

# Tema 8.- MEZCLAS DE GASES Y PSICROMETRÍA

## 8.1. INTRODUCCIÓN

- Las mezclas no reactivas de gases son de gran interés industrial:
  - aire seco:  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ , Ar, ...
  - aire húmedo: aire seco +  $H_2O$
  - productos de combustión:  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ , CO, ...
- Si no hay vapor de agua presente: gas equivalente y tratamiento como gas ideal o perfecto (componentes con presiones parciales muy por debajo de la presión de saturación, y por tanto de la crítica)
- Si hay vapor de agua: psicrometría. Se han de incluir las propiedades de saturación del agua y considerar las condensaciones
- Procesos psicrométricos: procesos básicos de climatización

## 8.2. DESCRIPCIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA

- **Fracción másica**

$$m = \sum_{i=1}^N m_i \qquad fm_i = \frac{m_i}{m} \qquad \sum_{i=1}^N fm_i = 1$$

- **Fracción molar**

$$n = \sum_{i=1}^N n_i \qquad y_i = \frac{n_i}{n} \qquad \sum_{i=1}^N y_i = 1$$

$$M = \sum_{i=1}^N y_i M_i$$

- Realizar el **Ejemplo 8.1**

## 8.3. PROPIEDADES TERMODINÁMICAS

### Ecuación de estado

- La mezcla se supone un gas ideal equivalente, con ecuación de estado:

$$pV = n\bar{R}T$$

- **Modelo de Dalton:** el gas i-ésimo encuentra en la mezcla a la temperatura T, ocupando el volumen V y a una presión parcial  $p_i$

$$p_i V = n_i \bar{R} T$$

$$p_i = y_i P$$

$$\sum p_i = P$$

- **Modelo de Amagat:** el gas i-ésimo encuentra en la mezcla a la temperatura T y presión P ocupando el volumen parcial  $V_i$

$$p V_i = n_i \bar{R} T$$

$$V_i = y_i V$$

$$\sum V_i = V$$

- Nótese que según Amagat la composición en volumen de un gas equivale a su fracción molar

## Energía interna, entalpía y entropía

- En un gas ideal la energía interna y la entalpía sólo dependen de la temperatura. Su tratamiento es análogo:

$$U = \sum U_i = \sum m_i u_i = \sum n_i \bar{u}_i$$

$$u = \sum f m_i u_i \Rightarrow C_v = \sum f m_i C_{v,i}$$

$$\bar{u} = \sum y_i \bar{u}_i \Rightarrow \bar{C}_v = \sum y_i \bar{C}_{v,i}$$

- En un gas ideal la entropía depende tanto de la presión como de la temperatura o del volumen y la temperatura. La presión y volumen de cada gas son los parciales.

$$S = \sum S_i = \sum m_i s_i = \sum n_i \bar{s}_i$$

$$s = \sum f m_i s_i = \sum f m_i s_i(T, y_i P) = \sum f m_i s_i(T, y_i V)$$

$$\bar{s} = \sum y_i \bar{s}_i = \sum y_i \bar{s}_i(T, y_i P) = \sum y_i \bar{s}_i(T, y_i V)$$

## 8.4. PSICROMETRÍA

- Aire húmedo: aire seco + vapor de agua (puede condensar)
- Aire seco: gas perfecto ( $T \gg T_c$ )
- Vapor de agua: gas perfecto (salvo condensación):  $p \ll p_c$

