

CONDENSADORES



Condensadores

El condensador en un sistema de refrigeración es un intercambiador de calor que cede el calor del sistema hacia otro medio. Este calor consiste en el absorbido por el evaporador mas el calor proveniente de la energía derivada de la compresión.

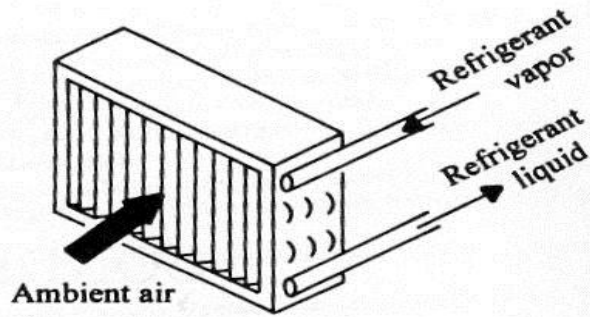
El refrigerante comprimido por el compresor a alta presión y temperatura ingresa al condensador donde elimina el calor a un medio más frío. Este gas condensa (se vuelve liquido), y deja el condensador para continuar el ciclo.

Los condensadores se clasifican por el medio que lo enfría. Dicha clasificación es:

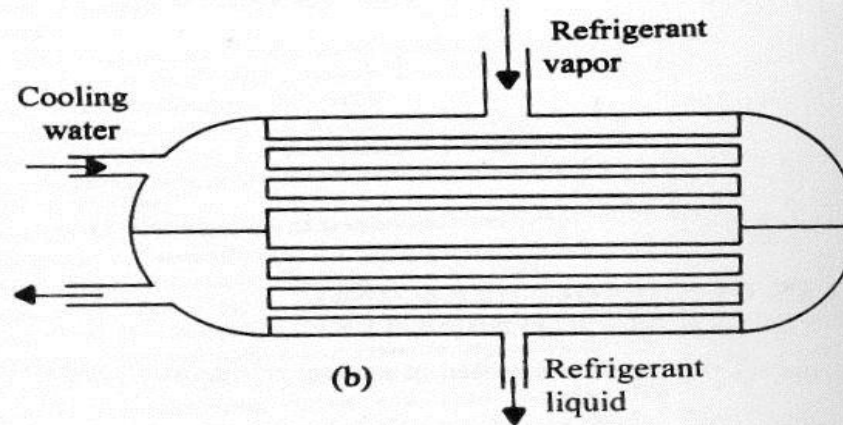
Condensadores por aire

Condensadores por agua

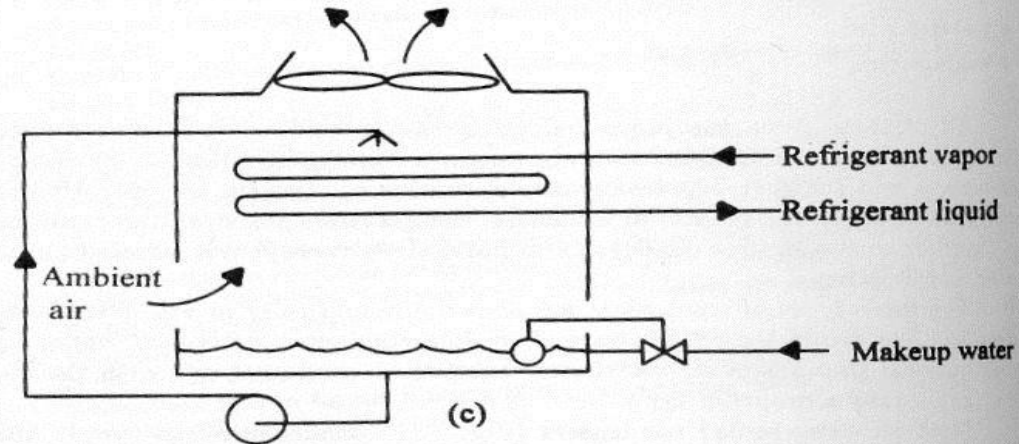
Condensadores Evaporativos (estos utilizan la combinación de agua y aire)



(a)



(b)



(c)







Los condensadores a aire son muy usados en el aire acondicionado y en la refrigeración comercial, pero es poco usado en la industria.

Los condensadores industriales son condensadores evaporativos o torres de enfriamiento con intercambiadores casco y tubo de agua.

En los condensadores enfriados a aire el refrigerante cede calor al ambiente mediante el pasaje de una corriente de aire, por un serpentín aleteado, generalmente movida por un ventilador

En la mayoría de los condensadores enfriados por agua el refrigerante condensa entre el exterior de los tubos y la carcasa pasando por el interior de los tubos el agua. Esta construcción permite la limpieza de los tubos solamente desarmando las tapas laterales del condensador. El agua circula por medio de una bomba hacia la torre de enfriamiento.

Los condensadores evaporativos mezclan la condensación del refrigerante y el enfriamiento del agua en la torre de enfriamiento. Este consiste en un serpentín por donde pasa el refrigerante y exteriormente existe un flujo de agua que se evapora en una corriente de aire.

El proceso de condensación.

La siguiente tabla muestra los coeficientes de condensación exterior h_c a una temperatura de condensación de 30 °C y tubos de 25mm en una columna vertical.

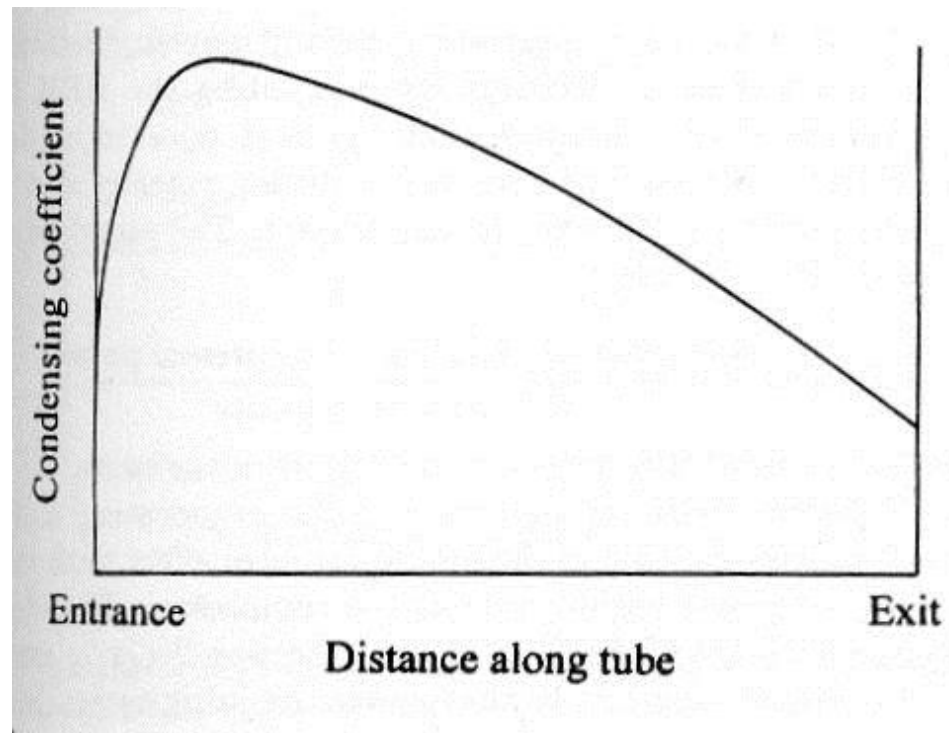
	Coefficiente de condensación	
Refrigerante	W/m² °C	Btu/hr ft² °F
R22	1142	201
R134-a	1046	184
R717	5096	897

