

Mezclas de gases ideales y aplicaciones psicrométricas.

Aplicaciones de Mezclas de Gases Ideales

▶ Dos aplicaciones de particular importancia:

1. Sistemas que involucran **reacciones químicas**, en particular, la combustión. Para estas aplicaciones se emplea la **base molar**.

2. Sistemas de **aire acondicionado** y sistemas que implican **el control puntual del vapor de agua en mezclas de gases**. Para estas aplicaciones se emplea la **base en masa**.

▶ El término **aire húmedo** se refiere a una **mezcla de aire seco y vapor de agua*** en la cual el aire seco se trata como una componente pura.

* También puede estar presente una fase líquida.

Aplicaciones psicrométricas

- ▶ El **modelo de Dalton** se aplica al aire húmedo.
 - ▶ Si se asocia al aire seco con el gas 1 y al vapor de agua con el gas 2 de la tabla, se pueden obtener las relaciones del aire húmedo con base en la masa.
 - ▶ El estudio termodinámico de sistemas que involucran al aire húmedo se conoce como ***psicrometría***.
- El concepto deriva del griego ψυχρομετρία, compuesto por ψυχρός, frío, y μετρία, medición

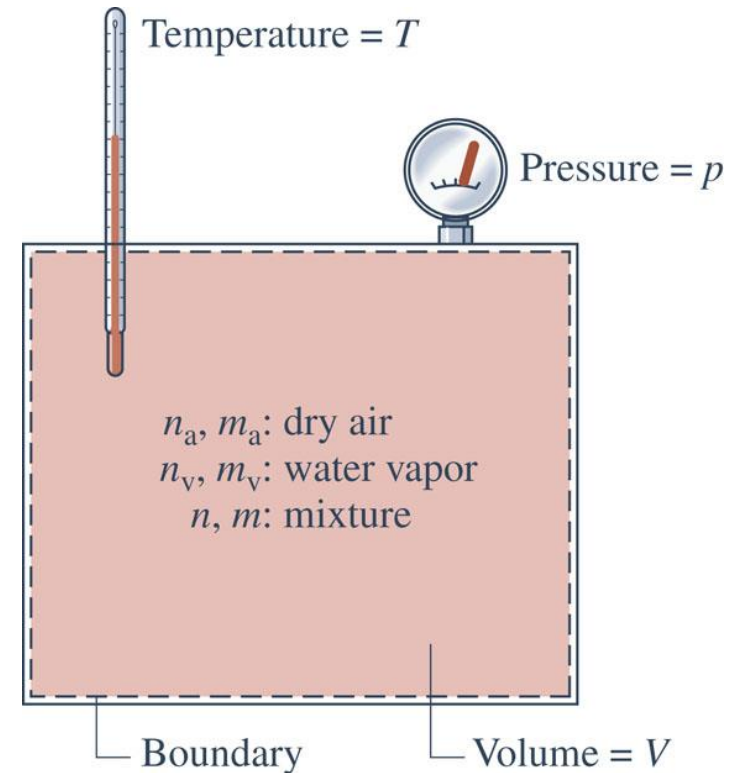
Aire húmedo

► Sea un sistema cerrado compuesto por aire húmedo que ocupa un volume V a una presión p y temperatura T .

► En el aire húmedo la cantidad de vapor de agua es **mucho menor** que la cantidad de aire seco:

$$m_v \ll m_a \quad n_v \ll n_a.$$

► El modelo de Dalton se aplica a la mezcla de aire seco y vapor de agua:



Aire húmedo

1. La **mezcla y cada componente**, aire seco y vapor de agua, **satisfacen la ec de estado del gas ideal**.
2. Se supone que tanto **el aire seco** como el **vapor de agua** en la mezcla, por si solos ocupan el volumen V a la temperatura T **en tanto que cada uno ejerce sólo una parte de la presión total**.
3. Las **presiones parciales** p_a y p_v del aire seco y del vapor de agua son

$$p_a = y_a p$$

$$p_v = y_v p$$

donde y_a y y_v son las **fracciones molares del aire seco y del vapor de agua**.

Aire húmedo

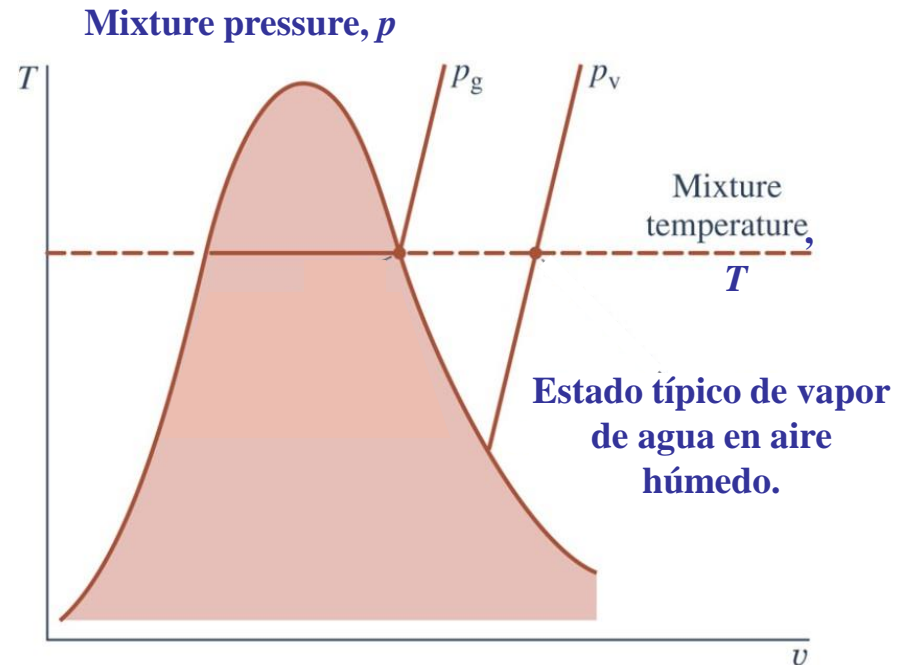
4. La presión de la mezcla es la suma de las presiones parciales del aire seco y del vapor:

$$p = p_a + p_v$$

La presión parcial de vapor de agua se denomina presión de vapor.

5. Un estado típico de vapor en aire húmedo queda establecido por la presión parcial p_v y la temperatura T .

El vapor en dicho estado está **sobrecalentado**.

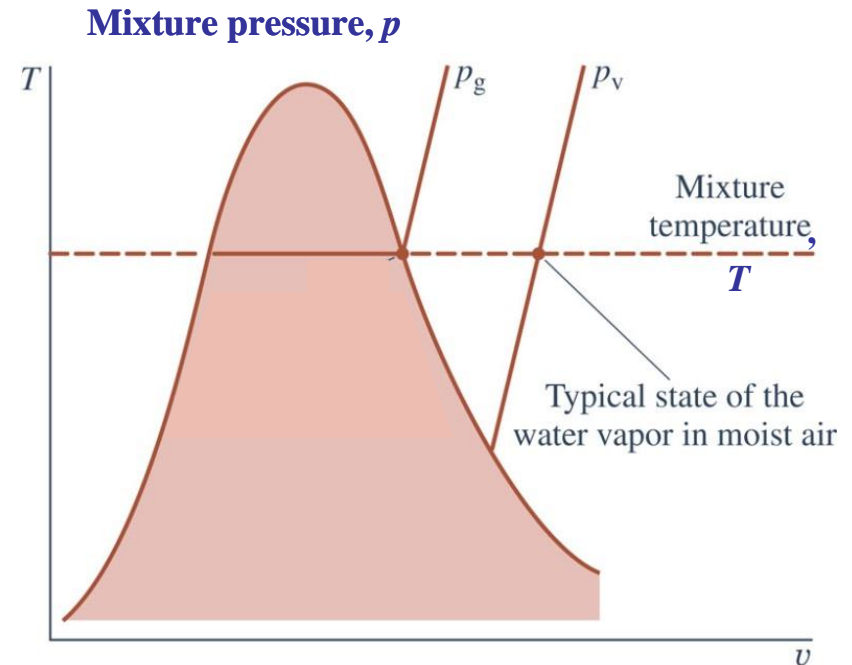


Aire húmedo

6. Cuando p_v corresponde a p_g a la temperatura T , se dice que la mezcla está **saturada**.

7. El cociente de p_v y p_g se denomina **humedad relativa**, ϕ :

$$\phi = \frac{p_v}{p_g} \Bigg)_{T, p}$$



La humedad relativa se suele expresar como un porcentaje

Aire seco
($p_v = 0$)



$$0 \leq \phi \leq 100\%$$



Aire saturado
($p_v = p_g$)

Razón de mezcla o humedad específica

► La **humedad específica o relación de humedad** ω de una muestra de aire húmedo es el cociente de m_v y m_a .

$$\omega = \frac{m_v}{m_a}$$

Como $m_v \ll m_a$, el valor de ω es en general $\ll 1$.

► A partir de la ecuación del gas ideal y de la relación $p_a = p - p_v$

$$18.02/28.97 = 0.622$$

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} = \frac{M_v p_v V / \bar{R}T}{M_a p_a V / \bar{R}T} = \frac{M_v p_v}{M_a p_a} = \left(\frac{M_v}{M_a} \right) \left(\frac{p_v}{p - p_v} \right)$$

$$\omega = 0.622 \frac{p_v}{p - p_v}$$

Entalpía de la mezcla

▶ Los valores para U , H , y S del aire húmedo pueden establecerse mediante la suma de cada componente.

▶ Por ejemplo, la **entalpía H** es

$$H = H_a + H_v = m_a h_a + m_v h_v$$

▶ Si se divide por m_a y se emplea ω , la **entalpía de mezcla por unidad de masa de aire seco** es

$$\frac{H}{m_a} = h_a + \frac{m_v}{m_a} h_v = h_a + \omega h_v$$

▶ Para **aire húmedo**, la entalpía h_v es, en buena aproximación, la que corresponde a la del valor de saturación a la temperatura dada.

$$h_v \approx h_g(T)$$

Calentamiento de aire húmedo en un ducto

Ejemplo: AH que entra a un ducto a 10°C , 80% humedad relativa, se calienta conforme fluye por él, y sale a 30°C . No se agrega o añade humedad y la presión de la mezcla permanece constante a 1 bar . Para flujo estacionario, e ignorando EC EP, calcula

- (a) la **humedad relativa**, ω_2 , y
- (b) la **transferencia de calor**, en **kJ por kg de aire seco**.

Calentamiento de aire húmedo en un ducto

Solución:

(a) En flujo estacionario, el balance de masa para el aire seco y el vapor de agua es:

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} \quad (\text{aire seco})$$

$$\dot{m}_{v1} = \dot{m}_{v2} \quad (\text{vapor de agua})$$

Los flujos de masa del aire y del vapor no cambian entre la entrada y la salida, por simplicidad se denotan por \dot{m}_a y \dot{m}_v . Además, como no se agrega y ni se extrae humedad, la humedad específica no cambia entre la salida y la entrada: $\omega_1 = \omega_2$. La humedad específica se denota como ω .

$$\omega = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_a}$$

Calentamiento de aire húmedo en un ducto

La **humedad específica** se calcula con los datos de la entrada:

- La presión parcial del vapor de agua a la entrada, p_{v1} , puede evaluarse a partir de la humedad relativa a la entrada ϕ_1 y la presión de saturación p_{g1} a 10°C de **tablas**:

$$p_{v1} = \phi_1 p_{g1} = 0.8(0.01228 \text{ bar}) = 0.0098 \text{ bar}$$

- La humedad específica se calcula y es:

$$\omega = 0.622 \frac{p_v}{p - p_v} = 0.622 \left(\frac{0.0098}{1 - 0.0098} \right) = 0.00616 \frac{\text{kg (vapor)}}{\text{kg (dry air)}}$$

Calentamiento de aire húmedo en un ducto

(b) La forma en flujo estacionario del balance de flujo de energía se reduce a:

$$0 = \dot{Q}_{cv} - \cancel{\dot{W}_{cv}} + (\dot{m}_a h_{a1} + \dot{m}_v h_{v1}) - (\dot{m}_a h_{a2} + \dot{m}_v h_{v2})$$

• Despejando \dot{Q}_{cv}

$$\dot{Q}_{cv} = \dot{m}_a (h_{a2} - h_{a1}) + \dot{m}_v (h_{v2} - h_{v1})$$

• Notemos que $\dot{m}_v = \omega \dot{m}_a$, así

$$\frac{\dot{Q}_{cv}}{\dot{m}_a} = (h_{a2} - h_{a1}) + \omega (h_{v2} - h_{v1})$$

Calentamiento de aire húmedo en un ducto

$$\frac{\dot{Q}_{cv}}{\dot{m}_a} = \underbrace{(h_{a2} - h_{a1})}_{\text{aire seco}} + \omega \underbrace{(h_{v2} - h_{v1})}_{\text{vapor de agua}}$$

Para el **aire seco**, h_{a1} y h_{a2} se obtienen de **tablas de gas ideal** a 10 y 30 °C, respectivamente.

