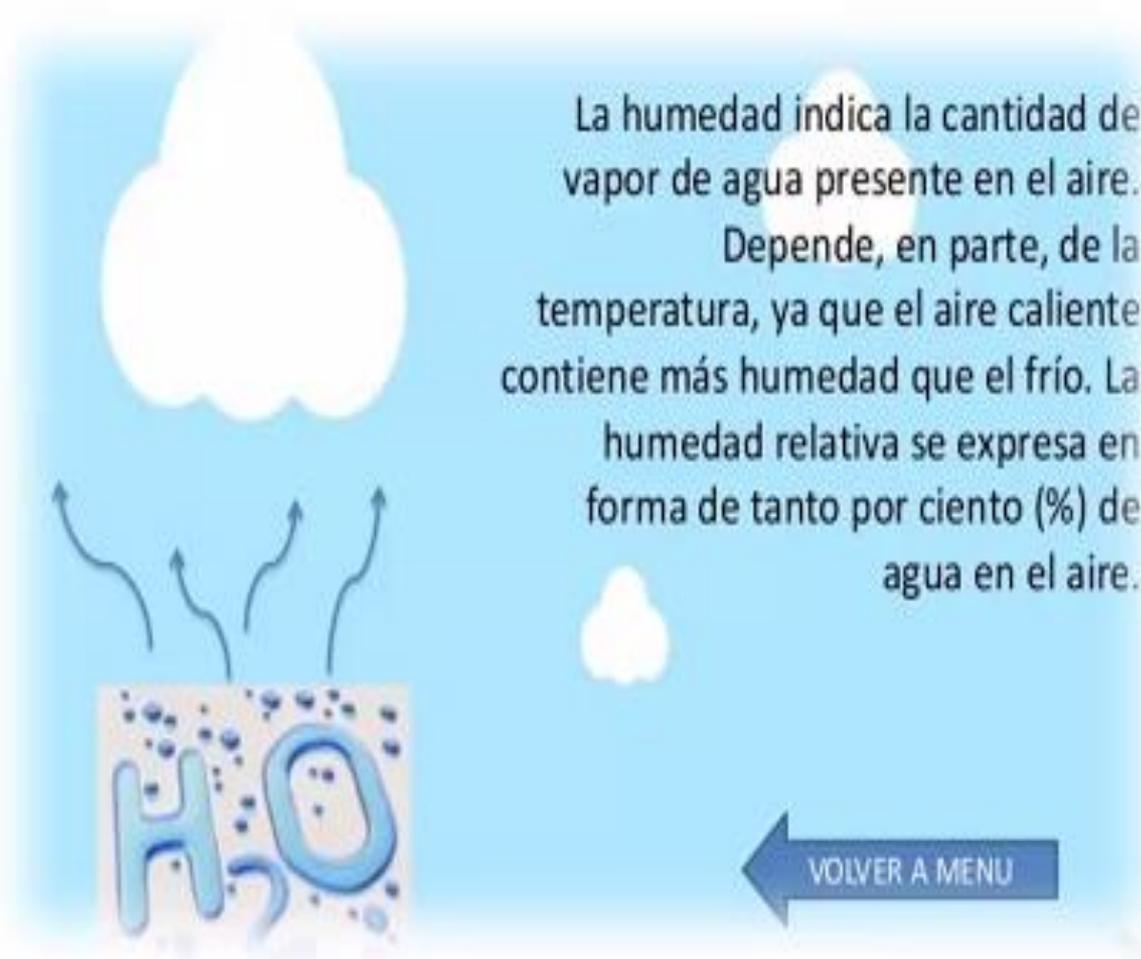


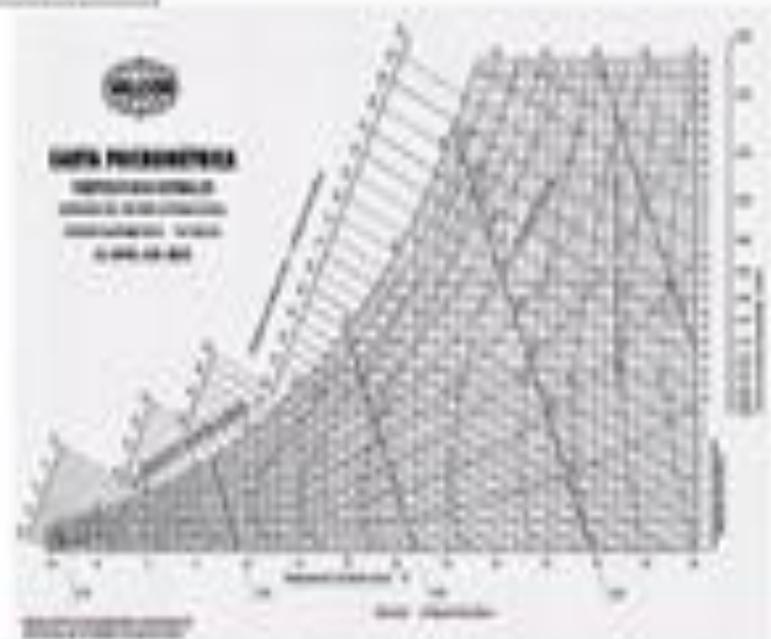
Humedad



Componentes del Aire.



