Capitulo 14

Mezclas de Gas-Vapor y Aire Acondicionado

Guía de estudio en PowerPoint

Para Acompañar

Thermodynamics: An Engineering Approach, 6th edition
by Yunus A. Çengel and Michael A. Boles

Objetivos

- Diferenciar entre aire seco y aire atmosférico.
- Definir y calcular la humedad especifica y relativa del aire atmosférico.
- Calcular la temperatura de punto de rocío del aire atmosférico.
- Relacionar la temperatura de saturación adiabática y la temperatura de bulbo húmedo del aire atmosférico.
- Usar la carta psicrometrica como una herramienta para determinar las propiedades del aire seco.
- Aplicar los principios de la conservación de la masa y la energía a varios procesos de acondicionamiento de aire.

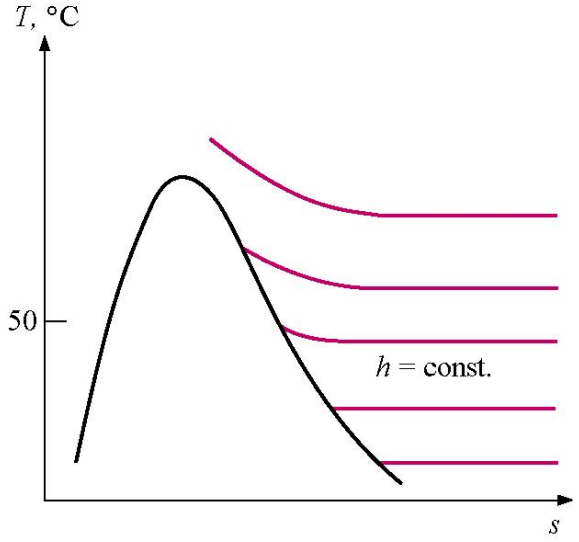
Nos enfocaremos en la mezcla de aire seco y vapor de agua. Esta mezcla es llamada a menudo aire atmosférico.

La temperatura del aire atmosférico en aplicaciones de aire acondicionado esta oscila entre –10 y 50°C. Bajo estas condiciones, tratamos a aire como un gas ideal con calores específicos constantes. Tomando C_{pa} = 1.005 kJ/kg.K, la entalpia del aire seco esta dada por (asumiendo el estado de referencia como aquel en que T= 0°C donde la entalpia de referencia es tomada como 0 kJ/kga)

$$h_a = C_{pa} T \quad \left(\frac{kJ}{kg_a}\right) \qquad T\, in\ ^oC$$

$$= \left[1.005 \frac{kJ}{kg \cdot ^o C}\right] T \quad \frac{kJ}{kg_a}$$

La asunción de que el vapor de agua es un gas ideal es valida cuando la temperatura de la mezcla es menor de 50°C. Esto significa que la presión de saturación del vapor de agua en la mezcla aire-vapor esta por debajo de 12.3 kPa. Para estas condiciones, la entalpia del vapor de agua es aproximada por $h_v(T) = hg$ a la temperatura de la mezcla *T*. el siguiente diagrama *T-s* para el agua ilustra el comportamiento de un gas ideal a bajas presiones del vapor. vea Figura A-9 para el actual diagrama *T-s*.



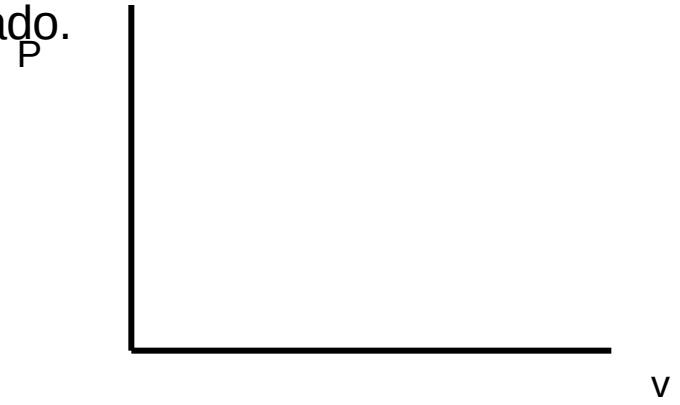
El valor de la entalpia para el vapor es una función de la temperatura y puede ser expresado como

$$h_v = h_g(T) \cong 2501.3 + 1.82T \left(\frac{kJ}{kg_v}\right) \quad T \text{ in } {}^oC$$

Nota: para la mezcla de aire seco-vapor de agua, la presión parcial del vapor de agua en la mezcla es menor que su presión de saturación a esa temperatura.

$$P_v \leq P_{sat@T_{mix}}$$

Considere aumentar la presión total de una mezcla de aire-vapor de agua mientras la temperatura de la mezcla se mantiene constante. Ve si puedes bosquejar el proceso en el diagrama *P-v* relativo al as líneas de saturación para el agua solamente en el diagrama dado debajo. Asuma que el vapor de agua esta inicialmente sobre calentado.



Cuando la presión de la mezcla aumenta mientas la temperatura de la mezcla se mantiene constante, la presión parcial del vapor aumenta hasta la presión de saturación a la temperatura de la mezcla y la condensación comienza. Por lo tanto, la presión parcial del vapor del agua nunca puede ser mayor que u presión de saturación correspondiente a la temperatura e la mezcla.

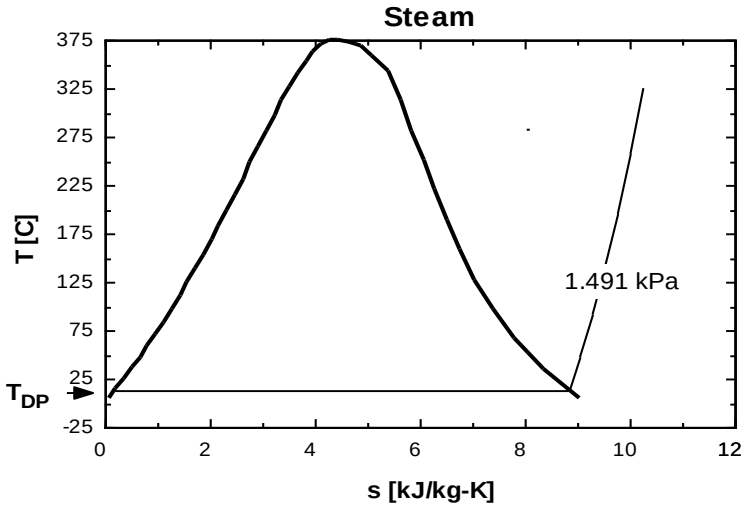
Definiciones

Punto de Rocío, *T*dp

El punto de rocío es la temperatura a la cual el vapor se condensa o solidifica cuando se enfría a presión constante.

Considere el proceso de enfriamiento de una mezcla de aire-vapor de agua mientras la presión total de la mezcal se mantiene constante. Cuando la mezcla es enfriada a una temperatura igual a la temperatura de saturación para la presión parcial de la mezcla agua-vapor, la condensación comienza.

Cuando una mezcla de aire atmosferico-vapor se enfría a presión constante de tal manera que la presión parcial del vapor de agua es 1.491 kPa, entonces la temperatura de punto de rocía de esa mezcla es 12.95^{o}C.

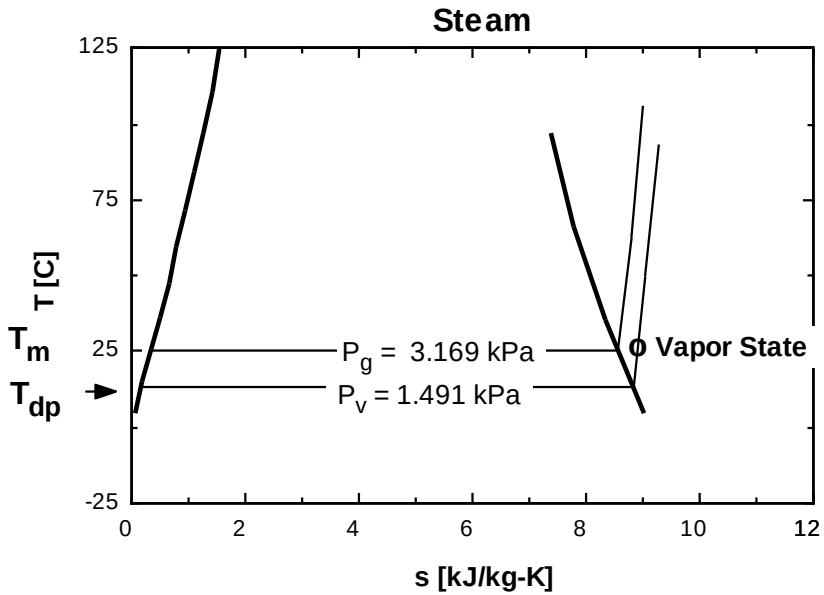


Humedad Relativa, ϕ

$$\phi = \frac{Mass\ of\ \ vapor\ in\ air}{Mass\ of\ \ in\ saturated\ \ air} = \frac{m_v}{m_g}$$

$$= \frac{P_v}{P_g}$$

P_v y P_g son mostrados en el siguiente diagrama *T-s* para la mezcla agua-vapor solo.



Since $P_g \geq P_v,\ \phi \leq 1\ or\ 100\%,\ \phi = \frac{P_v}{P_g} = \frac{1.491\ kPa}{3.169\ kPa} = 0.47$

Humedad Absoluta o Especifica (algunas veces llamada razón de humedad), ω

$$\omega = \frac{Mass\ of\ \ water\ vapor\ in\ air}{Mass\ of\ \ dry\ air} = \frac{m_v}{m_a}$$

$$= \frac{P_v V M_v / (R_u T)}{P_a V M_a / (R_u T)} = \frac{P_v M_v}{P_a M_a}$$

$$= 0.622 \frac{P_v}{P_a} = 0.622 \frac{P_v}{P - P_v}$$

Usando la definición de humedad especifica, la humedad relativa puede expresarse como

$$\phi = \frac{\omega P}{(0.622 + \omega) P_g} \quad and \quad \omega = \frac{0.622 \phi P_g}{P - \phi P_g}$$

Volumen de la mezcla por unidad de aire seco, *v*

$$v = \frac{V}{m_a} = \frac{m_m R_m T_m / P_m}{m_a}$$

Después de varios pasos, podemos mostrar que (debería tratar esto)

$$v = \frac{V}{m_a} = v_a = \frac{R_a T_m}{P_a}$$

Por tanto el volumen de la mezcla por unidad de masa de aire seco el volumen especifico del aire seco calculado a la temperatura de la mezcla y a la presión parcial del aire seco.

