

TEMA 2

Psicrometría

2.1. Introducción

PSICROMETRÍA: estudio propiedades termodinámicas de mezclas de gases.

Aire húmedo: aire seco y vapor de agua.

AIRE HÚMEDO: mezcla binaria de aire seco y vapor de agua

- Cantidad de vapor de agua: depende de P y T

0: aire seco

Fase de saturación: equilibrio entre aire húmedo y agua

- Los gases no reaccionan químicamente, no se combinan

- **TRATAMIENTO: MEZCLA DE GASES IDEALES**

Revisamos las leyes de las mezclas.....

LEYES DE LAS MEZCLAS:

- número de moles de una mezcla
- ley de las presiones parciales o de Dalton
- ley de los volúmenes parciales o de Amagat
- constante específica de una mezcla

Leyes de las mezclas:

1) Número de moles de la mezcla:

$$\left. \begin{array}{l} m_i \\ M_i \end{array} \right\} n_i = \frac{m_i}{M_i} \quad \Rightarrow \quad n = \sum_{n=1}^i n_i = \sum_{n=1}^i \frac{m_i}{M_i}$$

2) Presiones parciales y ley de Dalton:

$$PV = \sum_{n=1}^i n_i RT \Rightarrow P = \frac{\sum_{n=1}^i n_i RT}{V} = \frac{n_1 RT}{V} + \frac{n_2 RT}{V} + \frac{n_3 RT}{V} \dots\dots\dots$$

$$P = p_1 + p_2 + \dots\dots\dots = \sum_{n=1}^i p_i$$

Leyes de las mezclas:

3) Volúmenes parciales y ley de Amagat:

$$PV = \sum_{n=1}^i n_i RT \Rightarrow V = \frac{\sum_{n=1}^i n_i RT}{P} = \frac{n_1 RT}{P} + \frac{n_2 RT}{P} + \frac{n_3 RT}{P} \dots\dots\dots$$

$$V = \sum_{n=1}^i V_i$$

4) Constante específica de la mezcla:

$$\left. \begin{array}{l} PV = nRT \\ PV = mrT \end{array} \right\} nR = mr \Rightarrow r = \frac{R}{m} n = \frac{R}{m} \sum_{i=1}^n n_i = \frac{R}{m} \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{M_i} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n \frac{Rm_i}{M_i}$$

$$r_i = \frac{R}{M_i} \Rightarrow r = \frac{\sum_{i=1}^n m_i r_i}{m}$$

MEZCLA: AIRE HÚMEDO (AIRE SECO + VAPOR DE AGUA):

Ecuación para el vapor de agua en el aire:

$$eV = nRT$$

e: presión parcial o tensión de vapor

$$eV = nRT = \frac{m_V}{M_V} RT = m_V r_V T$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n m_i r_i}{m} = \frac{m_S r_S + m_V r_V}{m}$$

$$\left. \begin{array}{l} r_S = \frac{R}{M_{\text{aire}}} = \frac{8,31 \frac{J}{\text{mol} \cdot K}}{29 \frac{g}{\text{mol}}} = 287 \frac{J}{\text{Kg} \cdot K} \\ r_V = \frac{R}{M_{\text{vapor}}} = \frac{8,31 \frac{J}{\text{mol} \cdot K}}{18 \frac{g}{\text{mol}}} \cong 462 \frac{J}{\text{Kg} \cdot K} \end{array} \right\}$$

MEZCLA: AIRE HÚMEDO (AIRE SECO + VAPOR DE AGUA):

Ecuación de estado para el aire húmedo:

$$PV = mrT = m \frac{\sum_{i=1}^n m_i r_i}{m} T = \left(\sum_{i=1}^n m_i r_i \right) T = (m_S r_S + m_V r_V) T$$

$$\left. \begin{array}{l} P_S V = m_S r_S T \\ e V = m_V r_V T \\ PV = mrT \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} P_S = \frac{m_S}{V} r_S T = \rho_S r_S T \\ e = \frac{m_V}{V} r_V T = \rho_V r_V T \end{array} \right\} \boxed{\varepsilon = \frac{\rho_V}{\rho_S} = \frac{\frac{e}{r_V T}}{\frac{P_S}{r_S T}} = \frac{r_S}{r_V} = \frac{287}{462} \cong \frac{5}{8}}$$

2.2. Humedad atmosférica e índices de humedad

HUMEDAD: proporción de vapor de agua que existe en el aire húmedo

PARÁMETROS HABITUALES:

HUMEDAD ESPECÍFICA q : masa de vapor de agua por unidad de masa de aire húmedo

$$q = \frac{m_V}{m} = \frac{m_V}{m_V + m_S}$$

RAZÓN DE MEZCLA $w(x)$: masa de vapor de agua por unidad de masa de aire seco

$$w = \frac{m_V}{m_S}$$

$$w = \frac{m_V}{m_S} = \frac{m_V}{m - m_V} = \frac{\frac{m_V}{m}}{1 - \frac{m_V}{m}} = \frac{q}{1 - q}$$

TENSIÓN DE VAPOR e : presión parcial del vapor en el aire húmedo considerado

$$eV = m_V r_V T \quad P_S = P - e$$

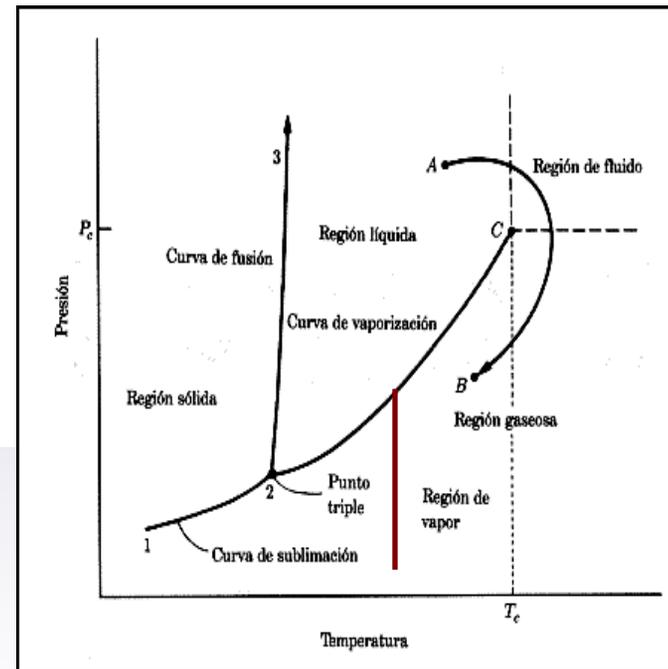
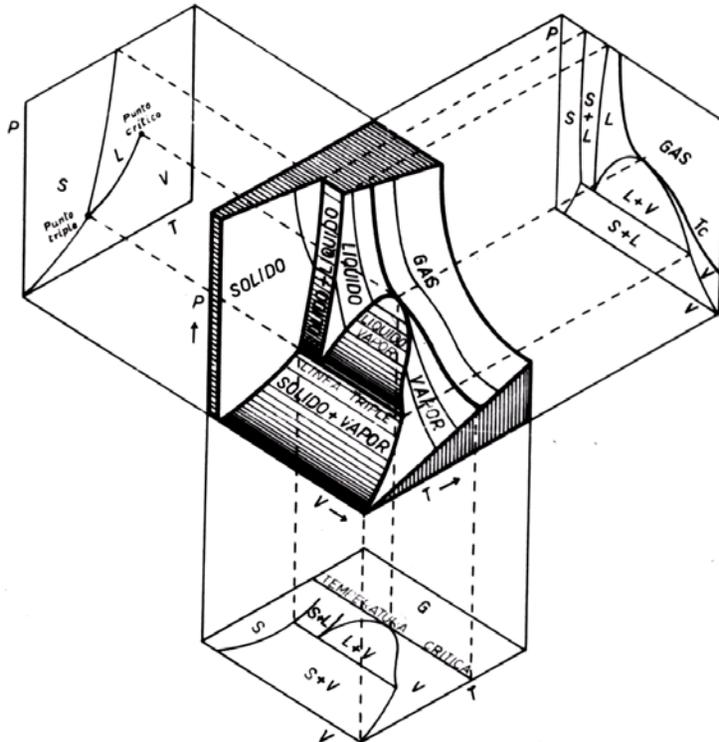
$$P_S V = m_S r_S T \Rightarrow (P - e)V = m_S r_S T$$