Para el **vapor de agua**, h_{v1} y h_{v2} se obtienen de tablas de vapor de agua a 10 y 30 °C, respectivamente, si $h_v \approx h_g$

$$\frac{\dot{Q}_{cv}}{\dot{m}_a} = (303.2 - 283.1) \frac{\text{kJ}}{\text{kg (aire seco)}} + \left(0.00616 \frac{\text{kg (vapor)}}{\text{kg (aire seco)}} \right) (2556.3 - 2519.8) \frac{\text{kJ}}{\text{kg (vapor)}}$$

$$\frac{\dot{Q}_{cv}}{\dot{m}_a} = \underline{(20.1 + 0.22)} \frac{\text{kJ}}{\text{kg (aire seco)}} = 20.32 \frac{\text{kJ}}{\text{kg (aire seco)}}$$

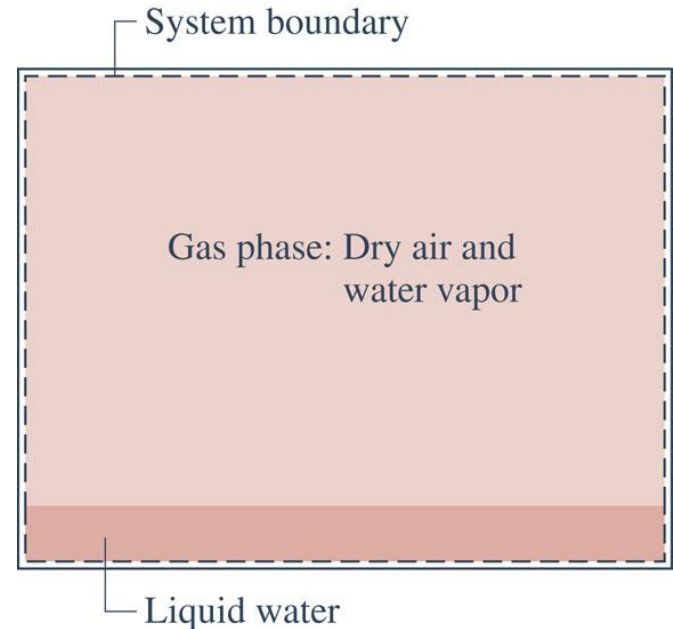
La contribución a la magnitud de la transferencia de calor del vapor de agua es relativamente menor.

Aire húmedo en equilibrio con agua líquido

Muchos sistemas de interés involucran aire húmedo en contacto con agua en estado sólido y líquido.

Idealizando un sistema como el de la figura, el líquido se evaporará hasta que la fase gaseosa se satura y el sistema alcanza el equilibrio. Para muchas aplicaciones, un sistema que consiste de aire húmedo en equilibrio con una fase líquida puede describirse en forma sencilla y con precisión con las siguientes idealizaciones:

- El aire seco y el vapor se comportan como gases ideales independientes.
- El equilibrio entre la fase líquida y el vapor de agua no se ve afectado en forma significativa por la presencia del aire
- La presión parcial del vapor iguala a la presión de saturación del agua que corresponde a la temperatura de la mezcla
 $p_v = p_g(T)$



Temperatura de punto de rocío

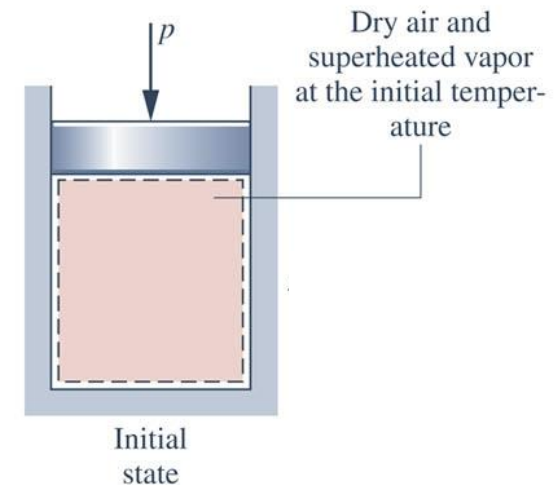
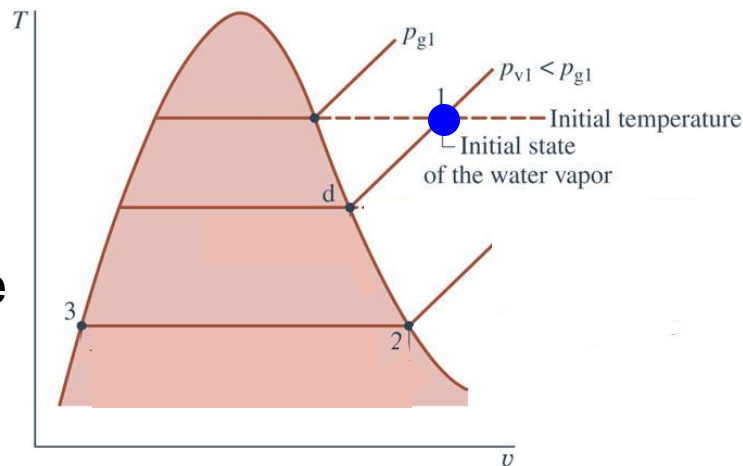
► Cuando el aire húmedo se enfría, **la condensación parcial** del vapor inicialmente presente puede ocurrir. Esto se observa en la condensación de vapor sobre ventanas y la formación de rocío en el pasto.

► **Un caso especial** importante es el enfriamiento de aire húmedo a **presión (de la mezcla) constante, p** .

► La figura muestra una muestra de aire húmedo, inicialmente en el estado 1, para el cual el **vapor de agua está sobrecalentado**.

El diagrama $T-v$ indica los estados del agua.

► Analicemos el sistema conforme se enfría a partir de su temperatura inicial.



Temperatura de punto de rocío

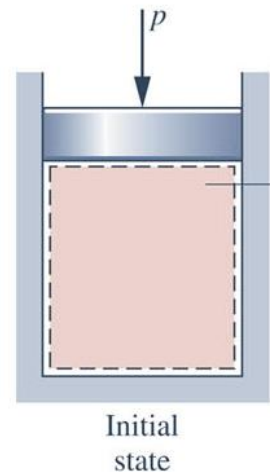
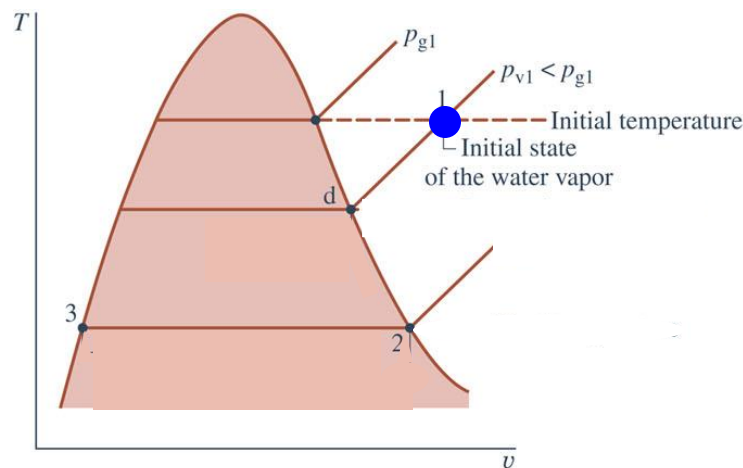
▶ Al inicio del proceso de enfriamiento, la **presión de la mezcla** y la **fracción molar del vapor** permanecen constantes.

▶ Como $p_v = y_v p$, la presión parcial del vapor permanece constante.

▶ Así, el vapor se enfría a p_v constante del estado 1 al estado d, denominado **punto de rocío**.

▶ La temperatura para el estado d se denomina **temperatura de punto de rocío**.

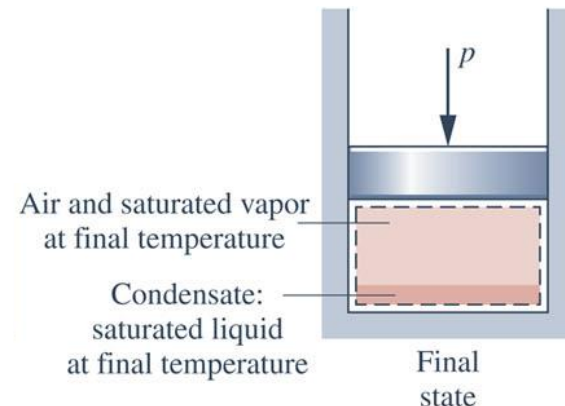
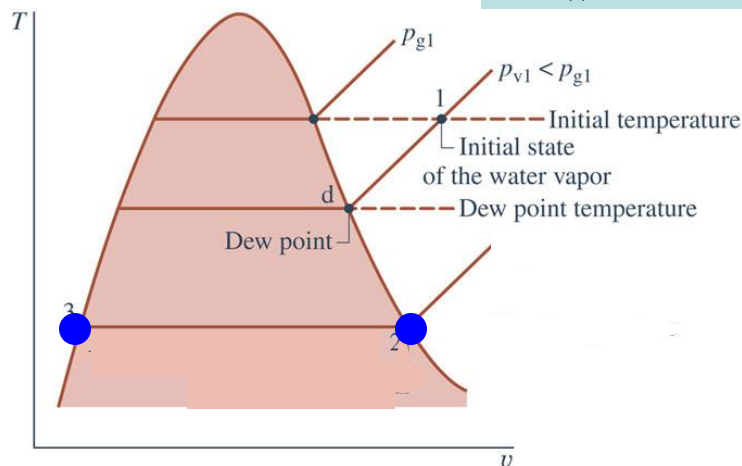
▶ Conforme el sistema se enfría **por debajo de la temperatura del punto de rocío**, algo **del vapor de agua inicial se condensa**. El resto permanece como vapor.



Temperatura de punto de rocío

- ▶ A la **temperatura final**, el sistema consiste del aire seco inicialmente presente más **vapor saturado** y **líquido saturado**.
- ▶ Dado que parte del vapor inicial se condensa, la **presión parcial del vapor de agua en el estado final**, p_{g2} , es menor que la **presión parcial inicial**, p_{v1} .
- ▶ La **cantidad de agua que se condensa**, m_w , es igual a la diferencia entre las cantidades de vapor inicial y final:

$$m_w = m_{v1} - m_{v2}$$



Temperatura de punto de rocío

► Como $m_v = \omega m_a$ y dado que la cantidad de aire seco permanece constante, la **la cantidad de agua condensada por unudad de masa de aire seco** es

