

Capítulo 1 – Sistemas de enfriamiento y refrigeración básica

EXPERIMENTO 1.5 – TÉCNICAS DE EVAPORACIÓN Y CONDENSACIÓN

Nombre	Clase/Período	Date

1. Objetivos:

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

- Explicar qué es el evaporador.
- Explicar acerca de los tipos de evaporador.
- Explicar qué es un evaporador con convección natural.
- Explicar qué es un evaporador con convección forzada.
- Explicar qué es el condensador.
- Explicar acerca de los tipos de condensador.
- Explicar qué es un condensador con convección natural.
- Explicar qué es un condensador con convección forzada.
- Explicar el control del soplador y su función.

2. Equipo requerido:

- Unidad de plataforma principal
- Panel de refrigeración industrial

3. Discusión: Evaporadores

El evaporador es un dispositivo, que intercambia calor cuando el material refrigerante se evapora.

Para que el material refrigerante se evapore se requiere una precipitación de calor. Este calor se toma del aire o del agua existente fuera de las tuberías que envuelven al evaporador. De esta manera, se enfría el aire o el agua.

Los evaporadores se dividen en dos tipos:

1. Evaporadores de aire que funcionan con el principio de evaporación directa del material.
2. Evaporadores de agua que funcionan con el principio de refrigeración indirecta del material refrigerante a través de un agente - el agua.

3.1 Evaporadores de aire

Los evaporadores de aire están divididos en dos tipos:

1. Evaporadores por convección natural.
2. Evaporadores por convección forzada.

1) **Evaporador por convección natural:**

El evaporador por convección natural es generalmente un evaporador superficial. El compartimiento de congelamiento de los viejos refrigeradores caseros (sin descongelamiento automático) es un ejemplo de esta clase de evaporador.

El evaporador se construye de dos hojalatas de aluminio pegadas y soldadas juntas. Durante la producción, se imprime en la hojalata interna una depresión en forma de una media pipa, de tal manera que cuando las hojalatas están conectadas se recibe una trayectoria del flujo para el material refrigerante.

El evaporador del compartimiento del congelador se diseña como un compartimiento para acomodar el producto que debe ser congelado.

El material refrigerante fluye dentro de la tubería impresa en la hojalata, se evapora, y mientras se evapora, recibe calor del aire situado cerca del panel lateral.

2) **Evaporador por convección forzada:**

Los evaporadores por convección forzada son evaporadores donde el aire fluye a través de ellos por el uso de un soplador. El uso principal de esta clase de evaporadores está en instalaciones de refrigeración y aire acondicionado, y en refrigeradores caseros (del tipo NO-FROST). El evaporador se construye de tuberías encadenadas a través de las aletas de aluminio perforadas unidas unas a otras. La separación entre las aletas permite que el aire fluya entre ellas. Esta separación es un dato muy importante.

3.2 Evaporadores de agua

El evaporador de agua es un intercambiador de calor donde el material refrigerante, mientras se produce la evaporación, enfría el agua.

Generalmente el material refrigerante que fluye en la tubería y el agua están ubicados fuera de la tubería. El agua tiene mejores características de transferencia térmica que el aire por tal motivo, el coeficiente de calor del evaporador de agua es mejor que el coeficiente de calor del evaporador de aire.

Los evaporadores de agua se usan generalmente en grandes sistemas de aire acondicionado diseñados para un gran número de habitaciones repartidos por un número de pisos.

Los evaporadores de agua se dividen en los tipos siguientes:

- 1) Evaporador de serpentín empapado.
- 2) Evaporador de batería.
- 3) Evaporador de tuberías y capullo.

1) **Evaporador de serpentín empapado:**

Este evaporador se construye de una tubería de cobre envuelta como serpentín empapado en agua u otro líquido que deben ser enfriados. El material refrigerante fluye en la tubería y el agua fluye entre la cubierta externa de la tubería y el tanque.

Una bomba transfiere el agua fría a los diferentes consumidores y el agua caliente retorna después de absorber calor.

2) **Evaporador de batería:**

El evaporador de batería es similar en construcción al evaporador empapado y se utiliza principalmente para enfriar el líquido en un baño, que es el único consumidor, de tal manera, que no hay necesidad de transferir el líquido refrigerado a otro lugar.

3) **Evaporador de tuberías y capullo:**

El evaporador de tuberías y capullo es actualmente el intercambiador de calor más común y popular en las grandes instalaciones de aire acondicionado.