$$\frac{eV}{(P - e)V} = \frac{m_V r_V T}{m_S r_S T} \Rightarrow \frac{e}{P - e} = \frac{m_V}{m_S} \frac{1}{\frac{r_S}{r_V}} \cong \frac{8}{5} w$$

$$\frac{e}{P} \cong \frac{8}{5} w \Rightarrow w \cong \frac{5}{8} \frac{e}{P}$$

HUMEDAD RELATIVA h , f : relación entre la masa de vapor de agua que contiene un volumen y la que contendría en el caso de estar saturado

$$h = f = \frac{m_V}{m_{Vsat}} = \frac{e(T)}{e_{sat}(T)}$$



HUMEDAD ABSOLUTA a: masa de vapor de agua (en gramos) contenida en un metro cúbico de aire húmedo

$$a = 10^6 \rho_V (g / m^3) \quad \rho_V (g / cm^3)$$

$$e = \frac{m_V}{V} r_V T = \rho_V r_V T \Rightarrow a = 10^6 \rho_V = 10^6 \frac{e}{r_V T}$$

$$e = \frac{\text{dinas}}{\text{cm}^2} \quad r_V = 462 \frac{J (= N \cdot m)}{\text{Kg} \cdot K} = 462 \cdot 10^4 \frac{\text{dinas} \cdot \text{cm}}{\text{g} \cdot K}$$

$$a = 10^6 \frac{e}{r_V T} = 10^6 \left(\frac{\text{cm}^3}{\text{m}^3} \right) \frac{e \left(\frac{\text{dinas}}{\text{cm}^2} \right)}{462 \cdot 10^4 \frac{\text{dinas} \cdot \text{cm}}{\text{g} \cdot K} \cdot T(K)} = 0,22 \frac{e}{T}$$

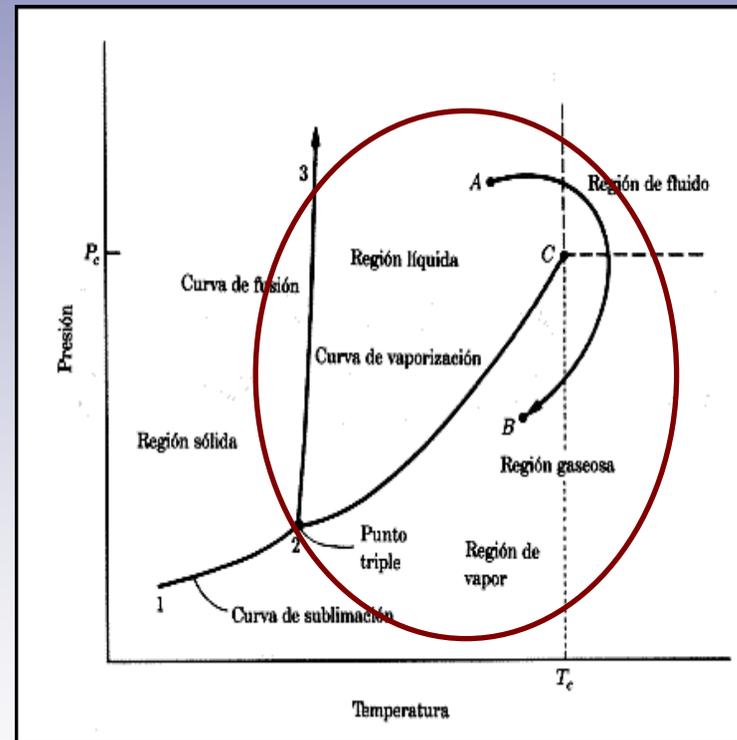
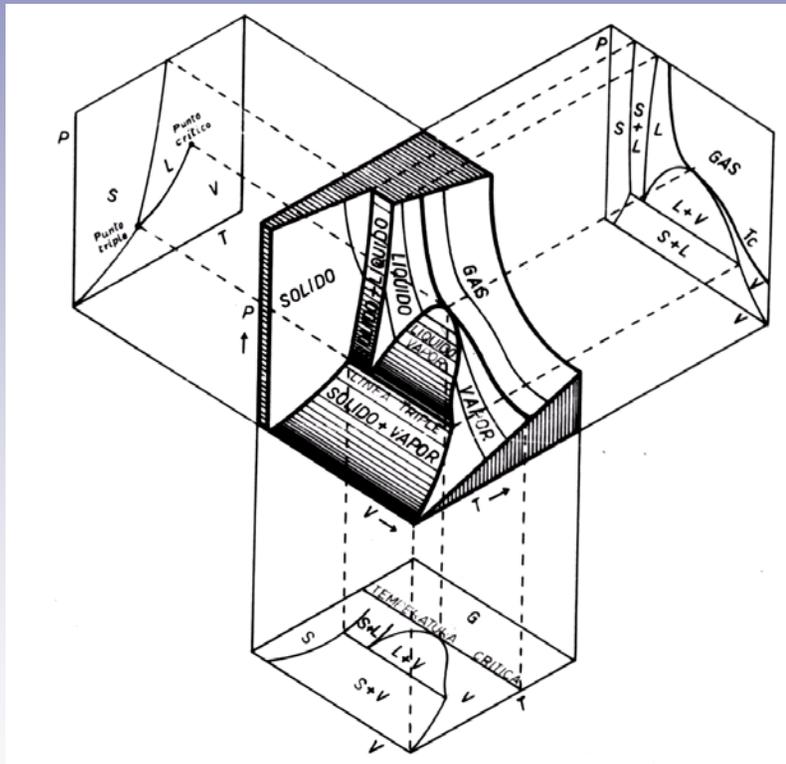
$$a = 10^6 \frac{e}{r_V T} \Rightarrow h = f = \frac{e(T)}{e_{sat}(T)} = \frac{a}{a_{sat}}$$

