



Unidad de Aprendizaje:  
Acondicionamiento de Aire

Tema:  
Carta Psicrométrica

SOLO VISIÓN PROYECTABLES

Espacio Académico: Facultad de Ingeniería								
Programa Educativo: <b>Ingeniería Mecánica</b>					Área de docencia: <b>Termofluidos</b>			
Elaborado por: <b>Dr. Juan Carlos Posadas Basurto</b>								
Nombre de la unidad de aprendizaje: ACONDICIONAMIENTO DE AIRE								
Clave	Horas de Teoría	Horas de Práctica	Total de Horas	Créditos	Tipo de unidad de aprendizaje	Carácter de la unidad de aprendizaje	Núcleo de formación	Modalidad
<b>L41260</b>	<b>4,0</b>	<b>0,0</b>	<b>4,0</b>	<b>8,0</b>	<b>Curso</b>	<b>Optativa</b>	<b>Integral</b>	<b>Presencial</b>
Prerrequisitos:  Conocimientos de termodinámica, ingeniería térmica, transferencia de calor, mecánica de fluidos y termoquímica.  Manejo de tablas y diagramas, graficación de funciones.  Manejo de la calculadora y de la computadora.			Unidad de aprendizaje antecedente:     Ninguna			Unidad de aprendizaje consecuente:     Ninguna		
Programas en los que se imparte: <b>LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA (FIUAEM)</b>								



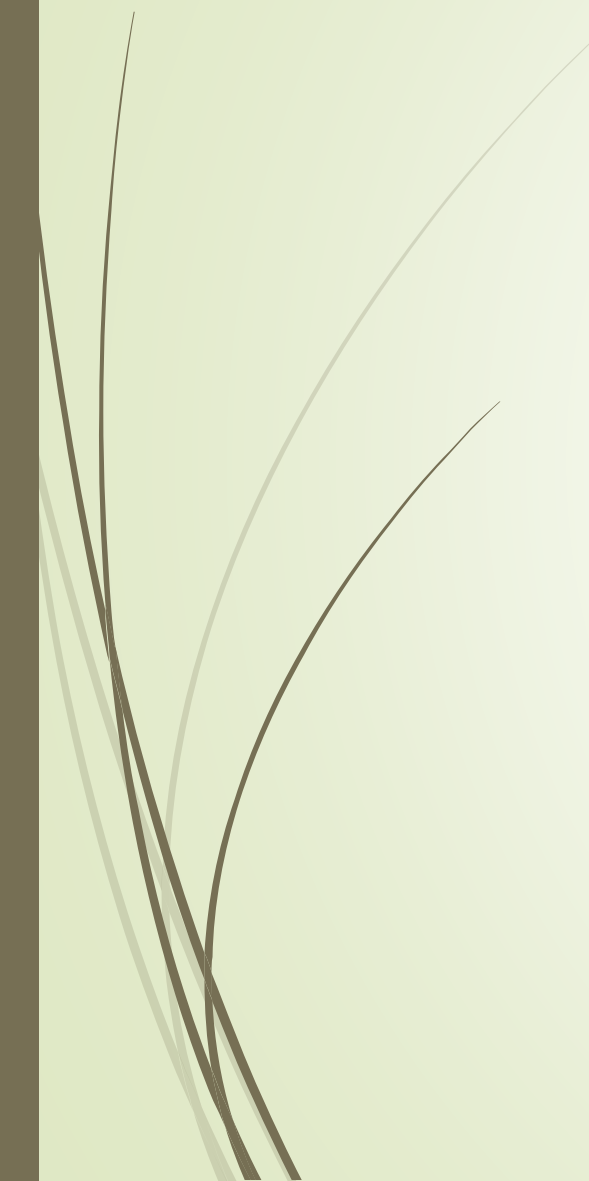
# Introducción

La Unidad de Aprendizaje Acondicionamiento de Aire es Optativa y se sugiere cursarla en el décimo periodo. No tiene antecedentes ni consecuentes pero se pide que el discente tenga conocimientos de termodinámica, ingeniería térmica, transferencia de calor, mecánica de fluidos y termoquímica (Unidades de Aprendizaje impartidas en el plan de estudios de Ingeniería Mecánica en periodos anteriores).



# Propósito

El discente podrá diseñar, seleccionar y dar mantenimiento a los sistemas de acondicionamiento de aire, entendiendo el funcionamiento de cada uno de sus componentes así como sus características.





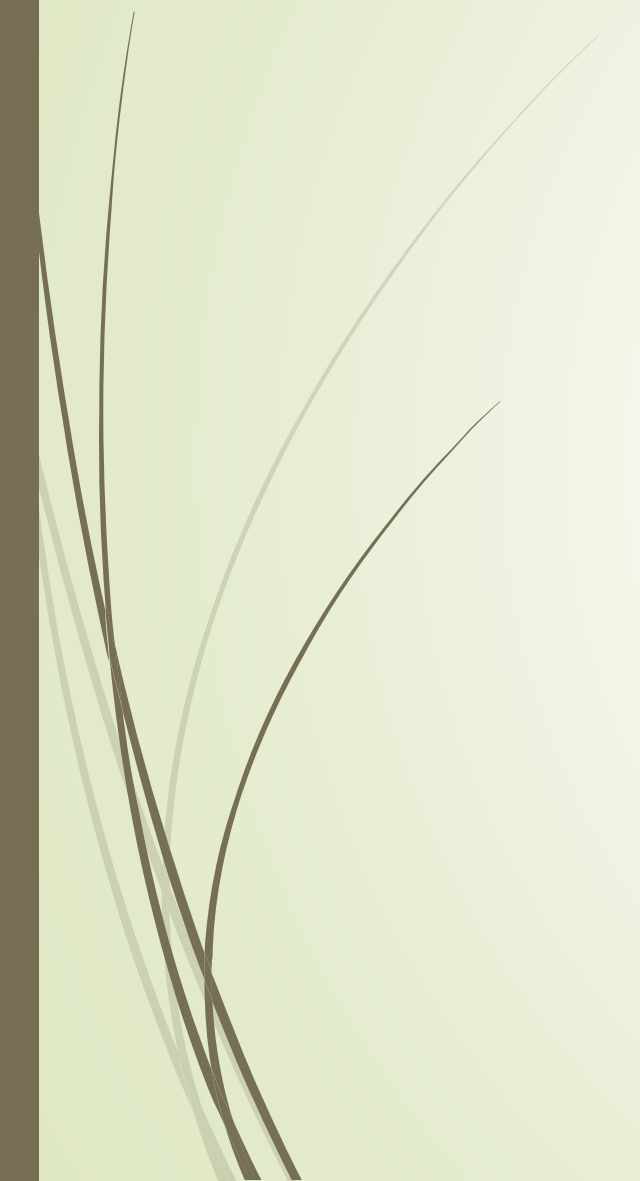
# Estructura de programa

1. Con base en los distintos arreglos de los equipos de acondicionamiento de aire, entender su aplicación y diferenciar los elementos que los componen.
2. De las propiedades termodinámicas del aire húmedo y seco, y del agua a la saturación, realizar balances de energía en dispositivos de calentamiento, enfriamiento, humidificación y deshumidificación.



# Estructura del programa

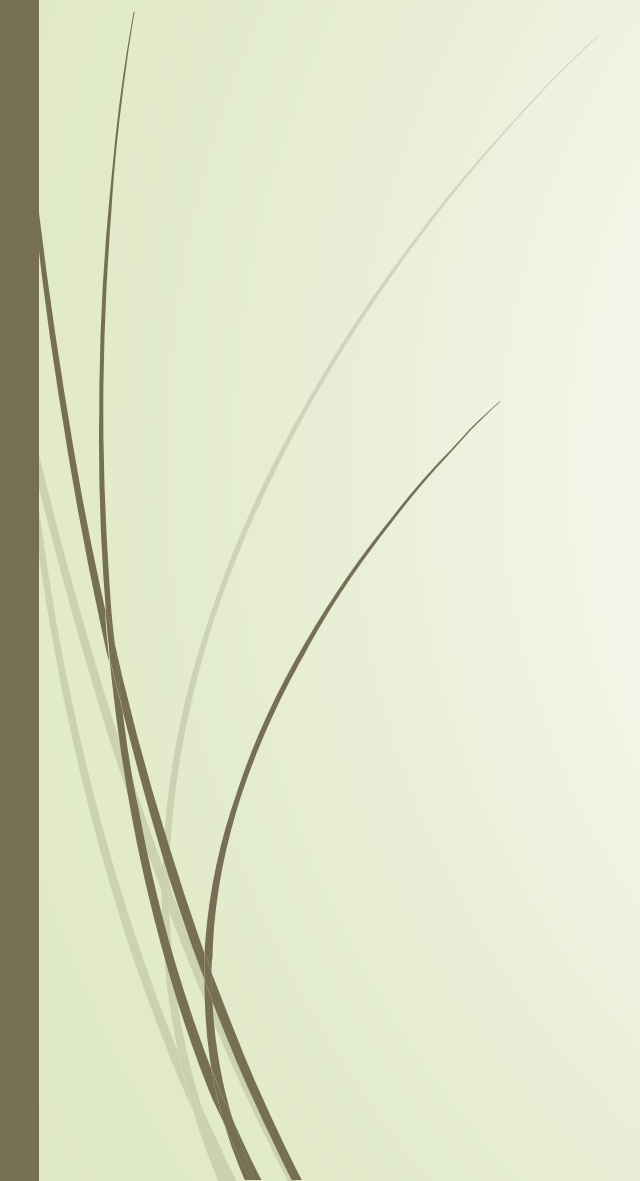
(Continuación)


3. Con el conocimiento del manejo e interpretación de la carta psicrométrica, realizar balances de energía en procesos que se realizan para acondicionar el aire.
  4. A partir de la calidad ambiental en el interior de un recinto y las condiciones exteriores al mismo, determinar los procesos que acondicionarán el aire para el confort de las personas, animales y/o procesos de manufactura.
- 



# Estructura del programa

(Continuación)

5. De la transferencia de calor a través de la construcción en estudio, calcular las cargas de enfriamiento o de calentamiento presentes en recintos residenciales y no residenciales.
  6. Con las dimensiones del recinto y la cantidad de aire a suministrar, calcular y seleccionar el sistema de distribución de aire y equipo.
- 



Las diapositivas presentadas corresponden al punto 3 de la estructura del programa, donde se estudia la carta psicrométrica para la obtención de las propiedades de los diferentes procesos requeridos para el acondicionamiento de aire. El objetivo de esta presentación es que el discente sepa construir la carta psicrométrica por medio de la teoría termodinámica, usarla para realizar balances energéticos e interpretar los procesos que se pueden trazar.





