



Departamento de Engenharia  
Química - DEQ

## PRINCÍPIOS DOS PROCESSOS QUÍMICOS - DEQ0512

Balanco de massa e energia - Destilação

Curso: Engenharia Química

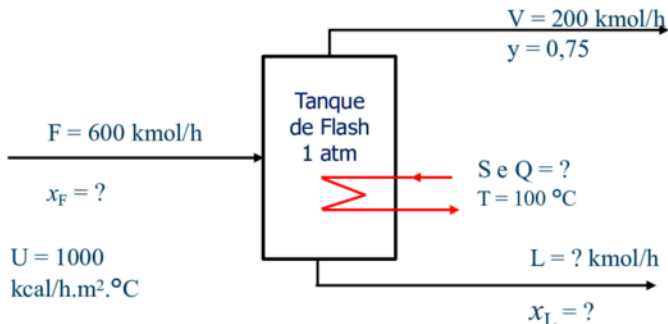
Prof. Humberto N. Maia de Oliveira – ([humberto@eq.ufrn.br](mailto:humberto@eq.ufrn.br))

Semestre: 2024.2

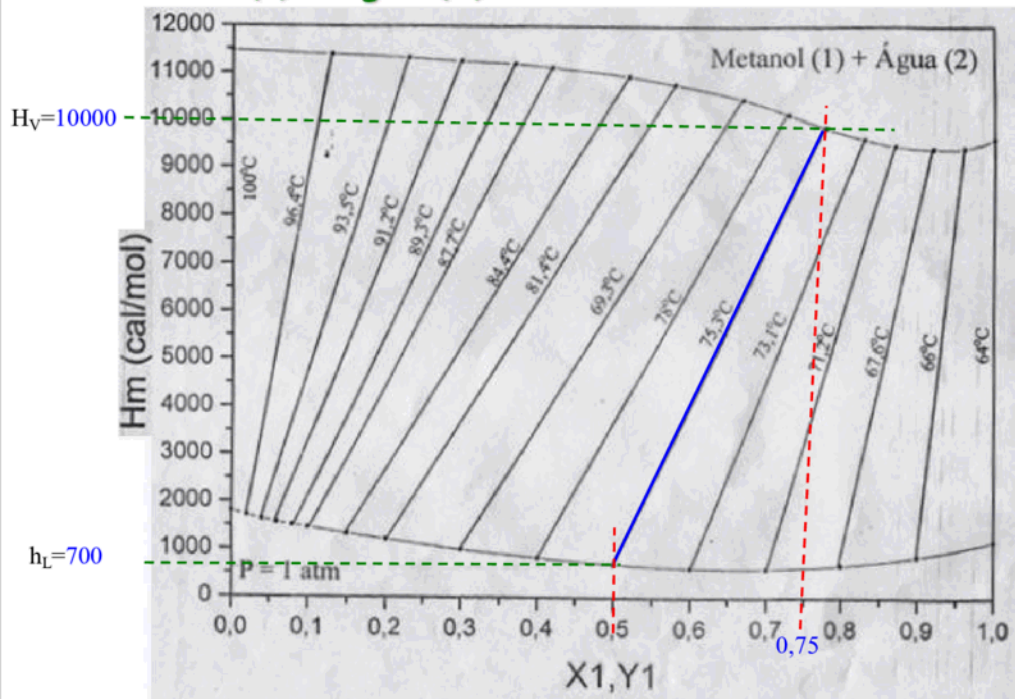
Horário: 24M34 (08:55-10:35)

# Exemplo 1

- 600 kmol/h de uma mistura de metanol e água é separada em um tanque flash que opera a 1 atm, obtendo-se 200 kmol/h de vapor com 75% molar de metanol. Determine a temperatura do tanque flash e a composição da mistura alimentada. Considere que a mistura se encontra inicialmente no ponto de bolha e que é aquecida em um trocador de calor ( $U=1000\text{kcal/hm}^2\text{°C}$ ) empregado como fluido de aquecimento vapor de água saturado (S) a  $100\text{°C}$ . Do vapor saturado, aproveita-se apenas o calor latente. Determine a área de troca térmica do trocador e a vazão necessária para a destilação proposta.



