.12
3	Cañuela 16 x 10 mm	\$1.70	\$5.10
1	Cañuela 40 x 12.5 mm	\$6.25	\$6.25
15	Metro cable SAE 12	\$0.77	\$11.55
30	Metro cable SAE 18	\$0.23	\$6.90
25	Terminal T / bandera	\$0.15	\$3.75
1	Ckto. y Tarjeta electrónica	\$20.00	\$20.00
1	Alquiler herramientas	\$20.00	\$20.00
			<b>\$124.31</b>

Consolidando los costos de cada una de las áreas definidas anteriormente, la inversión en la construcción del banco para pruebas de refrigeración se resume de la siguiente manera:

Nº	DETALLE	\$ / TOTAL
1	Estructura del banco de pruebas	\$217.49
2	Componentes del sistema de refrigeración	\$529.99
3	Sistema eléctrico	\$124.31
	TOTAL =	<b>\$871.79</b>

#### **4.4. Proceso de construcción**

El Banco de Pruebas para Sistema de Refrigeración por absorción de vapor fue concebido como un equipo didáctico con el cual, el usuario a simple vista podrá entender los procesos que están ocurriendo sin tener que tocar las tuberías para poder saber que rutas de flujo se seleccionaron; con él se pretende ser lo más explícito posible para que el usuario no se distraiga en cuestiones irrelevantes, y se enfoque a entender el funcionamiento de un sistema de refrigeración mecánica bajo las diferentes condiciones que se podrán simular

Ha sido diseñado con la finalidad de poder para poder entender de la forma más sencilla su funcionamiento y características particulares, así como para determinar cuando existe una falla o anomalía en el circuito; este objetivo se logra eliminando los componentes por medio de válvulas que nos bloquean por completo el paso del refrigerante por la parte del circuito que se desee. Cada etapa se controla independientemente una de otra. Los elementos que se eliminan son: los condensadores, los evaporadores y los dispositivos de expansión, así como también, los ventiladores de los intercambiadores de calor por convección forzada y una protección por presión inadecuada de trabajo del refrigerante.

Para dar mayor énfasis al objetivo didáctico del equipo, se han realizado dos consideraciones más; primero, se optó por ordenar los componentes del banco en sentido anti-horario, que es la secuencia real de comportamiento de los gases en sus procesos de trabajo por compresión; y segundo, como un refuerzo al punto anterior, se dispuso un diagrama presión – entalpía en el que mediante una secuencia de leds se indica el comportamiento de los refrigerantes al pasar del estado líquido a vapor y viceversa.

Luego de su fabricación, este equipo pasa a ser donado al Laboratorio de Aire Acondicionado y Refrigeración del Centro de Investigaciones y Transferencias de Tecnología (CITT) de la Universidad Don Bosco, con el fin de que cualquier persona tenga acceso al estudio de la refrigeración.

A continuación se muestran las cartas de flujo o de proceso de cada uno de los aspectos citados anteriormente para la concepción del trabajo final, y finalmente

se presenta de manera visual, el trabajo realizado para la construcción del Banco para pruebas de Refrigeración:

<b>CARTA DE FLUJO O DE PROCESO</b>							
GRAFICA N° 1	HOJA N° 1 DE N° 3	RESUMEN					
PIEZA:	ESTRUCTURA PARA SOPORTE	ACTIVIDAD			ACTUAL		
ACTIVIDAD:	PREPARAR ESTRUCTURA DEL BANCO	OPERACIÓN	○	15			
		TRANSPORTE	➡	2			
LUGAR:	SAN MARTÍN	DEMORA	⊖	5			
EJECUTANTES:	EDWIN / ROBERTO / JOSE	INSPECCION	□	1			
PREPARADA POR:	JLPZ	ALMACENAJE	▽	1			
FECHA:	19 / JUL. / 2008	TOTAL			24		
N°	DESCRIPCION	OPERACIÓN	TRANSPORTE	DEMORA	INSPECCION	ALMACENAJE	OBSERVACIONES
1	Realizar el diseño de la estructura del Banco	●	➡	⊖	□	▽	En AutoCAD
2	Compra de los materiales	●	➡	⊖	□	▽	Almacenes VIDRI
3	Transportar los materiales al lugar de trabajo	○	➡	⊖	□	▽	
4	Materiales en espera de preparación	○	➡	●	□	▽	Compra de Disp. de Refrig.
5	Medir y cortar el plywood	●	➡	⊖	□	▽	
6	Medir y cortar el tubo de hierro negro	●	➡	⊖	□	▽	P' marco del plywood
7	Piezas cortadas en espera de ser soldadas	○	➡	●	□	▽	Prep. del Eq. de Soldadura
8	Soldar marco de tubo de hierro negro	●	➡	⊖	□	▽	
9	Taladrar marco de tubo de hierro negro	●	➡	⊖	□	▽	Para sujetar al plywood
10	Empernar plywood a marco metálico	●	➡	⊖	□	▽	
11	Medir y cortar polín C	●	➡	⊖	□	▽	Para base del Banco
12	Piezas cortadas en espera de ser soldadas	○	➡	●	□	▽	Prep. del Eq. de Soldadura
13	Soldar base metálica de polín C	●	➡	⊖	□	▽	
14	Soldar ruedas a base metálica	●	➡	⊖	□	▽	
15	Verificar soldaduras	○	➡	⊖	●	▽	
16	Pintar piezas metálicas preparadas	●	➡	⊖	□	▽	Marco y base
17	Preparar soportes para marco metálico	●	➡	⊖	□	▽	P' no soldar marco a base
18	Ensamblar marco con plywood a base metálica	●	➡	⊖	□	▽	
19	Medir y cortar el plywood	●	➡	⊖	□	▽	P' ubicar intercambiadores
20	Preparación de otros componentes del Banco	○	➡	●	□	▽	Sistema de refrigeración
21	Pintar el plywood	●	➡	⊖	□	▽	
22	Preparación de otros componentes del Banco	○	➡	●	□	▽	Sistema eléctrico
23	Transporte del banco hacia la institución	○	➡	⊖	□	▽	
24	Entrega del equipo	○	➡	⊖	□	●	Laboratorios CITT / UDB

### CARTA DE FLUJO O DE PROCESO

GRAFICA N° 1		HOJA N° 2 DE N° 3		RESUMEN			
PIEZA:		SISTEMA DE REFRIGERACIÓN		ACTIVIDAD			ACTUAL
ACTIVIDAD:		ESTRUCTURAR EL BANCO DE PRUEBAS DE REFRIGERACIÓN		OPERACIÓN	<input type="radio"/>	15	
				TRANSPORTE	<input type="checkbox"/>	1	
LUGAR:		SAN MARTÍN		DEMORA	<input type="checkbox"/>	6	
EJECUTANTES:		EDWIN / ROBERTO / JOSE		INSPECCION	<input type="checkbox"/>	2	
PREPARADA POR:		JLPZ		ALMACENAJE	<input type="checkbox"/>	1	
FECHA:		19 / JUL. / 2008		TOTAL			25
N°	DESCRIPCION	OPERACIÓN	TRANSPORTE	DEMORA	INSPECCION	ALMACENAJE	OBSERVACIONES
1	Realizar el diseño del circuito de refrigeración	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	En AutoCAD
2	Compra de materiales y accesorios de refrigeración	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	UNIREFRI
3	Transportar los materiales al lugar de trabajo	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	Accesorios en espera de preparación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Preparac. de la estruct.
5	Instalación de los intercambiadores enfriados por aire	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Evap. y Cond.
6	Preparación preliminar del oasis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2ª opción de evaporador
7	Verific. de la posición de los principales elementos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	Sujeción de las válvulas manuales a la estructura	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	Sujeción de filtro, visor y válvula de expansión	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	Instalación de condensador enfriado por agua	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11	Medir y cortar tubería de cobre	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12	Avellanado de tubería de cobre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Instalando tuercas flare
13	Preparación del oasis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raspado y pintura
14	Sujeción del oasis a la estructura de madera	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
15	Conexión de todos los accesorios por medio de tubería	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Soldadura oxiacetilénica
16	Instalación del compresor a la base metálica	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
17	Limpieza del sistema	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Con R141b y Nitrógeno
18	Presurización con nitrógeno para prueba de fugas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Un día a 175 psi
19	Corrección de fugas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
20	Limpieza del sistema y prueba de fugas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
21	Conexión del compresor al sistema de refrigeración	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
22	Vacío al sistema	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Hasta 29 mmHg
23	Carga de refrigerante	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
24	Pruebas de funcionamiento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
25	Entrega del Banco a la institución educativa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Lab. CITT / UDB

### CARTA DE FLUJO O DE PROCESO

GRAFICA N° 1		HOJA N° 2 DE N° 3		RESUMEN					
PIEZA:		SISTEMA DE REFRIGERACIÓN		ACTIVIDAD			ACTUAL		
ACTIVIDAD:		ESTRUCTURAR EL BANCO DE PRUEBAS DE REFRIGERACIÓN		OPERACIÓN	<input type="radio"/>	15			
				TRANSPORTE	<input type="checkbox"/>	1			
LUGAR:		SAN MARTÍN		DEMORA	<input type="checkbox"/>	6			
EJECUTANTES:		EDWIN / ROBERTO / JOSE		INSPECCION	<input type="checkbox"/>	2			
PREPARADA POR:		JLPZ		ALMACENAJE	<input type="checkbox"/>	1			
FECHA:		19 / JUL. / 2008		TOTAL			25		
N°	DESCRIPCION			OPERACIÓN	TRANSPORTE	DEMORA	INSPECCION	ALMACENAJE	OBSERVACIONES
1	Realizar el diseño del circuito de refrigeración			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	En AutoCAD
2	Compra de materiales y accesorios de refrigeración			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	UNIREFRI
3	Transportar los materiales al lugar de trabajo			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	Accesorios en espera de preparación			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Preparac. de la estruct.
5	Instalación de los intercambiadores enfriados por aire			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Evap. y Cond.
6	Preparación preliminar del oasis			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2ª opción de evaporador
7	Verific. de la posición de los principales elementos			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	Sujeción de las válvulas manuales a la estructura			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	Sujeción de filtro, visor y válvula de expansión			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	Instalación de condensador enfriado por agua			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11	Medir y cortar tubería de cobre			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12	Avellanado de tubería de cobre			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Instalando tuercas flare
13	Preparación del oasis			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raspado y pintura
14	Sujeción del oasis a la estructura de madera			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
15	Conexión de todos los accesorios por medio de tubería			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Soldadura oxiacetilénica
16	Instalación del compresor a la base metálica			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
17	Limpieza del sistema			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Con R141b y Nitrógeno
18	Presurización con nitrógeno para prueba de fugas			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Un día a 175 psi
19	Corrección de fugas			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
20	Limpieza del sistema y prueba de fugas			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
21	Conexión del compresor al sistema de refrigeración			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
22	Vacío al sistema			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Hasta 29 mmHg
23	Carga de refrigerante			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
24	Pruebas de funcionamiento			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
25	Entrega del Banco a la institución educativa			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Lab. CITT / UDB



**Fotografía 1: Corte de Plywood**



**Fotografía 4: Equipo para soldadura eléctrica**



**Fotografía 2: Preparación de accesorios**



**Fotografía 5: Preparación de estructura metálica**



**Fotografía 3: Preparación de accesorios**



**Fotografía 6: Ensamble de plywood con estructura metálica**



**Fotografía 7: Preparación de base metálica**



**Fotografía 8: Pintura de base metálica**



**Fotografía 9: Ensayo de ubicación de los accesorios**



**Fotografía 10: Equipo utilizado para soldar tubería de cobre**



**Fotografía 11: Procedimiento de limpieza a los intercambiadores**



**Fotografía 12: Preparación de evaporador (oasis)**



**Fotografía 13: Procedimiento de soldar sistema de tuberías de cobre**



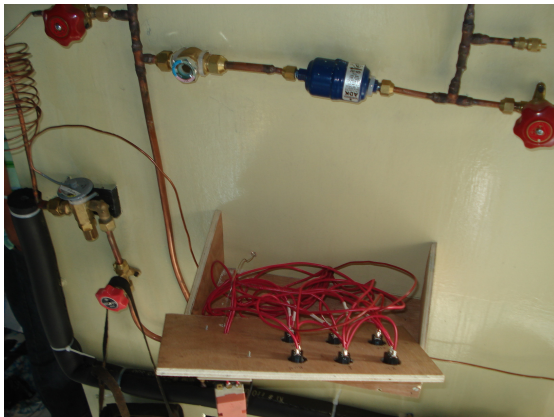
**Fotografía 14: Pintura de estructura de madera**



**Fotografía 15: Preparación de sistema eléctrico**



**Fotografía 17: Instalación de diagrama P-H**



**Fotografía 16: Preparación de tablero eléctrico**

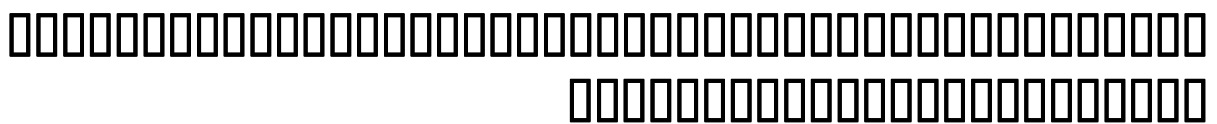


**Fotografía 18: Pruebas preliminares de funcionamiento**



**Fotografía 19: Estructura final**

# Manual de operación y Guías de Laboratorio



## 5.1. Introducción

El banco de pruebas para un sistema de refrigeración, así como todo equipo didáctico, fundamenta su importancia en el beneficio educativo que de él pueda obtenerse; por tal motivo, en el presente capítulo se presentan unas propuestas de guías de laboratorio, para implementarlas en actividades prácticas de la cátedra de Aire Acondicionado y Refrigeración, ó en los cursos de capacitación que la institución ofrece a personal particular

El capítulo da inicio con la presentación de un Manual de Operación del Banco de Pruebas fabricado para prácticas de refrigeración, donde como para toda maquinaria, en el se detallan sus características eléctricas y la forma como operarlo, así también, una guía para mantenimiento del equipo y un cuadro de diagnóstico de fallas; y posteriormente, se presenta la propuesta de las nueve guías para prácticas de laboratorio con las que se culmina el capítulo.

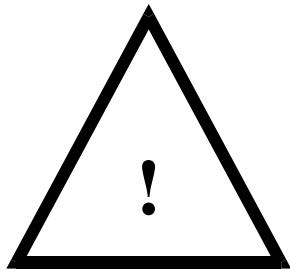
## 5.2. Manual de operación

Todo equipo o maquinaria tiene unas observaciones operativas definidas por el fabricante, por lo que a continuación se presenta el Manual de Operación para el Banco de Pruebas de Refrigeración



# *Manual de Operación*

Equipo didáctico para laboratorio de  
Refrigeración con R-134a



El presente Manual de operación contiene información adicional con relación a la seguridad. Esta información viene identificada con un triángulo más un signo de admiración. Lea atentamente todas las instrucciones y actúe de acuerdo con ellas. En caso de incumplimiento las consecuencias podrían ser graves tanto para el aparato, como para otros objetos, además de muy lesivos para las personas, ya que pueden producir incluso la muerte

## INDICE




1. Instrucciones de seguridad.....	iv
2. Introducción.....	v
3. Instalación.....	vi
4. Elementos de manejo y partes del equipo .....	vii
5. Esquema del equipo .....	viii
6. Descripción general del equipo .....	viii
7. Puesta en servicio .....	ix
8. Mantenimiento .....	x
9. Solución de problemas .....	xii
10. Especificaciones técnicas.....	xiii

## 1. Instrucciones de seguridad

El usuario es el responsable de operar este equipo de forma responsable y adecuada. Lea primero detenidamente las instrucciones y recomendaciones de seguridad.


- a. Consérvelo durante toda la vida útil del equipo
- b. Léalo antes de realizar cualquier operación

### Señales de advertencia:


	Instrucción para evitar peligros personales
	Instrucción para evitar que se dañe el equipo
	Se requiere la intervención de un técnico experto y autorizado


### Indicaciones generales:


⊗ Siga todas las indicaciones de seguridad relativas al montaje, funcionamiento etc. Únicamente así se podrá garantizar una manipulación adecuada para garantizar el buen funcionamiento del equipo.


⊗  Desconecte siempre el aparato, antes de proceder a realizar cualquier tarea de mantenimiento o reparación y siempre antes de mover el aparato Transporte el aparato cuidadosamente.


 Si el aparato se cae o se golpea puede dañarse incluso el interior del mismo.


⊗  No ponga el aparato en marcha si el cable de alimentación muestra signos de deterioro.

⊗  Siempre que valla a desconectar algún accesorio debe asegurarse que no contenga refrigerante en la tubería.

 Los dispositivos de seguridad en el circuito de refrigeración están a cargo del usuario

 El equipo debe utilizarse exclusivamente para uso educativo y con el objeto para el cual ha sido diseñado


 La alteración o sustitución de cualquier componente, así como el uso inadecuado del equipo, es responsabilidad de la institución educativa a la que se ha donado el banco de pruebas

 El fabricante no asume ninguna responsabilidad por daños debidos a alteraciones o modificaciones posteriores a la entrega oficial del equipo

## 2. Introducción


El presente manual ha sido elaborado para garantizar el uso adecuado del Banco para Pruebas de Refrigeración con refrigerante 134a, el cual ha sido diseñado y fabricado con fines didácticos para la población educativa que la institución estime conveniente

### Transporte:

 Por las dimensiones del equipo, el transporte de éste se vuelve complicado; sin embargo, para protegerle al máximo, deberán tomarse muy en cuenta las siguientes observaciones:

- Transportarse en posición vertical
- Protegerlo de los agentes atmosféricos y de golpes
- Cuando se halla transportado por recorridos largos esperar al menos una hora antes de ponerlo a trabajar

### Traslado:

 Para trasladar el equipo en distancias cortas y sin problemas de piso, puede hacerse por medio de los rodos instalados en su base. Para otro tipo de

traslados lo más conveniente es auxiliarse de una carretilla elevadora con horquillas, adecuada para el peso del equipo, procurando evitar todo tipo de golpes

### **Inspección:**

Antes de su entrega, el equipo ha sido inspeccionado en lo que respecta a su carga de aceite, refrigerante y el sistema eléctrico

### **Almacenaje:**

Si por algún motivo es necesario almacenar el equipo, éste debe conservarse desconectado de la alimentación eléctrica, en un lugar limpio y protegido de la humedad y la intemperie

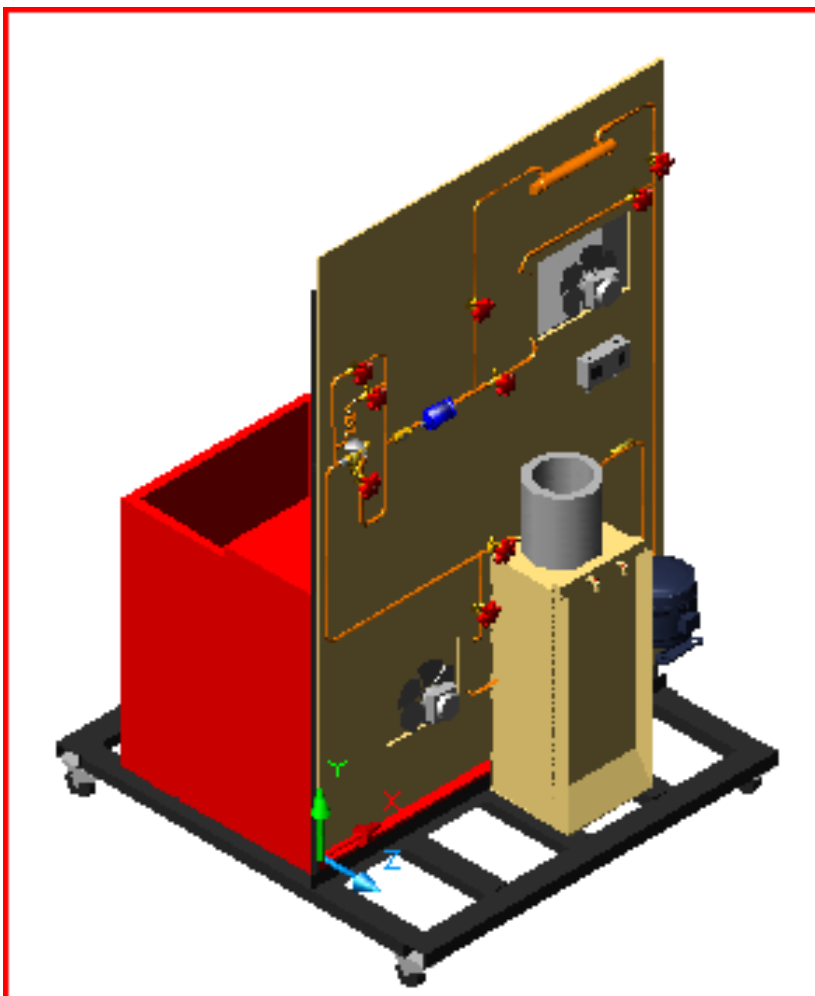
## **3. Instalación**

- Instale el equipo bajo techo, en un lugar limpio y protegido de los agentes atmosféricos directos, incluida la luz solar
- Ubicar el equipo lejos de fuentes de calor o de paredes expuestas al sol por tiempos prolongados
- Deje un espacio libre de al menos un metro alrededor del equipo
- Verifique que el equipo este conectado a el suministro de energía correspondiente a 110 V
- Cuando la unidad evaporadora genere escarcha nunca la retire con objetos puntiagudos
- No toque la superficie del congelador con las manos mojadas puede ocasionar serios daños personales
- No tape ninguna unidad con paños, telas o plásticos ya que puede obstruir la conducción libre de calor
- En sitios donde haya riesgo de explosión, es preciso mantener un extintor a la mano
- Si el equipo necesita una carga extra de refrigerante asegúrese que se R-134a

#### **4. Elementos de manejo y partes del equipo**

- a. Estructura metálica para soporte de los elementos del banco
- b. Interruptor de encendido y apagado del equipo
- c. Conector a tomacorriente.
- d. Compresor
- e. Evaporador
- f. Elemento Expansor
- g. Condensador
- h. Filtro deshidratador
- i. Deposito tipo oasis para enfriamiento de agua
- j. Ducto de transporte de aire frío.
- k. Recamara con temperatura controlada
- l. Manómetros para refrigeración con escala de temperaturas para R-134a.
- m. Válvulas de cierre de circuito

## 5. Esquema del equipo



## 6. Descripción general del equipo

El equipo es básicamente didáctico, orientado al área de refrigeración. Consta de todos los dispositivos para cumplir un ciclo básico de refrigeración tales como un condensador, un evaporador, un compresor y un dispositivo expensor; su diseño ha sido concebido con la inclusión de válvulas de servicio en los puntos clave del ciclo, para que los educandos, tengan la posibilidad de tomar las medidas de presión y temperatura en ellos, para poder confrontar la teoría con lo real en un ciclo de refrigeración.

Otra característica particular incluida al equipo, es la posibilidad de realizar variantes al circuito de refrigeración; esto se puede lograr mediante unas válvulas de

cierre manuales, con las que se puede optar por trabajar con uno u otro tipo de elemento (condensador, evaporador o dispositivo de expansión), o ambos inclusive, y verificar el comportamiento de los parámetros de trabajo

El equipo se ha diseñado en un panel vertical para una fácil visualización de los componentes de parte de los educando; además, presenta un esquema del diagrama presión-entalpía teórico para que los estudiantes puedan identificar como es el recorrido en los dispositivos reales con respecto a éste.

Con respecto a la operación, se ha dispuesto una caja de control para la manipulación del funcionamiento del equipo y la detección de fallas; en fin, es fácil de operar y muy completo para analizar

## **7. Puesta en servicio**

Antes de poner el equipo en marcha compruebe que:

- a. La instalación se haya realizado según lo indicado en el capítulo 3
- b. El selector del equipo se encuentre en posición de apagado
- c. La alimentación eléctrica tenga los valores apropiados
- d. Espere al menos una hora después de montarlo. Durante este tiempo las acumulaciones laterales de aceite causadas por el transporte pueden disolverse, permitiendo al compresor de desarrollar su plena Potencia

Ponga en marcha el equipo accionando el interruptor de encendido. Según los requerimientos de cada práctica, puede ó no accionarse el selector de encendido de los indicadores de trabajo y fallas del equipo, en ambos casos, siempre que estén las condiciones apropiadas, el equipo operará normalmente

La temperatura que producirá el sistema vendrá dada del arreglo que se tenga en el circuito. El aproximado de temperatura de operación es 5 °C

Para detener el funcionamiento del equipo accione el interruptor de encendido del equipo a la posición de apagado.