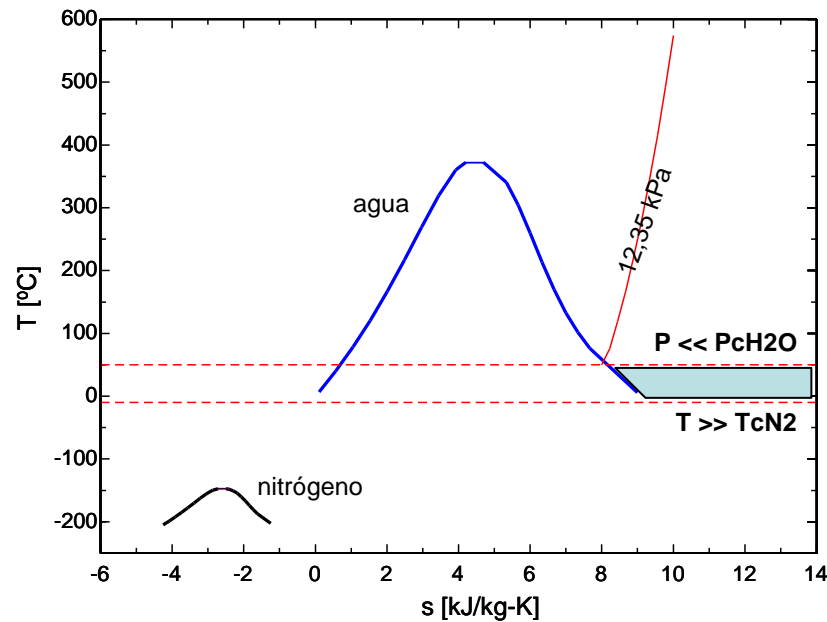


Fig. VIII.1.- Superposición de los diagramas del agua y del nitrógeno.

### 8.4.1. Composición de la mezcla

- **Humedad específica:** masa de vapor por masa de aire seco

$$w = \frac{m_v}{m_a} = 0,622 \frac{p_v}{p - p_v}$$

- cifras pequeñas: [g/kg a.s.]
- todo se refiere al aire seco (no a la mezcla)  
por comodidad

- **Humedad relativa:** masa de vapor respecto a masa de vapor admitida en el aire saturado

$$\phi = \frac{m_v}{m_v^{\max}} = \frac{p_v}{p_{sat}(T)}$$

- aire saturado: 100% de humedad relativa
- método para determinar la presión parcial del vapor

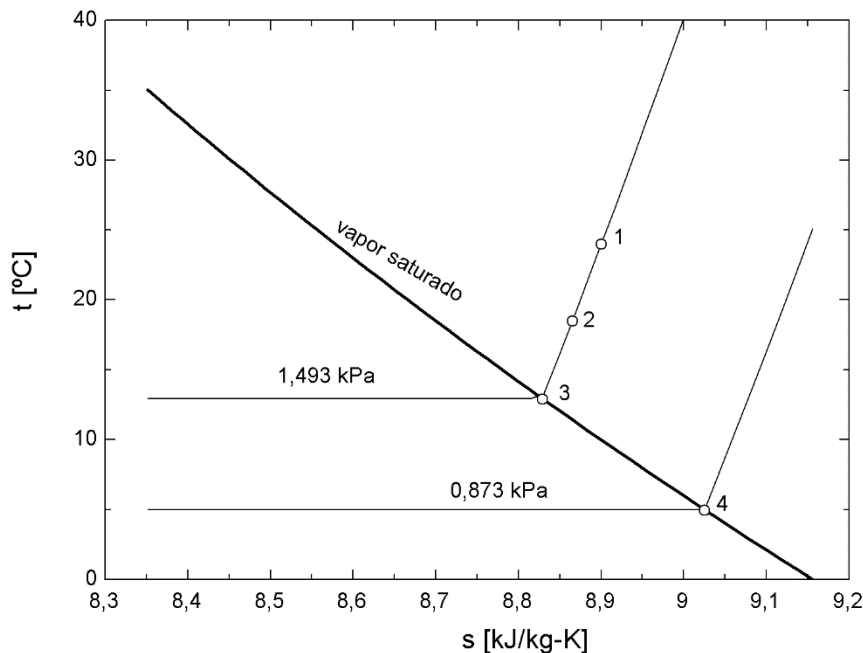
$$w = 0,622 \frac{\phi p_{sat}(T)}{p - \phi p_{sat}(T)}$$

- las propiedades del aire húmedo dependen en general de 3 variables

## 8.4.2. Propiedades psicrométricas

### Temperatura de rocío

- **Temperatura de rocío:** Temperatura a la que se inicia la condensación del vapor del aire húmedo en un proceso de enfriamiento a presión constante
  - hasta el momento inmediatamente anterior a iniciarse la condensación la humedad específica es constante
  - al alcanzarse la temperatura de rocío el aire se satura: humedad relativa 100%



$$w_1 = 0,622 \frac{p_{sat}(T_R)}{p - p_{sat}(T_R)}$$

- 1: 50% y  $24^\circ\text{C}$ ;  $p_v = 1,493$  kPa
- 2:  $p_v = 1,493$  kPa; 70%
- 3:  $p_v = 1,493$  kPa; 100%;  $T_R = 12,95^\circ\text{C}$
- 3-4: se produce condensación. El vapor del aire es saturado.  $T < T_R$

