

Capítulo 1 – Sistemas de enfriamiento y refrigeración básica

EXPERIMENTO 1.2 – RELACIÓN PRESIÓN/ TEMPERATURA

Nombre	Clase/Período	Fecha

1. Objetivos:

Al final de la sesión de este experimento, usted estará capacitado para:

- Explicar la relación temperatura presión
- Explicar el diagrama de ph (Mollier)
- Explicar los términos del diagrama de ph (Mollier)
- Explicar el proceso del diagrama de ph (Mollier)
- Explicar el ciclo de refrigeración teórico
- Explicar el ciclo de refrigeración práctico
- Explicar las pérdidas de Presión en el evaporador y en el condensador
- Explicar los cambios de Entalpía en los procesos de medición
- Explicar los cambios de Entalpía en los procesos de compresión y medición
- Entender el gráfico de la relación temperatura presión

2. Equipo requerido:

- Unidad de plataforma principal
- Panel de refrigeración industrial

3. Discusión:

El sistema de refrigeración es un sistema cerrado compuesto de la siguiente manera:

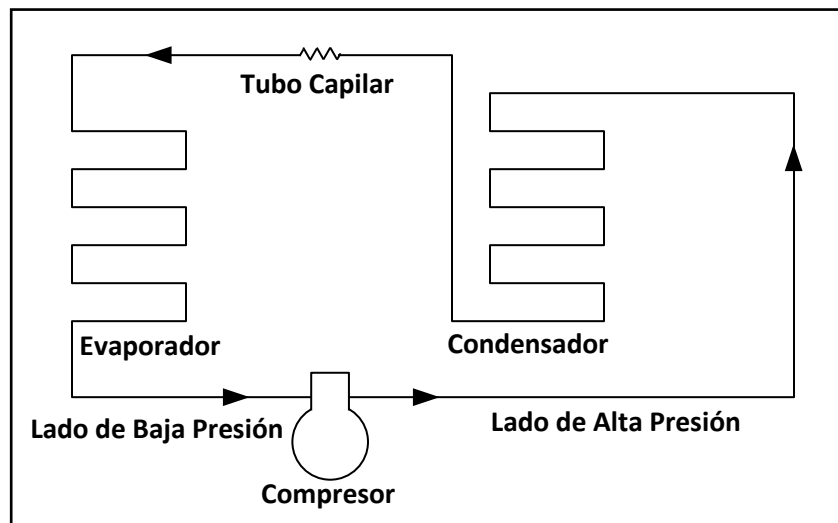


Figura 1-12

El sistema contiene el refrigerante del compresor en alta presión en un lado del sistema, que se expande en baja presión hasta la transferencia al estado del gas en el otro lado del sistema.

El gas de compresión hace que la presión aumente y su temperatura aumente en la misma relación.

El compresor en el sistema aspira el gas del evaporador y lo comprime en la dirección y el interior del condensador. En el condensador, que se construye como un radiador, se crea mucho calor, que es despejado por el ventilador que dirige el aire del ambiente a través de las tuberías del condensador.

El gas de alta presión causa otra acción. Aumenta la temperatura de ebullición del gas. La temperatura de ebullición es la temperatura a la cual el líquido se convierte en gas y viceversa.

Cuando baja la alta presión y la temperatura del gas en el condensador este se convierte nuevamente en líquido.

El líquido comprimido es arrastrado por el compresor y fluye al Receptor/Secador (llamado también Acumulador), que seca el agua del líquido. Del Receptor/Secador el gas se mantiene fluyendo al evaporador a través del orificio fijo del evaporador. El orificio fijo del evaporador es un paso estrecho en las tuberías del sistema de refrigeración. Origina la alta presión del gas y del líquido en un lado (el lado del condensador del sistema) y una presión muy baja en el otro lado (el lado del evaporador).

El flujo de líquido a través del paso en él es limitado y es determinado por la diferencia de la presión en el sistema.

La cantidad pequeña de líquido refrigerante que pasa a través del orificio fijo del evaporador se arrastra al evaporador y de allí se expande inmediatamente.

La expansión del líquido causa un descenso de la presión del líquido. Este descenso de la presión causa el descenso de la temperatura del líquido a 0°C (32°F) en las tuberías del evaporador. El sistema se diseña a esta temperatura para alcanzar una eficiencia de enfriamiento máxima. Una temperatura más baja causará que el vapor de agua alrededor del evaporador se congele, lo que calentará el flujo de aire que atraviesa las paredes frías del evaporador.

El descenso de la presión también causa la caída del punto de ebullición del líquido refrigerante a 0°C (32°F). La transferencia de aire por el compresor a través de las tuberías del evaporador y de allí al área que se enfría hacen que el aire se enfríe y el líquido refrigerante en el evaporador consiga calor adicional.

El calor adicional para el líquido no es suficiente para cambiar su temperatura (que permanece a 0°C (32°F)), pero si para convertirlo en gas.

En estado de gas, llega al compresor y es comprimido de nuevo en la dirección del condensador.

Como se mencionó antes, el sistema de refrigeración es un sistema cerrado, que cambia la temperatura, por el cambio de presión en dos áreas del sistema.

Como vimos en el experimento anterior, el sistema incluye dos sensores de presión, que paran la operación del compresor (desconectando el embrague) cuando la presión es demasiado alta o demasiado baja en el sistema (lo que indica entre otras cosas una temperatura más baja).

El sistema de refrigeración incluye dos puntos de conexión, donde están conectados dos manómetros. Estos puntos de conexión están situados en los dos lados del compresor y permiten medir la Descarga (la presión de compresión) y la succión (la presión de succión).

Las presiones en el sistema son influenciadas por la temperatura del aire transferida por el ventilador a través del evaporador.

Este aire viene del área que se refrigera (en el estado de recirculación) a un área desde la cual el compresor jala el aire. La temperatura del aire empujado (llamado Aire de Taller) influye en las presiones del sistema de refrigeración como veremos durante el experimento.

4. Discusión: Estados de acumulación

Cada una de las sustancias que existe en la naturaleza se compone de moléculas en constante movimiento, y que están conectadas mutuamente por su fuerza gravitacional. Cuanto más cerca están las moléculas una de otra, su fuerza gravitacional será más grande.

Las sustancias pueden aparecer en la naturaleza en tres estados diferentes: sólido, líquido, y gas.

En los sólidos, las fuerzas entre las moléculas son muy grandes porque la distancia entre ellas es muy pequeña. Esta es la razón por la cual la sustancia sólida mantiene su forma sólida.

En los líquidos, las fuerzas entre las moléculas son más pequeñas porque la distancia entre ellas es relativamente más grande que en las sustancias sólidas. Ésta es la razón por la que el líquido toma la forma del envase que los contiene.

En los gases, las fuerzas entre las moléculas son muy pequeñas porque la distancia entre ellas es muy grande. Esta es la razón por la cual los gases se expanden a través del espacio en el que se encuentran.

El estado de la sustancia depende de las fuerzas entre las moléculas, y en ciertas condiciones, la sustancia se puede transferir de un estado a otro.