# Presentación de las diapositivas

- Psicrómetro
- Psicrometría
- Aire seco
- Aire húmedo
- Carta psicrométrica
- Fundamentos de la carta psicrométrica
- Propiedades mostradas en la carta psicrométrica
- Constantes físicas

# Presentación de las diapositivas

(Continuación)

- ✓ Ley de Dalton
- ✓ Suposiciones
- ✓ Algoritmos
- ✓ Proceso psicrométrico
- ✓ Procesos básicos
- ✓ Procesos con transferencia de calor y vapor de agua

El docente debe tener conocimiento de las variantes que presenta la carta psicrométrica de acuerdo al fabricante de acondicionadores de aire.



# REFERENCIAS

- I. ASHRAE. (2013). *2013 ASHRAE HANDBOOK. FUNDAMENTALS.* Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc.
- II. Carrier, A. C. (s.f.). *Handbook of air conditioning systema design.* New York, N. Y.: McGraw-Hill.
- III. Gatley, D. P. (2013). *Understanding Psychrometrics.* Atlanta, GA: ASHRAE.



# REFERENCIAS

(Continuación)

- IV. Jones, W. P. (2005). *Air Conditioning Engineering*. Oxford: Butterworth Heinemann.
- V. McQuiston, F. C., Parker, J. D., & Spitler, J. D. (2005). *Heating, ventilating, and air conditioning. Analysis en design*. USA: Willey.
- VI. Pita, E. G. (1997). *Acondicionamiento de aire. Principios y sistemas*. México: CECSA.



# REFERENCIAS

(Continuación)

- VII. Wang, S. K. (2001). *Handbook of air conditioning and refrigeration*. New York: McGraw-Hill.
- VIII. Whitman, W. C., & Johnson, W. M. (2010). *Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado. Aire acondicionado. III*. Madrid, España: Paraninfo Thomson Learning.



# ACONDICIONAMIENTO DE AIRE

Carta psicrométrica



# Psicrómetro

En 1825 Ernest Ferdinand August de Alemania llamó a su termómetro de bulbo húmedo un psicrómetro (del Latín psychro, hacer frío, y metro, medir).

Actualmente un psicrómetro incluye ambos termómetros, de bulbos seco y húmedo, y se clasifica como una forma de un higrómetro. Un higrómetro se utiliza para medir la humedad en la atmósfera.



# Psicrometría

Psicrometría es la ciencia de la medición de temperaturas de bulbo seco y de bulbo húmedo utilizando un psicrómetro.

La palabra psicrometría se aplica a todas las mezclas de un gas seco y un vapor condensable.






# Psicrometría

(Continuación)

La sociedad americana de ingenieros en calentamiento, refrigeración y aire acondicionado (American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, ASHRAE) define psicrometría como la rama de la física que se ocupa de la medición o determinación de las condiciones atmosféricas, en particular la humedad en el aire.





# Aire seco

El aire atmosférico se compone de gases, vapor de agua y contaminantes diversos.

El aire seco es aire atmosférico con el vapor de agua y los contaminantes removidos. Tiene una mezcla de gases que contienen, por volumen, 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno, 1% de argón, y al menos ocho gases diferentes que comprenden un 0,034%.



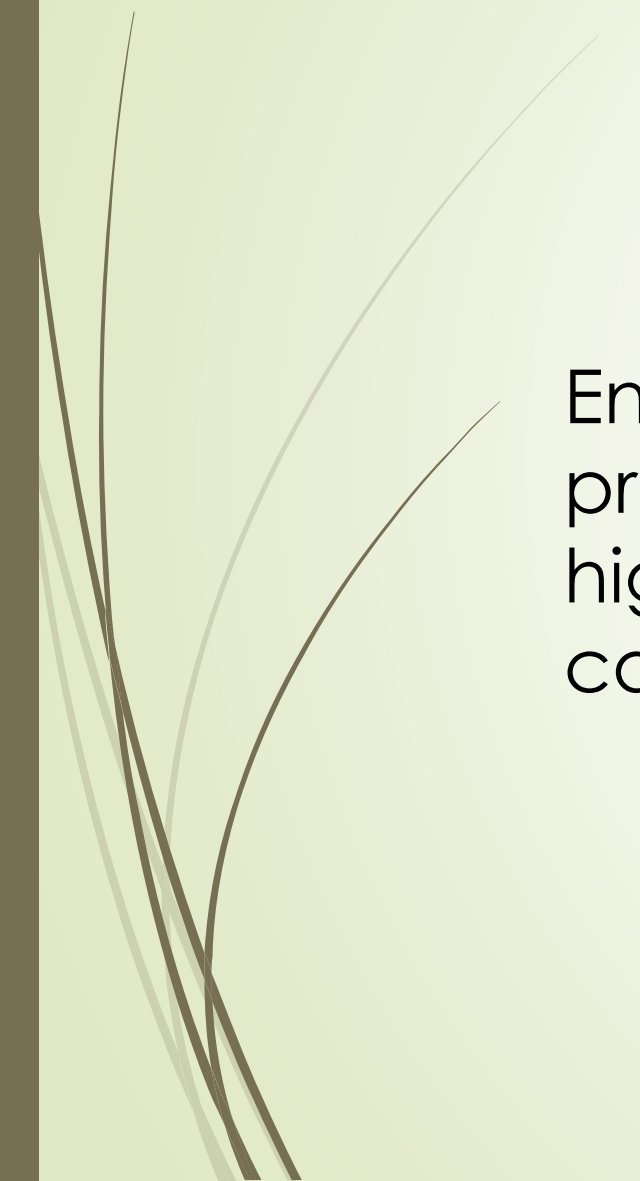
# Aire húmedo

Aire húmedo es una mezcla binaria de aire seco y vapor de agua. La cantidad de vapor de agua varía de cero (aire seco) a un máximo que depende de la temperatura y la presión.

El estado del aire es saturado cuando la cantidad de vapor de agua que contiene es el máximo posible a la temperatura existente.



# Carta psicrométrica



En 1904, Willis H. Carrier nombró a su carta de propiedades de aire húmedo como carta higrométrica pero, en 1911, el nombre fue cambiado a carta psicrométrica.



# Fundamentos de la carta psicrométrica

La carta psicrométrica se basa en una presión barométrica de 101,325 kPa (a nivel del mar), a una temperatura de 15° C. Esta carta se puede utilizar sin error significativo para elevaciones entre 400 metros por encima y por debajo del nivel del mar.

Propiedades psicrométricas a otras presiones barométricas pueden derivarse por interpolación.



# Propiedades mostradas en la carta psicrométrica

- Temperatura de bulbo seco, TBS, en °C.
- Temperatura termodinámica de bulbo húmedo, TBH, en °C.
- Relación de humedad,  $W$ , en kilogramos de vapor de agua,  $\text{kg}_{\text{va}}$ , por cada kilogramo de aire seco,  $\text{kg}_{\text{as}}$ .
- Humedad relativa en por ciento, HR.



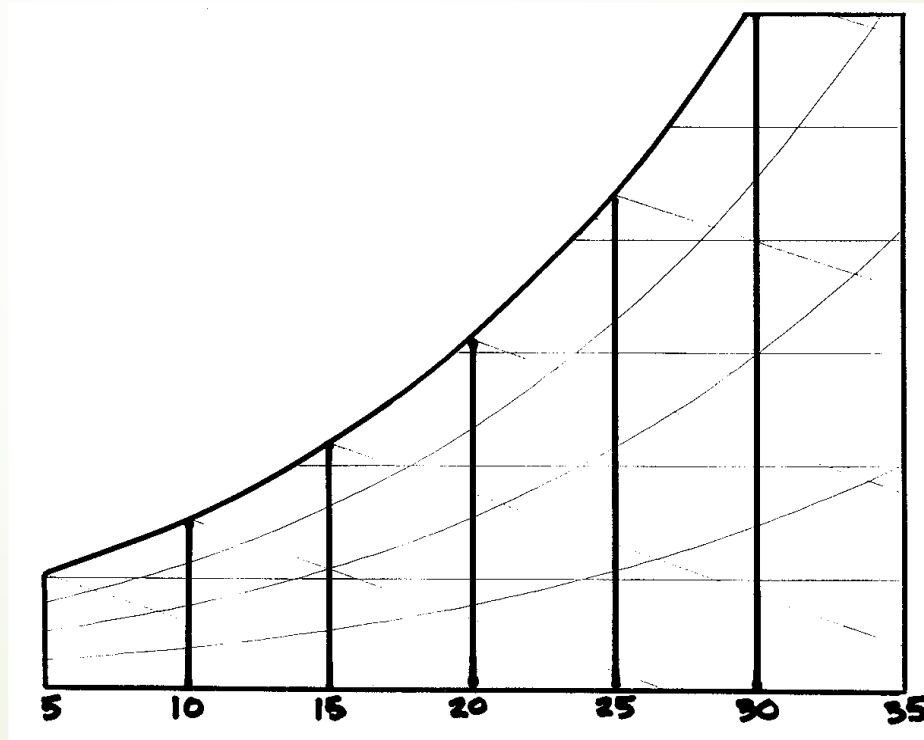
# Propiedades mostradas en la carta psicrométrica

(Continuación)

- Curva de saturación del vapor de agua, conocida como temperatura del punto de rocío, TPR, en °C.
- Entalpía específica,  $h$ , en  $\text{kJ}/\text{kg}_{\text{as}}$ .
- Volumen específico,  $v$ , en  $\text{m}^3/\text{kg}_{\text{as}}$ .