## Volumen específico

- **Volumen específico:** volumen de mezcla referido a la masa unitaria de **aire seco**.

$$v = \frac{V}{m_a} = \frac{R_a T}{p - p_v}$$

## Entalpía

- La entalpía ha de conjugar el origen del aire con el del agua
- Se toma el origen del agua en su punto triple como líquido saturado

$$H = H_a + H_v = m_a C_{pa} (T - 0,01^\circ C) + m_v \{ h_{fg} (0,01^\circ C) + C_{pv} (T - 0,01^\circ C) \}$$

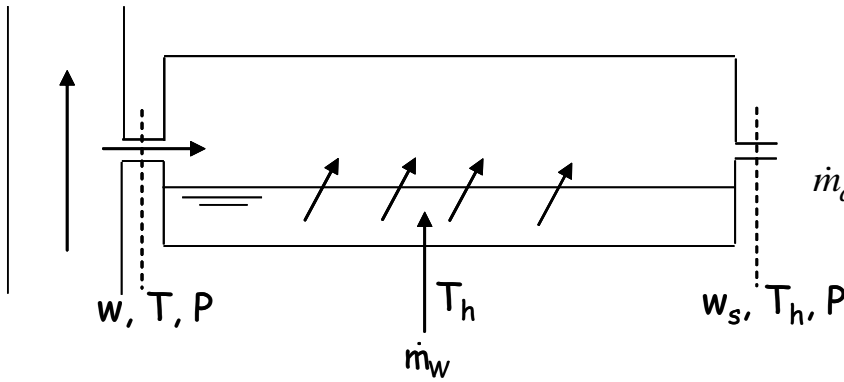
- La entalpía específica se refiere a la unidad de aire seco, por lo que para obtener la entalpía de toda la mezcla sólo hay que multiplicar por la masa de aire seco

$$h[kJ/kg a.s.] \approx C_{pa} T[^\circ C] + w \{ r + C_{pv} T[^\circ C] \}$$



## Temperatura de saturación adiabática y temperatura húmeda

- **Temperatura de saturación adiabática:** aquella a la que el agua líquida se va evaporando e incorporándose a una corriente de aire húmedo hasta saturarlo.
- **Temperatura húmeda:** aproximación tecnológica a la d saturación adiabática



$$\dot{m}_a w + \dot{m}_w = \dot{m}_a w_s$$

$$\dot{m}_a \{C_{pa} t + w(r + C_{pv} t)\} + \dot{m}_w C_w t_h = \dot{m}_a \{C_{pa} t_h + w_s(r + C_{pv} t_h)\}$$