$$\frac{m_w}{m_a} = \omega_1 - \omega_2$$

donde

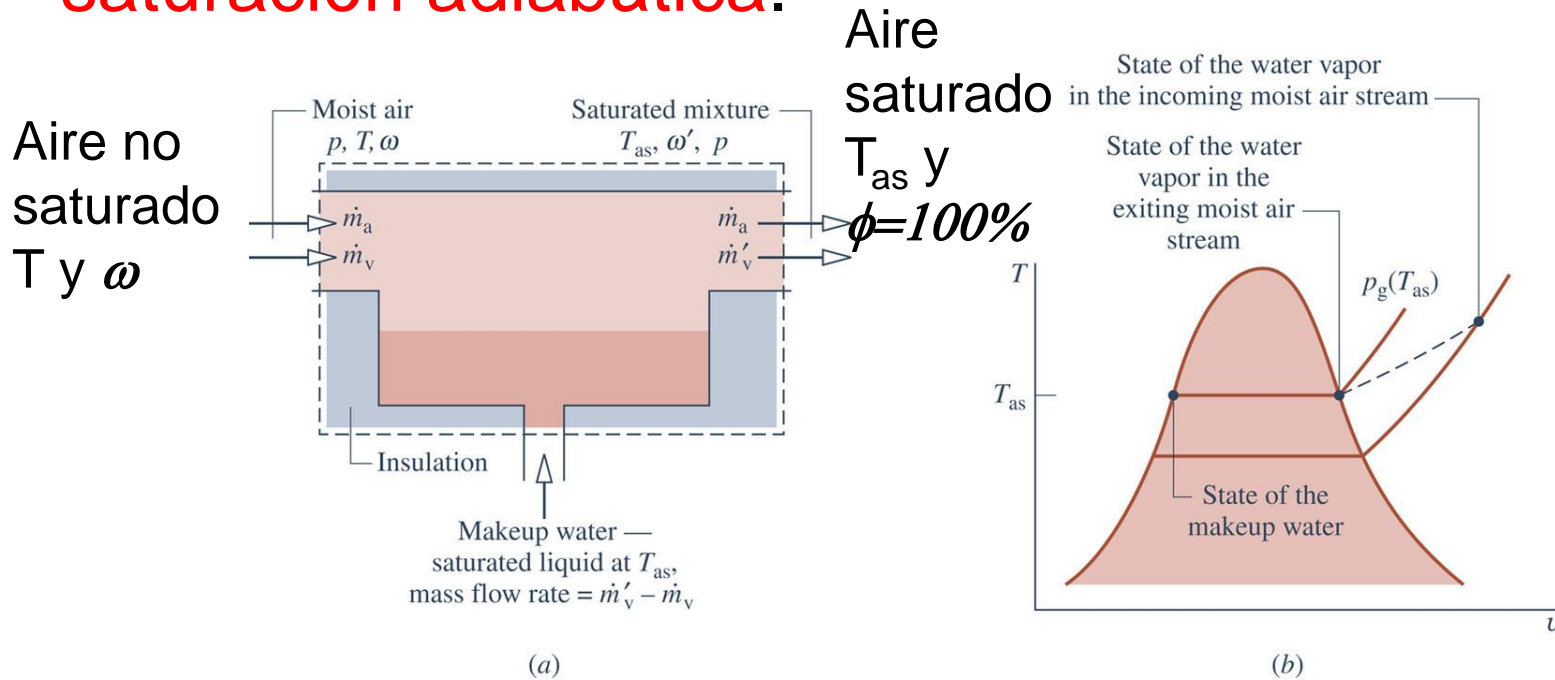
$$\omega_1 = 0.622 \left(\frac{p_{v1}}{p - p_{v1}} \right)$$

$$\omega_2 = 0.622 \left(\frac{p_{g2}}{p - p_{g2}} \right)$$

y p representa la presión de la mezcla, que se mantiene constante mientras se da el enfriamiento.

Medición de la humedad relativa y de humedad específica

Si se conoce la temperatura del punto de rocío es posible establecer p_v y con ello ϕ . pero es poco práctico. Otra posibilidad es emplear un **proceso de saturación adiabática**.



Medición de la humedad relativa y de humedad específica

Temperatura de bulbo seco y temperatura de bulbo húmedo

▶ Hay dos temperaturas de importancia para aplicaciones de aire húmedo la temperaturas de ***bulbo seco*** y ***bulbo húmedo***.

▶ La **temperatura de bulbo seco**, T_{db} , es simplemente la temperatura medida por un termómetro colocado en el aire húmedo.

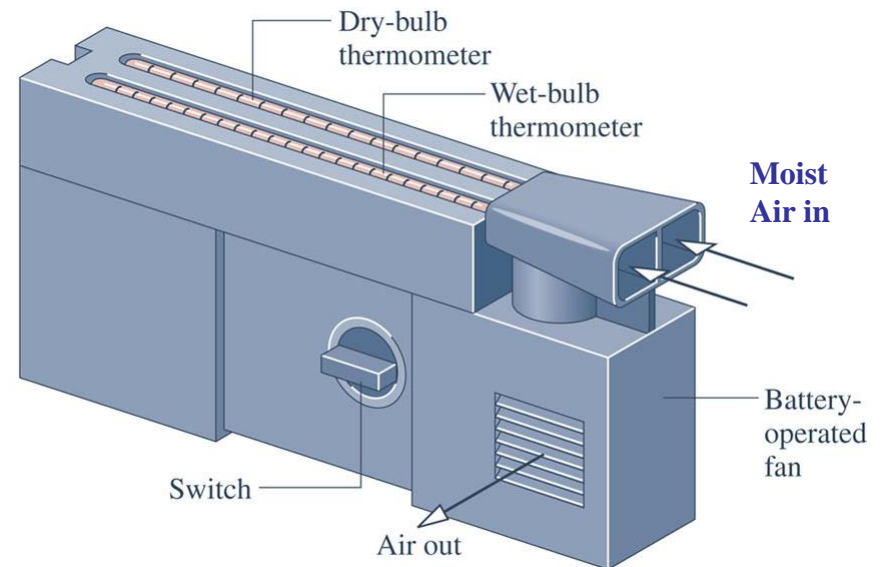
▶ La **temperatura de bulbo húmedo**, T_{wb} , es la temperatura medida por un termómetro cuyo bulbo se encuentra rodeado por una mecha húmeda.

Temperatura de bulbo seco y temperatura de bulbo húmedo

▶ La figura muestra un termómetro de cada tipo montado sobre un aparato llamado **psicrómetro**. El flujo de aire húmedo es inducido por un ventilador alimentado por una pila.

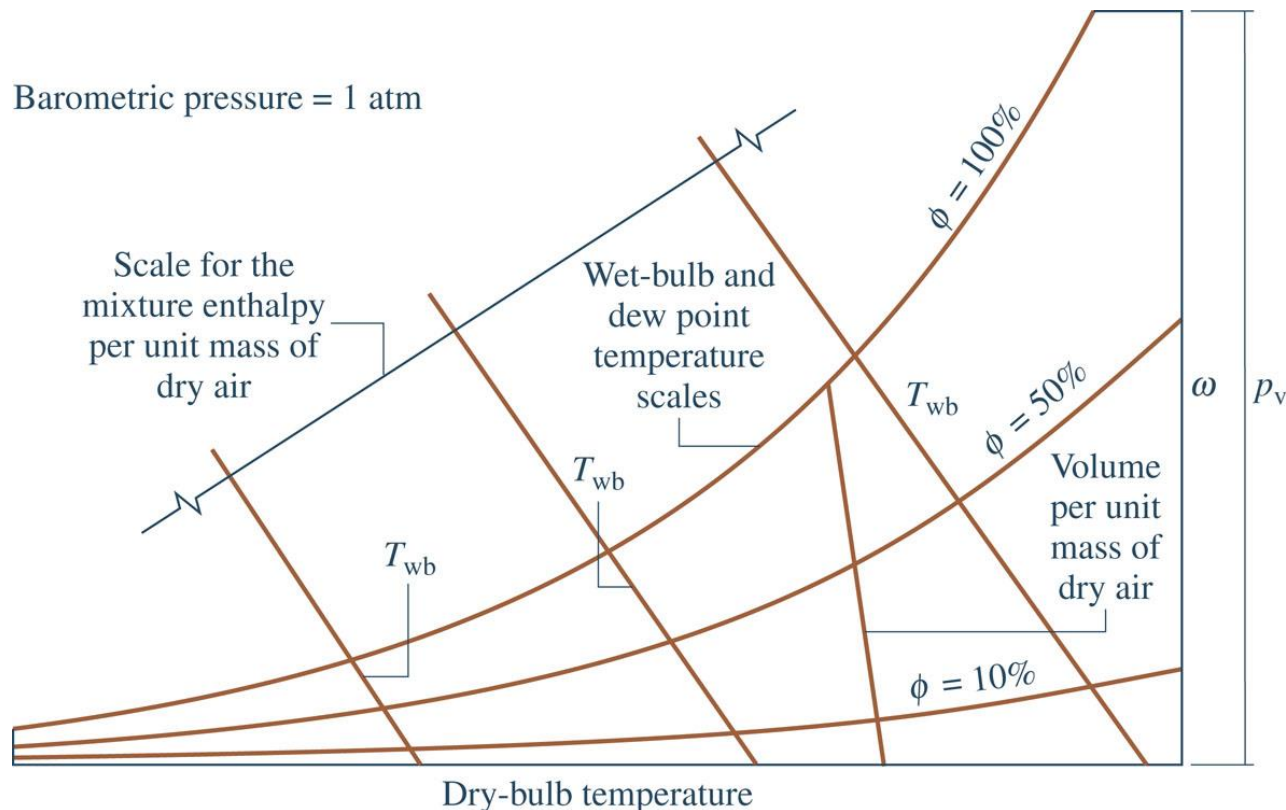
▶ Dado que hay evaporación de la mecha al aire húmedo, la temperatura del termómetro de bulbo húmedo es menor que la de bulbo seco: $T_{wb} < T_{db}$.

▶ Cada temperatura se lee fácilmente.



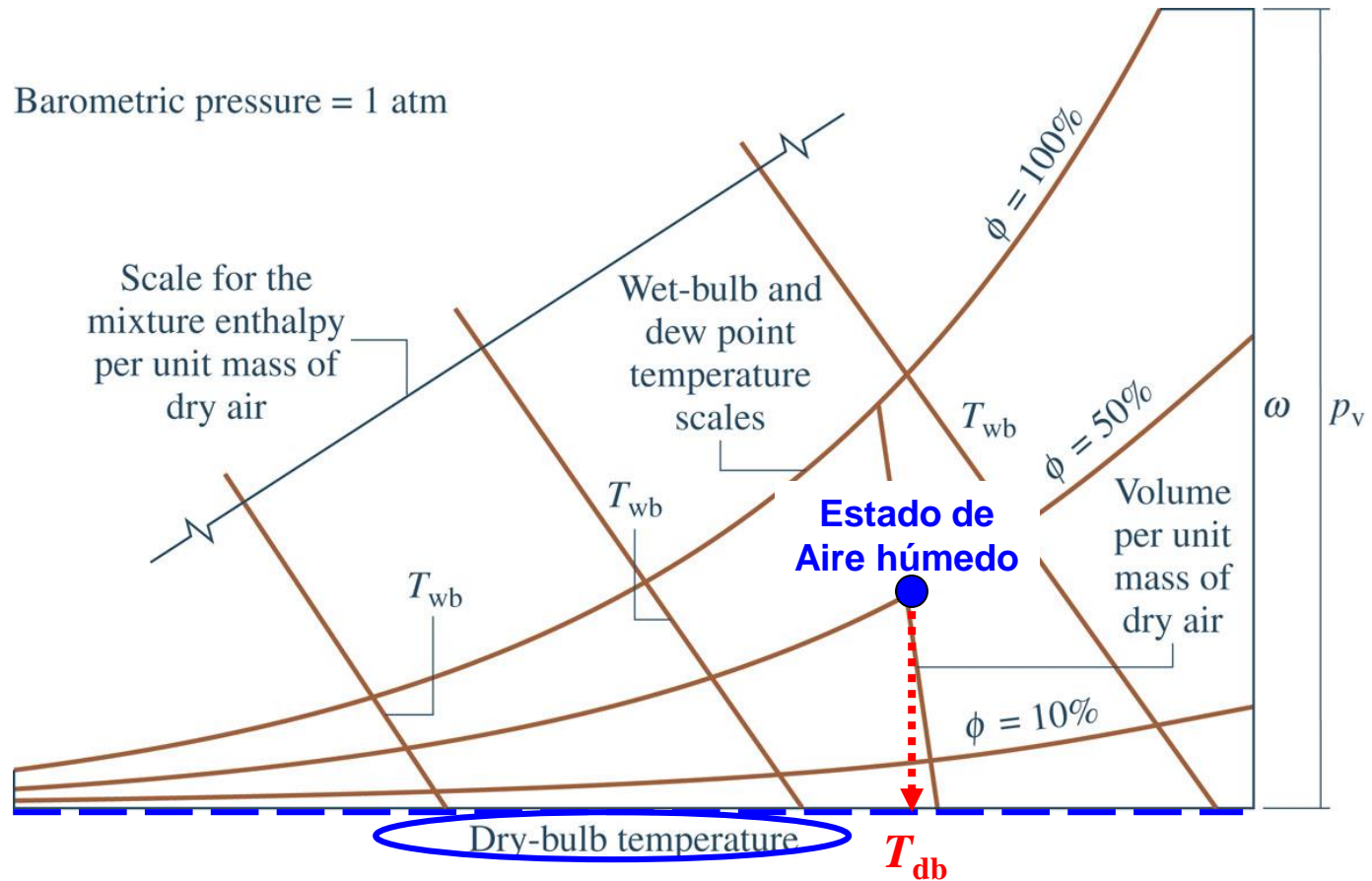
Carta psicrométrica

- ▶ La representación gráfica de la información del aire húmedo se presenta en las **cartas psicrométricas**.
- ▶ Estas cartas están construídas para aire húmedo a **1 atm**.
- ▶ Las características importantes de las cartas psicrométricas incluyen