El gráfico siguiente describe los tres estados en un diagrama presión-temperatura:

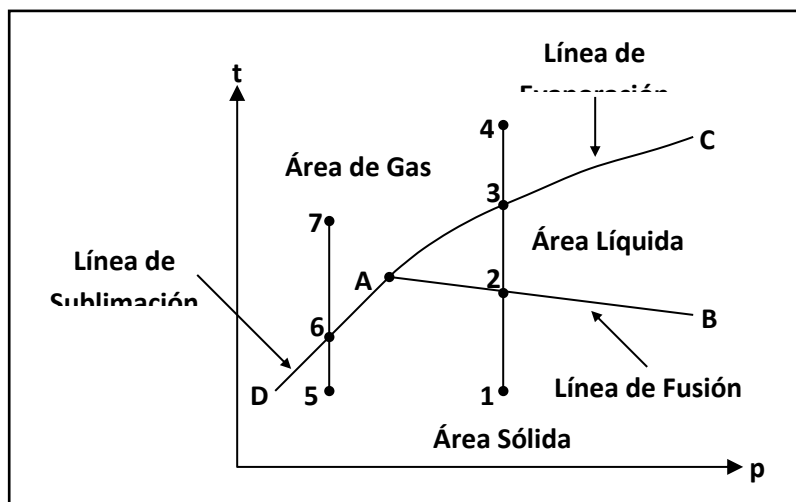


Figura 1-13

El diagrama se divide en tres áreas definidas por las líneas: A-B, A-C, y A-D. La línea 1-4 describe un proceso bajo una presión fija donde la sustancia sólida se convierte primero a líquido (por el calentamiento y el aumento de la temperatura), y luego a gas.

A lo largo de la sección 1-2 la sustancia está en estado sólido.

En el punto de fusión 2, la sustancia puede aparecer en dos estados: sólido y líquido.

A lo largo de la sección 2-3 la sustancia está en estado líquido.

En el punto de evaporación 3, la sustancia puede aparecer en dos estados: líquido y gas.

A lo largo de la sección 3-4 la sustancia está en estado de gas.

Conforme bajamos la presión del proceso, la línea 1-4 se mueve a la izquierda y la distancia entre los puntos 2 y 3 (el área líquida) se hace más pequeña hasta que en el punto A desaparece totalmente y se convierte en un punto. Este punto se le llama "punto triple" porque en este punto la sustancia puede aparecer en uno de los tres estados. Este punto se define para cada sustancia en diversas temperaturas y presiones. El "punto triple" también se define como la temperatura en la cual las tres fases de una sustancia pura - sólido, líquido y gas - están en equilibrio.

Por ejemplo, el punto triple para el agua se define en una temperatura de 0.01 °C y en la presión absoluta de 0.00623 atmósferas técnicas. Bajo estas condiciones, la sustancia (agua en este caso) estará en los tres estados del agua: vapor de agua, agua, y hielo.

Cuando se baja más la presión, la línea de proceso se mueve a la izquierda del punto A. Esta línea es definida como la línea 5-7. En el proceso no hay pasaje a través del área líquida, y la sustancia se transfiere directamente de estado sólido a estado gaseoso.

Esta transferencia directa (de estado sólido a estado gaseoso) mientras se salta el estado líquido se llama "sublimación". El proceso de la sublimación convierte al hielo seco (estado sólido del dióxido de carbono) en gas.

5. Discusión: Ciclo de enfriamiento básico en el diagrama (p-h) de Mollier

Diagrama de Mollier – Una carta de entalpía-entropía o de entalpía-presión que muestra las características termodinámicas del refrigerante.

El diagrama de Mollier es la versión europea de la carta Psicrométrica Anglo-Americana. Son idénticas en contenido, pero no en apariencia.

En el diagrama de Mollier se describen las condiciones termodinámicas del material refrigerante en cada punto del ciclo de refrigeración. Cada material refrigerante tiene su propio diagrama de Mollier. El diagrama de Mollier del R134a se describe en la sección 9.

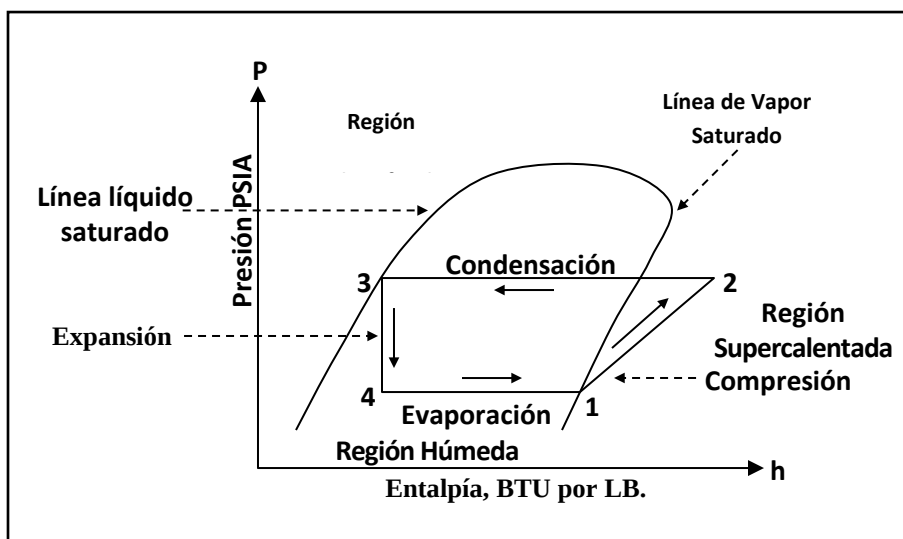


Figura 1-14

El diagrama se construye a partir de tres regiones separadas por una línea curva en forma de campana, de ahí el nombre.

- 1) La región donde el refrigerante está en estado líquido se describe en el lado izquierdo de la campana. Esta región es también llamada la Región Líquida Comprimida o la Región Sub-Enfriada.
- 2) La región donde está el refrigerante en dos estados (líquido y gas) se describe dentro de la campana. Esta región se llama la Región Húmeda, y describe los procesos de evaporación o de condensación de la sustancia bajo temperatura y presión dadas. Este es un estado saturado.
- 3) La región donde el material refrigerante está en estado de gas se describe en el lado derecho de la campana. Esta región también se llama la Región de Vapores Sobrecalentados o Región Sobrecalentada.

5.1 Características termodinámicas descritas en el diagrama de Mollier

- 1) **Presión absoluta (P)** – Eligiendo un punto arbitrario en el diagrama, y luego moviéndose desde este punto a la derecha o a la izquierda horizontalmente al extremo, se lee la presión absoluta en unidades PSI.
- 2) **Entalpía (h)** – Eligiendo un punto arbitrario en el diagrama, y luego moviéndose desde este punto hacia arriba o hacia abajo verticalmente al extremo, se lee la Entalpía en unidades de BTU por Libra.

La Entalpía se hace cero a la temperatura de -40°F en el diagrama de Mollier cuando la sustancia en la línea izquierda de la campana está en estado líquido. El cambio de Entalpía entre dos puntos dados para calcular la cantidad de calor agregado o quitado del material refrigerante es importante en el diagrama de Mollier.

- 3) **Temperatura (T)** – La temperatura es un valor leído (en grados Fahrenheit) diferente en cada una de las regiones del diagrama. Los valores de la temperatura que rodean la línea de la campana donde su más alto valor está en su cima, y los valores bajos están en su base (en cada lado).

La lectura de la temperatura en la región líquida se hace con una vertical que desciende por el lado izquierdo de la campana.