COMPOSICION DEL AIRE		
COMPONENTE	PORCENTAJE DE VOLUMEN	PSO MOLECULAR
Nitrogeno - N ₂	78.084	28.0134
oxigeno - O ₂	20.948	31.9988
Argon - A	0.934	39.948
Dióxido de carbono - CO ₂	0.034	44.0095



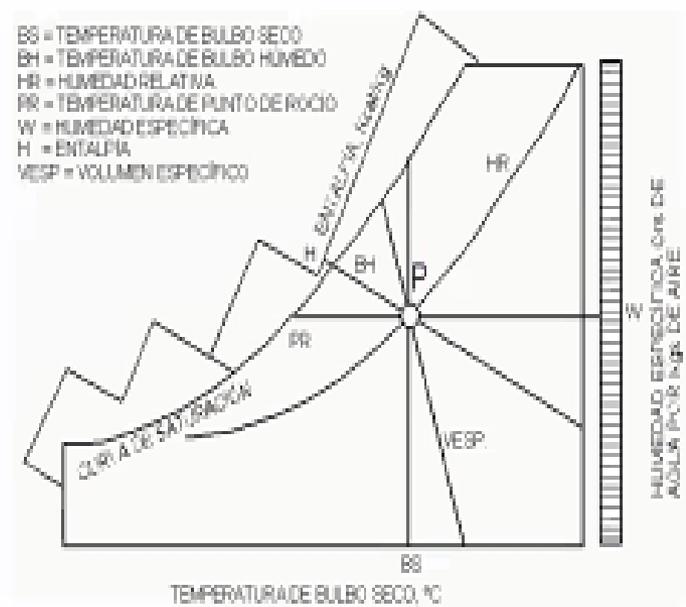
Definición de la Carta Psicrométrica

- Una carta psicrométrica, es una gráfica de las propiedades del aire, tales como temperatura, humedad relativa, volumen, presión, etc. Las cartas psicrométricas se utilizan para determinar, cómo varían estas propiedades al cambiar la humedad en el aire.
- Aunque las tablas psicrométricas son más precisas, el uso de la carta psicrométrica puede ahorrarnos mucho tiempo y cálculos, en la mayoría de los casos donde no se requiere una extremada precisión.
- Como se mencionó al inicio de este párrafo, la carta psicrométrica es una gráfica que es trazada con los valores de las tablas psicrométricas; por lo tanto, la carta psicrométrica puede basarse en datos obtenidos a la presión atmosférica normal al nivel del mar, o puede estar basada en presiones menores que la atmosférica, o sea, para sitios a mayores alturas sobre el nivel del mar.
- Existen muchos tipos de cartas psicrométricas, cada una con sus propias ventajas. Algunas se hacen para el rango de bajas temperaturas, algunas para el rango de media temperatura y otras para el rango de alta temperatura. A algunas de las cartas psicrométricas se les amplía su longitud y se recorta su altura; mientras que otras son más altas que anchas y otras tienen forma de triángulo. Todas tienen básicamente la misma función; y la carta a usar, deberá seleccionarse para el rango de temperaturas y el tipo de aplicación.

Características de la Carta Psicrométrica

- En una carta psicrométrica se encuentran todas las propiedades del aire, de las cuales las de mayor importancia son las siguientes:

1. Temperatura de bulbo seco (bs).
2. Temperatura de bulbo húmedo (bh).
3. Temperatura de punto de rocío (pr)
4. Humedad relativa (hr).
5. Humedad absoluta (ha).
6. Entalpía (h).
7. Volumen específico.



- Conociendo dos de cualquiera de estas propiedades del aire, las otras pueden determinarse a partir de la carta.

Temperatura de Bulbo Seco

Temperatura de Bulbo Seco.- En primer término, tenemos la temperatura de bulbo seco. Como ya sabemos, es la temperatura medida con un termómetro ordinario. Esta escala es la horizontal (abcisa), en la parte baja de la carta, según se muestra en la figura 13.12. Las líneas que se extienden verticalmente, desde la parte baja hasta la parte alta de la carta, se llaman líneas de temperatura de bulbo seco constantes, o simplemente «líneas de bulbo seco». Son constantes porque cualquier punto a lo largo de una de estas líneas, corresponde a la misma temperatura de bulbo seco indicada en la escala de la parte baja. Por ejemplo, en la línea de 40 o C, cualquier punto a lo largo de la misma, corresponde a la temperatura de bulbo seco de 40 o C.

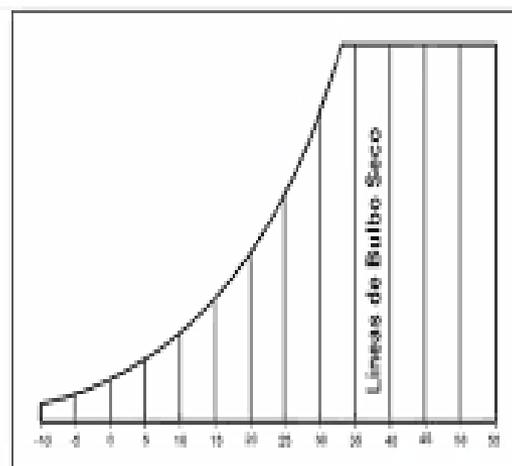


Figura 13.12 - Líneas de temperatura de bulbo seco °C.