# Temperatura de bulbo seco

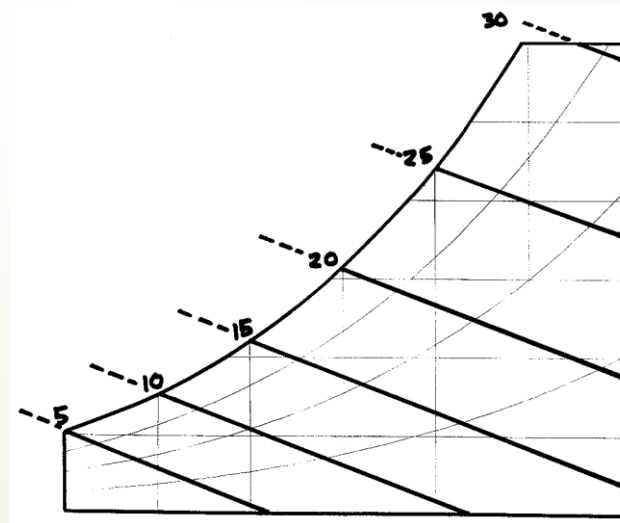
Temperatura medible con un termómetro cuyo bulbo o sensor está en contacto con el ambiente.





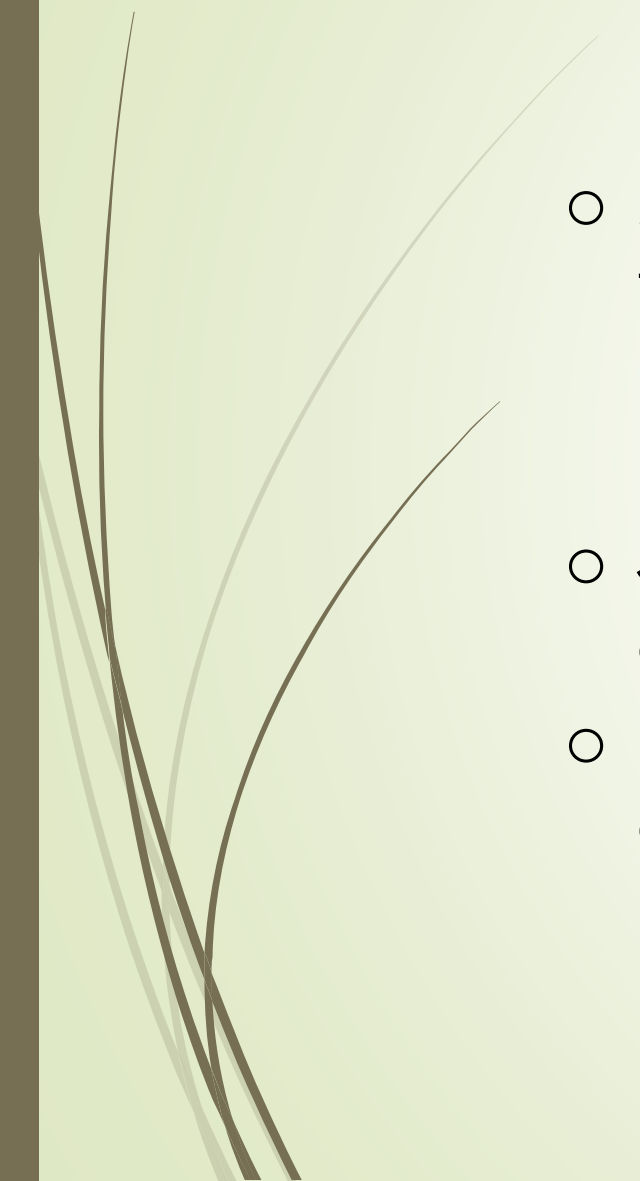
# Temperatura de bulbo húmedo o temperatura adiabática

La temperatura de saturación a la cual el aire húmedo puede enfriarse adiabáticamente por evaporación de agua a la misma temperatura en el aire húmedo.

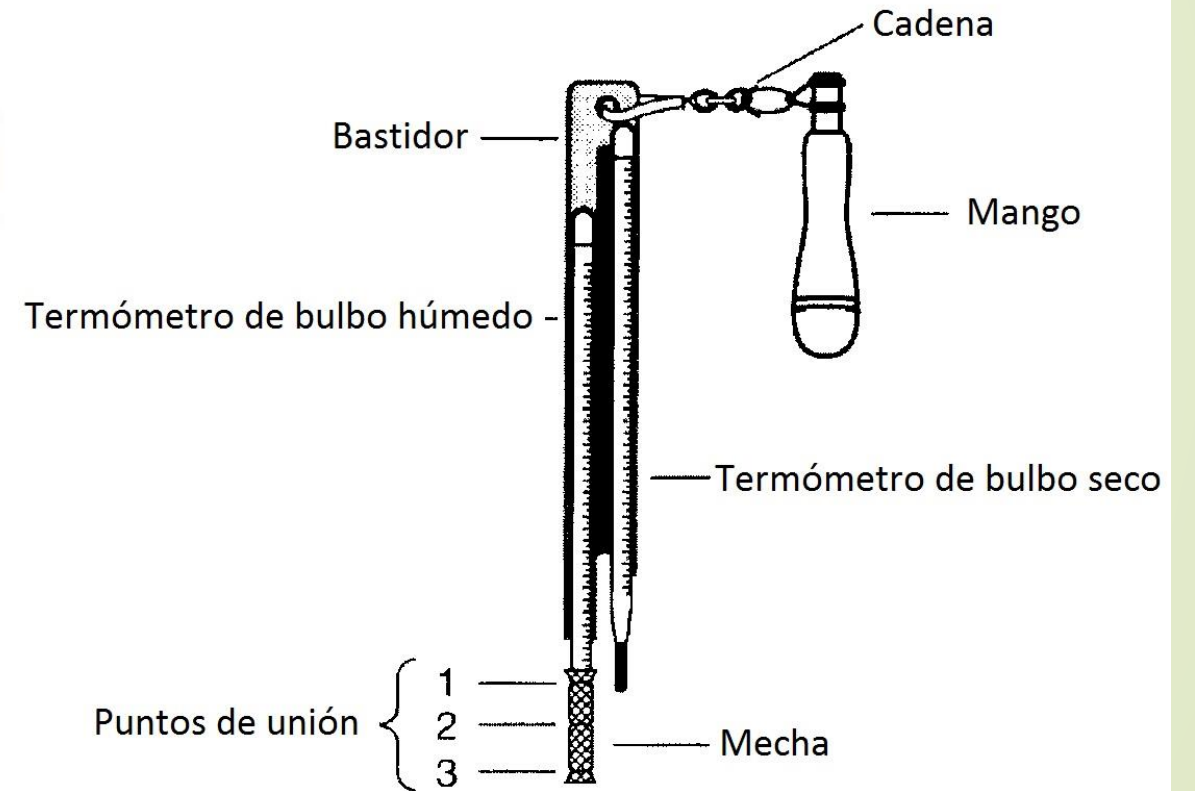




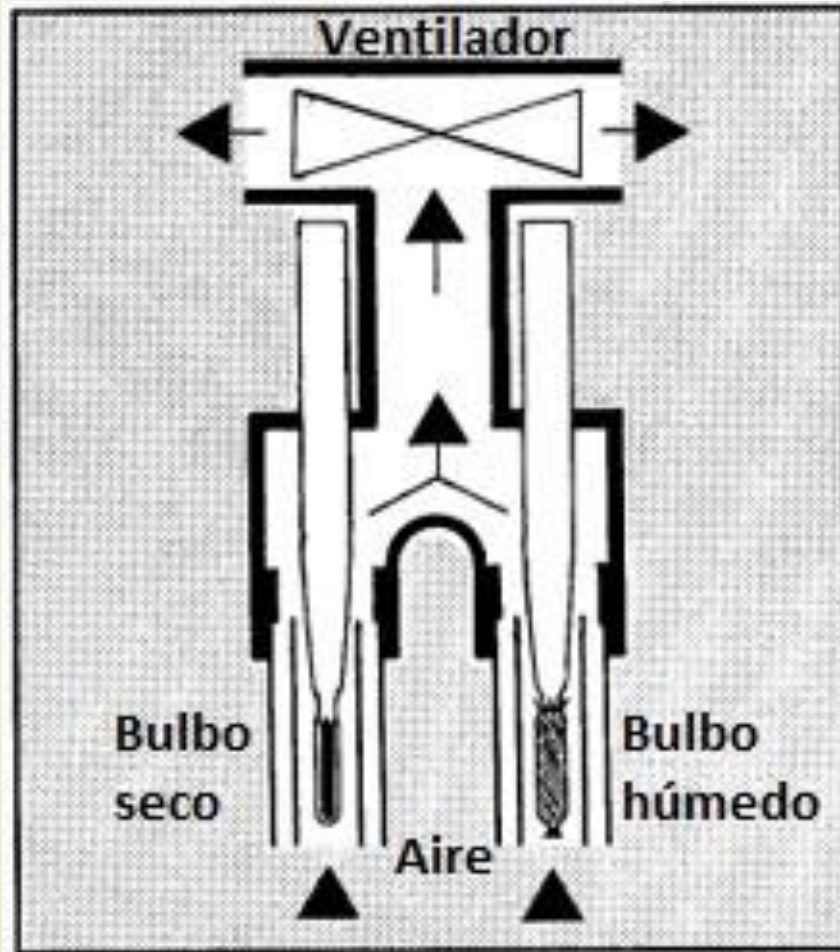
# Psicrómetro

- Mide la temperatura con un termómetro que tiene su elemento de detección cubierto con una manga de algodón limpia y suave, humedecida con agua destilada.
  - Se expone al aire húmedo que se hace mover a una velocidad de  $4 \pm 1$  m/s.
  - Existen dos tipos de psicrómetros: de onda y de aspiración.
- 

