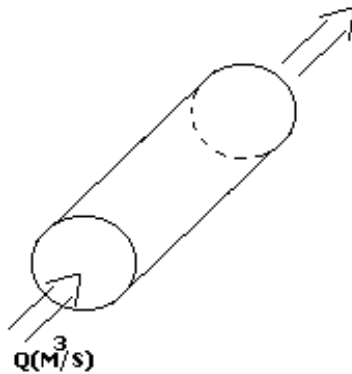


Capítulo 3

PSICROMETRIA APLICADA A PROCESSOS DE CONDICIONAMENTO DE AR

Considerações:

As propriedades h , v e w são por unidade de ar seco.

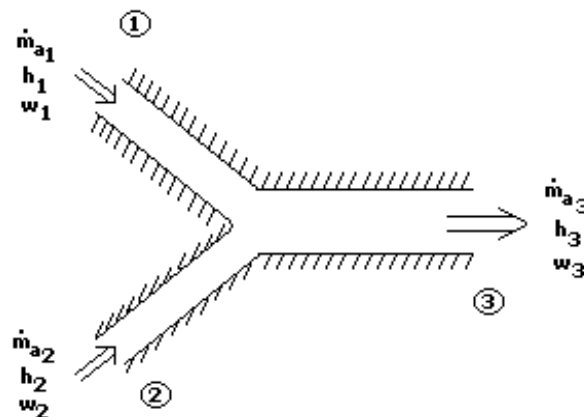


$$h \text{ [kJ/kg}_{\text{ar seco}}] \rightarrow \dot{m}_a h = \frac{\text{kg}_a}{s} \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_a} = \frac{\text{kJ}}{s} = \text{kW}$$

$$v \text{ [m}^3/\text{kg}_{\text{ar seco}}] \rightarrow \dot{m}_a v = \frac{Q}{v} = \frac{\text{m}^3}{s} \frac{\text{kg}_a}{\text{m}^3} = \frac{\text{kg}_a}{s}$$

$$w \text{ [kg}_{\text{vapor}}/\text{kg}_{\text{ar seco}}] \rightarrow \dot{m}_a w = \frac{\text{kg}_a}{s} \frac{\text{kg}_s}{\text{kg}_a} = \frac{\text{kg}_s}{s}$$

3.1-Mistura de Dois Jatos de Ar



obs.: O processo de mistura é considerado adiabático.

Balanço de massa de ar seco: $\dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a2} = \dot{m}_{a3}$

(1)

Balanço de massa de vapor d'água: $\dot{m}_{a1} w_1 + \dot{m}_{a2} w_2 = \dot{m}_{a3} w_3$ (2)

Balanço de energia: $\dot{m}_{a1} h_1 + \dot{m}_{a2} h_2 = \dot{m}_{a3} h_3$ (3)

Substituindo (1) em (2): $\dot{m}_{a1} w_1 + \dot{m}_{a2} w_2 = (\dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a2}) w_3$

então:
$$w_3 = \frac{\dot{m}_{a1} w_1 + \dot{m}_{a2} w_2}{\dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a2}} \quad (4)$$

Substituindo (1) em (3):
$$h_3 = \frac{\dot{m}_{a1}h_1 + \dot{m}_{a2}h_2}{\dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a2}}$$

(5)

Com h_3 e w_3 , o estado do ar fica determinado.

Expressão para t_3 :

Sabendo que $h = c_{p,a}.t + w(h_v(0^\circ C) + c_{p,s}.t)$ e substituindo em (5), tem-se:

$$\frac{c_{p,a}t_3 + w_3(h_v(0^\circ C) + c_{p,s}t_3) = \dot{m}_{a1}(c_{p,a}t_1 + w_1(h_v(0^\circ C) + c_{p,s}t_1)) + \dot{m}_{a2}(c_{p,a}t_2 + w_2(h_v(0^\circ C) + c_{p,s}t_2))}{\dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a2}} \quad (6)$$

Rearranjando:

$$(\dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a2})(c_{p,a} + w_3c_{p,s})t_3 + (\dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a2})w_3h_v(0^\circ C) = \dot{m}_{a1}(c_{p,a} + w_1c_{p,s})t_1 + \dot{m}_{a2}(c_{p,a} + w_1c_{p,s})t_2 + \dot{m}_{a1}w_1h_v(0^\circ C) + \dot{m}_{a2}w_2h_v(0^\circ C) \quad (7)$$

Rearranjando ainda:

$$\dot{m}_{a3}c_{p,m3}t_3 = \dot{m}_{a1}c_{p,m1}t_1 + \dot{m}_{a2}c_{p,m2}t_2 + (\dot{m}_{a1}w_1 + \dot{m}_{a2}w_2 - \dot{m}_{a3}w_3)h_v(0^\circ C) \quad (8)$$

onde $c_{p,m} = c_{p,a} + wt$ (calor específico da mistura). Mas $\dot{m}_{a1}w_1 + \dot{m}_{a2}w_2 - \dot{m}_{a3}w_3 = 0$ pela conservação da massa de vapor d'água. Sendo assim,

$$t_3 = \frac{\dot{m}_{a1}c_{p,m1}t_1 + \dot{m}_{a2}c_{p,m2}t_2}{\dot{m}_{a3}c_{p,m3}} \quad (9)$$

