

Balance térmico de

un enfriador de

agua

- **Introducción**

- **Funcionamiento del enfriador de agua:**

La unidad enfriadora de agua opera mediante el ciclo de refrigeración a base de la compresión de un vapor, y lo que específicamente realiza es extraer el calor de un espacio y rechazarlo posteriormente a otro espacio seleccionado. Para ello cuenta con cuatro (4) componentes básicos y un fluido conocido como refrigerante que circula entre ellos.

En el **Evaporador** se absorbe el calor para nuestro caso; se absorbe calor del agua y al hacer esto la misma baja su temperatura. Al desarrollar este proceso, el fluido que circula (el refrigerante) se evapora y lo toma el **Compresor** donde se le eleva la presión y la temperatura, para luego rechazar en el **Condensador** el calor absorbido a un medio seleccionado, en nuestro caso agua.

Al rechazar el calor el refrigerante se condensa y pasa al dispositivo de control donde se le baja la presión y la temperatura y está listo para absorber calor nuevamente en el evaporador.

En la parte exterior de la casa de máquinas se encuentra un equipo que se le conoce con el nombre de **Torre de Enfriamiento**. La misma es necesaria ya que como hemos indicado anteriormente, el calor que se rechaza en el enfriador lo rechazamos al agua (Ciclo de Condensación).

En mono de ejemplo hablemos del edificio en el que se encuentran instalados básicamente dos (2) tipos de equipos que serán los encargados de extraer calor de las áreas que deseamos acondicionar.

En el área Administrativa se encuentran los "fan coil", uno en cada oficina a acondicionar. En el área de los salones se han instalado las denominadas unidades manejadoras de aire donde desde allí y a través de conductos llevan aire a los salones, el cual extraerá el calor y lo llevará a las unidades manejadoras de agua para que otro flujo (agua) lo absorba.

Ya nos hemos percatado que el sistema de aire acondicionado funciona con procesos meramente de intercambio de calor.

Si nos apoyamos en el siguiente esquema, le indicaremos el funcionamiento general del sistema. El agua fría (45 °F) la obtenemos de la unidad enfriadora de agua, la llevamos por medio de tuberías y con la ayuda de la bomba de agua fría al edificio; de allí la hacemos pasar a través de las unidades manejadoras de aire y los "fan coil", regresa a la unidad enfriadora de agua para que se le extraiga el calor, como ya revisamos cuando describimos la operación de la unidad enfriadora de agua.

Por otro lado, en el ciclo de condensación, el calor que rechaza la unidad enfriadora de agua lo toma el otro ciclo independiente de agua y lo lleva a la torre de enfriamiento, utilizando la bomba de agua de condensación, donde el aire que allí circula se encarga de extraerle el calor y rechazarlo al ambiente exterior.

Es importante hacer notar que para que existan todos los procesos de intercambio deben existir los flujos ya sea de agua o de aire según sea el caso.

- **Porqué utilizar este tipo de sistema:**

En estos momentos nos estaremos preguntando ¿Por qué utilizar un sistema con tantos dispositivos si existen otros más simples?

La respuesta es sencilla: Es cierto que este tipo de sistema requiere de mucho equipo y de una inversión inicial relativamente alta, pero cuando el mismo entre en operación, el consumo de energía eléctrica será significativamente menor que si hubiera instalado otro tipo de sistema.

En esta misma línea se recomienda que para sistemas de capacidades mayores de 150 toneladas de refrigeración, se utilice el sistema de expansión indirecta. (1 Ton de ref. = 12.000 BTU/hr).