- Si apaga el equipo y desea trabajar nuevamente con él, espera al menos 3 minutos para que se estabilicen las presiones internas del refrigerante y evitar una fatiga severa al compresor con la posibilidad de dañarse
- *Nunca* intente cambiar las variables de corriente o voltaje por tratar de variar temperatura controlada, esto puede ocasionarle daños irreversibles al equipo

## 8. Mantenimiento

El equipo ha sido diseñado con fines didácticos; por lo tanto, ha de trabajar en periodos cortos y no ser sometido a un funcionamiento de manera continua, considerando que para su construcción se ha buscado adecuar algunos dispositivos adquiridos en concepto de donación con los cálculos de diseño. No obstante, la duración del banco y sus componentes depende directamente del mantenimiento que reciban

El hecho de que el equipo operará en periodos relativamente cortos, dependiendo del tiempo asignado a las prácticas que con él se realicen, da lugar a que los usuarios o el encargado del equipo se descuiden de algo muy fundamental como es la limpieza; lo más esencial es estar chequeando que todos los componentes no tengan polvo, ya que es un agente muy dañino principalmente para las partes de funcionamiento eléctrico del equipo

Si hubiere polvo asegúrese de desconectar el equipo y limpiar con un paño seco o aspirar el polvo de cada elemento para evitar daños a largo plazo esto alargaría la vida útil del equipo. Para limpiar la base y lugar de montaje de dispositivos puede hacerlo con un paño humedecido ligeramente

### **Avisos generales:**

- ⊗ Antes de realizar cualquier operación de mantenimiento, compruebe que:
  - El equipo no esté conectado a la alimentación de corriente
  - Se tenga a la mano el equipo de trabajo apropiado para realizar el mantenimiento

- ☹️ Riesgo de shock eléctrico. Puede causar daños o incluso muerte; desconectar el suministro eléctrico antes de la manipulación
- 👤 Cualquier modificación al diseño original del equipo y sus componentes queda bajo la responsabilidad del que lo realice ó en su defecto, de quién lo autorice
- 📱 En caso de pérdida de refrigerante, la recarga o reposición de éste debe ser realizada por personal experto
- 📱👤 Si el equipo necesita una carga extra de refrigerante asegúrese que se R-134a
- 📱👤 Una práctica incorrecta en la recarga de refrigerante puede influir considerablemente en el funcionamiento del equipo, hasta el punto de dañarlo

**Programa de mantenimiento preventivo:**

Para garantizar la máxima duración y eficacia del secador, es preciso:

Acciones de mantenimiento	Intervalo de tiempo (condiciones de funcionamiento estandar)				
	Diaria	Semanal	Mensual	Semestral	Anual
Comprobar todos los indicadores del panel de control	👁️				
Limpezas periódicas al equipo y sus componentes		🔧			
Comprobar que dreño esté libre		👁️			
Limpiar el condensador, rejillas y conexiones			🔧		
Comprobar parámetros de corriente consumida				👁️	
Dar mantenimiento preventivo a ventiladores				🔧	
Verificar estado de la madera. Proteger de polilla si es necesario				👁️	
Comprobar las pérdidas de refrigerante				👁️	
Comprobar manómetros. Sustituir si es necesario					👁️
Renovar pintura a estructura metálica del equipo					🔧
	👁️	Comprobar		🔧	Actuar

## 9. Solución de problemas

<b><i>Problema</i></b>	<b><i>Posible causa</i></b>	<b><i>SOLUCION</i></b>
COMPRESOR NO ARRANCA	No hay voltaje en la toma de alimentación	Cerciorase que el equipo esté conectado a una fuente de alimentación de 110 V Verificar con un voltímetro que el compresor tenga la tensión de voltaje requerida
	Conductor eléctrico o alambres cortados	Utilizando un ohmiómetro, verifique si existe continuidad en el conductor eléctrico o alambre.
	Falla en los componentes eléctricos tales como: Termostato, Protector térmico .	Reemplazar el componente defectuoso
	Termostato en posición "off"	Fije la posición de la perilla del termostato en frío máximo y observe si el compresor arranca.
	Bobinas del motor de compresor cortadas o quemadas.	Mida la resistencia óhmica de las bobinas principal compárelas con los valores correctos.
	Falso contacto con el toma de electricidad	Reemplace toma de corriente.
	Bajo voltaje	Para eliminar el problema de voltaje menor que 103 volts. Es recomendado el uso en un regulador de voltaje.
	Baja presión en la succión	Verificar si la cantidad de refrigerante del equipo es la adecuada Si está utilizando el sistema con capilar, elimine la protección por baja presión a través del switch instalado para tal función
DEMASIADO FRIO	Compresor pegado	Reemplace el compresor.
	Termostato fijado en posición muy fría	Fije el termostato a una posición mas caliente y verifique si el compresor para dentro del rango de operación del termostato.
	Termostato no desconecta la unidad condensadora	Verifique la fijación del bulbo del termostato. Si el problema continua, cambie el termostato.
POCO FRIO	Termostato fijado en posición muy caliente	Fije la posición del termostato a una posición mas fría.
	Condensador sucio, falta de circulación de aire.	Limpie el condensador y permita la circulación de aire.
	El banco de pruebas esta mal ubicado	El banco no debe de estar expuesto al sol, o lugares sin circulación de aire.
	Falta gas refrigerante	Cargue correctamente.
	Ventilador del evaporador o de unidad condensadora no funciona	Verifique conexiones eléctricas y que el aspa no este trabada, reemplace el componente cuando el motor este quemado.
	Existe una fuga de gas refrigerante	Verifique el punto donde se encuentra la fuga para eliminarla o reemplazar el componenente, cambie el filtro deshidratado, efectue vacio y coloque nueva carga de gas.
	Bajo voltaje	Para eliminar el problema del voltaje menor a 103 volts es recomendado el uso de un regulador de voltaje.

<u>Problema</u>	<u>Posible causa</u>	<u>SOLUCION</u>
CHOQUE ELECTRICO	Alambres o dispositivos eléctricos en contacto con partes metálicas	Verifique si hay fallas en el aislamiento de un componente eléctrico que este en contacto con partes metálicas, aisle correctamente.
	Compresor con paso de corriente a la carcasa	Verifique continuidad conectando las terminales de una lámpara de prueba entre el borne común y el terminal de tierra del compresor si la lámpara enciende, reemplace el compresor.
RUIDO	Mala nivelación del banco de pruebas	Verifique si el ruido se elimina cuando el banco esta nivelado.
	Condensador mal fijado tuberías en contacto con metal	Teniendo el compresor funcionando, verifique si partes metálicas están en contacto y/o que los tornillos de sujeción del condensador estén debidamente apretados.
	Abanico del evaporador o de unidad condensadora flojo.	Verifique si los abanicos esta bien fijados. Verifique si el aspa del abanico esta floja, quebrada o torcida creando una excesiva vibración cambie el aspa.
	Compresor con ruido interno	Si después de analizar todos los aspectos previamente descritos el ruido persiste, su origen puede estar en el compresor.
CONDENSACION EXTREMA SOBRE EL BANCO	Termostato en posición demasiado fría	Fije la perilla del termostato en una posición mas caliente. Verifique que el compresor pare dentro del rango de operación del termostato .
	Humedad relativa del aire es muy alta. (Arriba del 75%)	Esta clase de daño es causado por las condiciones climatológicas locales y no por el banco
	El banco esta mal ubicado	El refrigerador no debe de estar ubicado cerca de fuentes de calor.
NO TRABAJAN LOS VENTILADORES DE LOS	Falla en la conexión electrónica	Verifique el cableado correspondiente
	Ventiladores apagados manualmente	Verifique que la posición de los switch de los ventiladores esté en posición de encendido
	Ventilador está dañado	Cambie el ventilador correspondiente

## 10. Especificaciones Técnicas

### Datos del compresor:

- Modelo: Tecumseh CAE4440Y
- Refrigerante de trabajo: 134a
- Capacidad nominal de refrigeración: 4,112 BTU/h
- Potencia: 1/3" HP
- Peso del compresor: 11.1 Kg
- Desplazamiento: 12 cm<sup>3</sup>
- Carga de aceite: 250 cm<sup>3</sup>










• Tipo de aceite:	P.O.E.
• Conexión eléctrica:	110 V
• Frecuencia:	60 Hz
• RLA	6.8 A
• Máx. Corriente:	10 A
• LRA	33 A
• Capacitor de arranque	315 $\mu$ F
• Tubo succión:	$\varnothing$ 5/16"
• Tubo descarga:	$\varnothing$ 1/4"
• Tubo válvula de servicio:	$\varnothing$ 5/16"

#### **Datos del equipo:**

• Estabilidad de temperatura:	5 °C
• Peso del equipo:	70 Kg
• Temperatura ambiente de trabajo:	32 °C
• Nivel de ruido:	50 dB

### 5.3. Guías de laboratorio

A continuación se presentan una serie de Guías de Laboratorio, elaboradas según el contenido de la asignatura de aire acondicionado y refrigeración, para realizarse con ayuda del banco de pruebas diseñado

-  GUÍA N° 1: Medición de presión y temperatura de operación en un sistema de refrigeración y aire acondicionado por compresión de vapor
-  GUÍA N° 2: Procesos de unión de tubería de cobre
-  GUÍA N° 3: Tipos y arranque de compresores
-  GUÍA N° 4: Dispositivos electromecánicos para protección y control de arranque de compresores para refrigeración y aire acondicionado
-  GUÍA N° 5: Carga de refrigerante R22 y R134a
-  GUÍA N° 6: Funcionamiento de un sistema de refrigeración
-  GUÍA N° 7: Dispositivos de control y seguridad de presión y temperatura
-  GUÍA N° 8: Control y detección de fallas
-  GUÍA N° 9: Uso de las tablas P-T como herramientas de servicio



## **TEMA**

### **MEDICIÓN DE PRESIÓN Y TEMPERATURA DE OPERACIÓN EN UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO POR COMPRESIÓN DE VAPOR.**

Objetivos específicos

Al concluir esta sección de laboratorio el participante tendrá la habilidad de:

- Utilizar de forma apropiada un colector de manómetro utilizado para medir presiones en un circuito frigorífico de R Y A/A.
- Realizar el proceso adecuado para medir presión en tanques cerrados con refrigerante R12, R 22 y R 134a
- Medir, de modo indirecto, la temperatura a la que un gas refrigerante está contenido dentro de un depósito.
- Generar presiones de vacío relativo y medir éstas con ayuda de manómetros tipo Bourdon.
- Utilizar equipo electrónico para medir vacío relativo en sistemas de R Y A/A.

## Introducción teórica

Toda sustancia de trabajo empleada como refrigerante contenida en un depósito cerrado ya sea esto una botella o una tubería de transporte de refrigerante de un sistema de refrigeración que opera en un ciclo cerrado, su temperatura está (como toda propiedad intensiva) en función de su naturaleza, su presión y otras variables las cuales dependen del estado termodinámico del fluido dentro del recipiente cerrado que es objeto de análisis.

Así, en un sistema de refrigeración y aire acondicionado (R y A/A), dado su función principal de acondicionar espacios ya sea a baja, media o alta temperatura, las propiedades termodinámicas, medibles como presión y temperatura del fluido de trabajo, revelan el desempeño del equipo antes mencionada; pero, ¿Porqué es tan importante la medición de estas propiedades de tipo intensivas para determinar el desempeño de un equipo de R y A/A?

La respuesta al cuestionamiento anterior se encuentra en los principios básicos del funcionamiento de R y A/A, específicamente, el proceso de transferencia de calor que se da internamente en los dispositivos intercambiadores de calor con referencia técnica a ellos como evaporador y condensador. En el primero, el refrigerante absorbe energía en forma de calor que se genera dentro del recinto a ser acondicionado, mientras que en el segundo, la energía absorbida es liberada a los alrededores (fuera del recinto) a través del condensador. En ambos dispositivos circula una mezcla bifásica de refrigerante la cual, como ya se sabe, el fluido de trabajo absorbe o libera, respectivamente, energía en forma de calor a temperatura constante; de ahí que basta con medir una de las propiedades intensivas en un punto cercano a la entrada de uno de los intercambiador para así “saber” la magnitud de otra propiedad requerida.

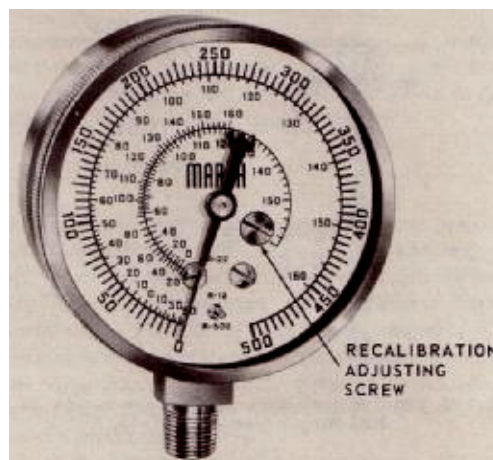
Cuando se acondiciona la temperatura de un recinto, el objetivo es mantener un espacio a una temperatura diferente a la temperatura ambiente. Esta temperatura es

mayor, en algunos grados, que la temperatura de la superficie del tubo del evaporador y en mucho más que la temperatura del refrigerante. Consiguientemente, como se cito anteriormente (todo el proceso de transferencia de calor en sistemas bifásicos sucede a temperatura constante para una presión definida), conocer la presión a la cual opera el dispositivo intercambiador da un parámetro sobre la temperatura de trabajo de la unidad.

De lo anterior se deduce que todo aumento de temperatura da por resultado un aumento de presión en el refrigerante y viceversa, el descenso de temperatura da lugar también a un descenso de presión. A la inversa, el cambio de presión origina a su vez un cambio de temperatura en igual relación de más o menos.

Así, controlando la presión ejercida sobre el refrigerante en los dispositivos de intercambio de calor, se obtendrán temperaturas más bajas o más altas que las de su correspondiente punto de evaporación a presión atmosférica (-12.2 °C para R-12, -26 °C para el R-22 a 105 101.05 kPa) (ver tabla 1 en anexo).

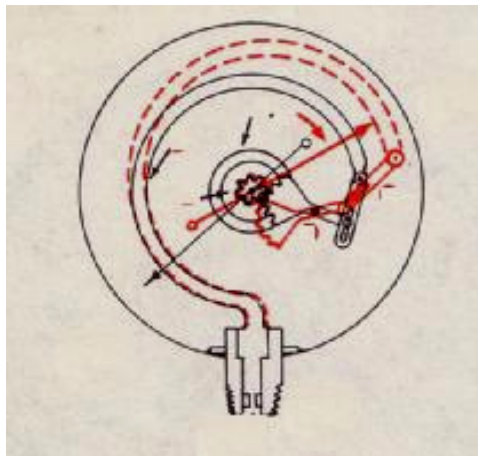
Dicho lo anterior, a continuación se procede con la descripción de uno del dispositivo más utilizado para la medición de presiones positivas como negativas (sobrepresión y depresión, respectivamente), el detalle a continuación.



**Ilustración 1:** Manómetro tipo Bourdon para ser utilizado en sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado

La ilustración 1 corresponde a un manómetro tipo Bourdon utilizado frecuentemente en R y A/A; éste es de funcionamiento y aspecto muy similar a los de uso convencional en la industria, es decir, cuenta con una escala de presión (graduación convencionalmente en psi, Kpa, in-Hg y bar), pero adicionalmente cuentan con una escala de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$  ó F) que corresponde, como ya se ha mencionado, a la temperatura de ebullición del refrigerante a presión indicada siendo esta su principal diferencia con los manómetro de uso convencional.

En la ilustración 2 se puede apreciar ilustración del sistema de accionamiento de un manómetro de de tipo Bourdon; en ésta se observa un tubo plano T de bronce flexible interno doblado el cual mide presiones manométricas (sin tomar en cuenta la presión atmosférica). Es oportuno hacer notar que en el caso de presiones de vacío, el mismo tubo es el que se contrae pero en sentido contrario.

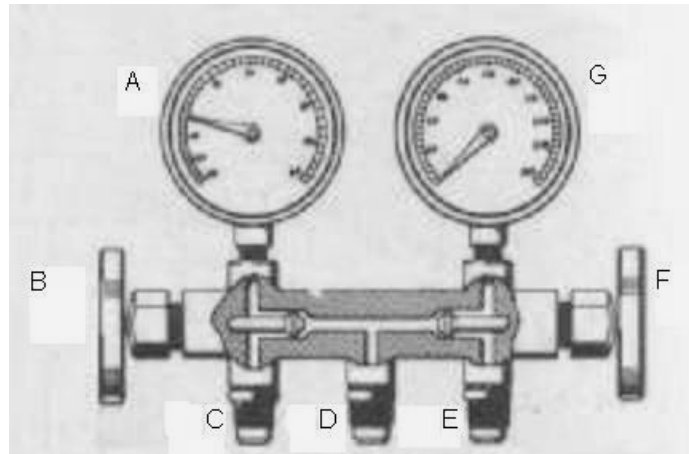


**Ilustración 2:** Esquema del sistema de accionamiento de un manómetro del tipo Bourdon

Cuando se verifican las presiones en un sistema como los mencionados, se hace en las etapas de presión alta y baja (vacío) para lo cual se utiliza el manómetro correspondiente en cada una. Ambos manómetros vienen instalados en un cuerpo metálico (ilustración 3) el cual es muy útil para efectuar tareas de mantenimiento como recarga de líquido refrigerante.

El cuidado que se deberá tener con este tipo de manómetros es de no sobrepasar la máxima presión puesto que la fatiga mecánica en el tubo vence la

constante de elasticidad del material quedando en una posición fija, es decir no regresa a su posición de equilibrio al desaparecer la presión actuante. Además, se recomienda utilizar el manómetro adecuado según el tipo de gas con el que está lleno el sistema.



**Ilustración 3:** Manifold de servicio, en el que vienen instalados los manómetros para la toma de presiones alta y baja de un sistema de refrigeración. En esta vista de sección pueden observarse las galerías por donde se conecta cada una de las vías de comunicación

Materiales y equipos

En cuanto a los materiales y equipo a ser utilizados para la práctica de laboratorio, está detallado en la tabla que se muestra a continuación:

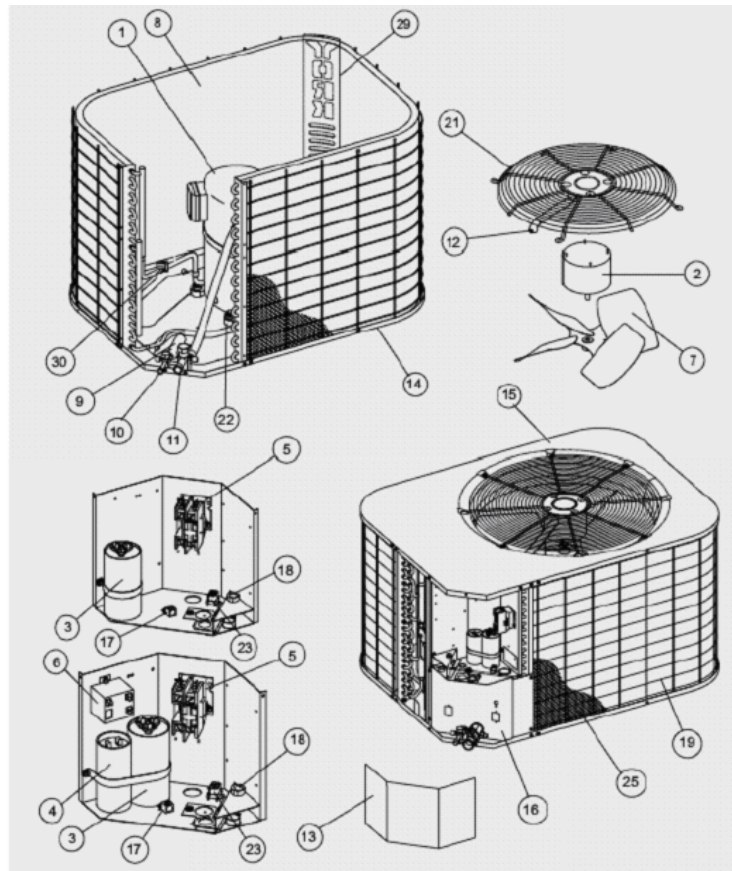
Nº	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	2	Cuerpo de manómetros tipo Bourdon (para R-22 y R134a C/U)
2	1	Bomba para vacío
3	6	Mangueras para cuerpo de manómetros (según código de color)
4	1	Tanque presurizado de R-22
5	1	Tanque presurizado de R-134a
6	1 / persona	Equipo de protección personal según práctica a efectuar. Para el caso, gafas protectoras y guantes de latex
7	1 / juego por grupo de trabajo	Tenaza de mecánico, destornillador plano y de cruz (4" mínimo), cepillo de alambre y multímetro digital con clamper
8	1	Termómetro laser (-20 a 450 °C)
9	2	Termómetro de carátula análogo y digital con espiga metálica

Es oportuno mencionar que el instructor de la práctica de laboratorio tiene que explicar en detalle el funcionamiento de cada tipo de herramienta ó equipo a utilizar en la práctica.

Procedimiento

**Parte I: MEDICIÓN DE PRESIONES Y TEMPERATURA DE GAS REFRIGERANTE DE UN EQUIPO MINI-SPLIT.**

Para poder realizar esta primera parte de esta práctica es necesario seleccionar uno de los equipo de aire acondicionado (puede ser cualquiera de los equipos instalados en el Edif. 6 del CITT, recomendando el que está en laboratorio de CNC), e instalar en el las mangueras del cuerpo de manómetros y medir las presiones y determinar las temperaturas de modo indirecto y luego medir esta misma con el termómetro infrarrojo.



**Ilustración 4:** Principales partes de un equipo de refrigeración en aire acondicionado tipo Mini Split

El procedimiento para esta práctica es el siguiente:

1. Proceda, con la ayuda de su instructor, al reconocimiento de todas las herramientas a ser utilizadas para esa práctica de medición de presiones y reconocimiento de parte de un equipo de aire a condicionado.
2. Luego de identificar las herramientas y equipo a ser utilizado, ubique el equipo de R y A/A a ser revisado. Ubicado el equipo, proceda con el reconocimiento de todas las partes tanto mecánicas como eléctricas que le sea posible indicando el nombre técnico ó sinónimo con el cual se le designe empíricamente. Puede auxiliarse de la ilustración 4 para esta actividad.
3. De los datos de placa complete la siguiente tabla

Datos físicos y eléctricos de la unidad evaporadora		
Datos físicos y eléctricos de la unidad a revisar		
1	Voltaje nominal de la fuente de potencia eléctrica	
2	Capacidad de la unidad en BTU/h ó Toneladas de refrigeración	
3	Rango de variación del voltaje de alimentación	
4	Corriente máxima y mínima de trabajo	
5	Corriente de plena carga	
6	Protección termomagnética recomendada	
7	Voltaje de alimentación del motor del ventilador	
8	Potencia eléctrica del ventilador	
9	Diámetro del ventilador	
10	Flujo volumétrico en CFM nominal	
11	Diámetro de la tubería de líquido (O. D.)	
12	Diámetro de la tubería de gas (O. D.)	
13	Libras y tipo de gas utilizado para recarga	

Los datos completados en la tabla anterior serán utilizados en práctica futuras por lo que se recomienda tenerlos a la mano.

Medición de presiones de trabajo:

- Posteriormente a la explicación realizada por su instructor con respecto al funcionamiento general de la unidad en cuestión, proceda a la medición de presiones para lo cual deberá de localizar cada uno de los conectores tipo FLARE SAE 45º de la unidad (ver referencia 10 y 11 en ilustración 4), tanto de baja como el de alta presión; luego conecte ahí cada una de las mangueras del manómetro tomando en cuenta el código de color que asigna el color rojo a la manguera utilizada para alta presión; azul para baja y por último color amarillo la utilizada para servicio como para conectar la bomba de vacío o para carga de refrigerante
- Con el sistema aún no en marcha e instalado el manómetro en cada uno de los conectores, abra las válvulas de alta y baja (pregunta a su instructor si no sabe como hacer eso), anote el valor medido con el manómetro para esta condición.

Como puede observar, las presiones están equilibradas pues el sistema ha estado en reposo.

6. Ponga en marcha la unidad de R y A/A y ponga mucho atención en la deflexión de la aguja de cada manómetros.
7. Lea en la escala de presión el valor que indica cada manómetro.
8. En la escala de temperatura de cada manómetro, lea la temperatura ahí indicada.
9. Utilizando el termómetro infrarrojo mida la temperatura en la superficie del tubo de baja y alta presión [¿será lo mismo decir de gas y líquido?]. Se debe apuntar la pistola directamente a las conexiones para que el resultado sea bastante aproximado al medido con el manómetro.

Medición de la temperatura de descarga de aire de salida del evaporador.

10. Ya dentro del recinto que será acondicionado, conecte uno de los termómetros en la succión del grupo de turbinas y otro en la descarga. Mida la diferencia de temperaturas entre ambos puntos y compare el valor de temperatura medido en la descarga con el dato de temperatura medido (ver indicado en el numeral 9) en la línea de baja. ¿Qué concluye al respecto?

## **Parte II. MEDICIÓN DE PRESIONES CON EL MANÓMETRO**

### **Medición de presión en tanques R-22, R-134 A en estado líquido y gaseoso**

11. Asegúrese que la válvula del tanque R-22 este cerrada
12. Proceda a cerrar la válvula del manómetro (Bourdon) de baja (consulte a su instructor en caso de que hubiera alguna duda).
13. Coloque la manguera del manómetro de baja en el niple del tanque del R-22
14. Coloque el tanque R-22 en posición normal (la válvula de la toma de gas apuntando en dirección vertical) y proceda a abrir completamente la válvula de éste.
15. Espere a que se estabilice la presión y proceda a leer la lectura en el manómetro

16. Cierre completamente la válvula del tanque R-22 y lea de nuevo la lectura en el manómetro.
17. Repita los pasos 1 al 6 pero solo que en el paso 4 invierta la posición o coloque de cabeza el tanque R-22.
18. Repita los pasos 11 al 17 pero con el lata o tanque de R-134a.

### **Parte III. MEDICIÓN DE LA PRESIÓN DE VACÍO RELATIVO**

19. Revise que no se encuentre el niple de succión de la bomba de vacío cerca de polvo o humedad.
20. Limpie el niple de conexión de la bomba.
21. Revise el nivel de aceite de la bomba.
22. Conecte la manguera de baja presión entre el manómetro de baja y el niple de succión de la bomba de vacío.
23. Cierre el interruptor de la bomba de vacío.
24. Observe el desplazamiento de la aguja del manómetro y cuando alcance el estado estacionario anote la lectura del medidor de presión
25. repita el procedimiento indicado desde el numeral 22 pero ahora conectando el VACUOMETRO a la bomba de vacío a través de una manguera hasta que éste indique un vacío de entre 300 a 100 mmHg.