Finalmente, se for admitido que o calor específico da mistura é aproximadamente constante, pode-se aproximar a temperatura t_3 da seguinte forma:

$$t_3 \cong \frac{\dot{m}_{a1}t_1 + \dot{m}_{a2}t_2}{\dot{m}_{a3}} \quad (10)$$

Rearranjando (4) e (5), tem-se,

$$\frac{w_2 - w_3}{w_3 - w_1} = \frac{\dot{m}_{a1}}{\dot{m}_{a2}} \quad (11)$$

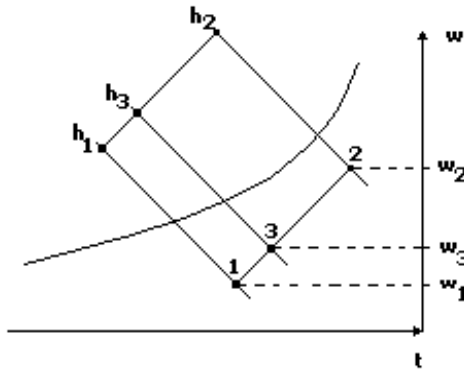
$$\frac{h_2 - h_3}{h_3 - h_1} = \frac{\dot{m}_{a1}}{\dot{m}_{a2}} \quad (12)$$

Pode-se concluir então que:
$$\frac{w_2 - w_3}{w_3 - w_1} = \frac{h_2 - h_3}{h_3 - h_1}$$

Da equação (10) pode-se também concluir que:

$$\frac{\dot{m}_{a1}}{\dot{m}_{a2}} \cong \frac{t_2 - t_3}{t_3 - t_1} \cong \frac{w_2 - w_3}{w_3 - w_1}$$

Os estados (1), (2) e (3) encontram-se sobre uma mesma linha reta, num gráfico de coordenadas h-w (carta da ASHRAE)



$$\frac{\dot{m}_{a1}}{\dot{m}_{a2}} = \frac{h_2 - h_3}{h_3 - h_1} = \frac{2 - 3}{1 - 3}$$

Assim:

$$\frac{\dot{m}_{a1}}{\dot{m}_{a3}} = \frac{2 - 3}{1 - 2} \quad \text{e} \quad \frac{\dot{m}_{a2}}{\dot{m}_{a3}} = \frac{1 - 3}{1 - 2}$$

$$\frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2} + \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_2} = \frac{h_2 - h_3}{h_3 - h_1} + 1$$

$$\frac{\dot{m}_1 + \dot{m}_2}{\dot{m}_2} = \frac{h_2 - h_3 + h_3 - h_1}{h_3 - h_1} = \frac{h_2 - h_1}{h_3 - h_1} = \frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_2}$$

Exemplo:

Uma corrente de ar úmido de 0,5 m³/s a 34°C (tbs) e 26°C (tbu) é misturada adiabaticamente com outra de ar úmido de 0,2 m³/s a 15°C (tbs) e 13°C (tbu). Determine a condição final da mistura.

Da carta:

$$\begin{aligned} TBS_1 &= 34^\circ\text{C} & v_1 &= 0,895 \text{ m}^3/\text{kg} \\ TBU_1 &= 26^\circ\text{C} & w_1 &= 0,018 \text{ kg/kg}_a \\ & & h_1 &= 80,2 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} TBS_2 &= 15^\circ\text{C} & v_2 &= 0,827 \text{ m}^3/\text{kg} \\ TBU_2 &= 13^\circ\text{C} & w_2 &= 0,0085 \text{ kg/kg}_a \\ & & h_2 &= 36,5 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{fluxo de massa:} \quad \dot{m}_{a1} &= 0,5/0,895 = 0,559 \text{ kg/s} \\ \dot{m}_{a2} &= 0,2/0,827 = 0,242 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

$$\text{condição da mistura: } \dot{m}_{a3} = \dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a2} = 0,559 + 0,242 = 0,8 \text{ kg/s}$$

Solução analítica:

$$\begin{aligned} h_3 &= (0,559 \cdot 80,2 + 0,242 \cdot 36,5) / (0,559 + 0,242) = 67,0 \text{ kJ/kg} \\ w_3 &= (0,559 \cdot 0,018 + 0,242 \cdot 0,0085) / (0,559 + 0,242) = 0,0151 \text{ kg/kg}_a \end{aligned}$$

Solução analítico-gráfica:

- 1) traçar a reta ligando 1-2;
- 2) com h_3 ou w_3 traçar uma reta que intercepta 1-2.