# Psicrómetro de onda

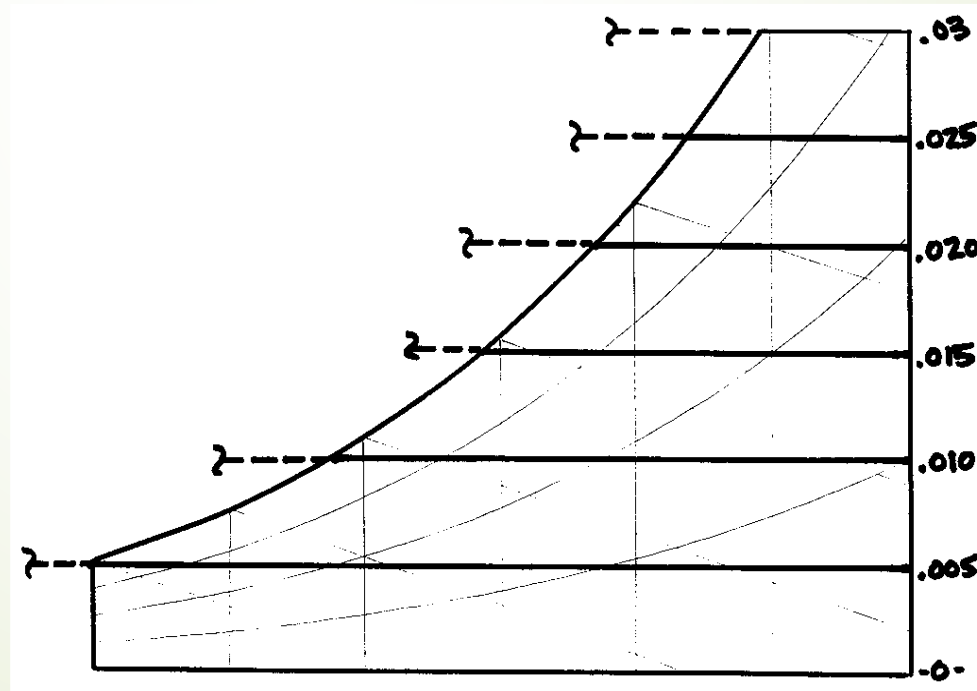


# Psicrómetro de aspiración



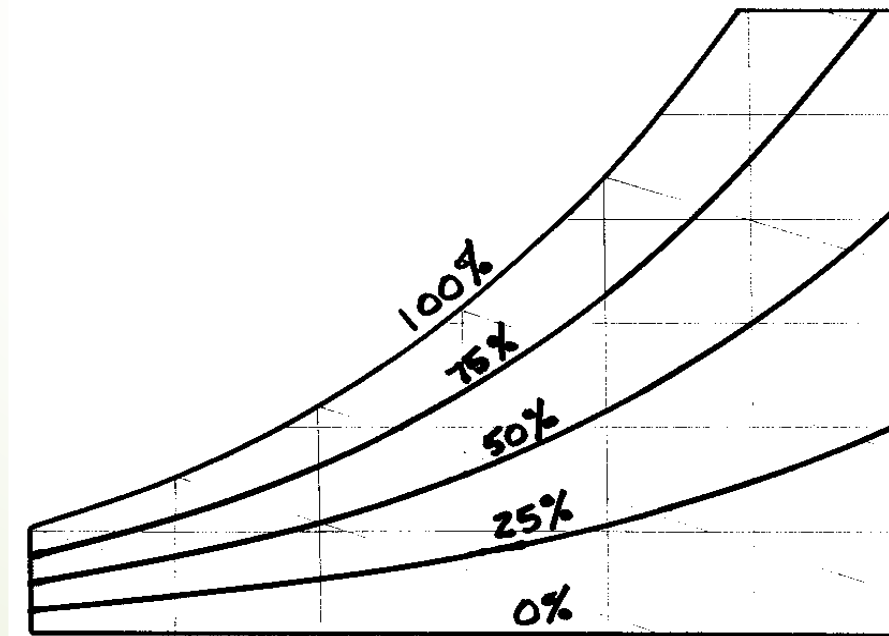
# Relación de humedad

Relación de la masa de vapor de agua a la masa de aire seco en una muestra o volumen de aire húmedo.



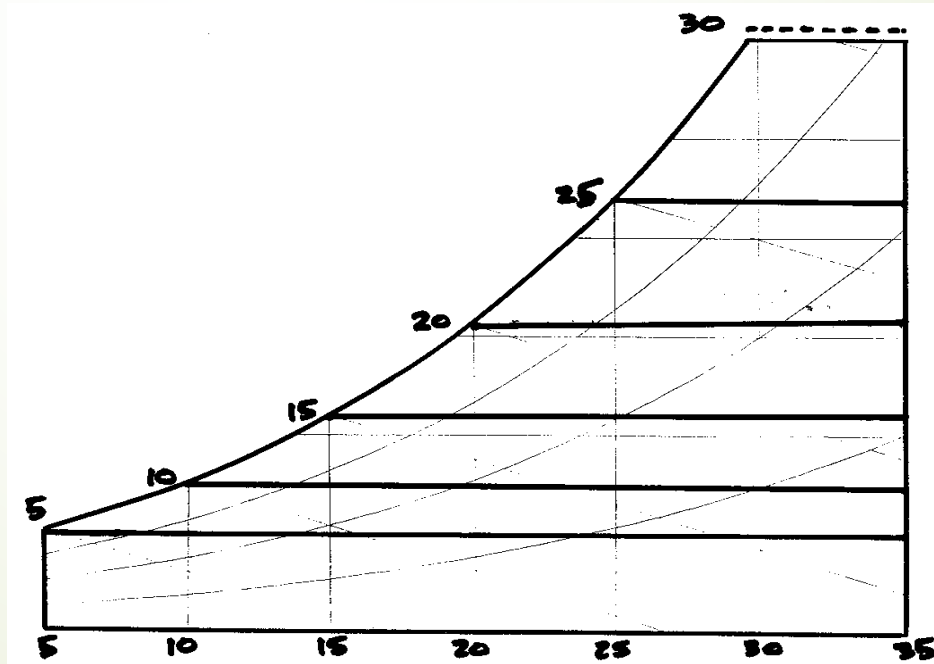
# Humedad relativa

Relación entre la presión del vapor de agua real a la presión del vapor de agua saturado a la misma temperatura de bulbo seco.



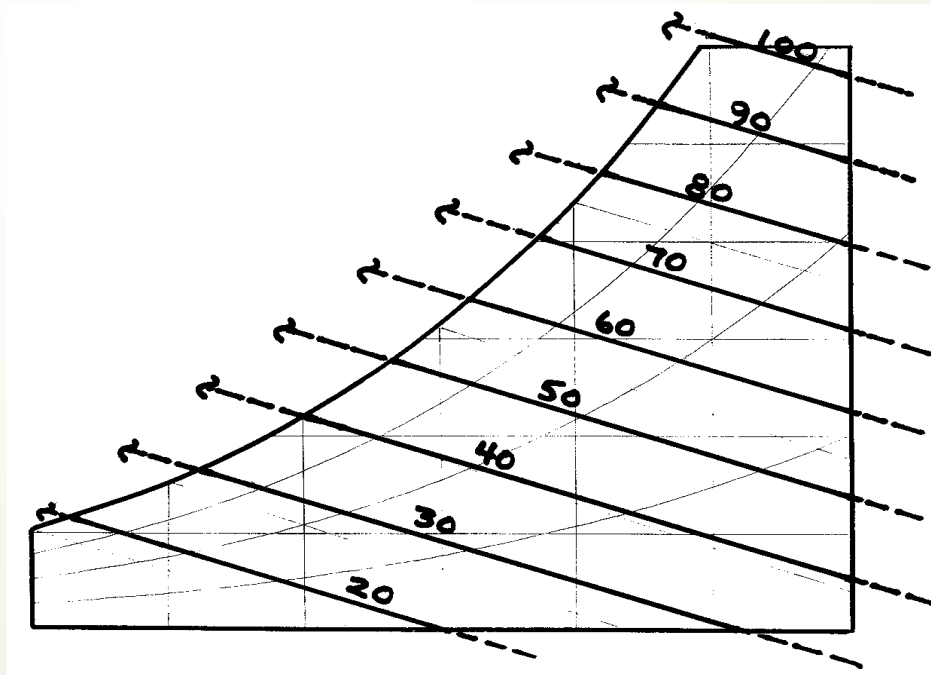
# Temperatura de punto de rocío

Temperatura en la que la fase de vapor de una sustancia estará saturada sin cambio en la presión.