Tabla 1: Tabla Presión-Temperatura de algunos refrigerantes. Condiciones de saturación

Vácuo- Itálico	REFRIGERANTE (CÓDIGO SPORLAN)		TEMPERATURA °C	REFRIGERANTE (CÓDIGO SPORLAN)		TEMPERATURA °C	REFRIGERANTE (CÓDIGO SPORLAN)		TEMPERATURA °C	REFRIGERANTE (CÓDIGO SPORLAN)		TEMPERATURA °C					
	R-22(V)	R-410(Z)		R-410(Z)	R-407C(N)		R-12(F)	R-134a(J)		R-22(V)	R-410(AZ)		R-407C(N)	R-12(F)	R-134a(J)		
-50	10.9	0.4	15.1	18.3	21.1	-10	36.8	68.6	30.9	17.1	14.4	25	136.8	225.2	155.7	79.7	81.8
-48	8.9	2.1	13.4	17.1	20.0	-9	38.6	71.5	32.6	18.2	15.5	26	140.8	231.6	160.3	82.3	84.7
-46	6.7	3.9	11.5	15.8	18.9	-8	40.5	74.6	34.4	19.4	16.8	27	145.0	238.1	165.0	84.9	87.7
-44	4.3	5.8	9.5	14.3	17.6	-7	42.5	77.7	36.3	20.6	18.0	28	149.3	244.8	169.9	87.6	90.7
-42	1.7	7.9	7.2	12.7	16.2	-6	44.4	80.8	38.2	21.8	19.3	29	153.8	251.5	174.8	90.4	93.8
-40	0.5	10.1	4.8	11.0	14.7	-5	46.5	84.1	40.2	23.1	20.6	30	158.2	258.5	179.8	93.2	97.0
-39	1.3	11.3	3.5	10.1	13.9	-4	48.6	87.4	42.2	24.4	22.0	31	162.8	265.5	184.9	96.0	100.2
-38	2.0	12.5	2.2	9.1	13.0	-3	50.8	90.8	44.2	25.8	23.4	32	167.4	272.7	190.2	98.9	103.6
-37	2.8	13.7	1.8	8.2	12.1	-2	53.0	94.3	46.4	27.1	24.8	33	172.1	280.0	195.5	101.9	106.9
-36	3.6	15.1	0.3	7.1	11.2	-1	55.2	97.9	48.6	28.6	26.3	34	177.0	287.5	200.9	105.0	110.4
-35	4.5	16.5	1.0	6.1	10.3	0	57.5	101.6	50.9	30.0	27.8	35	181.9	295.1	206.4	108.0	113.9
-34	5.3	17.9	1.8	5.0	9.3	1	59.9	105.3	53.1	31.5	29.3	36	186.9	302.8	212.0	111.2	117.6
-33	6.2	19.3	2.6	3.9	8.2	2	62.4	109.1	55.6	33.0	30.9	37	192.0	310.7	217.8	114.4	121.2
-32	7.1	20.8	3.4	2.7	7.2	3	64.9	113.1	58.0	34.6	32.6	38	197.2	318.7	223.6	117.6	125.0
-31	8.1	22.4	4.3	1.5	6.1	4	67.4	117.1	60.5	36.2	34.3	39	202.3	326.9	229.5	121.0	128.8
-30	9.1	24.0	5.2	0.2	4.9	5	70.0	121.2	63.1	37.8	36.0	40	207.8	335.2	235.6	124.4	132.7
-29	10.1	25.7	6.1	0.48	3.7	6	72.7	125.5	65.8	39.5	37.8	41	213.3	343.7	241.7	127.8	136.7
-28	11.2	27.4	7.0	1.14	2.4	7	75.5	129.8	68.5	41.2	39.6	42	218.9	352.4	248.0	131.3	140.8
-27	12.2	29.2	8.0	1.81	1.1	8	78.3	134.2	71.3	43.0	41.5	43	224.5	361.2	254.4	134.9	144.9
-26	13.4	31.0	9.0	2.51	0.1	9	81.2	138.7	74.1	44.8	43.5	44	230.3	370.1	260.9	138.5	149.2
-25	14.5	32.9	10.1	3.2	0.8	10	84.1	143.3	77.1	46.6	45.4	45	236.2	379.3	267.5	142.2	153.5
-24	15.7	34.8	11.2	4.0	1.5	11	87.1	148.0	99.8	48.5	47.5	46	242.2	388.6	274.2	146.0	157.9
-23	17.0	36.8	12.3	4.7	2.2	12	90.2	152.8	103.2	50.4	49.6	47	248.3	398.0	281.0	149.8	162.4
-22	18.2	38.8	13.5	5.5	3.0	13	93.3	157.7	106.8	52.4	51.7	48	254.5	407.7	288.0	153.7	167.0
-21	19.5	41.0	14.7	6.3	3.8	14	96.5	162.7	110.4	54.4	53.9	49	260.8	417.5	295.0	157.7	171.7
-20	20.9	43.1	15.9	7.2	4.6	15	99.8	167.8	114.1	56.5	56.1	50	267.2	427.4	302.2	161.7	176.4
-19	22.3	45.4	17.2	8.0	5.4	16	103.2	173.0	117.9	58.6	58.4	51	273.7	437.6	309.5	165.9	181.3
-18	23.6	47.7	18.6	8.9	6.3	17	106.6	178.4	121.7	60.7	60.8	52	280.3	447.9	317.0	170.0	186.2
-17	25.1	50.1	19.9	9.8	7.2	18	110.1	183.8	125.7	62.9	63.2	53	287.1	458.5	324.5	174.3	191.2
-16	26.6	52.5	21.4	10.8	8.1	19	113.7	189.4	129.7	65.2	65.7	54	293.9	469.2	332.2	178.6	196.4
-15	28.2	55.0	22.8	11.8	9.1	20	117.3	195.1	133.8	67.5	68.2	55	300.9	480.1	340.0	183.0	201.6
-14	29.8	57.6	24.3	12.8	10.1	21	121.1	200.8	138.0	69.8	70.8	56	308.0	491.2	347.9	187.4	206.9
-13	31.5	60.2	25.9	13.8	11.1	22	124.9	206.8	142.3	72.2	73.5	57	315.2	502.5	356.0	192.0	212.3
-12	33.2	63.0	27.5	14.8	12.2	23	128.8	212.8	146.7	74.6	76.2	58	322.5	514.0	364.2	196.6	217.8
-11	35.0	65.7	29.1	15.9	13.3	24	132.7	218.9	151.1	77.1	79.0	59	329.9	525.7	372.5	201.3	223.4

Para determinar subenfriamiento para o refrigerante 407C use os valores de PONTO CRÍTICO (temperaturas acima 10 °C - Fundo cinza);  
 Para determinar superaquecimento para o refrigerante 407C use os valores de ESTADO SATURADO (temperaturas 10°C e abaixo)

## Análisis de resultados

- En base a las actividades realizadas y a lo aprendido para esta sesión de laboratorio, describa el principio de funcionamiento del sistema analizado (no es necesario que detalle sobre los sistemas de control).
- ¿Qué puede concluir al respecto de la temperatura medida con el manómetro y la medida con el termómetro láser utilizado?
- Investigue sobre el nombre que reciben los intercambiadores de calor utilizado en los equipos MiniSplit y los materiales de que están hechos.
- ¿Porqué hay necesidad de hacer vacío en los equipo de refrigeración y aire acondicionado antes de hacer carga de refrigerante?
- Escriba algunas conclusiones sobre lo visto en la práctica de laboratorio.
- Investigue sobre los tipos de accesorio de conexión como: uniones, codos, niples, adaptadores, reductores y otros accesorio que sirven para hacer uniones de tubería utilizada para conectar cada uno de los componentes básicos de un equipo de R y A/A.
- Averigüe sobre el tipo de conector designado como SAE 45º y su uso en R y A/A
- Presente una tabla con las medidas y tipo de tubo de cobre comercial que se distribuye en las salas de venta del país.

## Bibliografía

1. Tratado practico de refrigeración automática, José Alarcón Creus; Alfaomega marcombo.

## **TEMA**

### **PROCESOS DE UNIÓN DE TUBERÍA DE COBRE**

#### Objetivos específicos

Que el estudiante completar la sesión de laboratorio estará en la capacidad de:

- Identifique y especifique adecuadamente los tipos de tubos de cobre mayormente usados en refrigeración
- Realizar el procedimiento rutinario que se debe de realizar para lograr unir tubo de cobre para refrigeración.
- Unir por soldadura oxiacetilénica de tubo de cobre para refrigeración.
- Identificar el los tipos de uniones (permanente y desmontables) de uso en sistemas de refrigeración y aire acondicionado.

#### Introducción teórica

Muchos tubos usados en refrigeración y aire acondicionado están hechos de cobre. Sin embargo, también algunos aluminios, aceros inoxidable y tubos plásticos son utilizados pero en menor grado.

Hay dos tipos de cobre que son los distribuidos comercialmente, estos son el tubo cobre blando (soft) y rígido (hard). Ambos están disponibles en dos espesores de pared, K y L. El tipo K es de pared gruesa y es utilizado en donde las condiciones de corrosión son extremas, el tipo L es de mediano espesor y es utilizado para condiciones normales. El tubo de cobre es suministrado, por lo general, en rollos de 25 y 50 pies. Hay otro tipo de tubo de cobre denominado comercialmente como:

- “Tubo de cobre flexible” utilizado también en sistemas de agua potable y en algunos sistema de refrigeración doméstica.
- Todo tubo de cobre es denominado por su tipo, es decir, tipo flexible, L o K, seguido del diámetro nominal el cual no siempre representa su diámetro exterior O.D.; para el caso, el tubo de cobre flexible está disponible en diámetros comerciales de 1/4, 3/8, 1/2, 5/8, 3/4, 7/8, 1 1/8, 1 3/8 pulgadas.

Las dimensiones del tubo indicado (L y K) y sus dimensiones, se presentan la tabla 1.

**Tabla 1 Tamaño nominal de tubo de cobre tipo L y K.**

<b>Diámetro nominal</b>	<b>Tipo</b>	<b>O.D (pulgadas)</b>		<b>espesor de pared</b>
<b>1/4</b>	K	0.375	<b>3/8</b>	0.035
	L	0.375	<b>3/8</b>	0.030
<b>3/8</b>	K	0.5	<b>1/2</b>	0.049
	L	0.5	<b>1/2</b>	0.035
<b>1/2</b>	K	0.625	<b>5/8</b>	0.049
	L	0.625	<b>5/8</b>	0.040
<b>5/8</b>	K	0.75	<b>3/4</b>	0.049
	L	0.75	<b>3/4</b>	0.042
<b>3/4</b>	K	0.875	<b>7/8</b>	0.065
	L	0.875	<b>7/8</b>	0.045
<b>1</b>	K	1.125	<b>1 1/8</b>	0.065
	L	1.125	<b>1 1/8</b>	0.050

Dado que todos los dispositivos de un sistema de refrigeración o aire acondicionado están conectados (según un el orden preestablecido) por medio de tubo de cobre, el seguro y correcto funcionamiento de éstos dependen en gran parte a la instalación y mantenimiento de las tuberías que interconectan y además transportan el refrigerante. Las tuberías usadas en sistemas con gas R12 y R22 son comúnmente de cobre tipo L y se encuentran selladas para evitar la humedad.

La mayoría de uniones de tubería de cobre se puede hacer con soldadura autógena y utilizando un material de aporte como varilla de plana al 5%.

Sin embargo, en ocasiones es necesario reemplazar una porción de la tubería en una unidad refrigerada a causa de roturas, fugas, estrangulamiento u otro tipo de daño que pueda producir fallas, pues en estos casos si no se dispone de unidades portátiles de soldadura una opción para cambiar las porciones de tuberías defectuosas es empalmándolas por medio de niples de unión. La opción anterior presenta la necesidad de proceder avellanar la tubería para el acople con los niples de unión

En ambos casos ya sea por soldadura o por adapte a través de conectores, se tendrá que hacer un corte en la tubería de cobre por lo que hay que evitar que queden residuos internamente en la unidad refrigerada ya que estos residuos puede dañar las válvulas del compresor u obturar el tubo capilar y producir un daño permanente al sistema.

### Materiales y equipos

A continuación con la lista de material a ser utilizados en la práctica de laboratorio. Es oportuno hacer notar que esta práctica si bien hacer referencia a algo tan

“básico” para la mayoría de técnicos en el área de R y A/A, está pensada con el objetivo que conocer los tipos de unión y las ventajas relativas entre ambas.

**Tabla 2 lista de materiales para práctica de laboratorio.**

NO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	0.40 m	Tubo cobre 1/4"
2	0.40 m	Tubo cobre 3/16"
3	0. m	Tubo cobre 3/8"
4	1	Corta tubos
5	1	Avellanador
6	1	Vernier
7	1	Niple de unión
8	4	Tuercas tubería
9	1	Cinta teflón
10	1	Detergente
11	1	Cinta métrica
12	2	Cangreja
13	1	Tapón sellador
14	1	Corta tubos
15	1	Expansor múltiple
16	1	Cinta métrica
17	1	Tenaza
18	1	Prensa de tuberías
19	1	Martillo
20	1	Soldadura de plata
21	1	Bote de Flux
22	1	Doblador de tubos
23	1	Equipo de soldadura portátil

Procedimiento

**Parte I: MEDIDA Y CORTE DE TUBOS**

- 1- Proceda a medir con el vernier los diámetros de la tubería de cobre e identifique

- 2- Cuál diámetro (interno o externo) es el usado para diferenciar a las tuberías.
- 3- Con el corta-tubo corte trozos de la tubería de 1/4" y 3/8", según lo indique su Instructor.

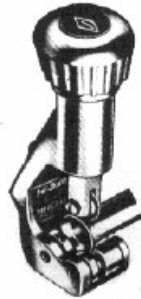


Fig. 1

Nota: Cada estudiante deberá cortar su porción de tubería como se muestra en la Figura 1

- 4- Luego de cortar los tubos, revise que no haya asperezas (internas y externas) dentro del trozo de tubo para evitar residuos en la tubería.

**Parte II: DOBLAJE DE TUBOS.**

- 1- Proceda a insertar la tubería de cobre de 1/4" de diámetro en el doblador de tubos tal y como le indique el instructor.
- 2- Apóyese en los extremos del doblador de tubos y proceda lento pero constante a doblar el tubo (no más de 90 grados)



Fig. 2 equipo y herramienta para doblar tubo de cobre y de sección circular

- 3- Quitar la protección de la que consta dicha herramienta.
- 4- Luego extraiga el tubo de doblador tipo resorte y revise si no se presentan fisuras en la tubería doblada. La figura siguiente muestra el resultado que debería obtenerse.

### Parte III: EXPANSIÓN DE LA TUBERÍA DE COBRE DE 1/4"

- 1- Tome un trozo de tubería de 1/4", de longitud igual a la indicada por el instructor, e insértelo en la prensa de tubos

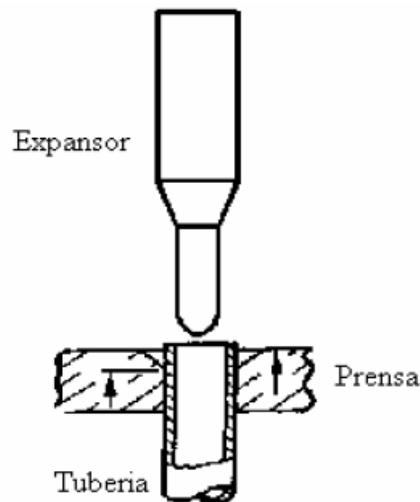


Fig. 3 Herramienta para abocardar tubo de cobre y de sección circular.

- 2- Coloque en el expansor múltiple una gota de aceite y proceda a expandir la tubería golpeando leve pero firmemente al expansor bajo la supervisión del instructor, tal como se muestra en la figura siguiente.



Fig. 4 Esquema de una junta de tubo de cobre.

- 3- Inserte la otra porción de la tubería  $\frac{1}{4}$ " (sin expandir), asegurando que entre lo suficiente tal como se muestra en la figura siguiente.
- 4- Con relación al proceso de expansión recién elaborado. Determine los diámetros de tuberías que se pueden expandir con el expansor múltiple usado en esta práctica.

#### Parte IV: AVELLANADO DE TUBERÍA $\frac{1}{4}$ "

- 1- Coloque la tuerca de la union tipo "Flered" para tubería de  $\frac{1}{4}$ ", en el extremo libre de la tubería de cobre de  $\frac{1}{4}$ " que fue insertada en extremo expandido de la parte III, y procesa a realizar el avellanado del tubo según lo indique su instructor. En la figura 5 se dan algunas indicaciones a tomar en cuenta durante el proceso de avellanado.

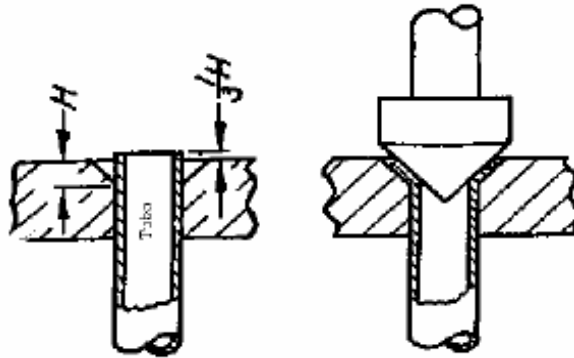


Fig. 5 Esquema del proceso de abocardado de tubo de cobre.

- 2- Repita los pasos 1 para otra porción de tubo de  $\frac{1}{4}$  y de longitud sugerida por el instructor.

#### Parte V: EMPALMES DE TUBERÍA DE COBRE.

- 1- 1-Unas las porciones de tubería (1 y 2 de la parte IV) mediante una unión de bronce y tuercas de acople tipo "Fleere" con las caras frontales opuestas entre sí en la tubería de  $\frac{1}{4}$ .

- 2- Proceda a enroscar las tuberías avellanadas con sus tuercas en niple de unión de 1/4"

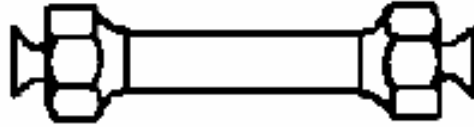


Fig. 6

- 3- Presente su trabajo individualmente a su instructor para su evaluación.

### Parte VI: SOLDADURA ACETILÉNICA EN TUBERÍAS DE COBRE

- 1- Las juntas de unión a soldarse serán las tuberías expandidas en la parte II
- 2- En esta parte se deberá de tomar muy en cuenta las normas de seguridad mostradas y mencionadas por el instructor en clase en el uso de equipo de soldadura.
- 3- El procedimiento y las recomendaciones de la parte de soldadura se harán oralmente en el taller donde se realiza la práctica. **NOTA: No omita cualquier pregunta por sencilla que parezca**

### Parte VII: DETECCIÓN DE FUGAS EN EMPALMES CON TUBERÍA DE COBRE

- 1- Acople su empalme realizado en la parte III del procedimiento en el niple de unión del tanque freon 12 o 22.
- 2- Acople el extremo libre del tubo de 1/4" a otro niple de acople de 1/4"
- 3- Coloque un tapón sellador de rosca en el extremo libre del niple de 1/4"
- 4- Abra la válvula del tanque freon
- 5- Espere a que el tanque freon utilizado genere su presión total

- 6- Verifique mediante la aplicación de agua jabonosa en todas las uniones si existe algún tipo de fuga.
- 7- En caso de existir fugas cierre la válvula del tanbo freon.
- 8- Coloque cinta teflón en el niple donde sucede la fuga.

**Nota:** Recuerde tener cuidado con los ojos ya que existe gas atrapado en la tubería

- 9- Pruebe de nuevo si existen fugas
- 10-Si existen fugas repita el avellanado en la zona de fuga
- 11-Verifique de nuevo la existencia de fugas
- 12-Cierre la válvula del tanbo freon, desconecte todo el equipo, limpie su área de Trabajo y entregue los materiales al instructor.

#### Análisis de resultados

- 1- ¿Cuál de los diámetros (interno o externo) es el usado para diferenciar a las tuberías de cobre usadas en refrigeración?
- 2- ¿Cuál es el objetivo de quitar el residuo en la tubería de cobre que se usará en una unidad refrigerada?
- 3- ¿En cuál tubería en la que se desplaza refrigerante se tendrá mayor presión, menor presión, mayor velocidad, menor velocidad? Nota: tome sólo de referencias las tuberías usadas en esta practica de laboratorio.
- 4- ¿Qué medidas de tuberías pueden expandirse con el expansor múltiple usado en esta practica de laboratorio y sobre la base de qué parámetro se fundamenta su respuesta?
- 5- ¿Por qué es necesario quitar los residuos de fúndente en las uniones de soldadura?

## Investigación complementaria

- 1- El amoníaco actualmente es usado como refrigerante sólo en condiciones de supervisión y mantenimiento constante ya que posee excelentes propiedades pero es tóxico y nocivo para la salud. Investigue si las tuberías usadas en este sistema son de cobre o de otro material.
- 2- Al soldar tuberías de cobre de una unidad refrigerada en presencia de aire se forma óxido de cobre, externa e internamente en la tubería, ésta reacción química acelera la descomposición del aceite en el compresor y del refrigerante. Investigue cómo y que tipo de químico o sustancia evita esta formación de óxidos.

## Bibliografía

- Creus, José Alarcón, **Tratado Práctico de Refrigeración y Aire Acondicionado**, 12ª edición, ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, MEXICO, D.F. (UDB: 697.3 A321 - 2000)
- Rapin, Pierre, Patrick Jacquard, **Formulario del Frío**, ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, MEXICO, D.F. (UDB: 697.3 R218 2001)
- Andrew D. Althouse, Clar H. Turnquist, Alfred F. Bracciano; **Moder Refrigeration and Air Aconditioning**; The GOODHEART – WILLCOX CO.; INC. 1982.
- Manual de refrigeración y aire acondicionado (4 tomos), Víctor G. Editorial Prentice Hall.
- Marks Manual del Ingeniero Mecánico; Avallone, Eugene
- Baumeister, Theodore; 9a.; MEXICO: MCGRAW HILL, 200.

Facultad: Ingeniería.  
Escuela: Mecánica.  
Asignatura: Refrigeración y Aire  
acondicionado.

## TEMA

### TIPOS Y ARRANQUE DE COMPRESORES

Objetivos específicos

Que el estudiante completar la sesión de laboratorio estará en la capacidad de:

- Identificar los diferentes tipos de compresores existentes en el mercado y conocer las diferencias que existen entre ellos.
- Clasificar los compresores hermeticos según su capacidad.
- Arrancar un compresor monofasico hermetico.
- Idenitificar mediante un multitestter, cuales son los puntos del bobinado principal y de arranque.
- Tener un conocimiento mas amplio sobre la importancia del rele en el compresor, como tambien hacer una revisión basica del mismo.

Introducción teórica

#### **COMPRESORES.**

El compresor tiene dos funciones en el ciclo de refrigeración por compresión. En primer lugar succiona el vapor refrigerante y reduce la presión en el evaporador a un punto en el que puede ser mantenida la temperatura de evaporación deseada. En

segundo lugar, el compresor eleva la presión del vapor refrigerante a un nivel lo suficientemente alto, de modo que la temperatura de saturación sea superior a la del medio de enfriamiento disponible para la condensación del vapor refrigerante.

Existen los siguientes tipos de compresores para aplicaciones de refrigeración y aire acondicionado:

- Reciprocantes: tipo abierto, semiherméticos, herméticos
- Rotativos.
- Centrífugos.

### **Compresores Reciprocantes**

El diseño, de este tipo de compresores es similar a un motor de automóvil moderno, con un pistón accionado por un cigüeñal que realiza carreras alternas de succión y compresión en un cilindro provisto con válvulas de succión y descarga. Debido, a que el compresor recíprocante es una bomba de desplazamiento positivo, resulta apropiado para volúmenes de desplazamiento reducido, y es muy eficaz a presiones de condensación elevada y en altas relaciones de compresión.

### **Compresores rotativos**

Es un componente diseñado para aumentar la presión de un fluido compresible como el aire. Sin importar cual sea el tipo de compresor, el principio de funcionamiento es el mismo.

El fluido de trabajo que se encuentra a baja presión, entra en un conjunto de alabes móviles del compresor y sale a una gran velocidad como resultado del trabajo transmitido por el eje. El fluido pasa a un difusor configurado de tal forma que la velocidad disminuye y la presión se incrementa.

## Compresores centrifugos

El aire entra al compresor cerca de su eje en dirección axial y es impulsado en forma radial por la fuerza centrífuga producida por el movimiento del rodete. El aire que sale radialmente y a gran velocidad del rodete, es tomado por el difusor donde la energía cinética del aire se transforma en energía potencial en forma de presión. El múltiple de distribución recoge el aire a presión y lo entrega a las cámaras de combustión. En esta práctica concentraremos la atención a los compresores herméticos, ya que son los más ocupados en hogares e industrias, estos son clasificados según su capacidad alta, media y baja.

### Materiales y Equipo

Numero	Cantidad	Descripción
1	1	Compresor Monofasico Hermetico
2	1	Termometro
3	1	Manometro tipo Burdom
4	1	Multimetro
5	1	Banco de pruebas o equipo mini split en marcha

### Procedimiento

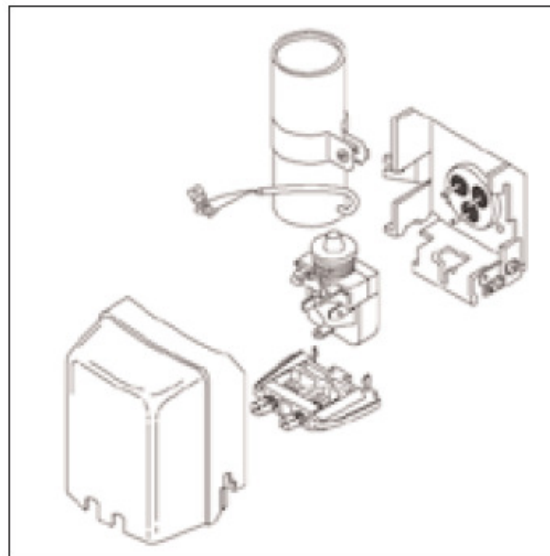
#### Parte I: UBICAR TIPOS DE COMPRESORES.

- 1- De los compresores ubicados en el laboratorio seleccionar uno de cada tipo de los descritos en la introducción.

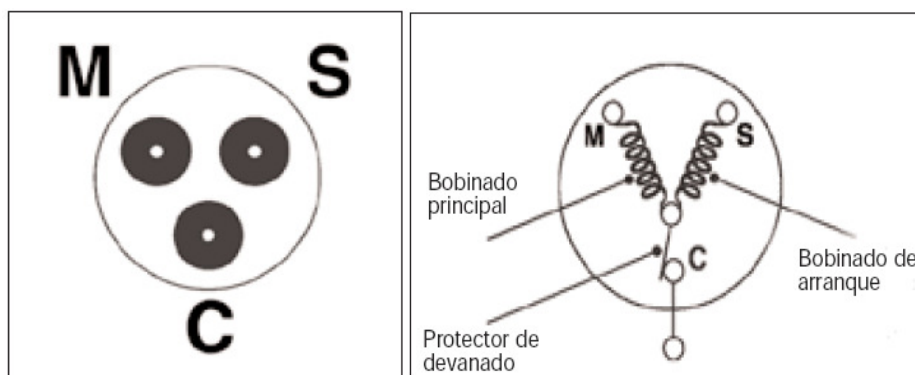
- 2- En cada uno de los compresores seleccionados describir su modo de operación.
- 3- Describir los datos necesarios para obtener uno de igual capacidad, para un reemplazo.
- 4- Describe cada una de las salidas del compresor (porque una es de diámetro mayor que la otra)

**Parte II: ARRANQUE DE UN COMPRESOR MONOFÁSICO HERMETICO.**

- 1- Ubicar cada uno de los componentes como lo muestra la siguiente figura.



- 2- En el compresor encontrar los puntos común, marcha y arranque de la siguiente manera:

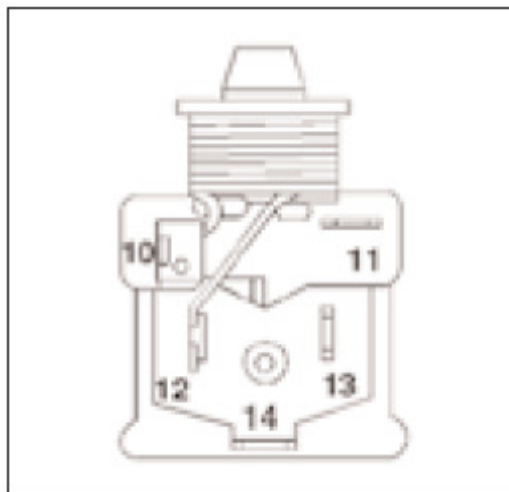


- 3- Hacer las pruebas respectivas al rele y asegurar que este en perfectas condiciones para arrancar el compresor.