Condensación dentro de tubos

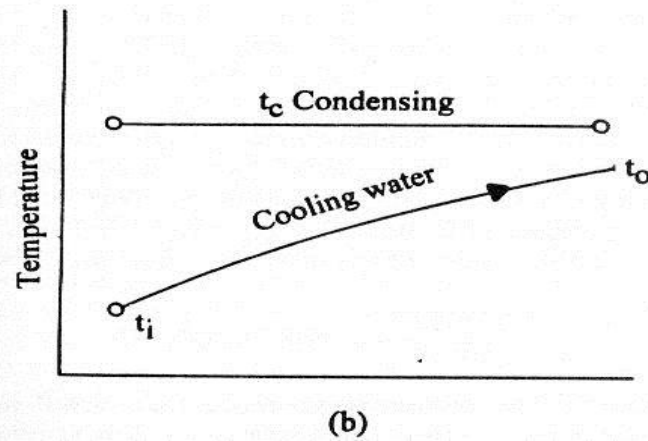
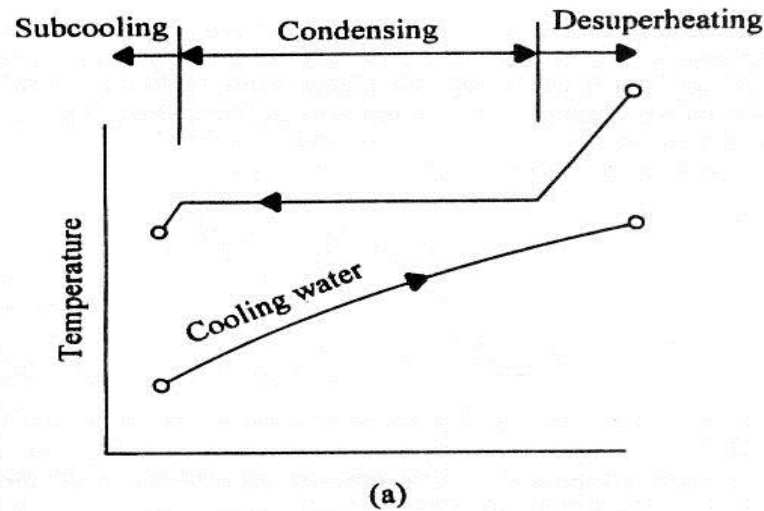
En condensadores a aire y condensadores evaporativos el refrigerante condensa dentro de tubos, esto es un mecanismo complejo y el régimen del flujo cambia constantemente cuando el refrigerante pasa por dentro del tubo.

El estado del refrigerante a la entrada del tubo es vapor sobrecalentado. LA condensación empieza inmediatamente y se desarrolla en un régimen spray. Después el flujo se convierte en capas anulares y se desliza a lo largo del fondo del tubo.

Cerca del final del condensador el régimen del flujo tipo tapón o escurrimiento.



El coeficiente a la entrada es chico porque es una típica transferencia de calor por convección de calor a un gas. El coeficiente se incrementa durante el comienzo de la condensación y usualmente el vapor mas alto se da en flujo anular. Cuando se condensa mas liquido la superficie disponible para la condensación disminuye porque el proceso se aproxima a una transferencia de calor por convección en un liquido.



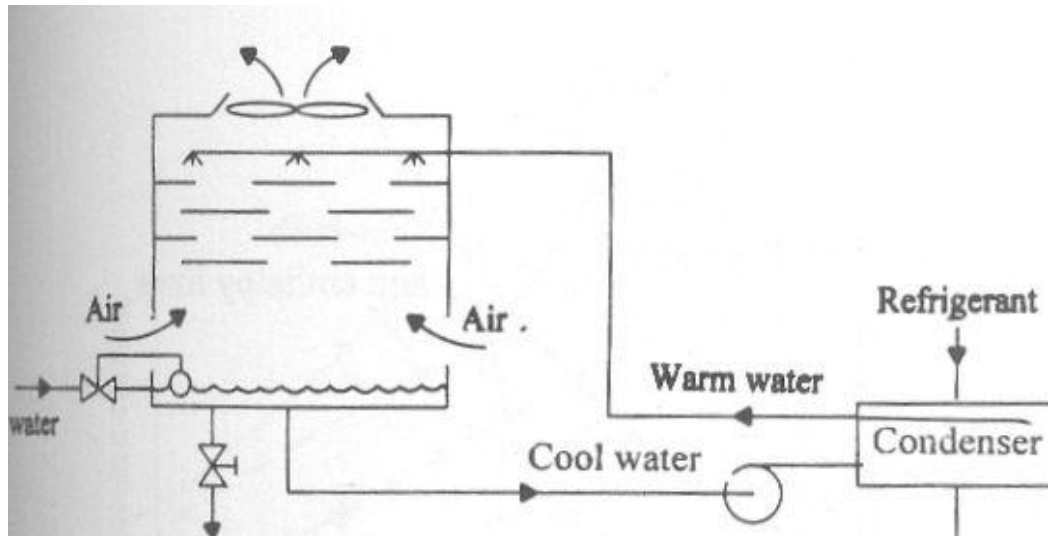
Los tubos de agua están sujetos a suciedades causadas por impurezas del agua. Este valor suele ser del orden de $0.00004 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$.

La suciedad puede llegar a disminuir la capacidad de transferencia de calor en el condensador en un 25% en comparación con la capacidad del condensador cuando sale de fábrica.

El agua de las torres de enfriamiento y condensadores evaporativos se debe tratar y purgar diariamente sus sólidos disueltos. Anualmente se debería limpiar los condensadores mecánica y químicamente.

Torres de enfriamiento.

Una torre de enfriamiento consiste en la atomización del agua en una corriente de aire ambiental

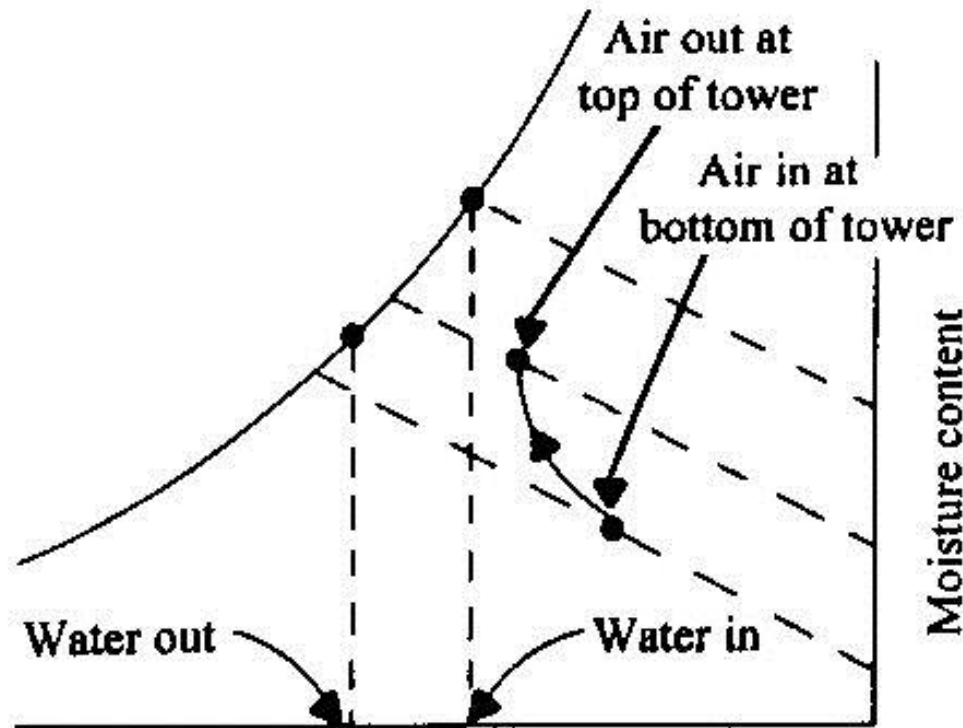


El aire y el flujo de agua van en contracorriente y en contacto directo pasando por de relleno que aumentan el área de contacto aumentando la eficiencia.