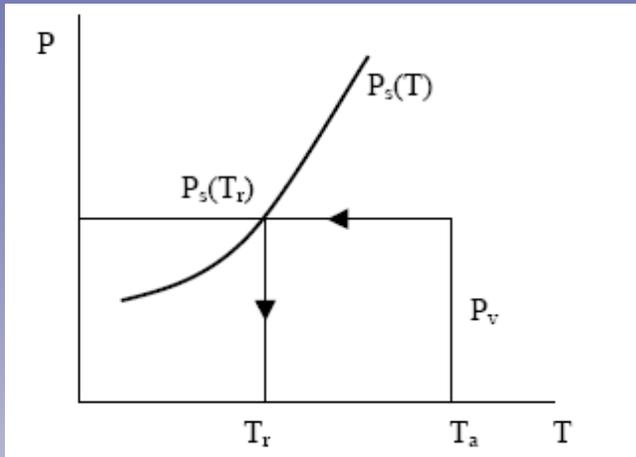
Otros índices:

- **Temperatura de rocío o punto de rocío**
- **Temperatura de saturación adiabática**

2.3. Temperatura de rocío o punto de rocío

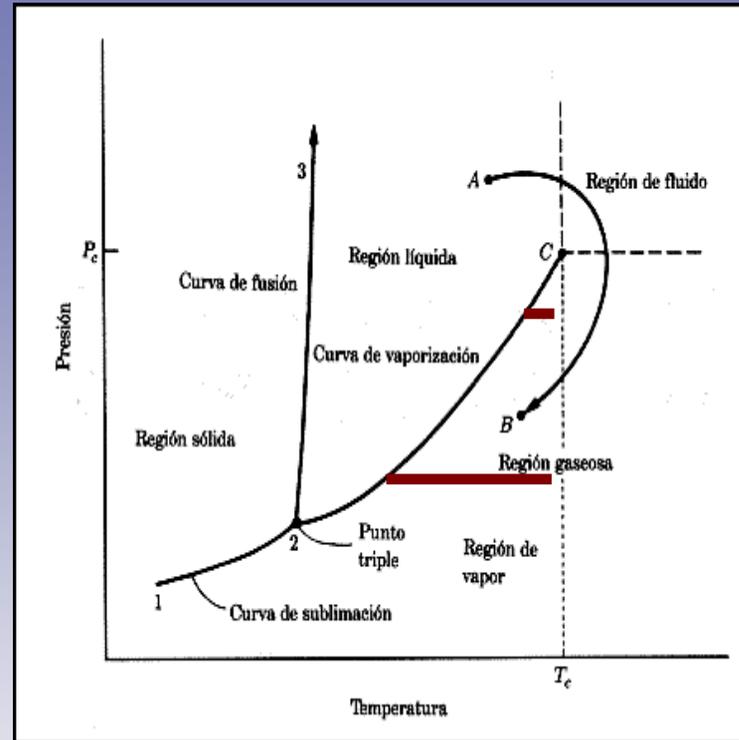
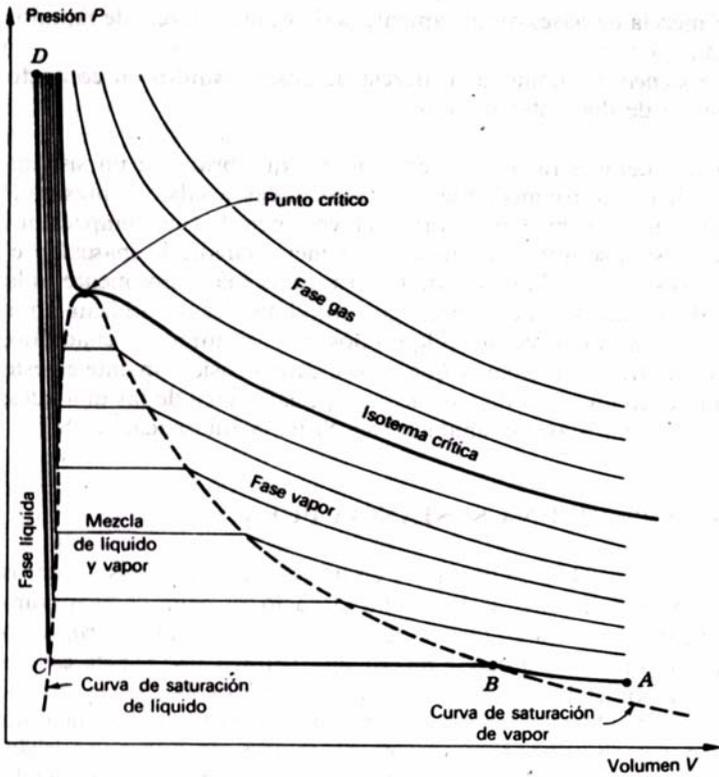
TEMPERATURA DE ROCÍO: temperatura a la cual el vapor de agua comienza a condensarse manteniendo constante la tensión de vapor y razón de mezcla





ENFRIAMIENTO A PRESIÓN CONSTANTE

¿ES LA TEMPERATURA DE ROCÍO UN ÍNDICE DE HUMEDAD?



AIRE MUY SECO: T_r distinta de T

AIRE MUY HÚMEDO: $T_r \sim T$

T_r : puede utilizarse como índice de humedad

EN LA ATMÓSFERA:

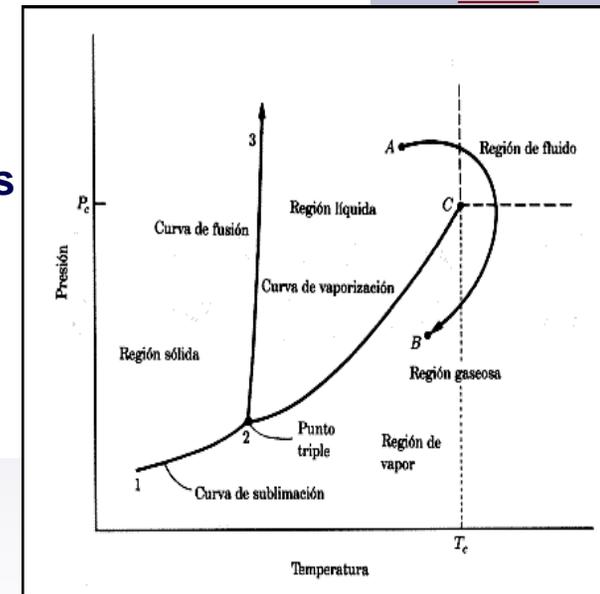
- enfriamiento: mezcla con aire más frío o enfriamiento nocturno
- descenso nocturno de la T de plantas: condensación

$T_r = 0^{\circ}\text{C}$: rocío, nieblas o lluvia

$T_r < 0^{\circ}\text{C}$: cristales de hielo, nevadas o escarcha

EN UN RECINTO CERRADO:

- enfriamiento por contacto con paredes externas
- $e(T) = e_{\text{sat}}(T)$ de alguna pared: condensación