- **El ciclo de compresión del vapor:**

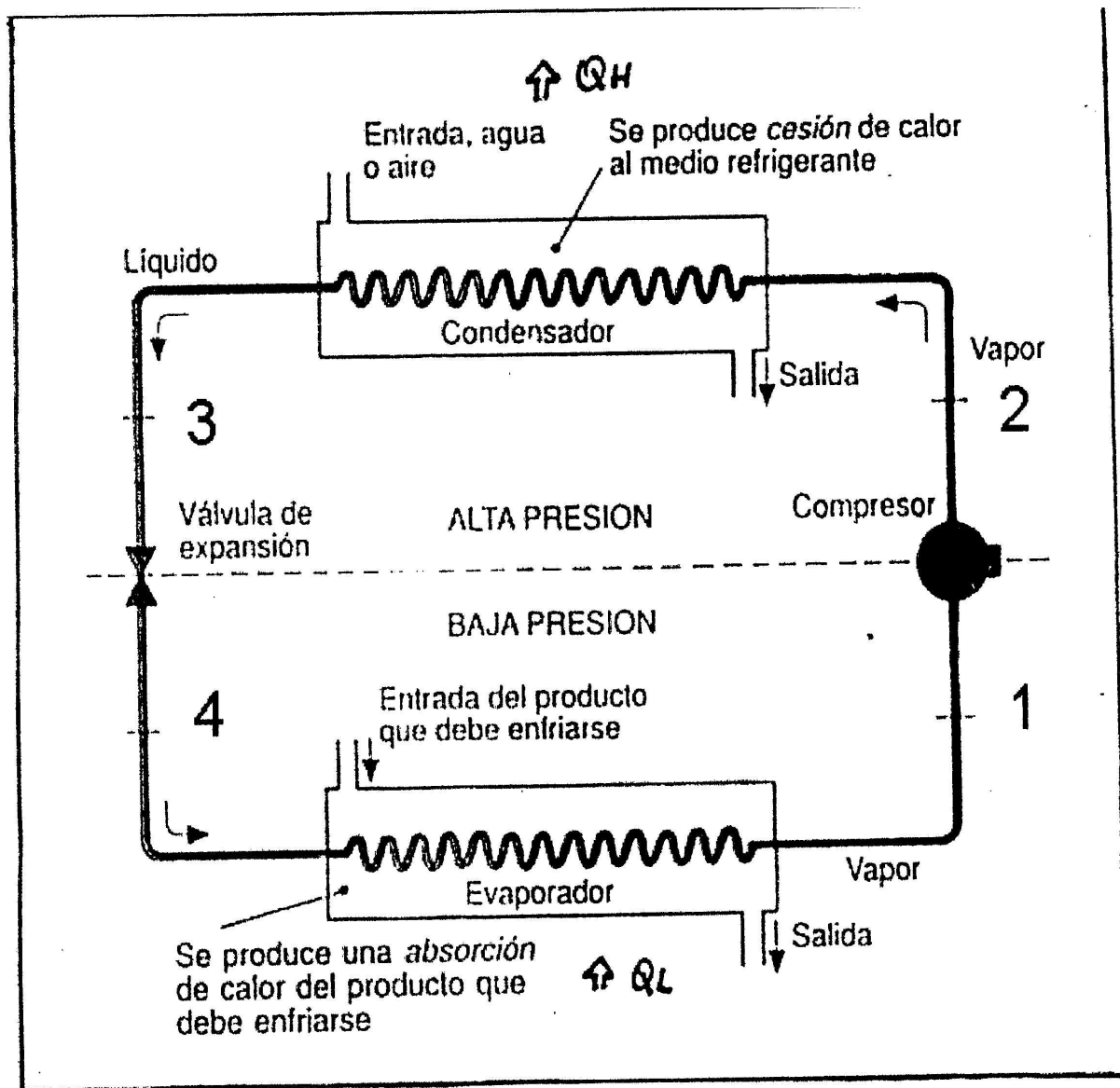
El trabajo mecánico para el ciclo de compresión del vapor acciona un *compresor*, que mantiene baja presión en un *evaporador* y una presión más alta en un *condensador*.

La temperatura a la cual se evapora un líquido (o se condensa un vapor) depende de la presión; así pues, si se hace trabajar la máquina con un fluido adecuado, éste se evaporará a una baja temperatura en el evaporador de baja presión (tomando calor de su entorno) y se condensará a una temperatura más alta en el condensador de alta presión (desprendiendo calor a su entorno).

El líquido de alta presión formado en el condensador precisa devolverse al evaporador con un gasto controlado.

El ciclo simple de refrigeración por compresión del vapor tiene por tanto cuatro componentes:

- Un **evaporador** donde se absorbe el calor a una baja temperatura al evaporarse (hervir) un líquido(refrigerante) a baja presión.
- Un **compresor** que utiliza una energía mecánica para aumentar la presión, por ende la temperatura del vapor.
- Un **condensador** donde se condensa el vapor(gas refrigerante) de alta presión, desprendiendo calor a sus proximidades.



– Un dispositivo **reductor de presión** del líquido refrigerante, por medio de una válvula de expansión, de retorno al evaporador, y que además controla el caudal.