La lectura de la temperatura dentro de la campana se hace con un movimiento horizontal (derecho o izquierdo) hacia la línea de la campana.

La lectura de la temperatura en la región gaseosa se hace moviéndose en línea curva muy escarpada (casi vertical) desde un punto arbitrario hacia el lado derecho de la campana.

- 4) **Volumen específico (V)** – Aparece solamente en la región gaseosa y la describimos por líneas moderadas y muy curvadas. Las unidades del volumen específico en el diagrama de Mollier son pies cúbicos por libra.
- 5) **Entropía (S)** – Una característica termodinámica que presenta la relación entre la Entalpía y la temperatura absoluta de la sustancia en grados Kelvin o Rankine. El uso más importante es el cambio en la Entropía que presenta la relación entre la cantidad de calor agregado o quitado de la sustancia a la temperatura absoluta donde ocurre la transferencia térmica.

La Entropía descrita en el diagrama de Mollier es la Entropía específica, que significa Entropía por unidad de masa.

Las unidades generales de la entropía son:

- Joule por grado Kelvin (sistema internacional)
- Kilocaloría por grado Kelvin (sistema técnico)
- BTU por grado Rankine (sistema inglés)

Las unidades de la entropía específica son:

- Joule por kilogramo por grado Kelvin (Sistema Internacional).
- Kilocaloría por kilogramo por grado Kelvin (Sistema Técnico).
- BTU por libra por grado Rankine (Sistema Inglés).

La entropía aparece solamente en la región de gas, y es descrita por las líneas curvas, más escarpadas que las líneas del volumen específico, pero más moderadas que la línea de temperatura en esta región.

- 6) **Coeficiente de sequedad (calidad) (X)** – Una característica termodinámica que existe solamente dentro de la campana cuando la sustancia cambia su estado, y está realmente en estados líquido y de gas. Esta característica define cuánto del porcentaje de la masa de la sustancia está en estado de gas.

$$X = \frac{M_{\text{gas}}}{M_{\text{gas}} + M_{\text{líquido}}}$$

Cuanto más se mueve el punto horizontalmente hacia la derecha de la campana, aumenta más el coeficiente de sequedad, aspirando al estado de gas. La sustancia en la línea derecha está en un estado de vapor saturado, y su coeficiente de sequedad es 1 (no hay porcentaje de la sustancia en estado líquido). En este estado, la sustancia acaba el proceso de evaporación o comienza el proceso de condensación.

Cuanto más se mueve el punto horizontalmente hacia la izquierda de la campana, disminuye más el coeficiente de sequedad, aspirando al estado líquido. La sustancia en la línea izquierda está en un estado líquido saturado, y su coeficiente de sequedad es 0 (no hay porcentaje de la sustancia en estado de gas). En este estado, la sustancia acaba el proceso de la condensación o comienza el proceso de la evaporación.

El coeficiente de sequedad en el diagrama de Mollier está dado en porcentajes por nueve líneas escarpadas dentro de la campana (10 a 90). La línea cero es la línea izquierda de la campana y la línea 100 es la línea derecha de la campana.

5.2 Ciclo de enfriamiento teórico

El punto 1 describe la condición del material refrigerante en la entrada del compresor. El material refrigerante se sitúa en la línea saturada de vapor en baja temperatura y presión. El compresor aumenta la temperatura y la presión del gas, de esta manera en el punto 2 (la salida del compresor), el material refrigerante está en un estado de gas con temperatura y presión altas.

El proceso teórico de la compresión se define como un proceso donde el calor no pasa los límites del sistema, y no hay paso de energía al ambiente, de esta manera no hay cambio en la Entropía, y el proceso ocurre a lo largo de una línea unificada de Entropía.

La energía eléctrica usada por la operación del compresor se define como una operación externa, que se debe invertir para producir el proceso refrigerante. Como resultado de esta operación hay un cambio en la Entalpía entre los puntos 1 y 2. La Entalpía en el punto 2 es más alta que la Entalpía en el punto 1 y la diferencia entre ellas es la energía necesitada para la operación del compresor.

Compresor $h = h_2 - h_1$

En la región de gas, la sustancia se sitúa en el punto 2 (lejos de la campana), y en este estado ingresa al condensador. El compresor levanta la temperatura de la sustancia, e ingresa al condensador en una temperatura más alta que la temperatura del ambiente (fuera del condensador).

La diferencia de temperatura entre el material refrigerante y el ambiente causa una transferencia térmica de la sustancia al ambiente. Debido a que el estado de la sustancia es gas sobrecalentado (lejos de la campana), el calor reducido en él expresa la disminución de temperatura (calor sensible), moviéndose más cerca a la campana.

El material refrigerante pierde gradualmente temperatura hasta que alcanza la temperatura de condensación en la presión existente (vapor saturado). Este estado se describe por el punto 2'.

La pérdida de calor adicional pone la sustancia en la campana, y el proceso de condensación comienza sin cambio en la temperatura de la sustancia (calor latente). El material refrigerante entrega calor al ambiente, y gradualmente cambia de gas a líquido.

En el punto 3, el material refrigerante finaliza su recorrido en la campana solamente en estado líquido a altas temperatura y presión (líquido saturado)

En el proceso 2-3, la sustancia pierde energía al ambiente y su Entalpía cae. Este valor de pérdida se calcula según la diferencia de Entalpías entre los puntos 2 y 3.

Condensador $h = h_2 - h_3$

Para reciclar el proceso, el material refrigerante se debe restar del punto 3. El dispositivo medidor instalado entre los puntos 3 y 4 realiza esta función.

La explicación sobre los dispositivos medidores se verá en el próximo experimento.

El material refrigerante entra al dispositivo medidor como líquido caliente en alta presión, y sale en el punto 4 como mezcla de líquido y gas (coeficiente de sequedad relativamente bajo) a baja temperatura y presión.

El proceso de medición teórico se define como un proceso donde no hay transferencia térmica al ambiente, y no se invierte ningún trabajo externo en él, de esta manera a través del proceso la Entalpía permanece invariable.

La temperatura y la presión del material refrigerante caen y supuestamente transfieren calor sensible al ambiente, pero, por otra parte, comienza ya su proceso de ebullición en el dispositivo medidor, y una parte pequeña de él se convierte en gas (debido a la caída de la temperatura y de la presión, es también fácil que la sustancia se expanda y hierva en baja temperatura). El material refrigerante que hierva en el dispositivo medidor se llama Flash Gas. El calor requerido para que la sustancia hierva es el calor latente.

En un proceso medidor teórico, la disminución del calor sensible iguala al aumento del calor latente, así no hay cambio en la Entalpía de la sustancia. Esta es la razón por la cual el proceso 3-4 se describe como una línea vertical que comienza en alta presión en la línea líquida saturada, y acaba en baja presión dentro de la campana.

$$h_3 = h_4$$

En el punto 4, el material refrigerante entra en el evaporador como una mezcla de líquido y pequeño porcentaje de gas a baja temperatura y presión. El dispositivo de medición se diseña para bajar la temperatura de evaporación por debajo de la temperatura ambiente (fuera del evaporador).

La diferencia de temperatura entre el material refrigerante y el ambiente del evaporador causa una transferencia térmica del ambiente a la sustancia.