Como parte del agua se evapora en el aire se debe proveer un suplemento de agua.

Como esta tiene sales disueltas, la concentración de la misma aumenta dentro de la pileta de la torre las cuales deben ser purgadas periódicamente.

La energía del aire que pasa aumenta durante el proceso de intercambio y la del agua disminuye junto con su temperatura



PARTES CONSTITUTIVAS

Salida de aire caliente

Entrada de Agua Caliente



Superficie Separagotas

La superficie Separagotas, realizada en Polipropileno, adicionado con negro de humo y protector UV, inyectada no termoformada, con cinco deflecciones, de alta efectividad y muy baja pérdida de carga.



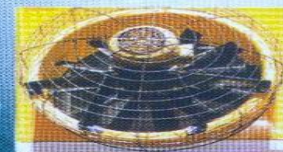
Toberas

Toberas autolimpiantes de dispersión casi perfectamente cuadrada, por su cuidadoso diseño, dándole alto rendimiento y baja pérdida de carga.

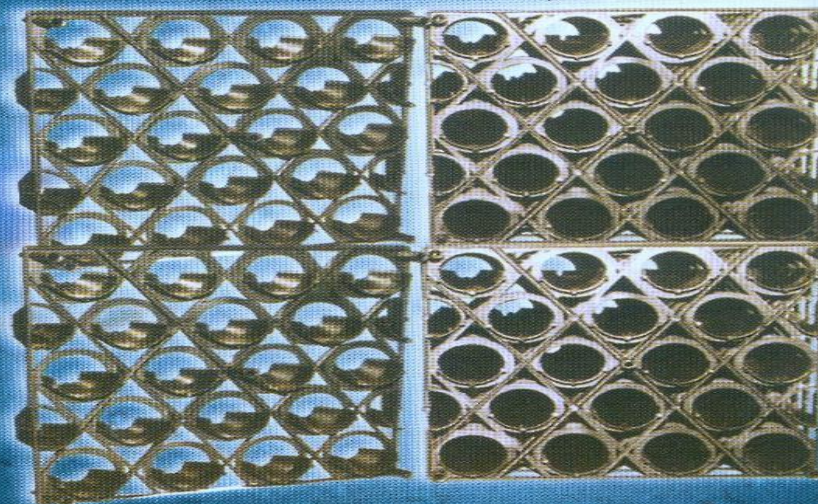


Ventilador

El ventilador no se encuentra en el flujo de aire vapor evitando así los problemas de deterioro prematuro.



Superficie Evaporativa (Relleno)



Razón Fundamental (ventajas)

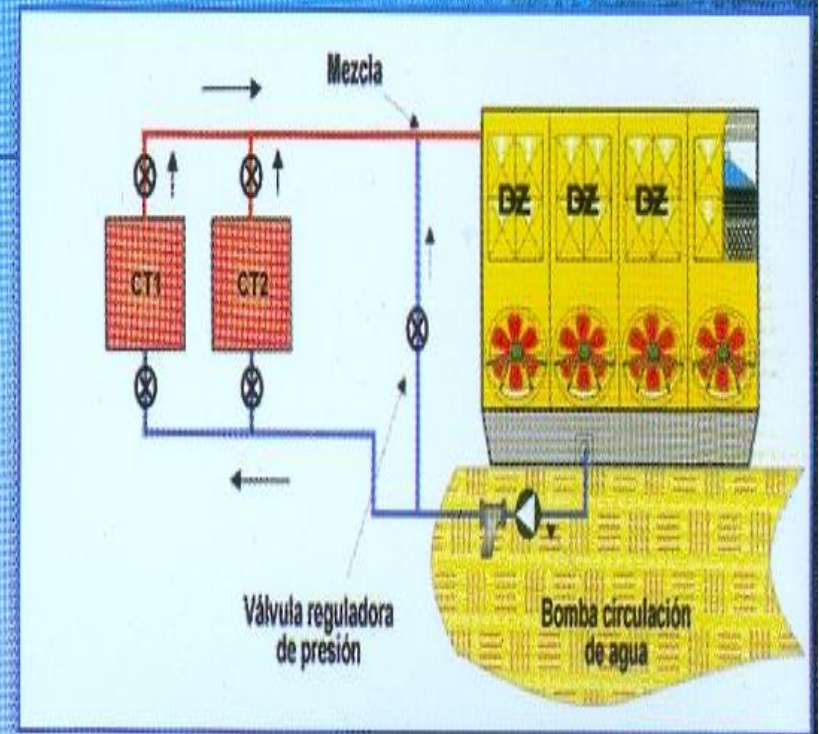
La superficie evaporativa, (patentada) inyectada en polipropileno adicionada con negro de humo y protector UV.

Características:

- **LARGA DURACIÓN:** Su durabilidad comprobada en instalaciones desde hace más de diez años de funcionamiento ininterrumpido sin mantenimiento y con excelentes performances.
- **RESISTENCIA A ALTAS TEMPERATURAS:** Permite trabajar con temperaturas de hasta 100°C. sin problemas.
- **DISEÑO:** Tipo splash (inobturable) no modifica su transferencia de calor aún ensuciándose.
- **ALTO RENDIMIENTO:** Posee mayor superficie equivalente de intercambio que sus similares del tipo laminar.

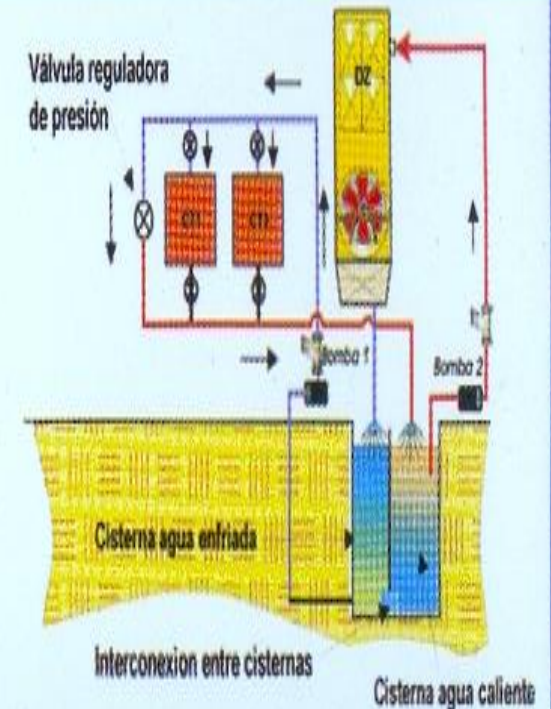
Torre Húmeda

Este modo de instalación es tal vez el más simple y directo. Pueden existir una o más cargas térmicas con requerimiento de enfriamiento constante en los cuales la bomba toma el agua enfriada y la impulsa hacia la carga térmica, saliendo caliente hacia la torre, que la enfría y se reinicia el ciclo. Se recomienda la instalación de una válvula reguladora para mantener un caudal de agua constante en la torre en caso de disminuir éste en las cargas térmicas. La pileta colectora de la torre sirve de reservorio de agua.