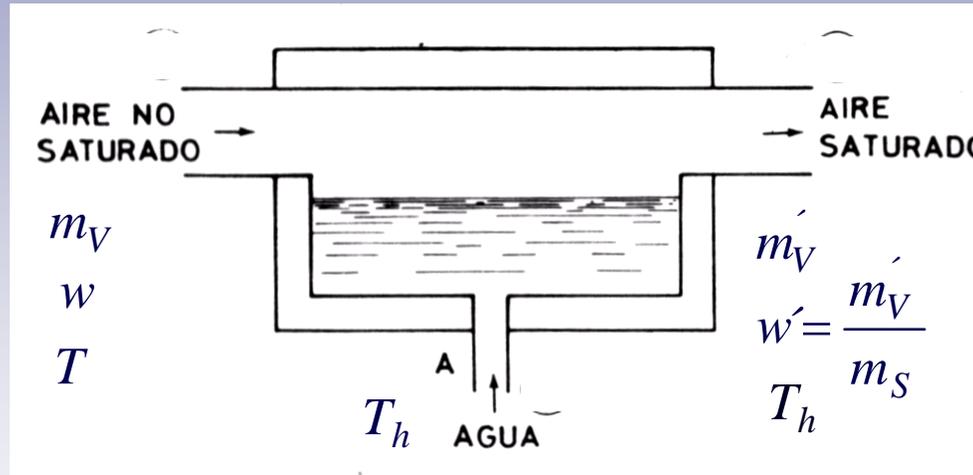
2.4. Temperatura de saturación adiabática

TEMPERATURA DE SATURACIÓN ADIABÁTICA:

temperatura teórica a la que el vapor de agua se hace saturante

sin intercambiar calor con entorno

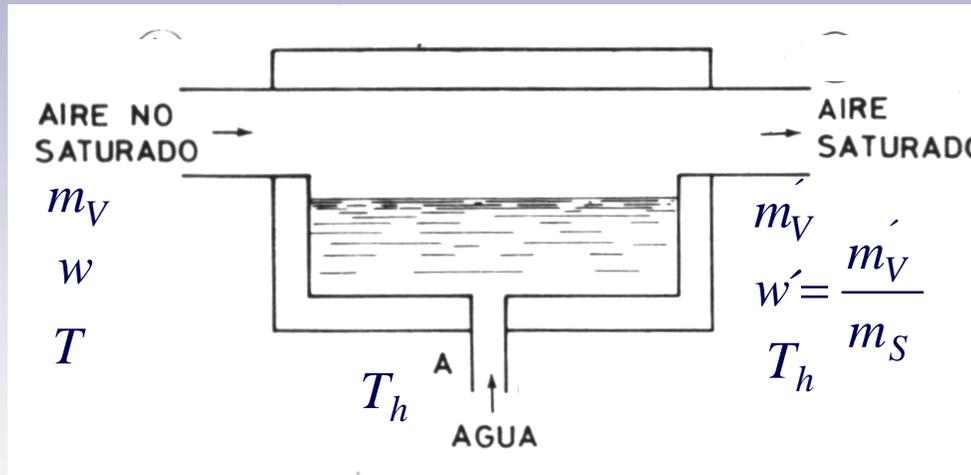
En T_r se intercambia calor con entorno



PROCESO ADIABÁTICO E ISOBARO

Definición compleja en la práctica (T_h desconocida):

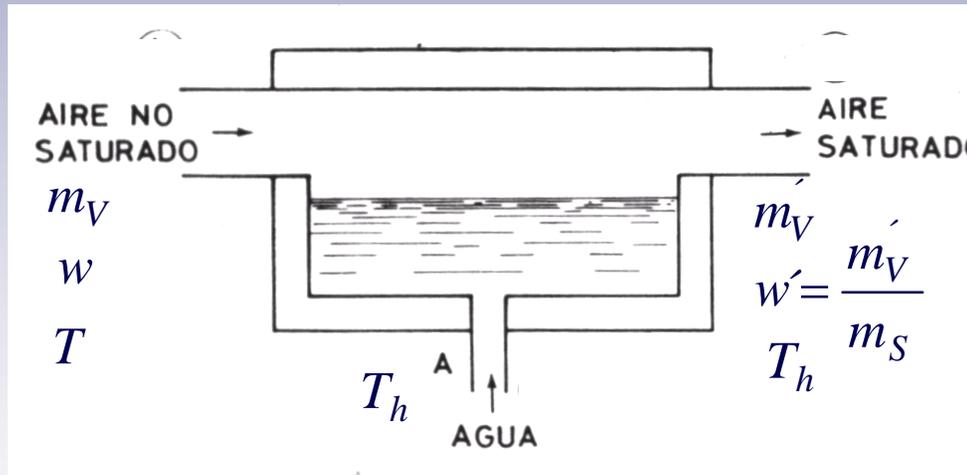
- Agregar agua a cualquier temperatura hasta saturación
- Medir temperatura aire saturado
- Cambiar temperatura del agua por esta
- Repetir hasta que coincidan temperatura del agua agregada y del aire saturado



PROCESO ADIABÁTICO E ISOBARO

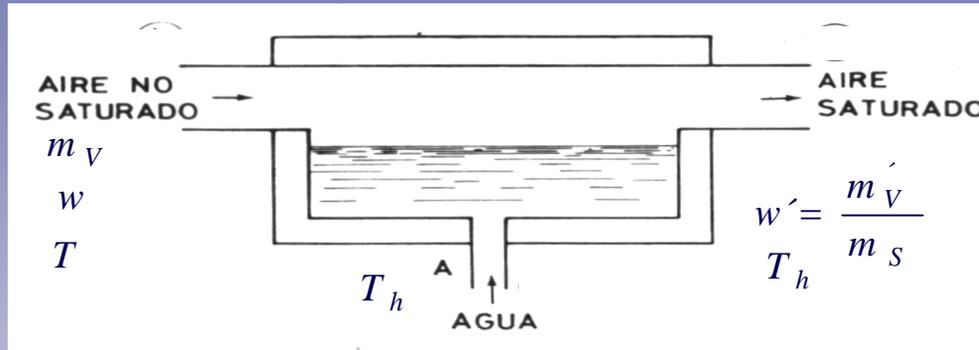
¿ES LA TEMPERATURA DE SATURACIÓN ADIABÁTICA UN ÍNDICE DE HUMEDAD?