Se construye de una tubería gruesa con dos placas grabadas en los bordes, y en el interior de estas placas, se instalan las tuberías de cobre.

El material refrigerante fluye dentro de las tuberías y el agua fluye entre el abrigo externo de las tuberías y el capullo.

El ciclo del agua es un ciclo cerrado, no como en el condensador, así no hay pérdida de agua.

Es posible construir un evaporador de agua donde el agua fluya dentro de las tuberías o fuera de las tuberías.

4. Discusión: Condensadores

La función del condensador es descargar el calor absorbido en el evaporador y sumergido por el compresor a los alrededores.

El condensador es un intercambiador de calor. El material refrigerante se condensa en él mientras intercambia calor, y el medio circundante absorbe el calor mientras calienta el aire.

El material refrigerante entra al condensador en un estado de gas caliente y descarga calor sensible a los alrededores mientras se está enfriando.

Tan pronto como el material refrigerante alcanza el estado de vapor saturado, comienza a condensar en una temperatura fija y descarga calor latente a los alrededores. El material refrigerante se condensa totalmente y acaba su recorrido en estado de líquido saturado en el condensador.

Los condensadores se pueden dividir en dos tipos:

- 1) Condensadores refrigerados por aire
- 2) Condensadores refrigerados por agua

4.1 Condensadores enfriados por aire

Estos condensadores de acuerdo con sus características de transferencia de calor se dividen en:

- a) Condensadores con convección natural.
- b) Condensadores con convección forzada.

a) Condensadores con convección natural

En estos condensadores, el calor que se descarga del material refrigerante al aire circundante se hace a través del lado de la tubería al aire circundante sin ningún factor externo. El aire se calienta debido a la absorción de calor, sube, y aclara el espacio para un aire circundante más fresco. Este proceso es natural causado por la diferencia de la temperatura del aire. El aire que sube se mezcla con el aire circundante, y un aire más fresco llega a la tubería que rodea el condensador para absorber más calor.

Condensador superficial

El condensador superficial se diseña para dispositivos pequeños, principalmente para refrigeradores domésticos. El condensador superficial más simple se construye de una tubería de cobre, doblada y reforzada con alambres de hierro. La función principal del alambre de hierro en este tipo de condensador es distribuir el calor de las tuberías al aire.

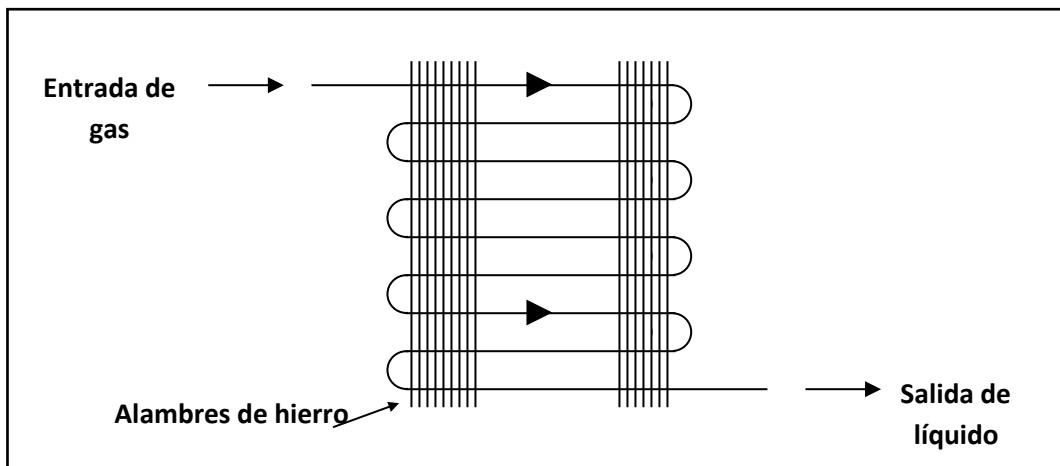


Figura 1-22

Otro tipo de condensador superficial es el condensador hecho de una superficie de hierro, que incluye la tubería por donde fluye el material refrigerante. La superficie de hierro se utiliza para mejorar la transferencia térmica agrandando la superficie del condensador, de esta manera se reduce el número de tuberías necesarias para el condensador.

Este condensador también está dirigido para los refrigeradores domésticos. En estos refrigeradores, el condensador superficial está a veces oculto a la vista, pero situado siempre al aire libre.