• Refrigerantes:

Para cada refrigerante existe una temperatura específica de vaporización asociada con cada presión, por lo que basta controlar la presión del evaporador para obtener la temperatura deseada. En el condensador existe una relación similar entre la presión y la temperatura. Durante muchos años, uno de los refrigerantes más utilizados fue el diclorodifluorometano, conocido como refrigerante-12. Este compuesto clorofluorocarbonado (CFC) sintético se transformaba en vapor a $-6,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ a una presión de 246,2 kPa (kilopascales), y después de comprimirse a 909,2 kPa se condensaba a $37,8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En los refrigeradores pequeños empleados en las viviendas para almacenar comida, el calor del condensador se disipa a la habitación donde se sitúa. En los acondicionadores de aire, el calor del condensador debe disiparse al exterior o directamente al agua de refrigeración.

En un sistema doméstico de refrigeración, el evaporador siempre se sitúa en un espacio aislado térmicamente. A veces, este espacio constituye todo el refrigerador. El compresor suele tener una capacidad excesiva, de forma que si funcionara continuamente produciría temperaturas más bajas de las deseadas. Para mantener el

refrigerador a la temperatura adecuada, el motor que impulsa el compresor está controlado por un termostato o regulador.

Los congeladores para alimentos ultracongelados son similares a los anteriores, sólo que su compresor y motor tienen que tener la potencia y tamaño suficientes para manejar un mayor volumen de refrigerante con una presión menor en el evaporador. Por ejemplo, para mantener una temperatura de $-23,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ con refrigerante-12 se necesitaría una presión de 132,3 kPa en el evaporador.

El refrigerante-12 y otros dos CFC, el refrigerante-11 y el refrigerante-22, eran los principales compuestos empleados en los sistemas de enfriamiento y aislamiento de los refrigeradores domésticos. Sin embargo, se ha descubierto que los CFC suponen una grave amenaza para el medio ambiente del planeta por su papel en la destrucción de la capa de ozono. Según el Protocolo de Montreal (véase Contaminación atmosférica: *Medidas gubernamentales*), la fabricación de CFC debía finalizar al final de 1995. Los hidroclorofluorocarbonos, HCFC, y el metilbromuro no dañan la capa de ozono pero producen gases de efecto invernadero. Los HCFC se retirarán en el 2015 y el consumo de metilbromuro se limitará en un 25% en 1998. La industria de la refrigeración debería adoptar rápidamente otros compuestos alternativos no perjudiciales, como el metilcloroformo.

- **Objetivos**

- Obtener el gráfico del ciclo de refrigeración en diagrama P/h Freon 12.
- Evaluar $Q_L = m_{12} * (h_1 - h_4)$
- Evaluar $Q_H = m_{12} * (h_2 - h_3)$
- Evaluar el calor retirado al agua $Q_A = m_a * C_p * t$

- **Procedimientos**

- Equipo utilizado

Enfriador de agua o water chiller, el cual consta de todas las partes típicas de un enfriador de agua; condensador, evaporador, compresor y una válvula de expansión, los datos de equipo utilizado el cual es de dependencia de la Universidad De Santiago de Chile, tenía un caudal de la bomba de agua de 830 Lt/hr y el compresor tenía $\frac{1}{2}$ HP. El refrigerante utilizado fue el Freón 12. Para la medición de la temperatura en los diferentes estados del ciclo se utilizó una termocupla de superficie. En la medición de las presiones se utilizó dos manómetros conectados al equipo.

- Descripción de la experiencia

En primer lugar se sabe que el ciclo de refrigeración empleado en la experiencia es uno de compresión de vapor. Una vez puesto en funcionamiento el enfriador, se procedió a tomar los datos de las temperaturas correspondientes con la ayuda de la termocupla de superficie, siendo T1 la entrada al compresor. Luego, con el mismo instrumento se registró la temperatura de T2 de la entrada al condensador, T3 de la entrada de la válvula de expansión y T4 en la entrada al evaporador, después se midió la temperatura de diseño t2 y finalmente con la termocupla de inmersión se midió t1 que corresponde a la temperatura de la red de agua potable.

- Instalación de la experiencia

A continuación se muestra claramente el esquema de instalación de la experiencia realizada.