Cuanto mayor sea la humedad de aire:
menos agua evaporada, T_h más próxima a T



PROCESO ADIABÁTICO E ISOBARO

Relación Th y otro índices de humedad:

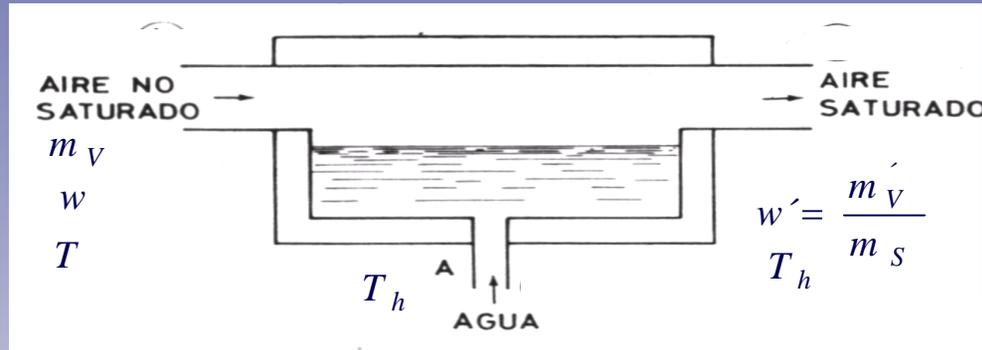


$$Q_{cedido} = Q_{absorbido}$$

$$m_S c_{PS} (T - T_h) + m_V c_{PV} (T - T_h) = L(m'_V - m_V)$$

$$c_{PS} = 0,24 \frac{cal}{g \cdot K} \quad c_{PV} = 0,45 \frac{cal}{g \cdot K} \quad L = 597 \frac{cal}{g}$$

Relación T_h y otro índices de humedad:



$$\left[c_{PS} + \frac{m_V}{m_S} c_{PV} \right] (T - T_h) = L \left(\frac{m'_V}{m_S} - \frac{m_V}{m_S} \right)$$

$$\left[c_{PS} + w c_{PV} \right] (T - T_h) = L (w'_{sat} - w)$$

↑

$$w < 0.01$$

Relación T_h y otro índices de humedad:

$$c_{PS} (T - T_h) = L(w'_{sat} - w) \Rightarrow c_{PS} (T - T_h) = L\left(\frac{5}{8} \frac{e_{sat}}{P} - \frac{5}{8} \frac{e}{P}\right)$$

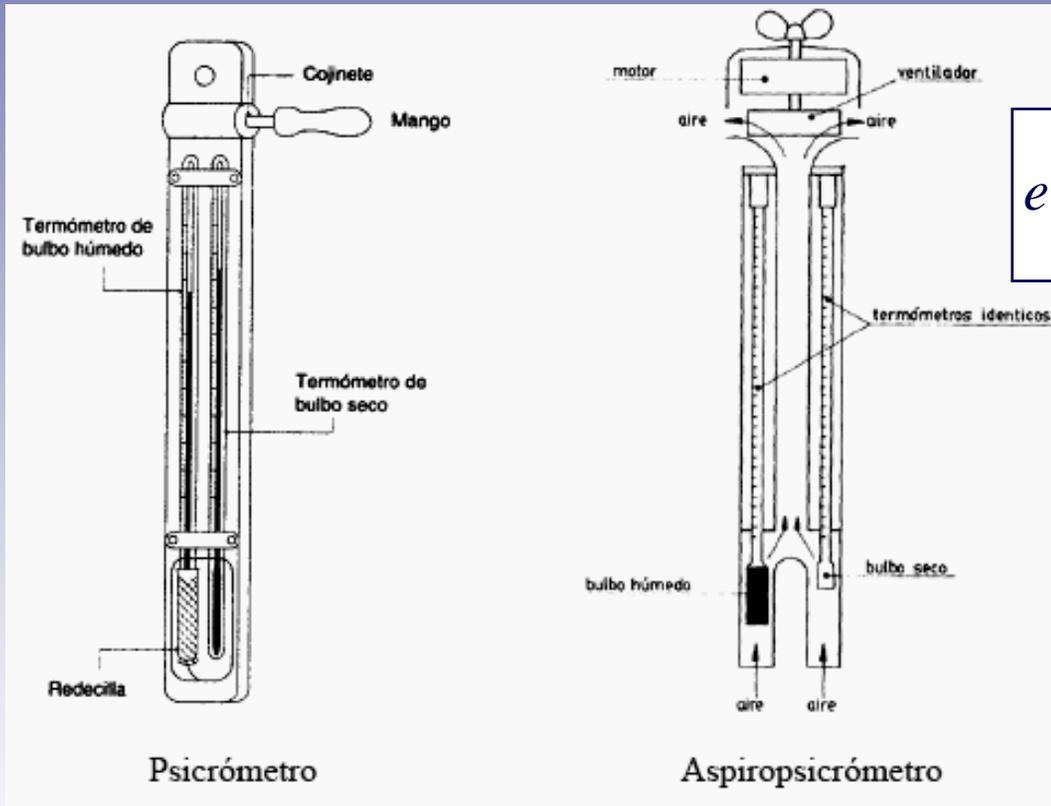
$$w \cong \frac{5}{8} \frac{e}{P}$$

$$e = e_{sat} - \frac{8P}{5L} c_{PS} (T - T_h) = e_{sat} - \frac{P}{2 \cdot 774} (T - T_h)$$

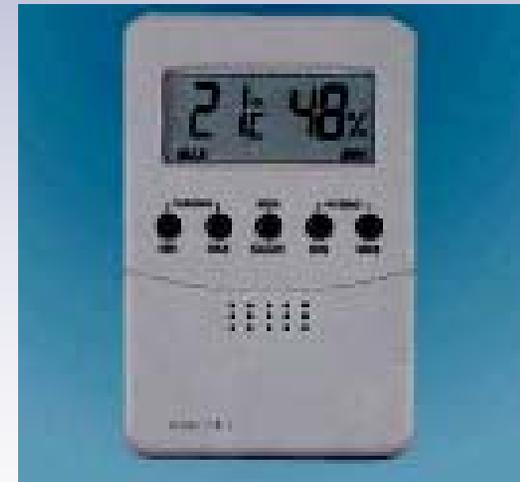
$$e = e_{sat} - \frac{1}{2,037} (T - T_h)$$

2.5. Psicrómetros

Lectura rápida, cómoda y exacta de los índices de humedad



$$e = e_{sat} - \frac{1}{2,037} (T - T_h)$$



Propiedad dependiente de humedad relativa:

Resistencia o capacidad eléctrica (ox. de aluminio, polímeros...)