Debido a que en el punto 4 el material refrigerante está dentro de la campana, todo el calor transferido a él acelera el proceso de evaporación, y la sustancia se convierte gradualmente en una mezcla de líquido y un porcentaje pequeño de gas solamente en gas. El proceso de evaporación (como el proceso de condensación) ocurre sin cambio en la temperatura y la presión de la sustancia.

En el punto 1, el material refrigerante termina su trayectoria en la campana solamente en estado gaseoso a baja temperatura y presión (vapor saturado).

En el proceso 4-1, la sustancia absorbe energía del ambiente y su Entalpía aumenta. El valor de esta adición se calcula de acuerdo con la diferencia de Entalpías entre los puntos 4 y 1.

$$\text{Evaporador } h = h_1 - h_4$$

El material refrigerante sale del evaporador en el punto 1 y entra en el compresor.

El proceso antes mencionado es un proceso cíclico.

Una conclusión importante que se deriva de la descripción del ciclo de refrigeración cerrada en el diagrama de Mollier es que la cantidad de calor expelida al ambiente del condensador es igual al calor recibido en el evaporador + la cantidad de calor necesaria para la operación del compresor.

Evaporador h	+	Compresor h	=	Condensador h
$(h_1 - h_4)$	+	$(h_2 - h_1)$	=	$(h_2 - h_3)$

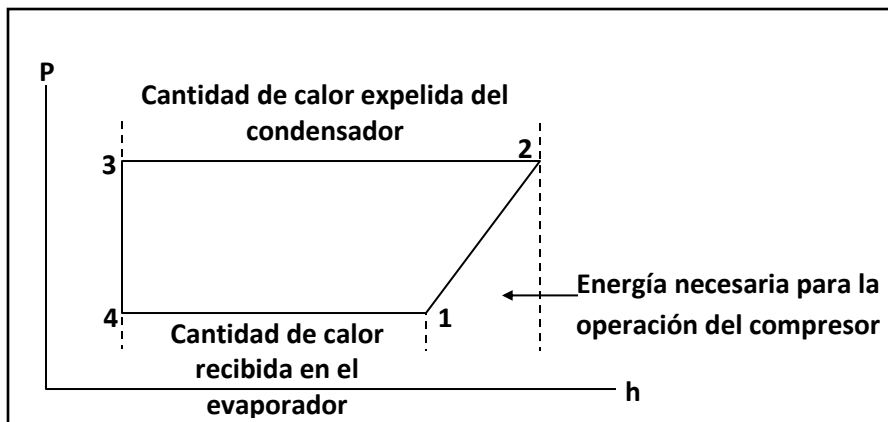


Figura 1-15

Para resumir lo anterior, se puede decir que el sistema de enfriamiento es una unidad, que transfiere energía térmica del área que se enfría al ambiente externo a través del material refrigerante y que invierte energía eléctrica para operar el compresor.

Producción de enfriamiento:

La diferencia de Entalpías entre los puntos de entrada y salida del evaporador, indican la producción de enfriamiento del dispositivo.

$$h_1 - h_4$$

El diagrama de Mollier se calcula para una unidad total, así el cambio específico en la Entalpía se debe multiplicar por el total del material refrigerante, que pasa a la unidad de tiempo en el evaporador.

La producción de enfriamiento se mide en:

- El sistema inglés, en unidades de BTU/H.
- El sistema técnico, en unidades de Kcal/H.
- El sistema internacional, en unidades de J/H.

El Coeficiente de Operación (COP), es la relación entre la producción de enfriamiento y la energía consumida por el compresor.

$$\text{COP} = \frac{\text{Evaporador} \Delta h}{\text{Compresor} \Delta h} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

El COP es la relación entre las Entalpías, es decir, no tiene unidades.

El ciclo de enfriamiento se puede describir con el diagrama temperatura Entropía T-S.

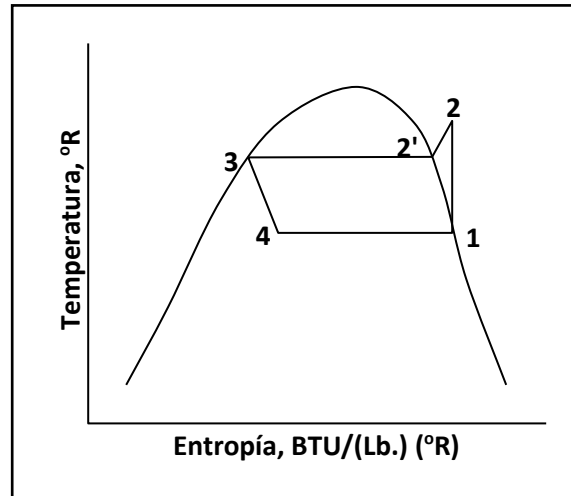


Figura 1-16

El proceso de compresión se describe en una línea vertical del punto 1 al punto 2 porque no hay cambio en la Entropía a lo largo de este proceso.

El proceso de condensación se describe al principio como una línea curva donde la temperatura cae hasta que el material refrigerante alcanza la campana, y comienza el proceso de la condensación en el punto 2'.

El proceso de condensación termina en el punto 3, donde el material refrigerante incorpora el dispositivo medidor.

En el proceso de condensación 2-3, el material refrigerante transfiere calor al ambiente, de esa manera su Entropía cae.

El proceso en el dispositivo medidor (del punto 3 al punto 4) se define como proceso con Entalpia fija, pero la Entropía aumenta en este proceso.

Este proceso es un proceso natural que ocurre debido a las diferencias de temperaturas y presiones entre los bordes del proceso. Este proceso no puede ocurrir naturalmente en la dirección inversa, por lo que se llama proceso irreversible.

En cada proceso irreversible sin transferencia térmica al ambiente (como se define este proceso), hay un aumento en la Entropía.

El material refrigerante entra en el evaporador en el punto 4, y acaba su proceso de evaporación en el punto 1.

En el proceso de evaporación 4-1, el material refrigerante absorbe calor del centro de enfriamiento, así su Entropía aumenta.

5.3 Ciclo de enfriamiento práctico

El sistema de enfriamiento práctico no puede alcanzar las demandas puestas por el ciclo refrigerante teórico. Las diferentes limitaciones, que no pueden ignorarse, influyen en la naturaleza del ciclo.

a) **Sobrecalentamiento:**

El ciclo teórico determina que el punto 1 indica el final de la evaporación del material refrigerante, y el fin de su trayectoria en el evaporador. A veces, el proceso de evaporación termina antes de que el material refrigerante acabe su trayectoria en el evaporador. Cada transferencia térmica adicional del centro de refrigeración al material refrigerante (después de que acaba su proceso de evaporación) se expresa en el aumento de la temperatura del material refrigerante, y lo convierte en un vapor sobrecalentado que se mueve gradualmente alejándose de la campana.

El material refrigerante que sale del evaporador está más caliente que en el momento en que acaba el proceso de evaporación. Este proceso se llama Sobrecalentamiento.

A veces existe la preocupación de que el material refrigerante no acabará su proceso de evaporación en el evaporador y cierto porcentaje de líquido entrará en el compresor. Esta situación ocurre cuando las cargas de calor que funcionan en el centro de refrigeración son bajas, la transferencia térmica al material refrigerante es baja, y el material refrigerante no consigue suficiente calor para acabar la ebullición. En esta situación, el punto 1 se moverá a la izquierda, en la campana.