$$t - t_h \approx (w_s - w) \frac{r}{C_{pa}} \geq 0$$

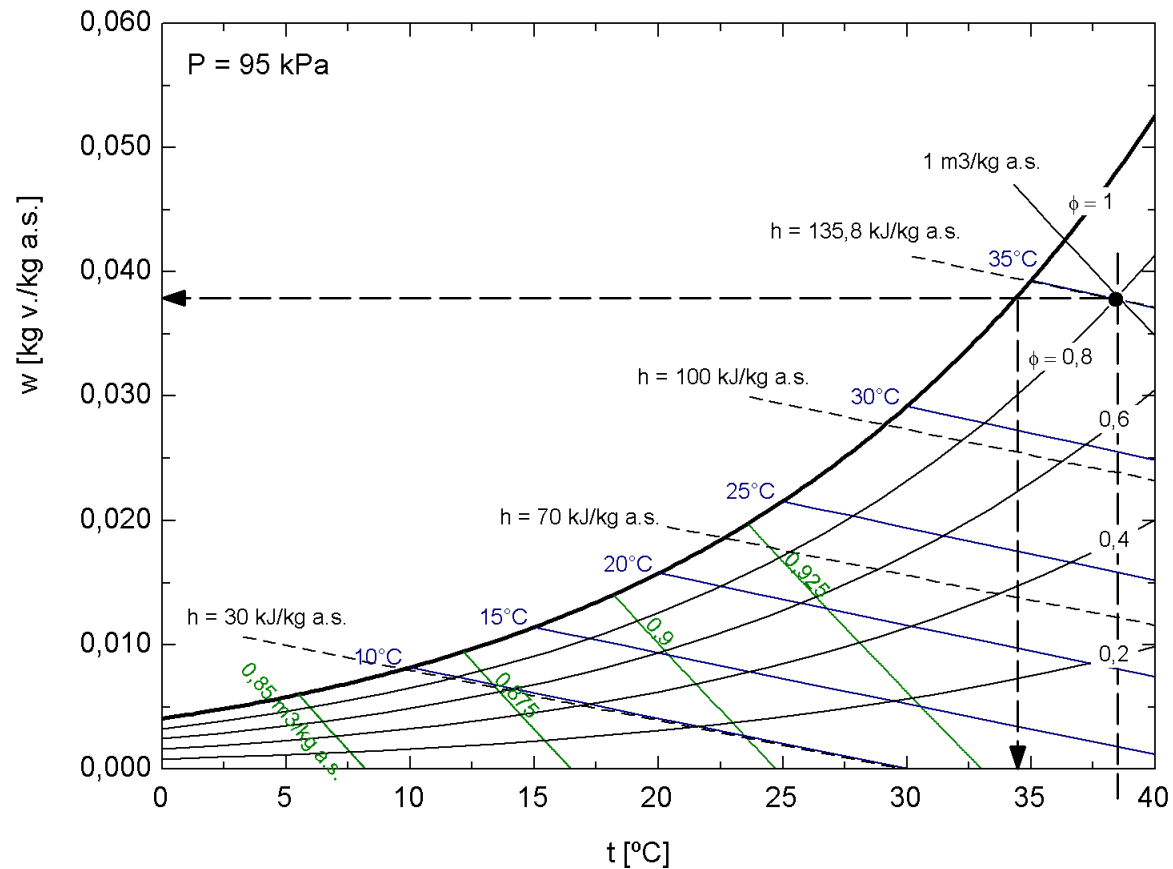
$$h(t, w) = h(t_h, w_s) - (w_s - w) C_w t_h \approx h(t_h, w_s)$$

- La temperatura húmeda sirve para determina la humedad
- La temperatura húmeda siempre es menor o igual que la seca

- Un proceso a temperatura húmeda constante es aproximadamente isentálpico

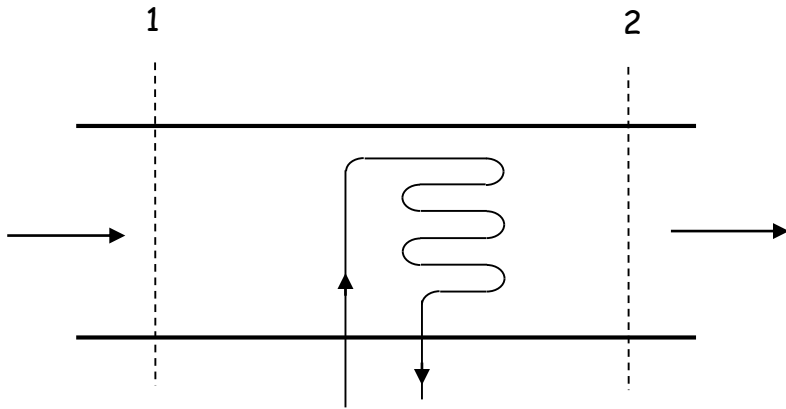
### 8.4.3. Ábaco psicrométrico

- Todas las variables psicrométricas dependen de 3 independientes
- Fijando la presión ambiente se obtiene una carta 2D para relacionar el resto de variables