2.6. Diagramas psicrométricos

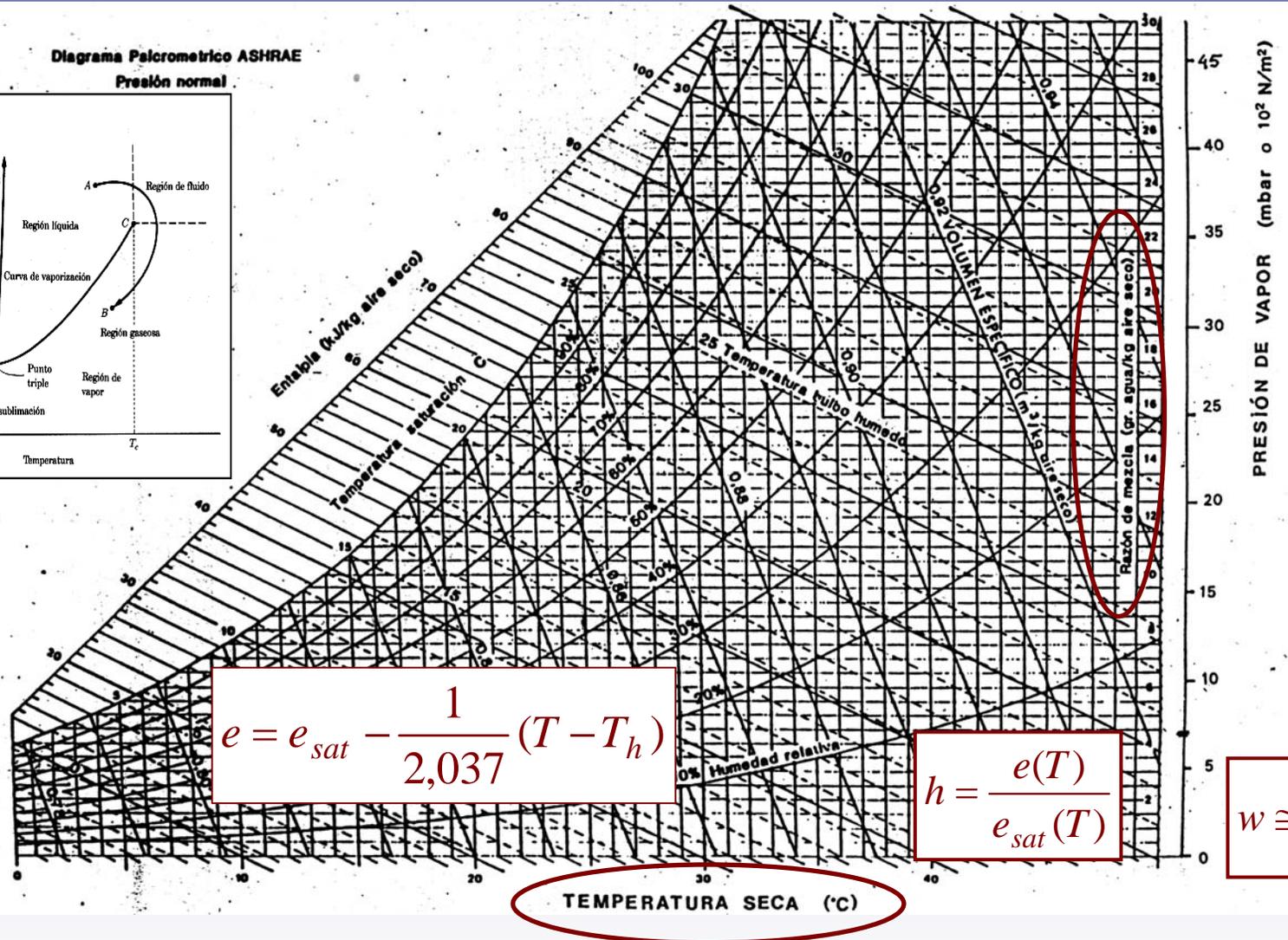
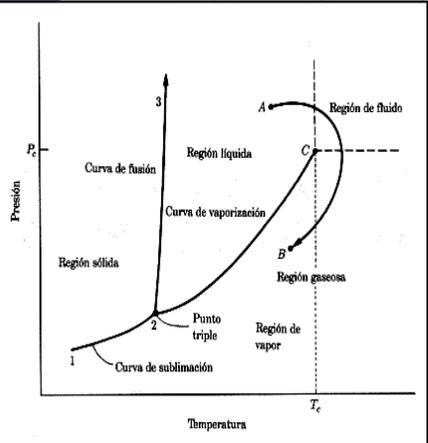
- **Propiedades del aire húmedo:** relacionadas entre sí,
de dos se deduce el resto

- **DIAGRAMA PSICROMÉTRICO:**
representación gráfica de ecuaciones deducidas

- **Estado del aire:** punto
- **Proceso psicrométrico:** línea

- **Contienen la información para el estudio y diseño de equipos y procesos relacionados con PSICROMETRÍA**