- **Datos**

Patm	Palta	Pbaja	T1	T2	T3	T4	t1	t2
719.8	99	11	15.3	44.5	29.4	-11.8	1	18.8

$$H1 = 1160 \text{ KJ / Kg} = 277,24 \text{ Kcal / Kg}$$

$$H2 = 1170 \text{ KJ / Kg} = 279,63 \text{ Kcal / Kg}$$

$$H3 = 1025 \text{ KJ / Kg} = 244,97 \text{ Kcal / Kg}$$

$$H4 = 1025 \text{ KJ / Kg} = 244,97 \text{ Kcal / Kg}$$

Nota: los datos de las entalpías se obtienen de en el gráfico de refrigerante r12 una vez realizado el ciclo de refrigeración. Las válvulas de expansión se consideran isoentálpicas por lo tanto $h3 = h4$.

• Formulas

- Factor de conversión

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$

$$1 \text{ mmHg} = 0.1333 \text{ Kpa}$$

$$1 \text{ bar} = 100 \text{ Kpa}$$

$$1 \text{ Psi} = 6,894757 \text{ Kpa}$$

$$1 \text{ HP} = 641.3 \text{ Kcal/Hr}$$

$$1 \text{ T.R} = 3024 \text{ Kcal / Hr}$$

$$1 \text{ J} = 0.239 \text{ Kcal}$$

- Calor disipado

$$Q_H = m_{r12} (h_2 - h_3) \text{ Kcal/Hr}$$

- Capacidad de Refrigeración

$$Q_L = m_{r12} (h_1 - h_4) \text{ Kcal/ Hr o T.R.}$$

- Trabajo de compresión

$$Q_C = m_{r12} (h_2 - h_1) \text{ Kcal/ Hr}$$

- Calor retirado del agua

$$Q_A = m_a * C_P * t$$

- Flujo masico de r12

$$m_{r12} = 1512 / (h_2 - h_1)$$

• Cálculos

$$P_{atm} = 719.8 \text{ mmHg} = 95,94934 \text{ Kpa} = 0.9594934 \text{ bar} = 13.92 \text{ Psi}$$

$$P_{alta} = 95,94934 \text{ Kpa} + 682.580943 \text{ Kpa} = 778053 \text{ Kpa} = 7.78 \text{ bar} \text{ " } 8 \text{ bar}$$

$$P_{baja} = 95,94934 \text{ Kpa} + 75,842327 \text{ Kpa} = 171,792 \text{ Kpa} = 1.71 \text{ bar} \text{ " } 2 \text{ bar}$$

$$m_{r12} = \underline{1512} = 632.63 \text{ Kg/Hr}$$

$$279.63 - 277.24$$

$$Q_C = 632 * (279.63 - 277.24) = 1511,98 \text{ Kcal/Hr}$$

$$Q_L = 632.63 * (277.24 - 244.97) = 20415,16 \text{ Kcal/Hr}$$

$$Q_H = 632.63 * (279.63 - 244.97) = 21927,16 \text{ Kcal/ Hr}$$

$$Q_A = 830 \text{ Kg/Hr} * 1 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} * (18.1 - 1) = 14774 \text{ Kcal/Hr}$$

" se cumple que $Q_H > Q_L$

• Conclusiones

- Los datos calculados nos dicen que estamos en presencia de un enfriador de agua en muy buenas condiciones, concluyendo esto por la relación de $Q_H > Q_L$, y además por lo observado en la practica al momento de observar el sistemas de aire acondicionado el cual salía bastante helado.
- No obstante cave señalar una observación; en la teoría vista en clases se señalo que la temperatura operacional de un enfriador de agua esta entre los 4 y 10 °C, y la temperatura de salida del enfriador nos registro un valor de 1°C, se puede decir que a lo mejor por esa razón el aire que salía era tan helado, y la posible descalibración del enfriador de agua.
- Teniendo en cuenta la observación anterior y lo aprendido en clases, seria correcto realizarle una buena mantención al enfriador de agua para tenerlo en buenas condiciones, para poder seguir operando sin ningún tipo de problemas. La mantención es aplicable en todos los usos que tienen los enfriadores de agua, para poder, lograr los más óptimos resultados de enfriamiento.
- **A lo que respecta a los objetivos de la experiencia, se puede decir con seguridad que se cumplieron con creces; se obtuvo un conocimiento claro del enfriador de agua y todas sus partes y usos, como sus características técnicas, se logro aplicar la teoría a la practica con total satisfacción; tanto formulas como el gráfico del refrigerante.**