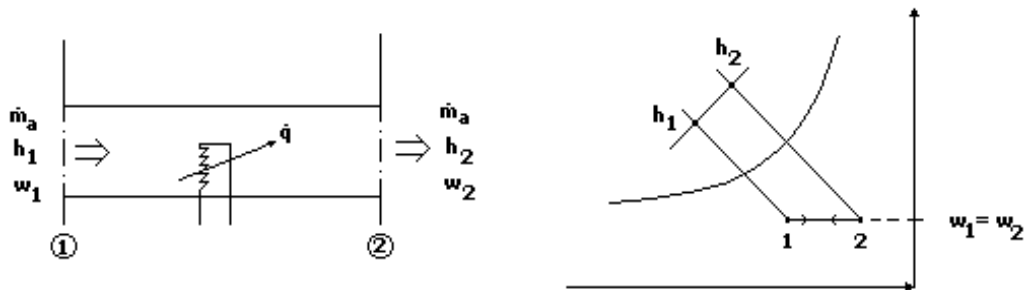
Solução gráfica:

$$\frac{\dot{m}_{a1}}{\dot{m}_{a3}} = \frac{\overline{2-3}}{\overline{1-2}} \Rightarrow \frac{0,559}{0,801} = \frac{\overline{2-3}}{98mm} \Rightarrow \overline{2-3} = 68,4 mm$$

marcar o ponto 3 sob o segmento de reta 1-2

3.2-Processos Básicos de Condicionamento de Ar

- a) **Processos de Transferência de Calor Sensível (Aquecimento ou Resfriamento)**



Balanco de energia: $\dot{m}_a h_1 + \dot{q}_s = \dot{m}_a h_2 \quad \therefore \quad \dot{q}_s = \dot{m}_a (h_2 - h_1)$

ou,

$$\begin{aligned} h_1 &= c_{p,a} t_1 + w_1 [h_v(0^\circ C) + c_{p,s} t_1] \\ h_2 &= c_{p,a} t_2 + w_2 [h_v(0^\circ C) + c_{p,s} t_2] \end{aligned}$$

Substituindo:

$$\dot{q} = \dot{m}_a [c_{p,a} (t_1 - t_2) + w_1 h_v + w_1 c_{p,s} t_1 - w_2 h_v - w_2 c_{p,s} t_2]$$

mas $w_2 = w_1 = w$, então:

$$\dot{q} = \dot{m}_a [c_{p,a} (t_1 - t_2) + w c_{p,s} (t_2 - t_1)]$$

Como $c_{p,m} = c_{p,a} + w \cdot c_{p,s} \quad \Rightarrow \quad \dot{q}_s = \dot{m}_a c_{p,m} (t_2 - t_1)$

em termos práticos: $\dot{q}_s = \dot{m}_a c_{p,m} (t_2 - t_1) = \rho \dot{Q} c_{p,m} (t_2 - t_1)$

$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$; $c_{p,m} = 1,0216 \text{ kJ/kg K}$: $\dot{q}_s = 1,226 \dot{Q} \Delta t \quad [\text{kW}]$

Exemplo:

Calcule a potência dissipada por uma resistência elétrica que aquece $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ de ar úmido, inicialmente a 21°C (tbs) e 15°C (tbu) e $101,325 \text{ kPa}$ em 20°C .

Solução analítica:

$$q_s = \dot{m} c_{p,m} (t_2 - t_1)$$

onde, $c_{p,m} = 1,0 + w \cdot c_{p,s}$

Solução gráfica- analítica:

$$h_1 = 42 \text{ kJ/kg}$$

$$w_1 = 0,0082 \text{ kg/kg}$$

$$v_1 = 0,845 \text{ m}^3/\text{kg}$$

condição de saída: traçar uma linha horizontal até interceptar a linha de TBS = 41°C

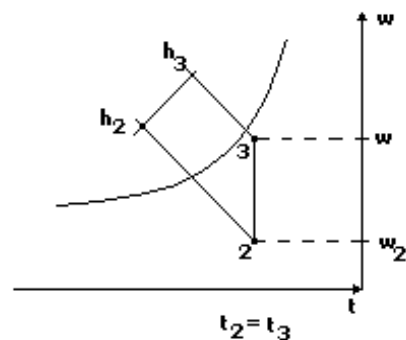
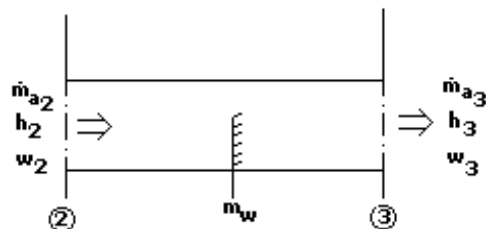
$$h_2 = 62,5 \text{ kJ/kg}$$

$$w_2 = 0,0082 \text{ kg/kg}$$

$$v_2 = 0,902 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$q = \dot{m}_a (h_2 - h_1) = \frac{1,5}{0,845} (62,5 - 42) = 36,38 \text{ kJ / kg}$$

b) Processo de Transferência de Calor Latente(Umidificação ou Desumidificação)



Para que não haja variação de temperatura no processo, o ar deve ser umidificado com vapor saturado a t_2 .