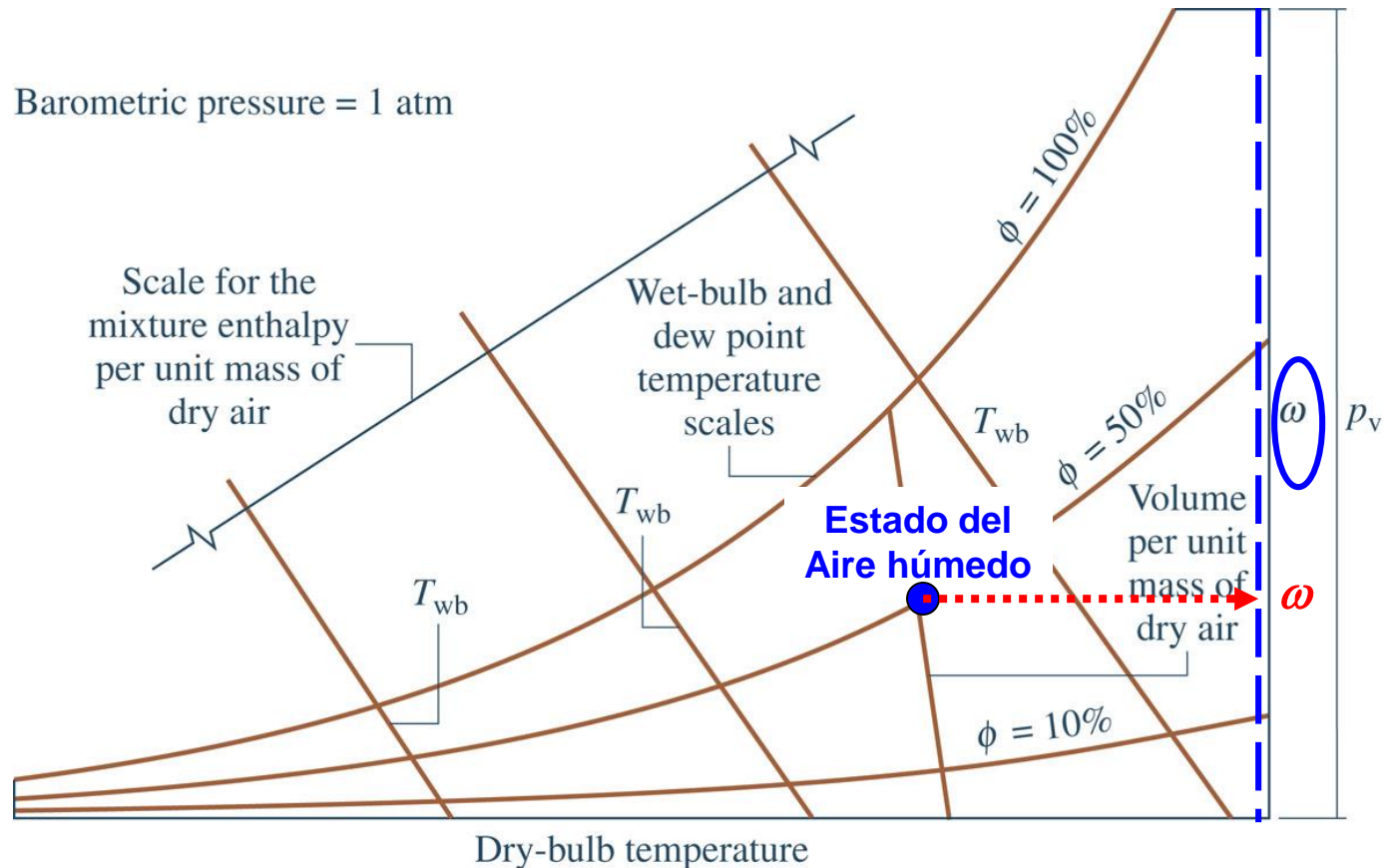
Carta psicrométrica

► Temperatura de bulbo seco, T_{db} .



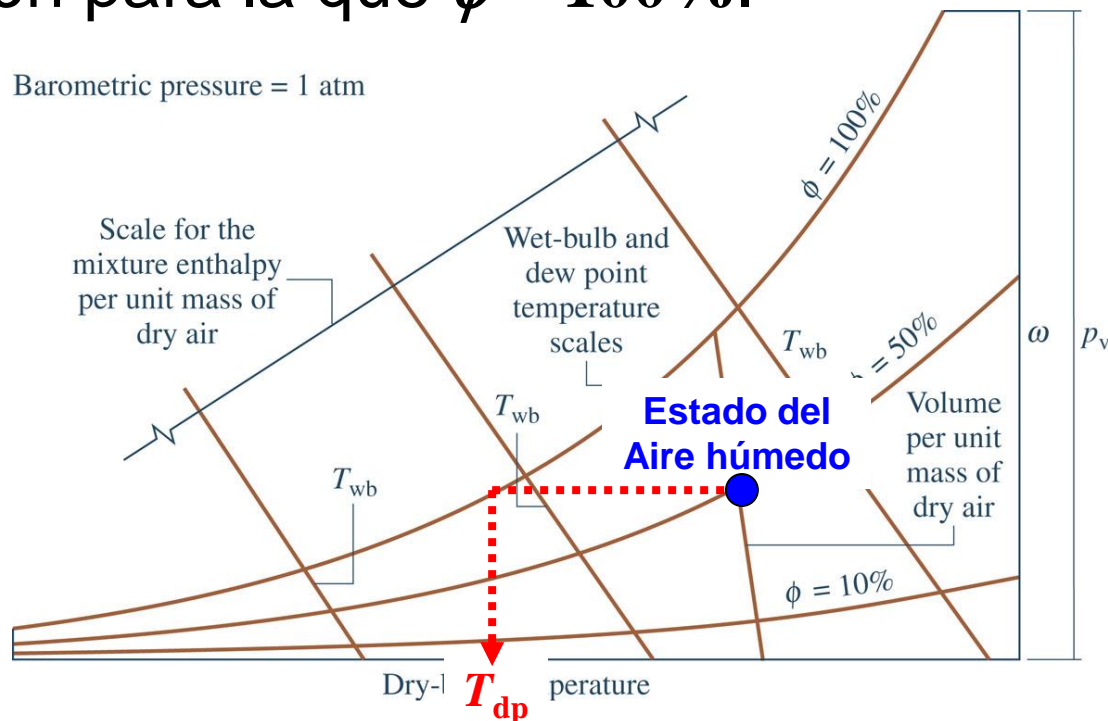
Carta psicrométrica

► Humedad específica, ω .



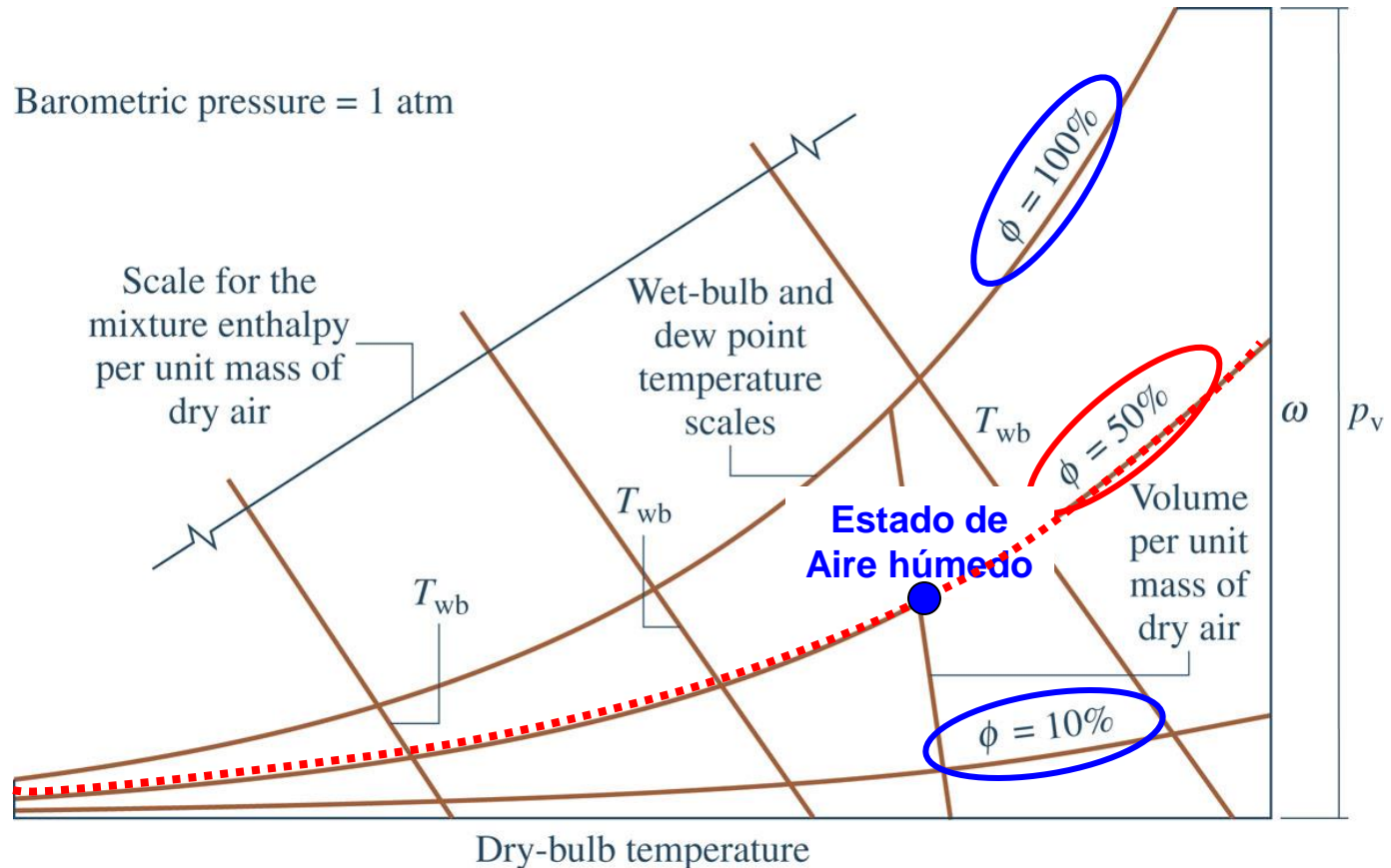
Carta psicrométrica

- ▶ Temperatura del punto de rocío, T_{dp} .
- ▶ Dado que el punto de rocío es el estado al cual el aire se satura a presión constante cuando se enfría, el punto de rocío para un estado dado se establece en la carta al seguir una línea de ω constante (p_v constante) a la línea de saturación para la que $\phi = 100\%$.



Carta psicrométrica

► Humedad relativa, ϕ .