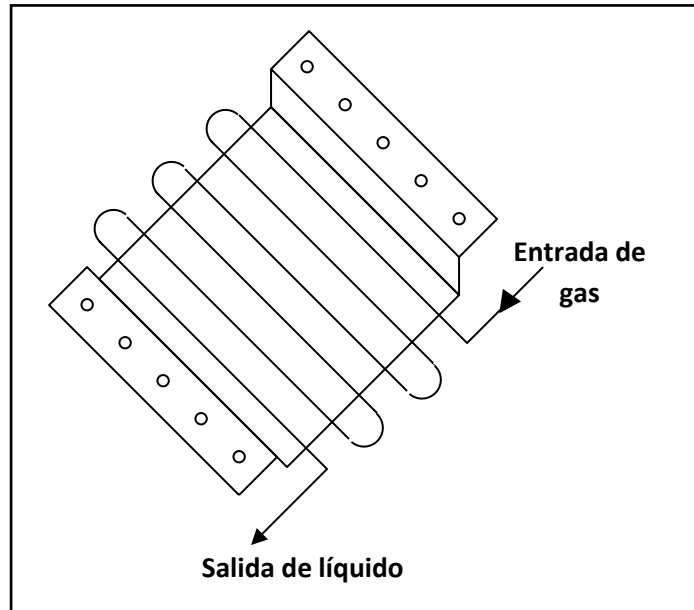


Figura 1-23

En muchos casos, el material refrigerante se utiliza para enfriar el aceite del compresor. La tubería del compresor que sale del compresor entra en el condensador, se enfría, y regresa al aceite para enfriarlo.

Otra manera de refrigerar el aceite del cárter del motor es conectando la tubería (en el aceite del cárter del motor) al mismo condensador.

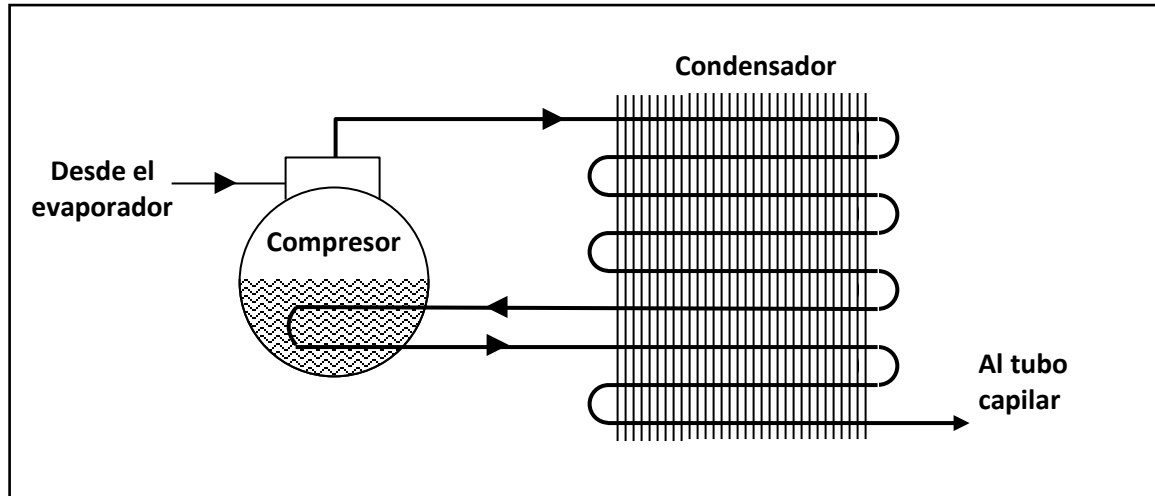


Figura 1-24

b) Condensadores con convección forzada:

Este condensador incluye tuberías de cobre y aletas de aluminio. La función de las aletas es agrandar el área superficial del condensador, de tal manera que el paso del calor a través de él sea más grande, según se muestra en la figura siguiente:

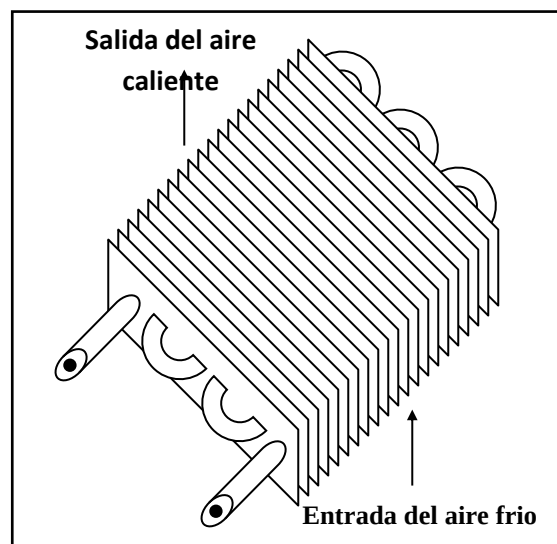


Figura 1-25

El condensador de convección forzada incluye un condensador poligonal y un soplador, que hace que el aire atraviese el condensador poligonal. El soplador puede ser axial o centrífugo, pero en la mayoría de los casos, es axial.

El soplador fuerza al aire a pasar a través de la batería del condensador y a absorber el calor que viene del condensador.

Por ejemplo, el condensador circular:

El condensador se diseña de forma circular para ciertos dispositivos de aire acondicionado. El aire entra de los lados y el soplador axial lo empuja hacia arriba. Debido a su diseño especial, el condensador circular es más costoso que el condensador regular.

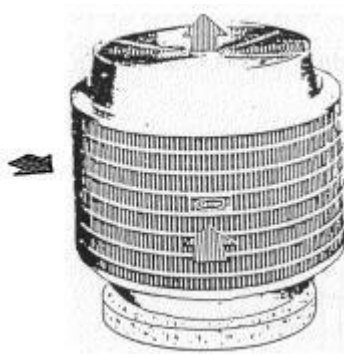


Figura 1-26 Condensador axial

El condensador refrigerado por aire de los sistemas grandes de refrigeración y aire acondicionado es una sola unidad que incluye: la batería de condensación, el soplador de aire, y un motor que acciona el soplador en conexión directa cuando el soplador está acoplado en el árbol del motor, o por una rueda volante usando correas.

Los condensadores verticales ocupan poco espacio, pero están pegados hacia fuera. El aire fluye a través de ellos horizontalmente.

Los condensadores horizontales ocupan mayor espacio, pero no se pegan hacia fuera. El aire los atraviesa verticalmente.

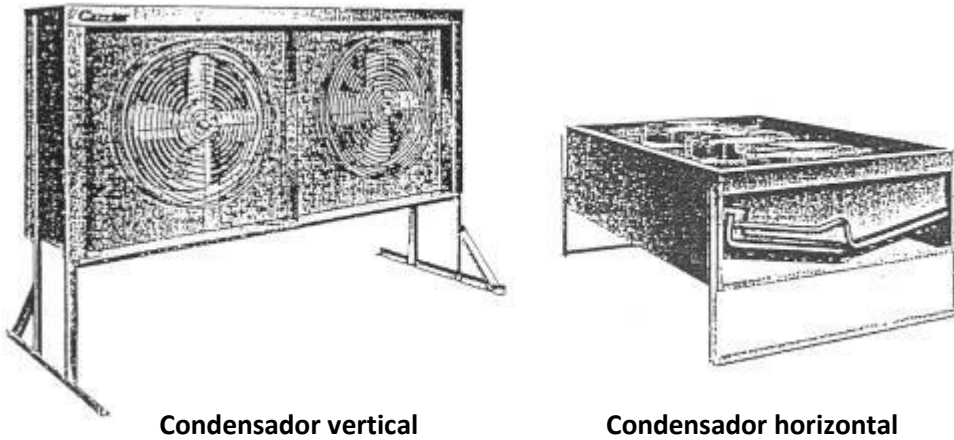


Figura 1-27

5. Discusión: El ventilador

Como vimos el principio de la refrigeración se basa en el gas refrigerante que se expande dentro del evaporador. Es comprimido por el compresor entra al condensador, transportado como un fluido al evaporador y allí se expande. El evaporador y el condensador se construyen de tuberías curvadas. El aire fluye alrededor de ellos. El aire, que fluye alrededor del condensador, enfría el condensador y el fluido dentro él y el aire transferido se calientan y se descargan fuera del sistema de refrigeración.

El aire transferido a través del evaporador se enfría, fluye al área de refrigeración y la enfría. Sin transferencia de aire no habría proceso de refrigeración. Se crearía un calor intenso en el condensador y un frío intenso en el evaporador hasta formar hielo entre sus tuberías.