Masa de la mezcla

$$m = m_a + m_v = m_a(1 + \frac{m_v}{m_a}) = m_a(1 + \omega)$$

Razón de Flujo Másico $\dot{m}_a$ **del aire seco,**

Basado en la razón volumétrica del flujo de la mezcla en el estado dado, la razón de flujo másico del aire seco es

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{V}}{v} \qquad \frac{m^3/s}{m^3/kg_a} = \frac{kg_a}{s}$$

Entalpia de la mezcla por unidad de masa de aire seco, *h*

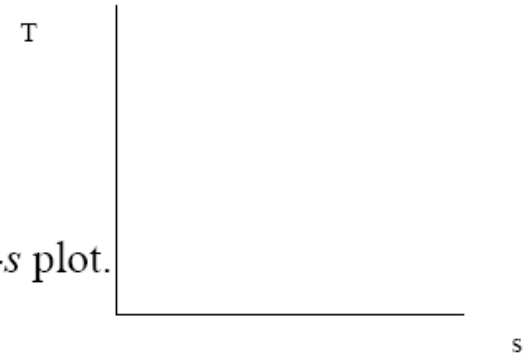
$$h = \frac{H_m}{m_a} = \frac{H_a + H_v}{m_a} = \frac{m_a h_a + m_v h_v}{m_a}$$
$$= h_a + \omega h_v$$

Ejemplo 14-1

Aire Atmosférico a 30°C, 100 kPa, tiene su punto de rocío a 21.3°C. Encuentre la humedad relativa, Razón de Humedad y *h* de la mezcla por unidad de masa de aire seco.

Since $T_{dp} = 21.3\ ^{o}C$, $P_v = 2.548$ k

At $T = 30\ ^{o}C$, $P_g = 4.247$ kPa.
Locate the T's and P's on the T-s plot.



$$\phi = \frac{P_v}{P_g} = \frac{2.548\,kPa}{4.247\,kPa} = 0.6\ or\ 60\%$$

$$\omega = 0.622\frac{2.548\,kPa}{(100-2.548)\,kPa} = 0.01626\frac{kg_v}{kg_a}$$

$$\begin{aligned} h &= h_a + \omega h_v \\ &= C_{p,a}T + \omega(2501.3 + 1.82T) \\ &= 1.005\frac{kJ}{kg_a \cdot {}^{o}C}(30^{o}C) + 0.01626\frac{kg_v}{kg_a}(2501.3 + 1.82(30^{o}C))\frac{kJ}{kg_v} \\ &= 71.71\frac{kJ}{kg_a} \end{aligned}$$

Ejemplo 14-2

Si el aire atmosférico en el ultimo ejemplo es acondicionado a 20°C, 40 por ciento de humedad relativa, que masa de agua se añade o remueve por unidad de masa de aire seco ?

A 20°C, *Pg* = 2.339 kPa.

$$P_v = \phi P_g = 0.4(2.339\,kPa) = 0.936\,kPa$$

$$w = 0.622\frac{P_v}{P - P_v} = 0.622\frac{0.936\,kPa}{(100 - 0.936)\,kPa}$$

$$= 0.00588\frac{kg_v}{kg_a}$$

El cambio en la masa de agua por unidad de masa de aire seco es

$$\frac{m_{v,2} - m_{v,1}}{m_a} = \omega_2 - \omega_1$$

$$\frac{m_{v,2} - m_{v,1}}{m_a} = (0.00588 - 0.01626)\frac{kg_v}{kg_a}$$

$$= -0.01038\frac{kg_v}{kg_a}$$

O, a medida que la mezcla cambia del estado 1 al 2, 0.01038 kg de vapor de agua se condensa por cada kg de aire seco.

Ejemplo 14-3

Aire atmosférico se encuentra a 25°C, 0.1 MPa, 50 por ciento de humedad relativa. Si la mezcla se enfría presión constante a 10°C, encuentre la cantidad de agua removida por unidad de masa de aire seco.

Grafique los estados del agua-vapor relativos a las líneas de saturación en el siguiente diagrama *T-s*.

A 25°C, P_{sat} = 3.170 kPa, y con ϕ_1= 50%

$$P_{v,1} = \phi_1 P_{g,1} = 0.5(3.170\,kPa) = 1.585\,kPa$$

$$T_{dp,1} = T_{sat@P_v} = 13.8^o C$$

$$w_1 = 0.622\frac{P_{v,1}}{P - P_{v,1}} = 0.622\frac{1.5845\,kPa}{(100 - 1.5845)\,kPa}$$

$$= 0.01001\frac{kg_v}{kg_a}$$

Por tanto, cuando la mezcla se enfría a T_2 = 10°C < $T_{dp,1}$, la mezcla se encuentra saturada y ϕ_2 = 100%. Entonces $P_{v,2}$ = $P_{g,2}$ = 1.228 kPa.

$$w_2 = 0.622\frac{P_{v,2}}{P - P_{v,2}} = 0.622\frac{1.228\ kPa}{(100 - 1.228)\,kPa}$$

$$= 0.00773\frac{kg_v}{kg_a}$$

El cambio en la masa del agua por unidad de aire seco es

$$\frac{m_{v,2} - m_{v,1}}{m_a} = \omega_2 - \omega_1$$

$$= (0.00773 - 0.01001)\frac{kg_v}{kg_a}$$

$$= -0.00228\frac{kg_v}{kg_a}$$

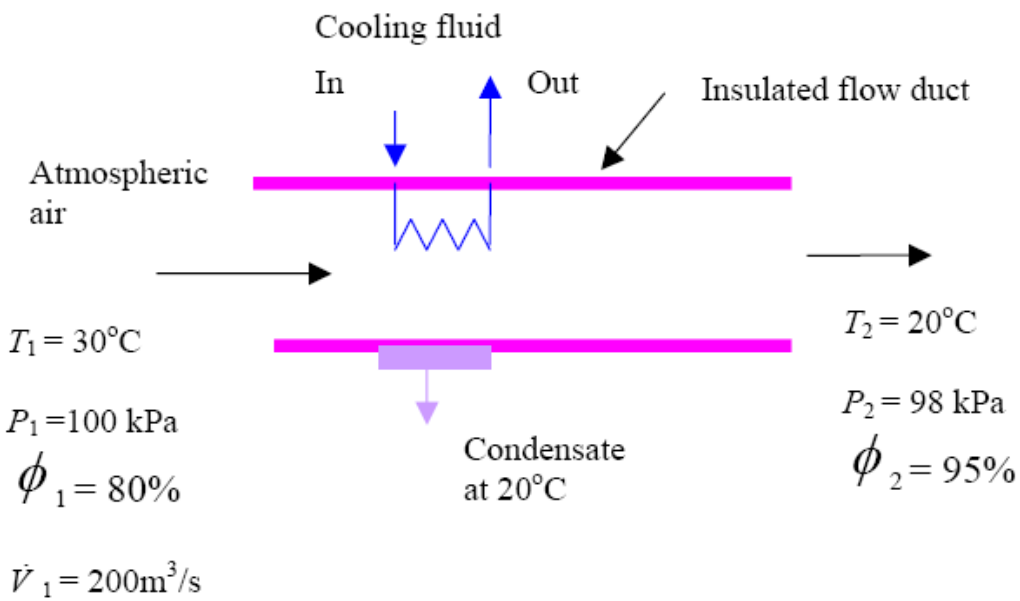
O , a medida que la mezcla cambia del estado 1 al 2, 0.00228 kg de vapor de agua se condensa por cada kg de aire seco.

Análisis de flujo estable Aplicado a mezclas de Gas-Vapor

Revisaremos los principios de la conservación de la energía y la masa a medida que la aplicamos a las mezclas de gas-vapor en el siguiente ejemplo.

Ejemplo 14-3

Dadas las condiciones de entrada y salida del aire acondicionado mostrado debajo. Cual es la transferencia de calor removida por unidad de Kg de aire seco al atravesar el dispositivo ? Si la razón de flujo volumétrico del aire atmosférico entrante es 200 m^3/min, determine la razón necesaria de transferencia de calor.



Antes de aplicar la conservación de la energía y la masa para un flujo estable, necesitamos decidir si alguna cantidad de agua se condensa en el proceso. La mezcla se enfría por debajo del punto de rocío para el estado 1?

$$P_{v,1} = \phi_1 P_{g,1} = 0.8(4.247\,kPa) = 3.398\,kPa$$

$$T_{dp,1} = T_{sat@P_v} = 26.01^o C$$

Entonces para T_2 = 20°C < T_{dp}, 1, Alguna cantidad de agua-vapor se condensara. Asumamos que el agua condensada deja el aire acondicionado a 20°C. Algunos dicen que el agua sale a temperatura promedio de 26 y 20°C; como sea, 20°C es adecuado para nuestro uso acá.