Balanco de Massa de Vapor D'água

$$\dot{m}_a w_2 + \dot{m}_w = \dot{m}_a w_3 \Rightarrow \dot{m}_w = \dot{m}_a (w_3 - w_2)$$

Balanco de Energia

$$\dot{m}_a h_2 + \dot{m}_w h_w = \dot{m}_a h_3 \quad \text{para } t_2 = t_3 \rightarrow h_w = h_{v,2}$$

Demonstração:

$$\dot{m}_a (h_3 - h_2) = \dot{m}_w h_w = \dot{q}_L$$

$$\dot{q}_L = \dot{m}_w h_w = \dot{m}_a \left\{ [c_{p,a} t_3 + w_3 (h_v(0^\circ\text{C}) + c_{p,s} t_3)] - [c_{p,a} t_2 + w_2 (h_v(0^\circ\text{C}) + c_{p,s} t_2)] \right\}$$

$$\dot{q}_L = \dot{m}_w h_w = \dot{m}_a [c_{p,a} (t_3 - t_2) + c_{p,s} (w_3 t_3 - w_2 t_2) + (w_3 - w_2) h_v(0^\circ\text{C})]$$

$$\text{como } t_3 = t_2: \quad \dot{q}_L = \dot{m}_w h_w = \dot{m}_a (w_3 - w_2) [h_v(0^\circ\text{C}) + c_{p,s} t_2]$$

Substituindo a conservação de massa e a definição de entalpia:
 $\dot{m}_w h_w = \dot{m}_w h_{v,2} \Rightarrow h_w = h_{v,2}$

Em termos práticos: $(w_3 - w_2) c_{p,s} t_2 \rightarrow 0$, logo: $\dot{q}_L = \dot{m}_a (w_3 - w_2) h_v(0^\circ\text{C})$

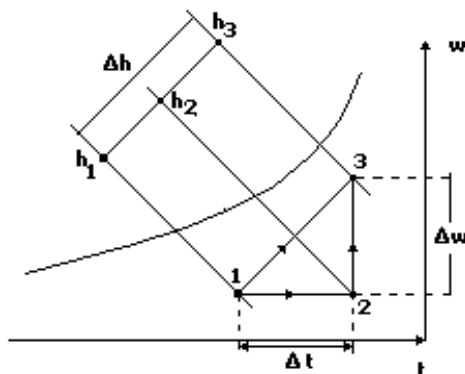
ou:

$$q_l = \rho \cdot Q \cdot \Delta w \cdot h_v(0^\circ\text{C})$$

$$q_l = 1,2 \cdot Q \cdot \Delta w \cdot 10^{-3} \cdot 2501$$

$$q_l = 3,0 Q \cdot \Delta w \quad [\text{kW}]$$

c) Processo de Transferência de Calor Sensível e Latente



$$\text{Processo (1-2):} \quad q_s = (h_2 - h_1) \dot{m}_a$$

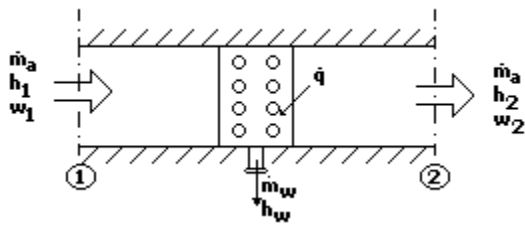
$$\text{Processo (2-3):} \quad q_L = (h_3 - h_2) \dot{m}_a$$

$$\text{Processo (1-3):} \quad q_T = (h_3 - h_1) \dot{m}_a = q_L + q_s$$

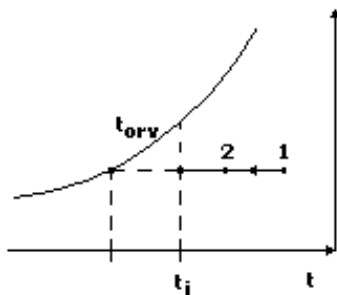
Qualquer processo de transferência simultânea de calor sensível e latente pode ser considerado como a soma de dois processos independentes.

3.3-Processos Psicrométricos em Equipamentos de Condicionamento de Ar

a) Serpentina de Resfriamento e Desumidificação.



a.1) Resfriamento Sensível

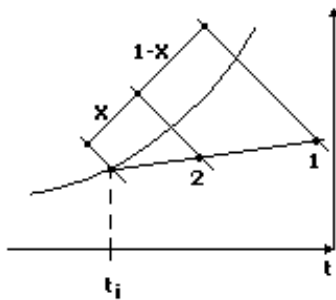


t_i - temperatura da serpentina

t_{orv} - temperatura de orvalho do ar no ponto 1

Condição necessária para que haja resfriamento, mas não haja desumidificação: $t_{orv} < t_i < t_1$

a.2) Resfriamento e Desumidificação



Balanco de Energia na Serpentina

$$\dot{m}_a h_1 = \dot{q} + \dot{m}_w h_w + \dot{m}_a h_2 \quad \therefore \quad \dot{q} = \dot{m}_a (h_1 - h_2) - \dot{m}_w h_w$$

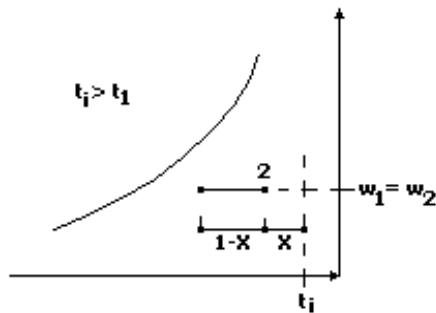
aproximação: $\dot{q} = \dot{m}_a (h_1 - h_2)$