La función del ventilador es empujar el aire a través del condensador y del evaporador.

6. Discusión: Carga térmica

La carga térmica de un sistema de refrigeración es la cantidad de calor que el sistema tiene que quitar del material refrigerante en el área que se enfría. Éste es uno de los parámetros principales, que se toma en consideración para el diseño de un sistema de refrigeración y de sus componentes.

6.1 Capacidad de enfriamiento

La capacidad de enfriamiento de un sistema de refrigeración es la medida de la capacidad del sistema de refrigeración de quitar calor del área que se enfría.

La capacidad de enfriamiento de un sistema de refrigeración debe ser siempre más grande que la carga que se enfría.

Cuando la capacidad de enfriamiento es igual a la carga térmica, el sistema está balanceado. Este equilibrio ocurre a una temperatura donde toda la capacidad de enfriamiento es igual a la carga térmica.

6.2 Cargas térmicas y cambio de temperatura externa

El PANEL DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL del sistema de enfriamiento tiene un cuerpo calefactor. Su función es asemejarse a la condición calentada del espacio de enfriamiento durante los experimentos. El calor producido por este dispositivo se puede ajustar.

Además del evaporador hay un ventilador instalado que puede accionarse a diferentes velocidades. La cámara de refrigeración del sistema está construída de un material aislante, y su escape o fuga de calor ha sido tomado en consideración.

La carga de calor puede evaluarse midiendo las diferencias de temperatura entre la temperatura del aire a la entrada del evaporador y la temperatura a la salida.

La capacidad del sistema se puede evaluar en el experimento donde el compresor trabaja junto con la unidad de calefacción. La temperatura del sistema cambia desde el principio del experimento hasta que alcanza la estabilidad de trabajo. Este punto se llama Estado Estacionario.

Las mediciones de las diferentes temperaturas y presiones que existen en el sistema se miden en este punto.

Al diseñar un sistema de enfriamiento, se toman en consideración las siguientes cargas de calor adicionales, por ejemplo: la iluminación, los dispositivos que descargan calor, las azoteas, las ventanas, etc.

7. Discusión: Cálculo de la convección del calor en evaporadores y condensadores

El PANEL DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL del sistema de refrigeración se equipa con un ventilador, que funciona bajo el principio de convección de calor forzado.

Para facilitar el cálculo es común asumir que la temperatura del refrigerante permanece constante a lo largo de su camino a través del evaporador y del condensador. Cuando se mueve a través del serpentín, la temperatura del aire cambia.

Los datos requeridos para calcular la convección del calor en el evaporador o en el condensador son: la temperatura del aire a la entrada y a la salida, la temperatura del material refrigerante a la entrada y a la salida, y la velocidad el caudal del gas.

La superficie de convección del aire a través de las aletas del condensador es un factor importante para calcular la convección del calor, por esta razón los evaporadores y los condensadores son especificados por su longitud, su ancho, el diámetro de la tubería, y el número de aletas por pulgada.

Las diferencias de temperatura entre el refrigerante y el aire son realmente la causa para la convección del calor que ocurre entre el evaporador y/o el condensador y el aire circundante. La ecuación siguiente se utiliza para calcular la temperatura logarítmica media:

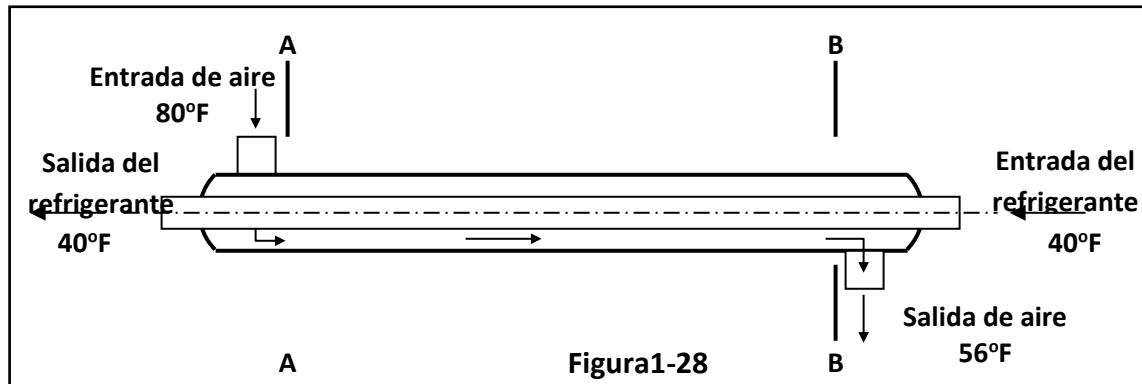
$$\Delta T_m = \frac{(\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min})}{\ln\left(\frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\min}}\right)}$$

ΔT_m = La temperatura logarítmica media.