En muchos casos los compresores no traen señalización, cada una de las letras que se muestran en la figura anterior por lo cual se necesita una forma de encontrar cada terminal para poder hacer las conexiones necesaria para colocar en operación un compresor monofásico, dicha forma se detalla a continuación:

- Medir la resistencia entre los 3 terminales, se debe ubicar el par terminal de mayor resistencia óhmica, el par que quede fuera de dicha medición es el terminal común (C).
- De los dos puntos restantes el que tiene mayor resistencia óhmica, con respecto al punto común es el terminal de arranque (S).
- El punto restante es el terminal de marcha o trabajo (M).

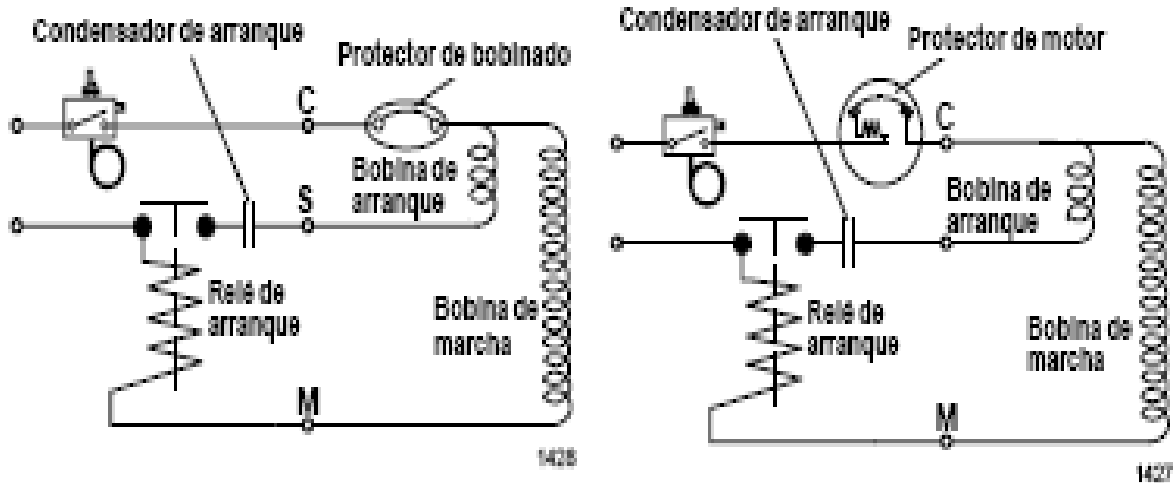
## REVISION DE RELE



- Quitar el relé del compresor.
- Medir la conexión entre los terminales 10 y 12 :
  - Sin conexión ----- Relé defectuoso -----Sustituir relé

- Medir la conexión entre los terminales 10 y 11:
- En posición vertical normal (como se monta, bobinado hacía arriba):
  - Conexión ----- Relé defectuoso ----- Sustituir relé
  - Sin conexión: OK
- Posicionado hacía abajo (bobinado hacía abajo):
  - Conexión: OK
  - Sin conexión ----- Relé defectuoso ----- Sustituir relé.

4- Ya teniendo ubicados los puntos, capacitores, rele y su respectiva alimentación asegurarse que la conexión quede como la siguiente figura. **Nota: antes de alimentar el circuito llamar al instructor.**



### Parte III: COMPRESOR EN MARCHA.

1. En el banco de pruebas o en uno de los mini-split en operación, tomar presiones y determinar las temperaturas según tabla.

2. Determinar tipo de alimentación y forma de encendido.
3. Según el siguiente apartado determinar si el compresor en estudio tiene recalentamiento.

### **Recalentamiento del Compresor**

El sobrecalentamiento ha sido la mayor causa de fallas en los compresores. Las temperaturas en la cabeza del compresor y en los cilindros se vuelven tan calientes que el aceite se adelgaza y pierde su habilidad para lubricar. Esto puede causar que los anillos, pistones y cilindros se desgasten, dando como resultado que las rebabas de metal dañen las válvulas y haya fugas y, que se mezclen con el aceite.

También, pueden ocasionar que se aterrice el estator debido a una quemadura localizada.

Las temperaturas en los cilindros que excedan los 149 °C (300 °F) comenzarán la descomposición del aceite y a 177 °C (350 °F), el aceite se evaporará. Para medir la temperatura del cilindro, coloque su termómetro sobre la línea de descarga, a no más de 15 cm (6") del compresor. Para la mayoría de las aplicaciones, la temperatura deberá estar abajo de 107 °C (225 °F). En este punto de medición se tiene una caída de temperatura de 28 a 42 °C (50 a 75 °F) con relación a la de los cilindros.

Para corregir el recalentamiento:

1. Corrija las condiciones de baja carga anormales
2. Corrija las condiciones de alta presión de descarga y baja presión de succión
3. Aísle las líneas de succión, limpie los condensadores sucios
4. Proporcione al compresor un enfriamiento adecuado
5. Revise los ajustes del control de baja presión

Los controles de presión pueden ayudar a identificar o a remediar los problemas del sistema (práctica 4).

### Análisis de Resultados

- 1- Que tipos de compresores son los más usados en la industria.
- 2- En un compresor hermético monofásico, porque son necesarias tres puntos de conexión.
- 3- Que función realiza el relé en el arranque del compresor.
- 4- Cual es la razón de que en un compresor en buen estado los 3 puntos haya continuidad y ente la carcasa y cada punto no tenga continuidad.
- 5- Porque es necesario revisar el recalentamiento en los compresores.

### Investigación Complementaria

- 1- Cual es la razón de que cada refrigerante tenga su propio lubricante en un sistema de refrigeración.
- 2- Porque varía la presión según el refrigerante.
- 3- Cual es la razón de llamar al sistema EXPANSIÓN DIRECTA.
- 4- Investigar que tipo de maquinarias en la industria constan de sistema de expansión directa.
- 5- Investigar que otros tipos de rele pueden ayudar a arrancar un compresor.

Facultad: Ingeniería.  
Escuela: Mecánica.  
Asignatura: Refrigeración y Aire acondicionado.

## TEMA

### **DISPOSITIVOS ELECTROMECAÑICOS PARA PROTECCIÓN Y CONTROL DE ARRANQUE DE COMPRESORES PARA R Y A/A.**

Objetivos específicos

Que el estudiante al finalizar la sesión posea la capacidad de:

- Identifique los componentes de tipo electromecánicos y de estado sólido, mayormente usados para arranque y control en compresores utilizados en R y A/A.
- Realizar la conexión eléctrica para el encendido y control de sistemas de aire acondicionado.

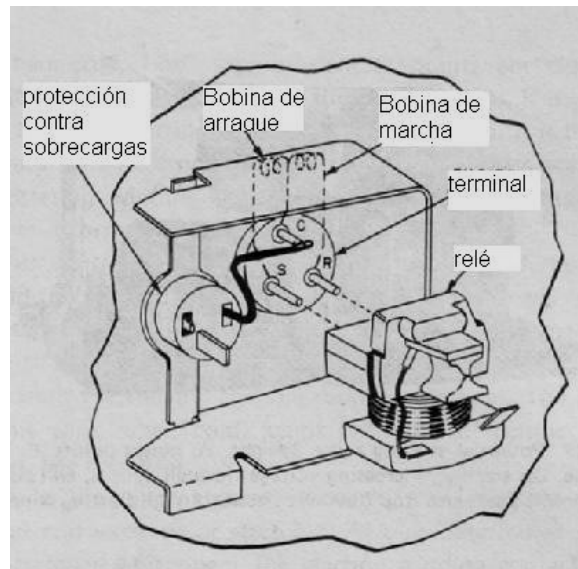
Introducción teórica

Uno de los mayores obstáculos que se le presentan a la unidad compresora en general es vencer el estado inercial de reposo así como también, ya en condiciones de operación, soportar cargas mayores (arranque en carga) ya que éste debe vencer la presión existente en el sistema. Así que independientemente de las condiciones de

operación, en ambos casos la máquina eléctrica se expone a daños progresivos e irreversibles en la mayoría de los casos.

Como se explico en la práctica de laboratorio III, la mayoría de motores compresores, para su puesta en marcha se utiliza, temporalmente, un embobinado de arranque el cual le produce un par de arranque que ayuda al motor a dar sus primeras vueltas. Pues bien, para evitar que la bobina de arranque permanezca energizada mas del tiempo necesario, en el caso de motores de baja potencia, se utilizan para la desconexión dispositivos tales como relé magnéticos gravimétricos o contactores que permiten la conexión si por ellos circula una determinada cantidad de corriente eléctrica de varios amperios, condición que únicamente se da en el arranque. Esto es para el caso de unidades de baja potencia  $< 3$  HP, pues en el caso de unidades de mediana potencia  $>3$  HP, aquí se utilizan capacitares para producir un mayor desfase y por lo tanto un mayor par de arranque en la unidad.

Cuando ya la unidad compresora está en marcha y se presenta una sobre demanda de potencia o si se presenta algún problema en el arranque (rotor bloqueado), allí se utiliza dispositivos de protección térmicos (internos o externos) los cuales interrumpen temporalmente el suministro de corriente a la unidad compresora mientras se estabilizan las condiciones anómalas o dan tiempo para alertar al usuario del mal estado de la unidad.

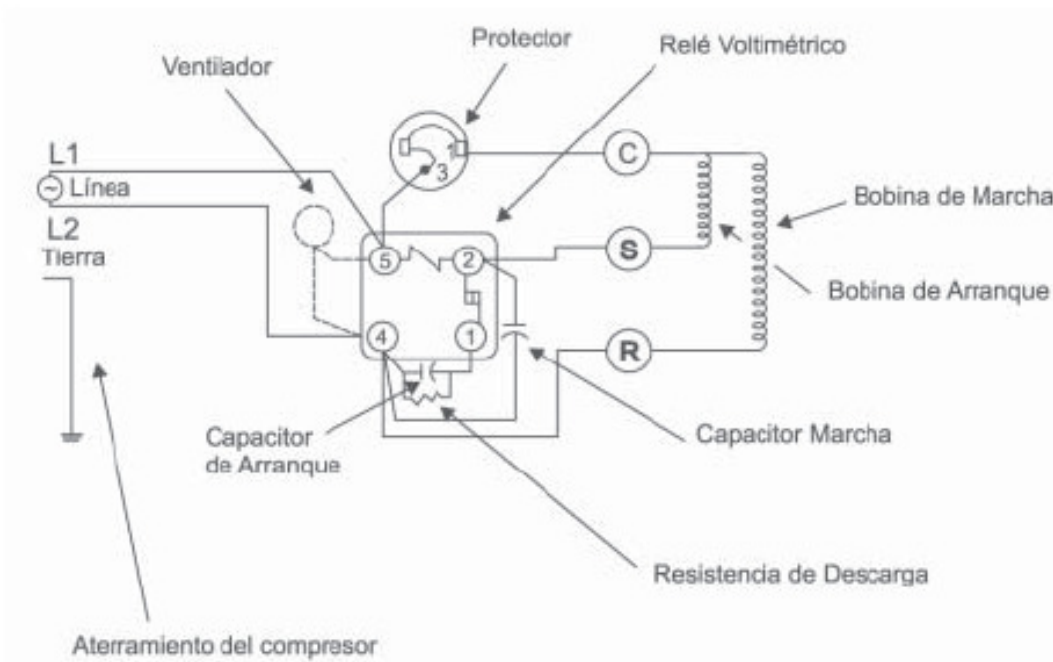


**Ilustración 1:** Dispositivo de protección térmica

Externamente también existen dispositivos electromecánicos que regulan o interrumpen la alimentación de potencia del compresor en condiciones críticas de operación. En la figura 1 se ilustran algunos dispositivos utilizados en compresores de refrigeración y aire acondicionado.

En el caso de la figura 1, ahí se observa un dispositivo de accionamiento por temperatura denominado comúnmente como pastilla térmica, este dispositivo trabaja con temperaturas y desconecta en caso de alta temperatura por trabajo del compresor o sobrecarga de corriente.

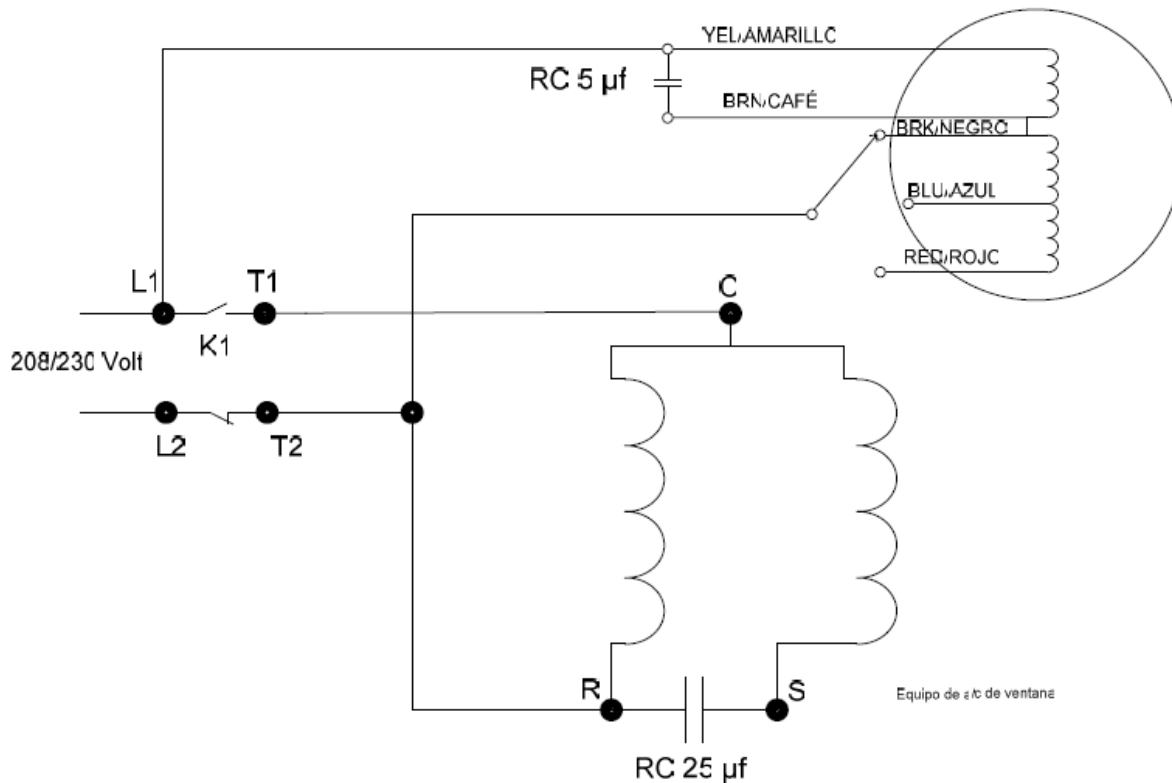
Otro de los dispositivos de seguridad es el relé voltimétrico se ocupa para arranque de sistemas monofásicos ya sea a 110 Volt o 220 Volt y la forma de conectar se muestra en la figura 2



Material y Equipo

Numero	Cantidad	Descripción
1	1	Banco de prueba de laboratorio de AA/R
2	1	Multímetro
3	1	Capacimetro Digital
4	1	

A continuación se describirá de modo breve el procedimiento para arrancar el sistema de aire acondicionado instalado en los bancos de prueba del laboratorio cuyo diagrama es ilustrado de la siguiente manera:



**Ilustración 3:** Conexiones de un equipo de aire acondicionado

### Procedimiento

1. Para conectar eléctricamente el compresor y la turbina , primero **y bajo la supervisión de su instructor**, proceda a identificar los terminales de arranque y marcha mediante la lectura del ohmetro de las mismas (revisar practica 3).
2. Identifique y analice el dispositivo utilizado para desconectar la bobina de arranque, realice la prueba según lo indique su instructor.
3. En cuanto termine el paso 1 y 2, continúe con el cableado de capacitor de arranque y marcha, bobinas de relé, control termostático y por último, las bobinas de motor.

4. Conecte el motor de la turbina del equipo de aire acondicionado al control de velocidad y luego déjelo listo para conectar a la fuente de potencia tal como aparece en la Fig. 3
5. Cuando todo los dispositivos que aparecen en la figura 3, estén conectados proceda a realizar la prueba en la cual se busca que no haya algún corto circuito.

La prueba consiste en conectar los terminales del multímetro (con el selector ubicado en la menor escala utilizada para medir resistencia eléctrica), entre los cables que se conectarán entre L1 y N o L1 y L2 para el compresor y el motor del ventilador, respectivamente, y medir la resistencia entre ambos.

Si se registra algún valor de resistencia, por muy pequeña que sea, eso indica que no hay corto circuito.

El valor medido deberá ser comparado con el valor indicado por el aparato cuando ambos terminales del se juntan (corto circuito).

6. Realizada y aprobada la prueba anterior, se procederá a la alimentación del sistema (pregunte a su instructor como hacer esto de modo seguro).
7. Cuando el sistema esté trabajando, gire la perrilla del termostato para ver como se conecta y des-conecta el compresor de la alimentación eléctrica.

### **Identificación de funcionamiento del relé voltimetrico y otros dispositivos electromecánicos:**

8. Identifique al capacitor de arranque y proceda a realizar la prueba con un capacímetro digital.
9. Identifique al capacitor de marcha y proceda a realizar la prueba con un capacímetro digital.
10. Con la ayuda del instructor, identifique el rele voltimetrico, un capacitor de arranque y uno para la marcha. Según la figura 2 hacer las conexiones respectivas y arrancar el compresor que facilitara el instructor.

## Análisis de resultados

- 1- ¿En que tipos de motores utilizan capacitor de arranque y marcha?
- 2- Explique el funcionamiento del contactor, del rele y la pastilla térmica. Dentro de un sistema de aire acondicionado
- 3- ¿Porqué los contactos de los dispositivos como la pastilla termica, relé termostático y relé de sobrecarga, están conector en serie con el terminal común del compresor?
- 4- Explique la secuencia de arranque de un compresor. Conectado según los esquemas anteriores.

## Investigación complementaria.

Investigue el principio de funcionamiento de los compresores tipo Scroll , el procedimiento de selección de este, los dispositivos de protección eléctrica para el mismo entre otras característica técnicas recomendadas por los fabricantes.



## TEMA

### **CARGA DE REFRIGERANTE R22 Y R 134a**

#### Objetivos específicos

Al finalizar la sesión de laboratorio el participante estará en la capacidad de:

- Realizar los pasos necesarios para hacer vacío a un sistema de refrigeración en aire acondicionado (R y A/A).
- Efectuar adecuadamente la carga un sistema de R y A/A con la cantidad necesario de refrigerante para que el sistema trabaje a la temperatura y presión recomendada por el fabricante.
- Pruebe mediante equipo electrónico posibles fugas en tuberías y justas.

#### Introducción teórica

El buen funcionamiento de un equipo de aire acondicionado se basa en un manejo adecuado de la carga térmica a enfriar. Para esto es necesario que el equipo cuente con una masa adecuada de gas refrigerante.

Generalmente los métodos para averiguar la carga correcta de refrigerante se basan en las medidas de las presiones de trabajo en el lado de alta como la de baja.

Para esto se hace necesario consultar una tabla de presión y temperatura del gas a utilizar y en la mayoría de los casos aplicar un  $\Delta T$  para ajustar la carga correcta. Para estos casos se necesita el uso de un termómetro de contacto o de tipo láser.

En el caso de equipos de aire central como lo que se instalan en los grandes centros comerciales, en que la carga es mayor, se aplican análisis similares, sin embargo el proceso de vacío en estas unidades para realizar la carga del gas difiere en gran medida de las unidades tipo Split como los visto.

Finalmente el proceso de carga culmina, con una minuciosa prueba de fugas, lo que amerita de técnicas básicas como el uso de espuma de jabón, hasta la más sofisticada como es el uso de un detector de fugas electrónico.



Materiales y Equipo

Numero	Cantidad	Descripción
1	1	Manómetro tipo compuesto.
2	1	Maquina recuperadora de refrigerante
3	1	Juego de tres mangueras para refrigerante
4	1	Vacuómetro.
5	1	Medidor de corriente tipo clamper.

Procedimiento

En seguida se dará la secuencia de pasos para realizar el proceso de carga de refrigerante R 22 para un sistema de R y A/A de ventana de 12 BTU/hora. Esto es como sigue:

- 1- El proceso comienza aislando la unidad de toda toma de energía eléctrica e identifique todos los componentes del equipo y sus tuberías tanto de alta como baja presión.
- 2- Luego y para ver si aún contiene gas refrigerante, coloque los manómetros tal como se ilustra en la figura 2.

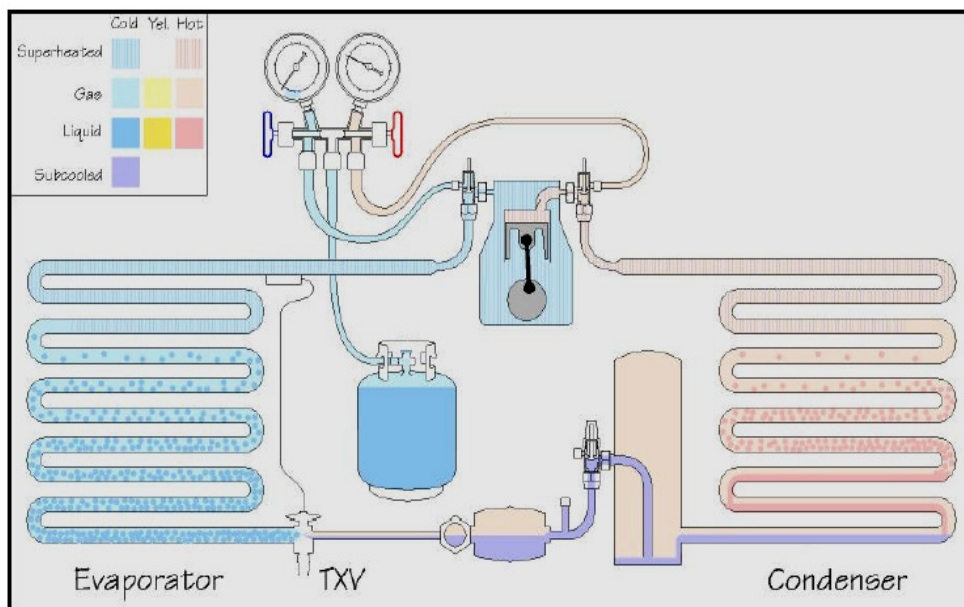


Fig. 2 esquema de conexión para cargar con refrigerante un sistema típico de refrigeración.

- 3- Abra la válvula del manómetro de baja y alta presión indicados con el color azul y rojo, respectivamente.
- 4- Asegúrese que estén bien roscados los niples de las mangueras.
- 5- Luego, conecte la máquina recuperadora al sistema utilizando para ello el niple de servicio ubicado al centro del manómetro compuesto.
- 6- Recuperado el gas refrigerante desconecte la máquina recuperadora para conectar, en el mismo niple que ahora está libre, la bomba de vacío. Para esto puede auxiliarse de la figura 2 que en lugar de la bomba, aquí está instalado el tanque de refrigerante.
- 7- Manteniendo cerrada ambas válvula de manómetro compuesto, proceda con el encendido de la bomba de vacío para luego abrir lentamente ambas válvulas que fueron cerrada en el paso anterior.
- 8- Deje que la bomba trabaje por un tiempo prudente quedando pendiente de la lectura del manómetro de baja o del medidor electrónico de vacío utilizado según el caso y cuando éste alcance alrededor de 29.9 in Hg permita, dejar transcurrir 20 minutos para lograr un buen vacío (o consulte con su instructor pues el tiempo depende del tamaño del equipo)

Al respecto del punto anterior, la capacidad de una bomba de vacío está definida por la rapidez con la cual puede efectuar la evacuación en un sistema; y el rendimiento de la bomba está definido por el nivel de vacío que puede alcanzar en un cierto período de tiempo. El nivel de vacío que se desea lograr sólo puede ser determinado (de modo efectivo) por medio de un vacuómetro.

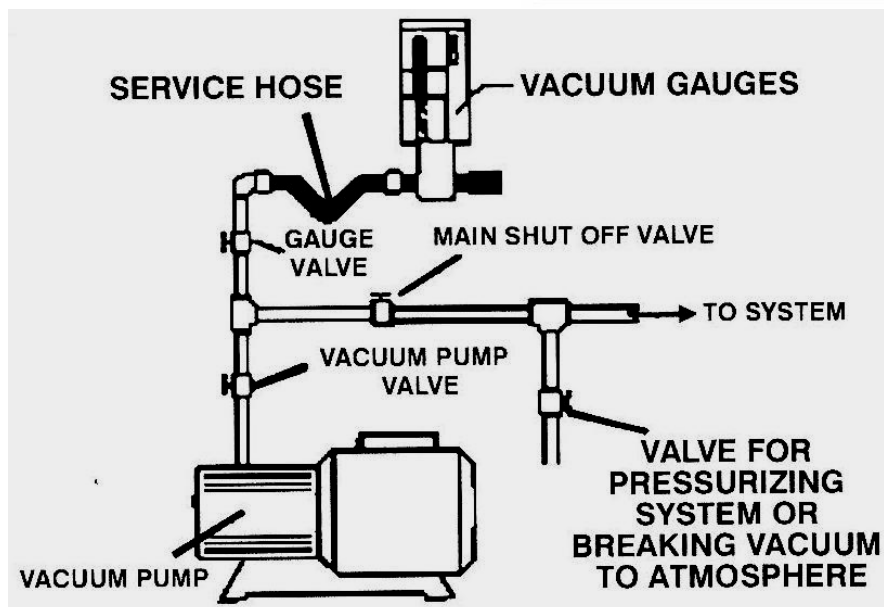


Fig. 3: Instalación de un vacuómetro a un sistema al cual se le hará vacío

La mayoría de ingenieros de mantenimiento que poseen experiencia en la evacuación de sistemas conocen de antemano el tiempo aproximado en que la bomba de vacío deberá funcionar.

No obstante, la única manera que tienen de constatar si el sistema está realmente vacío, es mediante la lectura de un vacuómetro. La disposición que se presenta en la figura 3 es la más versátil y eficaz a la hora de conectar el dispositivo a un sistema al cual se le va a realizar un vaciado.