Balanco de Massa de Vapor D'água

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

onde, $\dot{m}_w$ é a massa de condensado

b) Serpentina de Aquecimento- Resistência Elétrica



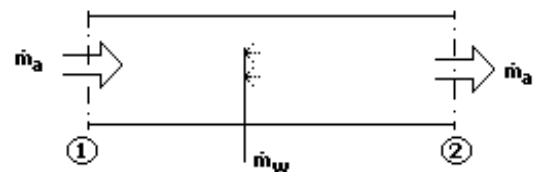
$$\dot{m}_a (h_2 - h_1) = \dot{m}_a c_{p,m} (t_2 - t_1)$$

c) Injeção de Água

Balanco de Massa de Vapor D'água

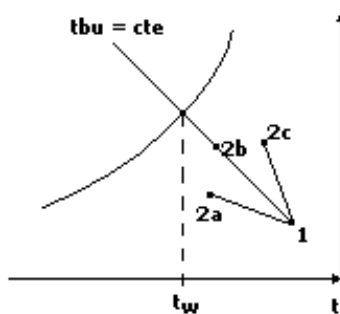
$$\dot{m}_a w_1 + \dot{m}_w = \dot{m}_a w_2$$

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a (w_2 - w_1)$$



Balanco de Energia

$$\dot{m}_a h_1 + \dot{m}_w h_w = \dot{m}_a h_2 \Rightarrow h_2 = h_1 + (w_2 - w_1) h_w$$



Se: $t_w = t_{bu}$ - linha de t_{bu} cte (2b);
 $t_w < t_{bu}$ - linha 1-2a;
 $t_w > t_{bu}$ - linha 1-2c.

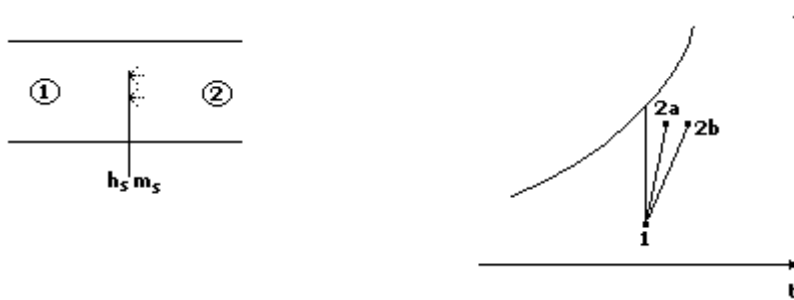
Como o termo $\dot{m}_w h_w$ é pequeno em relação a h_1 e h_2 , as linhas 1-2a e 1-2c serão bem próximas à linha 1-2b, independente da temperatura da água.

d) Injeção de Vapor D'água

Quando vapor saturado seco é injetado numa corrente de ar, a temperatura de bulbo seco varia muito pouco com o processo.

Se o vapor é superaquecido haverá aumento da temperatura (dependerá do grau de superaquecimento).

O valor mais baixo de entalpia do vapor saturado seco deverá ser a 100°C. Não é possível utilizar vapor a uma temperatura inferior a temperatura de saturação à pressão atmosférica. A pressão deve ser superior a pressão atmosférica. O outro valor limite é o máximo valor da entalpia do vapor saturado (234°C a 30 bar).



Balço de Energia

$$\dot{m}_a h_1 + \dot{m}_s h_s = \dot{m}_a h_2$$

Balço de Massa de Vapor D'água

$$\dot{m}_a w_1 + \dot{m}_s = \dot{m}_a w_2 \Rightarrow \dot{m}_s = \dot{m}_a (w_2 - w_1)$$

Exemplo

Vapor saturado a 100°C é injetado a uma taxa de 0,01 kg/s numa corrente de ar de 1 kg/s e a 28°C, TBS, e 11,9°C, TBU, ($p_{\text{atm}} = 101,325 \text{ kPa}$). Calcule o estado do ar na saída da corrente.

Carta Psicrométrica:

$$h_1 = 33,11 \text{ kJ/kg}_a$$

$$w_1 = 0,001937 \text{ kg}_s/\text{kg}_a$$

Tabela de Vapor: $h_s(100^\circ\text{C}) = 2675,8 \text{ kJ/kg}_s$

Do balanço de massa: $w_2 = w_1 + \frac{\dot{m}_s}{\dot{m}_a} = 0,001937 + \frac{0,01}{1} = 0,011937 \text{ kg}_s/\text{kg}_a$

Do balanço de energia: $h_2 = h_1 + \frac{\dot{m}_s}{\dot{m}_a} h_s = 33,11 + \frac{0,01}{1} 2675,8 = 59,87 \text{ kJ/kg}_a$

Entalpia do ar: $h_a = 1,0 \cdot t + w(2501 + 1,805t)$

$$h_2 = 1,0 \cdot t + w_2(2501 + 1,805t_2)$$

$$t_2 = \frac{h_2 - w_2 2501}{1 + 1,805w_2} = \frac{59,87 - 0,011937 \cdot 2501}{1,0 + 1,805 \cdot 0,011937} = 29,4^\circ\text{C}$$

Exercício:

Calcule o estado do ar com vapor sendo injetado a 0,01 kg/s e 234°C, $p = 30 \text{ bar}$.
Dados: $h_2 = 61,14 \text{ kJ/kg}$; $w_2 = 0,011937 \text{ kg}_s/\text{kg}_a$; $t_2 = 30,4^\circ\text{C}$.

