



OPERAÇÕES UNITÁRIAS II

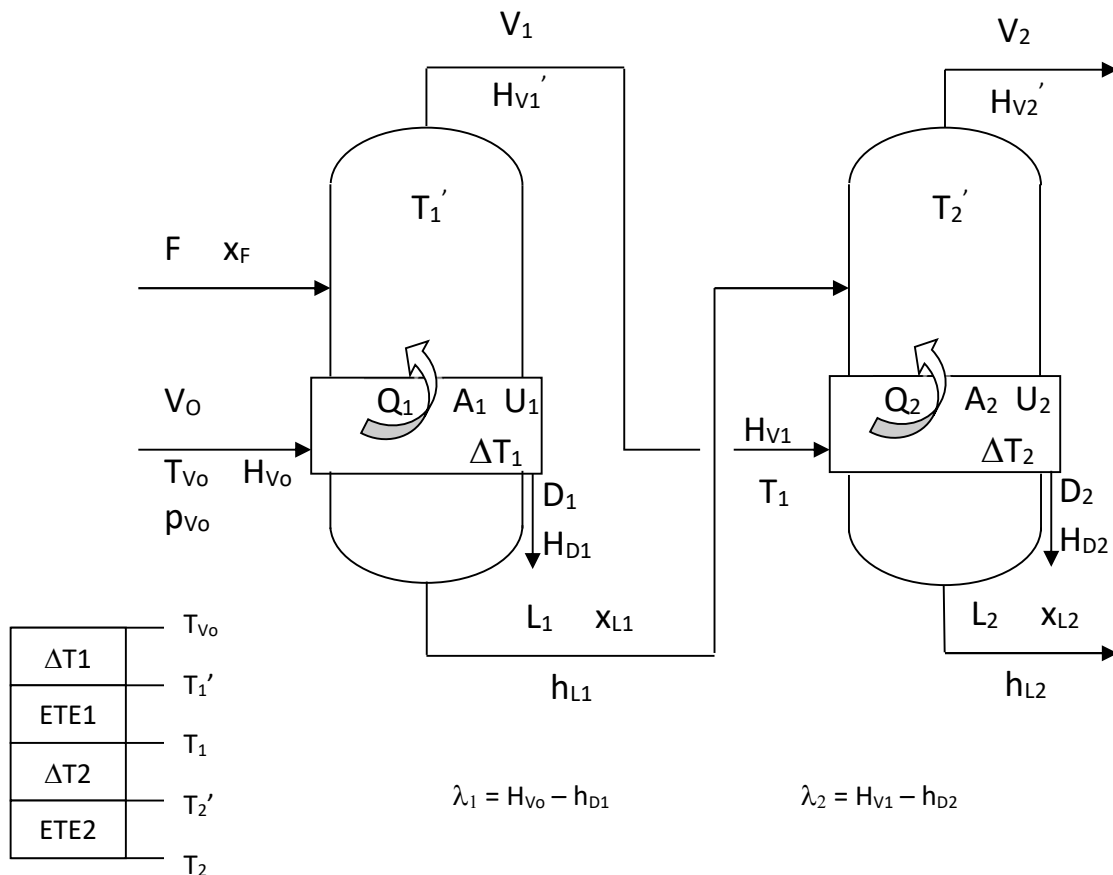
Prof. Antonio Carlos da Silva

AULAS 19 e 20 - CÁLCULO DE EVAPORADORES DUPLO EFEITO

05/novembro/2020

EXERCÍCIOS DE EVAPORAÇÃO

1) Um evaporador de duplo efeito, concorrente, com áreas de troca de calor iguais, deve ser projetado para concentrar uma solução de hidróxido de sódio com 10% em peso, até 60% em peso. O evaporador deverá ter capacidade para produzir 80.000 kg de solução concentrada por dia e deverá ser alimentado com solução a 50°C e com vapor saturado a 188°C. Os coeficientes globais de troca de calor são estimados em: $U_1 = 1780$ e $U_2 = 1720$ kcal/h.m².°C. A câmara de evaporação do segundo estágio deverá ser operada sob vácuo, a 0,2031 kgf/cm² abs. Determinar as áreas de troca de calor que deverão ter os dois estágios do evaporador, o consumo de vapor de aquecimento e a economia do evaporador.



$L_2 = 80.000/24 \rightarrow L_2 = 3.333,3$ kg/h
 Eq 6: $F \cdot x_F = L_2 \cdot x_{L2} \rightarrow F \cdot 0,1 = 3333,3 \cdot 0,6 \rightarrow F = 20.000$ kg/h
 $x_{L2} = 0,6$ e $T_2 = 60$ C \rightarrow Diagrama de Dühring $\rightarrow T_2' = 118$ C
 $ETE2 = T_2' - T_2 \rightarrow ETE2 = 118 - 60 \rightarrow ETE2 = 58$ C

$x_F = 0,1$ e $TF = 50C \rightarrow$ Diagrama Entalpia-concentração $\rightarrow h_F = 46 \text{ kcal/kg}$