Aplicando la conservación de la energía a un volumen de control de flujo estable.

$$\dot{Q}_{net} + \sum_{inlets} \dot{m}_i (h + \frac{\vec{V}^2}{2} + gz)_i = \dot{W}_{net} + \sum_{exits} \dot{m}_e (h + \frac{\vec{V}^2}{2} + gz)_e$$

Despreciando las energías cinéticas y potencial y notando que el trabajo es cero, tenemos

$$\dot{Q}_{net} + \dot{m}_{a1} h_{a1} + \dot{m}_{v1} h_{v1} = \dot{m}_{a2} h_{a2} + \dot{m}_{v2} h_{v2} + \dot{m}_{l2} h_{l2}$$

La Conservación de la masa para el volumen de control de flujo estable es

$$\sum_{inlets} \dot{m}_i = \sum_{exits} \dot{m}_e$$

Para el aire seco:

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a$$

Para el vapor de agua:

$$\dot{m}_{v1} = \dot{m}_{v2} + \dot{m}_{l2}$$

La masa de agua que se condensa y deja el volumen de control es

$$\begin{aligned} \dot{m}_{l2} &= \dot{m}_{v1} - \dot{m}_{v2} \\ &= \dot{m}_a(\omega_1 - \omega_2) \end{aligned}$$

Dividiendo la ecuación de la conservación de la energía por $\dot{m}_a$, tenemos

$$\frac{\dot{Q}_{net}}{\dot{m}_a} + h_{a1} + \omega_1 h_{v1} = h_{a2} + \omega_2 h_{v2} + (\omega_1 - \omega_2) h_{l2}$$

$$\frac{\dot{Q}_{net}}{\dot{m}_a} = h_{a2} - h_{a1} + \omega_2 h_{v2} - \omega_1 h_{v1} + (\omega_1 - \omega_2) h_{l2}$$

$$\frac{\dot{Q}_{net}}{\dot{m}_a} = C_{pa}(T_2 - T_1) + \omega_2 h_{v2} - \omega_1 h_{v1} + (\omega_1 - \omega_2) h_{l2}$$

Ahora para encontrar ω y *h*.

$$\omega_1 = \frac{0.622 P_{v1}}{P_1 - P_{v1}} = \frac{0.622(3.398)}{100 - 3.398}$$

$$= 0.02188 \frac{kg_v}{kg_a}$$

$$P_{v2} = \phi_2 P_{g2}$$

$$= (0.95)(2.339\, kPa) = 2.222\, kPa$$

$$\omega_2 = \frac{0.622 P_{v2}}{P_2 - P_{v2}} = \frac{0.622(2.222)}{98 - 2.222}$$

$$= 0.01443 \frac{kg_v}{kg_a}$$

Usando las tablas de vapor, la entalpias *h* para el agua son

$$h_{v1} = 2555.6 \frac{kJ}{kg_v}$$

$$h_{v2} = 2537.4 \frac{kJ}{kg_v}$$

$$h_{l2} = 83.91 \frac{kJ}{kg_v}$$

La transferencia de calor por unidad de masa de aire seco se obtiene de

$$\frac{\dot{Q}_{net}}{\dot{m}_a} = C_{pa}(T_2 - T_1) + \omega_2 h_{v2} - \omega_1 h_{v1} + (\omega_1 - \omega_2) h_{l2}$$

$$= 1.005 \frac{kJ}{kg_a \cdot {}^o C}(20-30)^o C + 0.01443 \frac{kg_v}{kg_a}(2537.4 \frac{kJ}{kg_v})$$

$$- 0.02188 \frac{kg_v}{kg_a}(2555.6 \frac{kJ}{kg_v}) + (0.02188 - 0.01443) \frac{kg_v}{kg_a}(83.91 \frac{kJ}{kg_v})$$

$$= -8.627 \frac{kJ}{kg_a}$$

La transferencia de calor del aire atmosférico es

$$q_{out} = \frac{-\dot{Q}_{net}}{\dot{m}_a} = +8.627\,\frac{kJ}{kg_a}$$

La razón de flujo másico del aire seco esta dado por

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{V}_1}{v_1}$$

$$v_1 = \frac{R_a T_1}{P_{a1}} = \frac{0.287\,\dfrac{kJ}{kg_a \cdot K}(30+273)K}{(100-3.398)kPa}\,\frac{m^3 kPa}{kJ}$$

$$= 0.90\,\frac{m^3}{kg_a}$$

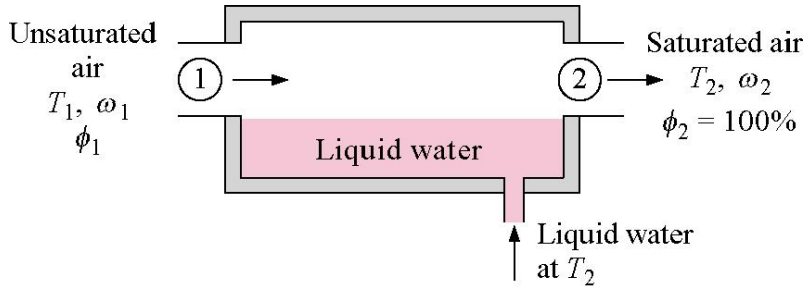
$$\dot{m}_a = \frac{200\,\dfrac{m^3}{\min}}{0.90\,\dfrac{m^3}{kg_a}} = 222.2\,\frac{kg_a}{\min}$$

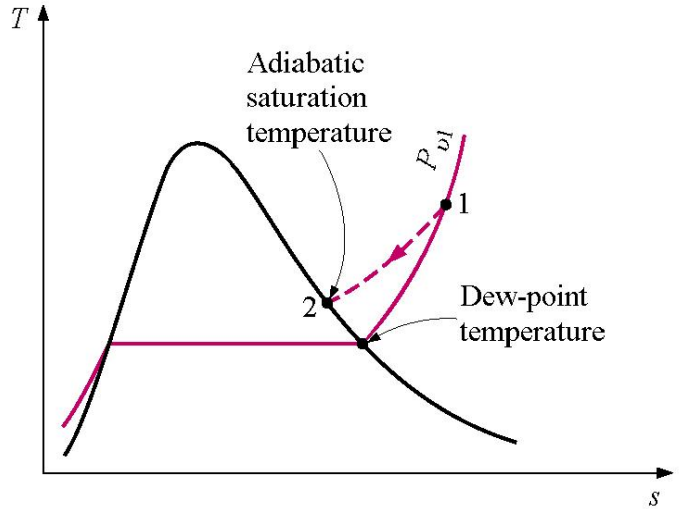
$$\dot{Q}_{out} = \dot{m}_a q_{out} = 222.2 \frac{kg_a}{\min} (8.627 \frac{kJ}{kg_a}) \frac{1 \min}{60 s} \frac{1 kWs}{kJ}$$

$$= 31.95 kW = 9.08 Tons$$

El proceso de Saturación adiabático

Aire con una humedad relativa menor de 100 por ciento fluye sobre agua contenida en un ducto bien aislado. Una vez el aire tiene ϕ < 100 por ciento, parte del agua se evaporara y la temperatura de la mezcla air-vapor disminuirá.





Si la mezcla que deja los ductos saturada y si el proceso es adiabático, la temperatura a la que sale la mezcla del dispositivo es conocida como **Temperatura de saturación Adiabática.**

Par que este proceso sea un proceso de flujo estable, agua es añadida a la temperatura de saturación adiabática a la misma razón a la que el agua se evapora.

Asumimos que la presión total se mantiene constante durante el proceso.

Aplicando la conservación de la energía a un volumen de control de flujo estable

$$\dot{Q}_{net} + \sum_{inlets} \dot{m}_i (h + \frac{\vec{V}^2}{2} + gz)_i = \dot{W}_{net} + \sum_{exits} \dot{m}_e (h + \frac{\vec{V}^2}{2} + gz)_e$$

Despreciando las energías cinéticas y potencial y notando que el trabajo y la transferencia de calor son cero, obtenemos

$$\dot{m}_{a1} h_{a1} + \dot{m}_{v1} h_{v1} + \dot{m}_{l2} h_{l2} = \dot{m}_{a2} h_{a2} + \dot{m}_{v2} h_{v2}$$

La conservación de la masa para el volumen de control de flujo estable es

$$\sum_{inlets} \dot{m}_i = \sum_{exits} \dot{m}_e$$

Para el aire seco:

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a$$

Para el vapor de agua:

$$\dot{m}_{v1} + \dot{m}_{l2} = \dot{m}_{v2}$$

La razón de flujo másico del agua que debe ser suplido para mantener el flujo constante es,

$$\begin{aligned} \dot{m}_{l2} &= \dot{m}_{v2} - \dot{m}_{v1} \\ &= \dot{m}_a(\omega_2 - \omega_1) \end{aligned}$$

Dividiendo la ecuación de la conservación de la energía por $\dot{m}_a$, luego

$$h_{a1} + \omega_1 h_{v1} + (\omega_2 - \omega_1) h_{l2} = h_{a2} + \omega_2 h_{v2}$$

Que es conocido y que es desconocido en esta ecuación ?

Resolviendo para ω_1

$$\begin{aligned} \omega_1 &= \frac{h_{a2} - h_{a1} + \omega_2 (h_{v2} - h_{l2})}{(h_{v1} - h_{l2})} \\ &= \frac{C_{pa}(T_2 - T_1) + \omega_2 h_{fg2}}{(h_{g1} - h_{f2})} \end{aligned}$$

Como ω_1 es definida también como

$$\omega_1 = 0.622 \frac{P_{v1}}{P_1 - P_{v1}}$$

Podemos resolver para P_{v1}.