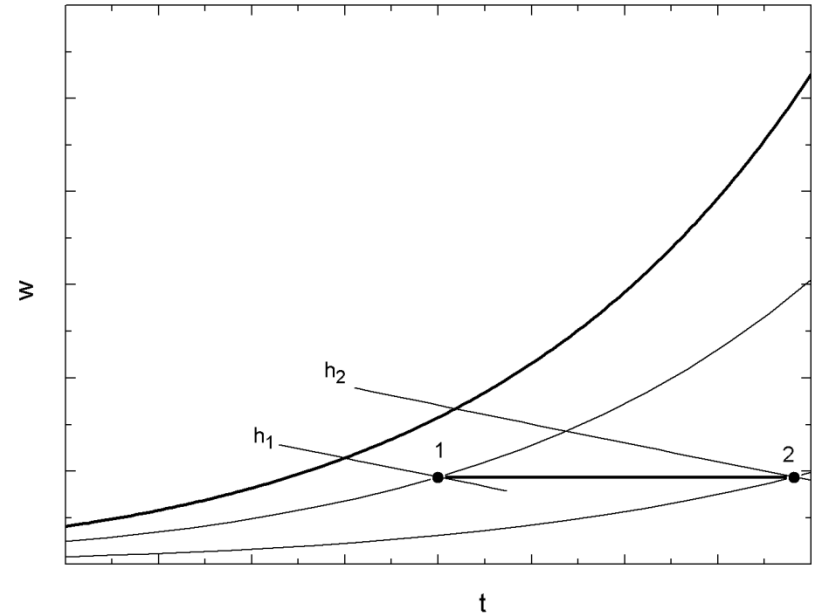
## 8.4.4. Procesos psicrométricos

### Calentamiento sensible



$$\dot{m}_a w_1 = \dot{m}_a w_2 \Rightarrow w = cte$$

$$\dot{m}_a h_1 + \dot{Q} = \dot{m}_a h_2 \Rightarrow q = h_2 - h_1$$



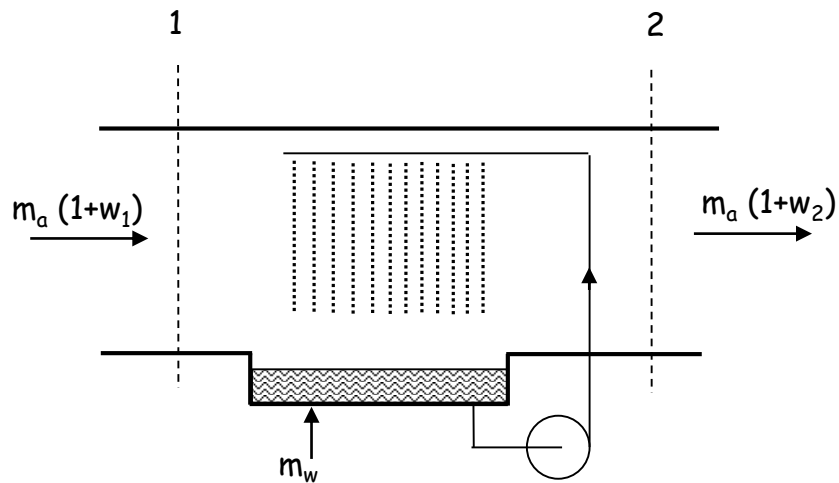
### Enfriamiento sensible

$$\dot{m}_a w_1 = \dot{m}_a w_2 \Rightarrow w = cte$$

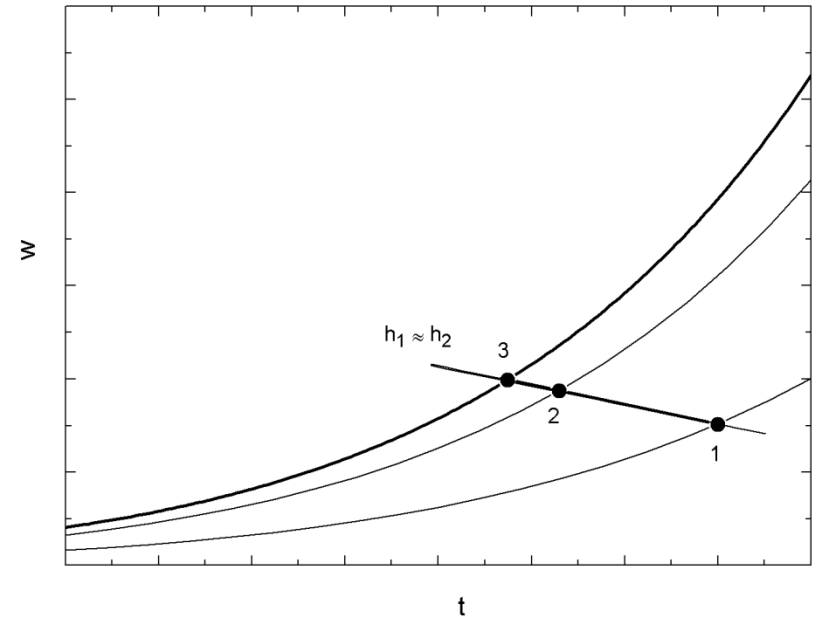
$$\dot{m}_a h_1 = \dot{m}_a h_2 + \dot{Q} \Rightarrow q = h_1 - h_2$$

## Humectación con agua líquida

- El agua ha de estar a temperatura próxima a la húmeda del aire
- Es una forma de enfriamiento: enfriamiento evaporativo (BOTIJO)