- 9- Pasados los 20 minutos recomendados, **CIERRE** completamente ambas válvulas del manómetro compuesto (de alta y baja)
- 10- Si ambas válvulas están cerradas, apague la bomba de vacío
- 11- Desconecte la manguera que conecta a la bomba de vacío y en su lugar conecte a la válvula de cilindro de refrigerante a usar.
- 12- Continuación Abra completamente la válvula del cilindro.
- 13- Luego desenrosque ligeramente al niple central de los manómetros para purgar de aire (dos o tres según es suficiente para la purga).
- 14- A continuación cierre de nuevo al niple central y cuidando que el tambo de refrigerante esté en posición normal y con su válvula completamente abierta

proceda a abrir la llave del manómetro A y escuche que el gas este entrando al sistema (NOTA: Este método se conoce como carga en modo gas, el cual es seguro pero lento - ver figura 2).

Existe el método de carga de líquido, el cual permite acelerar el proceso, sin embargo requiere de más práctica ya que un exceso de refrigerante puede quitarle vida útil a las válvulas de alta del compresor. El método de carga en modo líquido será ejecutado como una practica demostrativa por el instructor.

- 15- Cuando ya no se escuche que fluye gas a la unidad proceda a cerrar el manómetro de baja presión.
- 16- Luego coloque el "Clamper" en una línea de alimentación eléctrica al compresor.
- 17- Proceda a conectar el compresor a la red eléctrica y espere a que la aguja del manómetro de baja se quede en una posición fija.
- 18- Si la lectura del manómetro de baja es menor que 50 PSI, abra la llave del manómetro A en alrededor de 5 segundos y finalizado este tiempo cierre rápidamente la llave del manómetro A.
- 19- Permita que se establezca la presión en el manómetro A y si la lectura es aun menor de 50 PSI, proceda a abrir la llave del manómetro A por espacio de 5 segundos y a continuación ciérrela y espere a que se establezca la presión en el manómetro A.
- 20- Si la presión en el manómetro A es aun menor que 50 PSI repita el paso 18 hasta que logre una presión la cual será determinada con la ayuda de la tabla de presión y temperatura para el R22 para óptimos resultados, pero asegúrese que la carga final de R22 no se exceda a la corriente nominal del compresor.
- 21- Cuando se logre la presión de trabajo adecuada en el manómetro de baja, deje trabajar la unida por espacio de 1 hora para monitorear al sistema.
- 22- No se sorprenda que después encuentre una presión en el manómetro de baja menor que la que usted dejo inicialmente ya que esto es lo que se espera

cuando el ciclo de compresión se ha realizado. Para mas información consulte a su instructor

- 23- Luego (se sugiere) desconecte el equipo de ventana de la red eléctrica y espere por espacio de 5 minutos para estabilizar las presiones y a continuación proceda a mojar una solución de agua con jabón en las uniones (soldaduras, roscas, etc.) y si descubre en alguna de estas un burbujeo constante y fuerte proceda a realizar las reparaciones necesarias.

NOTA: Si dispone de nitrógeno antes de comenzar todo el proceso podría haber llenado con una presión de 100 PSI al equipo de ventana con el fin de buscar fugas.

- 24- Si no se encuentran fugas con el método de jabón, asegúrese con el detector de fugas electrónico
- 25- Conecte al compresor y asegúrese que la corriente de arranque no supere al sugerido por el fabricante.
26. Si el compresor no enciende, podría ser que éste ya esté vencido o que dejen un exceso de refrigerante. Para esto proceda a realizar las medidas correctivas. Sin embargo si todo resulta bien desconecte los manómetros y desconecte todo el equipo.

Hasta aquí se ha dado una secuencia de pasos para cargar un sistema de R y A/A con gas refrigerante R22. Sin embargo, no se puede generalizar este método ya que no todos los sistemas trabajan de la misma forma, es decir, éstos operan a presiones más alta o más baja que las indicadas.

Esta misma se utilizará para la carga de gas refrigerante R 134 a al sistema de refrigeración de la cámara FOGEL.

Análisis de resultados

1. ¿Cuál es la presión de trabajo para un equipo de aire central con R22?
2. ¿Cuál es la función del proceso de vacío para el equipo de ventana?
3. ¿Cuál es el propósito de abrir el manómetro de alta y el de baja en el proceso de vacío?
4. ¿De qué depende el tiempo de sostenimiento que se mantiene conectada la bomba de vacío al sistema que se le hará la carga?
5. Elabore un algoritmo del proceso de carga de equipo que trabajen con R22 y R134 a. en éste deberá incluir el proceso de vacío y carga de gas.

#### Investigación complementaria

1. ¿Cuántos BTU/hora se necesitan para un centro de computo de 30 computadoras, 40 lámparas de 20 W y un estimado de 40 personas para mantenerlo a una temperatura de 25 °C
2. Investigue sobre los distintos tipos de dispositivos utilizados para estrangular el flujo de refrigerante dentro del ciclo de refrigeración, específicamente, tubo capilar y válvulas de expansión termostática.

## TEMA

### **FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN**

#### Objetivos específicos

- El estudiante determine la operación de cada uno de los componentes de un sistema de refrigeración.
- Determinar las diferentes presiones que se obtienen a lo largo de todo el sistema y como varia con cada accesorio.
- Entender como cambio de estado el refrigerante conforme su paso y observarlo en el diagrama presión entalpia.
- Seleccionar los diferentes dispositivos con los que cuenta el banco de prueba y ver sus cambios y las mejores opciones para un sistema de refrigeración.

#### Introducción teórica

Este banco de pruebas es un sistema didáctico en el que además de mostrar las diferentes fases del refrigerante por medio de sus presiones y temperaturas, puede descubrirse cómo se comporta en el diagrama presión entalpia. También consta de diferentes opciones para el condensador

1. Condensador aletas.
2. Intercambiador de calor.

Así también, el banco se ha diseñado para que el refrigerante pueda recorrer más de un camino, por una serie de interconexiones con tubería de cobre y algunas válvulas con las que se estrangula el paso en otros puntos. También hay diferentes formas de extruir el paso de refrigerante tenemos:

1. Tubo capilar.
2. Válvula expansión.
3. Extrucción manual por válvula de paso.

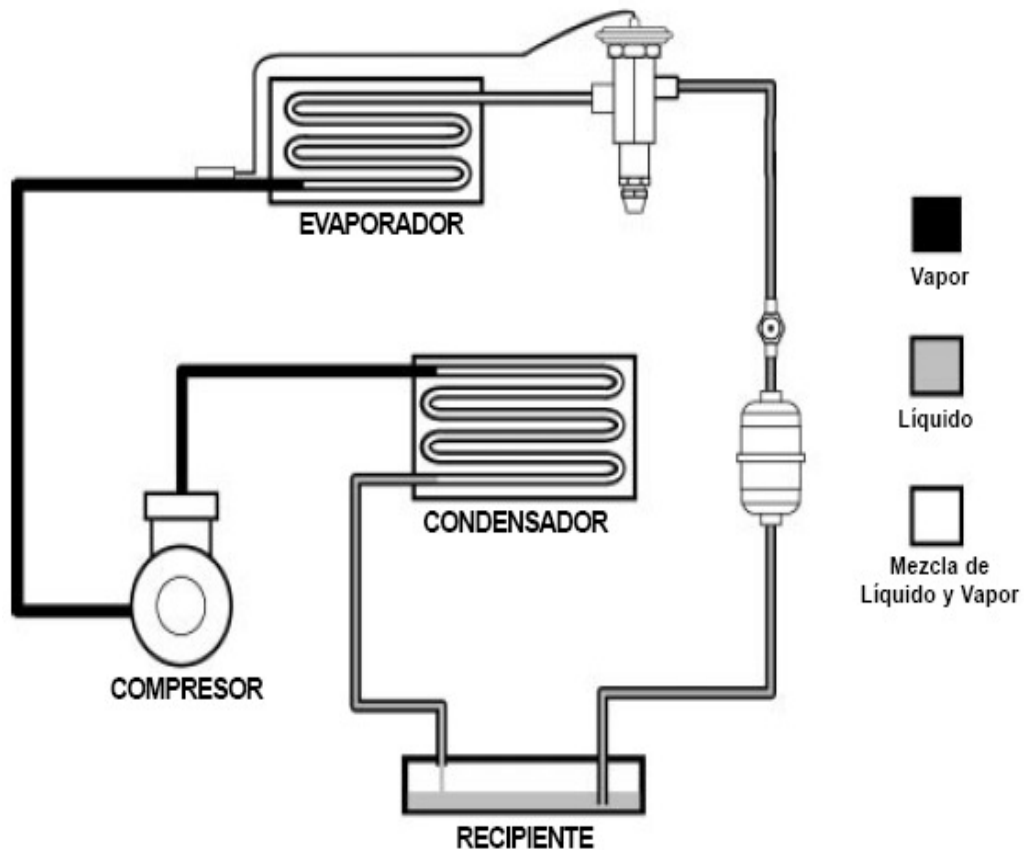
Igualmente el alumno por medio de las válvulas de paso elegirá el camino apropiado por donde se conducirá el gas refrigerante (siempre tiene que haber un camino abierto). Como evaporador también se cuenta con dos opciones:

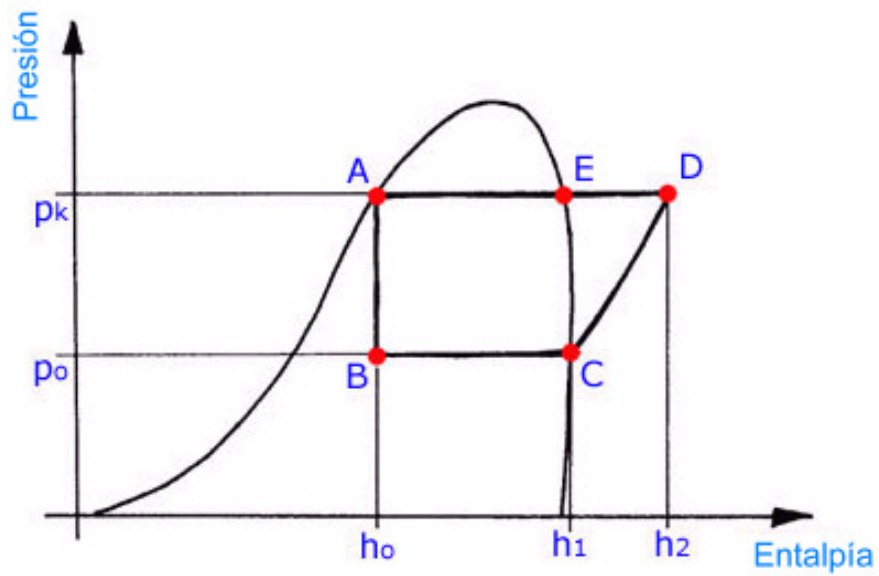
1. Evaporador de aletas.
2. Enfriador de líquido.

El primero es el principio de cómo funciona todo aire acondicionado enfriando un espacio con succión y descarga, mientras que el segundo enfría agua a su paso como un oasis de agua.

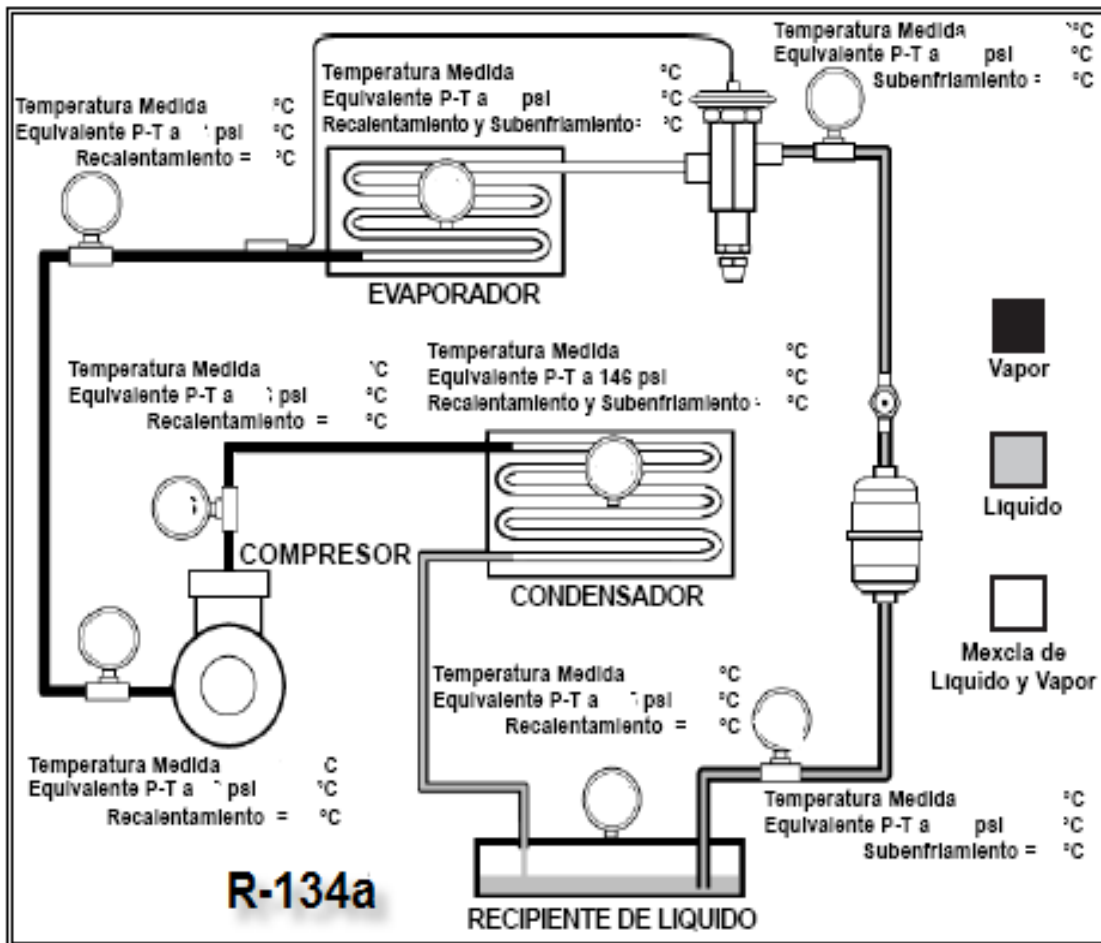
Procedimiento

1. Determinar el lado de alta y baja presión en el banco de prueba:
2. Que elementos realizan estos cambios de presiones:
3. Arme el circuito de una nevera industria dejando abierto solo el sistema compresor, condensador, válvula expansión y evaporador.
4. Determinar cada punto en el diagrama presión entalpia
5. Determinar cada fase del refrigerante (liquido, vapor sobrecalentado, etc.)



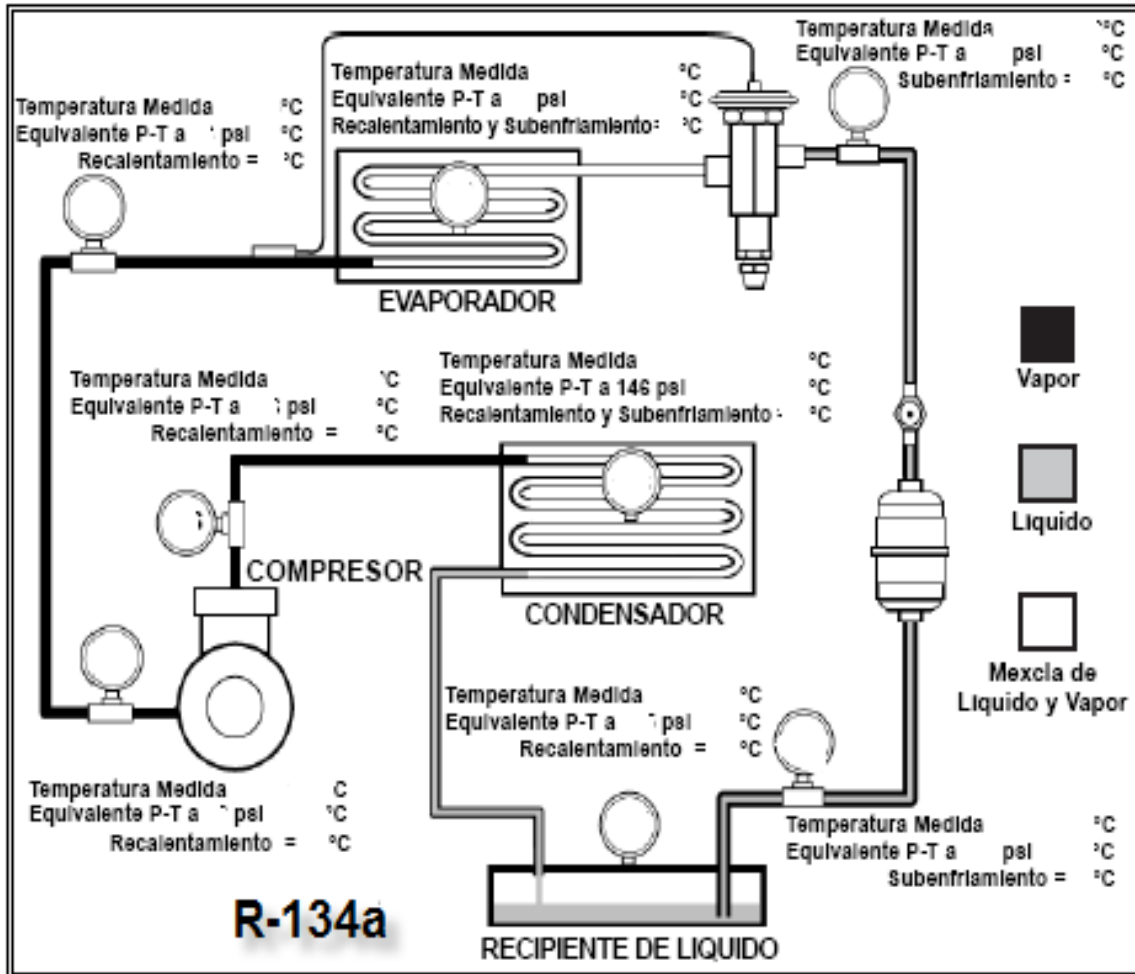


6. Con los datos recopilados complete la siguiente figura (nota: omite los términos de subenfriamiento y sobrecalentamiento – pertenecen a otra práctica)



7. Cuál es la razón de que en un circuito real la diferencia de presiones es cambiante:
8. Que sucede al cambiar el medio de expansión a tubo capilar.
9. Que sucede en el evaporador al abrir la válvula de paso en el lado de la expansión cerrando el tubo capilar y válvula de expansión.
10. Cambie el condensador de aletas y abra el intercambiador de calor asegurándose que este pasando agua a temperatura ambiente por el, y realice las mismas anotaciones.
11. Con el circuito en intercambiador de calor o condensador de aletas abra el paso del evaporador en forma de enfriador de agua y evaporador de aletas, note algún cambio en las presiones del lado de baja y de sus conclusiones

12. Con los circuitos formados anteriormente llenar la tabla de las diferentes fases del refrigerante y formar su diagrama presión entalpia:



- Cual es la razón de que difieran las graficas presión entalpia real de la ideal, al mismo tiempo, elaborarlas en papel milimetrado.
- De los datos obtenidos en cada sistema llenar las tablas (pregunta 12) y determinar si están en líquido saturado, recalentado o subenfriado.
- En cuál de los sistemas formados se detecto la mayor eficiencia y porque?

- Cuál es la razón de que aun estando operando dos evaporadores en paralelo el sistema siga en operación.

#### Investigación complementaria

1. Investigar sobre otros tipos de bancos de prueba.
2. Definir la diferencia entre un ciclo de refrigeración por gas refrigerante y amoníaco.
3. Investiga sobre los elementos que detienen la operación de un sistema de refrigeración.



## **TEMA**

### **DISPOSITIVOS DE CONTROL Y SEGURIDAD DE PRESIÓN Y TEMPERATURA**

#### Objetivos específicos

Al finalizar la sesión de laboratorio el participante estará en la capacidad de:

- Comprobar si un presostato esta en perfectas condiciones.
- Efectuar adecuadamente la conexión para la regulación de temperaturas en unidades condensadoras a largas distancias.
- Conocer el funcionamiento de los termostatos y sus diferentes aplicaciones.

#### Introducción teórica

Los equipos de refrigeración incorporan dispositivos que permiten realizar un mejor control del trabajo del sistema así como de actuar como elementos de seguridad. Algunos de los más importantes son:

Los termostatos: que son dispositivos que monitorean el entorno que se desea acondicionar y se encargan de abrir o cerrar un circuito eléctrico, por lo que también reciben el nombre de interruptores de temperatura o termo-contactos. Los termostatos

se pueden clasificar según el principio físico de funcionamiento: bimetálico, dilatación de un líquido, electrónicos, evaporador, ambiente, compresor, anti-escarcha, etc.

Otro de los dispositivos encargados de ejercer un control sobre el sistema en función de protegerlo son los presostatos, los cuales conectan o desconectan un circuito eléctrico en función de la presión reinante en el sistema. Estos presostatos pueden ser de mínima, de máxima, de válvula binaria, trinaría, anti-escarcha.

En lugares donde la unidad condensadora se encuentra a largas distancias como es el caso de cuartos fríos se utiliza una combinación de termostato, válvula solenoide y presostato para regular la temperatura como se observara mas adelante.

### Procedimiento

Comprobación del termostato, antes de poner en operación el sistema hay que estar seguro que los accesorios operan normalmente, para asegurarse de esto realizar las siguientes pruebas:

1. Tomar temperatura ambiente en el laboratorio.
2. Aumentar en  $10^{\circ}$  C la temperatura del termómetro y poner atención al desconectar contactos, puedes colocar las puntas del amperímetro en continuidad, la cual no debe de tener pues el circuito esta abierto.
3. Tomando como referencia la temperatura ambiente baja en  $10^{\circ}$  C la temperatura del termostato y tiene que conectar de nuevo, y medir continuidad.

Revisar la buena operación del presostato: los presostatos pueden pre-ajustarse utilizando un cilindro de aire comprimido, asegurando que los contactos de conmutación estén conectados correctamente.

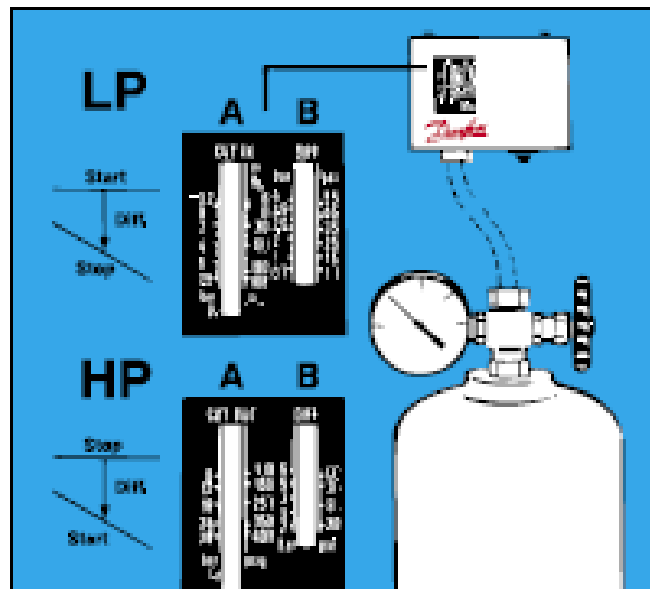
### Presostato de baja

Fijar la presión de arranque (CUT-IN) en la escala (A). A continuación fijar el diferencial en la escala (B). De esta forma: Presión de parada = CUT IN menos DIFF.

### Presostato de alta

Fijar la presión de parada (CUT-OUT) en la escala (A). A continuación fijar el diferencial en la escala (B). Con este arreglo: Presión de arranque = CUT OUT menos DIFF.

**Recuerde:** Las escalas son *orientativas*.



Para el caso de las válvulas solenoides (normalmente 110 V ó 220 V), el procedimiento para verificar su funcionamiento consiste en conectarlas a una fuente de voltaje según su dato de placa; y al estar conectadas, verificar que debe haber un paso de aire ó gas entre sus salidas, el cual debe cesar en el momento de desconectarlas nuevamente.

1. Ya sabiendo como comprobar la buena operación de los accesorios ocupados para realizar la práctica, ubicar en el banco de pruebas cada elemento citado.

2. Poner en operación el sistema.
3. Ubicar el termostato 5° C arriba de la temperatura ambiente.
4. Después de unos minutos al llegar a la temperatura colocada que se observa:
5. Que función realiza el termostato:
6. Como está conectado el termostato con respecto a la válvula solenoide (eléctrica y mecánicamente).
7. Cuando el termostato abre sus contactos que sucede en el sistema, tomar presiones y dar sus conclusiones.
8. Cuando el termostato cierra ¿qué sucede?, ¿por qué cierra de nuevo el circuito?
9. En que momento entra a trabajar el presostato (antes revisar que este calibrado alta 200 PSI y baja 15 PSI)
10. Cuál es la función del presostato.
11. Como esta conectado el presostato.
12. Porque tiene dos salidas el presostato.
13. Que otra opción haría abrir los contactos del presostato en un sistema en operación.
14. Apague motor ventilador del condensador y tome sus anotaciones.
15. Apague motor ventilador del evaporador y tome anotaciones.
16. Cierre las válvulas que alimentan de gas el condensador en el banco de pruebas, abra las del intercambiador de calor, asegúrese que en el intercambiador este fluyendo agua, tome lectura de presiones.
17. De la pregunta anterior cierre el flujo de agua tome las lecturas y anotaciones de lo que sucede:

### Análisis de resultados

- Porque es necesario tener un aparato como el presostato para regular las presiones en un sistema.
- Cual es la razón de calibrar el diferencial en el presostato.
- Mencionar otra forma de parar el compresor, sin válvula solenoide, ni presostato.
- Porque no es factible esta forma en sistemas de condensadores a largas distancia.

### Investigación complementaria

- Investigar los diferentes tipos de termostatos.
- Investigar los diferentes tipos de presostatos:
- Investigue los datos de regulación de los termostatos para R-22 y R-134<sup>a</sup>
- Cual es la diferencia entre termostatos de aire acondicionado y termostatos para cuartos fríos.



## **TEMA**

### **CONTROL Y DETECCIÓN DE FALLAS**

#### Objetivos específicos

Al finalizar la sesión de laboratorio el participante estará en la capacidad de:

- Encontrar diferentes fallas en un sistema de refrigeración por medio de las presiones medidas.
- Según el comportamiento del sistema y elementos en acción, determinar la mejor trayectoria del refrigerante.
- Por medio de fallas inducidas ver el comportamiento de los diferentes accesorios.