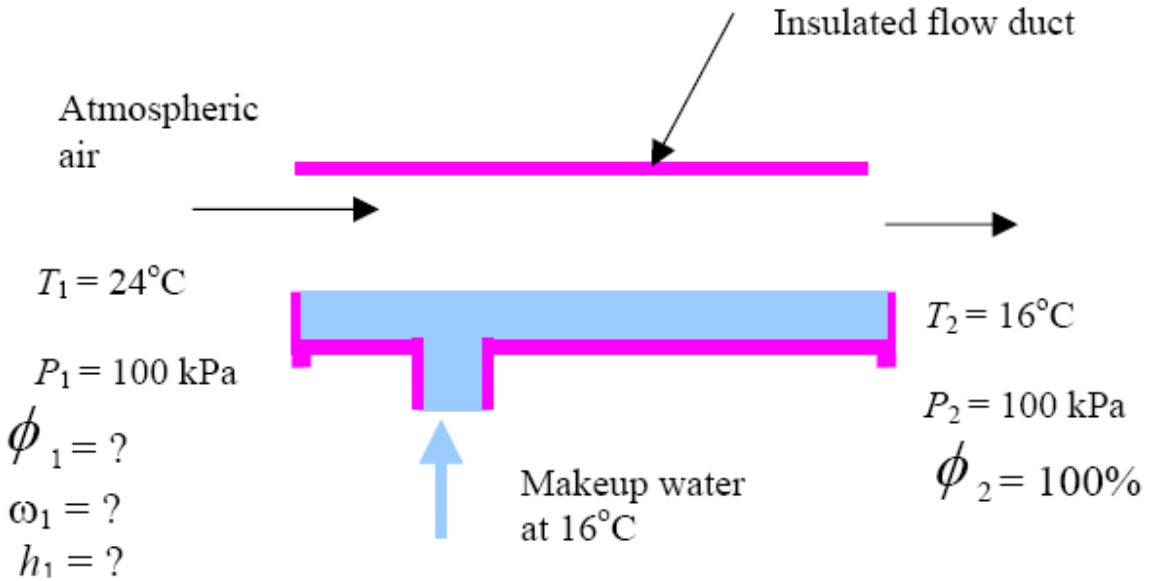
$$P_{v1} = \frac{\omega_1 P_1}{0.622 + \omega_1}$$

Luego la humedad relativa en el estado 1 es

$$\phi_1 = \frac{P_{v1}}{P_{g1}}$$

Ejemplo 14-4

Para el proceso de saturación adiabática mostrado debajo, determine la humedad relativa, la razón de humedad (humedad especifica) y la entalpia del aire atmosférica por unidad de masa de aire seco en el estado 1.



$$\left.\begin{aligned}\phi_2 &= 100\% \\ T_2 &= 16^o C\end{aligned}\right\}\left\{\begin{aligned} P_{v2} &= \phi_2 P_{g2} = 1.0(1.818kPa) \\ &= 1.818kPa \\ \omega_2 &= \frac{0.622P_{v2}}{P_2 - P_{v2}} = \frac{0.622(1.818)}{100-1.818} \\ &= 0.0115\frac{kg_v}{kg_a}\end{aligned}\right.$$

Usando las tablas de vapor:

$$h_{f2} = 67.2 \frac{kJ}{kg_v}$$

$$h_{v1} = 2544.7 \frac{kJ}{kg_v}$$

$$h_{fg2} = 2463.0 \frac{kJ}{kg_v}$$

Del análisis anterior

$$\omega_1 = \frac{C_{pa}(T_2 - T_1) + \omega_2 h_{fg2}}{(h_{g1} - h_{f2})}$$

$$= \frac{1.005 \frac{kJ}{kg_a {}^oC} \; 16 - 24 \; {}^oC + 0.0115 \frac{kg_v}{kg_a} (2463.0 \frac{kJ}{kg_v})}{(2544.7 - 67.2) \frac{kJ}{kg_v}}$$

$$= 0.00822 \frac{kg_v}{kg_a}$$

Podemos resolver para P_{v1}.

$$P_{v1} = \frac{\omega_1 P_1}{0.622 + \omega_1}$$
$$= \frac{0.00822(100kPa)}{0.622 + 0.00822}$$
$$= 1.3\,kPa$$

Entonces la humedad relativa en el estado 1 es

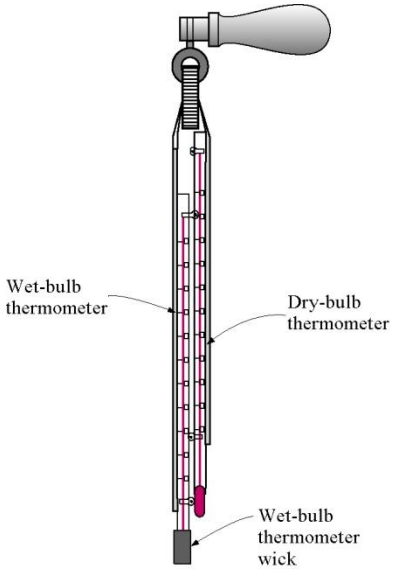
$$\phi_1 = \frac{P_{v1}}{P_{g1}} = \frac{P_{v1}}{P_{sat@24^oC}}$$
$$= \frac{1.3\,kPa}{3.004\,kPa} = 0.433 \; or \; 43.3\%$$

La entalpia de la mezcla en el estado 1 es

$$h_1 = h_{a1} + \omega_1 h_{v1}$$
$$= C_{pa} T_1 + \omega_1 h_{v1}$$
$$= 1.005 \frac{kJ}{kg_a \cdot {}^oC}(24^oC) + 0.00822 \frac{kg_v}{kg_a} 2544.7 \frac{kJ}{kg_v}$$
$$= 45.04 \frac{kJ}{kg_a}$$

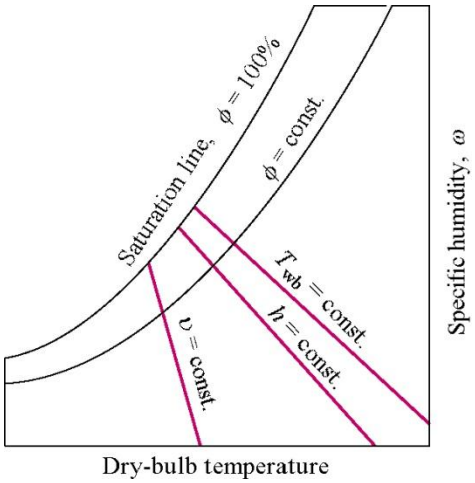
Temperaturas de bulbo Húmedo y Bulbo seco

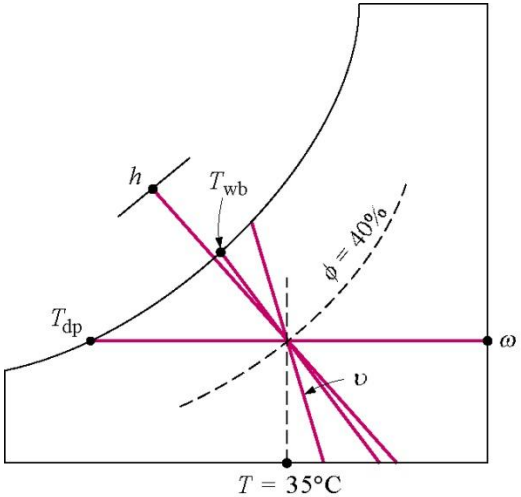
En la practica, el estado del aire atmosférico es especificado determinando las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo. Estas temperaturas son medidas usando un dispositivo llamado psicrómetro. El psicrómetro esta compuesto de dos termómetros montados en un sling. Un termómetro es equipado con una malla mojada y lee la temperatura de bulbo húmedo. El otro termómetro lee la temperatura ordinaria o de bubo seco. A medida que el psicrómetro es golpeado por el aire, agua es vaporizada de la mala mojada, resultando en un descenso de la temperatura que es registrada por el termómetro. Mientras mas seco sea el aire atmosférico, mas baja será la temperatura de bulbo húmedo. Cuando la humedad relativa del aire esta cerca del 100 %, existirá una pequeña diferencia entre las temperaturas de bulbo seco y Bulbo húmedo. La temperatura de bulbo húmedo es aproximadamente igual a la temperatura de saturación adiabática. La temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo y la presión atmosférica determinan de forma única el estado del aire atmosférico.



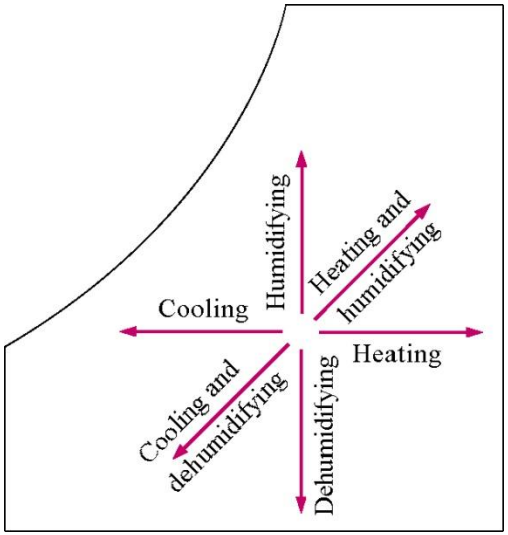
La carta Psicométrica

Para una presión total dada de la mezcla aire-vapor, las propiedades de la mezcla están dadas de forma grafica en una cata psicométrica.





Procesos de acondicionamiento de aire:

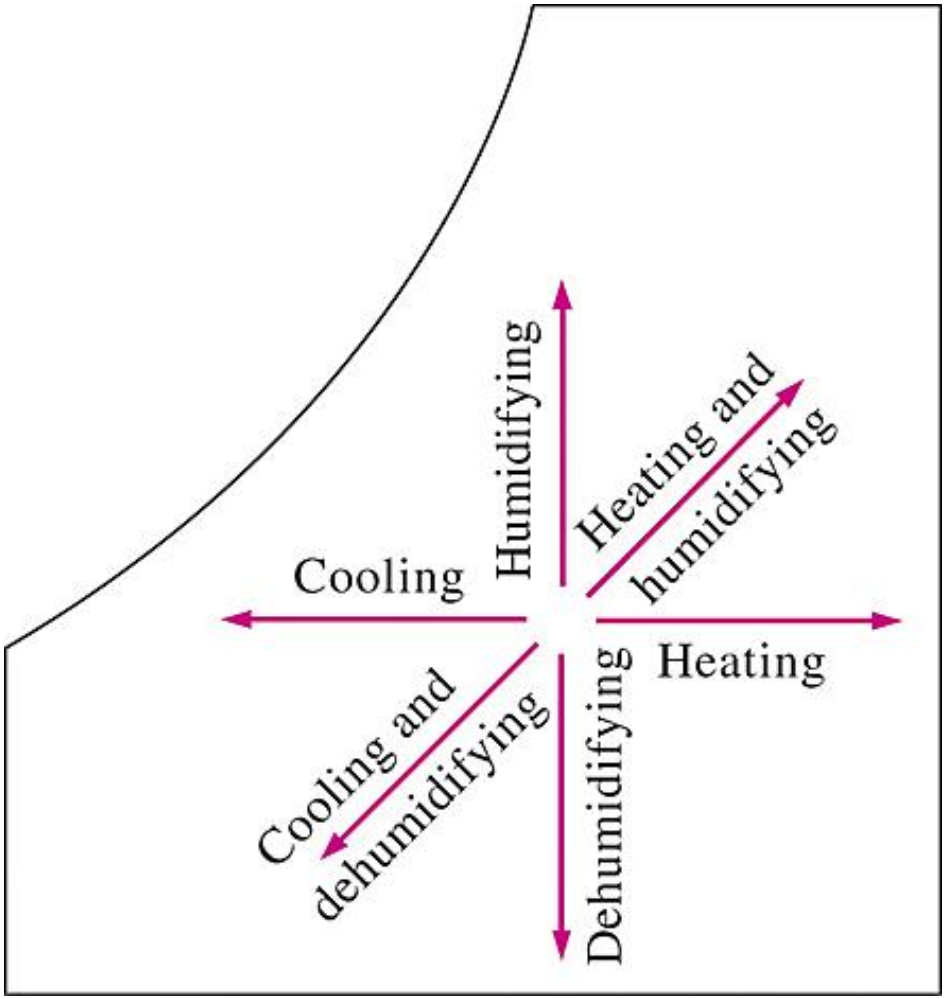


PROCESOS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE

Mantener un hogar o un área industrial a la temperatura y humedad deseada requiere de algunos procesos llamados procesos de acondicionamiento de aire.