$\Delta T_{\max}$ = La diferencia de temperaturas entre el material refrigerante en la entrada del cambiador de calor (evaporador o condensador) y el aire a la salida.

$\Delta T_{\min}$ = La diferencia de temperaturas entre el material refrigerante a la salida del cambiador de calor y el aire a la entrada.

Un ejemplo de cálculo según la figura 1-28:



$$\Delta T_{\max} = 80 - 40 = 40^{\circ} \text{F}$$

$$\Delta T_{\min} = 56 - 40 = 16^{\circ} \text{F}$$

$$\Delta T_m = \frac{40 - 16}{\ln\left(\frac{40}{16}\right)} = \frac{24}{\ln 2.5} = \frac{24}{0.9163} = 26.19^{\circ} \text{F}$$

$$\Delta T_{\max} = 26.5 - 4.5 = 22^{\circ} \text{C}$$

$$\Delta T_{\min} = 13.3 - 4.5 = 8.8^{\circ} \text{C}$$

$$\Delta T_m = \frac{22 - 8.8}{\ln\left(\frac{22}{8.8}\right)} = \frac{13.2}{\ln 2.5} = \frac{13.2}{0.9163} = 14.4^{\circ} \text{C}$$

7.1 El proceso de convección del calor

La convección del calor descrita para el condensador es un proceso integrado que incluye 3 etapas:

1. Transferencia del calor del refrigerante a la partición.
2. Convección del calor a través del lado de la partición (el lado de la tubería).
3. Transferencia del calor al aire circundante.

La cantidad de calor de convección en cada uno de los estados se puede calcular con la ecuación apropiada:

1. La cantidad de calor transferida por el refrigerante – $Q_1 = m \cdot \Delta T$
m = la masa del refrigerante en libras (o kg).
2. La cantidad de calor que pasa a través del lado de la partición – $Q_2 = A \cdot U \cdot \Delta T_m$
3. La cantidad de calor que recibe el aire – $Q_3 = \text{cfm} \cdot 1.08 \cdot \Delta T$
cfm = Flujo de aire en ft^3 / min (fuente del volumen de aire en unidades)

1.08 = Constante del calor específico del aire

ΔT = Diferencia de temperatura entre la entrada al condensador y el aire de salida en $^{\circ}\text{F}$.

Regla:

En un proceso integrado de convección del calor, la cantidad de calor de convección en cada una de las etapas debe ser igual a la cantidad de calor de convección en las otras etapas.

La regla anterior se puede escribir matemáticamente:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3$$

7.2 Convección del calor a través de la partición

El cálculo de la cantidad de la convección del calor a través de la partición es una parte importante en el diseño del intercambiador de calor. Este diseño establece el tamaño del intercambiador de calor y su habilidad para funcionar apropiadamente en el sistema.

La cantidad de la convección del calor a través de los lados de las tuberías se calcula según la ecuación siguiente:

$$Q = A \cdot U \cdot \Delta T_m$$

Q = La cantidad de calor en unidades de $\frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$ o $\frac{\text{BTU}}{\text{h}}$.

A = El área de la superficie que circunda todas las tuberías en unidades de m^2 o ft^2 .

U = El factor comprensivo de la convección del calor entre el aire y el refrigerante en unidades de

$$\frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{Ch}} \text{ o } \frac{\text{Kcal}}{\text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{Fh}}.$$

ΔT_m = Diferencia logarítmica de temperatura.

7.3 Las tuberías que rodean la superficie (la partición)

En el cambiador de calor, las tuberías que rodean la superficie son la superficie de la partición.

La superficie que rodea una sola tubería se calcula según la ecuación siguiente:

$$A = \pi D 1$$

π = El número 3.14

D = El diámetro de la tubería en unidades **m** o **ft**.

1 = La longitud de la tubería en unidades **m** o **ft**.