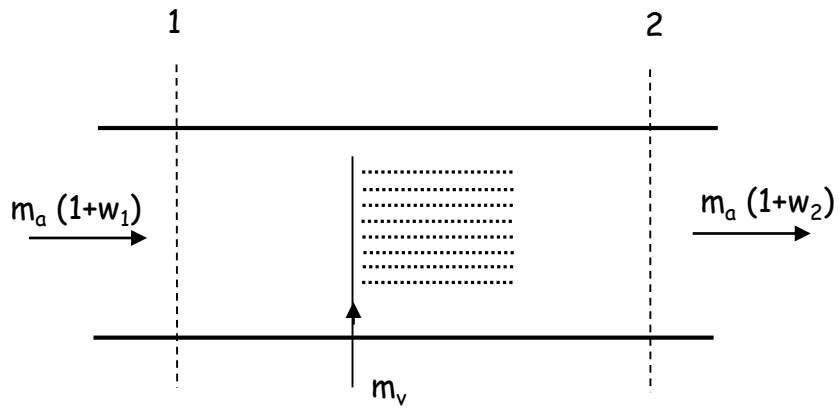


$$\dot{m}_a w_1 + \dot{m}_w = \dot{m}_a w_2 \Rightarrow \frac{\dot{m}_w}{\dot{m}_a} = w_2 - w_1$$