e) Desumidificação Através de Métodos de Absorção

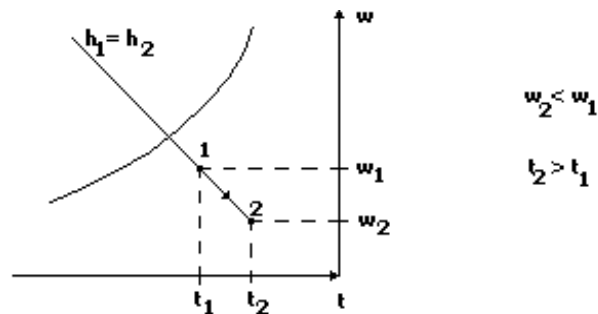
Absorção- processo químico

Solução de Cloreto de lítio - LiCl

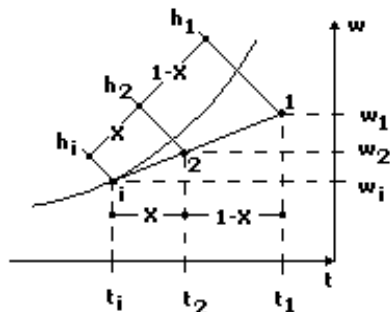
Adsorção- processo físico

Sílica-gel.

Neste processo a pressão de vapor e, conseqüentemente, w é reduzida e a entalpia se mantém constante (processo adiabático), a temperatura de bulbo seco é aumentada.



3.4-Fator de By- Pass



X - fator de by- pass

$(1 - X)$ - fator de contato

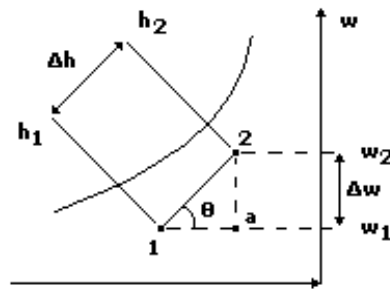
$(1 - X) = 100\% \rightarrow$ contato perfeito $2 \rightarrow i$

$(1 - X) \neq 100\% \rightarrow$ estado 2 representa uma condição de mistura entre os estados (1) e (2).

$$X = \frac{h_2 - h_i}{h_1 - h_i} = \frac{w_2 - w_i}{w_1 - w_i} \cong \frac{t_2 - t_i}{t_1 - t_i}$$

$$(1 - X) = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_i} = \frac{w_1 - w_2}{w_1 - w_i} \cong \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_i}$$

3.5-Fator de Calor Sensível



A relação $\Delta h/\Delta w$ é mostrado na carta, na escala externa do semi- círculo, localizado no canto superior da mesma.

$$FCS = \frac{q_s}{q_s + q_l}$$

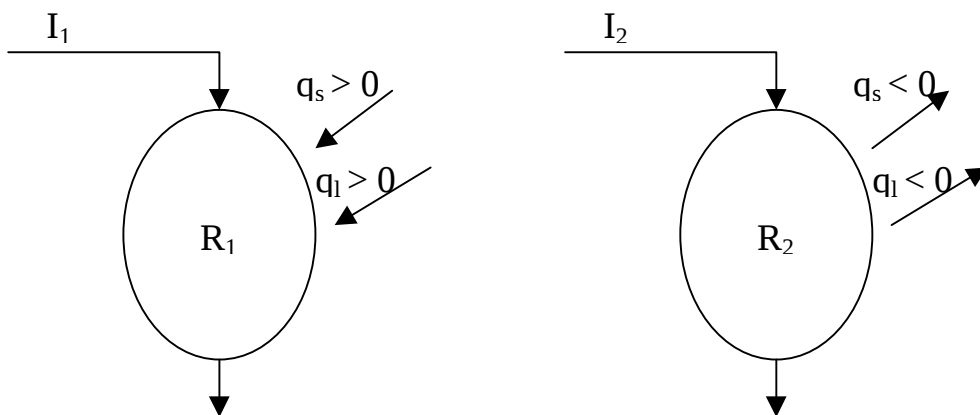
$$q_s = 1,226\dot{Q}(m^3/s)\Delta t(^{\circ}C) \quad \text{e} \quad q_l = 3,0\dot{Q}(m^3/s)\Delta w(g_s/kg_a)$$