Temperatura de Bulbo Húmedo

Temperatura de Bulbo Húmedo.- Es la segunda propiedad del aire de nuestra carta psicrométrica. Corresponde a la temperatura medida con un termómetro de bulbo húmedo. Como ya se explicó en la sección anterior, es la temperatura que resulta cuando se evapora el agua de la mecha, que cubre el bulbo de un termómetro ordinario.

La escala de temperaturas de bulbo húmedo, es la que se encuentra del lado superior izquierdo, en la parte curva de la carta psicrométrica, como se muestra en la figura 13.13. Las líneas de temperatura de bulbo húmedo constantes o líneas de bulbo húmedo, corren diagonalmente de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, en un ángulo de aproximadamente 30° de la horizontal. También se les dice constantes, porque todos los puntos a lo largo de una de estas líneas, están a la misma temperatura de bulbo húmedo.

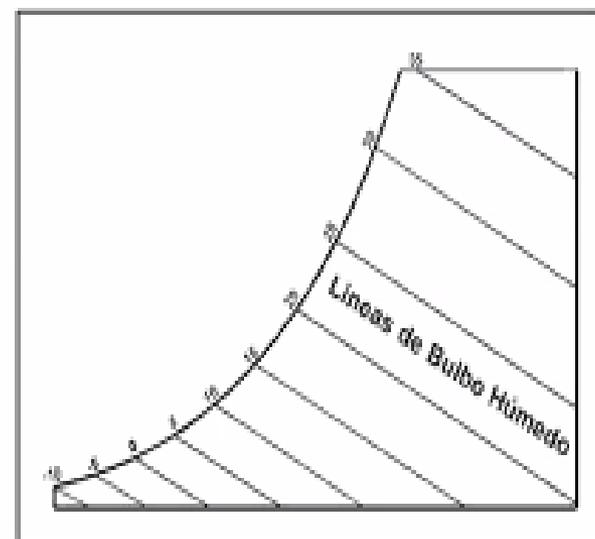


Figura 13.13 - Líneas de temperatura de bulbo húmedo °C.

Temperatura de Punto de Rocío.

- **Temperatura de Punto de Rocío.**- Es otra propiedad de aire incluida en una carta psicrométrica. Esta es la temperatura a la cual se condensará la humedad sobre una superficie. La escala para las temperaturas de punto de rocío es idéntica que la escala para las temperaturas de bulbo húmedo; es decir, es la misma escala para ambas propiedades. Sin embargo, las líneas de la temperatura de punto de rocío, corren horizontalmente de izquierda a derecha.
- Cualquier punto sobre una línea de punto de rocío constante, corresponde a la temperatura de punto de rocío sobre la escala, en la línea curva de la carta.

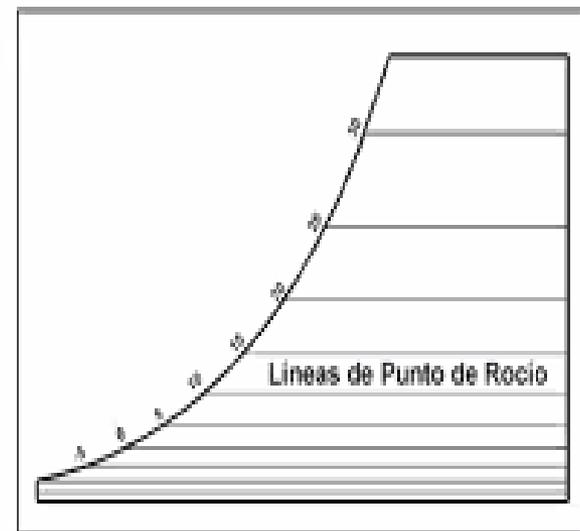


Figura 13.14 - Líneas de temperatura de punto de rocío °C.

Humedad Relativa

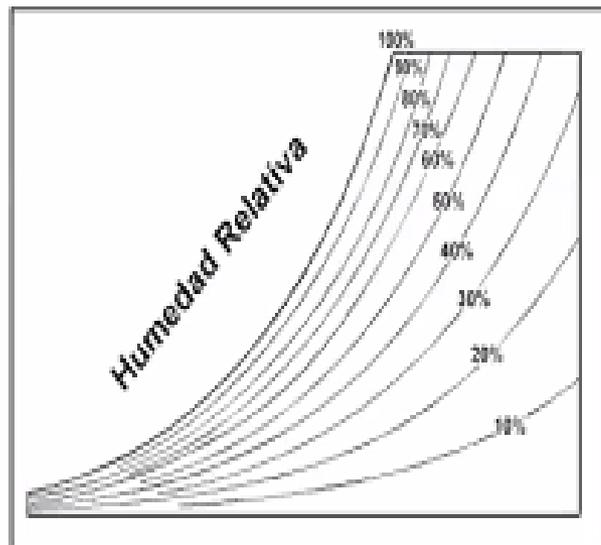


Figura 13.15 - Líneas de humedad relativa %.