El compresor se diseña para trabajar con un material refrigerante solamente en estado de gas, y una entrada de líquido (incluso en porcentajes pequeños) causa daño a las válvulas del compresor y compromete su operación intacta.

Uno de los métodos para evitar el problema antedicho es agrandar el evaporador, así el material refrigerante mantiene su flujo a la batería, absorbe calor adicional del espacio que enfría, y acaba su proceso de evaporación. En condiciones normales de trabajo, el punto 1 se mueve a la derecha a la región sobrecalentada del vapor.

b) Subenfriamiento:

El ciclo teórico determina que el punto 3 indica el final de la condensación del material refrigerante, y el fin de su trayectoria en el condensador. A veces, el proceso de condensación termina antes de que el material refrigerante acabe su trayectoria en el condensador. Cada transferencia térmica adicional del material refrigerante al ambiente (después de que acaba su proceso de condensación) se expresa en la caída de la temperatura del material refrigerante, y lo convierte a líquido que se mueve gradualmente alejándose de la campana.

El material refrigerante que sale del condensador está más frío que en el momento que acaba el proceso de condensación. Este proceso se llama Subenfriamiento.

A veces existe la preocupación que el material refrigerante no acabe su proceso de condensación en el condensador y que cierto porcentaje del gas entre el dispositivo medidor. Esta situación ocurre cuando aumenta la temperatura externa del ambiente y recibe menos calor. El material refrigerante no puede transferir suficiente calor para acabar su proceso de condensación.

Un proceso eficaz de condensación es un proceso que permite cualquier cantidad de sustancia al condensado, y haciendo esto, transfiere el máximo calor posible al ambiente. No es recomendable que el sistema de enfriamiento trabaje con un condensador donde un cierto porcentaje de material refrigerante no pueda ser condensado. Este fenómeno reduce la producción del sistema y hace moverse el punto 3 a la derecha, en la campana.

Uno de los métodos para evitar el problema antedicho es agrandar el condensador, así el material refrigerante mantiene su flujo a la batería, transfiere calor adicional al ambiente externo, y acaba su proceso de condensación. En condiciones de trabajo normales, el punto 3 se mueve a la derecha hacia la región líquida.

Los procesos de sobrecalentamiento y subenfriamiento aumentan el paso del calor en las baterías del evaporador y del condensador contribuyendo así al aumento de la producción del sistema.

Un método común para alcanzar un sobrecalentamiento y un subenfriamiento al mismo tiempo es utilizando un intercambiador de calor en las salidas del evaporador y del condensador. La tubería que sale del condensador se puede envolver alrededor de la tubería que sale del evaporador, de esta manera ocurre transferencia térmica del material refrigerante en la salida del condensador al material refrigerante en la salida del evaporador.

El material refrigerante a la salida del evaporador se calienta y el material refrigerante a la salida del condensador se enfría.

En este caso, el cambio de Entalpía en el proceso de sobrecalentamiento $1'-1$ es igual al cambio de Entalpía en el proceso de subenfriamiento $3'-3$.

La asunción adicional es que este intercambiador de calor está aislado del ambiente en un aislamiento absoluto.

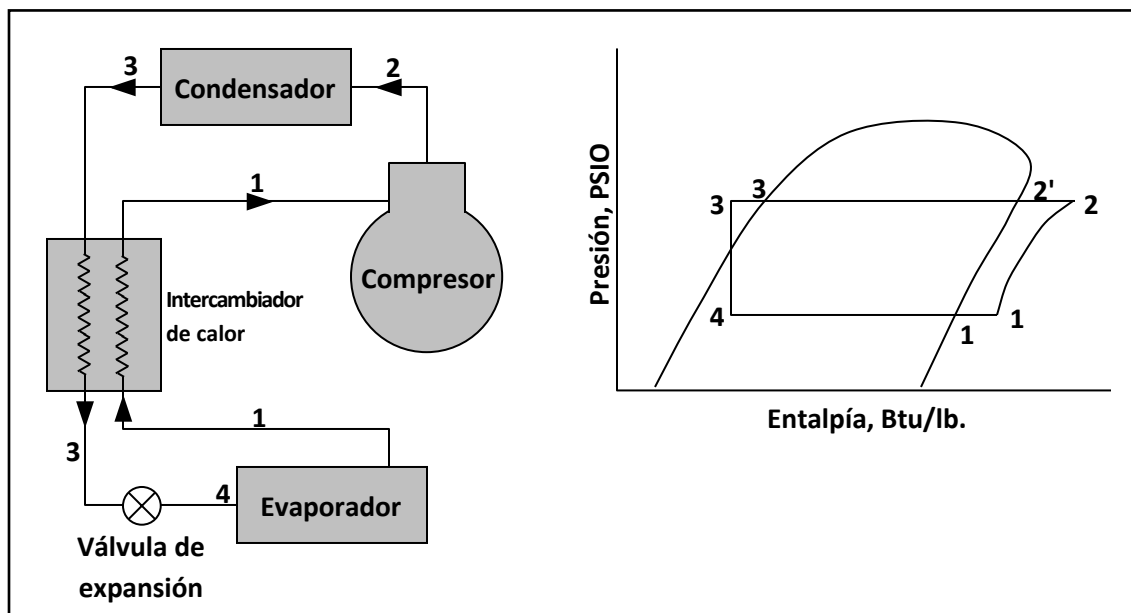


Figura 1-17

6. Discusión: Pérdidas de presión en el evaporador y en el condensador

El ciclo de refrigeración teórico permite que el material refrigerante fluya en las baterías del evaporador y del condensador sin fricción, así no hay caída de presión durante el ciclo. En realidad, no hay tubería existente, que permite un flujo sin ninguna fricción.

La fricción en el flujo en la batería es causada por las moléculas de la sustancia que chocan unas contra otras, y por la fricción externa de la capa de la sustancia contra el lado interno de la tubería. La fricción causa una caída en la presión material refrigerante a lo largo de su camino a la batería.

La presión en la salida de la batería es siempre más baja que la presión en su entrada. El diagrama de Mollier la expresa por una cuesta moderada en los procesos del evaporador y del condensador.

La presión en el punto 3 es un poco más baja que la presión en el punto 2, y la presión en el punto 1 es un poco más baja que la presión en el punto 4.

7. Discusión: Cambios de la entalpía en los procesos de medición

El ciclo teórico no requiere ningún cambio de la Entalpía en el dispositivo medidor de modo que no se transfiera ningún calor al ambiente. Este requisito necesita que la caída de calor sea igual al calor latente adicional en este proceso.

En realidad, este requisito no estará siempre disponible. debido a los cambios en las condiciones de trabajo (presión, temperatura, condiciones del ambiente, y espacio que se enfría), una pérdida de equilibrio puede ocurrir entre el calor latente adicional a la caída del calor sensible, y eventualmente ocurrirá un cambio en el calor general representado por la Entalpía.

Este cambio puede ser negativo o positivo, así el proceso 3-4 puede recibir una cuesta leve en cualquier dirección.

Por esta razón, la Entalpía en el punto 4 en el proceso práctico puede ser más pequeña, igual o más grande que la Entalpía en el punto 3.

8. Discusión: Cambios de la entropía en el proceso de compresión

El ciclo teórico no requiere ninguna transferencia térmica del condensador al ambiente, solamente inversión de energía eléctrica para la operación del condensador. Por esta razón, la Entropía en el proceso teórico de la compresión no cambia.