Estos procesos incluyen calentamiento simple (elevar la temperatura), Enfriamiento simple (bajar la temperatura), humidificación (añadir humedad), y des humidificación (remover humedad).

Algunas veces do o mas de estos procesos son necesarios para lograr la temperatura y humedad deseada del aire. El aire es comúnmente calentado y humidificado en invierno y enfriado y deshumidificado en verano.



Varios procesos de acondicionamiento de aire

Calentamiento y enfriamiento simple (ω = constante)

Muchos sistemas de calentamiento residenciales consisten en una estufa, una bomba de calor, o de un calentador de resistencia eléctrica. El aire en este sistema se calienta haciéndolo circular a través de un ducto que contiene los tubos de los gases calientes o las resistencias eléctricas.

El enfriamiento puede ser logrado haciendo pasar aire sobre algunos serpentines a través de los cuales fluye un refrigerante o agua fría.

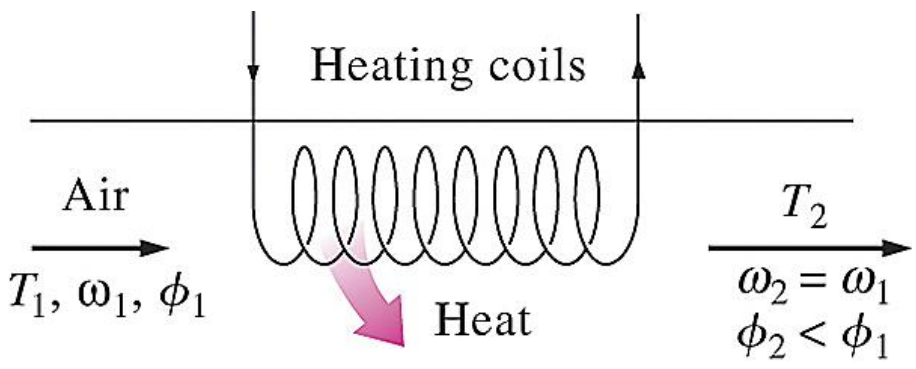
El calentamiento y enfriamiento aparece como una línea horizontal cuando no se añade o remueve humedad del aire.

Balance de masa del aire seco $\dot{m}_{a_1} = \dot{m}_{a_2} = \dot{m}a$

Balance masico del agua $\omega_1 = \omega_2$

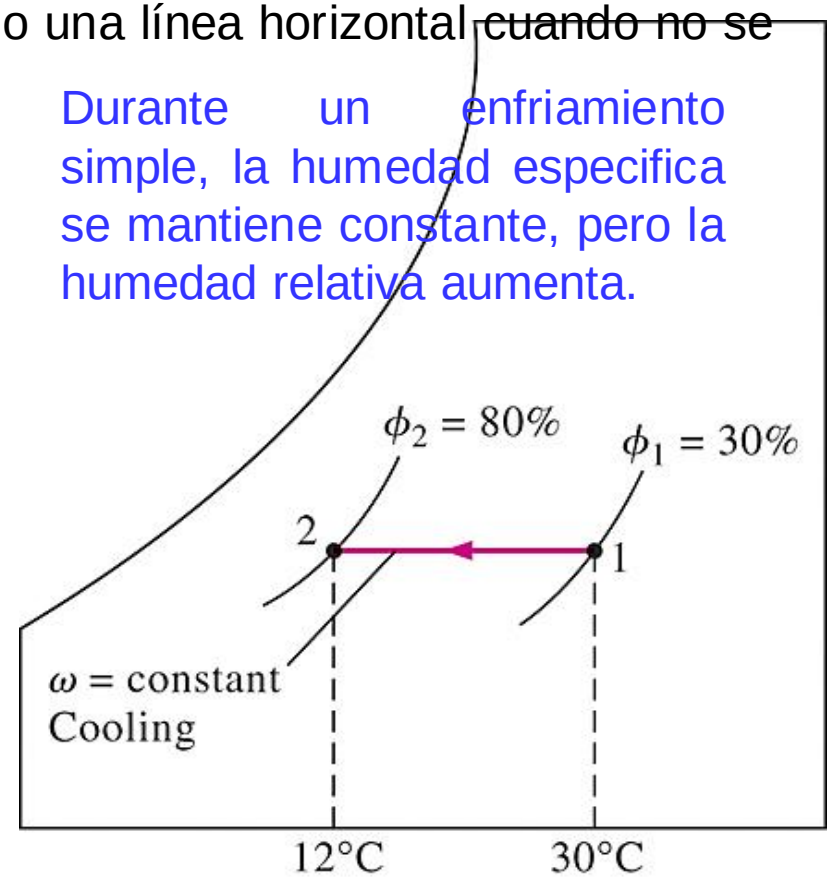
Balance de Energia

$$\dot{Q} = \dot{m}_a(h_2 - h_1) \quad \text{or} \quad q = h_2 - h_1$$



Durante un calentamiento simple, la humedad especifica se mantiene constante, pero la humedad relativa disminuye.

Durante un enfriamiento simple, la humedad especifica se mantiene constante, pero la humedad relativa aumenta.



Calentamiento con Humidificación

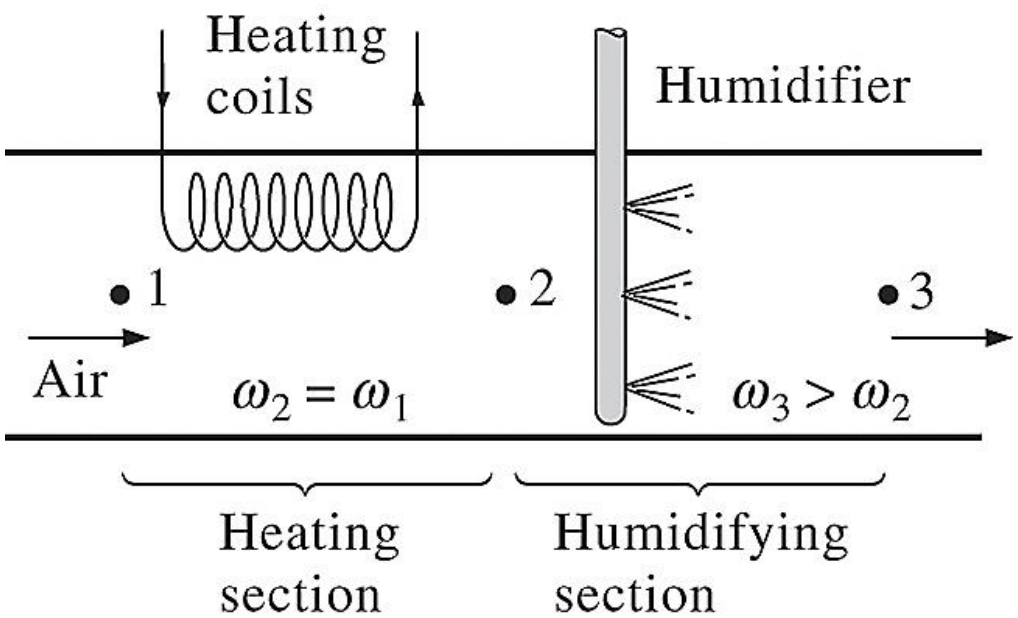
Los problemas con humedad relativa baja que resultan de un calentamiento simple pueden ser eliminados humidificando el aire calentado. Esto se logra haciendo pasar primero el aire a través de una sección de calentamiento y luego por una sección de humidificación.

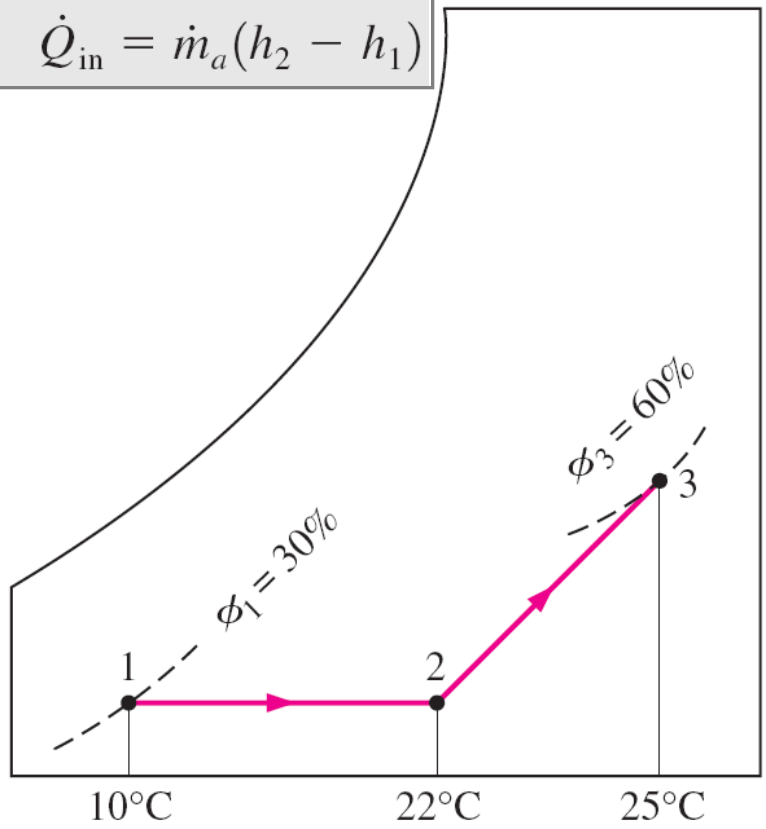
Dry air mass balance: $\dot{m}_{a_1} = \dot{m}_{a_2} = \dot{m}_a$