- **Humedad Relativa.**- En una carta psicrométrica completa, las líneas de humedad relativa constante, son las líneas curvas que se extienden hacia arriba y hacia la derecha. Se expresan siempre en por ciento, y este valor se indica sobre cada línea.
- Como ya hicimos notar previamente, la temperatura de bulbo húmedo y la temperatura de punto de rocío, comparten la misma escala en la línea curva a la izquierda de la carta. Puesto que la única condición donde la temperatura de bulbo húmedo y el punto de rocío, son la misma, es en condiciones de saturación; esta línea curva exterior, representa una condición de saturación o del 100% de humedad relativa. Por lo tanto, la línea de 100% de hr, es la misma que la escala de temperaturas de bulbo húmedo y de punto de rocío.
- Las líneas de hr constante, disminuyen en valor al alejarse de la línea de saturación hacia abajo y hacia la derecha, como se ilustra en la figura 13.15.

Humedad Absoluta.

La humedad absoluta, es el peso real de vapor de agua en el aire. También se le conoce como humedad específica. La escala de la humedad absoluta, es la escala vertical (ordenada) que se encuentra al lado derecho de la carta psicrométrica, como se indica en la figura 13.16.

Los valores de esta propiedad se expresan, como ya sabemos, en gramos de humedad por kilogramo de aire seco (g/kg), en el sistema internacional, y en granos por libra (gr/lb), en el sistema inglés.

Las líneas de humedad absoluta, corren horizontalmente de derecha a izquierda, y son paralelas a las líneas de punto de rocío y coinciden con éstas. Así pues, podemos ver que la cantidad de humedad en el aire, depende del punto de rocío del aire.

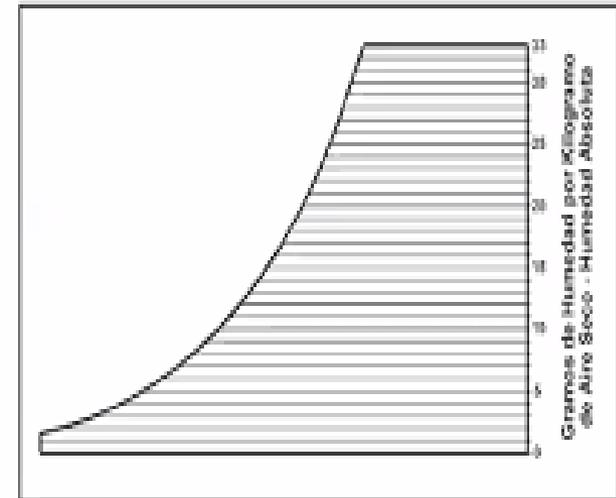


Figura 13.16 - Líneas de humedad absoluta en gramos/kg.

Entalpía.

Entalpía.- Las líneas de entalpía constantes en una carta psicrométrica, son las que se muestran en la figura 13.18. Debe notarse que estas líneas, son meramente extensiones de las líneas de bulbo húmedo; puesto que el calor total del aire, depende de la temperatura de bulbo húmedo. La escala del lado izquierdo lejana a la línea curva, da el calor total del aire en kJ/kg (kilojoules por kilogramo) de aire seco, en el sistema internacional o en btu/lb de aire seco, en el sistema inglés. Esta escala aumenta de -6 kJ/kg a la temperatura de -10 o C de bulbo húmedo, hasta aproximadamente 115 kJ/kg a 33 o C de bulbo húmedo.

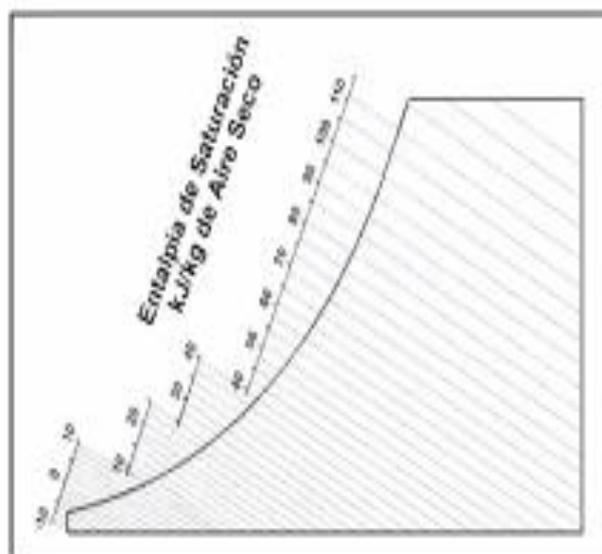


Figura 13.18 - Líneas de entalpía en kJ/kg de aire seco.