Torre Seca

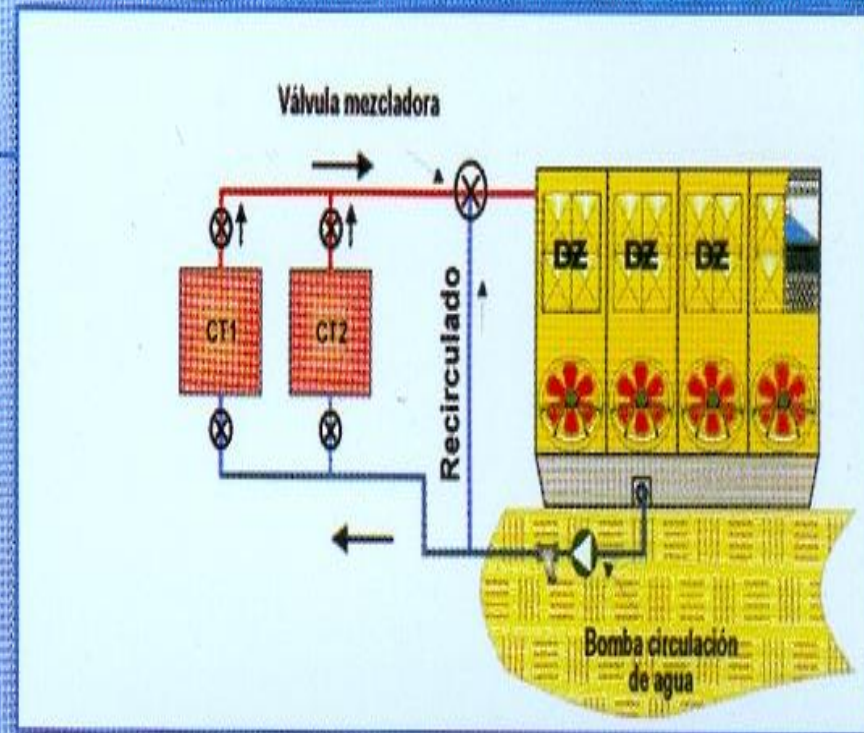
Esta instalación se utiliza cuando los requerimientos de las cargas térmicas son variables, en tanto que el flujo de agua a la torre es constante, y su funcionamiento es controlado por un termostato que conecta o desconecta ventiladores en función de las condiciones climáticas, por ello la cisterna está dividida en dos. No obstante la totalidad del enfriamiento de agua se produce en la torre. El agua enfriada en la torre llega al reservorio de agua fría, de allí es tomada por una bomba que la envía a las cargas térmicas, luego al tanque de agua caliente, de éste con otra bomba es reenviada a la torre y de ésta a la cisterna de agua fría.



Torre con temperatura constante

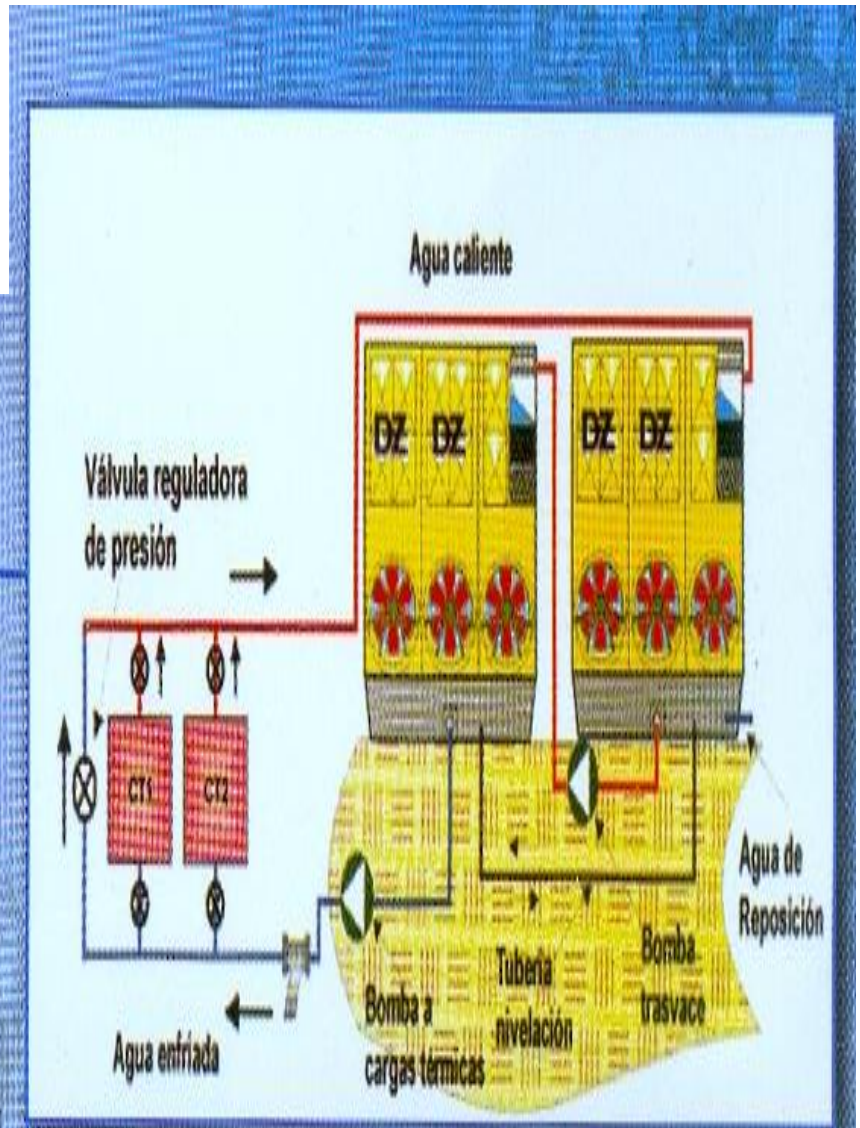
La temperatura de agua enfriada, esta relacionada con las condiciones climáticas y puede ocurrir en algún momento que esté por debajo de lo permitido para la carga térmica, esto puede controlarse por medio de un PLC que controla el funcionamiento de los ventiladores, o bien por medio de una válvula termostática que mezcla parte del agua caliente de retorno con la enfriada para lograr la temperatura deseada.

Otra aplicación es cuando la temperatura del agua caliente de retorno es muy elevada y de poco caudal, entonces conviene mezclarla con parte del agua enfriada, bajando de ésta forma la temperatura de ingreso, la torre trabaja con un caudal de agua igual a la suma del que viene de las cargas térmicas, mas el agua enfriada que hemos derivado.



Torre Cascada

Este tipo de instalación se utiliza cuando el salto térmico es muy grande y la aproximación a la temperatura del bulbo húmedo es pequeña, de 2 a 3° C, en el primer salto se trata de eliminar la mayor parte del calor, y en el segundo se trata de buscar la mejor aproximación a la temperatura de bulbo húmedo.