$TC = 5/9.(TF-32) \rightarrow 50 = 5/9.(TF-32) \rightarrow TF = 122 \text{ F}$

$x_{L2} = 0,6$ e $T2' = 118 \rightarrow$ Diagrama Entalpia-concentração $\rightarrow h_{L2} = 175 \text{ kcal/kg}$

$118 = 5/9.(TF-32) \rightarrow TF = 244,4 \text{ F}$

$HV' = HV + 0,5.ETE \rightarrow HV2' = 623,2 + 0,5.58 \rightarrow HV2' = 652,2 \text{ kcal/kg}$

1ª Tentativa

Consideração 1: $V1 = V2$ (suposição, considerando que os dois evaporadores terão áreas iguais)

Eq 5: $F = L2 + V2 + V1 \rightarrow 20000 = 3333,3 + 2.V1 \rightarrow V1 = V2 = 8.333,4 \text{ kg/h}$

Eq 1: $F = L1 + V1 \rightarrow 20000 = L1 + 8333,4 \rightarrow L1 = 11666,6 \text{ kg/h}$ (ou Eq 3)

Eq 2: $F.x_F = L1.x_{L1} \rightarrow 20000.0,1 = 11666,6.x_{L1} \rightarrow x_{L1} = 0,17$

Consideração 2: $Q1 = Q2$ (suposição, considerando que os dois evaporadores terão áreas iguais)

$U1.A1.\Delta T1 = U2.A2.\Delta T2$ ($A1 = A2$)

$\Delta T1 = (U2/U1).\Delta T2 \rightarrow \Delta T1 = (1720/1780).\Delta T2 \rightarrow \Delta T1 = 0,97.\Delta T2$

$\Delta T1 + ETE1 + \Delta T2 + ETE2 = TV0 - T2 = 188 - 60 = 128 \text{ C}$

$\Delta T1 + ETE1 + \Delta T2 = 128 - 58 = 70 \text{ C}$

Estimando ETE1 no diagrama de Dühring $\rightarrow 5^\circ C$

$\Delta T1 + \Delta T2 = 70 - 5 \rightarrow \Delta T1 + \Delta T2 = 65 \text{ C}$

$0,97.\Delta T2 + \Delta T2 = 65 \rightarrow \Delta T2 = 33 \text{ C}$

$\Delta T1 + 33 = 65 \rightarrow \Delta T1 = 32 \text{ C}$

$\Delta T1 = TV0 - T1' \rightarrow 32 = 188 - T1' \rightarrow T1' = 156 \text{ C}$

$\Delta T2 = T1 - T2' \rightarrow 33 = T1 - 118 \rightarrow T1 = 151 \text{ C}$

$x_{L1} = 0,17$ e $T1' = 156 \text{ C} \rightarrow$ Diagrama Entalpia-concentração $\rightarrow h_{L1} = 138 \text{ kcal/kg}$

$156 = 5/9.(TF-32) \rightarrow TF = 312,8 \text{ F}$

10/novembro/2020 (continuação)

Na tabela de vapor: para $T1 = 151$

T1	Hv	hD	λ
150	655,5	150,9	504,6
151	Hv1	hD2	λ_2
155	656,9	156,1	500,8

$Hv1 = 655,8 \text{ kcal/kg}$ / $hD2 = 151,9 \text{ kcal/kg}$ / $\lambda_2 = 503,8 \text{ kcal/kg}$

$Hv1' = Hv1 + 0,5.ETE1 \rightarrow Hv1' = 655,8 + 0,5.5 \rightarrow Hv1' = 658,3 \text{ kcal/kg}$

$\lambda_2 = Hv1 - hD2 \rightarrow \lambda_2 = 655,8 - 151,9 = 503,8 \text{ kcal/kg}$

$$V2 = \frac{L2.(hL2 - hL1 + \lambda_2) - F.\lambda_2}{hL1 - \lambda_2 - HV2'}$$

$$V0 = \frac{(L2 + V2).hL1 + (F - L2 - V2).HV1' - F.hF}{\lambda_1}$$

$V2 = (3333,3.(175 - 138 + 503,8) - 20000.503,8)/(138 - 503,8 - 652,2) \rightarrow V2 = 8127,9 \text{ kg/h}$

$F = L2 + V1 + V2 \rightarrow 20000 = 3333,3 + V1 + 8127,9 \rightarrow V1 = 8538,8 \text{ kg/h}$

$V0 = [(3333,3 + 8127,9).138 + (20000 - 3333,3 - 8127,9).658,3 - 20000.46]/474,3 \rightarrow V0 = 13246,3 \text{ kg/h}$

$V0.\lambda_1 = U1.A1.\Delta T1 \rightarrow 13246,3.474,3 = 1780.A1.32 \rightarrow A1 = 110,3 \text{ m}^2$

$V1.\lambda_2 = U2.A2.\Delta T2 \rightarrow 8538,8.503,8 = 1720.A2.33 \rightarrow A2 = 75,81 \text{ m}^2$

Erro = (Amaior - Amenor)/Amenor

Erro = $100*(110,3 - 75,81)/75,81 \rightarrow$ Erro = 45,5% (o erro aceitável é menor ou igual a 5%)