Volumen Especifico

Volumen Especifico.- En la figura 13.19, se muestran las líneas del volumen específico constante en una carta psicrométrica. Estas líneas están en un ángulo aproximado de 60° con la horizontal, y van aumentando de valor de izquierda a derecha. Por lo general, el espacio entre cada línea, representa un cambio de volumen específico de $0.05 \text{ m}^3/\text{kg}$. Cualquier punto que caiga entre dos de estas líneas, naturalmente debe ser un valor estimado. Si se desea saber la densidad del aire a cualquier condición, como ya sabemos, se debe dividir uno entre el volumen específico, puesto que la densidad es la inversa del volumen específico y viceversa. Debido a que la mayoría de los cálculos en trabajos de aire acondicionado, se basan en el peso del aire en lugar del volumen de aire, se recomienda el uso del volumen específico (m^3/kg de aire) en vez de la densidad (kg/m^3 de aire).

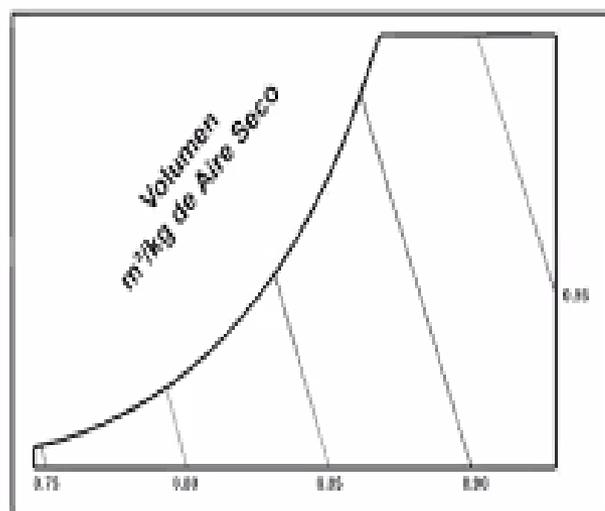


Figura 13.19 - Líneas de volumen específico en m^3/kg de aire seco.

Ahora, echemos un vistazo a la carta psicrométrica de la figura 13.11. Su constitución consiste de la sobreimposición de las siete propiedades descritas, ocupando la misma posición relativa sobre la carta.

En la descripción de cada una de las siete propiedades, se definió la línea constante como una línea que puede contener un número infinito de puntos, cada uno a la misma condición; esto es, si fuésemos a trazar una sola condición del aire, tal como la temperatura del bulbo seco sobre la carta psicrométrica, ésta podría caer en cualquier punto sobre la línea constante, correspondiente a esa temperatura de bulbo seco.

Procesos Psicrométricos.



• Calentamiento Sensible.

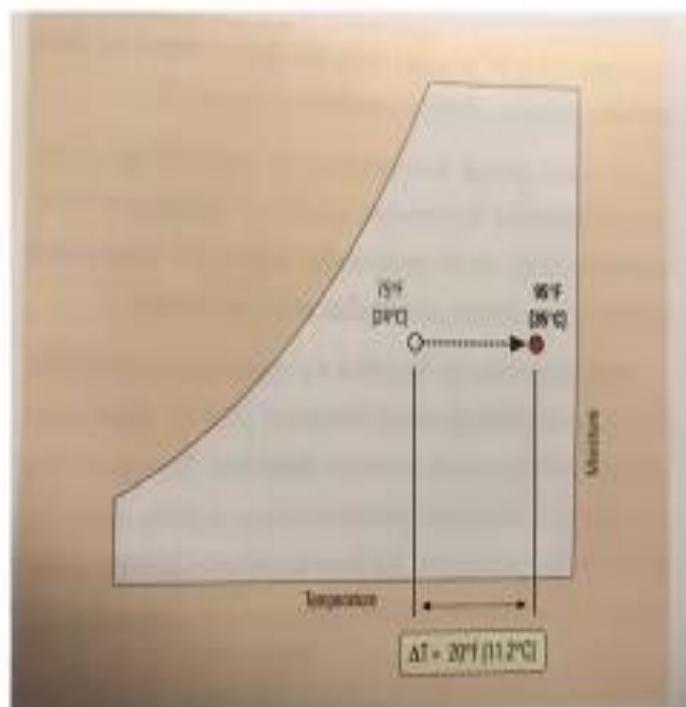
Es simplemente la adición de calor seco con el propósito de incrementar el bulbo seco. Este proceso es popular en zonas donde las temperaturas de invierno bajan de 10 °C.

En ocasiones este proceso es muy accesible por medio de calentadores eléctricos de resistencias, con calentadores a base de aceite, o por calentadores a gas, y la reacción típica es sequedad de mucosas y alergias por lo mismo.

En nuestra región algunas personas utilizan leña con la consecuencia adicional de enfermedades crónicas degenerativas, como es el enfisema pulmonar.

$$Q \text{ (BTUH)} = \text{cfm} (T_2 - T_1) \times 1.08$$

$$\text{kW} = \text{L/s} (T_2 - T_1) \times 0.0012$$



Procesos Psicrométricos.



- **Enfriamiento con deshumidificación.**

En este proceso, si se considera un cambio de estado del aire basado en enfriamiento con la consecuente modificación de la humedad específica, como lo muestra la siguiente gráfica.

