



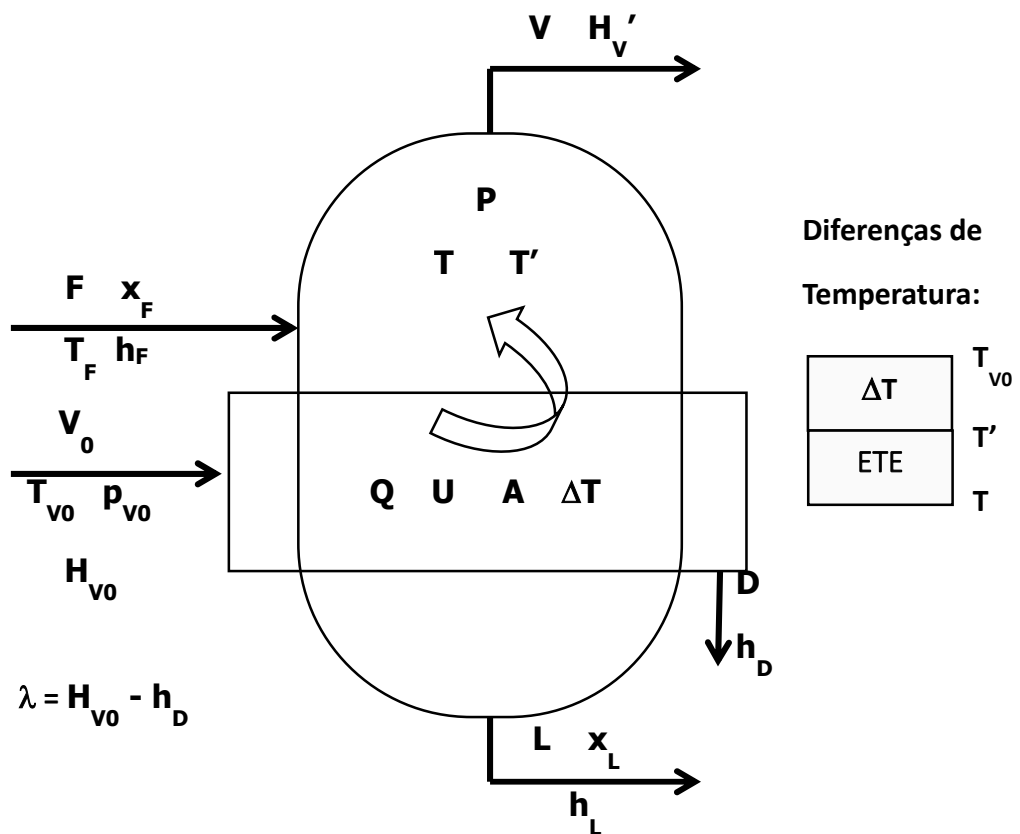
OPERAÇÕES UNITÁRIAS II

Prof. Antonio Carlos da Silva

AULAS 15 e 16 - CÁLCULO DE EVAPORADORES

EXERCÍCIOS DE EVAPORAÇÃO

Em um Evaporador de Simples Efeito tem-se os seguintes parâmetros (conforme Apresentação e Videoaulas postadas):



As equações de Balanço de Massa e de Energia são:

$$F = L + V \quad (1)$$

$$F \cdot x_F = L \cdot x_L \quad (2)$$

$$V_0 = D \quad (3)$$

$$Q = V_0 \cdot \lambda = L \cdot h_L + V \cdot H_V' - F \cdot h_F \quad (4)$$

A troca de calor é dada pela relação: $Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (5)$

22/Outubro/2020

EXEMPLO

Em um evaporador de simples efeito, uma solução de NaOH a 10% em peso é evaporada até 50% em peso. A solução é alimentada a 32°C, com vazão de 3.600 kg/h. O coeficiente global de troca de calor é 1.200 kcal/h.m².°C. Dispõe-se de vapor para aquecimento a 8,5 kgf/cm². Na câmara de evaporação, a pressão é mantida a 0,285 kgf/cm². Determinar a área de troca de calor necessária.

Tabela para lançamento dos parâmetros calculados:

Parâmetro	Valor	Unidades
F	3600	kg/h
L	720	kg/h
V	2880	kg/h
x_F	0,1	
x_L	0,5	
V₀ (=D)	3792,4	kg/h
T_F	32	°C
T_{v0}	172,1	°C
T	67,4	°C
T'	110	°C
ΔT = T_{v0} – T'	62,1	°C
ETE = T' – T	42,6	°C
p	0,285	kgf/cm ²
P_{v0}	8,5	kgf/cm ²
h_F	32	kcal/kg
q	138	kcal/kg
H_{v0}	661,4	kcal/kg
H_v	626,2	kcal/kg
H_{v'}	647,5	kcal/kg
h_D	173,9	kcal/kg
λ	487,5	kcal/kg
U	1200	kcal/h.m ² .°C
Q	1.848.795	kcal/h
A		