#### Introducción teórica

Este banco de pruebas está diseñado para poder inducir una serie de fallas, al mismo tiempo, por diferentes luces indican la alarma o la causa por la que fue el sistema parado, de igual manera se puede abrir el circuito de las alarmas automáticas para que el alumno las encuentre sin la ayuda de la máquina.

Esta es una herramienta didáctica para que el alumno en forma manual encuentre las diferentes fallas y las compruebe con el sistema automático.

Para mostrar algunos ejemplos de fallas inducidas cada motor ventilador en el evaporador y condensador cuentan con interruptores donde se puede para la operación de cada uno y sensores de alta y baja presión que por medio de un circuito eléctrico para el compresor y enciende una luz en el tablero, si esta en posición automático.

En las guías anteriores se han nombrado las partes del sistema, sus controles y dispositivos de seguridad, por lo que el estudiante ya esta en la capacidad de detectar cuál fue la razón y por qué paró el sistema de operar, y que dispositivo fue el que entro en acción para lograr dicho acontecimiento.

### Procedimiento

En esta guía el instructor inducirá las fallas en el sistema, los alumnos detectaran:

- 1) Cual fue el problema:
- 2) Que produjo el problema:
- 3) Enunciar la o las posibles causas:
- 4) Proponer la solución:

Repetir el paso anterior con una diferente falla.

### Análisis de resultados

- En conclusión las fallas en un sistema de refrigeración de que variable dependen

- Exponga las variables que son directamente proporcionales en todo sistema de refrigeración.
- De un listado de los dispositivos de seguridad que usted detecta en este banco de pruebas.
- Cuando un aire acondicionado en el evaporador se escarcha que dispositivo de control o seguridad no realice su función.

#### Investigación complementaria

- Que otros tipos de dispositivos de control existen en el mercado nacional.
- Que otros tipos de dispositivos de seguridad existen para los sistemas de refrigeración.
- Que dispositivo de los investigados le agregarías al banco de pruebas para mejorar su operación o tener operación mas segura.



## **TEMA**

### **USO DE LAS TABLAS P-T COMO HERRAMIENTAS DE SERVICIO**

#### Objetivos específicos

Al finalizar la sesión de laboratorio el participante estará en la capacidad de:

- Utilizar adecuadamente las tablas de P-T para el diagnóstico de problemas
- Comprender los términos recalentamiento o subenfriamiento.

#### Introducción teórica

Los fabricantes de refrigerantes, controles y otros proveedores distribuyen una gran cantidad de tablas presión-temperatura cada año. Sería raro encontrar un técnico de servicio que no pueda presentar rápidamente una tabla presión-temperatura.

A pesar de la amplia disponibilidad y aparente referencia a la relación presión-temperatura, solamente unos cuantos técnicos de servicio usan apropiadamente la tabla de P-T al diagnosticar problemas de servicio.

En un sistema de refrigeración, el refrigerante puede existir en una de las formas siguientes:

1. Líquido
2. Vapor
3. Mezcla de Líquido y Vapor

El lado de alta contiene refrigerante en las tres condiciones arriba estipuladas; la línea de descarga contiene vapor, el condensador, que contiene una mezcla de vapor y líquido, es donde el vapor se condensa en líquido. La línea entre el condensador y el recipiente usualmente contiene solo líquido, aunque no sería anormal encontrar una mezcla de vapor y líquido. La línea hasta la válvula de expansión termostática debe contener solamente líquido. Frecuentemente se instala un indicador de líquido y humedad, un visor, en la línea líquida para ayudar a determinar si el refrigerante líquido está completamente libre de vapor.

El lado de baja del sistema usualmente contiene refrigerante en solo dos de las tres formas; el lado de baja tiene vapor en la línea de succión y una mezcla de líquido y vapor en la salida de la válvula de expansión termostática hasta cerca de la salida del evaporador.

Es importante saber que en una tabla P-T, la relación presión-temperatura es válida solamente cuando existe una mezcla de refrigerante líquido y vapor. Cuando el refrigerante se encuentra como una mezcla de líquido y vapor, la condición se denomina "saturada". Esto significa que si podemos determinar la presión en cualquiera de estos lugares, podemos fácilmente determinar la temperatura simplemente encontrando la presión en una tabla P-T y leyendo la temperatura correspondiente.

En los puntos del sistema donde solo esté presente vapor, la temperatura real estará por encima de la temperatura que es indicada por la relación P-T para la presión medida. En teoría la temperatura del vapor pudiera ser igual a la temperatura que indica la relación P-T, pero en la práctica siempre es mayor. En este caso surge el concepto de recalentamiento, que es la diferencia entre la temperatura medida y la temperatura correspondiente en la tabla P-T para la presión en ese punto.

Donde se sabe que solamente líquido esté presente, como en la línea de líquido, la temperatura medida será un poco menor que la temperatura correspondiente a la presión. En este caso, se llama subenfriamiento de líquido a la diferencia entre la temperatura medida y la temperatura correspondiente a la relación P-T.

También, es posible encontrar que la temperatura real medida sea igual a la temperatura equivalente por la relación P-T. En este caso el subenfriamiento es igual a cero.

### Procedimiento

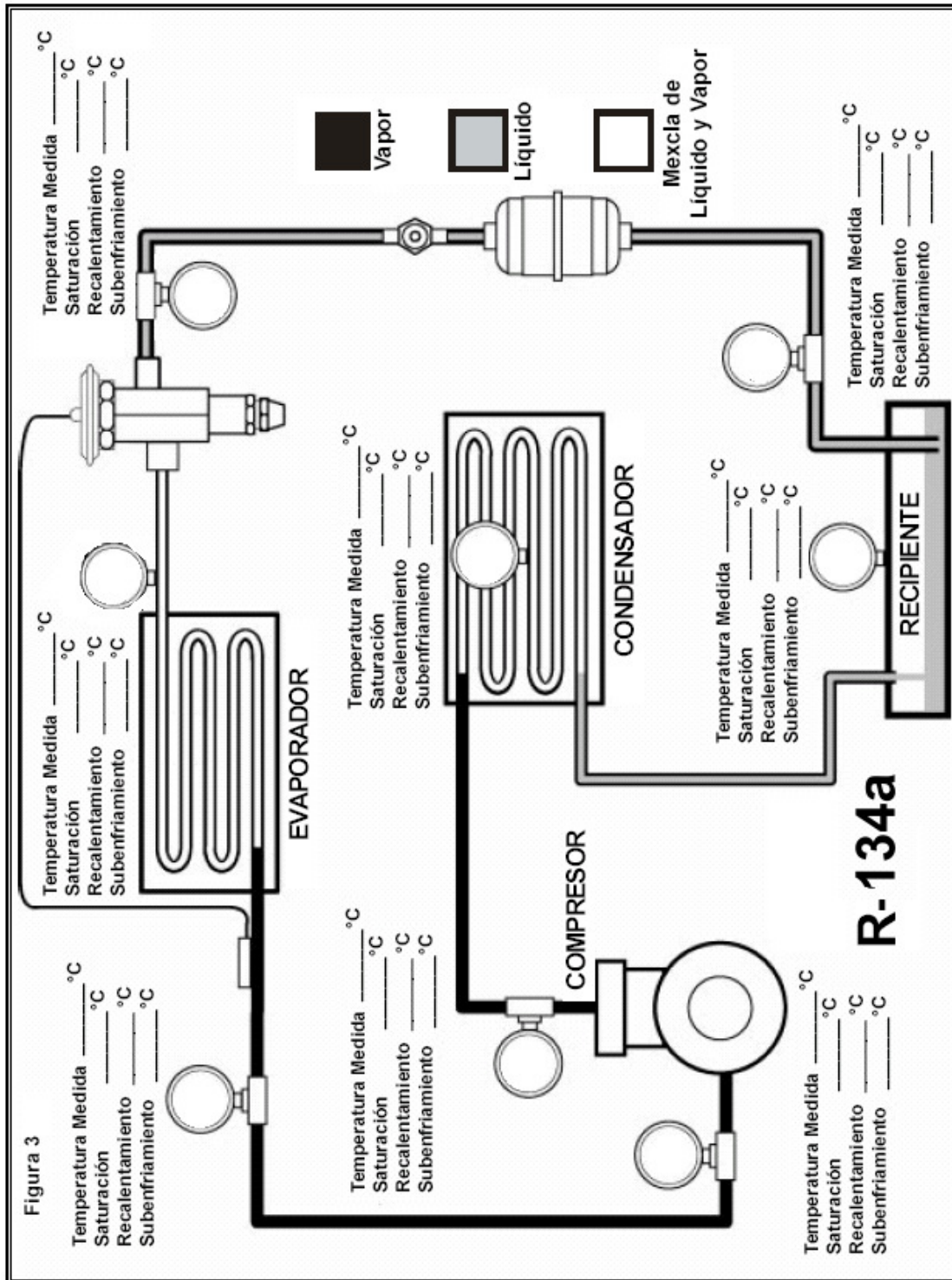
Con las variantes que ofrece el banco para pruebas, permita el funcionamiento de un ciclo según lo indicado por el instructor, tome sus datos y complete el esquema presentado de un sistema de refrigeración:

- 1) Tenga a la mano su tabla de P-T proporcionada en la guía N° 1
- 2) Ponga a funcionar el banco de pruebas y tome los datos de presión en los puntos indicados
- 3) Con los datos medidos de presión, encuentre el valor de temperatura equivalente en las tablas P-T y rellene el espacio indicado de saturación.
- 4) Confirmar si se cumple la relación P-T en los puntos donde esté presente una mezcla de líquido y vapor
- 5) Compare los datos de presión y temperatura tomados en la línea de succión, con los datos leídos de la tabla P-T. Calcule la diferencia entre ambas temperaturas y determine la cantidad de recalentamiento o subenfriamiento en esos puntos.
- 6) Ahora compare los datos de presión y temperatura tomados en la línea de alta del sistema de refrigeración, con los datos leídos de la tabla P-T. Calcule la

diferencia entre ambas temperaturas y determine la cantidad de recalentamiento o subenfriamiento en esos puntos.

7) Complemente los datos y haga sus conclusiones

Repetir el procedimiento anterior con un arreglo diferente del banco de pruebas.



Análisis de resultados

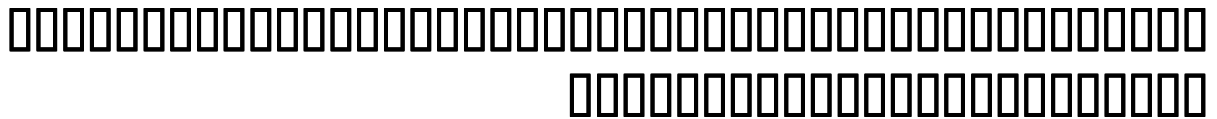
- ¿En que puntos se midió sobrecalentamiento?
- ¿En que puntos se midió subenfriamiento?

- ¿En que puntos el sobrecalentamiento es igual a cero?
- Complete el siguiente diagnóstico:
  - Alto subenfriamiento y bajo subenfriamiento se debe a:
  - Bajo subenfriamiento y alto subenfriamiento se debe a:
  - Alto subenfriamiento y alto subenfriamiento se debe a:
  - Bajo subenfriamiento y bajo subenfriamiento se debe a:
- Complete los siguientes enunciados:
  - Usando la tabla P-T podemos determinar la condición del refrigerante en cualquier punto en el sistema midiendo la \_\_\_\_\_ y la \_\_\_\_\_
  - Están presentes juntos \_\_\_\_\_ y \_\_\_\_\_ cuando la \_\_\_\_\_ medida corresponde a la relación P-T
  - Vapor recalentado está presente si la temperatura medida es \_\_\_\_\_ a la correspondiente en la relación P-T. La diferencia de temperaturas es la cantidad de \_\_\_\_\_. Está presente líquido subenfriado cuando la \_\_\_\_\_ medida es \_\_\_\_\_ a la de la relación P-T. La diferencia representa la cantidad de \_\_\_\_\_

Investigación complementaria

- ¿Cuál es la importancia de medir el sobrecalentamiento en un equipo?
- Explique a que se refiere el término subenfriamiento natural
- Explique a que se refiere el término subenfriamiento mecánico
- ¿Cuales son las ventajas que ofrece el subenfriamiento?
- Defina superheat

# Información complementaria, recomendaciones y conclusiones



## 6.1. Introducción

El área de aplicación de la refrigeración es muy extensa, y resulta hasta imposible buscar compactar toda la información sobre esta área en un documento; sin embargo, se ha buscado profundizar en los tópicos más importantes desde el punto de vista didáctico hacia el cual va orientado desde su concepción.

En el presente capítulo, como un complemento a la información desarrollada en el documento, se ha retomado una información publicada por la División de Aire Acondicionado de Tappan, Elyria, Ohio, información que presenta tópicos importantes sobre la búsqueda de fallas en sistemas de Aire Acondicionado y una guía de servicio para las mismas. Como cierre del capítulo y el documento, se presentan una serie de recomendaciones orientadas al manejo de equipos con sistemas de refrigeración por compresión.

## 6.2. Búsqueda de fallas en sistemas de Aire Acondicionado

Cuando un sistema de aire acondicionado no opera correctamente, la razón básica estará generalmente dentro de una de las siguientes cuatro categorías: falla de algún componente, ajuste equivocado, instalación defectuosa o diseño mal hecho.

- 1) Falla de algún componente
  - (1) Defectuoso desde fábrica
  - (2) Expuesto a condiciones de trabajo superiores a su capacidad

- (3) Falta de mantenimiento apropiado
- (4) Desgastado
- 2) Ajuste equivocado
  - (1) Demasiado aire exterior
  - (2) Suciedad, óxido, incrustación
  - (3) Controles descalibrados
  - (4) Balanceo de dampers según la estación del año
- 3) Instalación defectuosa
  - (1) Equipos sin acceso o ruidosos
  - (2) Torre o condensador enfriado por aire ruidosos
  - (3) Tubería de refrigeración mal puesta
  - (4) Conductos de aire mal instalados
- 4) Diseño mal hecho
  - (1) Equipo falto de capacidad
  - (2) Sistema de ductos falto de capacidad
  - (3) Mala distribución del aire
  - (4) Controles escogidos equivocadamente
  - (5) Cambios en las condiciones de operación

### **6.2.1. Falla de los componentes**

La falla de un componente es tal vez el problema más fácil de corregir para el técnico de servicio, puesto que una vez que se ha detectado, el simple cambio del repuesto permite que el sistema vuelva a operar satisfactoriamente. Pero ¿por qué falló esa parte? Muchas fallas tienen una causa obvia, por ejemplo, una banda reventada, un rodamiento gastado o un fusible quemado. Algunas sin embargo, requieren una gran habilidad para poderles encontrar una causa. Una válvula de un compresor partida es un ejemplo de un caso difícil. Entre estos dos extremos hay otras fallas tales como una conexión con escape en una línea de refrigerante, un

capacitor de motor quemado o un control defectuoso, cuyas causas son medianamente difíciles de determinar. En todos estos casos se puede seguir un proceso de eliminación para poder determinar el problema.

Un componente falla por varias razones, las que pueden ser resumidas como sigue:

1. Defectuoso desde fábrica.
2. Expuesto a condiciones de trabajo superiores a su capacidad.
3. Falta de mantenimiento apropiado.
4. Desgastado.

Los métodos de control de calidad modernos usados por los más importantes fabricantes impiden que partes defectuosas salgan de la fábrica. Para proteger al cliente que recibe algunas de las muy pocas que salen con problemas, el fabricante ofrece garantías que van desde uno a cinco años. Cualquier componente que funciona normalmente durante un año, tiene una probabilidad muy alta de permanecer en buenas condiciones de operación por muchos años más.

Las partes que fallan porque son expuestas a condiciones más allá de su capacidad son generalmente ítems de tipo eléctrico tales como motores y controles. Es posible sobrecargar los motores de los compresores y de los ventiladores, imponiéndoles condiciones de trabajo distintas a las de diseño. El motor de un ventilador puede ser sobrecargado fácilmente, aumentando su velocidad excesivamente, puesto que el caballaje requerido aumenta proporcionalmente al cubo de la velocidad. Así, por ejemplo, un ventilador que requiere un motor de un caballo a 500 rpm necesitará 8 caballos para trabajar a 1,000 rpm.

Los controles eléctricos llevan marcados desde fábrica los amperajes máximos que pueden consumir cuando se conectan a cada uno de los voltajes especificados para su operación. Cuando estas condiciones o límites son excedidos, la vida del componente eléctrico se acorta considerablemente.

Una parte que falla debido a la falta de mantenimiento apropiado, puede ser de tipo eléctrico o de tipo mecánico. Cualquier sistema que tenga parte o todos sus componentes expuestos a la intemperie, está sujeto a la corrosión y a otros tipos de

deterioros debidos a la lluvia y a los rayos solares. Estos últimos afectan principalmente a las partes hechas de plástico y al aislamiento del cableado eléctrico.

Cualquier componente que requiera lubricación periódica, estará sujeto a fallar prematuramente si el mantenimiento general lubricativo es ignorado. Los rodamientos de los motores y de los ventiladores caen dentro de esta clasificación. El compresor mismo puede ser también incluido aquí sobre todo si es del tipo abierto donde el aceite se puede escapar del sistema.

La cuarta clasificación para las razones por las cuales falla un componente es sencillamente el uso y el desgaste. Todo sistema estará tarde o temprano expuesto a fallar por esta razón. Los ítems más vulnerables aquí son los componentes, eléctricos. Sin embargo, los componentes mecánicos con parte móviles, tales como rodamientos y pistones, no se quedan muy atrás. Una lubricación programada prolongará la vida de estas partes.

### **6.2.2. Ajustes equivocados**

La segunda razón de importancia por la cual falla un sistema de aire acondicionado es, como se señaló previamente, ajustes equivocados. Comparando un sistema que no funciona debido a la falla de una pieza con un sistema que no funciona porque no ha sido bien calibrado, se verá que es este último el que causará al cliente mayor preocupación. La razón se basa en que en el primer caso el cliente está seguro de que hay algo malo, de modo que llamará al técnico de servicio para que la anomalía sea corregida. Cuando el sistema está mal ajustado, sin embargo, la situación puede irse desarrollando tan lentamente que el cliente no está seguro de que algo anda mal hasta no haber sufrido considerables molestias. Un sistema que se ha ido descalibrando gradualmente puede llevar a un cliente a quejarse porque:

- 1) Su capacidad de enfriamiento parece estar disminuyendo.
- 2) Su enfriamiento es disparejo e irregular.
- 3) Su costo de operación ha ido en aumento.
- 4) Su nivel de ruido está subiendo.

¿Cuáles son los posibles cambios en la calibración que pueden afectar la capacidad de enfriamiento de un equipo? Uno es la capacidad relativa de aire exterior que entra al sistema comparada con la cantidad de aire total circulado. Si

esta proporción es accidentalmente cambiada a favor del aire exterior, digamos por un damper que se descuelga, gran parte de la capacidad de enfriamiento de la unidad debe ser usada para bajar la temperatura y la humedad del aire exterior. Queda entonces muy poca capacidad sobrante para manejar la principal carga que es la impuesta por el espacio acondicionado.

Un cambio que ocurre lentamente a través de un largo periodo de tiempo es la reducción en aire acondicionado, debido a la acumulación de mugre en el filtro. Una reducción del 5% en la cantidad del aire implica una reducción del 1% en la capacidad de enfriamiento. Otros factores que tienen el mismo efecto en la capacidad son el polvo y la mugre que se acumulan en el serpentín de enfriamiento, en las aletas del ventilador o en los dampers, restringiendo el flujo del aire como lo hacen también las alfombras o muebles colocados de modo que el aire no puede circular libremente a través de un difusor de suministro o de una rejilla de retorno.

Otro cambio en las condiciones de operación que reduce la capacidad de un sistema está relacionado con el condensador. Si este es enfriado por agua, acumulará una capa de óxido y mugre en el lado de los tubos que da al agua, lo cual reducirá la transferencia de calor del refrigerante al agua. Como resultado de esto, el compresor deberá trabajar con presiones y temperaturas de descarga más altas, con la correspondiente reducción en la capacidad. El condensador puede ser regresado a su condición original mediante un tratamiento químico que remueve la capa de sedimentos. Un acondicionamiento y filtrado de agua apropiados alargarán los periodos de trabajo entre cada limpieza.

Las condiciones de operación con altas presiones de descarga descritas arriba, pueden ser también sufridas por un condensador enfriado por aire cuya eficiencia ha sido disminuida debido a la acumulación de polvo, recirculación del aire caliente o patinaje de una banda mal tensionada. Con el tiempo es también posible que la oxidación dañe o desprenda las tapas laterales de la unidad permitiendo que cierta cantidad de aire no pase por el serpentín.

Aun cuando el equipo de aire acondicionado parezca estar operando normalmente, es muy posible que el cliente se queje de falta de enfriamiento debido a una pobre distribución del aire. Esto es particularmente cierto en sistemas donde

una sola unidad manejadora presta servicio durante todo el año. No se pueden diseñar en todos los casos, sistemas que tengan los suministros localizados y graduados de tal forma que trabajen eficientemente durante los periodos de enfriamiento y también durante los periodos de calefacción. Por esta razón se buscan sitios intermedios donde puedan colocarse rejillas que tengan la necesaria flexibilidad para permitir ajustes según las estaciones, de modo que distribuyan el aire acondicionado en forma efectiva y sin causar molestias.

Cuando los costos de operación de un sistema aumentan y hacen que el cliente se alarme y se queje, el técnico de servicio debe comenzar verificando la carga de refrigerante. Si ésta es baja, la capacidad del sistema se habrá reducido a la mitad a tal punto que obliga a los compresores a trabajar más tiempo del normal. El también debe verificar la presión de descarga del sistema. Si la presión está alta debido a una ineficiencia del condensador, el técnico habrá determinado otra causa de los altos costos de funcionamiento, debidos a la reducción de capacidad del sistema que lo obliga a trabajar durante prolongados periodos de tiempo.

NOTA:

Un aumento en el costo de operación no es siempre el resultado de una falla en el sistema. Algunas veces se debe a cambios en el horario de trabajo del equipo o en la cantidad del aire exterior que este toma.

Las quejas de ruidos son el resultado de cambios en el flujo del aire, cambios de las posiciones de los dampers, amortiguadores de vibración gastados, bandas y rodamientos deteriorados o pernos de ajuste sueltos. Generalmente un ruido que aparece después de que el sistema ha estado en operación no es tan difícil de corregir como un ruido original del sistema.

### **6.2.3. Diseños o instalaciones mal hechas**

Hasta ahora hemos discutido el bajo rendimiento de un equipo de aire acondicionado desde el punto de vista de las fallas en los componentes o de los ajustes inadecuados. Discutiremos entonces brevemente los efectos de una mala instalación o de un mal diseño. Las responsabilidades del instalador y del calculista están estrechamente relacionadas. Teóricamente el diseñador o calculista debe

tomarse al tiempo necesario para planear y especificar cada parte del sistema hasta el tamaño y la localización del último tornillo. Si él pudiera constantemente supervisar el trabajo para ver si sus ideas han sido ejecutadas al -pie de la letra, sería prácticamente imposible que resultara algún problema en el equipo. En la vida real sin embargo, el diseñador trasfiere gran parte de la responsabilidad de diseño a la persona que hace la instalación, asumiendo que ésta conoce y practica las normas y los estándares necesarios para una buena instalación. El diseñador se responsabiliza entonces de seleccionar el tamaño de equipo apropiado, el tamaño y distribución de los duelos, el tamaño y distribución de los difusores de suministro y rejillas de retorno y del diseño del sistema de control. El instalador se responsabiliza de todo el resto del equipo. Cualquier problema que no se deba a la falla de un componente, descalibración o mala instalación, es en último término la responsabilidad del diseñador. No existe ninguna modificación que pueda hacerse a una unidad ya instalada, que le añada la capacidad que le quedó faltando debido a un cálculo que quedó corto desde el principio. Sin embargo, es posible en algunos casos reducir la carga de calor usando simples alternativas como son los aditamentos que producen sombra en las áreas de vidrio o los aislamientos térmicos adicionales.

Los sistemas de ductos que han resultado muy pequeños pueden algunas veces ser habilitados añadiendo uno o dos ramales. Una distribución que no es satisfactoria debido al enfriamiento desigual en las distintas áreas puede ser mejorada en ciertas ocasiones, relocalizando un difusor de suministro o una rejilla de retorno.

Los controles algunas veces no trabajan adecuadamente debido a su tipo y localización o debido a que el cliente no entiende su operación o su objeto. Estas son fallas que pueden ser corregidas frecuentemente.

Los equipos modernos de aire acondicionado son fabricados con tolerancias de operación muy precisas. Hay muchos modelos, tipos y tamaños de unidades para satisfacer cualquier demanda de aplicación. Sin embargo, el técnico de servicio no puede trabajar siempre sobre la base de que se seleccionó el equipo apropiado para el caso que está investigando. Tampoco puede él asumir que las condiciones en que se encuentra operando el sistema son las mismas condiciones originales de diseño.

Es importante entonces consultar con el cliente los posibles cambios que se hayan efectuado en las condiciones de operación y que él entienda los efectos que estos cambios puedan tener sobre la eficiencia del equipo.

Los fabricantes han instalado dispositivos de seguridad para proteger el equipo cuando se presenten condiciones de operación más allá de los límites de diseño o cuando se presenten fallas en los componentes. Puesto que la principal fuente de fuerza es la electricidad, se han instalado también dispositivos de seguridad en los circuitos eléctricos con el objeto de interrumpir el flujo de corriente en el caso de que el compresor, el corazón del sistema, esté en peligro. Afortunadamente esto pasa cuando se sobrepasan los límites de operación del sistema. Entonces cualquiera de los dispositivos de seguridad detendrá la unidad (control de alta o de baja, fusibles o térmicos de sobrecarga) sin embargo dispositivos eléctricos como estos, también puede fallar si su límite de capacidad es excedido.

Las limitaciones de operación pueden ser excedidas por cuatro razones básicas:

- a) El operador de la unidad está tratando de que ésta opere por encima de sus límites de diseño. Después de que un equipo ha sido instalado y puesto en operación, el cliente por cualquier razón después de cierto tiempo, puede decidir que el equipo está en capacidad de enfriar el pórtico o la alcoba adicional que él ha construido. Por otro lado las matas que plantó al frente de la unidad condensadora pueden haber crecido a tal punto que están reduciendo drásticamente el aire que requiere el equipo para condensación.
- b) El cliente está operando su equipo cuando las condiciones exteriores de temperatura están por debajo del mínimo (generalmente 69 °F). A menos que el equipo tenga controles de protección para operación a bajas temperaturas (comunes solamente en equipos comerciales). Si la unidad no tiene dispositivos especiales que permitan su operación con bajas temperaturas exteriores, el sistema está en peligro y se puede producir una llamada de servicio por parte del cliente. Generalmente cuando el técnico llega hasta el equipo, la temperatura exterior ha subido por encima del mínimo y la unidad está operando normalmente. Tenga presente todas estas posibilidades. Considere los cambios

que han ocurrido entre el momento de la llamada del cliente para informar que el equipo no funciona normalmente y el momento en que el técnico llega para examinar el equipo.