Cuando el número de tuberías en el cambiador de calor son n unidades, la ecuación debe multiplicarse por n:

$$A = n \cdot \pi \cdot D \cdot 1$$

8. Procedimiento:

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

Paso 2: Compruebe que los interruptores MONITOR y PROGRAM de la 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 de la 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 de 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

En este experimento mediremos la diferencia de temperatura entre el evaporador y el condensador y calcularemos su transferencia de calor en BTU.

Lo comprobaremos en dos velocidades del ventilador del evaporador y con y sin carga térmica.

Modo TEV:

- Paso 11: Cambie el número de ESTADO a 11 (para °C) o 12 (para °F) y presione ENTER.
- Paso 12: Baje y suba el interruptor de PROGRAMA.

Paso 13: En la pantalla LCD usted debe encontrar las tablas siguientes:

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

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

LP	HP	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8

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

Identifique los valores prefijados de S1 y D1 del sistema.

Observe el visor de vidrio y compruebe que no hay burbujas y que el valor de la LP alcanzó el punto de estabilización.

Paso 14: La temperatura de la cámara de refrigeración debe continuar bajando aún después que la LP está estable.

Observe eso.

Paso 15: La temperatura T6 de la cámara disminuye mientras el sistema se está enfriando (trabaja el compresor).

El compresor debe apagarse cuando la temperatura de la cámara pasa por debajo del valor S1 (punto de configuración) y debe conectarse cuando la temperatura de la cámara pasa el valor S1 + D1.

El valor prefijado de S1 es 20°C (68°F), el valor prefijado de D1 es 5°C (9°F).

Compruebe eso.

- Paso 16: Vea qué sucede cuando la temperatura de la cámara de refrigeración pasa por debajo del punto S1.
- Paso 17: Registre las presiones y las temperaturas.
- Paso 18: Espere hasta que el compresor se conecte.
- Paso 19: Registre las presiones y las temperaturas.
- Paso 20: Espere hasta que el compresor se desconecte.
- Paso 21: Registre las presiones y las temperaturas.
- Paso 22: Presione la tecla '*' y compruebe que el ventilador del evaporador (E1) cambia a HI.
- Paso 23: Espere hasta que el compresor se conecte.
- Paso 24: Registre las presiones y las temperaturas.
- Paso 25: Espere hasta que el compresor se desconecte.
- Paso 26: Registre las presiones y las temperaturas.
- Paso 27: Presione la tecla '*' nuevamente y compruebe que E1 ha cambiado a 'LO'.
- Paso 28: Complete la tabla siguiente con los valores del punto de estabilización de los dos puntos de ajuste.

No.	Comp.	E1	Time	S1	D1	LP	HP	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1.	ON	LO											
2.	OFF	LO											
3.	ON	HI											
4.	OFF	HI											

Paso 29: El suministro de aire del ventilador del evaporador es 100 M³/h (900 ft³/h) a velocidad baja y 200 M³/h (1800 ft³/h) a alta velocidad. El suministro de aire del condensador es 430 M³/h (3870 ft³/h) y tiene solamente una velocidad.

Calcule la transferencia térmica del evaporador y del condensador.

$$Q = \text{cfm} \cdot 1.08 \Delta T \text{ (véase el párrafo 1.5.5.1).}$$

Paso 30: Cambie el número de ESTADO a 14 (para °C) o 15 (para °F) y presione ENTER

Esto hará funcionar la carga térmica.

Paso 31: Espere hasta que el compresor se pare.

Paso 32: Registre las presiones y las temperaturas.

Paso 33: Espere hasta que el compresor se conecte.

Paso 34: Registre las presiones y las temperaturas.

Paso 35: Cambie la velocidad del ventilador a High (Alta).

Paso 36: Espere hasta que el compresor se desconecte.

Paso 37: Registre las presiones y las temperaturas.

Paso 38: Espere hasta que el compresor se conecte.

Paso 39: Registre las presiones y las temperaturas.

Paso 40: Complete la tabla siguiente con los valores del punto de estabilización de los dos puntos de configuración.

No.	Comp.	E1	Time	S1	D1	LP	HP	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1.	ON	LO											
2.	OFF	LO											
3.	ON	HI											
4.	OFF	HI											

Paso 41: Calcule la transferencia de calor del evaporador y del condensador.

Paso 42: Cambie el número de ESTADO a 00 y pulse ENTER.

Baje y suba el interruptor de PROGRAMA.

Todos los dispositivos deben desconectarse.