Esta situación no se permite en el proceso práctico porque el condensador no se aísla totalmente, y el calor pasa al ambiente del condensador.

El material refrigerante pierde una cierta cantidad de energía térmica (que pasa al ambiente), y su Entropía cae.

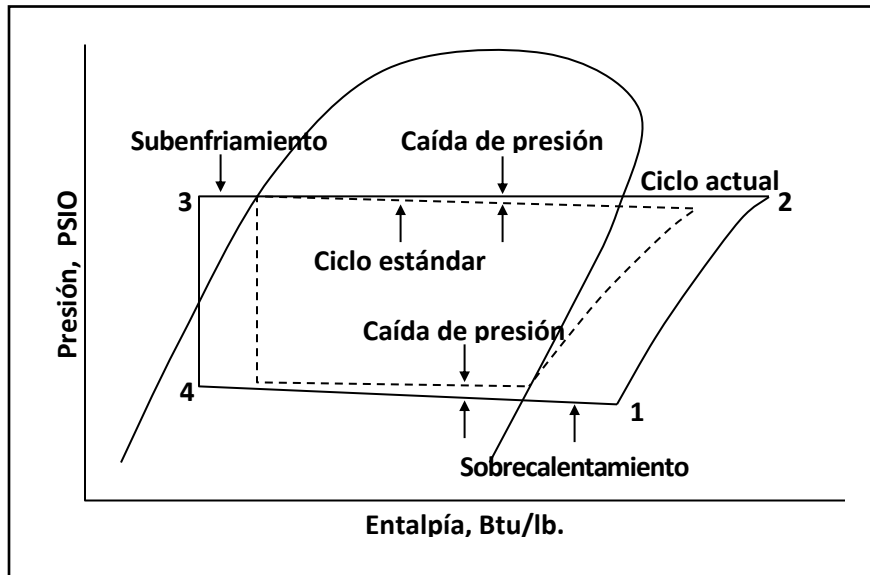


Figura 1-18 Ciclo de enfriamiento práctico en el Diagrama de Mollier

9. Diagrama presión-entalpía para el HFC-134a (unidades SI)

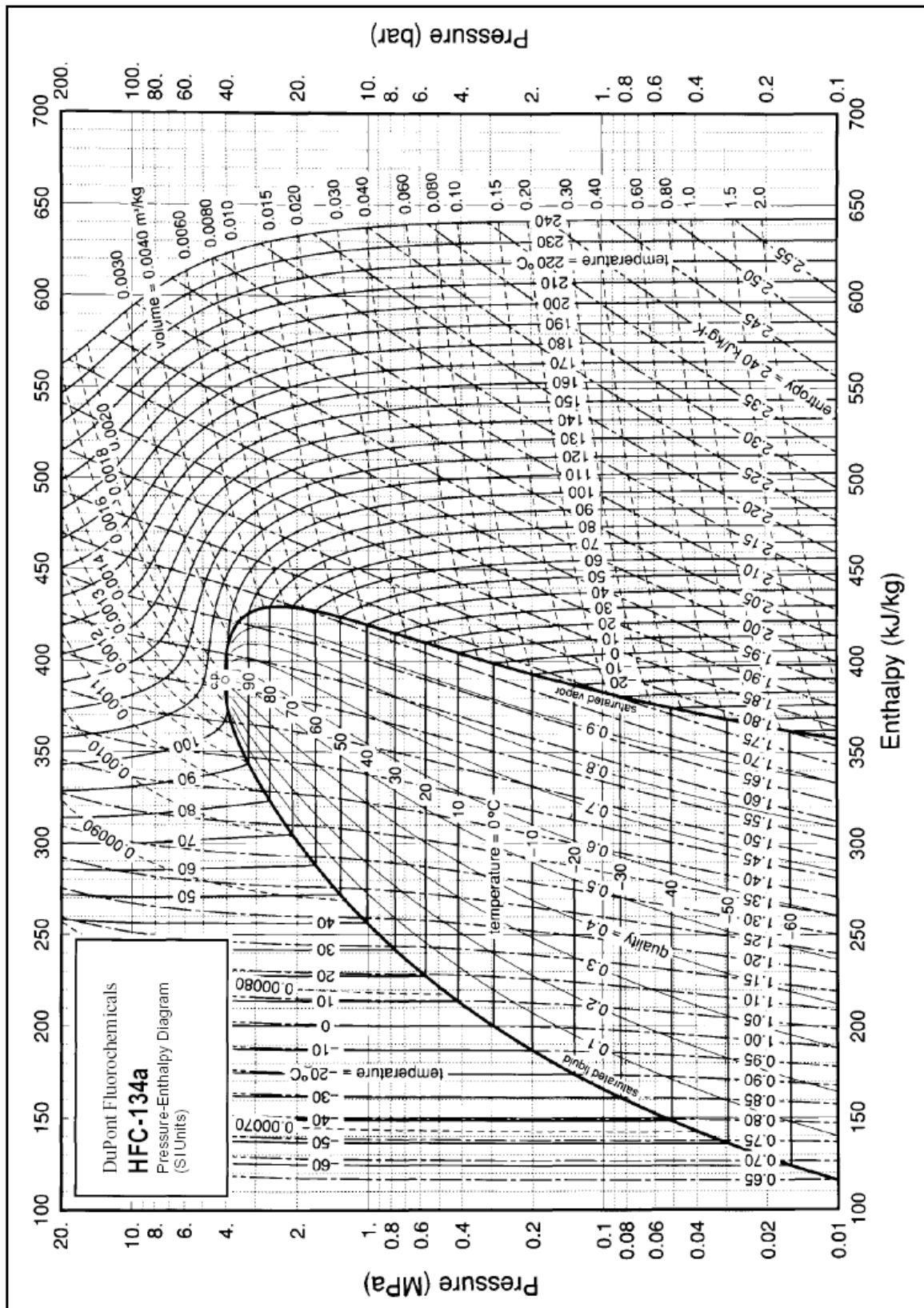


Figura
1-19

9. Procedimiento:

Paso 1: Compruebe que el PANEL DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL está instalado correctamente en la UNIDAD DE PLATAFORMA PRINCIPAL del sistema de refrigeración, de acuerdo con las instrucciones descritas en el prefacio del libro.

Paso 2: Compruebe que los interruptores MONITOR y PROGRAM del UNIDAD DE PLATAFORMA PRINCIPAL están en la posición OFF.

Un relé de fuga a tierra, un interruptor semiautomático, y un interruptor de alimentación principal están instalados en una caja de alimentación principal situada en la parte posterior del panel.

Paso 3: Conecte el cable de la fuente de alimentación del UNIDAD DE PLATAFORMA PRINCIPAL a la red.

Paso 4: Compruebe que el relé de fuga a tierra de alto voltaje y el interruptor semiautomático estén conectados.

Paso 5: Fije el interruptor Auto/Manual (ubicado en la parte inferior izquierda del simulador) en la posición Manual.

Paso 6: Conecte el interruptor principal de energía ubicado en la caja eléctrica del interruptor ubicada en la parte posterior del panel.

Paso 7: Conecte el interruptor de alimentación (POWER) del monitor.

Paso 8: La pantalla FAULT/Falla debe exhibir el número 00. Si no es así, use las teclas encima de la pantalla FAULT para exhibir el número 00 (condición sin falla) en la pantalla FAULT de 7-Segmentos y presione la tecla ENTER debajo de esta pantalla.