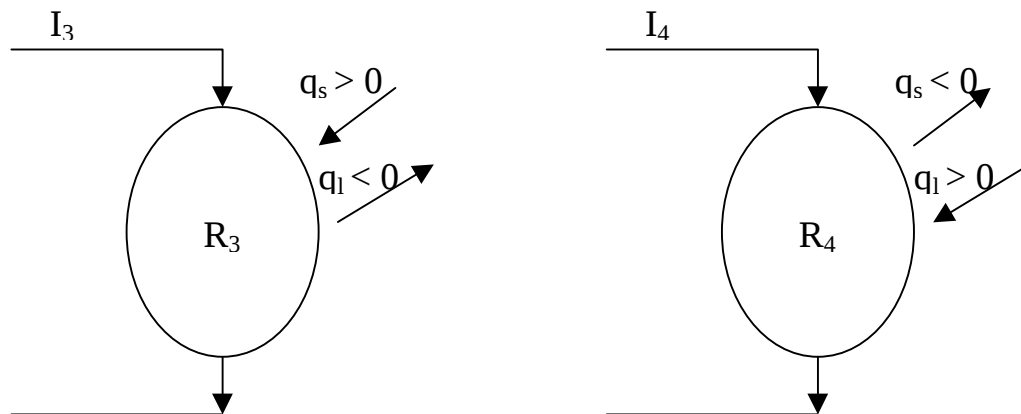
ou seja,

$$FCS = \frac{1,226\dot{Q}\Delta t}{1,226\dot{Q}\Delta + 3,0\dot{Q}\Delta w} = \frac{1}{1 + 2,447 \frac{\Delta w}{\Delta t}}$$

mas $tg\theta = \frac{\Delta w}{\Delta t}$ então: $FCS = \frac{1}{1 + 2,447tg\theta}$

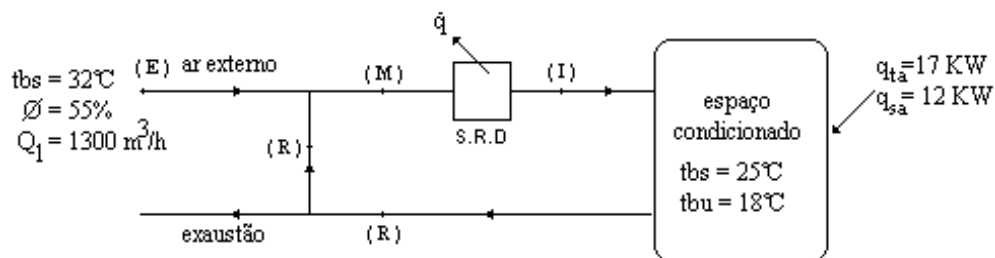
ou, $tg\theta = \frac{1}{2,447} \left(\frac{1}{FCS} - 1 \right)$ (relação entre FCS e $tg\theta$)



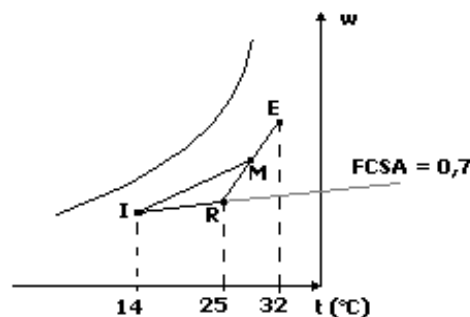


3.6 Exemplos

- 1) (15-Lista) Um dado ambiente deve ser mantido a 25°C (tbs) e 18°C (tbu). A carga térmica ambiente total é 17,0kW da qual 12,0 kW correspondem a carga sensível. A vazão de ar externo requerida aos ocupantes é de 1300 m³/h. O ar externo tem a temperatura de 32°C e 55% de umidade relativa. Determine a vazão, o estado do ar de insuflamento e a capacidade de refrigeração. Assumir que a temperatura de insuflamento é 11°C menor que a temperatura ambiente.



$$FCSA = \frac{q_{sa}}{q_{ta}} = \frac{12}{17} = 0,7$$



$$t_l = 25 - 11 = 14^\circ\text{C}$$

A partir do fator de calor sensível e da temperatura de insuflamento pode-se avaliar a condição do ar.

$$w_I = 0,0085 \text{ kg}_s/\text{kg}_a \text{ (carta)} \quad h_I = 35 \text{ kJ/kg}$$

Balanco de Energia no Ambiente

$$\dot{m}_{aI} h_I + q_{ta} = \dot{m}_{aR} h_R \quad \text{como} \quad \dot{m}_{aI} = \dot{m}_{aR} = \dot{m}_a$$

$$\dot{m}_a = \frac{q_{ta}}{h_R - h_I} = \frac{17}{51 - 35,0} = 1,03 \text{ kg}_a / \text{s} \quad (\text{total})$$

$$\text{Como } v_1 = 0,82 \text{ m}^3/\text{kg}_a \rightarrow \dot{Q}_I = \dot{m}_{aR} v_I = 1,03 \cdot 0,82 = 0,84 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Balanco de Massa na Seção da Mistura:

$$\dot{m}_{aE} + \dot{m}_{aR} = \dot{m}_{aM} = \dot{m}_{aI}$$

$$\dot{m}_{aE} = \frac{Q_E}{v_E} = \frac{1300}{3600 \cdot 0,887} = 0,41 \text{ kg} / \text{s} \quad (\text{externo})$$

$$\dot{m}_{aR} = \dot{m}_{aM} - \dot{m}_{aE} = 1,03 - 0,41 = 0,62 \text{ kg} / \text{s} \quad (\text{retorno})$$

Determinação da condição do ponto M.

$$\% \text{ de ar de retorno} = \frac{\dot{m}_{aR}}{\dot{m}_{aM}} = 0,62/1,03 \times 100 = 60\%$$

$$\% \text{ de ar externo} = \frac{\dot{m}_{aE}}{\dot{m}_{aM}} = 0,41/1,03 \times 100 = 40\%$$