# Entalpía específica

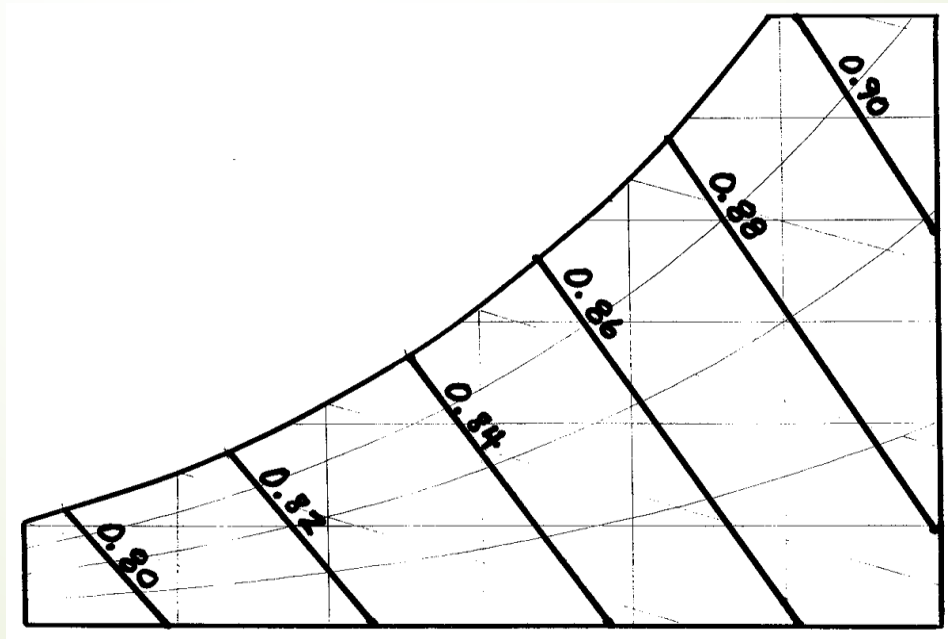
Suma de las energías interna y de empuje de la mezcla de aire seco y vapor de agua, por cada unidad de masa de aire seco.





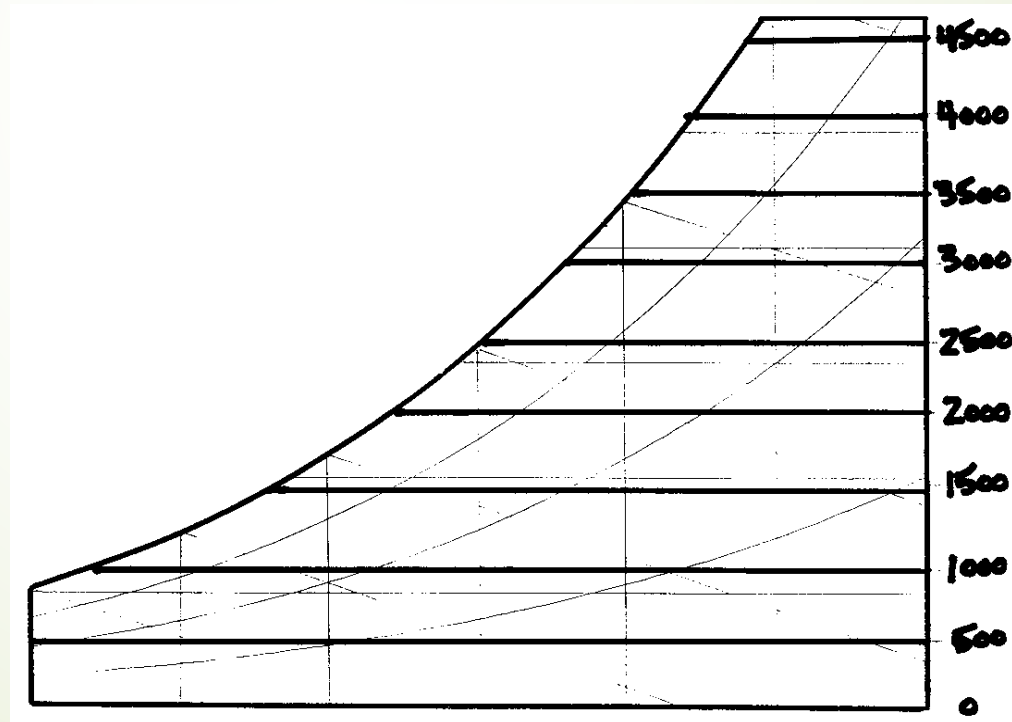
# Volumen específico

Es el volumen ocupado por cada unidad de masa de aire seco en condiciones específicas de presión y temperatura.

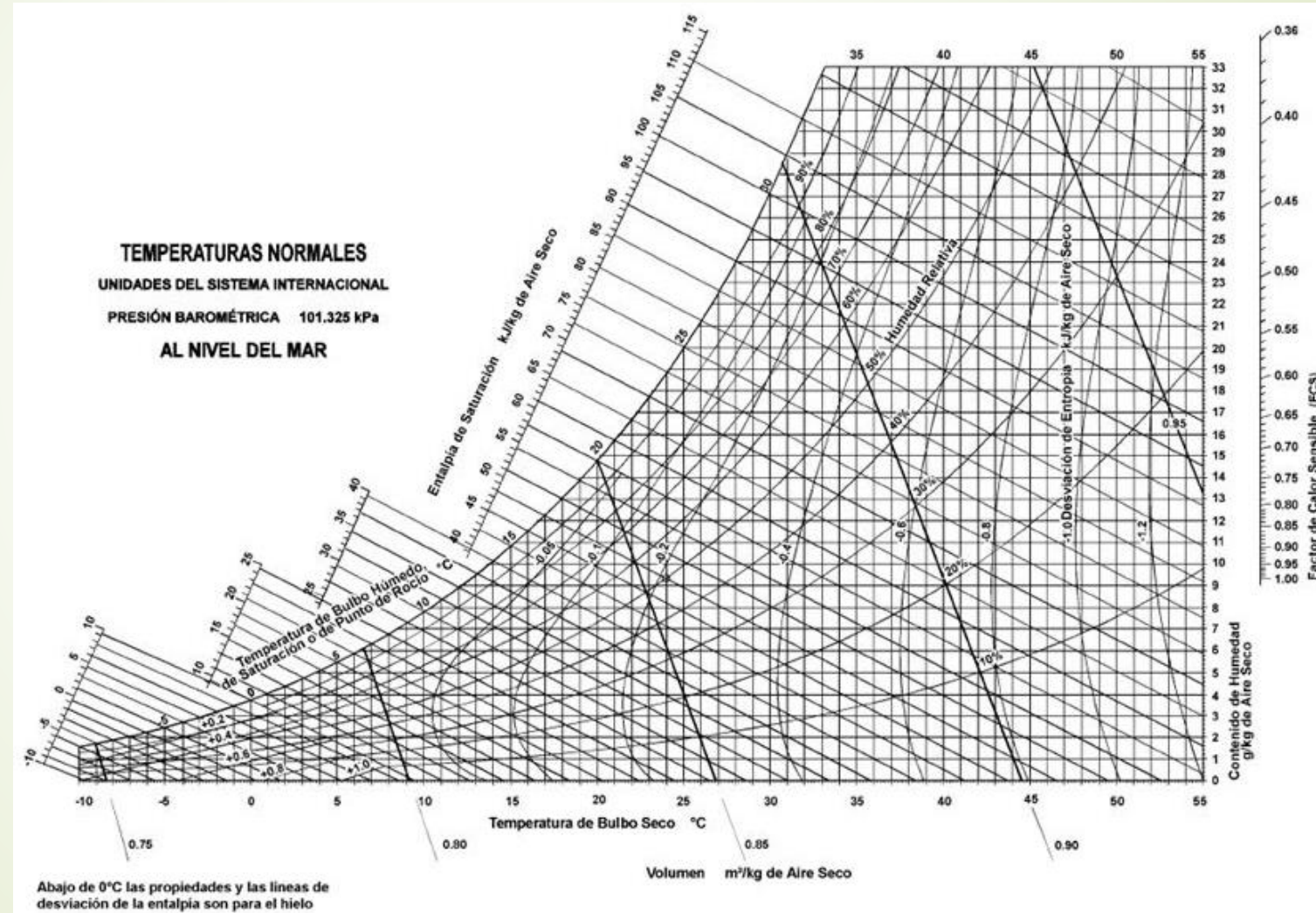


# Presión de vapor de agua

Líneas paralelas a las líneas de la temperatura del punto de rocío. No es común trazar ambas líneas.