Water mass balance: $\dot{m}_{a_1}\omega_1 = \dot{m}_{a_2}\omega_2 \rightarrow \omega_1 = \omega_2$

Energy balance: $\dot{Q}_{in} + \dot{m}_a h_1 = \dot{m}_a h_2 \rightarrow \dot{Q}_{in} = \dot{m}_a(h_2 - h_1)$

$$\dot{m}_{a_2}\omega_2 + \dot{m}_w = \dot{m}_{a_3}\omega_3 \longrightarrow \dot{m}_w = \dot{m}_a(\omega_3 - \omega_2)$$





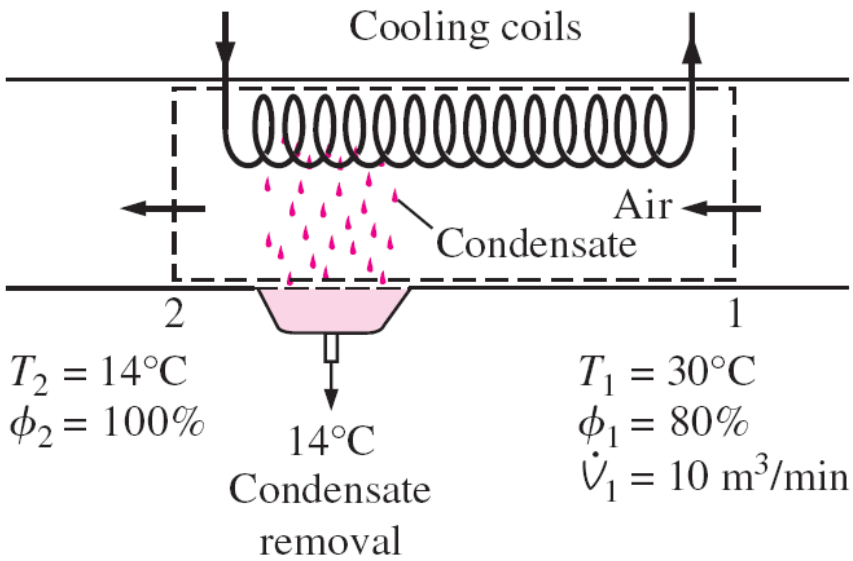
Enfriamiento con Deshumidificacion

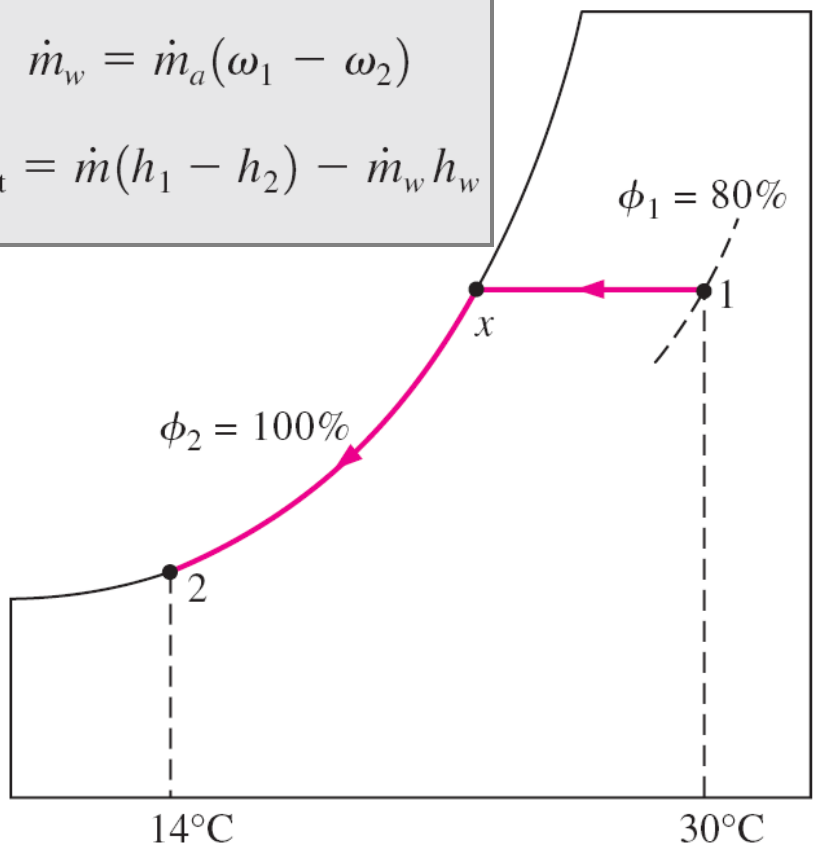
La humedad especifica del aire se mantiene constante durante un proceso de enfriamiento simple, pero su humedad relativa aumenta. Si la humedad relativa alcanza altos niveles no deseados, puede que sea necesario remover alguna humedad del aire, eso es, deshumidificarlo. Esto requiere enfriar el aire por debajo de su temperatura de punto de rocío.

Dry air mass balance: $\dot{m}_{a_1} = \dot{m}_{a_2} = \dot{m}_a$

Water mass balance: $\dot{m}_{a_1}\omega_1 = \dot{m}_{a_2}\omega_2 + \dot{m}_w \quad \rightarrow \quad \dot{m}_w = \dot{m}_a(\omega_1 - \omega_2)$

Energy balance: $\sum_{\text{in}} \dot{m}h = \dot{Q}_{\text{out}} + \sum_{\text{out}} \dot{m}h \quad \rightarrow \quad \dot{Q}_{\text{out}} = \dot{m}(h_1 - h_2) - \dot{m}_w h_w$



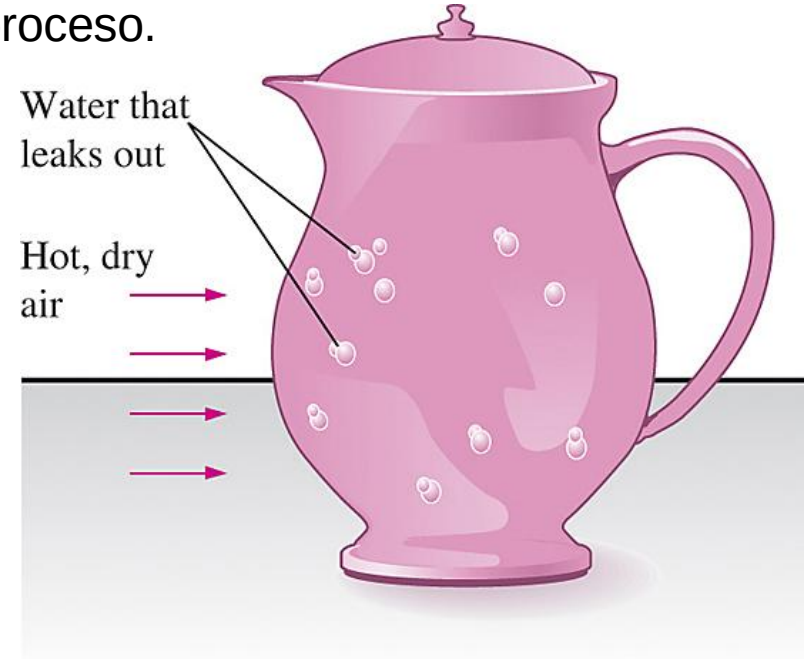


Enfriamiento Evaporativo

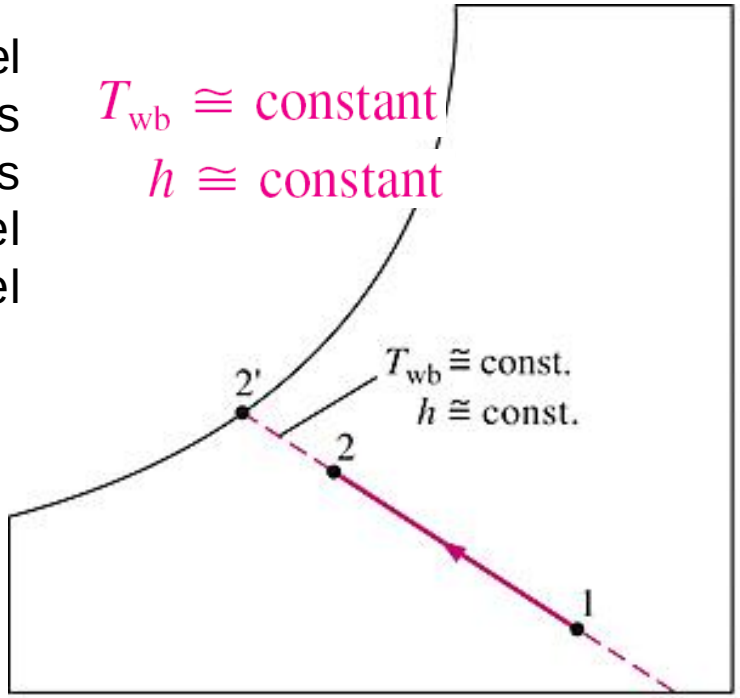
En climas desérticos (*caliente y seco*), podemos evitar el alto costo del enfriamiento convencional usando *enfriadores evaporativos*, también conocidos *swamp coolers*.

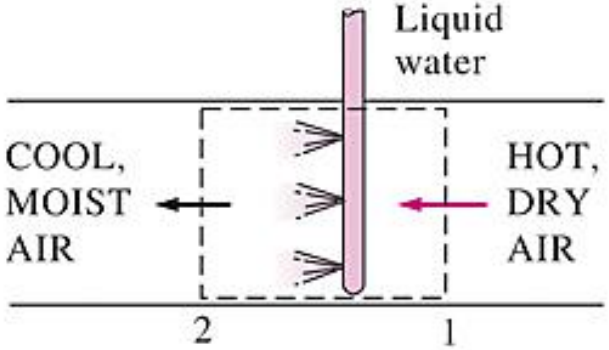
A medida que el agua se evapora, el calor latente de vaporización es absorbido del agua y el aire de los alrededores. Como resultado, ambos el agua y el aire son enfriados durante el proceso.