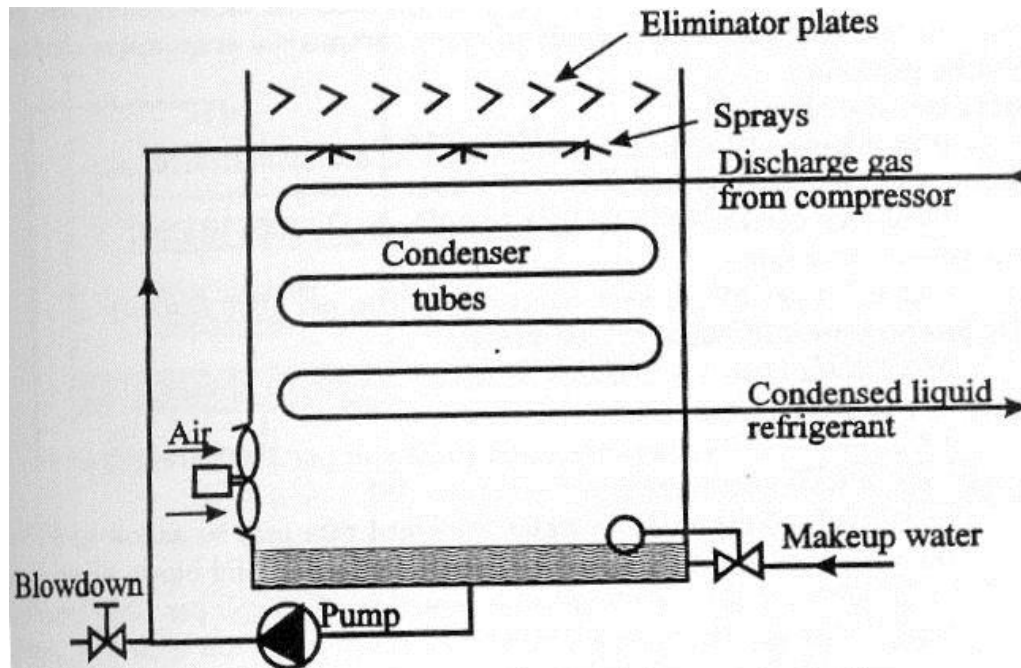


La figura anterior muestra el proceso de enfriamiento del agua y el aumento de la temperatura del aire y de su condición de humedad . El concepto implica que el agua que deja la torre se aproxima a la temperatura de bulbo húmedo del aire que entra. Por estas razones los catálogos de los fabricantes nos muestran las condiciones atmosféricas que afectan los rendimientos de las torres. La diferencia entre la temperatura de bulbo húmedo del aire y la del agua suele ser entre 5 y 8 °C

Condensadores Evaporativos

La figura siguiente nos muestra la construcción esquemática de un condensador evaporativo

Este combina las funciones de un enfriador a aire mas una torre de enfriamiento



El refrigerante condensa dentro de los tubos y esos tubos están dentro de una lluvia de agua donde pasa una corriente de aire. La evaporación de parte del agua en el aire es el proceso dominante de transferencia de calor a la atmósfera.

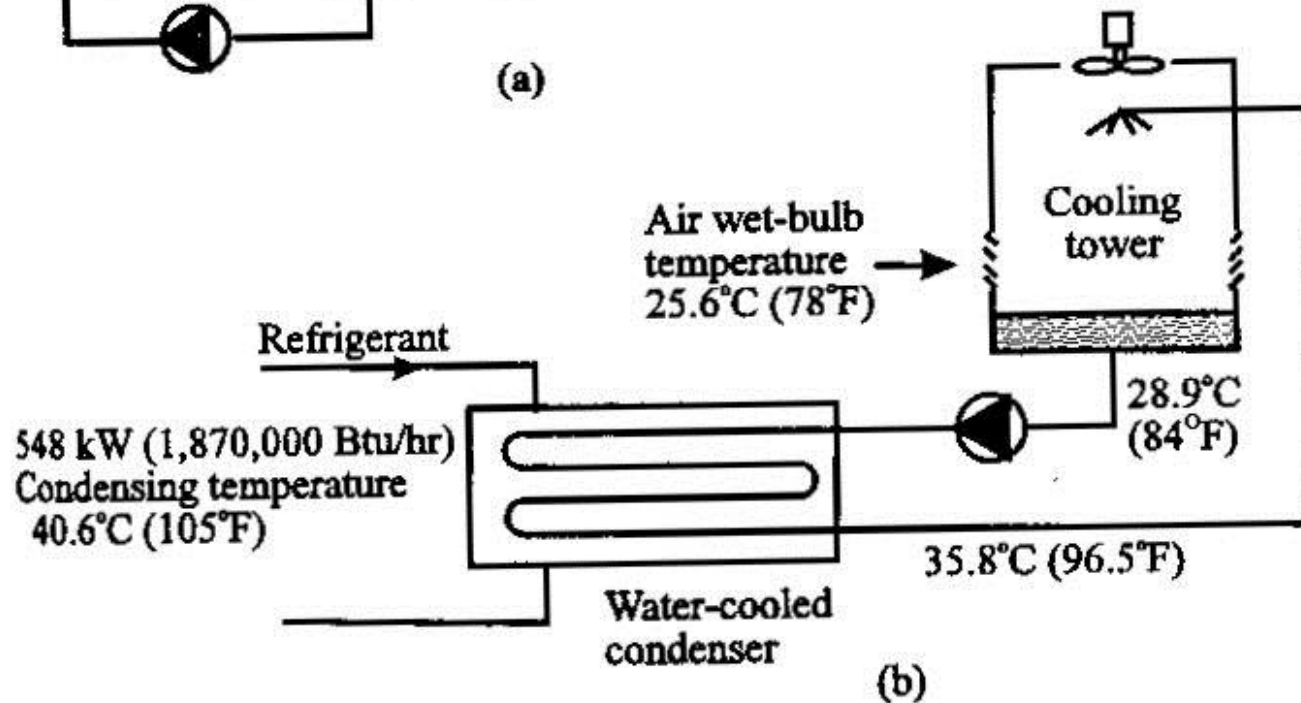
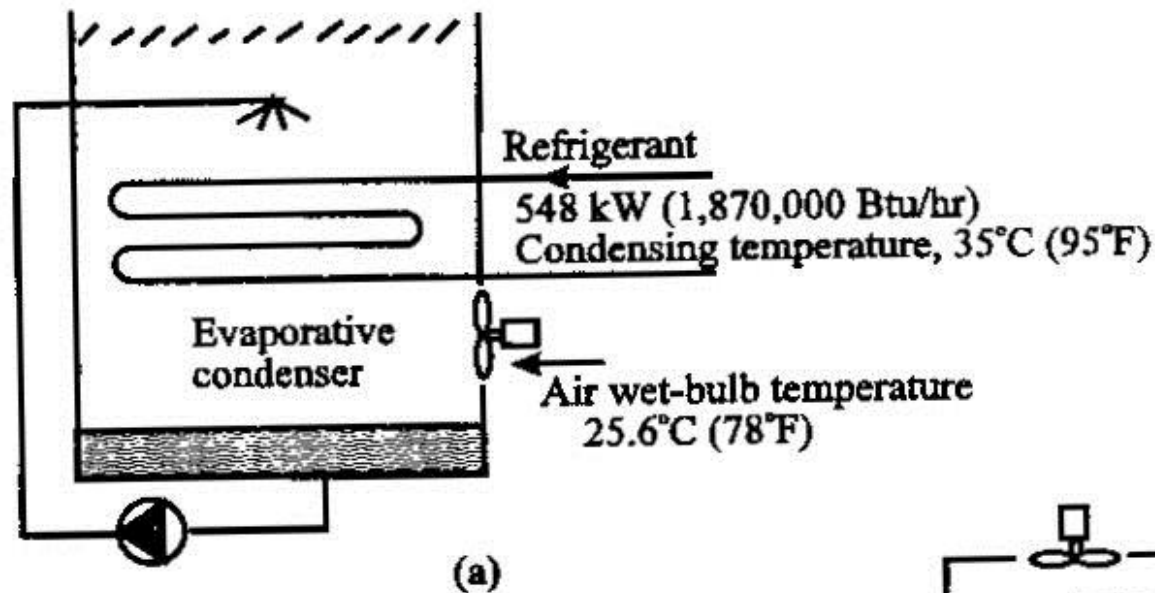
Los condensadores evaporativos son compactos y son usados en forma abundante en la refrigeración industrial y grandes equipos de aire acondicionado.