Calor sensible y calor latente han sido removidos del aire en este proceso, así que lo más práctico es el cálculo de la diferencia de entalpía entre la entrada y la salida del aire con lo que se obtiene la energía requerida en el proceso.

$$\text{BTUH} = \text{cfm} (h_1 - h_2) \times 4.5$$

$$\text{kW/h} = \text{L/s} \times (h_1 - h_2) \times 0.0012$$

Este proceso es el más típico de nuestra región y se recomienda el uso de serpentines con el mayor número de hileras posibles, y velocidades de paso en baja velocidad, para evitar arrastre de condensado a los ductos con sus consecuencias indeseables.

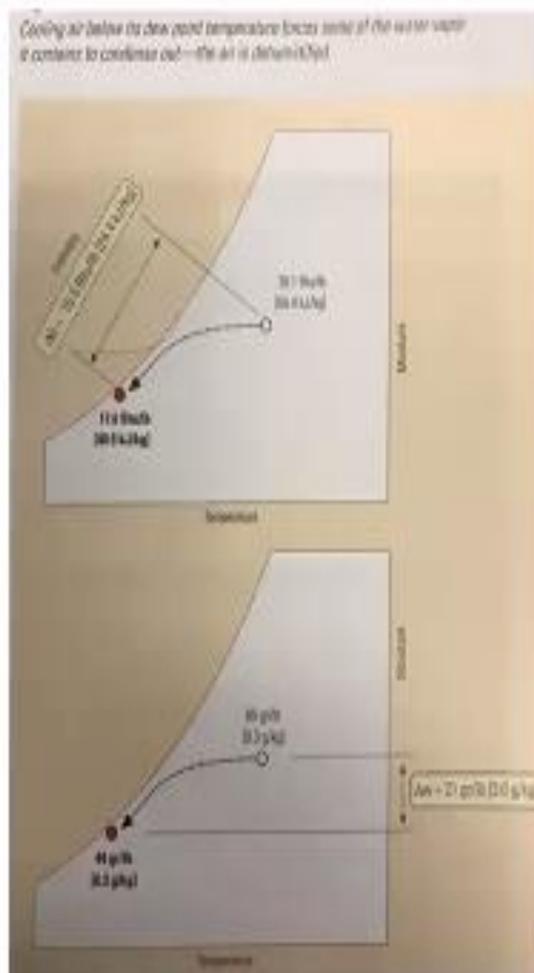
Es posible conocer el monto de la humedad removida mediante las siguientes formulas:

$$\text{Lbs/h} = \frac{\text{cfm} (w_1 - w_2) \times 4.5}{7000} \quad \text{donde } w \text{ es el contenido de humedad en gr/lb}$$

7000

$$\text{Kg/h} = \frac{\text{L/s} \times (w_1 - w_2) \times 4.32}{1000} \quad \text{donde } w \text{ es el contenido de humedad en gr/lb.}$$

1000



Radio de Calor Sensible.



- **En procesos de enfriamiento y deshumidificación este valor es muy importante.**

Indica el valor de calor sensible removido en comparación al calor total removido. Un valor de 1.0 quiere decir que el trabajo ha sido en remover calor sensible. Un valor de cero quiere decir que hemos removido humedad al proceso.

$$\text{SHR} = \frac{(t_2 - t_1) \times 1.08}{(h_2 - h_1) \times 4.5}$$

$$\text{SHR} = \frac{(t_2 - t_1)}{(h_2 - h_1)}$$



Enfriamiento con Deshumidificación Casos de Éxito.



- Hay variantes al proceso de enfriamiento y deshumidificación que pueden ser muy exitosos.
1. El uso de desecantes por medio de la diferencia en la presión de vapor. Una superficie desecante tiene baja presión de vapor, mientras el aire contiene una alta presión de vapor, utilizan una fuente de energía externa (principalmente, gas natural o vapor) para reactivar el rotor desecante. Su principal uso es en usos industriales o de control biológico.
 2. Uso de ruedas entálpicas, que consisten en ruedas higroscópicas radiales a la entrada y deshecho de humedad justo a la toma del aire exterior, lo que ayuda la control de humedad y mejora de la eficiencia energética del sistema, ya que el mayor dilema de control radica en el retiro de esa humedad. Este sistema se usa como aire primario de renovación

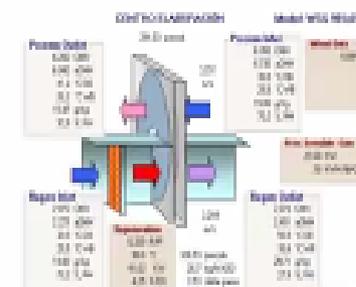
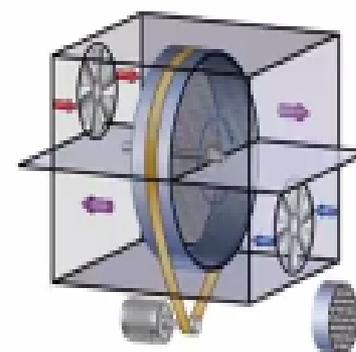