Este proceso es esencialmente idéntico a un proceso de saturación adiabático.



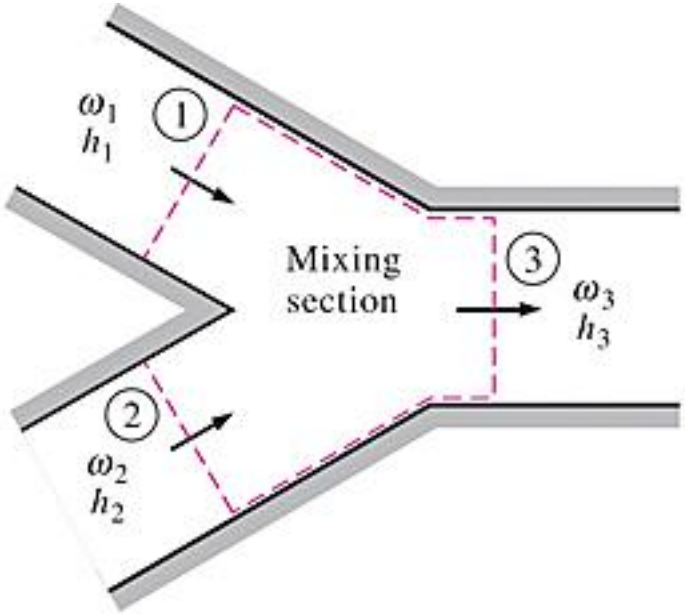
Agua en una jarra porosa en un área abierta y ventosa, se enfría como resultado del enfriamiento evaporativo.





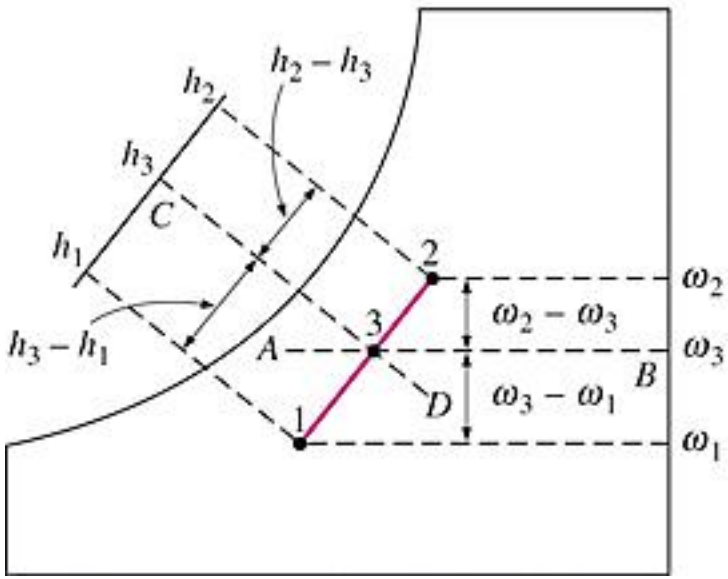
Mezcla adiabática de corrientes de aire

Muchas aplicaciones de A-C requieren la mezcla de dos corrientes de aire. Esto es particularmente cierto en grandes edificios, en la mayoría de plantas de producción y de procesos y hospitales, los cuales requieren que el aire acondicionado sea mezclado con una cierta fracción de aire fresco exterior antes de ser llevado dentro del espacio



Mass of dry air:	$\dot{m}_{a_1} + \dot{m}_{a_2} = \dot{m}_{a_3}$
Mass of water vapor:	$\omega_1 \dot{m}_{a_1} + \omega_2 \dot{m}_{a_2} = \omega_3 \dot{m}_{a_3}$
Energy:	$\dot{m}_{a_1} h_1 + \dot{m}_{a_2} h_2 = \dot{m}_{a_3} h_3$

$$\frac{\dot{m}_{a_1}}{\dot{m}_{a_2}} = \frac{\omega_2 - \omega_3}{\omega_3 - \omega_1} = \frac{h_2 - h_3}{h_3 - h_1}$$

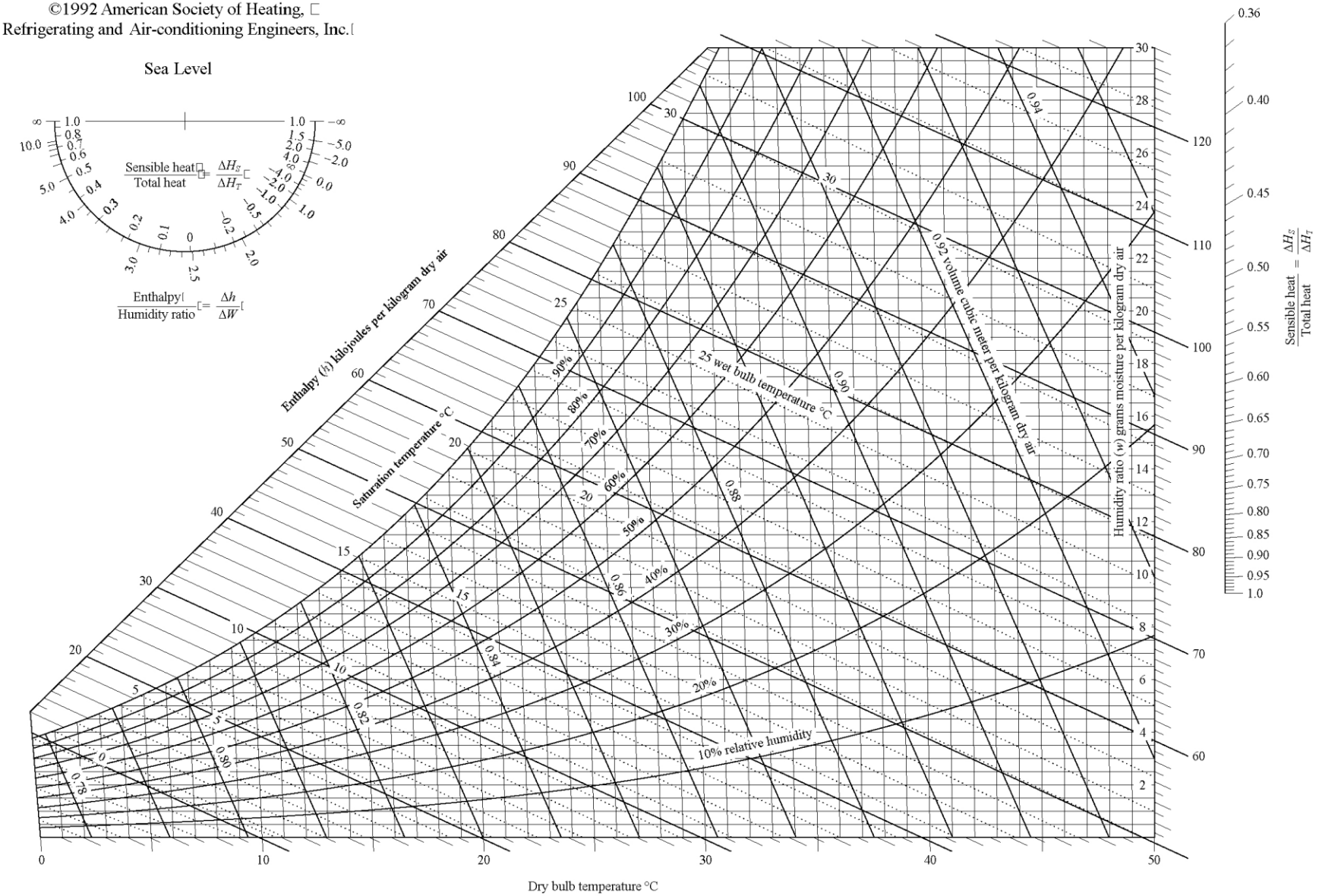


Cuando dos corrientes de aire en estados 1 y 2 se mezclan adiabáticamente, el estado de la mezcla yace en la línea recta que conecta los dos estados.

ASHRAE Pshychrometric Chart No. 1
Normal Temperature
Barometric Pressure: 101.325 kPa

©1992 American Society of Heating,
Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc.

Sea Level



Prepared by Center for Applied Thermodynamic Studies, University of Idaho

Ejemplo 14-5

Determine la humedad relativa, la razón de humedad (Humedad especifica), entalpia del aire atmosférico por unidad de masa de aire seco y el volumen especifico de la mezcla por unidad de masa de aire seco en un estado en el cual la temperatura de bulbo seco es 24°C, la temperatura de bulbo húmedo es 16°C y la presión atmosférica es 100 kPa.