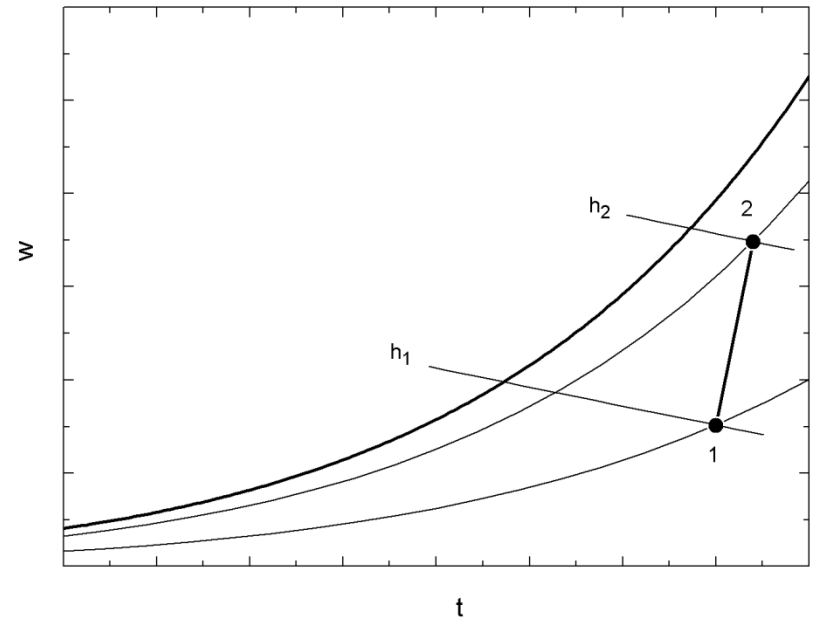


$$\dot{m}_a h_1 + \dot{m}_w h_w = \dot{m}_a h_2 \Rightarrow h_1 \approx h_2$$

## Humectación con vapor

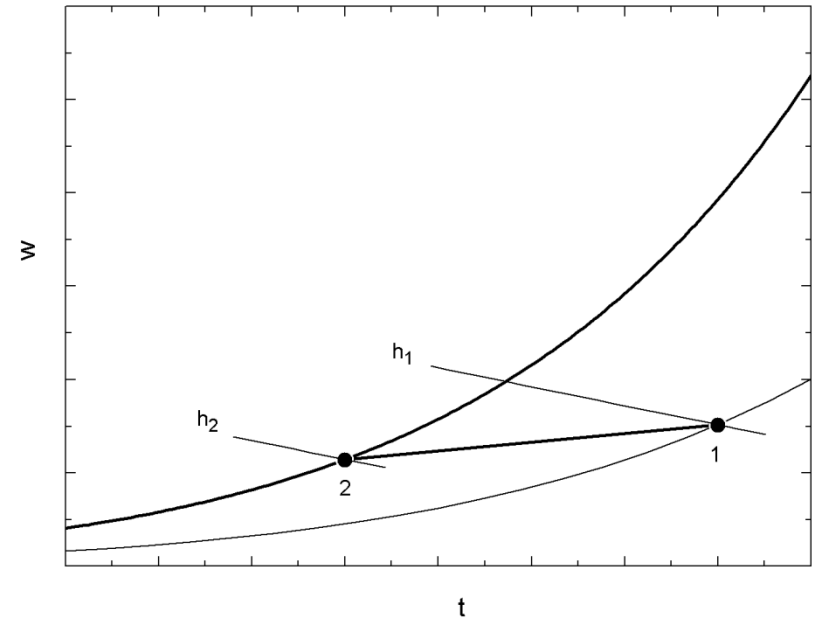
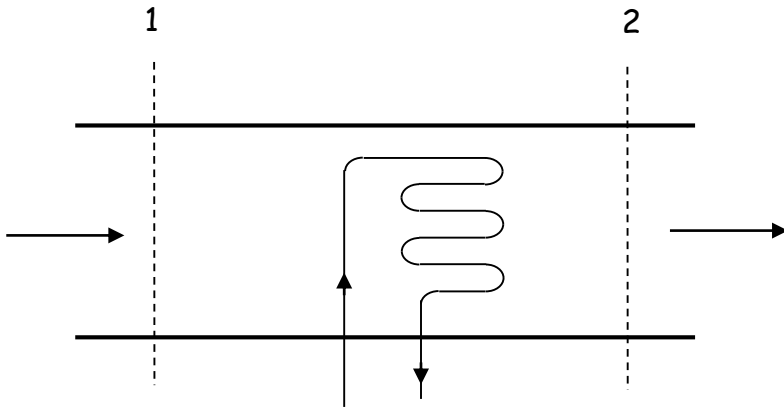


$$\dot{m}_a w_1 + \dot{m}_v = \dot{m}_a w_2 \Rightarrow \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_a} = w_2 - w_1$$



$$\dot{m}_a h_1 + \dot{m}_v h_v = \dot{m}_a h_2$$

## Deshumectación por condensación



$$\dot{m}_a w_1 = \dot{m}_a w_2 + \dot{m}_w \Rightarrow \frac{\dot{m}_w}{\dot{m}_a} = w_1 - w_2$$

$$\dot{m}_a h_1 = \dot{m}_a h_2 + \dot{m}_w h_w + \dot{Q} \approx \dot{m}_a h_2 + \dot{Q}$$

$$\phi_2 = 1$$

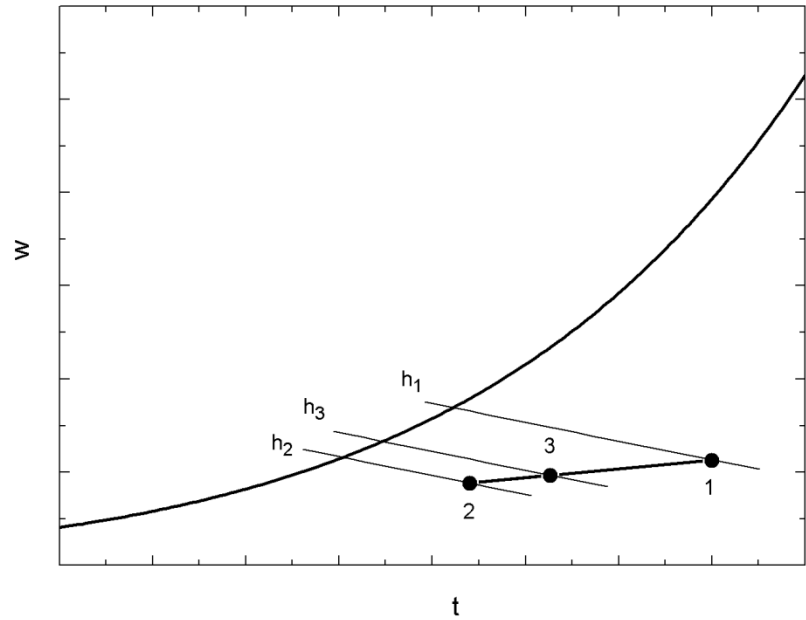
## Mezcla adiabática

- Se mezclan 2 corrientes de aire
- El aire seco no se conserva

### Resolución analítica

$$\dot{m}_{a1} w_1 + \dot{m}_{a2} w_2 = (\dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a2}) w_3$$

$$\dot{m}_{a1} h_1 + \dot{m}_{a2} h_2 = (\dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a2}) h_3$$