- c) Selección equivocada, el equipo no es el correcto para las condiciones de trabajo. Algunas veces esto se debe a políticas de ventas equivocadas o a que un vendedor fue un poco descuidado al hacer el examen del sitio de instalación. Otras veces las condiciones cambian. Esto ocurre muy frecuentemente cuando la casa o local cambia de dueño. Por ejemplo. Un propietario tenía un equipo de aire acondicionado que trabajaba muy bien y daba condiciones muy satisfactorias. Después de un tiempo, este señor vendió su local y el nuevo propietario quiso que los productos farmacéuticos estuvieran a una temperatura de 65 °F. El equipo simplemente no estaba calculado para esas condiciones, no pudo lograrlas y no se podía esperar que las lograra. En otro caso, un pequeño almacén en un centro comercial fue adaptado para la venta de comidas rápidas listas para servir, instalando hornos y parrillas adicionales con requisitos especiales de ventilación que excedieron por mucho la capacidad de enfriamiento instalada originalmente.
- d) Una instalación defectuosa es una "instalación con problemas" desde el principio es penoso examinar un equipo y encontrar que la instalación en sí es la causa del problema y que hay que intentar corregir el problema de una manera efectiva pero barata. Con demasiada frecuencia, mecánicos "piratas" hacen malas instalaciones con el objeto de reducir costos o de aumentar sus ganancias, lo que no le causa sino problemas al cliente. Finalmente éste decide buscar a alguien diferente para que le solucione sus problemas y no se pone muy contento cuando le informan que el problema está en la instalación. Un sistema "partido" donde la unidad condensadora está muy lejos de la enfriadora, donde se utilizó el diámetro incorrecto de tubería, donde la localización de la condensadora permite la recirculación del aire o no permite que le llegue suficiente, donde no se pensó en el retorno del aceite o en la localización apropiada del termóstato, o donde los ductos y la localización de los difusores de suministro y rejillas de retorno es

inadecuada, nunca operará correctamente ya que algunas de las partes originales de la instalación impiden que así sea.

Es generalmente fácil determinar cuál es la causa de que un equipo no funcione u opere deficientemente, pero encontrar por *qué* se presentó la falla o el problema es la pregunta más difícil que el técnico de servicio debe contestar.

Cambiar un fusible quemado, reconectar un interruptor de baja saltado o poner más refrigerante en un sistema que está "corto" es muy fácil y pone al equipo a funcionar de nuevo, pero es como inflar una llanta que no ha sido parchada todavía.

Algo tiene que haber causado el fusible quemado, el interruptor de baja saltado o la falta de refrigerante. En el caso del fusible, la causa puede ser pasajera, como una subida de voltaje, puede que no se presente de nuevo en mucho tiempo, pero esto es raro. Cuando un fusible se quema, el técnico de servicio debe efectuar un chequeo a fondo.

Si un sistema necesita refrigerante (el "curalotodo" más usado) es porque ha perdido parte de su carga original, lo que significa que hay un escape encuéntrelo y repárelo. Y solamente porque se saltó el control de baja no quiere decir que el sistema necesite refrigerante. La mayor parte de las veces se debe a una restricción del flujo del aire a través del evaporador. Al cambiar unos filtros sucios o al efectuar el ajuste necesario en el ventilador el problema quedará resuelto. Por el contrario, al añadir más refrigerante aparecerán más problemas.

Lo anterior fue todo incluido con el objeto de llamar la atención al modo como se debe enfocar el diagnóstico de problemas, el cual debe ser inicialmente como un gran reflector que ilumina todo el escenario. Algunas veces el problema se hará patente aún antes de abrir la caja de herramientas, lo que le ahorrará tiempo y esfuerzos al mecánico. Si el problema es un poco más delicado, el rayo de luz será reducido para enfocar una parte a la vez.

Los técnicos de servicio experimentados desarrollan una *lista de pasos* a seguir o lo que es lo mismo una secuencia de acciones para efectuar una vez que han llegado al sitio de un equipo con problemas. En conclusión, ¿cuáles son las quejas más comunes de los clientes? Las tres principales y las dos secundarias son:

- (1) La unidad no arranca.
- (2) La unidad arranca pero para enseguida.
- (3) La unidad trabaja pero no enfría.
- (4) La unidad hace demasiado ruido.
- (5) La unidad trabaja seguido, enfría demasiado.

Algunas veces la queja consiste en que algunas áreas no enfrían tan bien como otras. Esto no es problema del equipo, aunque es una queja legítima, ya que el cliente espera y se merece que el aire acondicionado sea completo. Este es entonces un problema de distribución y balanceo del aire. El ajuste de rejillas de suministro y de dampers puede solucionar el problema, aunque en ocasiones es necesaria una cura más costosa tal como el remplazo de los difusores existentes con difusores de damper, la instalación de un damper en el sistema de duelos, la prolongación o relocalización de un ramal o la instalación de aislamiento térmico en el cielo falso.

Si se remplace un componente, desde un fusible hasta el compresor, se deben estudiar cuidadosamente las posibles causas de la falla de dicho componente con el objeto de evitar que el problema se presente de nuevo.

#### **6.2.4. Escapes de refrigerante**

Los escapes de refrigerante son probablemente la causa más frecuente de que el sistema falle. A pesar del extremo cuidado y de los detectores de escapes ultrasensibles usados en cada etapa de fabricación, los escapes ocurren y probablemente serán inevitables.

Los tubos de cobre blando son los más frecuentemente usados para las líneas de interconexión del circuito del refrigerante. Son fáciles de doblar aunque una vez curvados se "endurecen". A medida que se doblan más, se endurecen más, hasta que se ponen tan quebradizos que se rompen como el vidrio. Algunas veces una vibración constante puede causar un lento "acondicionamiento" de los tubos, haciéndolos poco a poco más quebradizos hasta que alguno se raja o se parte originando un escape. Durante la producción, la mayoría de las líneas de succión y de descarga, son hechas de tal forma y tamaño que los efectos de la vibración se reducen a un mínimo. Con cierta frecuencia los escapes se presentan cerca de las

uniones que han sido soldadas con llama, puesto que el calor tiende a endurecer el cobre. Esto es especialmente cierto si se usó demasiado calor para soldar la unión o si la misma unión ha sido soldada varias veces. Así pues, no se recomienda que una rajadura en un tubo sea reparada simplemente tapándola con soldadura. Lo mejor es reemplazar toda la sección de tubo existente hasta las uniones más cercanas.

La unión soldada con llama que requiere gran habilidad y cuidado, es aquella que se hace en líneas de cobre de pequeño diámetro como los tubos restrictores (capilares).

Cualquier reparación que requiera la unión de la punta de un capilar a una conexión debe ser hecha con extremo cuidado. Introduzca el tubo lo suficiente dentro de la unión para evitar que la soldadura tape el extremo abierto del tubo; de todos modos la posición del tubo dentro de la unión no debe de ningún modo restringir el flujo de refrigerante. Después de colocado en su punto, proceda a soldar sosteniendo el tubo capilar de tal modo que no tenga ningún movimiento. Siempre use nitrógeno durante el tiempo que dure la operación de soldar.

Hay cuatro razones por las cuales se presentan escapes en uniones soldadas:

- Poco calor o calentamiento disparejo
- Cobre oxidado o sucio
- Unión con poco ajuste o suelta
- Uso inapropiado del fundente

Cuando se encuentra una unión con escape debe ser desconectada por completo, limpiada e inspeccionada antes de ser soldada de nuevo. Es difícil a veces saber si la soldadura está fluyendo bien dentro de la unión. Puede parecer que está formando un buen sello alrededor del borde exterior de la unión el cual puede aguantar por un tiempo, pero para que una unión soldada con llama dure indefinidamente, la soldadura debe fluir de modo parejo y profundo entre las paredes en contacto de las dos piezas de cobre.

Esto lo asegura una aplicación apropiada del calor durante el proceso de aplicación de la soldadura. La soldadura fluye hacia donde está más caliente, de

modo que aplicando la llama del soplete en un área más allá del extremo del tubo, se obligará a la soldadura a fluir hacia donde se necesita.

## **6.3. Guía para diagnóstico de fallas**

### **6.3.1. La unidad no arranca**

- Verifique si hay voltaje
- Verifique el disyuntor del circuito (¿es la capacidad apropiada?)
- Verifique los fusibles (¿de la capacidad correcta?) Si están quemados investigue por qué. Verifique el termóstato. ¿Contactos cerrados? ¿Cable suelto?
- Verifique los interruptores de alta y baja presión.

### **6.3.2. Falla en los controles**

- Verifique el transformador del circuito de control.
- ¿Se cierran los contactos? ¿O se mantienen abiertos?
- Verifique las conexiones de los terminales y el contactor.

### **6.3.3. Control de baja presión abierto**

- Restricción en las líneas de líquido o succión.
- Poco refrigerante en el sistema.
- Retorno de aire pobre sobre el serpentín evaporador.
- Válvula de expansión termostática bloqueada o tubo capilar obstruido.

### **6.3.4. Control de alta presión abierto**

- Poco flujo de aire (o agua) al condensador. Presión de succión excesiva. Condensador sucio. Sobrecarga de refrigerante.

### **6.3.5. La unidad arranca pero rápidamente para**

- Verifique los interruptores de seguridad de alta y baja presión.

### **6.3.6. Verifique el consumo en amperios**

- (vea la placa de identificación)

### **6.3.7. Verifique los térmicos de sobrecarga**

- Aunque este control requiere tiempo para reconectar, puede de todos modos obligar a la unidad a parar después de un corto tiempo de operación.

### **6.3.8. Cortes por control de baja**

- Restricción en las líneas de líquido o succión.
- Poco aire sobre el evaporador.
- Poco refrigerante.

### **6.3.9. Cortes por control de alta**

- Poco flujo de aire (o agua) al condensador
- Condensador sucio.
- Exceso de refrigerante en el sistema
- Alta presión de succión
- No-condensables.

### **6.3.10. Un consumo de alta corriente se puede deber a**

- Alta presión de descarga
- Relé de arranque defectuoso
- Capacitor defectuoso
- Alto o bajo voltaje
- Alambrado incorrecto
- Compresor frenado
- Contactos quemados

### **6.3.11. La unidad trabaja pero no enfría**

Primero hay que preguntarle al cliente si el equipo alguna vez ha enfriado a satisfacción. Muchas veces el cliente es "engañado" o simplemente no sabe exactamente qué puede esperar de su sistema. Algunas veces el cliente pone requisitos de temperatura que no están dentro de las capacidades del equipo instalado.

Verifique el  $\Delta T$  (diferencial de temperatura) a través del evaporador. Un diferencial de 18 a 22 °F indica que la unidad está haciendo el trabajo correctamente. El hecho de que no enfríe la casa o el almacén ya es otro problema diferente.

Algunas veces el cliente insiste en que el equipo "no enfría" cuando en realidad no hay sino una o dos alcobas con problemas. Esta situación cae dentro de la clase de problemas de balanceo y ajuste de rejillas de suministro, ajuste de dampers, etc. Alcobas debajo de techos calientes necesitan aislamientos adecuados, no menos de 4 pulg y preferiblemente 6 pulg de espesor.

Si el equipo enfriaba bien anteriormente, hay que buscar algún cambio físico dentro del espacio habitable de la casa o del almacén:

- ¿Se ha añadido alguna pieza?
- ¿Hay más cargas internas? (Motores, computadores, hornos, etc.)
- ¿Se están abriendo las puertas con más frecuencia?

Busque algo que pueda estar aumentando la carga más allá de los límites de la unidad. No Hay que subestimar la parte "sicológica". Algunas veces, después de visitar la casa del vecino, (que tiene una unidad más grande o mejor distribución de aire) el cliente llega a la conclusión de que su equipo no opera bien, cuando en realidad da las condiciones normales de confort. Sin lugar a dudas, la parte sicológica del aire acondicionado es la más difícil y debe dejarse para alguien en la organización que tenga bastante experiencia con problemas de este tipo.

### **6.3.12. Verificación de ductos**

El área a la que menos atención se le presta cuando se está tratando de diagnosticar un problema es a la de los ductos inadecuados o mal instalados, los cuales son con mucha frecuencia la causa básica de las quejas de mala operación,

especialmente cuando el sistema de aire acondicionado ha sido "adicionado" a un sistema de calefacción ya existente.

La capacidad de los ductos en un sistema de calefacción instalado en un clima intermedio, es muy pocas veces la adecuada para la distribución de aire frío, especialmente en complejos habitacionales de varios pisos. El aire caliente es liviano y tiende a subir, mientras que el aire frío es pesado y necesita de más potencia para pasar a través de los ductos hasta las áreas más altas. Para empeorar las cosas, los pisos superiores son los que generalmente necesitan más enfriamiento.

El mayor problema parecen ser los retornos de aire inadecuados. La solución más común es la de instalar retornos adicionales; sin embargo, el hecho de que haya uno o dos retornos adicionales no implica que necesariamente quede resuelto el problema de distribución del aire.

Primero hay que mirar los difusores de suministro ya que un buen instalador siempre se asegura de que los suministros sean del tipo, tamaño y cantidad adecuados para garantizar una operación eficiente. Si a pesar de todo, este aspecto de la instalación fue descuidado (para reducir costos), el remplazo de las rejillas y difusores por otros más adecuados y mejor situados mejorará notoriamente la eficacia del sistema. Lo principal es que los nuevos difusores sean del tipo de múltiples aletas, ajustables vertical y horizontalmente para ajustar la dirección de la descarga del aire.

Los difusores de suministro tampoco son los "curalotodo" por sí solos. Todo el sistema de ductos debe ser el adecuado para la distribución de aire pesado sin sobrecargar demasiado el ventilador o el motor.

NOTA:

Un motor para ventilador de más caballaje no mueve más aire. El simplemente hace girar la rueda ventiladora a la misma velocidad del motor de menor caballaje. Sin embargo, el motor grande podrá mantener esa velocidad bajo condiciones de mayor carga. Un motor de más capacidad es necesario siempre que se añada enfriamiento a un sistema de calefacción ya instalado en una región con clima intermedio. Se usa con frecuencia en estos casos un motor de dos velocidades, la

baja, para la calefacción durante el invierno que es suave y alta, para el verano que es bastante caliente.

### **6.3.13. Circuito de refrigeración con aire**

Queda aire en el sistema cuando se hace un vacío incompleto. El aire en el sistema es algo indeseable ya que no es condensable e incrementa la presión de condensación. Demasiado aire en el sistema puede aumentar la presión de descarga en 30 ó 40 lbs/pulg<sup>2</sup>.

### **6.3.14. Unidad demasiado ruidosa**

Aunque ésta puede ser considerada una queja menor, el técnico de servicio debe prestar especial atención a los ruidos mecánicos extraños, ya que éstos son el comienzo de fallas mecánicas graves, que pueden ser evitadas si los síntomas se tratan con tiempo.

Generalmente el primero en quejarse de un ruido es un cliente o vecino muy sensible y aquí se entra de nuevo en el campo de los problemas psicológicos.

Los dueños de sistemas de calefacción están acostumbrados ya al ruido del ventilador. Sin embargo, un condensador enfriado por aire les molestará al principio aunque esté operando normalmente. Algunas veces la alternativa del técnico es la de representar el papel de quien busca y corrige un ruido, cuando lo único que está haciendo es una inspección de rutina.

La localización física de la unidad condensadora, teniendo presente la dirección de flujo del aire descargado, siempre influye notoriamente en el nivel de ruido. Por ejemplo, si un condensador de descarga vertical se coloca muy cerca a la casa bajo un techo saliente amplio, el ruido puede quedar atrapado: una esquina formada por la casa y cualquier otra pared puede crear un efecto de "amplificación" haciendo que el ruido moleste a los vecinos que están aún, a varias casas de distancia.

Además de esto se presentan también los chillidos, cascabeleos, zumbidos y golpeteos que pueden requerir desde muy poco hasta bastante tiempo para corregirlos y que pueden alertar al técnico sobre posibles fallas próximas a ocurrir.

Sonidos como de motor a reacción y silbidos se deben generalmente a sistemas de ductos inadecuados que obligan al aire a moverse a velocidades muy altas. Al aumentar el tamaño de los suministros y de las rejillas de retorno se pueden reducir drásticamente la velocidad y los ruidos producidos en esta forma.

### **6.3.15. La unidad trabaja pero enfría demasiado**

Esta es la queja más rara, pero merece ser analizada aunque sea sólo para completar la lista.

El sitio más obvio para mirar es el termóstato, el cual debe estar instalado en un sitio donde pueda "sensar" la temperatura promedio del espacio acondicionado. Además, el control del ventilador debe ser colocado en el sitio de operación constante durante la época de enfriamiento, con el objeto de recircular el aire y evitar la estratificación.

Un termóstato "descalibrado" o atascado es una de las causas más comunes de esta condición. Un termóstato que no tiene anticipador de enfriamiento debe ser remplazado por otro que sí lo tenga para obtener un control de temperatura mucho más exacto.

## **6.4. Guía para servicio de fallas**

Al haber adquirido un conocimiento básico de fallas en un sistema de aire acondicionado, se presenta un apartado publicado por la División de Aire Acondicionado de Tappan, Elyria, Ohio, para ayudar a un rápido diagnóstico y corrección de un problema, es una guía industrial para el servicio de equipos de aire acondicionado. Esta guía se refiere a los equipos Tappan y las recomendaciones pueden variar un poco para otros equipos de otras marcas. La guía se denomina *indicador de problemas* y está basada en las categorías de fallas más comunes:

- ☛ La unidad no arranca
- ☛ La unidad arranca y luego desconecta
- ☛ La unidad arranca y para continuamente

La unidad trabaja pero no enfría adecuadamente

Antes de proceder al uso de los cuadros *indicadores de problemas* hay que hacer énfasis en el hecho de que se necesitan las herramientas y el equipo adecuado para poder afrontar cualquier situación de servicio. La experiencia demuestra que la mayoría de los problemas de servicio se deben a fallas eléctricas. Sin embargo, muchos problemas ocurren en el sistema de refrigeración y otros en el sistema de distribución del aire; aún más, otros resultan por la falta de instrucciones adecuadas para el cliente y por su falta de conocimiento sobre qué puede él obtener de su sistema.

#### **6.4.1. Herramientas necesarias para servicio**

Hay ciertas herramientas básicas e instrumentos indispensables para prestar servicio a un sistema de aire acondicionado. Herramientas especiales para ciertos modelos pueden ser necesarias según lo especifique el fabricante. Además, hay otros instrumentos disponibles en el mercado que tal vez no sean absolutamente esenciales pero que pueden ser bastante útiles en el diagnóstico de ciertos problemas.

#### **6.4.2. Herramientas para refrigeración**

A causa de que un sistema de aire acondicionado consiste de componentes eléctricos y mecánicos, son necesarios varios tipos de herramientas. Algunos ejemplos de la herramienta y equipo básicos son:

- Manómetro de alta presión con escala de 0 a 400 lbs/pulg<sup>2</sup>
- Manómetro de baja presión con escala desde 30 pulgadas de vacío hasta 150 lbs/pulg<sup>2</sup>
- Múltiple de válvulas para manómetros con mangueras flexibles.
- Manguera para cargar refrigerante
- Báscula para pesar cilindros de refrigerante o un *cilindro para carga*

- Llave de refrigeración (no use alicates)
- Detector de escapes (lámpara halógena o electrónica)
- Bomba para hacer vacío
- Equipo de soldadura de oxiacetileno
- Herramientas para limpiar tubería de cobre antes de soldar
- Cortadores de tubo
- Dobladores de tubo
- Herramienta para emboquillar
- Termómetro
- Sicrómetro de volteo
- Destornilladores, llaves, alicates, cinceles y seguetas, centropuntos, limas, taladros y brocas de distintos tamaños, etc.

### **6.4.3. Herramientas para electricidad**

Los destornilladores, alicates, etc. de la lista de arriba deben incluir aquellos que se necesitan para hacer los distintos tipos de conexiones y reparaciones eléctricas, como son los cortadores y peladores de cable. Además se debe disponer de los siguientes aparatos:

- Combinación de voltímetro-ampenmetro-óhmmetro (para medir voltaje, amperaje y resistencias).
- Serie para probar continuidad.
- Lámpara de prueba de neón.
- Probador de capacitores.
- Cables de conexión y pinzas caimanes.

- Un velómetro para medir la velocidad es bastante útil en el balanceo de un sistema. Un manómetro se usa frecuentemente para verificar la presión estática en los ductos.

Que un sistema del tamaño adecuado opere satisfactoriamente depende de que haya una presión de descarga apropiada, presión de succión normal, consumo de corriente y distribución de aire aceptables. El técnico de servicio debe poder determinar estas variables con el objeto de diagnosticar la falla o de establecer que el equipo funciona adecuadamente.

### 6.4.4. Indicador de problemas

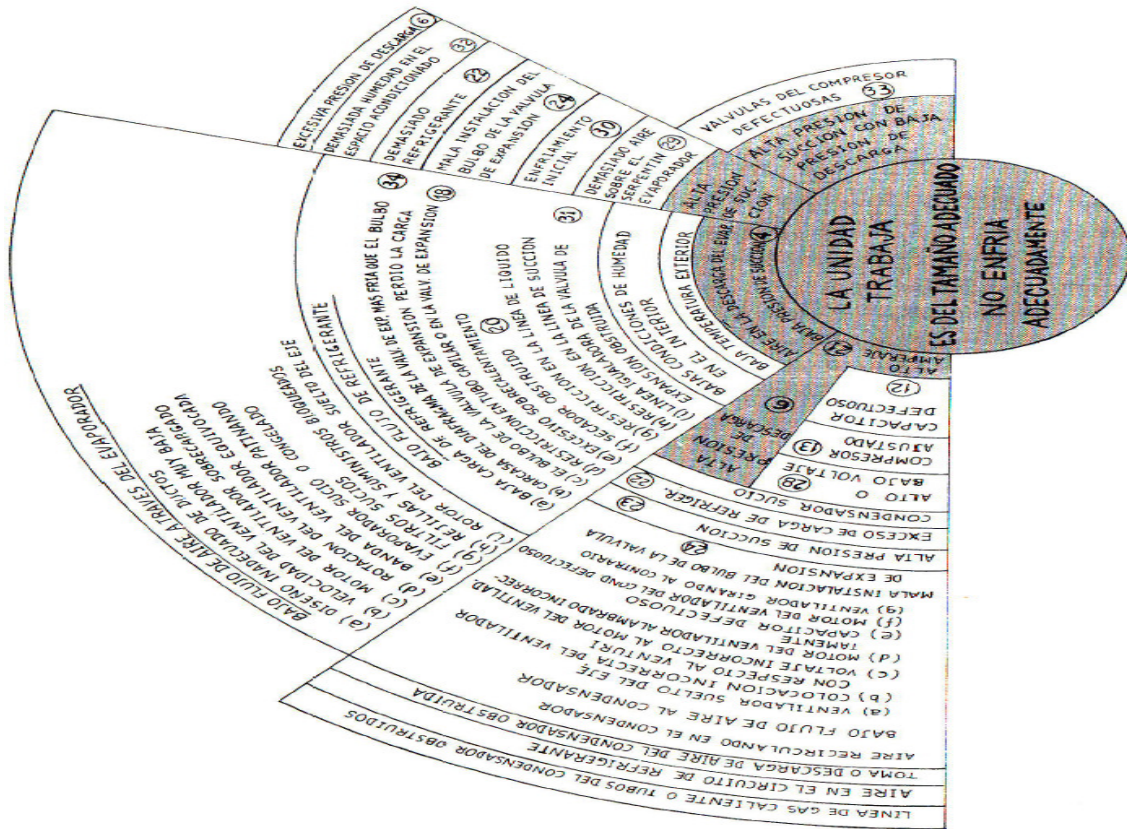
En el punto central de las cartas presentadas en las figuras 6-1, 6-2, 6-3 y 6-4, se especifica el problema básico; es ahí donde debe darse inicio a la interpretación de las mismas. Hacia afuera en los semicírculos adyacentes, se especifican las posibles causas del problema básico. Deben determinarse cuáles de estas causas existen antes de ir más allá.



**Figura 6- :** Indicador de problemas en sistemas de refrigeración. La unidad no arranca  
El resto de los semicírculos especifican una serie de condiciones que pueden en un momento dado contribuir a causar la falla que origina el problema básico.



Los números en las cartas son para guías y para explicación. Donde no se han utilizado números es porque se ha considerado que la frase se entiende por sí sola.



**Figura 6-** : Indicador de problemas en sistemas de refrigeración. La unidad trabaja pero no enfría adecuadamente

- (1) **La unidad no arranca:** Algunas unidades están equipadas con un contactor, otras con un arrancador y aunque son muy parecidos, el arrancador se distingue porque incluye un térmico generalmente de reconexión manual para evitar que el compresor arranque y pare constantemente debido a sobrecargas. Un contactor no tiene térmico de sobrecarga ni reconexión manual. Si la unidad no arranca verifique los fusibles, cierre el interruptor principal de desconexión y coloque los controles en la posición de trabajo. Observe si el contactor o arrancador está abierto o cerrado. Si no está cerrado, accione la reconexión manual. Si después de todo aún no cierra, verifique el voltaje en la bobina del arrancador.