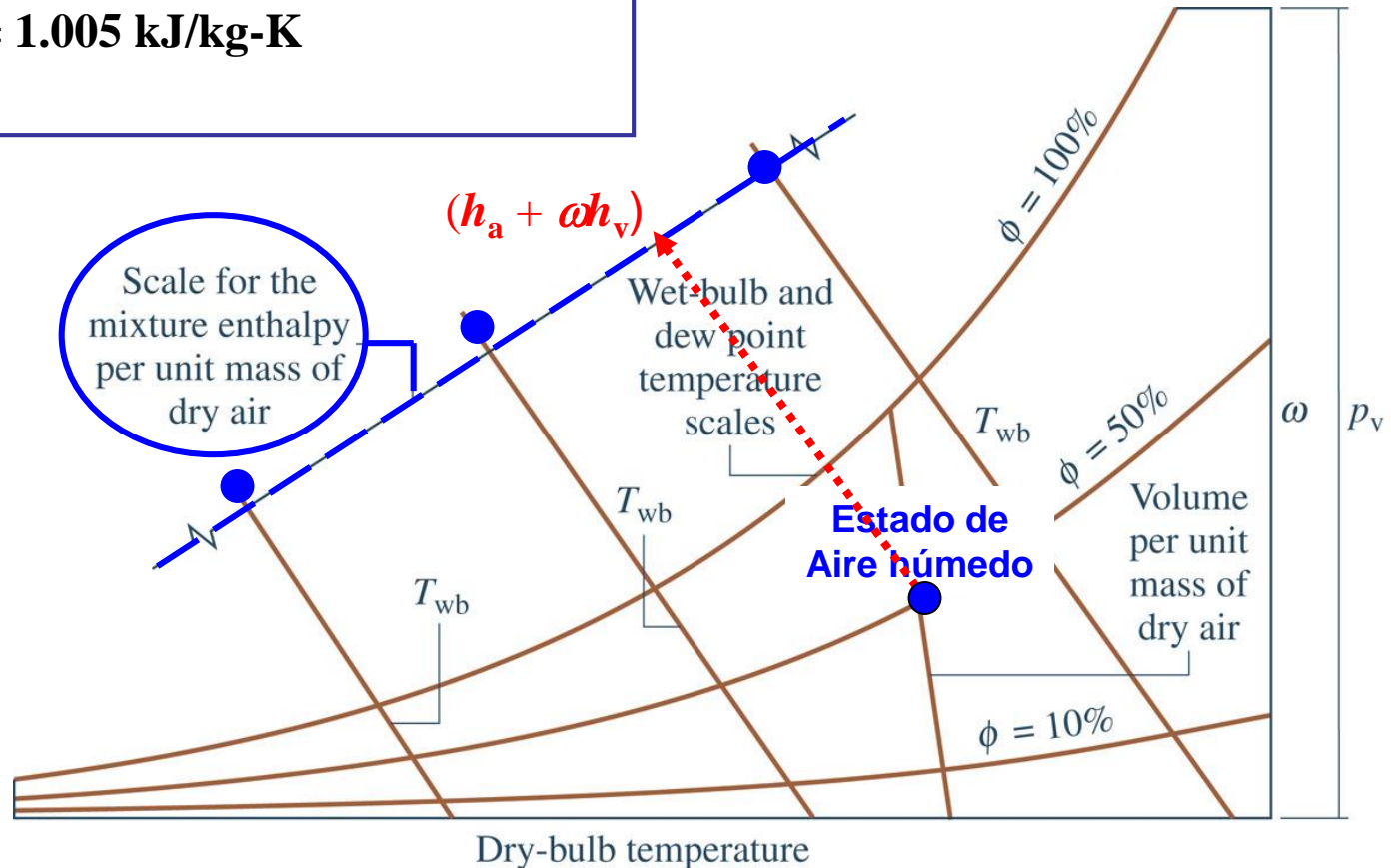
Carta psicrométrica

- Entalpía de la mezcla por unidad de masa de aire seco, $(h_a + \omega h_v)$.

El valor de $(h_a + \omega h_v)$ se calcula usando

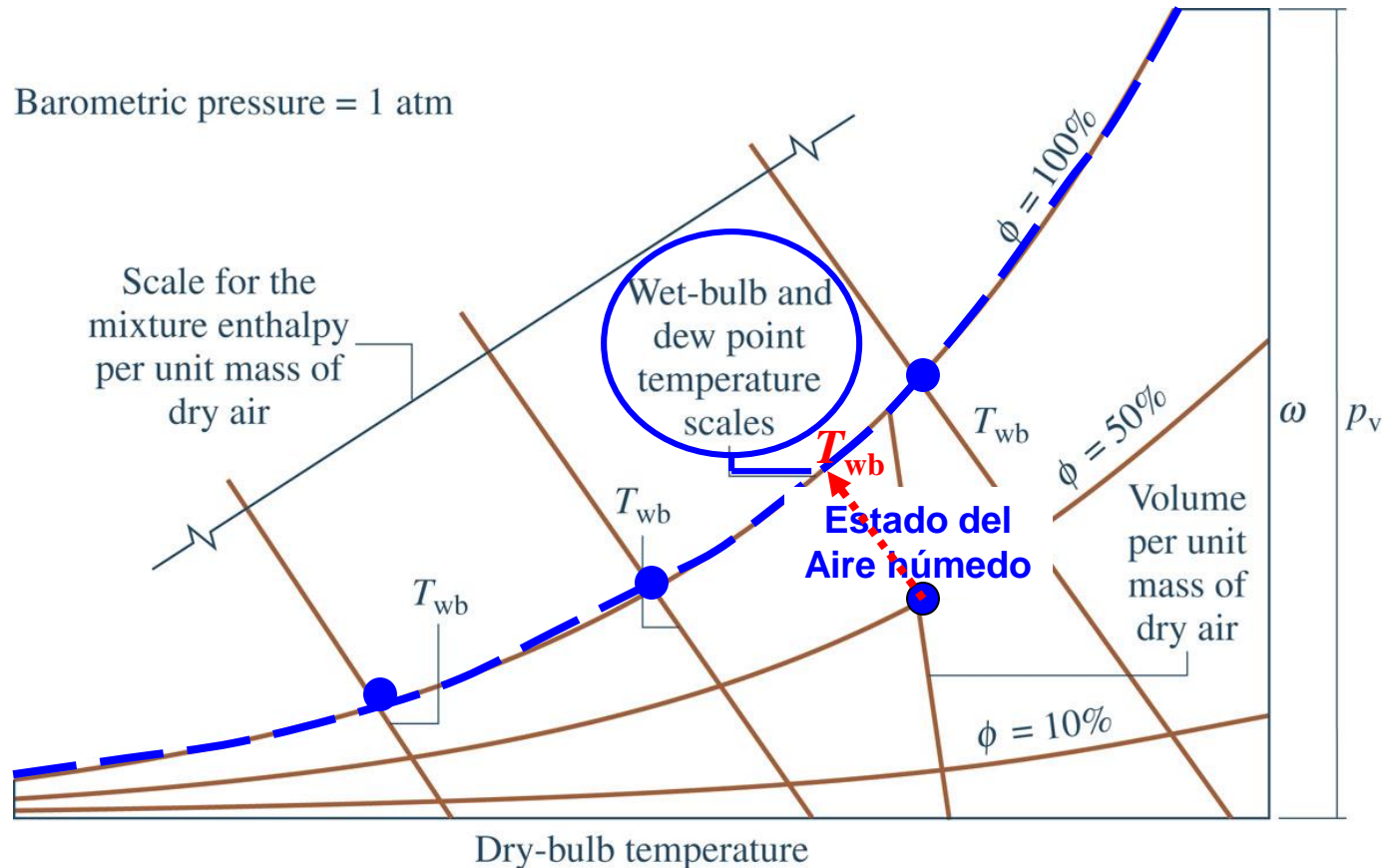
$$h_a = c_{pa} T$$

T en $^{\circ}\text{C}$, $c_{pa} = 1.005 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$



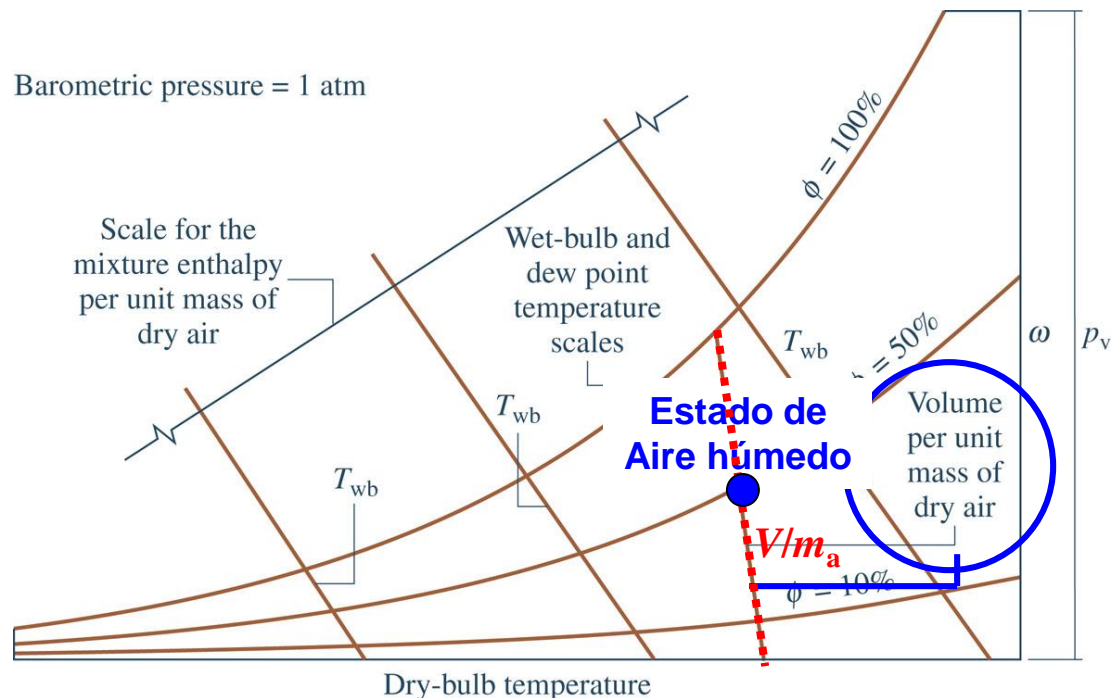
Carta psicrométrica

- ▶ Temperatura de bulbo húmedo, T_{wb} .
- ▶ Líneas de temperatura de bulbo húmedo constante se aproximan a las líneas de entalpía de la mezcla ctes.



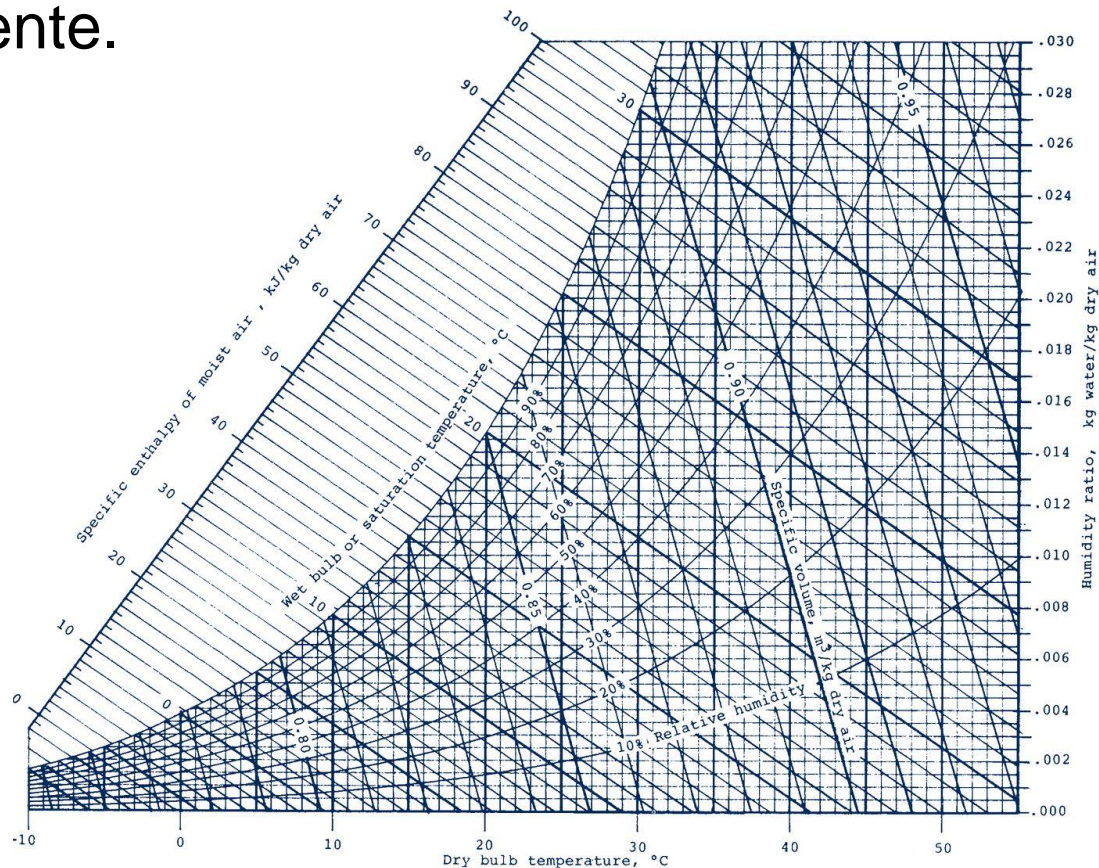
Carta psicrométrica

- ▶ Volumen por unidad de masa de aire seco, V/m_a .
- ▶ Las líneas dadas por V/m_a pueden interpretarse como el volumen del aire seco \circ vapor de agua (cada uno por unidad de masa de aire seco) pues en concordancia con el modelo de Dalton cada uno ocupa el volumen total.