Graficamente:

$$\frac{\overline{R-M}}{\overline{R-E}} = \frac{\dot{m}_{aE}}{\dot{m}_{aM}} = 0,4 \quad \overline{R-M} = 0,40 \cdot \overline{R-E} = 0,40 \cdot 4,5 \text{ cm} = 1,8 \text{ cm}$$

Assim na carta:

$$\begin{aligned} t_M &= 27,8^\circ\text{C} \\ w_M &= 0,0125 \text{ kg}_s/\text{kg}_a \\ h_M &= 60 \text{ kJ/kg}_a \end{aligned}$$

Balanco de Energia no Equipamento

$$\dot{m}_{aM} h_M = Q + \dot{m}_{aI} h_I \quad \text{como} \quad \dot{m}_{aM} = \dot{m}_{aI}$$

$$Q = \dot{m}_{aI} (h_M - h_I) = 1,03 (60 - 35) = 25,75 \text{ kW}$$

- 2) (14-Lista) São conhecidos para um determinado ambiente:
 $q_{sa} = 20 \text{ kW};$

$$q_{la} = 5 \text{ kW};$$

Condições internas: 25°C(tbs) e 50%;

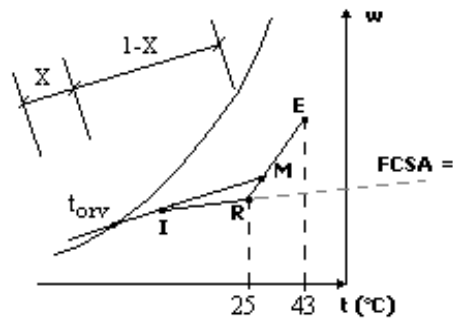
Fator de by-pass da serpentina: 0,2;

Condições externas: 43°C (tbs) e 27,5°C (tbu).

O ar de retorno é misturado com o ar externo na proporção de 4:1 em peso.

Determine:

- A temperatura média da superfície da serpentina;
- O estado do ar na saída da serpentina;
- A massa de ar sendo insuflado no ambiente;
- A capacidade total de refrigeração do equipamento.



$$\frac{\dot{m}_R}{\dot{m}_E} = \frac{4}{1} \Rightarrow \frac{\dot{m}_M - \dot{m}_E}{\dot{m}_E} = \frac{4}{1} \Rightarrow \frac{\dot{m}_M}{\dot{m}_E} - 1 = 4 \Rightarrow \frac{\dot{m}_M}{\dot{m}_E} = 5$$

$$\text{ou, } \frac{\dot{m}_E}{\dot{m}_M} = \frac{1}{5} = 0,2 \quad e \quad \frac{\dot{m}_E}{\dot{m}_M} = \frac{4}{5} = 0,8$$

Determinação do ponto M

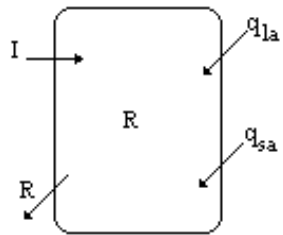
$$\dot{m}_R h_R + \dot{m}_E h_E = \dot{m}_M h_M \quad \therefore \quad \frac{\dot{m}_R}{\dot{m}_M} h_R + \frac{\dot{m}_E}{\dot{m}_M} h_E = h_M$$

$$h_M = 0,8 \cdot 50,5 + 0,2 \cdot 87,5 = 58,1 \text{ kJ/kg}_a$$

$$w_M = 0,8 w_R + 0,2 w_E = 0,8 \cdot 10 + 0,2 \cdot 17 = 11,4 \text{ g}_s/\text{kg}_a$$

$$\left. \begin{aligned} FCSCA &= \frac{q_{sa}}{q_{sa} + q_{la}} = \frac{20}{25} = 0,8 \\ \text{Fator de by-pass} &= 0,2 \end{aligned} \right\} \text{ Da carta: } \begin{aligned} t_{ow} &= 12^\circ\text{C} & (a) \\ t_I &= 15^\circ\text{C} & (b) \\ w_I &= 9,5 \text{ g}_s/\text{kg}_a & (b) \end{aligned}$$

c)

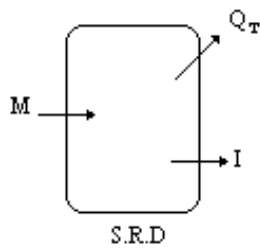


$$q_{la} + q_{sa} = \dot{m}_a (h_R - h_I) \quad \therefore \quad \dot{m}_a = \frac{25}{50,5 - 38,5} = 2,08 \text{ kg}_a / \text{s}$$

ou

$$q_{sa} = \dot{m}_a c_{p,m} (t_R - t_I) \quad \therefore \quad \dot{m}_a = \frac{20}{25 - 15} = 2,0 \text{ kg}_a / \text{s}$$

d)



$$\dot{m}_a h_M - Q_T = \dot{m}_a h_I \quad \therefore \quad Q_T = \dot{m}_a (h_M - h_I)$$

$$Q_T = 2,08(58 - 38,5) = 40,6 \text{ kW}$$

Capacidade para refrigerar o ar externo

$$Q_E = Q_T - q_{ta} = 40,6 - 25 = 15,6 \text{ kW}$$