- (2) **Contactador o arrancador abiertos, no hay zumbido:** Cuando el contactador o arrancador están abiertos pero no hay zumbido, la indicación es de que no hay voltaje en la bobina, o si hay voltaje, la bobina está abierta. Accione la reconexión del arrancador y la reconexión del control de alta presión. Si la unidad no arranca verifique el voltaje en la bobina con un voltímetro Si hay voltaje la bobina está abierta. Cambie la bobina del arrancador o del contactador. Si no hay voltaje, verifique el suministro de corriente al circuito de control. Si hay corriente en el circuito de control use el óhmmetro para verificar uno por uno, la continuidad en los siguientes controles: Control de alta presión, control de baja presión, interruptor retardador de tiempo, el relé de seguro y el termóstato. También verifique el cableado para asegurarse de que no haya una conexión suelta o un cable abierto.
- (3) **Interruptor de baja presión abierto:** Este interruptor está calibrado de fábrica para que abra sus contactos a aproximadamente 25 lbs/pulg<sup>2</sup> con un diferencial de 35 a 40 lbs/pulg<sup>2</sup>. Generalmente se conecta automáticamente.
- (4) **Baja presión de succión:** La presión de succión bajo condiciones normales de operación no debe estar por debajo de aproximadamente 30 psi con *R-134a*.
- (5) **Interruptor de alta presión abierto:** Este interruptor está calibrado de fábrica para que abra sus contactos a aproximadamente 415 lbs/pulg<sup>2</sup>, con un diferencial de aproximadamente 65 lbs/pulg<sup>2</sup>. Algunos requieren reconexión manual, otros son de reconexión automática.
- (6) **Excesiva presión de descarga:** La presión de descarga no debe, generalmente, exceder la presión correspondiente a la temperatura ambiente (unidades enfriadas por aire) más de 18 ó 20 °C para R-11 cuando la presión de succión sea de aproximadamente 36 lbs/pulg<sup>2</sup>.
- (7) **Termostato interno del compresor abre y cierra:** Algunos compresores están equipados con termóstatos internos. El termóstato puede ser para 24 voltios o para voltaje de línea. Su objetivo está en sensar excesivas temperaturas en el embobinado del compresor y rápidamente abrir el circuito de fuerza para evitar que se queme el motor. Esta alta temperatura

puede ser causada por demasiado consumo de corriente o por altas temperaturas del gas de succión, haciéndolo inadecuado para enfriar el motor. El gas de succión caliente se puede deber a una carga baja, demasiado sobrecalentamiento, una restricción en la línea de líquido o en la línea de succión, o a una restricción en el secador. Cuando el termóstato interno se abre, se puede demorar de 5 a 30 minutos en enfriarse lo suficiente para volver u cerrar. Para chequear un termóstato interno de 24 voltios y ver si está abierto, una momentáneamente los terminales del termóstato interno. Si la unidad arranca, los contactos del termóstato están abiertos. Espere hasta que el compresor se enfríe antes de tratar de arrancarlo de nuevo. Mientras tanto, investigue las posibles causas del problema. Para chequear el voltaje de línea del termóstato interno y ver si está abierto, deje el circuito sin corriente y remueva cuidadosamente todos los cables de los terminales del compresor. Asegúrese de no aflojar los terminales en el punto donde pasan a través de la carcasa del compresor, puesto que esto puede causar un escape de refrigerante. Haga una prueba de continuidad entre todos los terminales con el óhmmetro. Si se produce una lectura de resistencia infinita puede estar abierto el termóstato o el embobinado. Permita que el compresor se enfríe antes de probar de nuevo.

- (8) **Contactador o arrancador abierto y zumbando:** Cuando el contactor o arrancador está abierto y zumbando, está indicando que la bobina está energizada pero que el contactor o el arrancador no son capaces de cerrar. Vea los Artículos 9 y 10 para identificar la causa.
- (9) **Bobina con voltaje normal:** Verifique el voltaje que llega a la bobina. No puede estar más de un 10% por debajo del requerido para que el contactor o arrancador cierre: Esto es, 21.6 voltios para el caso de una bobina a 24 voltios. Si el voltaje es normal, el mecanismo puede estar frenado o malo. Remueva e inspeccione este mecanismo limpiándolo internamente si es necesario. Si el mecanismo es demasiado lento, reemplace el mecanismo del contactor o del arrancador.

- (10) **Bobina con voltaje por debajo de lo normal:** Verifique el voltaje que llega a la bobina. Si está más de un 10% por debajo del especificado, puede deberse a:
- a) La capacidad en voltioamperios del transformador es muy baja
  - b) El voltaje del primario del transformador está demasiado bajo.
- (11) **Relee de arranque defectuoso:** Un relé de arranque se usa solamente en el caso de compresores monofásicos de arranque con capacitor y marcha con capacitor (sistema CSR). Este tipo de compresor arranca a veces "contra presionado", es decir, con la presión de descarga mayor que la presión de succión. Los contactos del relé de arranque deben estar cerrados cuando el compresor está parado y deben abrir cuando el compresor alcanza un 85% de su velocidad de trabajo. Su función consiste en sacar el capacitor de arranque, desconectándolo del embobinado de arranque cuando el motor se aproxima a su velocidad de trabajo. Algunas veces los contactos se pueden quedar abiertos o pueden estar cerrados, pero sin permitir el paso de la corriente. Si la presión de descarga y la presión de succión son iguales, el compresor puede que arranque y continúe trabajando. Para verificar si existe esta situación, arranque la unidad y vuélvala a parar reiniciándola de nuevo antes de que las presiones puedan igualarse. Si los contactos del relé están abiertos o no están conduciendo la corriente, el compresor no arrancará y el fusible de la línea probablemente se quemará. Cambie entonces el relé. Algunas veces los contactos se quedarán pegados y no abren. En este caso el compresor se desconectará por sobrecarga. Cambie también el relé.
- (12) **Capacitor defectuoso:** La función del capacitor de arranque consiste en proporcionar el suficiente torque de arranque en un compresor monofásico, con arranque y marcha con capacitor (CSR). La función del capacitor de marcha consiste en mejorar el factor de potencia, reduciendo así el consumo de corriente en un compresor monofásico, con arranque y marcha con capacitor (CSR). Su función en compresores con capacitores divididos permanentes (PSC) consiste en ayudar en algo con el torque de arranque y reducir el consumo de corriente. Los capacitores de arranque o de marcha en corto quemarán el fusible de la línea o harán que el compresor prenda y pare

accionado por el interruptor de sobrecarga. Un capacitor de arranque abierto será la causa de un amperaje por encima de lo normal en los compresores del tipo CRS y pueden obligarlos a arrancar y a parar por sobrecarga. Un capacitor de marcha abierto en compresores del tipo PSC hará que éstos se desconecten inmediatamente por sobrecarga.

(13) **Compresor frenado, atascado, quemado o con el embobinado abierto:**

Antes de llegar a la conclusión de que estamos frente a uno de estos casos, asegúrese de verificar la continuidad en el embobinado del motor del compresor. Remueva cuidadosamente todos los cables de los terminales del compresor. Asegúrese de no aflojar los terminales en el punto donde pasan a través de la carcasa del compresor puesto que esto puede causar un escape de refrigerante. Si no parece que esté abierto o quemado el embobinado, verifique todos los demás componentes en el circuito del motor del compresor, tales como el interruptor de sobrecarga que se puede haber quedado abierto, antes de retirar el compresor. Que el compresor se atasque o se frene se debe generalmente a la falta de retorno del aceite al compresor. Asegúrese de verificar la línea de succión para comprobar si está retornando el aceite en caso de que el compresor esté atascado o frenado. Siempre que la línea de succión deba ser elevada en instalaciones hechas en el sitio, se debe incluir una trampa a la salida del evaporador. Si el compresor es de tres fases, intercambie cualquier par de líneas de las que van hasta el motor. Esto hará que cambie el sentido de la rotación y puede que suelte el compresor. Si resulta que el embobinado del motor está abierto:

- a) Suelte el refrigerante
- b) Retire el compresor y selle las tuberías tanto del compresor como del sistema
- c) Instale un nuevo compresor
- d) Instale un secador nuevo
- e) Presione el sistema hasta 75 lbs/pulg<sup>2</sup> y verifique si hay escapes

- f) Haga vacío tres veces hasta 28 pulg de mercurio, rompiendo cada vez el vacío con vapor de refrigerante, hasta subir la presión a 5 lbs/pulg<sup>2</sup> (no se debe usar el compresor del sistema para hacer estos vacíos)
- g) Recargue el sistema

**Compresor quemado:** Siempre que en un compresor se quema el circuito se contamina fuertemente y debe ser limpiado a fondo si se quiere evitar que los compresores se sigan quemando. Proceda de la siguiente manera:

- a) Instale un tubo de cobre de 1/4pulg con una válvula de corte en la línea de líquido o en la válvula de servicio del lado de alta. Descargue el refrigerante dentro de un recipiente tapado para evitar que salpique y evitar quemaduras de ácido. La reacción química producida al quemarse el compresor produce un ácido dentro del sistema, el cual puede ser peligroso. Desaloje el refrigerante rápidamente para sacar parte de los contaminantes fuera del sistema
- b) Retire el compresor y tapone sus aberturas
- c) Retire la válvula de expansión o capilar, secador y separador y coloque un espaciador en sus respectivos sitios
- d) Conecte la línea de igualación de la válvula de expansión a la línea de succión
- e) Haga una abertura en la línea de líquido y conecte un tubo de 4 pulgadas en el lado del condensador de la línea de líquido
- f) Cierre la válvula de corte instalada en el tubo
- g) Conecte el cilindro de R-134a a la línea de descarga (anteriormente conectada al compresor), invierta el cilindro y cargue el sistema por el lado de alta por lo menos con 3 lbs de refrigerante líquido. Espere 10 minutos
- h) Descargue más refrigerante en el recipiente a través de la válvula de corte
- i) Limpie el lado de baja de una manera similar cargando el sistema con líquido por el lado de alta y descargándolo por la succión
- j) Limpie la válvula de expansión e instálela de nuevo o remplace el tubo capilar y el filtro por uno nuevo
- k) Instale un compresor de repuesto

- l) Instale un filtro secador del tamaño adecuado en la línea de succión, con un elemento nuevo; instale un filtro secador nuevo en la línea de líquido
  - m) Presione el sistema hasta 75 lbs/pulg<sup>2</sup> y verifique si hay escapes
  - n) Haga vacío al sistema tres veces con la bomba de vacío y rómpalo cada vez con refrigerante sacado del cilindro. No use el compresor para hacer vacío al sistema.
  - o) Cargue el sistema con la cantidad apropiada de refrigerante midiéndolo por lbs
  - p) Opere el sistema durante 48 horas
  - q) Descargue el refrigerante a través de la válvula de succión o reduzca la presión si el sistema tiene válvulas de líquido y succión. Para reducir la presión, cierre la válvula de líquido y momentáneamente puentee el control de baja. No haga vacío con el compresor. Cierre la válvula de succión cuando la presión haya bajado a unas pocas lbs.
  - r) Retire el filtro secador de la línea de succión y una ésta de nuevo; instale un nuevo filtro secador en la línea de líquido
  - s) Presurice el sistema hasta 75 lbs y verifique si hay escapes
  - t) Descargue las líneas o todo el circuito y recárguelo, o abra las válvulas de líquido y de succión, si la presión fue solamente reducida al recoger el refrigerante internamente
- (14) **Los diafragmas de conexión rápida no están perforados:** Si los diafragmas no están perforados, las presiones de descarga y de succión no se igualan rápidamente; por consiguiente, el compresor para por sobrecarga o por fusible quemado.
- (15) **Interruptor de sobrecarga abierto:** Algunas veces los interruptores de sobrecarga fallan, quedando con los contactos en la posición abierta o con los contactos cerrados pero sin que puedan conducir electricidad. Para verificar esto, desconecte el circuito de fuerza y con el óhmetro mida la resistencia para determinar si el interruptor está abierto o cerrado. Una lectura de cero ohmios indicará que está cerrado, una lectura infinita que está abierto.

- (16) **Contactos quemados:** Algunas veces los contactos se cerrarán mecánicamente pero no conducirán corriente. Para verificar esto, desconecte el circuito de fuerza y mida la resistencia en los contactos con el óhmmetro. Si los contactos están cerrados la lectura debe ser cero. Si el óhmmetro da una lectura de unos pocos ohmios, cambie todo el contactor o el juego de contactos.
- (17) **El bulbo de la válvula de expansión perdió la carga:** Si el bulbo de la válvula de expansión pierde su carga, no habrá presión para abrir la válvula obligando al sistema a trabajar con muy baja presión de succión. Para verificar esto, retire el bulbo de la línea de succión y tómelo entre sus manos. Si la presión de succión no aumenta en unos pocos minutos y no hay restricciones en las líneas de refrigerante, tenemos una indicación de que el bulbo ha perdido su carga. Cambie el elemento de la válvula que incluye el bulbo o cambie toda la válvula.
- (18) **Tubo capilar o distribuidor de la válvula de expansión restringidos:** Para comprobar esto, mida la presión de succión (una presión de succión muy baja indica una restricción o muy poca carga, reduciendo temporalmente el flujo del aire al evaporador y permitiendo a la unidad condensadora trabajar. Si hay una restricción parcial o una carga baja, aparecerá hielo rápidamente en el punto de la posible obstrucción. Si no hay obstrucción aparecerá hielo uniformemente sobre todo el evaporador. Si hay una obstrucción total en cualquier parte del circuito de refrigerante desde el condensador pasando por el evaporador y hasta el compresor, no habrá hielo, pero la presión de succión puede irse a vacío y la presión de descarga corresponderá aproximadamente a aquella de la temperatura ambiente puesto que no habrá vapor para comprimir.
- (19) **Demasiado sobrecalentamiento:** El sobrecalentamiento corresponde a la temperatura del refrigerante por encima de la temperatura correspondiente a la presión de vapor. Excesivo sobrecalentamiento indica que el serpentín evaporador está "hambriento" de refrigerante o sea que no hay suficiente refrigerante líquido entrando al serpentín. Para comprobar si hay sobrecalentamiento:
- a) Haga funcionar al equipo al menos por 20 minutos

- b) Verifique la presión de succión
- c) Verifique la temperatura del gas de succión en el punto en que sale del evaporador
- d) Compare la temperatura de succión del gas con la temperatura correspondiente a la presión de succión

El exceso de temperatura por encima de la correspondiente a la presión de succión constituye el sobrecalentamiento. El excesivo sobrecalentamiento se puede deber a una baja carga, a una restricción en el circuito de refrigerante, a una presión de descarga baja, a un bulbo sin carga, demasiada carga térmica en el evaporador o a que el refrigerante se está evaporando antes de llegar a la válvula de expansión o capilar debido a la caída de presión, como en el caso de un evaporador que está lo suficientemente lejos por encima de la unidad condensadora como para que haya más caída de presión por fricción de la que se puede compensar con el subenfriamiento. Esta caída de presión se debe al peso del líquido. Cada pie que hay que subir el refrigerante líquido da como resultado una caída de presión de aproximadamente  $\frac{1}{2}$  lbs/pulg<sup>2</sup>. Algunas válvulas de expansión tienen ajuste externo, para el sobrecalentamiento, otras tienen ajuste interno. De estas últimas, algunas tienen el ajuste interno en el lado de entrada, otras en el lado de salida. Girando el tornillo de ajuste hacia (a izquierda se reduce el sobrecalentamiento; girándolo hacia la derecha se aumenta el sobrecalentamiento. Para aquellos casos con ajuste interno, reduzca la presión en el sistema con el compresor. Tenga cuidado de no irse a vacío. Desconecte la válvula de expansión y gire el ajuste una vuelta. Asegúrese de purgar ambos lados de la válvula de expansión completamente antes de ajustar las conexiones cuando vuelva a montar la válvula. Verifique si hay escapes. Haga trabajar el equipo durante 20 minutos y mida el sobrecalentamiento de nuevo.

(20) **Secador obstruido:** Para verificar esto toque la línea de líquido a la entrada y a la salida del secador. Si la temperatura de la entrada es más alta que a la salida el paso por el filtro está restringido; cámbielo. Si el sistema está equipado con válvulas de líquido y de succión:

- a) Reduzca su presión con el compresor cerrando la válvula de la línea de líquido y puenteando temporalmente del interruptor de baja presión. Nunca reduzca la presión hasta llegar a vacío.
  - b) Cierre la válvula en la línea de succión.
  - c) Retire el filtro secador.
  - d) Presurice las líneas retiradas del secador a través del múltiple, pero cierre el múltiple justamente antes de que la presión llegue a cero lbs/pulg<sup>2</sup>
  - e) Abra las válvulas en las líneas de succión y de líquido. Si el sistema no está equipado con válvulas en las líneas de succión y de líquido, será necesario sacar todo el refrigerante del circuito.
    - i. Deje salir el refrigerante lentamente para evitar que arrastre aceite
    - ii. Instale un nuevo filtro secador
    - iii. Presurice y verifique si hay escapes
    - iv. Reduzca la presión y evacúe el sistema tres veces, rompiendo el vado con refrigerante todas las veces hasta subir la presión con vapor a 5lbs/pulg<sup>2</sup>. No use el compresor del sistema para hacer vacío
    - v. Recargue el sistema
- (21) **Alto amperaje:** Investigue el amperaje normal de la unidad especificado en la placa del equipo. El amperaje real no debe exceder el de placa por más del 10%.
- (22) **Carga de refrigerante excesiva:** Haga funcionar el equipo por 20 minutos. Verifique el subenfriamiento midiendo la presión de descarga y la temperatura de la línea de líquido en el punto donde sale de la unidad condensadora. Compare la temperatura de la línea de líquido con la temperatura correspondiente a la presión de descarga e investigue los datos de operación suministrados por el fabricante para determinar si el subenfriamiento es anormal. Si el subenfriamiento es excesivo, descargue lentamente un poco del refrigerante para evitar que arrastre aceite.

- (23) **Alta presión de succión:** La presión de succión bajo condiciones normales de operación no debe exceder las 45 lbs/pulg<sup>2</sup> aproximadamente, cuando se usa R-134a.
- (24) **Mala instalación del bulbo de la válvula de expansión:** El bulbo de la válvula de expansión debe quedar bien asegurado a un tramo horizontal derecho de tubería limpia, paralelo al tubo y con un firme contacto entre metal y metal; además debe situarse después de cualquier trampa de aceite que se haya instalado en la línea de succión. Es por lo general una buena práctica montar el bulbo por encima del centro del tubo.
- (25) **Mala colocación del ventilador con respecto al venturi:** Verifique el ventilador para ver si está en el centro de la abertura del venturi. La distancia desde las aspas hasta el condensador debe ser la recomendada por el fabricante de la unidad condensadora.
- (26) **Aire en el circuito del refrigerante:** Si todos los demás síntomas de alta presión han sido verificados y la presión permanece excesiva, es probable que haya entrado aire al circuito.
- a) Descargue el refrigerante lentamente para evitar que arrastre el aceite
  - b) Haga vacío al sistema tres veces hasta 28 pulg de mercurio, rompiendo el vacío cada vez con vapor de refrigerante hasta subir la presión a 5 psi. No use el compresor del sistema para hacer vacío. Recargue el sistema
- (27) **Embobinado del motor recalentado:** Cuando el compresor está consumiendo una corriente normal y se sobrecalienta disparándose el térmico o abriéndose el termóstato interno, el gas de succión está llegando demasiado caliente como para enfriar lo suficiente el motor del compresor. El exceso de temperatura en el gas se debe a una baja carga, a un exceso en sobrecalentamiento, a que la línea de líquido y la de succión han sido aisladas conjuntamente, a una restricción en el circuito de refrigerante o a que el compresor ha sido instalado en un ambiente con una temperatura excesivamente alta.
- (28) **Alto o bajo voltaje:** Verifique el voltaje de la unidad indicado por la placa de identificación. Verifique el voltaje en el contactor o arrancador mientras la

unidad está operando. En un compresor hermético este voltaje no debe variar más del 10% por encima del voltaje de placa o menos del 5% por debajo del voltaje de placa de la unidad.

- (29) **Demasiado aire pasando por el serpentín de evaporación:** Demasiado aire pasando por el evaporador resulta en una alta presión de succión y reduce la deshumidificación, causando así una alta humedad en el área acondicionada. Para reducir el aire, abra la polea variable del motor del ventilador media vuelta en cada oportunidad hasta mejorar las condiciones. En el caso de ventiladores de acople directo, reduzca el retorno del aire o cambie la velocidad en el motor.
- (30) **Enfriamiento inicial:** Una alta presión de succión es característica de los periodos de arranque y enfriamiento inicial. Espere hasta que el espacio acondicionado esté a más o menos 25 °C para poder verificar con precisión la presión de succión.
- (31) **Línea de igualación de la válvula de expansión restringida:** Para comprobar esta situación reduzca la presión del sistema pero sin llegar a vacío. Retire la válvula de expansión. Verifique la línea igualadora y la conexión a la línea de succión para ver si hay obstrucciones. Asegúrese de purgar ambos lados de la válvula de expansión a fondo antes de apretar las conexiones cuando la vuelva a montar.
- (32) **Demasiada humedad en el espacio acondicionado:** La manera más práctica de controlar la humedad en el área acondicionada es evitando que entre al espacio acondicionado o eliminándola en el sitio de donde procede. Si cualquier parte del espacio acondicionado está sobre un sub piso, asegúrese de instalar una barrera de vapor sobre el suelo del sub piso o sótano. Extractores instalados en los baños y en la cocina ayudarán a eliminar el vapor de agua generado por la ducha o por los alimentos que se están cocinando.
- (33) **Compresor con válvulas defectuosas:** Para comprobar esto, asegúrese que el sistema está adecuadamente cargado con refrigerante y que no hay restricciones en el circuito. Cubra el condensador y observe si la presión de descarga aumenta rápidamente. Si la presión de descarga no aumenta

rápidamente, está indicando que hay válvulas defectuosas. Si el problema se presenta en un compresor sellado, cambie el compresor.

- a) Descargue todo el refrigerante
- b) Retire el compresor y tapone sus entradas
- c) Instale un nuevo compresor
- d) Instale un filtro secador nuevo
- e) Presurice el sistema hasta 75 lbs/pulg<sup>2</sup> y verifique si hay escapes
- f) Haga vacío al sistema tres veces, rompiendo el vacío en cada oportunidad con vapor de refrigerante y subiendo la presión hasta 5 lbs/pulg<sup>2</sup>. Nunca use el compresor del sistema para hacer vacío
- g) Recargue el sistema con la cantidad de refrigerante recomendada

(34) **Partes de repuestos:** Siempre que se requieran repuestos, suministre el modelo y el número de serie de la unidad condensadora al distribuidor o al almacén de repuestos.

Las anteriores pautas y explicaciones cubren las situaciones más comunes que puede encontrar el técnico de servicio en el campo de los problemas básicos de enfriamiento. Naturalmente, habrá pequeñas diferencias de un equipo a otro y habrá por consiguiente técnicas específicas para ciertas reparaciones, dependiendo de cada marca en particular, pero en general los problemas son todos más o menos los mismos.

El servicio de las bombas de calor es algo más complicado y difícil debido a que el ciclo se puede invertir y también debido a las diferencias en los sistemas de descongelamiento y de control usados. Los problemas en la modalidad de enfriamiento no difieren mucho de los enumerados anteriormente, pero en la modalidad de calefacción los efectos de una carga baja o de una mala circulación del aire interior pueden ser críticos para la operación. Se recomienda que las instrucciones específicas del fabricante sean seguidas fielmente.

Además del uso de herramientas y del método de diagnóstico apropiados, es de suma importancia que el técnico de servicio se familiarice con las normas de seguridad básicas y con los procedimientos de primeros auxilios para accidentes de

trabajo. La principal responsabilidad de mejorar y mantener un buen récord de seguridad recae en cada individuo. Toda clase de aparatos de protección pueden ser usados, leyes pueden ser aprobadas, campañas de seguridad pueden hacerse constantemente, pero si el técnico es descuidado tendrá accidentes. El debe permanecer siempre atento para su protección y para protección de los demás. El debe poner mucha atención y pensar en lo que está haciendo. No hay ningún sustituto para la concentración, ya que un trabajador cuidadoso ahorra tiempo, material, dinero y sufrimientos.

Los accidentes en la industria de la refrigeración pueden clasificarse en seis tipos generales de acuerdo a la causa y a la naturaleza de las heridas.

- a) Heridas físicas causadas por aparatos mecánicos.
- b) Heridas de origen eléctrico
- c) Heridas debidas a altas presiones
- d) Quemaduras
- e) Heridas debidas a explosiones
- f) Inhalación de gases tóxicos

Además de la información suministrada por el fabricante, el distribuidor y las agencias del gobierno, se puede obtener excelente información de las asociaciones de técnicos como la RSES (Sociedad de Ingenieros de Servicio de Refrigeración), la cual cubre y explica las causas específicas de dichos accidentes, las precauciones que deben seguirse para evitarlos y lo que debe hacerse en caso de que ocurra un accidente.

## 1. GLOSARIO DE TÉRMINOS

**ACOPLE:** ensamble entre piezas u objetos.

**BANCO DE PRUEBAS:** Equipo didáctico en dónde se pueden realizar pruebas acerca de una teoría.

**CICLO DE REFRIGERACIÓN:** Ciclo que cumple un fluido refrigerante para llevar a cabo la transferencia de temperatura.

**COMPRESOR:** máquina que disminuye el volumen de una determinada cantidad de aire o gas y aumenta su presión por procedimientos mecánicos.

**CONDENSADOR:** Dispositivo intercambiador de calor, cuya función principal es la de controlar la temperatura de la sustancia refrigerante, removiendo el calor del vapor de refrigerante que sale del compresor, hasta el punto de transformarlo en estado líquido.

**CONFORT:** Aquello que produce bienestar y comodidades.

**DIDÁCTICO:** Propio, adecuado para enseñar o instruir.

**EVAPORADOR:** Dispositivo intercambiador de calor, en el que el refrigerante pasa de estado líquido a vapor al evaporarse, absorbiendo calor a medida que cambia de fase, permitiendo la disminución de temperatura de el medio o sustancia en contacto con él.

**FRIGORÍFICO:** Cámara o un lugar, enfriado artificialmente para conservar frutas, carnes u otras materias.

**HERMÉTICO:** Que se cierra de tal modo que no deja pasar el aire u otros fluidos.

**MIXTURA DE VAPOR Y LÍQUIDO:** Mezcla que se presenta dentro del sistema de refrigeración donde se combina el refrigerante en estado líquido con refrigerante en estado gaseoso; justo en los puntos de cambio de fase.

**PRESERVAR:** Proteger, resguardar anticipadamente a una persona, animal o cosa, de algún daño o peligro

**R22:** Uno de los refrigerantes más utilizados en sistemas de refrigeración, se compone de un átomo de carbono, dos de cloro, y dos de flúor para formar una molécula de Diclorodifluorometano ( $\text{CCL}_2\text{F}_2$ ) no tiene ni olor ni color. Su empleo no es ambientalmente aceptable, y se esta reduciendo su consumo.

**R134a:** Es un refrigerante HFC (Hidrofluorocarbono) sustituto o equivalente del R12. Y este si es ambientalmente aceptable.

**REFRIGERANTE:** Sustancia química que se utiliza para absorber calor por evaporación o ebullición del estado líquido al estado de vapor, y eliminar calor del estado de vapor al estado líquido por condensación.

**SERPENTIN DE ENFRIAMIENTO:** Área por donde fluye un refrigerante para absorber calor y depositarlo en otro lugar.

**TUBO CAPILAR:** Tubería con cierto estrechamiento o reducción de área transversal para generar una caída deseada de presión.

**VALVULA DE EXPANSIÓN:** Mecanismo que regula el flujo de refrigerante al evaporador, a la razón necesaria para remover el calor de la carga, manteniendo el diferencial de presión apropiado entre los lados de alta y baja en el sistema de refrigeración