2ª Tentativa

$$A_m = \frac{A_1 \cdot \Delta T_1 + A_2 \cdot \Delta T_2}{\Delta T_1 + \Delta T_2}$$

$$\Delta T_{1\text{corr}} = \frac{A_1 \cdot \Delta T_1}{A_m} \quad \text{e} \quad \Delta T_{2\text{corr}} = \frac{A_2 \cdot \Delta T_2}{A_m}$$

$$A_m = [(110,3 \cdot 32 + 75,81 \cdot 33)/(32 + 33)] \rightarrow A_m = 92,79 \text{ m}^2$$

$$\Delta T_1 = 110,3 \cdot 32 / 92,79 \rightarrow \Delta T_1 = 38,04 \text{ C}$$

$$\Delta T_2 = 75,81 \cdot 33 \rightarrow \Delta T_2 = 26,96 \text{ C}$$

$$\Delta T_1 = T_{vo} - T_1' \rightarrow 38,04 = 188 - T_1' \rightarrow T_1' = 150 \text{ C}$$

$$\Delta T_2 = T_1 - T_2' \rightarrow 26,96 = T_1 - 118 \rightarrow T_1 = 145 \text{ C}$$

$$F = L_1 + V_1 \rightarrow 20000 = L_1 + 8538,8 \rightarrow L_1 = 11461,2 \text{ kg/h}$$

$$F \cdot xF = L_1 \cdot xL_1 \rightarrow 20000 \cdot 0,1 = 11461,2 \cdot xL_1 \rightarrow xL_1 = 0,17$$

$$T_1' = 150 \text{ e } xL_1 = 0,17 \rightarrow \text{diagrama entalpia concentração} \rightarrow hL_1 = 132 \text{ kcal/kg}$$

$$T_1 = 145 \text{ C} \rightarrow H_{v1} = 654 \text{ kcal/kg} \rightarrow \lambda_2 = 508,2 \text{ kcal/kg}$$

$$H_{v1}' = H_{v1} + 0,5 \cdot ETE_1 \rightarrow H_{v1}' = 654 + 0,5 \cdot 5 \rightarrow H_{v1}' = 656,5 \text{ kcal/kg}$$

$$V_2 = \frac{L_2 \cdot (hL_2 - hL_1 + \lambda_2) - F \cdot \lambda_2}{hL_1 - \lambda_2 - HV_2'}$$

$$V_0 = \frac{(L_2 + V_2) \cdot hL_1 + (F - L_2 - V_2) \cdot HV_1' - F \cdot hF}{\lambda_1}$$

$$V_2 = [3333,3 \cdot (175 - 132 + 508,2) - 20000 \cdot 508,2] / (132 - 508,2 - 652,2) \rightarrow V_2 = 8096,7 \text{ kg/h}$$

$$F = L_2 + V_1 + V_2 \rightarrow 20000 = 3333,3 + V_1 + 8096,7 \rightarrow V_1 = 8570 \text{ kg/h}$$

$$V_0 = [(3333,3 + 8096,7) \cdot 132 + (20000 - 3333,3 - 8096,7) \cdot 656,5 - 20000 \cdot 46] / 474,3$$

$$V_0 = 13103,4 \text{ kg/h}$$

$$V_0 \cdot \lambda_1 = U_1 \cdot A_1 \cdot \Delta T_1 \rightarrow 13103,4 \cdot 474,3 = 1780 \cdot A_1 \cdot 38,04 \rightarrow A_1 = 91,79 \text{ m}^2$$

$$V_1 \cdot \lambda_2 = U_2 \cdot A_2 \cdot \Delta T_2 \rightarrow 8570 \cdot 508,2 = 1720 \cdot A_2 \cdot 26,96 \rightarrow A_2 = 93,92 \text{ m}^2$$

$$\text{Erro} = 100 \cdot (93,92 - 91,79) / 91,79 = 2,32\%$$

$$\text{Economia} = (8570 + 8096,7) / 13103,4 \rightarrow \text{Economia} = 1,27$$

Parâmetro	1ª tentativa	2ª tentativa
F	20000	----
L ₁	11666,6	11461,2
L ₂	3333,3	----
V ₀	13246,3	13103,4
V ₁	8333,4	8538,8
V ₂	8333,4	8570
x _F	0,1	----
x _{L1}	0,17	0,17
x _{L2}	0,6	----
P _{vo}	----	----
P ₂	0,2031	----
T _F	50	----
T _{vo}	188	----
T ₁ '	156	150
T ₁	151	145
T ₂ '	118	----
T ₂	60	----
ETE1	5	----
ETE2	58	----
ΔT1	32	38,04
ΔT2	33	26,96
h _F	46	----
h _{L1}	138	132
h _{L2}	175	----
λ ₁	474,3	----
λ ₂	503,8	508,2
H _{V1}	655,8	654
H _{V1} '	658,3	656,5
H _{V2}	623,2	----
H _{V2} '	652,2	----
U1	1780	----
U2	1720	----