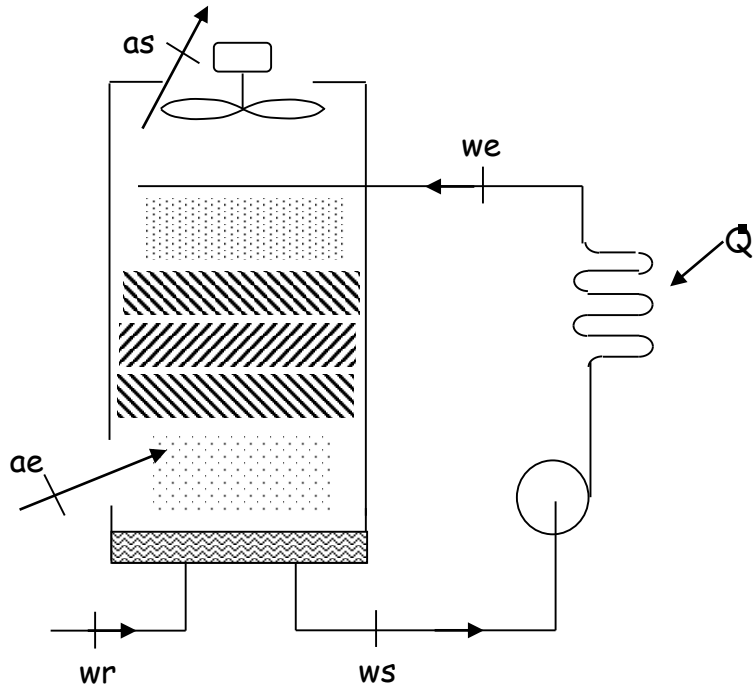


### Resolución gráfica

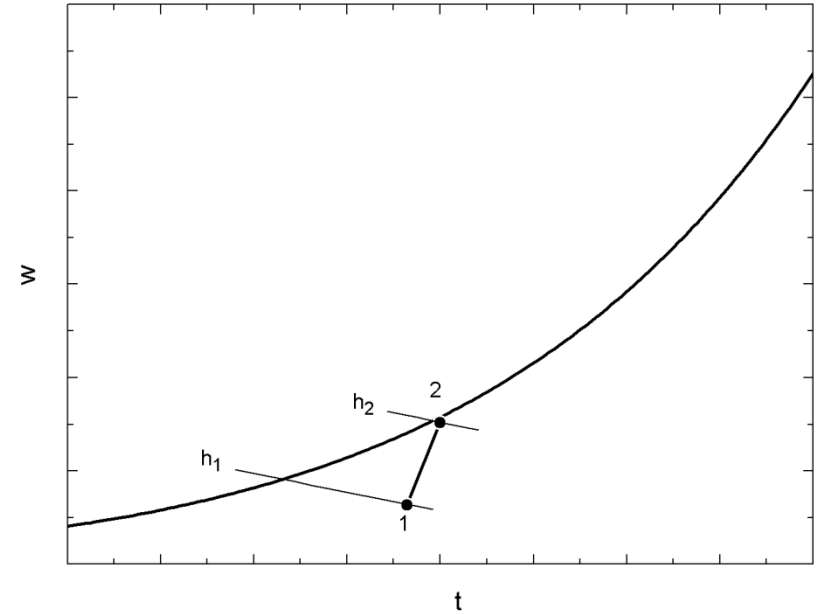
$$\frac{\overline{13}}{\overline{32}} = \frac{\dot{m}_{a2}}{\dot{m}_{a1}}$$

$$\overline{13} + \overline{32} = \overline{12}$$

## Torre de refrigeración



- Permite ver como foco frío no la temperatura seca del aire sino la húmeda (tanto más inferior cuanto menor sea la humedad relativa)



$$\dot{m}_a w_{ae} + \dot{m}_{wr} = \dot{m}_a w_{as}$$

$$\dot{m}_a h_{ae} + \underbrace{\dot{m}_{wr} h_{wr}}_{\approx 0} + \dot{m}_w h_{we} = \dot{m}_a h_{as} + \dot{m}_w h_{ws}$$

$$\dot{m}_w (h_{we} - h_{ws}) \approx \dot{m}_a (h_{as} - h_{ae})$$

$$\dot{m}_w C_w (t_{we} - t_{ws}) \approx \dot{m}_a C_{ah} (t_{h,as} - t_{h,ae})$$