Fig. 3. Rueda desecante MIDEA HSR100

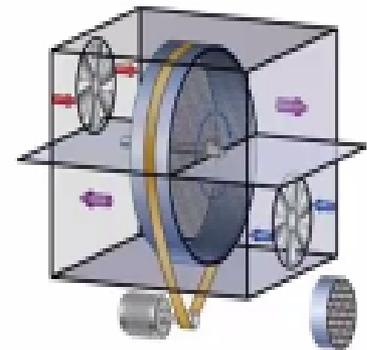
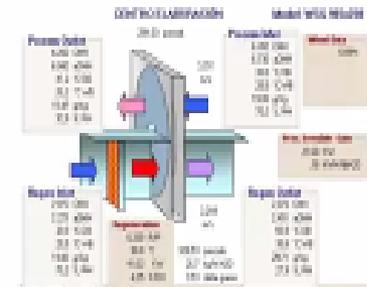


Diseñar en ambientes de alta humedad con toma de aire exterior pretratada, ahorrará al usuario una cantidad considerable en mantenimiento y gastos operativos, ya que de entrada el balance de carga se verá beneficiado desde un inicio.

Enfriamiento con Deshumidificación Casos de Éxito.



- Hay variantes al proceso de enfriamiento y deshumidificación que pueden ser muy exitosos.
1. El uso de desecantes por medio de la diferencia en la presión de vapor. Una superficie desecante tiene baja presión de vapor, mientras el aire contiene una alta presión de vapor, utilizan una fuente de energía externa (principalmente, gas natural o vapor) para reactivar el rotor desecante. Su principal uso es en usos industriales o de control biológico.
 2. Uso de ruedas entálpicas, que consisten en ruedas higroscópicas radiales a la entrada y deshecho de humedad justo a la toma del aire exterior, lo que ayuda la control de humedad y mejora de la eficiencia energética del sistema, ya que el mayor dilema de control radica en el retiro de esa humedad. Este sistema se usa como aire primario de renovación



Diseñar en ambientes de alta humedad con toma de aire exterior pretratada, ahorrará al usuario una cantidad considerable en mantenimiento y gastos operativos, ya que de entrada el balance de carga se verá beneficiado desde un inicio.

Manejadora Integral de Control de Humedad.



10 AÑOS EN MEXICO
Modular Air Handling Unit



Enfriamiento Adiabático

- En este proceso se enfría el aire mediante la saturación con agua de una superficie.

Es un sistema que se emplea ampliamente en zonas semidesérticas antes del verano franco y en las torres de enfriamiento para uso en chillers, y plantas de energía.

El aire pasa por una superficie impregnada de agua saturada y de esa forma se enfría, ya que el cambio de fase (flash) maximiza la transferencia de calor.



Tipos de termostatos.

En la práctica existen diferentes tipos de termostatos los cuales se citarán, sin embargo se requiere de un termostato con la capacidad de medir la humedad para tener el correcto control.

1. Termostatos mecánicos emplean diferentes sensores tecnológicos como tiras bimetálicas, bolitas de cera, bulbos llenos de gas y tubos de aire, tanto para medir la temperatura del aire como para regularla. Los sensores se expanden o contraen dependiendo de la temperatura para activar los interruptores y subir o bajar la temperatura.
2. Termostatos digitales son los más sencillos del mercado y, por tanto, los más utilizados. Funcionan a través de sensores eléctricos en lugar de físicos, permitiéndonos programar una determinada temperatura. De forma que, cuando los sensores eléctricos la detectan, realizan los cambios necesarios apagando o encendiendo el sistema de climatización.
3. Termistores. Este tipo de termostatos están contruidos alrededor de un termistor. Un termistor es un dispositivo que cambia su impedancia dependiendo de la temperatura. La impedancia del termistor es leída por un sistema de control, usualmente basado en un microcontrolador, que es programado para realizar diferentes operaciones a determinadas temperaturas.

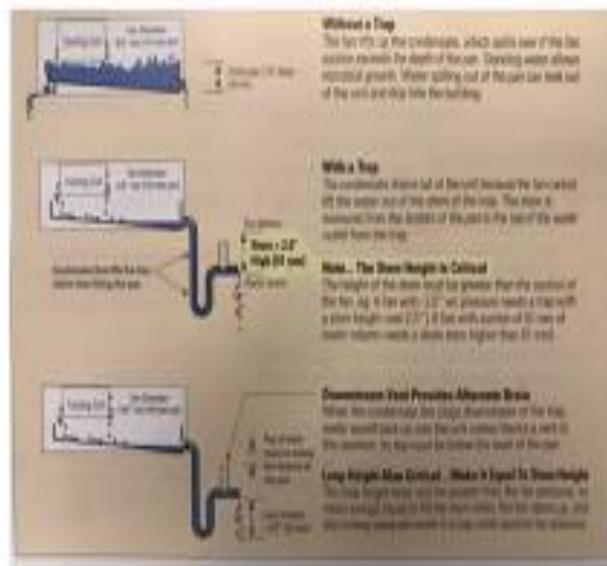


Deficiencias Típicas en el Control de Humedad.