## Diagrama Entalpia vs. Concentração para o sistema Metanol (1) + Água (2)



### Solução:

$$F = 600 \text{ kmol/h e } V = 200 \text{ kmol/h}$$

$$y = 0,75 \longrightarrow \text{Diagrama } T = 75,3 \text{ }^{\circ}\text{C}, \quad x = 0,5$$

$$T = ? \text{ e } x_F = ? \longrightarrow \text{Ponto de bolha}$$

$$U = 1000 \text{ kcal/h m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_S = 100^{\circ}\text{C} ; \quad S = ? \text{ e } A = ?$$

### Balanço de massa

$$F = L + V \longrightarrow L = F - V = 400 \text{ kmol/h}$$

$$F \cdot x_F = L \cdot x + V \cdot y \longrightarrow x_F = (400 \times 0,5 + 200 \times 0,75) / 600 = 0,58 \longrightarrow$$

Marca 0,58 no diagrama  $\longrightarrow$  interpola e determina  $T_F = 73,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

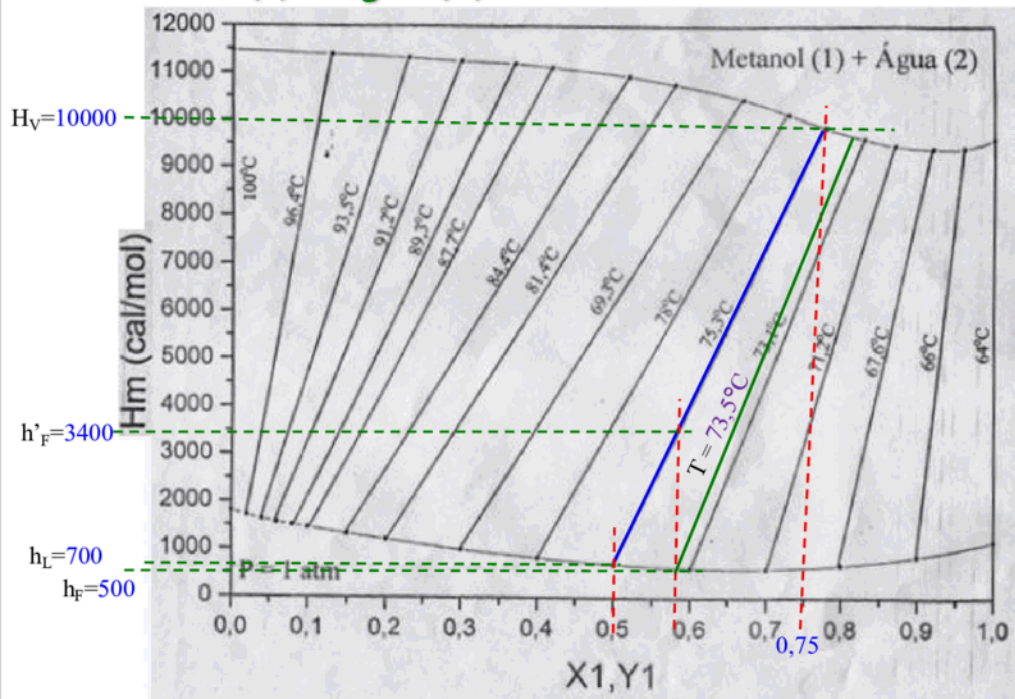
### Balanço de entalpia

$$Fh_F + Q = Fh'_F \longrightarrow Q = F(h'_F - h_F)$$

$$Q = 600 \cdot (3400 - 500) = 1.740.000 \text{ kcal/h}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} h'_F = 3400 \text{ kcal/kmol} \\ h_F = 500 \text{ kcal/kmol} \\ h_L = 700 \text{ kcal/kmol} \\ H_V = 10.000 \text{ kcal/kmol} \end{array} \right.$$

# Diagrama Entalpia vs. Concentração para o sistema Metanol (1) + Água (2)



Cont. Solução:

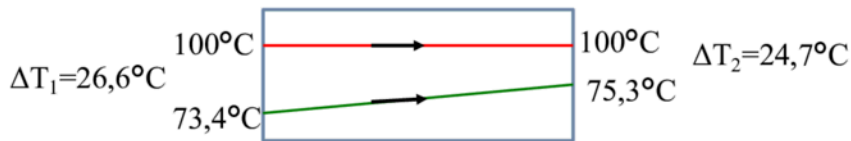
$$F.h_F + Q = L.h_L + V.H_V = 600 \times 500 + Q = 400 \times 700 + 200 \times 10.000$$

$$Q = 1.980.000 \text{ kcal/h}$$

Determinar a quantifade de S, considerando:  $Q = 1.740.000 \text{ kcal/h}$

$$T_S = 100^\circ\text{C} \xrightarrow{\text{TVS}} \lambda_S = 2257,9 \text{ kJ/kg} = 538,9 \text{ kcal/kg}$$

$$Q = S \cdot \lambda_S \rightarrow S = (1.740.000 \text{ kcal/h}) / 538,9 \text{ kcal/kg} = 3228,8 \text{ kg/h}$$



$$\Delta T_1 < 1,5 \Delta T_2$$

$$\Delta T_{\text{médio}} = (26,6 + 24,7) / 2 = 25,65^{\circ}\text{C}$$

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{\text{ln}} \rightarrow A = 1.740.000 / (1000 \times 25,65) = 67,84 \text{ m}^2$$