A causa de que provee bajas temperaturas de condensación la potencia de los compresores también disminuye comparativamente con los otros condensadores, obteniéndose menores temperaturas de descarga especialmente importante en los compresores de amoníaco

La mayoría de los condensadores evaporativos soplan el aire y están provistos de eliminadores de gotas en la parte superior. También están provistos de una purga de fondo en la pileta de agua para eliminar los sólidos y las sales que se concentran por la evaporación de agua.

Comparación de los condensadores evaporativos y las torres de enfriamiento.

Una de las razones del uso generalizado de los condensadores evaporativos en la industria es la menor temperatura de condensación que se logra con respecto a las torres de enfriamiento y condensación por casco y tubo



La figura muestra un condensador evaporativo de 548 KW de capacidad que es la misma que hay en el casco y tubo de la torre de enfriamiento. La capacidad de la torre y el condensador evaporativo esta controlada por la temperatura de bulbo húmedo que es de 25.6°C . La capacidad del condensador evaporativo de condensar a 35°C contra los 40.6°C de la condensación en torre mas el enfriador a agua es lo que provoca la diferencia ($5,6^{\circ}\text{C}$). Esta diferencia esta explicada por el uso de un fluido intermedio (Agua) que sale de la torre a 28.9°C que se aproxima a la temperatura de bulbo húmedo de 25.6°C , y la temperatura de condensación 40.6°C que se aproxima a la temperatura del agua de retorno (35.8°C) Otra ventaja es el menor costo de bombeo. El flujo de agua es $1/3$ del que se usa en los enfriadores a agua, incluyendo la longitud de las líneas que es menor en el condensador evaporativo lo que reduce las perdidas de carga.

Algunos datos de valores típicos de condensadores evaporativos son los siguientes:

Tasa de transferencia

0.25 m² por KW de calor intercambiado

Agua de circulación

0.018 L/s por KW de calor intercambiado

Volumen de aire

0.03 m³/s por KW de calor intercambiado

Perdida de presión de aire al pasar por el condensador evaporativo

250-375 Pa (1-1.5 in de agua)

Tasa de evaporación.

1.5 l/h por KW de calor intercambiado

Tasa total de consumo de agua

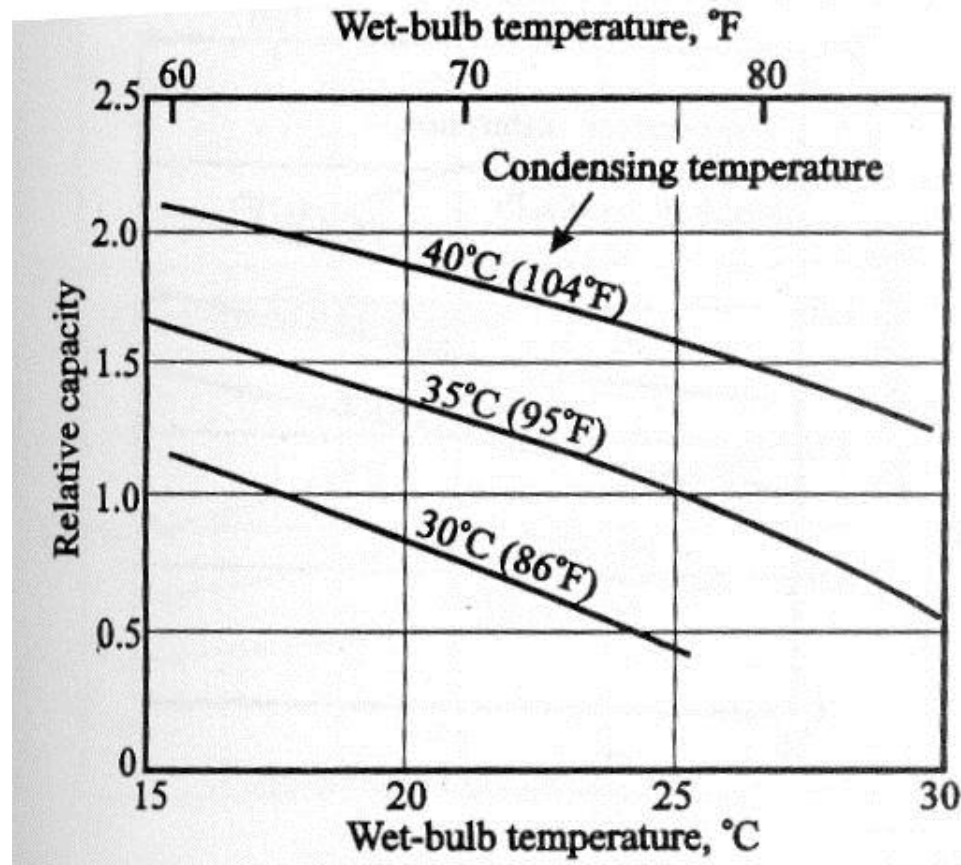
2.2 l/h por KW de calor intercambiado

Incluye purgas hasta un máximo de 4.1 l/h depende de la calidad del agua.

Influencia de la temperatura de bulbo húmedo en la capacidad del condensador evaporativo.

La conclusión es que el agua que deja la torre de enfriamiento esta dada por la temperatura de bulbo húmedo del aire ambiental

La figura siguiente muestra la influencia de la temperatura de bulbo húmedo en la capacidad relativa de un condensador evaporativo



La figura nos muestra que el calor rechazado aumenta cuando disminuye la temperatura de bulbo húmedo y aumenta la temperatura de condensación