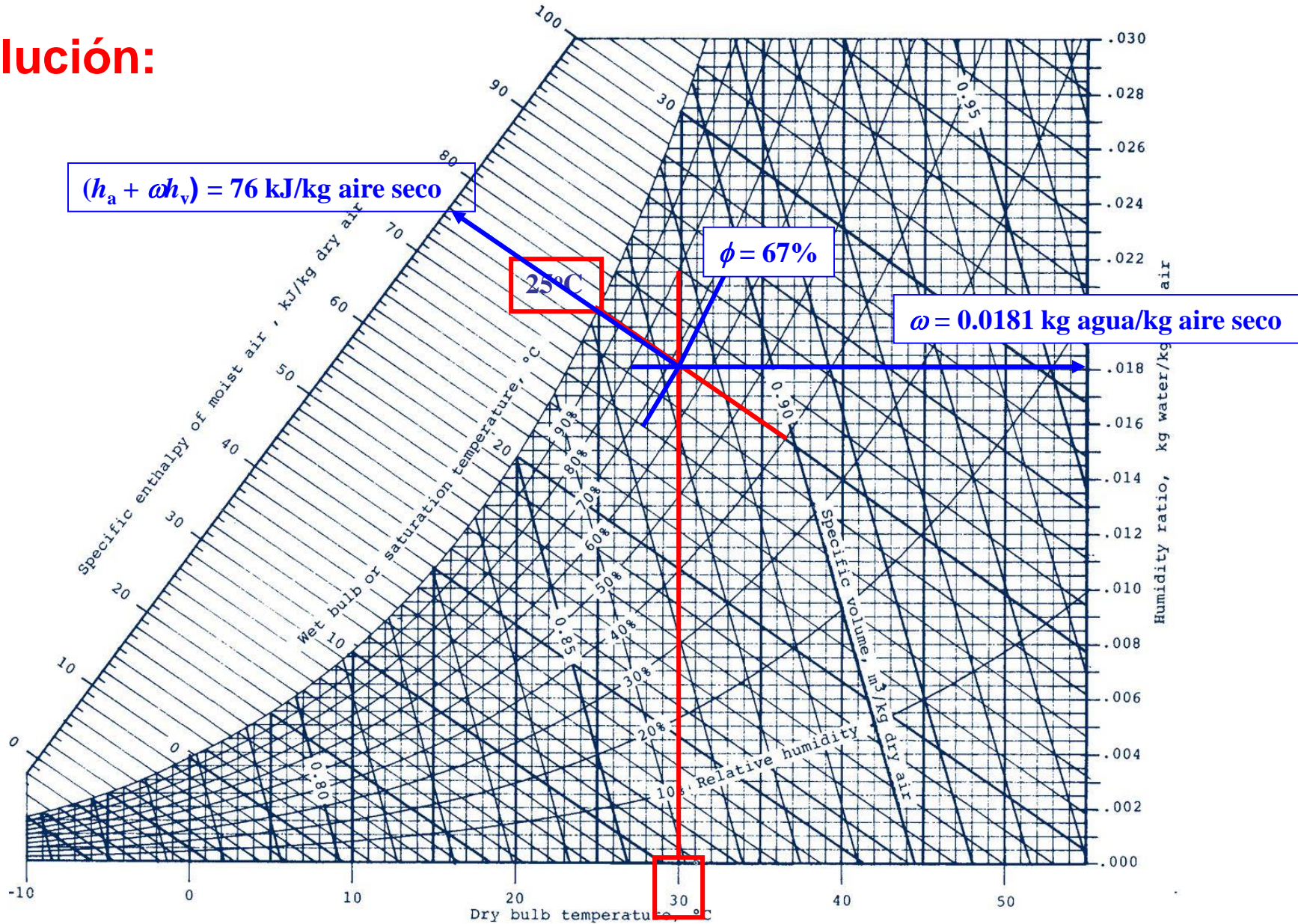
Carta psicrométrica

Ejemplo: Si se empleó **la carta psicrométrica**, calcula la humedad relativa, humedad específica, y la entalpía de mezcla, en kJ/kg (aire seco) que corresponden a las temperaturas de bulbo seco y húmedo de **30°C** y **25°C**, respectivamente.



Carta psicrométrica

Solución:



Análisis de sistemas de aire acondicionado

- ▶ Aplicación de flujo de masa y energía en conjunto con principios psicrométricos.
- ▶ Deshumidificación
- ▶ Humidificación
- ▶ Mezcla de dos corrientes de aire húmedo

Deshumidificación

- ▶ El propósito de un **deshumificador** es **remover parte del vapor de agua** del aire húmedo que pasa por el dispositivo.
- ▶ Esto se logra si el **aire húmedo** pasa por un serpentín por el que fluye un refrigerante a una temperatura suficientemente baja **de modo que parte del vapor se condensa**.

Deshumidificación

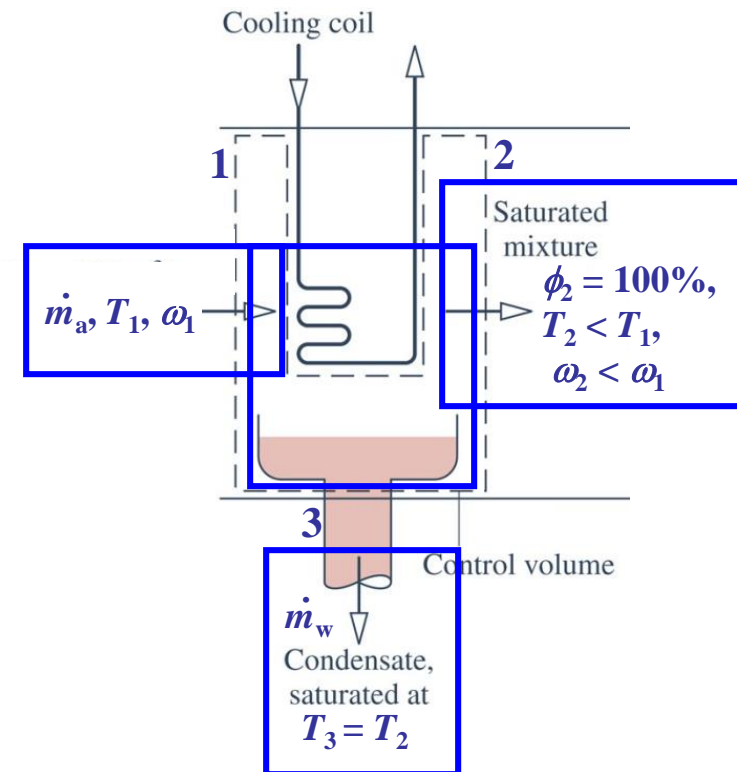
▶ La figura muestra un deshumidificador operando en flujo estacionario.

▶ El aire húmedo entra en estado 1.

▶ Conforme el aire fluye, al contacto con el serpentín, parte del vapor se condensa.

▶ Aire húmedo saturado sale en estado 2 ($T_2 < T_1$).

▶ Líquido saturado sale en estado 3. Además $T_3 = T_2$.



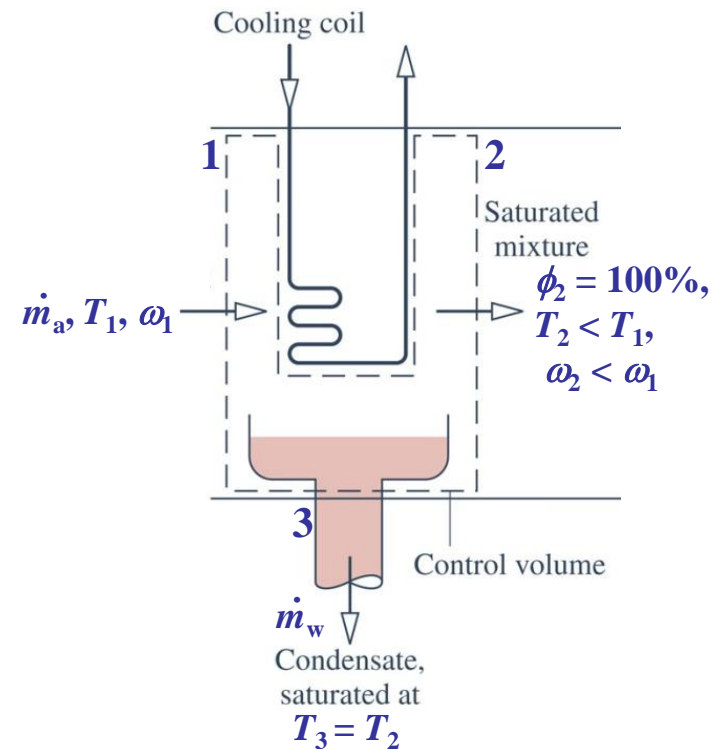
Deshumidificación

► Se puede realizar una evaluación para el volumen de control

► La cantidad condensada por unidad de masa de aire húmedo es: m_w/m_a y

► El flujo de calor entre el eserpentín, por unidad de masa de aire seco es:

$$\dot{Q}_{cv}/\dot{m}_a.$$



Deshumidificación

► **Balance de flujo de masa.** En flujo estacionario los balances de masa son

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} \quad (\text{aire seco})$$

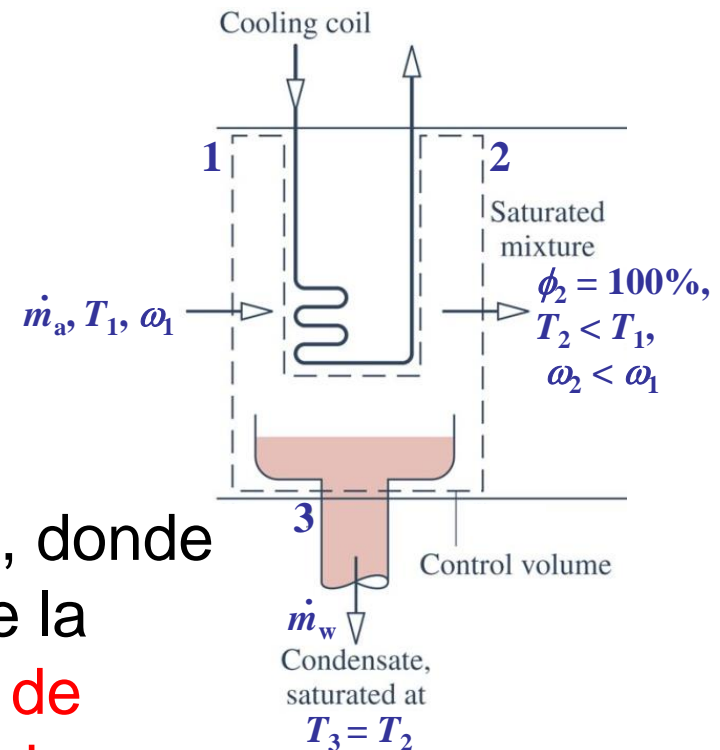
$$\dot{m}_{v1} = \dot{m}_w + \dot{m}_{v2} \quad (\text{agua})$$

Despejando el **flujo de masa para el condensado** es

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

Así, con $\dot{m}_{v1} = \omega_1 \dot{m}_a$ y $\dot{m}_{v2} = \omega_2 \dot{m}_a$, donde \dot{m}_a representa el flujo de aire, se tiene la siguiente expresión para **la cantidad de condensado por unidad de masa de aire**

$$\frac{\dot{m}_w}{\dot{m}_a} = \omega_1 - \omega_2$$



Deshumidificación

► **Balance de flujo de energía.** Con $\dot{W}_{cv} = 0$ y despreciando efectos de EC y EP, el balance de flujo de energía se reduce a

$$0 = \dot{Q}_{cv} + (\dot{m}_a h_{a1} + \dot{m}_{v1} h_{v1}) - \dot{m}_w h_w - (\dot{m}_a h_{a2} + \dot{m}_{v2} h_{v2})$$

Con $\dot{m}_{v1} = \omega_1 \dot{m}_a$, $\dot{m}_{v2} = \omega_2 \dot{m}_a$, tendremos

$$\frac{\dot{Q}_{cv}}{\dot{m}_a} = \frac{(h_a + \omega h_v)_2}{\dot{m}_a} - \frac{(h_a + \omega h_v)_1}{\dot{m}_a} + (\omega_1 - \omega_2) h_w$$

Dado que la transferencia de calor ocurre **del** aire húmedo **hacia** el serpentín, \dot{Q}_{cv}/\dot{m}_a será negativo.