Calculo de S, considerando  $Q = 1980.000 \text{ kcal/h}$

$$Q = S \cdot \lambda_S \rightarrow S = (1.980.000 \text{ kcal/h}) / 538,9 \text{ kcal/kg} = 3674,2 \text{ kg/h}$$

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{\text{ln}} \rightarrow A = 1.980.000 / (1000 \times 25,65) = 77,2 \text{ m}^2$$

$$\% \text{Erro} = 0,12 \%$$

7) Em um evaporador de simples efeito se concentram 15000kg/h de uma solução de NaOH a 10% até 50% em peso. O vapor utilizado, como meio de aquecimento, é vapor saturado a 3,5 atm, e uma vez condensado sai da câmara na temperatura de condensação. A pressão de vácuo mantida na câmara de evaporação é de 620 mmHg, em relação a pressão atmosférica normal. O coeficiente global de transferência de calor é 1600 kcal/m<sup>2</sup>.h.°C.

Se a alimentação entra a 40°C e não se perde calor para o exterior, determine:

- a) O consumo horário de vapor de aquecimento;
- b) A superfície de aquecimento;
- c) A economia do processo.



## Exercício:

$$F = 15000 \text{ kg/h} ; x_F = 0,10 ; x_L = 0,50 ; T_F = 40^\circ\text{C}$$

$$P_{abs.} = P_{amb} - P_{v\u00e1cuo} \longrightarrow P_{abs.} = 760 - 620 = 140 \text{ mmHg}$$

$$P_{evap.} = 140 \text{ mmHg}$$

$$P_S = 3,5 \text{ ata.}$$

$$U = 1600 \text{ kcal/m}^2.\text{h. } ^\circ\text{C}$$

Balanço de massa para o soluto:  $F = L + V$

Quantidade de solução concentrada:

$$Fx_F = Lx_L + V\overset{0}{y_V} \longrightarrow 15000.0,10 = L.0,50 \rightarrow L = 3000 \text{ kg/h}$$

Quantidade de água a ser evaporada:

$$F = L + V \rightarrow V = F - L = 15000 - 3000 = 12000 \text{ kg/h}$$

## Exercício:

Balanco de entalpia:  $q_{\text{Entra}}^{\text{Cedido}} = q_{\text{Sai}}^{\text{Recebido}}$

$$Fh_F + SH_S = Sh_S + V.H_V + Lh_L + \text{perdas}$$

$P_S = 3,5 \text{ ata}$   $\xrightarrow{\text{Tab. Vapor}}$   $\left\{ \begin{array}{l} T_{SV} = 138^\circ\text{C} \\ h_S = 139 \text{ kcal/hg} \\ H_S = 652 \text{ kcal/hg} \end{array} \right.$

Propiedades termodinâmicas do vapor de água saturado (entrada pressão)

Presión de saturación Kg/cm <sup>2</sup> <i>p</i>	Temperatura de saturación °C <i>t</i>	Volumen específico del vapor s. m <sup>3</sup> /Kg <i>v''</i>	Entropía Kcal/Kg °K		Entalpia Kcal/Kg	
			Del líquido <i>s'</i>	Del vapor <i>s''</i>	Del líquido <i>h'</i>	Del vapor <i>h''</i>
2,4	125,46	0,7601	0,3786	1,6884	125,8	647,8
2,6	128,08	0,7052	0,3853	1,6819	128,5	648,7
2,8	130,55	0,6578	0,3914	1,6759	131,0	649,5
3,0	132,88	0,6166	0,3973	1,6703	133,4	650,3
3,2	135,08	0,5804	0,4028	1,6650	135,6	650,9
3,4	137,18	0,5483	0,4081	1,6601	137,8	651,6
3,6	139,18	0,5196	0,4130	1,6557	139,8	652,2
3,8	141,09	0,4939	0,4176	1,6514	141,8	652,8
4,0	142,92	0,4706	0,4221	1,6474	143,6	653,4
4,5	147,20	0,4213	0,4326	1,6380	148,0	654,7