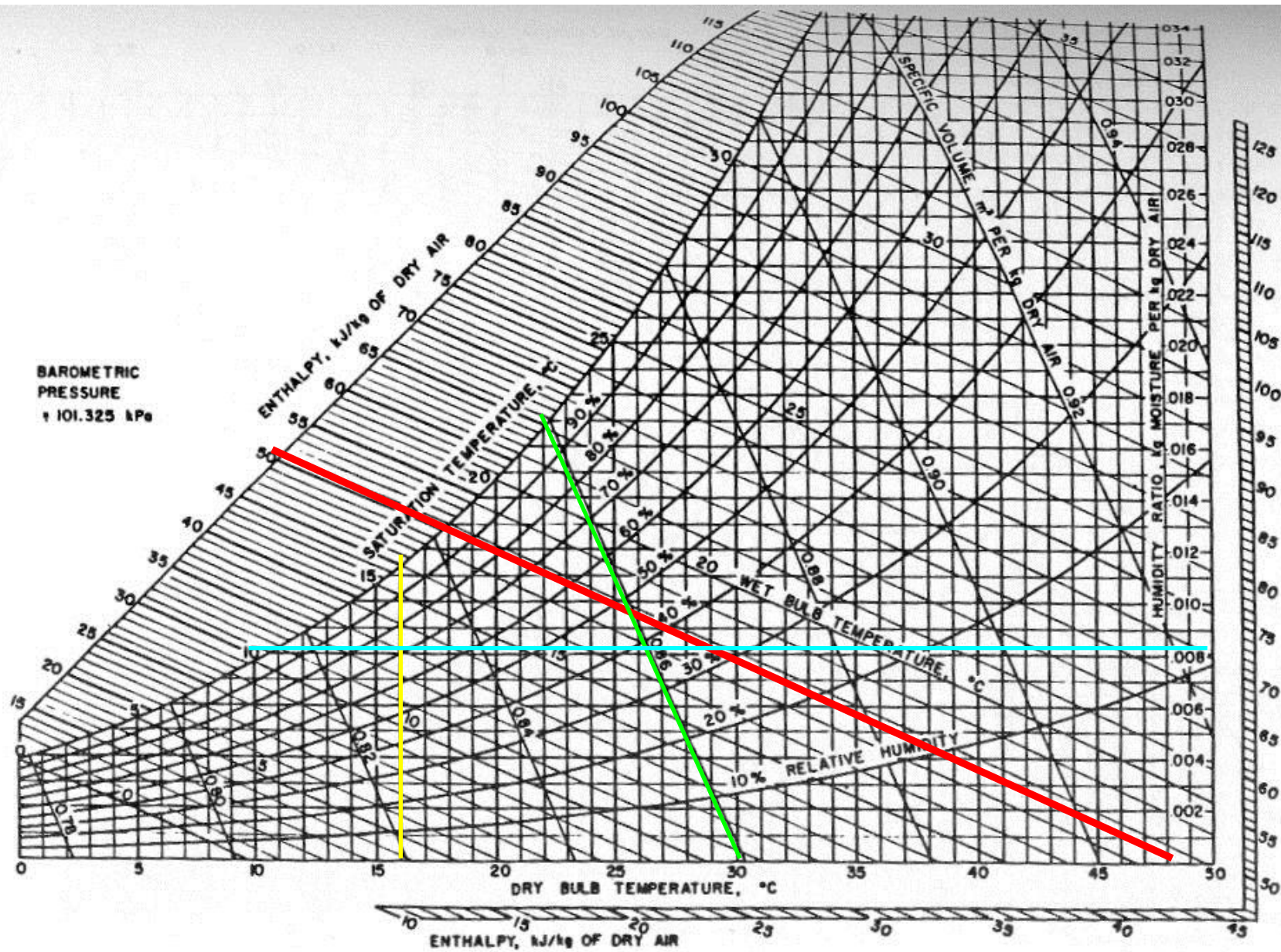
Lo que no se puede asumir es que la cantidad de calor es proporcional a la diferencia de temperaturas como en los enfriadores a aire o a agua.

Para los condensadores evaporativos cierta parte del calor rechazado es producto de la diferencia de temperatura entre la superficie de condensación y de la temperatura de bulbo húmedo. No es lo mismo el calor de rechazo con 40°C de temperatura de condensación y 25°C de temperatura de bulbo húmedo que con 30°C de temperatura de condensación y 15°C de temperatura de bulbo húmedo.

Esto se debe al mecanismo de transferencia de calor que se da principalmente por evaporación del agua en los tubos de condensación y la tasa de vaporización es proporcional a la diferencia de la presión del vapor del agua líquida sobre los tubos y la del vapor de agua del aire saturado en los alrededores del tubo.

Examinando la carta psicrométrica nos muestra que a cuando los niveles de temperatura son menores las curvas de saturación se juntan y las mismas diferencias de temperaturas se reflejan en una menor diferencia en la presión de vapor del agua

BAROMETRIC
PRESSURE
101.325 kPa



Control de capacidad

El control de capacidad de un condensador se hace reduciendo la cantidad de calor rechazado.

Siempre que el sistema lo permita se debe trabajar con el máximo de calor rechazado para obtener una menor potencia consumida en el compresor lo que se traduce en un menor costo de energía eléctrica.

Siempre que el sistema lo permita se debe trabajar con el máximo de calor rechazado para obtener una menor potencia consumida en el compresor lo que se traduce en un menor costo de energía eléctrica.

La estrategia es mantener operando al condensador evaporativo con la capacidad máxima estando limitado esto por una o varias de las siguientes condiciones.

- La presión de condensación es tan baja que los dispositivos de control de flujo o las válvulas de expansión no trabajan en forma adecuada.
- La presión del gas caliente es tan baja que el descongelado no se realiza satisfactoriamente. Para el amoniaco si la temperatura de condensación es de 15°C dentro del evaporador la presión de saturación seria de 10°C . Cuando se realiza el descongelado por gas caliente la temperatura de saturación debe ser mayor que 0°C .
- La planta usa compresores a tornillo el cual enfría el aceite por una inyección de liquido refrigerante, teniendo que ser la misma lo suficientemente alta para mantener un flujo de refrigerante adecuado para el enfriamiento del aceite. Algunos fabricantes recomiendan para compresores con enfriamiento por inyección de liquido una temperatura de condensación mayor a 21°C para mantener un correcto caudal de líquido
- La potencia que ahorro en el compresor por trabajar con una presión de condensación mas baja es menor que la potencia que ahorro apagando las bombas y los ventiladores
- Algunos compresores a tornillo necesitan una presión diferencial (entre alta y baja) para operar sin bomba de aceite.

Para obtener una regulación de la capacidad del condensador se puede:

- Reducir el flujo de agua mediante una válvula modulante o un regulador de velocidad del motor de la bomba
- Reducir el flujo de aire.

Para el primer caso la capacidad se reduce en

$$\text{Cap condensador} = K * (Q_{\text{max}} - Q_{\text{nuevo}})^{0,22}$$

No es conveniente el corte del agua pues las sales que se depositan sobre los tubos producen incrustaciones u oxido sobre la superficie de los tubos.

La otra forma de controlar la capacidad es reduciendo el caudal de aire que pasa en contacto con el agua.

$$\text{Cap condensador} = K1 (\text{caudal de aire})^{0.48}$$

La forma de obtener un flujo de aire variable es la siguiente:

- Variadores de velocidad en el motor de del ventilador.
- Motores de varias velocidades
- Dos motores uno en cada punta del eje.
- Reguladores de caudal por estrangulación de la entrada de aire
- Prender o apagar ventiladores unitarios cuando se los tiene

Formas de purgar el aire del condensador.

El aire y otros gases no condensables entran al sistema por los sellos, tubos y válvulas. El aire también puede estar presente en el sistema por una evacuación imperfecta del sistema antes que se cargue con el refrigerante. El aire que entra al sistema en la parte de baja presión es bombeado hacia la parte de alta presión por el compresor y queda allí atrapado por el sello de líquido formado por el receptor.

La forma de verificar la presencia de no condensables en el condensador es la presencia de una presión de condensación elevada.

Si la presión de condensación es mayor que la presión de saturación correspondiente a la temperatura de equilibrio el mismo debe ser purgado.

Para esto debo apagar el compresor dejando el condensador evaporativo funcionando al máximo durante un tiempo prudencial $\frac{1}{2}$ hora o más hasta que la temperatura del agua sea la de bulbo húmedo. Si la presión del refrigerante medida corresponde a la presión de saturación para la temperatura de bulbo húmedo el condensador no tiene incondensables. Si la presión es mayor tiene presencia de incondensables y debe ser purgado.