Deshumidificación

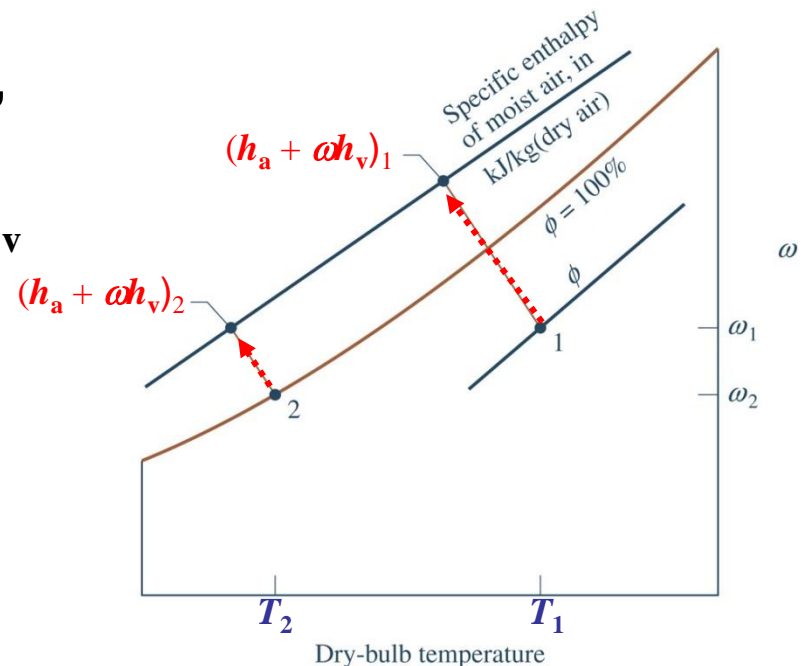
$$\frac{\dot{Q}_{cv}}{\dot{m}_a} = \underline{(h_a + \omega h_v)_2} - \underline{(h_a + \omega h_v)_1} + (\omega_1 - \omega_2)h_w \quad (\text{A})$$

► Para el condensado, $h_w = h_f(T_2)$, donde h_f se obtiene de **tablas**.

► Para evaluar los términos subrayados de **Eq. (A)** es posible

► ω_1 y ω_2 se conocen. Como T_1 y T_2 también se conocen, h_{a1} y h_{a2} se pueden establecer a partir de **tablas**, y h_{v1} y h_{v2} se pueden obtener de las tablas de vapor a partir de suponer $h_v = h_g$.

► Alternativamente, si se usa la temperatura y la humedad específica el estado queda establecido, $(h_a + \omega h_v)$ para el estado 1 y 2 pueden leerse de la **carta psicrométrica**.

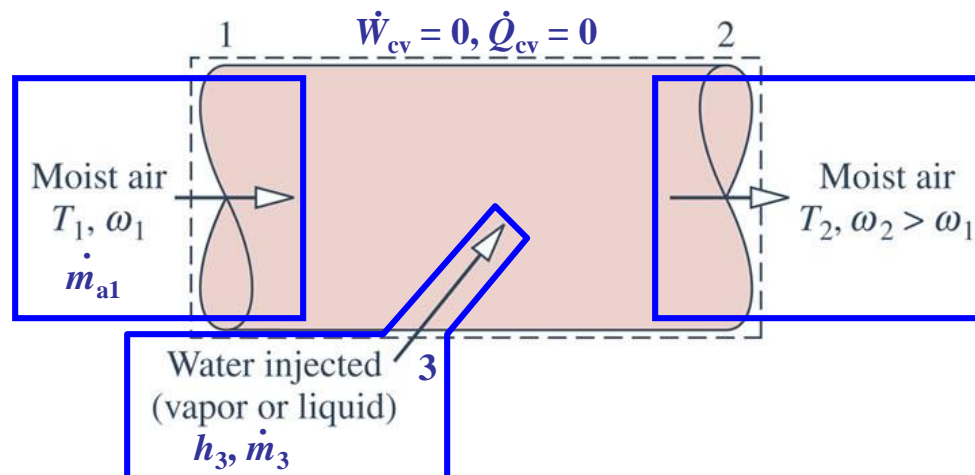


Humidificación

- ▶ El objetivo de un humidificador es incrementar la cantidad de vapor de agua en el aire húmedo que pasa a través de la unidad de humidificación.
- ▶ Esto se consigue mediante la inyección de vapor o de agua líquida.

Humidificación

- ▶ La figura muestra el volumen de control de un humidificador que opera en estado estacionario.
- ▶ Aire húmedo entra en estado 1.
- ▶ Vapor o agua líquida se inyectan.
- ▶ Aire húmedo sale en estado 2 con mayor humedad específica, $\omega_2 > \omega_1$.

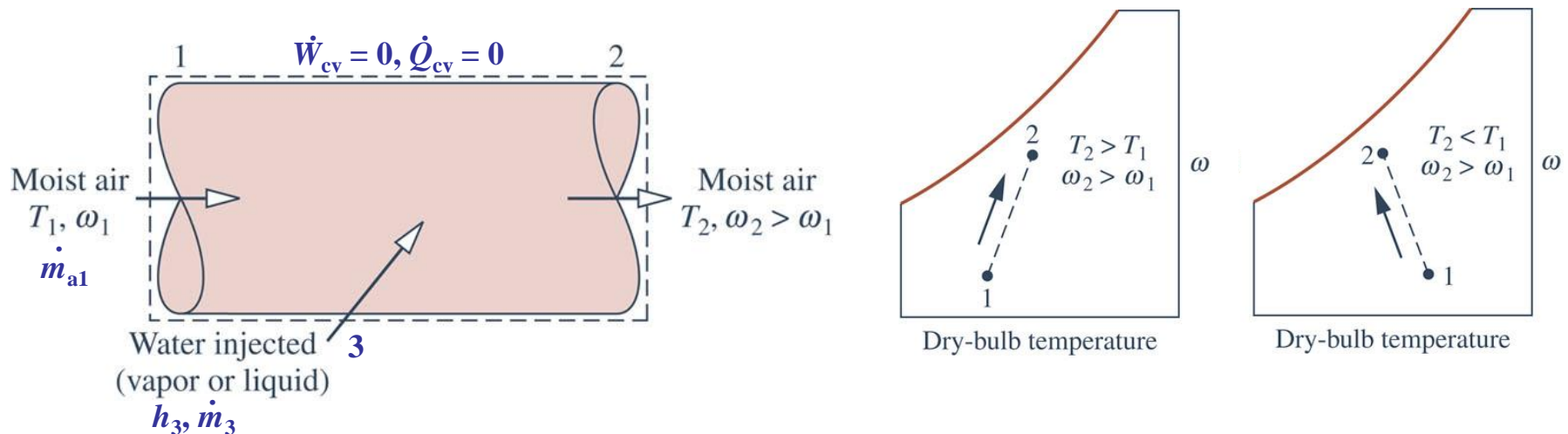


Humidificación

▶ En operación **adiabática**, las cartas psicrométricas muestran los estados 1 y 2 para cada caso (inyección líquido o vapor).

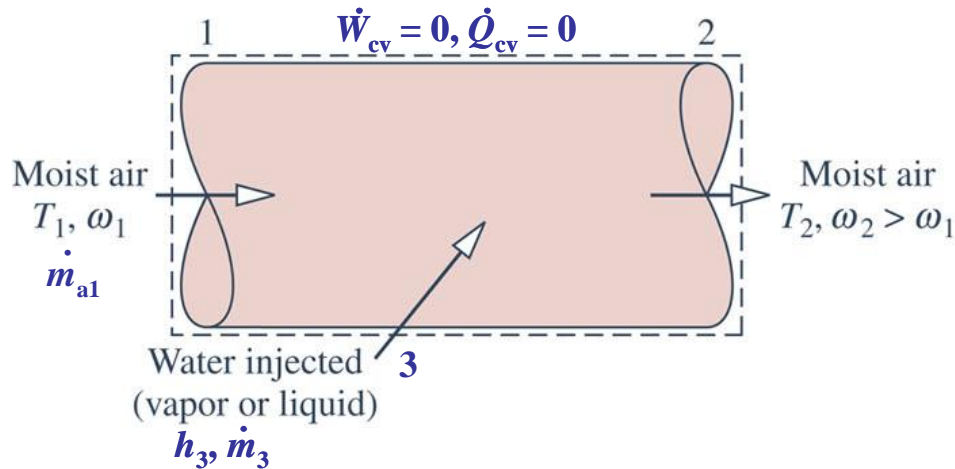
▶ Con la inyección de **vapor**, a temperaturas relativamente altas, la **temperatura del aire húmedo aumenta**.

▶ Con la inyección de **líquido** la **temperatura del aire húmedo puede disminuir** pues el líquido es **evaporado** por el aire húmedo al cual se inyecta.



Humidificación

- ▶ Para el volumen de control se puede evaluar
 - ▶ La **humedad específica**,
 ω_2 , y
 - ▶ La **temperatura**, T_2 .



Humidificación

► **Balance de masa.** En estado estacionario, los balances de masa para aire y agua son

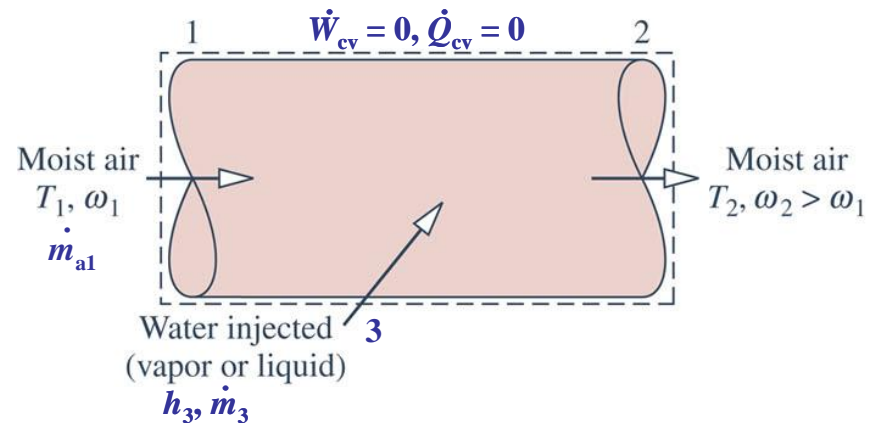
$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} \quad (\text{aire seco})$$

$$\dot{m}_{v1} + \dot{m}_3 = \dot{m}_{v2} \quad (\text{agua})$$

Dado que $\dot{m}_{v1} = \omega_1 \dot{m}_a$ y $\dot{m}_{v2} = \omega_2 \dot{m}_a$, donde \dot{m}_a representa el flujo común del aire seco, se tiene

$$\omega_2 = \omega_1 + \frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_a}$$

Como ω_1 , \dot{m}_a , y \dot{m}_3 están especificados, la humedad relativa ω_2 se puede calcular con la ecuación anteriores



Humidificación

► **Balance de energía.** Si se ignoran los efectos de EP y EC, el balance de flujo de energía se reduce a

$$0 = \dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} + (\dot{m}_a h_{a1} + \dot{m}_{v1} h_{v1}) + \dot{m}_3 h_3 - (\dot{m}_a h_{a2} + \dot{m}_{v2} h_{v2})$$

Como \dot{W}_{cv} y \dot{Q}_{cv} son cada uno cero

$$0 = (\dot{m}_a h_{a1} + \dot{m}_{v1} h_{v1}) + \dot{m}_3 h_3 - (\dot{m}_a h_{a2} + \dot{m}_{v2} h_{v2})$$

Con $\dot{m}_{v1} = \omega_1 \dot{m}_a$ y $\dot{m}_{v2} = \omega_2 \dot{m}_a$, **la ec. anterior es igual a**

$$0 = (h_{a1} + \omega_1 h_{v1}) + \left(\frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_a}\right) h_3 - (h_{a2} + \omega_2 h_{v2})$$

Finalmente,

$$(h_{a2} + \omega_2 h_{v2}) = (h_{a1} + \omega_1 h_{v1}) + \left(\frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_a}\right) h_3$$