Diagrama Psicrometrico ASHRAE
Presión normal

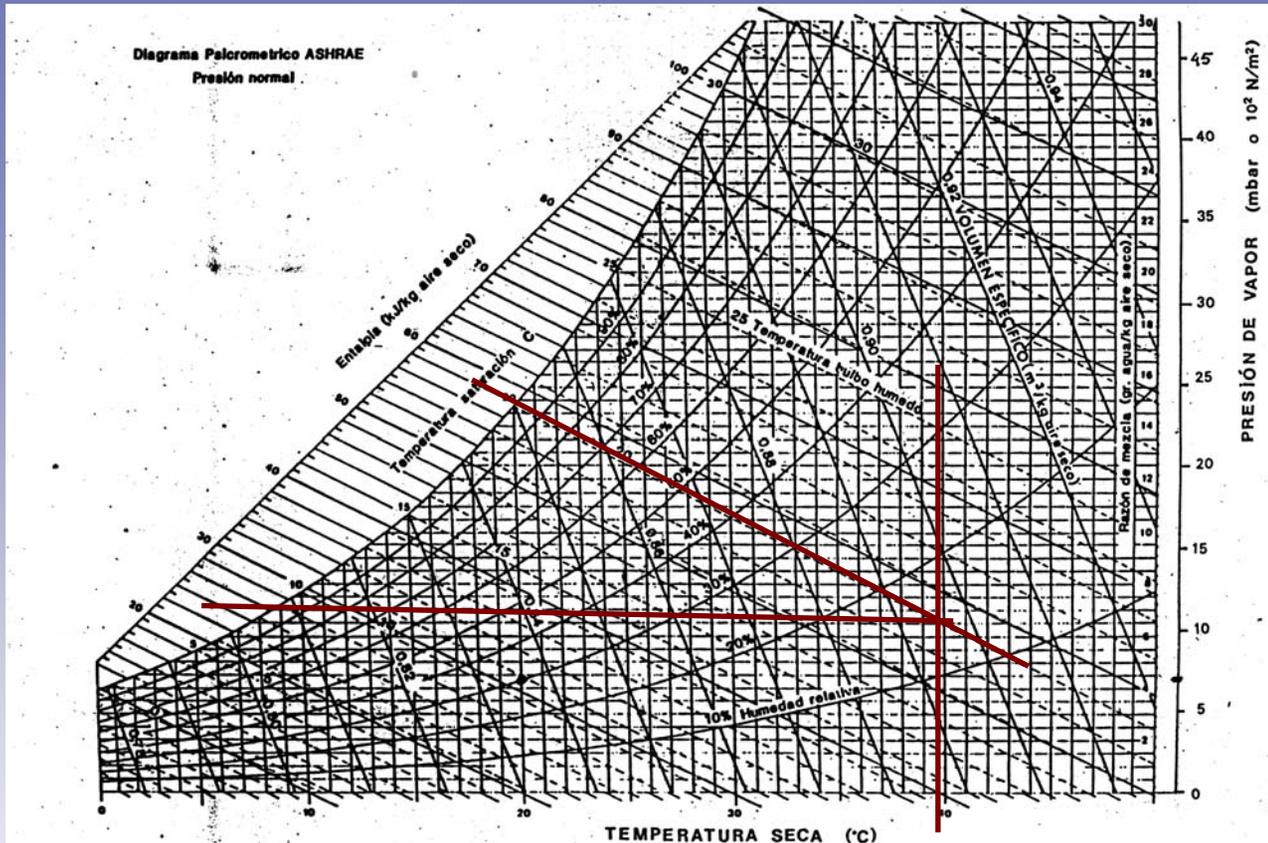


$$e = e_{sat} - \frac{1}{2,037} (T - T_h)$$

$$h = \frac{e(T)}{e_{sat}(T)}$$

$$w \cong \frac{5 e}{8 P}$$

Isolíneas auxiliares: volumen específico, entalpía específica



$T_{seca} = 40^{\circ}\text{C}$

$W = 6.4 \text{ g vapor} / \text{Kg}$

$T_r = 7^{\circ}\text{C}$

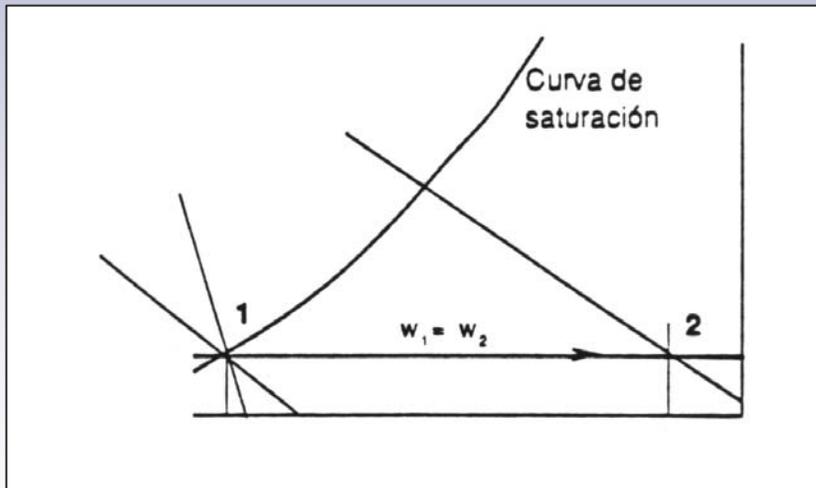
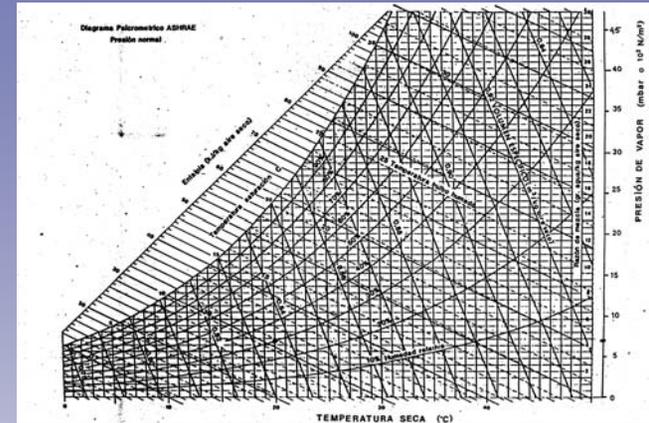
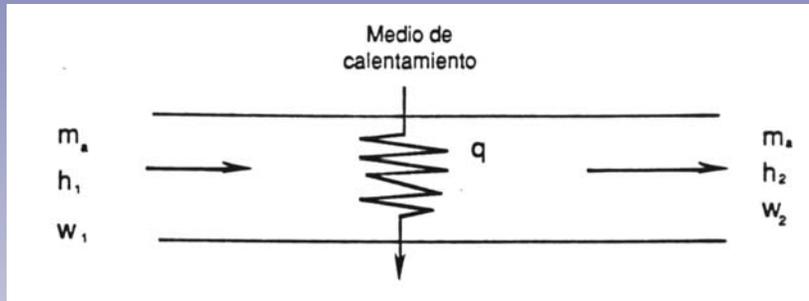
$T_{húmeda} = 20^{\circ}\text{C}$

$h = 56.7 \text{ KJ} / \text{Kg}$

$h = 14\%$

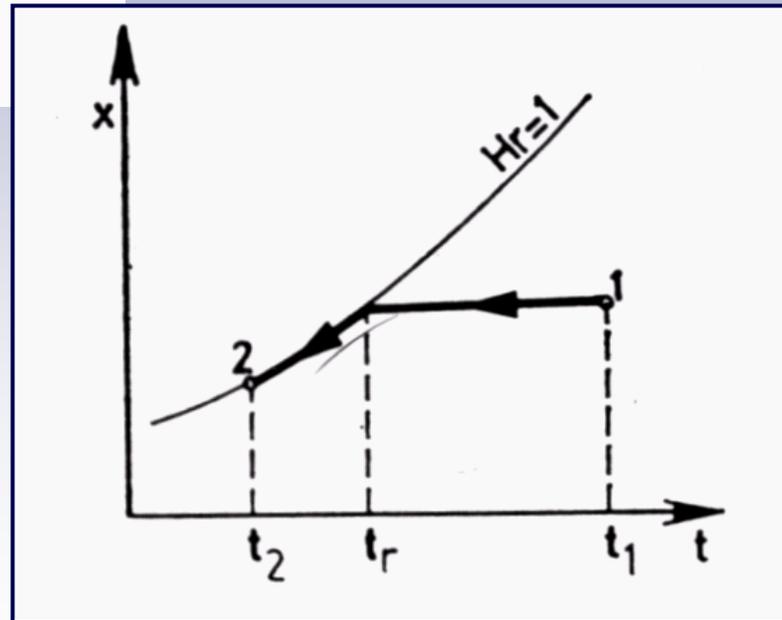
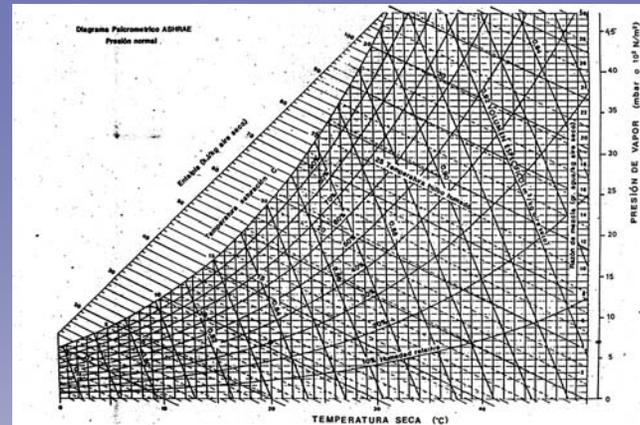
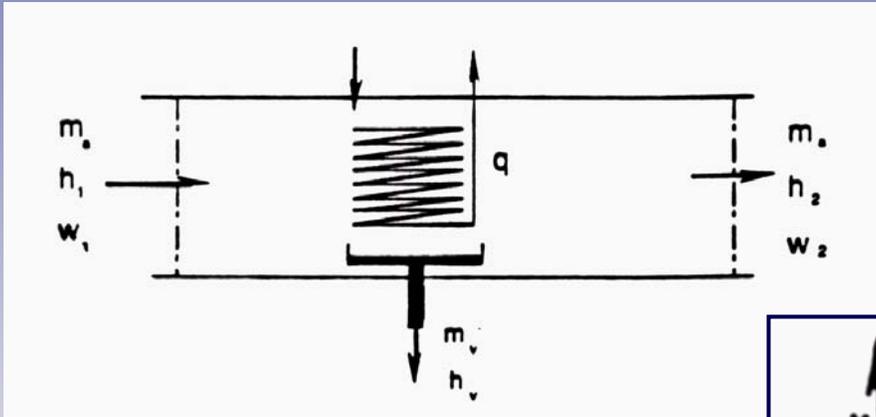
Ejemplo de algunos procesos:

a) Calentamiento de aire húmedo:



Ejemplo de algunos procesos:

b) Enfriamiento del aire:

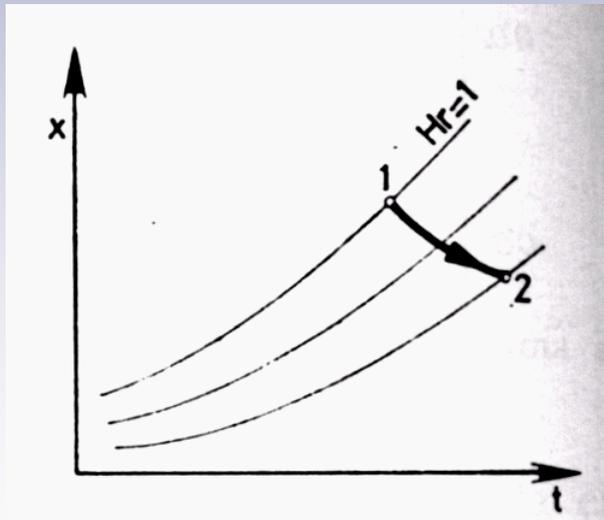
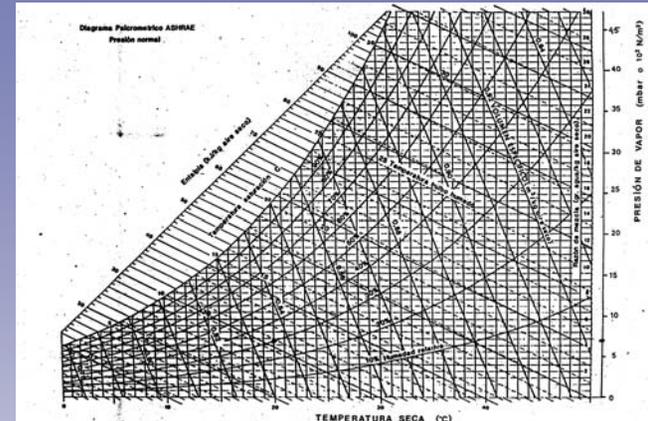


Ejemplo de algunos procesos:

c) Secado o deshumedecimiento químico:

Gel de sílice:

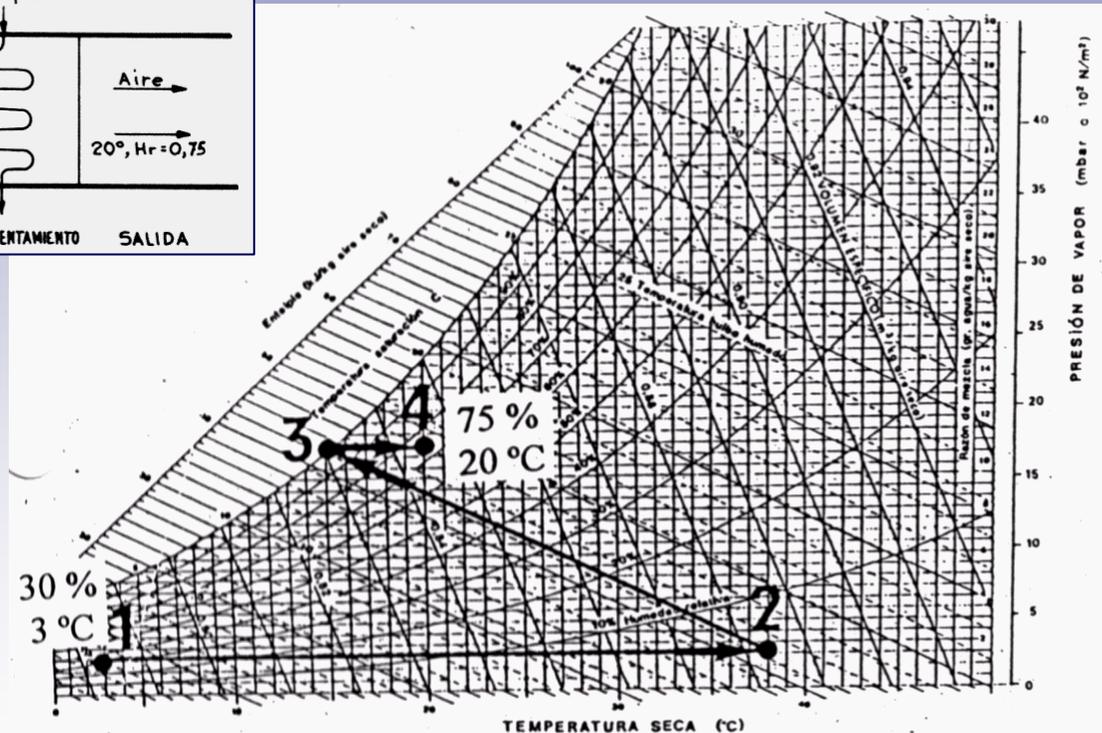
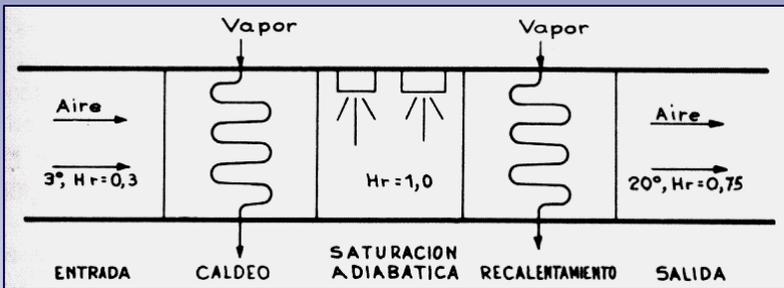
- se libera calor
- temperatura crece



2.7. Acondicionamiento de aire

Temperatura y humedad relativa óptimas para el bienestar: 20°C y 75 %

1) ACONDICIONAMIENTO DE AIRE FRÍO Y SECO: 3°C, 30% ⇒ 20°C, 75%



2) ACONDICIONAMIENTO DE AIRE CÁLIDO Y HÚMEDO: 30°C, 90% ⇒ 20°C, 75%