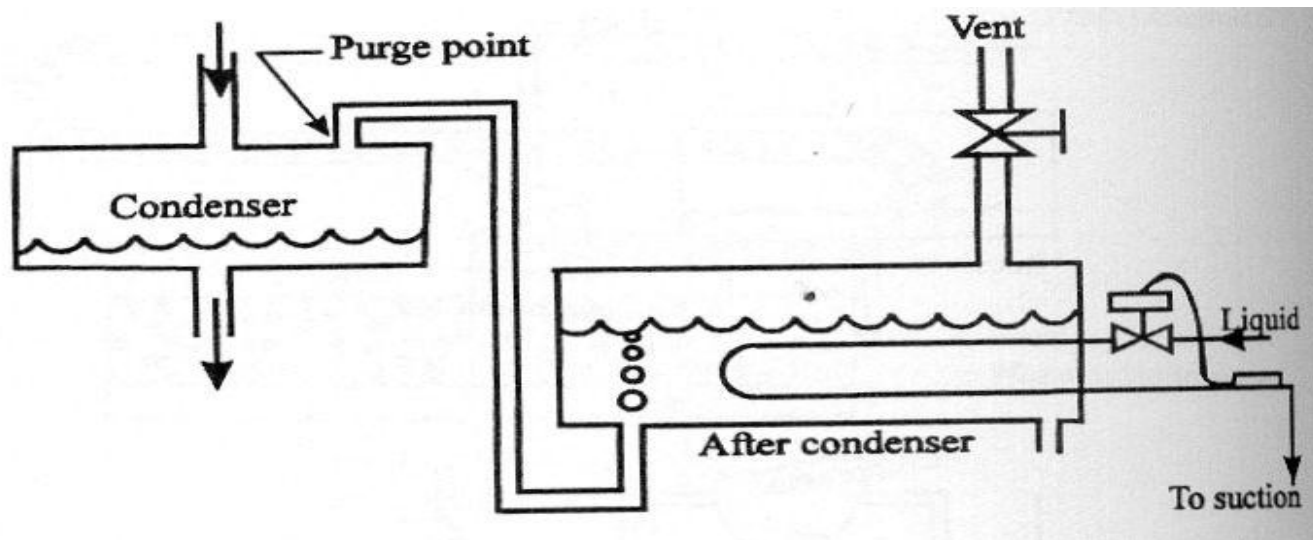
Los tres métodos de purga son los siguientes:

Venteo directo del refrigerante

Capturar la mezcla, condensar el refrigerante y ventear la mezcla que es rica en incondensables.

Condensar el refrigerante usando un pequeño evaporador venteando la mezcla vapor-refrigerante

La figura siguiente muestra en forma esquemática una instalación de purga de incondensables.



Tratamiento de agua en condensadores evaporativos.

El Proceso de transferencia de calor en condensadores evaporativos produce evaporación de agua, y como en ella se encuentran disueltas sales minerales, estas sales aumentan su concentración. Para mantener esta concentración en niveles aceptables es necesario purgar el agua del deposito de la torre.

La purga de agua debe ser por lo menos igual a la tasa de evaporación.

También las superficies de los caños que están en contacto con el agua sufren procesos de ensuciamiento, incrustación y corrosión.

Las incrustaciones es el deposito de una capa dura de sales minerales en particular carbonato de calcio (CaCO_3). Una capa de 0.8mm de espesor reduce la capacidad hasta un 30%. Generalmente concentraciones de 170 ppm de (CaCO_3) es satisfactoria pero lo recomendable es de 30 ppm.

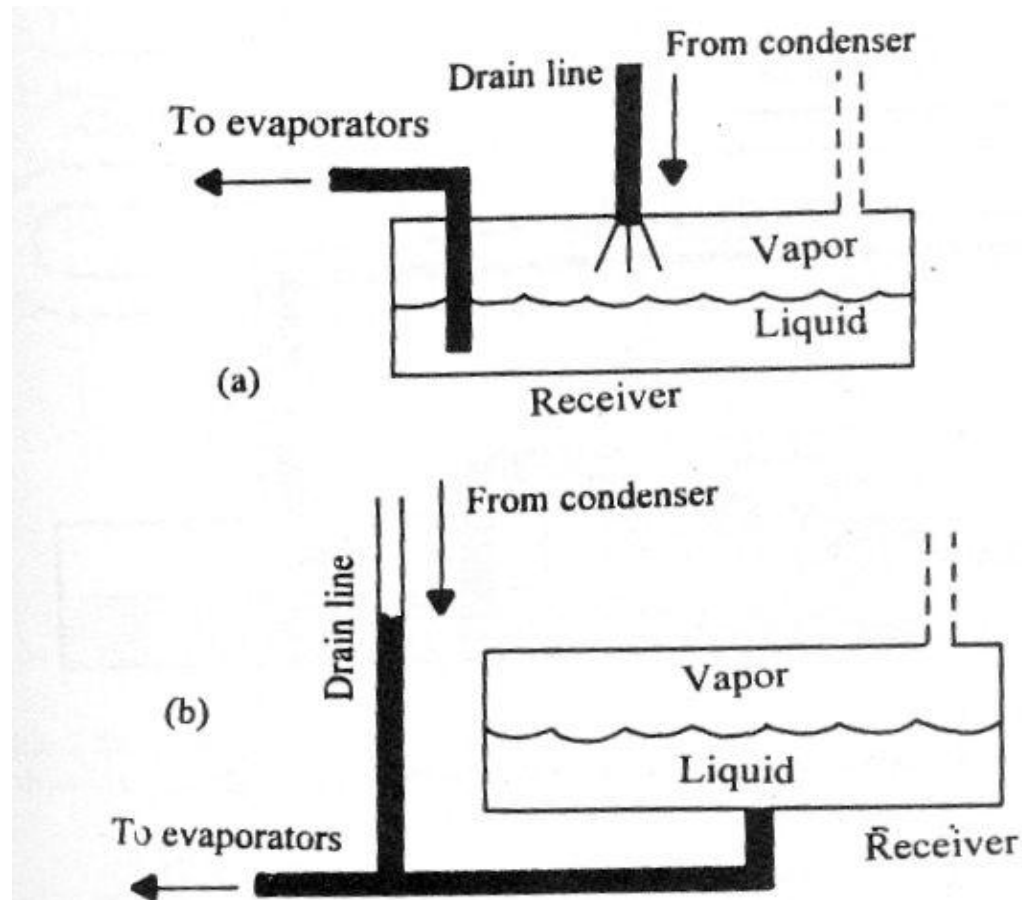
El ensuciamiento es producido por la acumulación de polvo, arena, algas, hongos y bacterias sobre los tubos.

La corrosión es el ataque químico del galvanizado de los tubos deteriorando la protección superficial de zinc que expone a la oxidación del acero. Controlando el PH se puede alargar la vida de protección del Zinc. Manteniendo el Ph controlado y utilizando inhibidores se logra esto.

Cañerías recibidores de liquido condensado.

El condensador normalmente drena el liquido condensador hacia un recibidor de alta presión que provee el lugar necesario para almacenar el condensado.

Las figuras siguientes muestran los arreglos en las cañerías del recibidor



El condensador como parte del sistema.

El condensador opera con sus propias reglas, pero es parte del sistema de refrigeración y por lo tanto interactúa con los otros componentes. La regla básica es que al incrementarse la carga de refrigeración incrementa la temperatura de condensación para poder transferir un mayor flujo de calor.

Desafortunadamente al incrementar la temperatura de condensación se aumenta la presión de condensación por lo que trae implícito un aumento de potencia del compresor y una disminución del efecto de refrigeración dando como resultado performances de compresor menores.

Si compramos un condensador sobredimensionado se tendrá inicialmente costos mayores y a veces costos de energía en ventilación.

Pero a lo largo de su vida útil la potencia consumida por el motor eléctrico del compresor disminuye lo que puede dar un ahorro considerable de energía pagando la inversión inicial.

Otra ventaja de un condensador sobredimensionado es de bajas temperaturas de condensación en los picos de demanda lo que hace que el compresor incremente su potencia levemente.