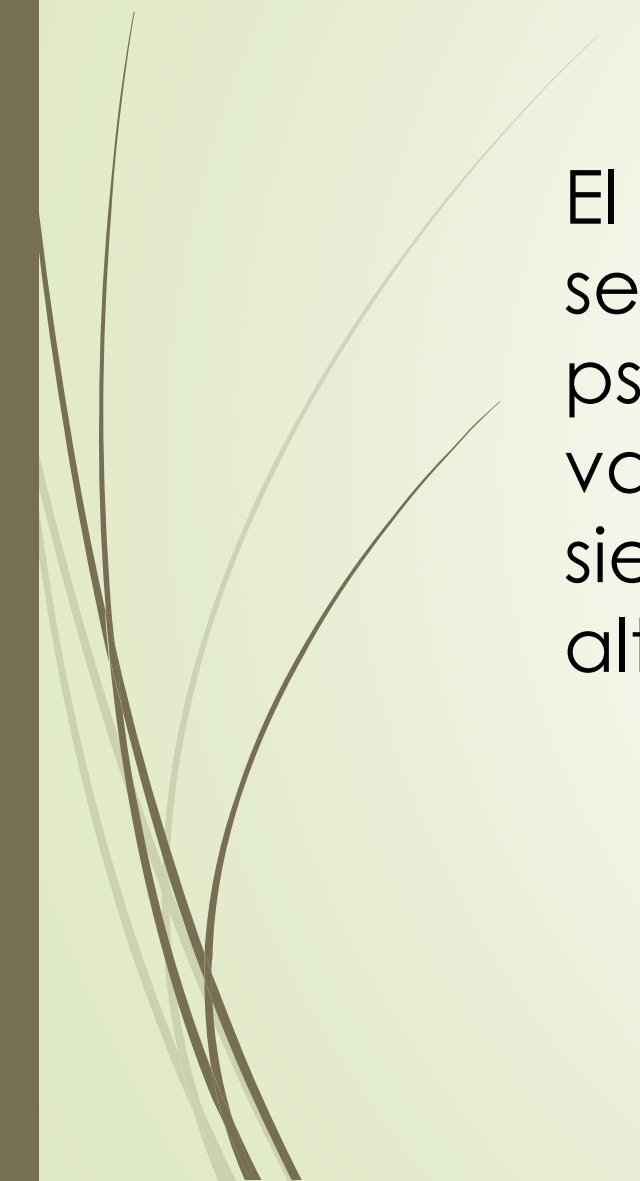


# Carta psicrométrica





# Propiedades psicrométricas



El estado psicrométrico de una mezcla de aire seco y vapor de agua, propiedades psicrométricas, se fija cuando se conocen los valores de tres propiedades independientes, siendo una de éstas la presión barométrica o la altitud.

# Constantes físicas

- ✓ La constante universal de los gases es  $\mathcal{R} = 8314,472 \text{ J}/(\text{kmol K})$ .
- ✓ La composición de  $\text{N}_2$  y  $\text{O}_2$  del aire seco es constante hasta los 11000 metros de elevación sobre el nivel del mar.
- ✓ El aire seco se comporta como gas perfecto, con masa molar,  $M_{\text{as}} = 28,966 \text{ kg}/\text{kmol}$ . La constante del aire seco,  $R_{\text{as}} = \mathcal{R}/M_{\text{as}}$ , es de  $287,042 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ .

# Constantes físicas

(Continuación)

- ✓ El vapor de agua se comporta como un gas perfecto. Tiene una masa molar,  $M_{va}$ , de 18,015268 kg/(kmol). La constante del vapor de agua,  $R_{va}$ , es de 461,524 J/(kg ·K).
- ✓ La relación  $(R_{as}/R_{va}) = (M_{va}/M_{as}) = 0,621945$ .

# Ley de Dalton


- ✓ La presión de una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones que cada gas ejercería si existiera sólo a la temperatura y volumen de la mezcla.
- ✓ La presión total ( $p_{total}$ ) del aire húmedo es la presión barométrica ( $p_{bar}$ ) en el lugar de interés

$$p_{total} = p_{bar} = p_{as} + p_{va}$$

Donde  $p_{as}$  y  $p_{va}$  son la presiones parciales del aire seco y del vapor de agua, respectivamente.



# Suposiciones

- ❖ La presión total en los procesos psicrométricos es constante. La excepción es un proceso que implica la compresión de un gas.
  - ❖ Los cálculos se basan en la unidad de masa de aire seco por ser constante en la mayoría de los procesos psicrométricos.
- 



# Algoritmos

## Humedad relativa

$$HR = p_{va} / p_{va,sat} \quad \text{al mismo } p_{bar} \text{ y } T_{PR}$$

## Relación de humedad

$$W = m_{va}/m_{as} = 0,621945 p_{va}/p_{as}$$

$$W = 0,621945 p_{va} / (p_{bar} - p_{va})$$

## Entalpía específica

$$h = (h_{as} + h_{va} \cdot W) / (1 + W)$$

$$h = C_{p,as} \cdot (t - t_{REF}) + W \cdot [(h_{G,va@t_{REF}} + C_{P_{va}} \cdot (t - t_{REF}))]$$

## Temperatura de referencia

Por costumbre y por conveniencia  $t_{REF} = 0^\circ \text{ C}$ .

# Algoritmos

(Continuación)

Temperatura (° C)

$$t = 15 - Z(0,0065)$$

Z: altitud en m.

Presión barométrica (kPa) a diferentes altitudes

$$p = 101,325 (1 - [2,25577 \times 10^{-5}] Z)^{5,2559}$$

Volumen específico


$$v_{as} = R_{as} \cdot T / (p_{bar} - p_{va})$$

Temperatura termodinámica de bulbo húmedo en un proceso de saturación adiabática

$$W_1 = (W_{va, sat @ TBH} (h_{G, REF} + Cp_{va} \cdot t_{BH} - h_{F2}) - Cp_{as} (t_{BH1} - t_{BH})) / (h_{G, REF} - h_{F2} + Cp_{H2O} \cdot t_{BS1})$$



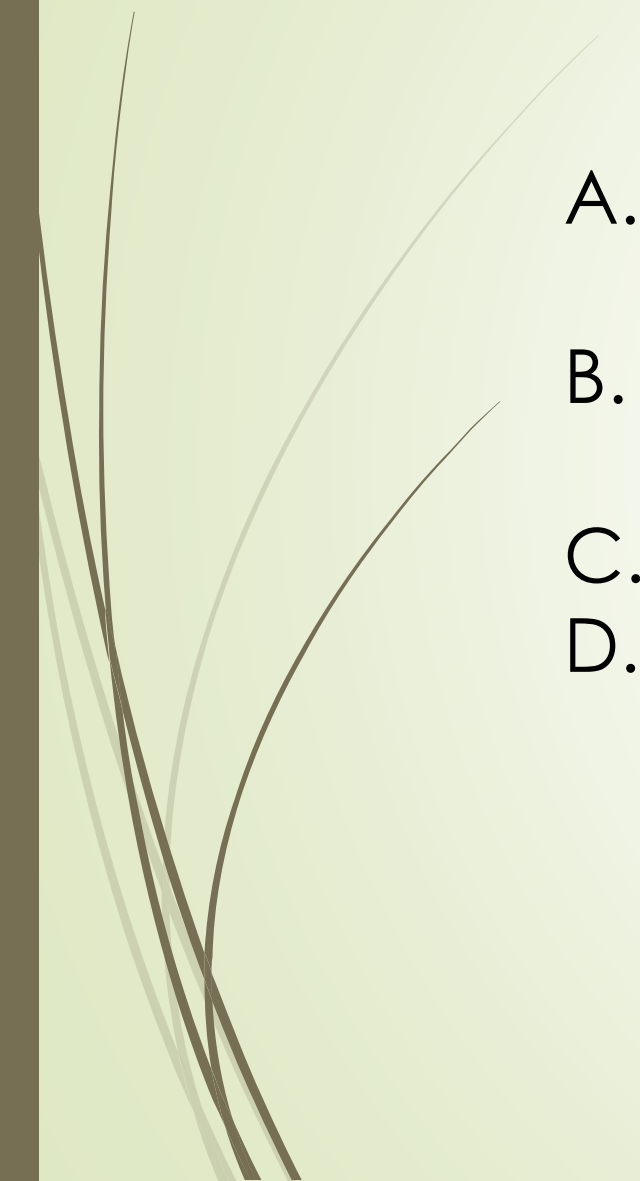
# Proceso psicrométrico



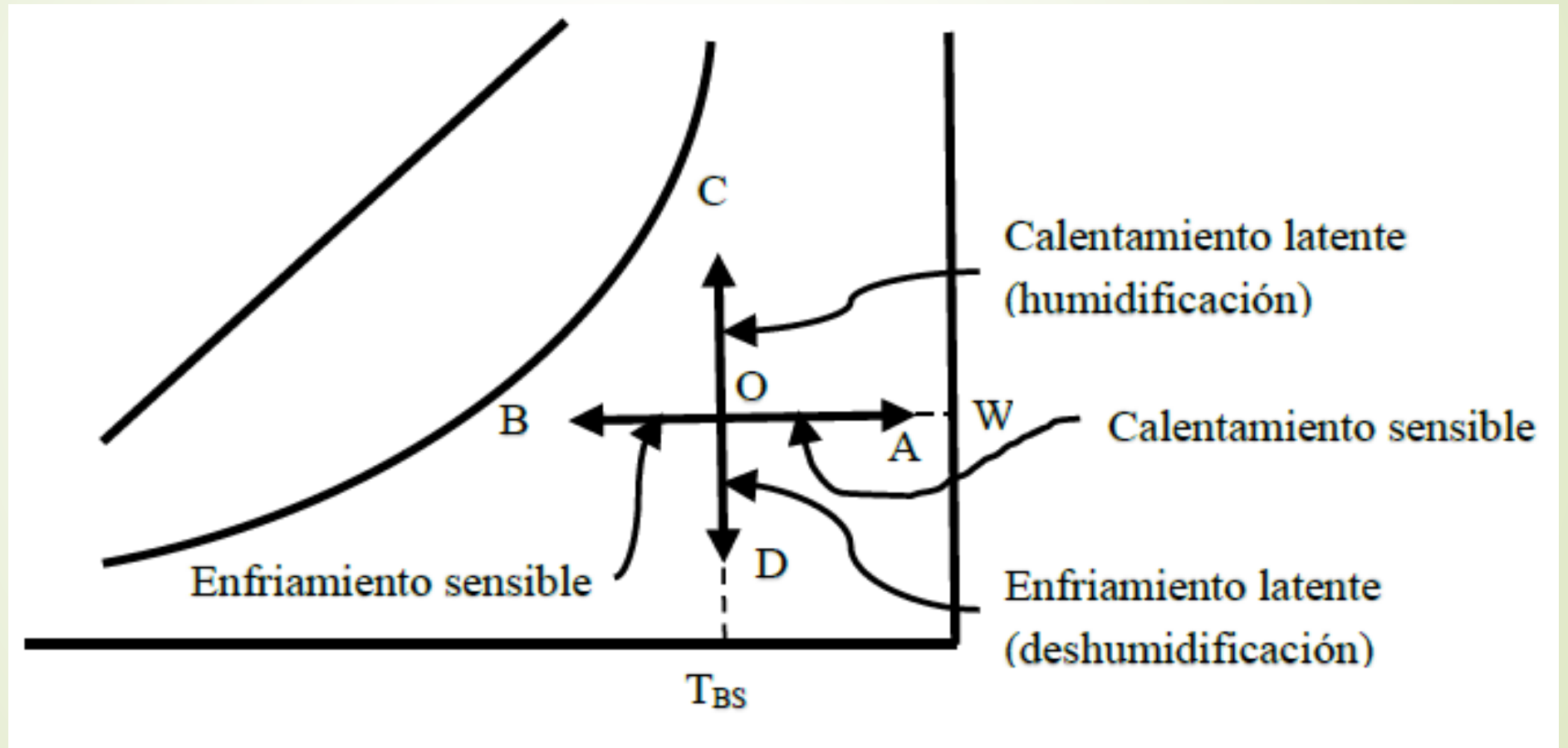
Un proceso psicrométrico ocurre cuando el aire en un estado de equilibrio inicial cambia a otro experimentado por un sistema. Este cambio se debe a la transferencia de calor, o de trabajo, hacia o desde el aire, y / o transferencia de masa de vapor de agua. Un proceso tiene un punto de estado inicial y un punto de estado final. El proceso se produce entre los dos.