Paso 9: La pantalla STATE/Estado debe exhibir el número 00 (ningún programa en funcionamiento).

Paso 10: En la pantalla LCD usted debe encontrar la tabla siguiente:

V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	CM	OF

Compruebe que las dos válvulas manuales de las mangueras (amarilla y roja) estén abiertas, y que las tuberías están ajustadas al módulo.

Modo TEV:

Paso 11: El cambio del número de ESTADO no comienza el programa de funcionamiento (incluso después de presionar la tecla ENTER).

Con los botones bajo cada dígito, presione el número 11 en el ESTADO (cada botón cambia el dígito sobre él), y presione ENTER.

El número del ESTADO después de presionar la tecla ENTER exhibe solamente el programa y el estado requeridos de funcionamiento.

Paso 12: Baje y suba el interruptor PROGRAM.

Debe aparecer el mensaje 'Program 11' en la pantalla LCD.

Los estados del modo TEV son del 11-16.

Nota:

Usted puede moverse de un estado TEV a otro sin bajar ni levantar el interruptor del PROGRAMA. Si usted baja y sube el interruptor del PROGRAMA, el sistema actuará como un dispositivo de retardo por seguridad.

Los programas de la TEV son:

Estado 11 - Operación de la TEV con pantalla en °C.

Estado 12 - Operación de la TEV con pantalla en °F.

Estado 13 - Operación de la TEV con pantalla gráfica.

Estado 14 - Operación de la TEV con pantalla en °C y carga térmica.

Estado 15 - Operación de la TEV con pantalla en °F y carga térmica.

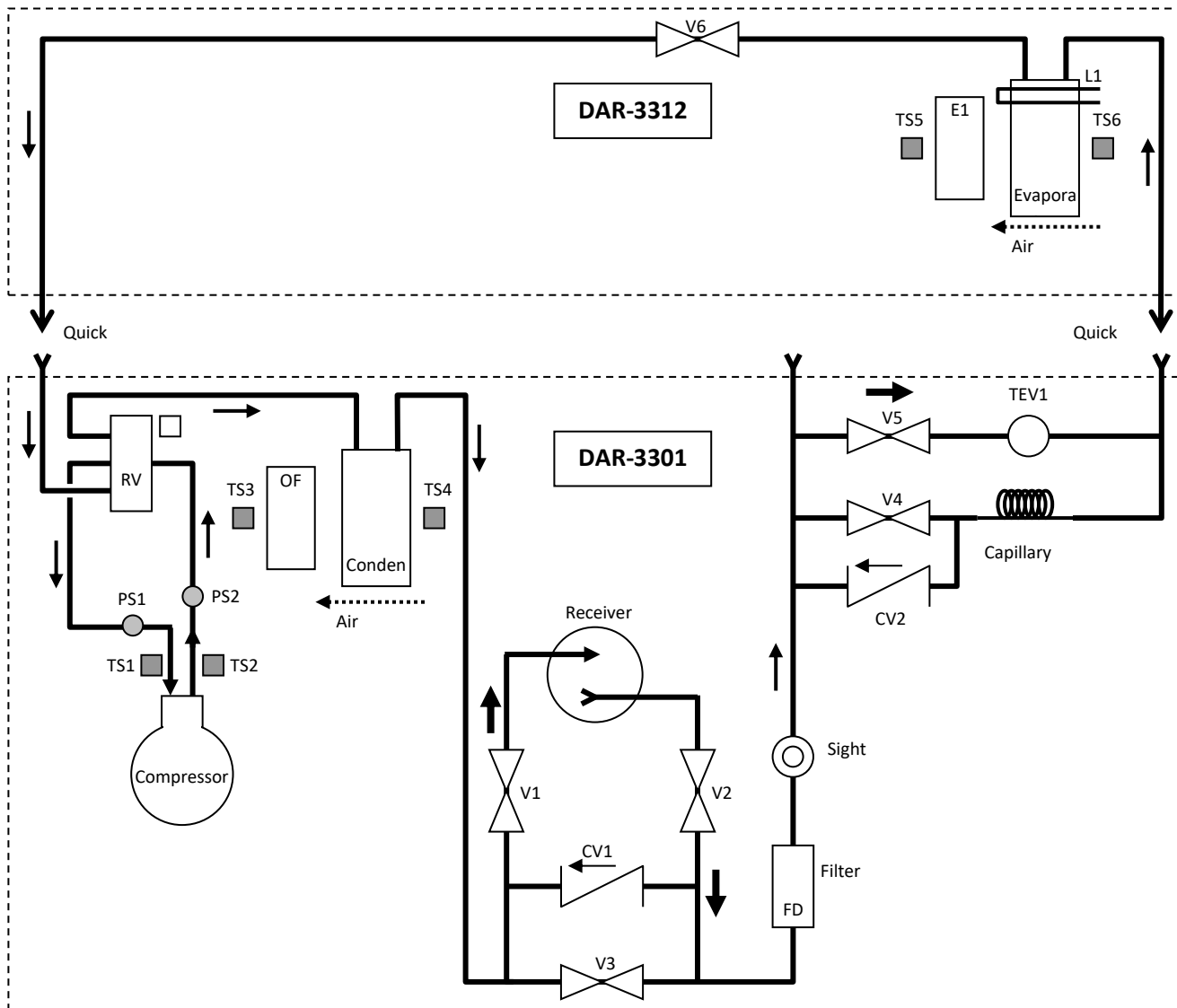
Estado 16 - Operación de la TEV con pantalla gráfica y carga térmica.

Paso 13: En la pantalla LCD usted debe encontrar la tabla siguiente:

V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	CM	OF
ON	ON			ON			ON	ON	ON

Si aparece "on" (en minúsculas) en las columnas CM y OF, significa que el compresor está en un estado de retardo de 3 minutos antes que comience a trabajar. Este retardo protege el compresor.

Paso 14: En el circuito siguiente se indica la trayectoria del refrigerante.



Paso 15: La pantalla LCD también exhibe las temperaturas y presiones del sistema como sigue:

LP	HP	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8

- LP - Presión Baja (la presión de succión medida por PS1)
- HP - Presión Alta (la presión de compresión medida por PS2)
- T1 - Temperatura de entrada al compresor (medida por TS1)
- T2 - Temperatura de salida del compresor (medida por TS2)
- T3 - Temperatura del aire de entrada al condensador (medida por TS3)
- T4 - Temperatura del aire de salida del condensador (medida por TS4)
- T5 - Temperatura del aire de salida del evaporador (medida por TS5)
- T6 - Temperatura del aire de entrada al evaporador (temperatura de la cámara de enfriamiento medida por TS6)
- T7 - No relevante
- T8 - No relevante

Identifique los sensores en el dibujo y en el sistema.