- **Los sistemas de aire acondicionado frecuentemente sufren por deficiencias en su operación, siendo los siguientes los aspectos que deberemos de considerar.**
 1. Por no haber considerado el uso específico del edificio, los materiales y la ubicación del mismo.
 2. No haber efectuado un balance térmico, y haber tomado en cuenta las posibles consideraciones técnicas de configuración, como el tipo de sistema (paquetes autocontenidos, sistemas divididos, de agua helada y en la actualidad de refrigerante variable), según sea el caso.
 3. El tipo de control adecuado al sistema propuesto y diseñado.
 4. Instalaciones deficientes con demasiadas fugas de distribución o cargas insuficientes.
 5. Falta de mantenimiento.
 6. Desconexión de elementos de control.
 7. Fallas de comunicación entre los sistemas de gestión.

Deficiencias de la instalación.

- Las fallas de las instalaciones se refieren a instalaciones con defectos o faltantes.



Se deben evitar al máximo fugas en los equipos, los ductos de retorno, y ductos de inyección, así como altas velocidades de paso en los serpentines y ductos, que pudieran crear un acarreo de condensado.

Una deficiente instalación de las trampas de condensados.

Deficiencias en la instalación



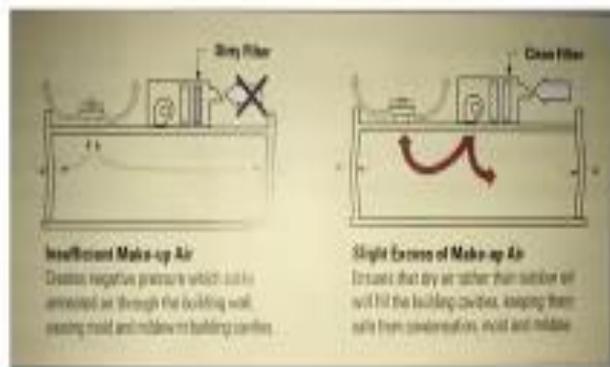
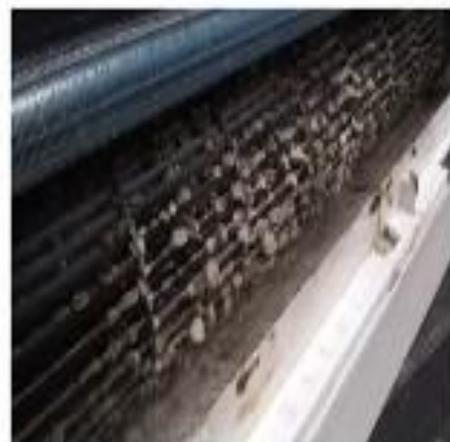
- **Algo que comúnmente sucede es las fugas del edificio.**

1. Fugas debido a aperturas no consideradas en el cálculo de carga térmica.
2. Puertas abiertas de manera indiscriminada.
3. Fuentes de calor húmedo adicionales y no consideradas por el diseñador.
4. Falla de sellos y barreras en cámaras plenas y pasillos abiertos donde se adicione humedad del ambiente no deseada.

Deficiencias del Control de Humedad Derivados por Falta de Servicio.

- La falta de un programa de mantenimiento o por no hacer las correcciones a los problemas de funcionamiento encontrados, serán causa de:

1. Falla del Control de Humedad.
2. Exceso de energía consumida.
3. Mala percepción de los usuarios.
4. Proliferación de hongos y bacterias en los locales acondicionados.



Bacterias, virus y microbios.....

Fallas del mantenimiento.

A propósito de lo que estamos viviendo, mucha gente piensa que los sistemas de aire acondicionado son causantes de enfermedades virales y contagiosas en los edificios cerrados, sin embargo un adecuado servicio de mantenimiento a las unidades terminales y manejadoras de aire, además de no contaminar las áreas cerradas, ahorrarán energía, y tendrán el óptimo manejo de la humedad con el que los diseñadores estudiaron el uso para sus diferentes áreas.



Problemas por Falla de Control de Humedad.

1. Baja Humedad.

- Electricidad estática, en ambientes de frío es muy común que las personas experimenten descargas eléctricas por la fricción.
- Resequedad de las vías respiratorias, de la piel y falta de confort en los ocupantes del inmueble.

2. Alta Humedad.

- * Proliferación de bacterias
- * Confort del inmueble no satisfecho.
- * Deterioro de cortinas y blancos por exceso de humedad.
- * Aparición de manchas en techos, y paredes.
- * Deterioro adelantado de muebles, cuadros y equipos.
- * Energía consumida de forma inusual.

El Estándar 55 de ASHRAE ha sufrido modificaciones y en 2004 quedó establecido como parámetro para invierno y verano 62 °F (16.7 °C) y 60% de humedad relativa como límite superior de confort.

Estándares que Intervienen en el Control de Humedad

- **Estándar ASHRAE 62.1 -2016**

Debido a que el uso de ventilación en los edificios sellados es una gran aportación de la carga de humedad uno de los estándares que más se debe de considerar es el estándar ASHRAE 62.1 -2016 y el ASHRAE 62.2-2016 para edificios residenciales de pocos pisos.

- **Estándar ASHRAE 55**

Define las diferentes condiciones del confort humano, como son la velocidad, las temperaturas y condiciones del inmueble.