# Procesos básicos

- A. Calentamiento sensible (transferencia de calor en el aire)
  - B. Enfriamiento sensible (transferencia de calor desde el aire)
  - C. Humidificación (adición de energía latente)
  - D. Deshumidificación (eliminación de energía latente).
- 

# Procesos básicos en la carta psicrométrica



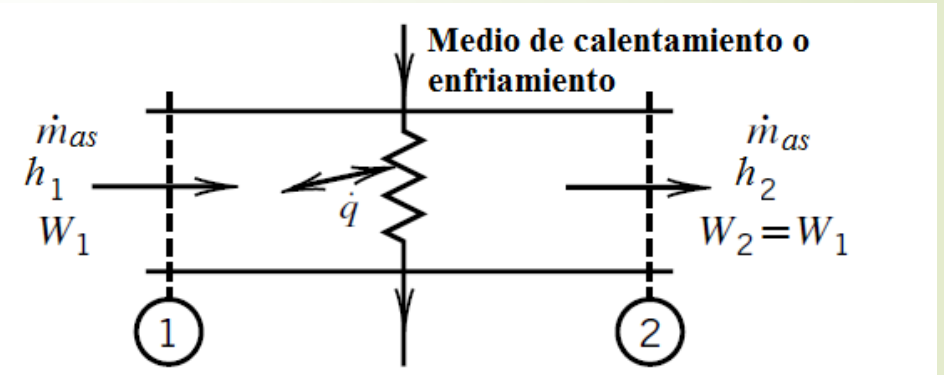


# Procesos con transferencia de calor y vapor de agua

- Calentamiento o enfriamiento sensible de aire húmedo
- Enfriamiento y deshumidificación de aire húmedo
- Mezcla adiabática de dos corrientes de aire húmedo
- Mezcla adiabática de agua inyectada en el aire húmedo

# Calentamiento o enfriamiento sensible de aire húmedo

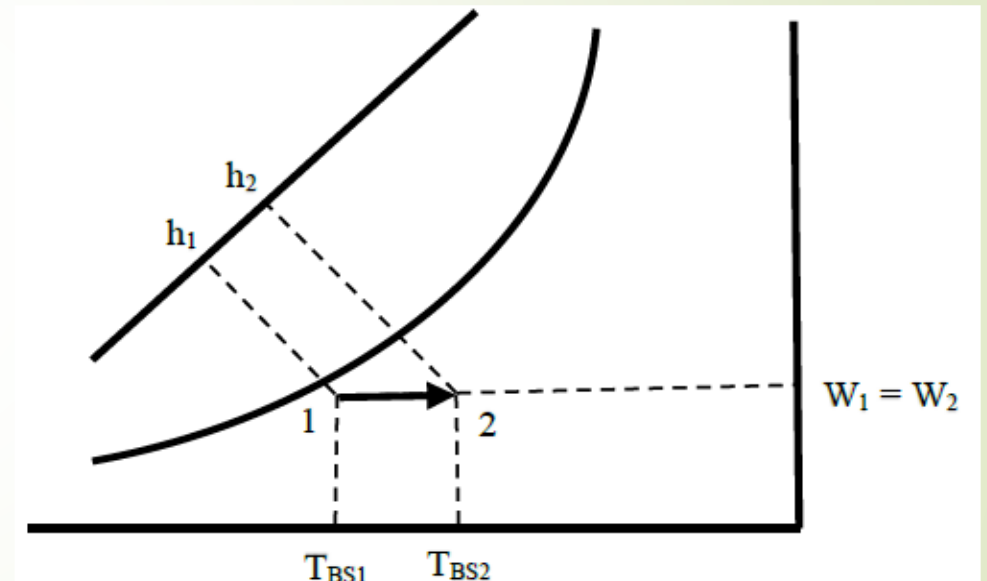
- Al agregar o retirar calor del aire húmedo se varía la temperatura de bulbo seco, TBS, manteniendo constante el contenido de humedad ( $W_2 = W_1$ ).



$$\dot{q} = \dot{m}_{as} \cdot (h_2 - h_1)$$

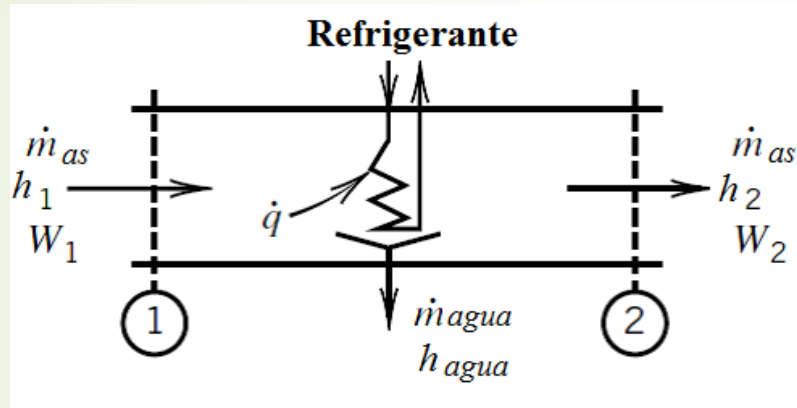
# Proceso térmico del ventilador

- Es un proceso de calentamiento sensible.
- Es energía suministrada al eje del ventilador
- En algunos casos, el motor y / o la banda en  $V$  se encuentran fuera de la corriente de aire. Estas pérdidas se asignan a la habitación o a la corriente de aire donde se ubican los componentes.