Paso 16: Otra tabla que aparece en la pantalla LCD es la de los parámetros de control:

S1	D1	S2	D2	SP	PD	E1	L1	E2	RT
20°C	5°C					LO			

S1 - Ajuste de la temperatura del cuarto

D1 - Diferencia de temperatura del cuarto

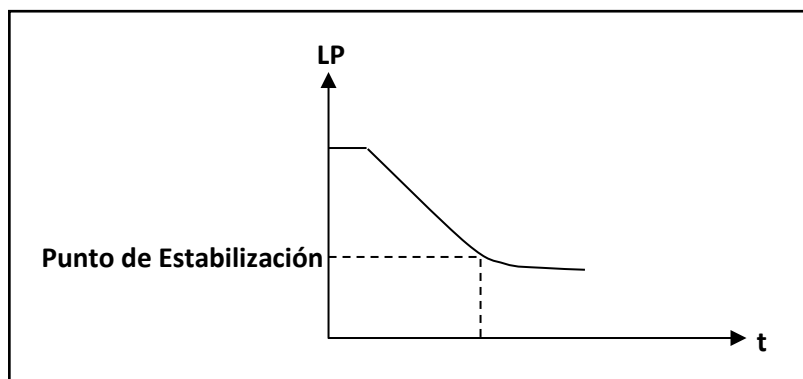
La temperatura de ajuste es la temperatura requerida. Cuando la temperatura de la cámara de enfriamiento está por debajo de esta temperatura, el sistema de refrigeración debe parar el enfriamiento y esto se hace parando el compresor.

El compresor se conecta cuando la temperatura de la cámara fría llega a $S1 + D1$. D1 se determina para evitar que el sistema oscile. A propósito, cada vez que el compresor se desconecta, ocurre un retardo para el funcionamiento del compresor.

Hay una relación lineal entre la temperatura y la presión. Esta es la razón por la cual podemos controlar la temperatura de la cámara fría según la baja presión o la alta presión del sistema. Este tema será descrito más adelante.

Identifique los valores prefijados de S1 y de D1 del sistema.

Paso 17: Inmediatamente después del funcionamiento de la refrigeración, la presión de succión debe ser alta y va descendiendo conforme el sistema se va enfriando según el gráfico siguiente.



Paso 18: Cambie el número de ESTADO a 12 y presione ENTER.

Este estado no cambia el funcionamiento del sistema; solo cambia la pantalla de °C a °F.

Observe eso.

Cambie el número de ESTADO a 11 y presione ENTER.

Paso 19: Observe los valores de presión y temperatura en la pantalla y regístrelos cada minuto en la tabla siguiente.

Min.	LP	HP	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1								
5								
10								
15								
20								
25								
30								
35								

El punto de estabilización, que es el punto de operación, es el punto donde las presiones en el sistema son las correctas para la refrigeración y son apropiadas para los dispositivos del sistema, el refrigerante, la velocidad del ventilador y el ambiente.

Observe el visor de vidrio y compruebe que no hay burbujas.

Paso 20: Cuando la LP esté estable en el punto estabilizado, registre los valores de la temperatura y de la presión del punto de estabilización.

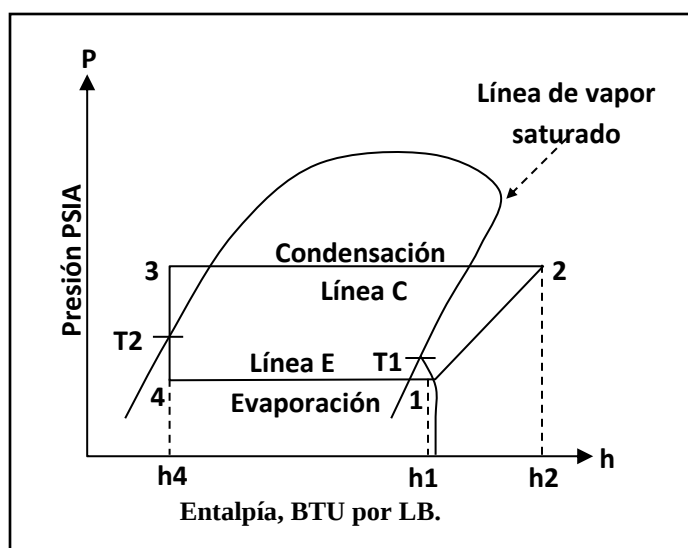
La temperatura de la cámara de enfriamiento debe continuar bajando.

Paso 21: Dibuje un gráfico de LP versus T1, que describa la relación entre la temperatura de succión y la presión de succión.

Paso 22: Los valores del punto de estabilización nos permite calcular el COP (Coeficiente de Operación o Funcionamiento) del sistema de enfriamiento.

Use el diagrama de Mollier en el Apéndice A para encontrar los valores de h_1 , h_2 y h_4 para calcular el COP del sistema como se describe en los pasos siguientes.

El ciclo de enfriamiento se describe en el diagrama siguiente:



1. Dibuje la línea de evaporación (línea E) de acuerdo con la LP (la presión de succión medida por PS1) en el diagrama.
2. Encuentre un punto en la línea de E que se junte con una línea de temperatura según T1 (la temperatura de succión). Éste es el punto 1.
3. Encuentre el valor de la entalpía del punto 1 en la línea h de la entalpía. Éste es el punto h_1 .

4. Dibuje la línea de condensación (línea C) según HP (la presión de compresión medida por PS2) en el diagrama.
5. Vaya para arriba desde el punto 1 usando una línea de la entropía en el diagrama de Mollier hasta que encuentre la línea C. Éste es el punto 2.
6. Encuentre el valor de la entalpía del punto 2 en la línea h de la entalpía. Éste es h2.
7. En el lado izquierdo de la campana, encuentre el punto con la temperatura igual a la temperatura de compresión T2.
8. Dibuje una línea vertical hacia arriba y abajo de este punto hasta que se encuentre con la línea C (que crea el punto 3) y la línea E (que crea el punto 4).
9. Encuentre el valor de la entalpía del punto 4 en la línea h de la entalpía. Éste es h4.
10. Calcule el COP de acuerdo con la formula siguiente:

$$\text{COP} = \frac{h1 - h4}{h2 - h1}$$
11. Desde el punto 3 y el punto 1 identifique el tipo de refrigeración (subenfriamiento, sobrecalentamiento, etc.).

Paso 23: La velocidad del evaporador puede cambiarse con la tecla '*'.

Presione la tecla '*' y compruebe que el ventilador del evaporador (E1) cambia a HI.

Paso 24: Espere hasta que el sistema alcance el punto estabilizado.

Registre los valores de estabilización.

Paso 25: Calcule el COP del sistema en este punto.

Paso 26: Presione la tecla '*' nuevamente y compruebe que E1 cambió a 'LO'.

Paso 27: Cambie el número de ESTADO a 16 y presione ENTER.

Este estado opera la carga térmica al evaporador.

La presión de succión debe aumentar lentamente.

La temperatura de la cámara aumentará por supuesto, pero en este punto no nos ocuparemos de ella.

Paso 28: Espere hasta que el sistema esté estable.

Identifique el nuevo punto de estabilización.

Paso 29: Calcule el COP del sistema en este punto.

Paso 30: Cambie la velocidad de E1 a high (alta) y registre los nuevos valores del punto de estabilización.

Paso 31: Cambie la velocidad de E1 nuevamente a low (baja).

Paso 32: Cambie el número del ESTADO a 14 (°C) y presione ENTER.

Registre los valores de estabilización.

Paso 33: Cambie el número del ESTADO a 15 (°F) y presione ENTER.

Registre los valores de estabilización.

Paso 34: Calcule el COP del sistema en este punto.

Paso 35: Cambie el número del ESTADO a 00 y presione ENTER.

Baje el interruptor del PROGRAMA y súbalo.

Todos los dispositivos deben desconectarse.