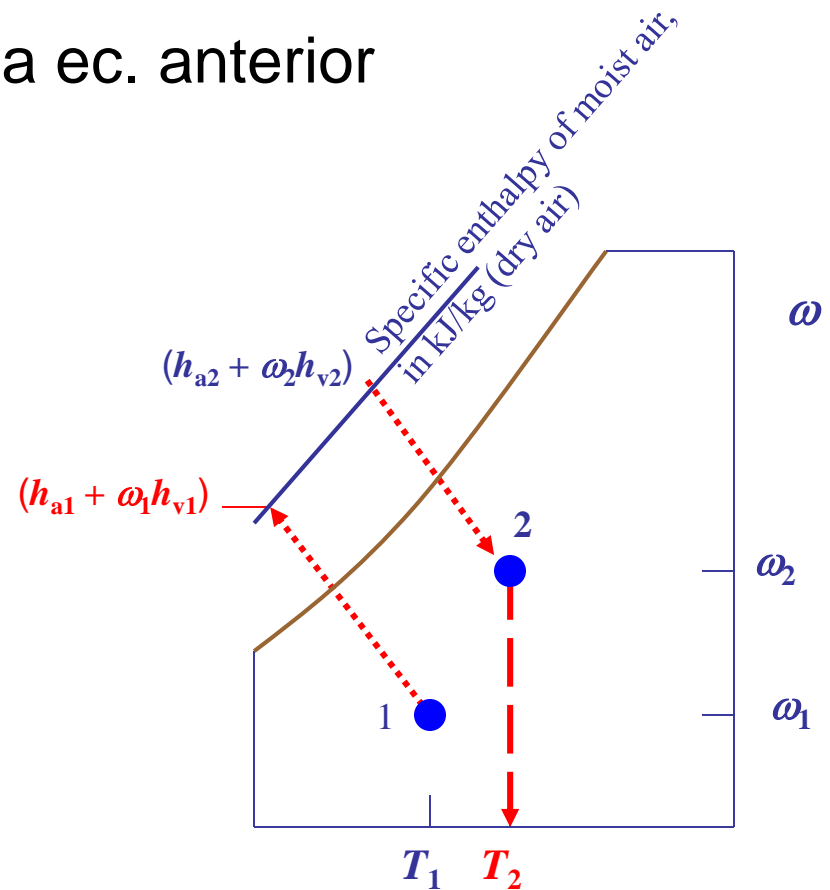
Humidificación

$$(h_{a2} + \omega_2 h_{v2}) = (h_{a1} + \omega_1 h_{v1}) + \left(\frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_a}\right) h_3$$

► Opciones para establecer T_2 en la ec. anterior

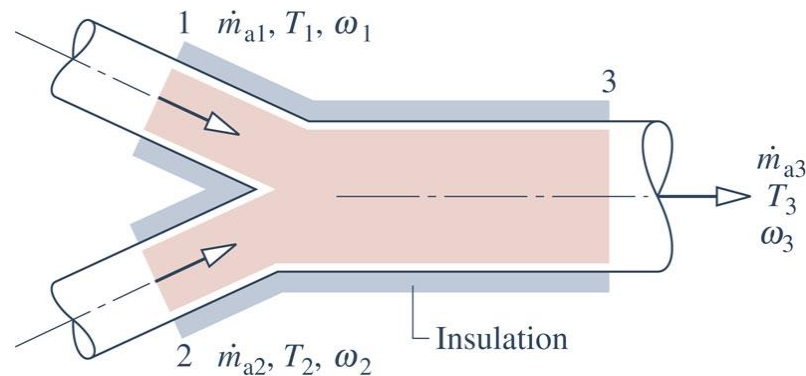
► Uso de carta psicrométrica:

- El primer término del lado derecho se puede leer a partir de T_1 y ω_1 para fijar el estado.
- El segundo término de la derecha se conoce, así el valor de $(h_{a2} + \omega_2 h_{v2})$ se puede calcular.
- Este valor junto con ω_2 fija el estado de salida, de modo que es posible estimar T_2 por inspección.



Mezcla adiabática de dos flujos de aire húmedo

► En los sistemas de aire acondicionado, es común mezclar aire húmedo:



► En el caso de **mezcla adiabático**, se describirá como evaluar los valores de salida para, \dot{m}_{a3} , ω_3 , y T_3 , si se conocen los valores de entrada.

Mezcla adiabática de dos flujos de aire húmedo

► **Balance de masa.** En flujo estacionario, los balances de masa son

$$\dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a2} = \dot{m}_{a3} \quad (\text{aire seco})$$

$$\dot{m}_{v1} + \dot{m}_{v2} = \dot{m}_{v3} \quad (\text{vapor agua})$$

Con $\dot{m}_v = \omega \dot{m}_a$, se obtiene

$$\omega_1 \dot{m}_{a1} + \omega_2 \dot{m}_{a2} = \omega_3 (\dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a2})$$

Alternativamente

$$\frac{\dot{m}_{a1}}{\dot{m}_{a2}} = \frac{\omega_3 - \omega_2}{\omega_1 - \omega_3}$$

Estas ecuaciones se pueden resolver para ω_3 si se conocen ω_1 , ω_2 , \dot{m}_{a1} , y \dot{m}_{a2} .

Mezcla adiabática de dos flujos de aire húmedo

► **Balance de energía.** Si se ignoran los efectos de EC y EP el balance de flujo estacionario es

$$0 = \dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} + (\dot{m}_{a1}h_{a1} + \dot{m}_{v1}h_{v1}) + (\dot{m}_{a2}h_{a2} + \dot{m}_{v2}h_{v2}) - (\dot{m}_{a3}h_{a3} + \dot{m}_{v3}h_{v3})$$

Como \dot{W}_{cv} y \dot{Q}_{cv} son cero en este caso

$$\dot{m}_{a1}(h_{a1} + \omega_1 h_{v1}) + \dot{m}_{a2}(h_{a2} + \omega_2 h_{v2}) = \dot{m}_{a3}(h_{a3} + \omega_3 h_{v3})$$

Las entalpías del vapor son evaluadas a partir de $h_v = h_g$.
Con $\dot{m}_{a3} = \dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a2}$, podemos llegar a la expresión

$$\frac{\dot{m}_{a1}}{\dot{m}_{a2}} = \frac{(h_{a3} + \omega_3 h_{g3}) - (h_{a2} + \omega_2 h_{g2})}{(h_{a1} + \omega_1 h_{g1}) - (h_{a3} + \omega_3 h_{g3})}$$

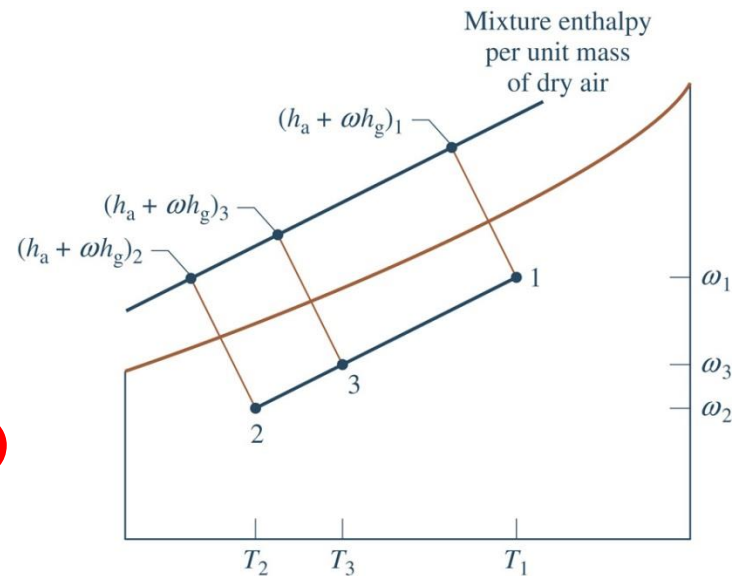
Si se emplea la información conocida, la ecuación se puede resolver para $(h_a + \omega h_g)_3$, de donde T_3 puede establecerse.

Mezcla adiabática de dos flujos de aire húmedo

► De las ecs. (A) y (B) se concluye que en la carta psicrométrica el estado 3 cae sobre la línea que une a los estados 1 y 2, como se muestra en la figura.

$$\frac{\dot{m}_{a1}}{\dot{m}_{a2}} = \frac{\omega_3 - \omega_2}{\omega_1 - \omega_3} \quad (\text{A})$$

$$\frac{\dot{m}_{a1}}{\dot{m}_{a2}} = \frac{(h_{a3} + \omega_3 h_{g3}) - (h_{a2} + \omega_2 h_{g2})}{(h_{a1} + \omega_1 h_{g1}) - (h_{a3} + \omega_3 h_{g3})} \quad (\text{B})$$



Mezcla adiabática de dos flujos de aire húmedo

Ejemplo: Para una *mezcla adiabática* de dos flujos de aire húmedo cuyos datos se presentan en la tabla, usa la carta psicrométrica para calcular

- (a) ω_3 , en kg (vapor)/kg (aire seco), y
- (b) T_3 en °C.

Estado	T (°C)	ω (kg (aire seco)/kg (vapor))	\dot{m}_a (kg (aire seco)/min)	$(h_a + \omega h_g)^*$ (kJ/kg (aire seco))
1	24	0.0094	497	48
2	5	0.002	180	10

*Los valores de $(h_a + \omega h_g)$ se leen de **la carta psicrométrica** usando las temperaturas y humedades específicas respectivas.

Mezcla adiabática de dos flujos de aire húmedo

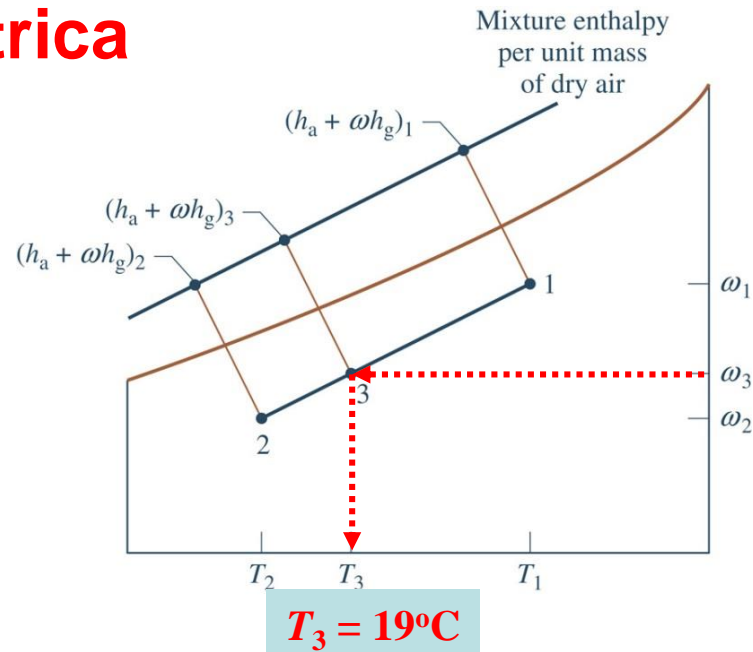
Solución:

(a) Sustituyendo valores en la **Eq. (A)**,

$$\frac{497}{180} = \frac{\omega_3 - 0.002}{0.0094 - \omega_3}$$

Se tiene $\omega_3 = 0.0074$ kg (vapor)/kg (aire seco).

(b) De la **carta psicrométrica**



Mezcla adiabática de dos flujos de aire húmedo

Solución:

(a) Sustituyendo valores conocidos en **Eq. (A)**,

$$\frac{497}{180} = \frac{\omega_3 - 0.002}{0.0094 - \omega_3}$$

$\omega_3 =$ **0.0074 kg (vapor)/kg (aire seco).**

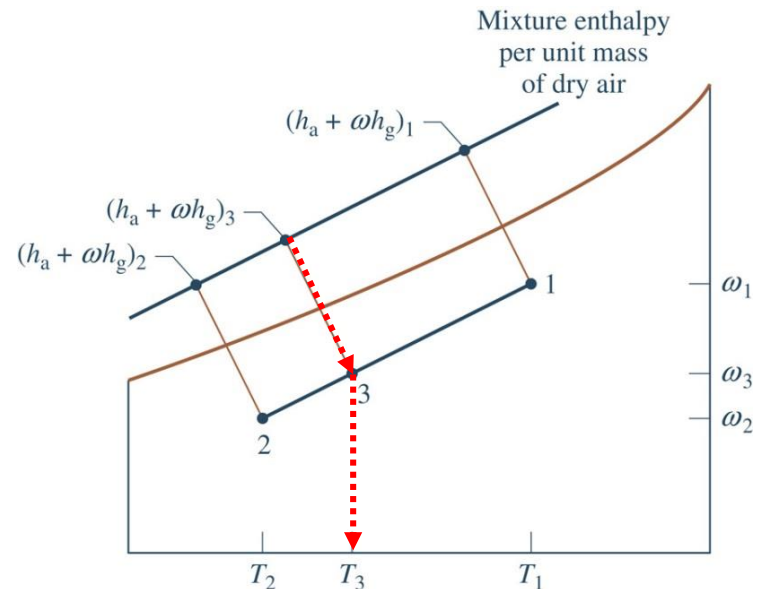
(b) De la carta psicrometrica

Alternativamente, la **Eq.**

(B) se puede usar y

$(h_a + \omega h_g)_3 = 38$ kJ/kg (aire seco).

Finalmente



$T_3 = 19^\circ\text{C}$