# Enfriamiento y deshumidificación de aire húmedo

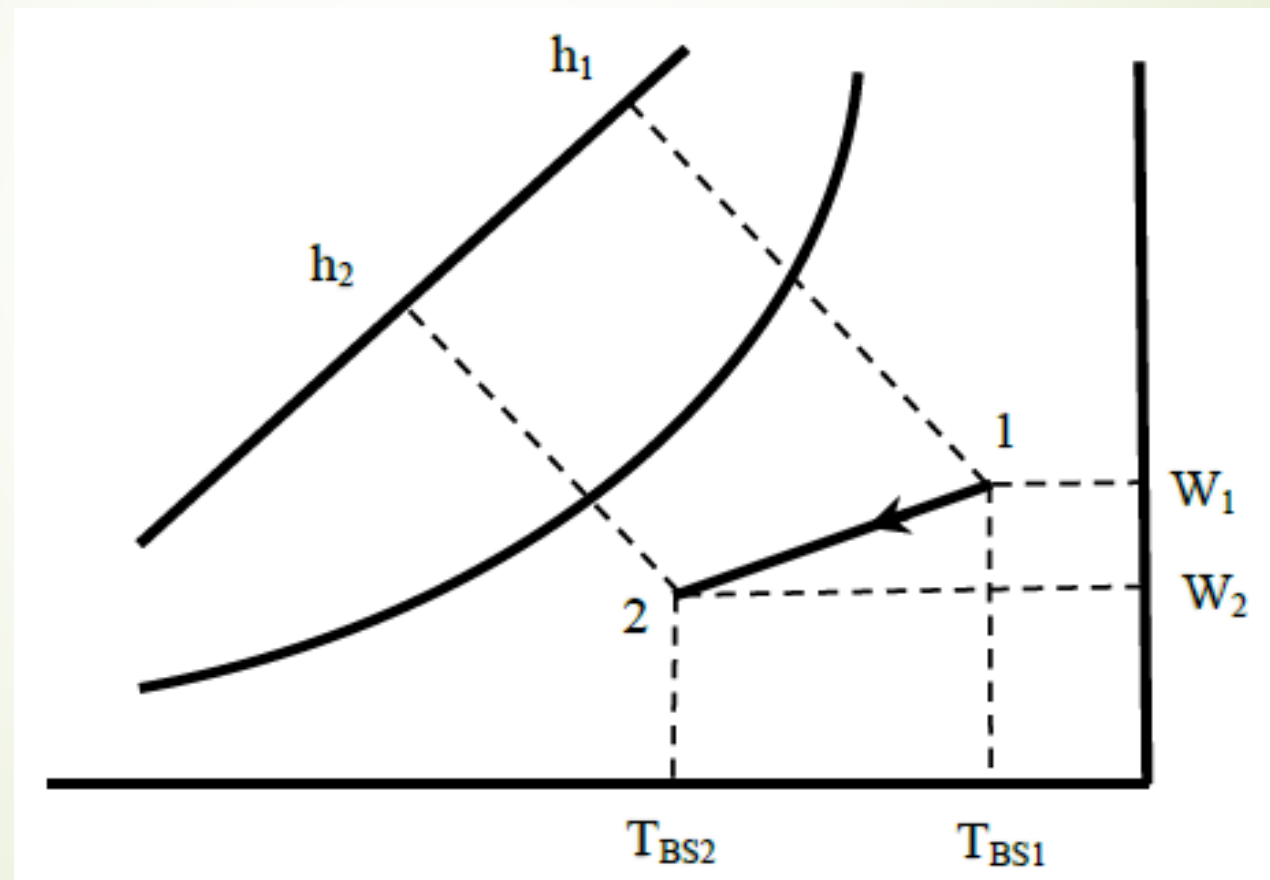


$$\dot{m}_{as1}h_1 = \dot{m}_{as2}h_2 + q_{12} + \dot{m}_{agua}h_{agua}$$

$$\dot{m}_{as1}W_1 = \dot{m}_{as2}W_2 + \dot{m}_{va}$$

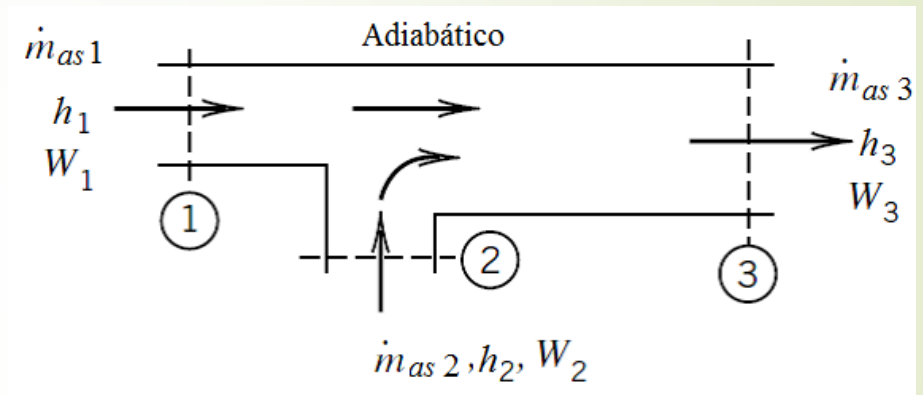
- La condensación de humedad ocurre cuando el aire húmedo es enfriado a una temperatura debajo de su punto de rocío inicial.
- El agua se puede eliminar a diversas temperaturas (desde el punto de rocío inicial a la temperatura de saturación final). Se supone que el agua condensada se enfría a la temperatura final del aire antes que drene el sistema.
- Si sólo se desea deshumidificar, se utilizan desecantes químicos.

# Enfriamiento y deshumidificación de aire húmedo



# Mezcla adiabática de dos corrientes de aire húmedo

- El aire acondicionado suele mezclarse con una fracción de aire fresco exterior antes de enviarse a los recintos.
- El intercambio de calor con los alrededores suele ser pequeño, por lo que se supone que el proceso de mezclado es adiabático

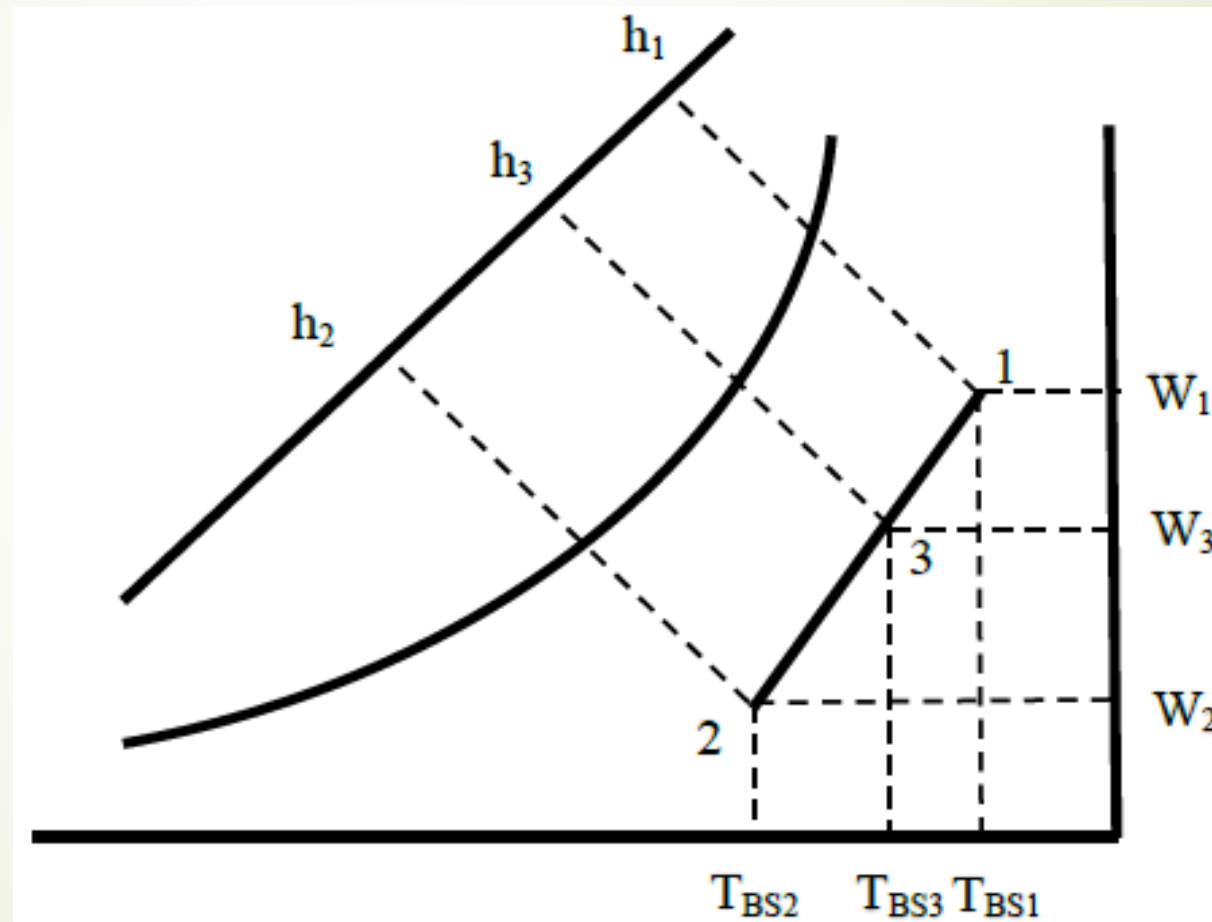


$$\dot{m}_{as1}h_1 + \dot{m}_{as2}h_2 = \dot{m}_{as3}h_3$$

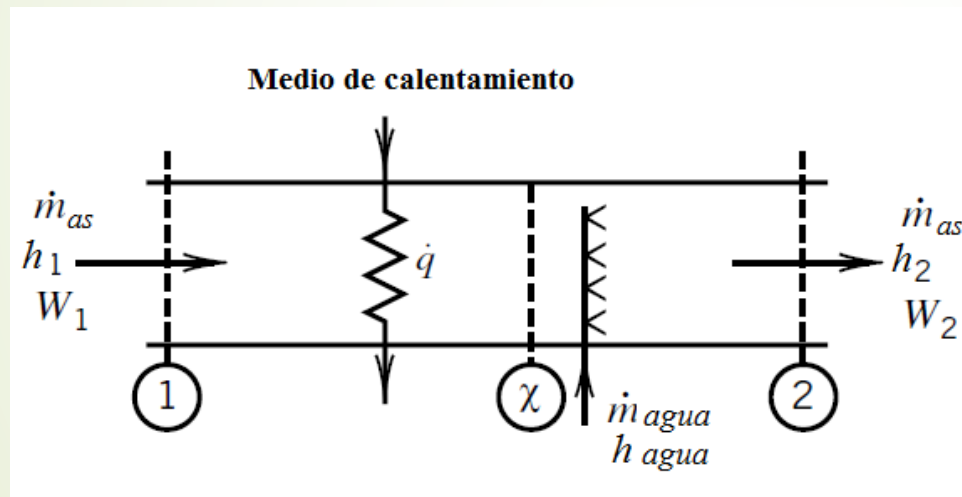
$$\dot{m}_{as1} + \dot{m}_{as2} = \dot{m}_{as3}$$

$$\dot{m}_{as1}W_1 + \dot{m}_{as2}W_2 = \dot{m}_{as3}W_3$$

# Mezcla adiabática de dos corrientes de aire húmedo



# Mezcla adiabática de agua inyectada en el aire húmedo



➤ Vapor de agua o agua líquida puede inyectarse en la corriente de aire húmedo para incrementar su humedad.

➤ Si la mezcla es adiabática

$$\dot{m}_{as}h_1 + \dot{m}_{agua}h_{agua} = \dot{m}_{as}h_2$$

$$\dot{m}_{as}W_1 + \dot{m}_{agua} = \dot{m}_{as}W_2$$

# Mezcla adiabática de agua inyectada en el aire húmedo