De la carta psicrométrica leemos

$$\phi = 44\%$$

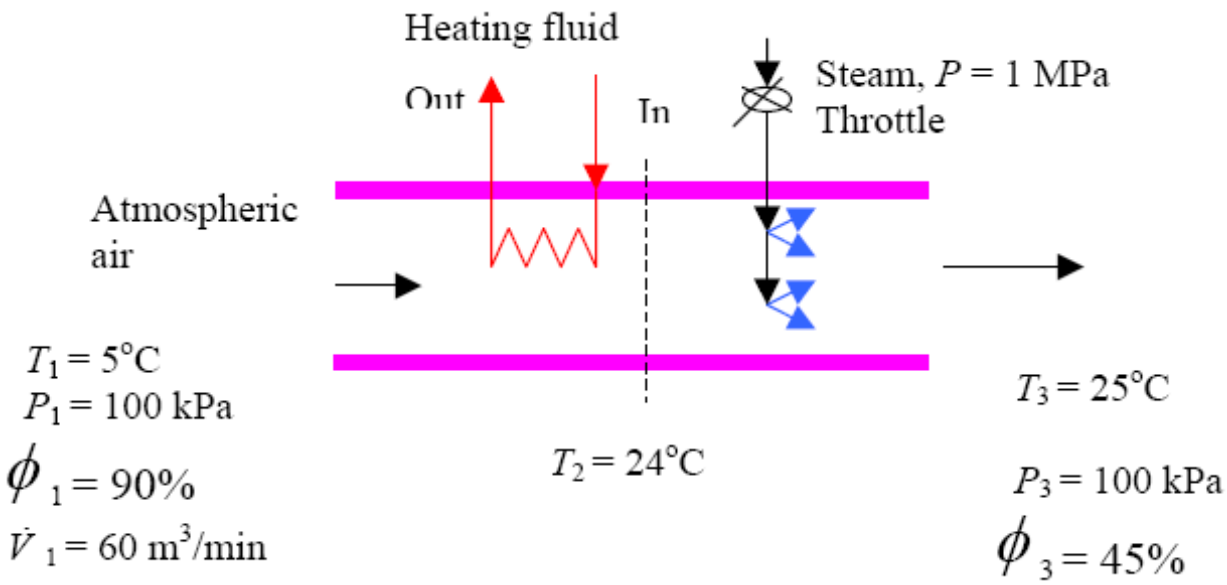
$$\omega = 8.0 \frac{g_v}{kg_a} = 0.008 \frac{kg_v}{kg_a}$$

$$h = 46 \frac{kJ}{kg_a}$$

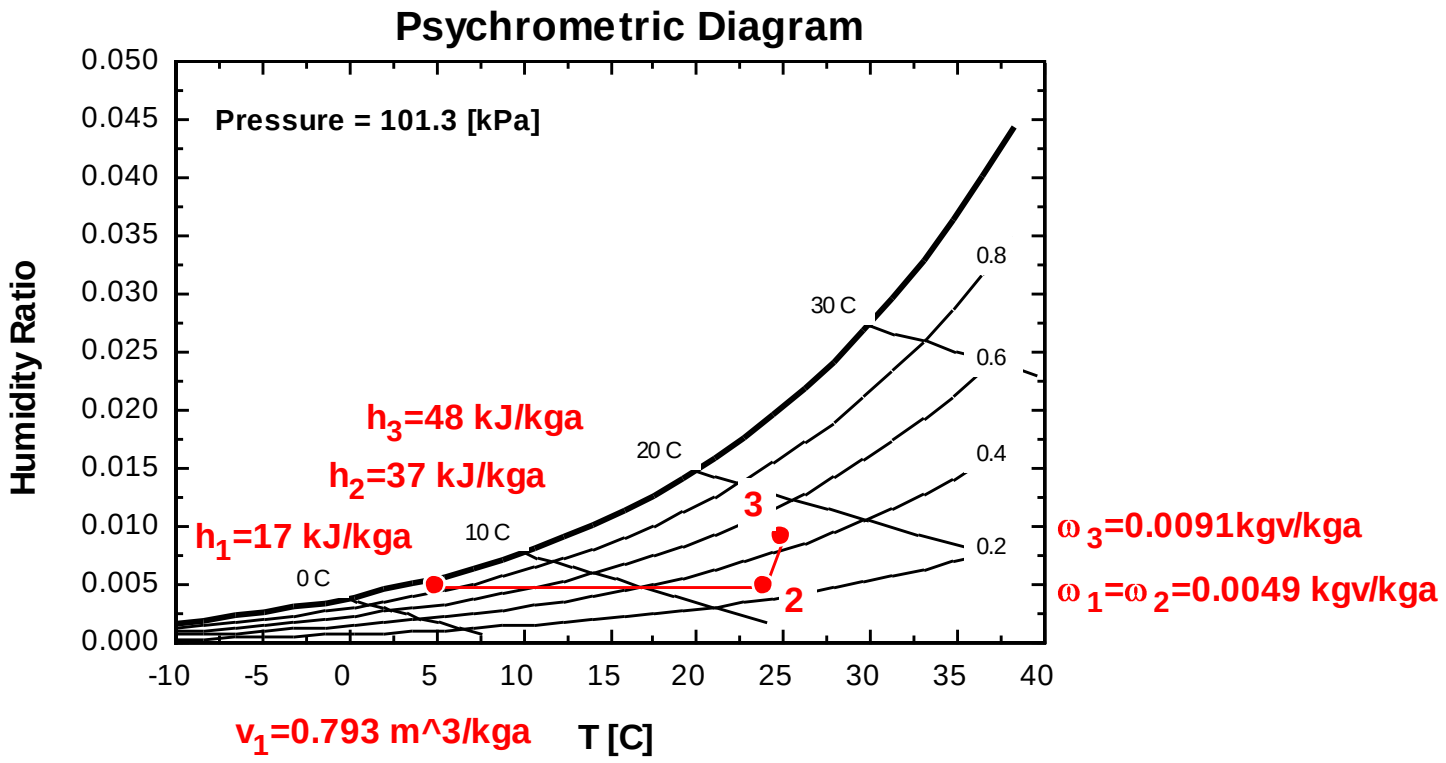
$$v = 0.853 \frac{m^3}{kg_a}$$

Ejemplo 14-6

Para el sistema de acondicionamiento de aire mostrado debajo en el cual el aire atmosférico es calentado primero y luego humidificado con vapor rociado, determine la razón de transferencia de calor requerida en la sección de calentamiento a la temperatura del vapor requerida en la sección de humidificación cuando la presión el vapor es de 1 MPa.



El diagrama psicométrico es



Aplicando la conservación de la masa y la conservación de la energía para estado estable a los procesos
1-2.

La Conservación de la masa para un volumen de control de flujo estable es

$$\sum_{inlets} \dot{m}_i = \sum_{exits} \dot{m}_e$$

Para el aire seco

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a$$

Para el vapor de agua (nota: no se añade o condensa agua durante el calentamiento simple

$$\dot{m}_{v1} = \dot{m}_{v2}$$

Por tanto,

$$\omega_2 = \omega_1$$

Despreciando las energías cinéticas y potencial y notando que el trabajo es cero y dejando que la entalpia de la mezcla por unidad de masa del aire *h* sea definido como

$$h = h_a + \omega h_v$$

Obtenemos

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out}$$

$$\dot{Q}_{in} + \dot{m}_a h_1 = \dot{m}_a h_2$$

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_a (h_2 - h_1)$$

Ahora para encontrar el $\dot{m}_a$ y h's usando la carta psicométrica.

At T_1 = 5oC, ϕ_1 = 90%, and T_2 = 24°C:

$$\left.\begin{array}{l}\phi_1 = 90\% \\ T_1 = 5^o C\end{array}\right\}\left\{\begin{array}{l} h_1 = 17\,\dfrac{kJ}{kg_a} \\ \omega_1 = 0.0049\,\dfrac{kg_v}{kg_a} \\ v_1 = 0.793\,\dfrac{m^3}{kg_a}\end{array}\right.$$

$$\left.\begin{array}{l}\omega_2 = \omega_1 = 0.0049\,\dfrac{kg_v}{kg_a} \\ T_2 = 24^o C\end{array}\right\}\left\{ h_2 = 37\,\dfrac{kJ}{kg_a}\right.$$

La razón de flujo másico de aire seco esta dada por

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{V}_1}{v_1}$$

$$\dot{m}_a = \frac{60\dfrac{m^3}{\min}}{0.793\dfrac{m^3}{kg_a}} = 75.66\frac{kg_a}{\min}\frac{1\min}{60s} = 1.261\frac{kg_a}{s}$$

La transferencia de calor requerida para la sección de calentamiento es

$$\dot{Q}_{in} = 1.261\frac{kg_a}{s}(37-17)\frac{kJ}{kg_a}\frac{1kWs}{kJ}$$
$$= 25.22\,kW$$

Esta es la transferencia de calor requerida para el aire atmosférico. Enliste algunas maneras de las cuales esta cantidad de calor puede ser suplido.

A la salida, estado 3, T_3 = 25°C y ϕ_3 = 45%. La carta psicométrica da

$$\left.\begin{array}{l}\phi_3 = 45\% \\ T_3 = 25^o C\end{array}\right\}\left\{\begin{array}{l} h_3 = 48\dfrac{kJ}{kg_a} \\ \omega_3 = 0.0089\dfrac{kg_v}{kg_a} \\ v_3 = 0.858\dfrac{m^3}{kg_a}\end{array}\right.$$

Aplicando la conservación de la masa y la conservación de energía a los procesos 2-3.

La Conservación de la masa para un volumen de control para flujo estable es

$$\sum_{inlets} \dot{m}_i = \sum_{exits} \dot{m}_e$$

Para el aire seco

$$\dot{m}_{a2} = \dot{m}_{a3} = \dot{m}_a$$

Para el vapor de agua (nota: Agua es añadida durante el proceso de humidificación)

$$\begin{aligned}
\dot{m}_{v2} + \dot{m}_s &= \dot{m}_{v3} \\
\dot{m}_s &= \dot{m}_{v3} - \dot{m}_{v2} \\
\dot{m}_s &= \dot{m}_a (\omega_3 - \omega_2) \\
&= 1.261 \frac{kg_a}{s} (0.0089 - 0.0049) \frac{kg_v}{kg_a} \\
&= 0.00504 \frac{kg_v}{s}
\end{aligned}$$

Despreciando las energías cinética y potencial y notando que la transferencia de calor y el trabajo son cero, La conservación de la energía produce

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out}$$

$$\dot{m}_a h_2 + \dot{m}_s h_s = \dot{m}_a h_3$$

$$\dot{m}_s h_s = \dot{m}_a (h_3 - h_2)$$

Resolviendo para la entalpia del vapor,

$$\dot{m}_a (\omega_3 - \omega_2) h_s = \dot{m}_a (h_3 - h_2)$$

$$h_s = \frac{h_3 - h_2}{\omega_3 - \omega_2}$$

$$h_s = \frac{(48 - 37)\dfrac{kJ}{kg_a}}{(0.0089 - 0.0049)\dfrac{kg_v}{kg_a}}$$

$$= 2750 \frac{kJ}{kg_v}$$

A P_s = 1 MPa y h_s = 2750 kJ/kg$_v$, T_s = 179.88^{o}C y la calidad x_s = 0.985.

Vea el libro de texto para aplicaciones que involucran enfriamiento con deshumidificación, Enfriamiento evaporativo, Mezcla adiabática de corrientes de aire y torres de enfriamiento húmedo.