Cálculo de L:

$$\text{Eq 2: } F \cdot x_F = L \cdot x_L \rightarrow 3600 \cdot 0,1 = L \cdot 0,5 \rightarrow L = 720 \text{ kg/h}$$

Com a pressão $P_{vo} = 8,5 \text{ kgf/cm}^2$

T_{vo}	P_{vo}	H_{vo}	H_d	$H_{vo}-h_d=\lambda$
170	8,076	660,9	171,7	489,2
T_{vo}	8,5	H_{vo}	H_d	λ
175	9,101	662,1	176,9	485,2

$$T_{vo} = 172,1 \text{ }^\circ\text{C} \quad H_{vo} = 661,4 \text{ kcal/kg} \quad H_d = 173,9 \text{ kcal/kg} \quad \lambda = 487,5 \text{ kcal/kg}$$

Com a pressão $P = 0,285 \text{ kgf/cm}^2$

T	P	Hv
65	0,2550	625,2
T	0,2850	Hv
70	0,3177	627,3

$$T = 67,4 \text{ C} \quad H_v = 626,2 \text{ kcal/kg}$$

Cálculo de V:

$$\text{Eq 1: } F = L + V \rightarrow 3600 = 720 + V \rightarrow V = 2880 \text{ kg/h}$$

Cálculo da elevação da temperatura de ebulição:

$$x_L = 0,5 \text{ e } T = 67,4 \rightarrow \text{diagrama de Dühring} \rightarrow T' = 110 \text{ }^\circ\text{C}$$

Cálculo das entalpias de solução:

$$x_F = 0,1 \text{ e } T_F = 32 \rightarrow \text{diagrama entalpia-concentração} \rightarrow h_F = 32 \text{ kcal/kg}$$

$$x_L = 0,5 \text{ e } T' = 110 \rightarrow \text{diagrama entalpia-concentração} \rightarrow h_L = 138 \text{ kcal/kg}$$

$$T_c = 5/9(T_f - 32) \rightarrow 110 = 5/9.(T_f - 32) \rightarrow T' = 230 \text{ }^\circ\text{F}$$

27/Outubro/2020

Cálculo das Diferenças de Temperatura:

$$\Delta T = T_{vo} - T' \rightarrow \Delta T = 172,1 - 110 = 62,1 \text{ C}$$

$$ETE = T' - T \rightarrow ETE = 110 - 67,4 = 42,6 \text{ C}$$

$$H_v' = H_v + C_p \cdot ETE \rightarrow H_v' = 626,2 + 0,5 \cdot 42,6 \rightarrow H_v' = 647,5 \text{ kcal/kg}$$

$C_p = 0,5$ (para o vapor)

Cálculo da vazão de vapor de aquecimento:

$$V_o \cdot \lambda = L \cdot h_L + V \cdot H_v' - F \cdot h_F \rightarrow V_o \cdot 487,5 = 720 \cdot 138 + 2880 \cdot 647,5 - 3600 \cdot 32 \rightarrow$$

$$V_o = 3792,4 \text{ kg/h}$$

Cálculo da carga térmica:

$$Q = V_o \cdot \lambda \rightarrow Q = 3792,4 \cdot 487,5 \rightarrow Q = 1848795 \text{ W}$$

Cálculo da área de troca de calor:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \rightarrow 1848795 = 1200 \cdot A \cdot 62,1 \rightarrow A = 24,81 \text{ m}^2$$

EXERCÍCIOS

2) Uma solução de um sal inorgânico a 40°C deve ser alimentada em um evaporador de simples efeito, para ser concentrada de 20% até 40%, à taxa de 8.000 kg/h. Deve ser empregado vapor para aquecimento a 181,5°C. A câmara de evaporação deverá ser operada sob vácuo, a 0,2031 kgf/cm² abs. O coeficiente global de troca de calor é 1480 kcal/h.m².°C. Determinar a área de troca de calor que deverá ter o evaporador. Dados para a solução:

Concentração da solução, % em peso de soluto	5	10	20	30	40
Elevação da Temperatura de Ebulição, °C	3,8	6,9	14,8	24,4	33,2
Calor específico, kcal/kg	0,96	0,91	0,86	0,80	0,72

Parâmetro	Valor	Unidades
F	8000	kg/h
L	4000	kg/h
V	4000	kg/h
x _F	0,2	
x _L	0,4	
V ₀ (=D)	4817,3	kg/h
T _F	40	°C
T _{v0}	181,5	°C
T	60	°C
T'	93,2	°C
ΔT = T _{v0} – T'	88,3	°C
ETE = T' – T	33,2	°C
p	0,2031	kgf/cm ²
P _{v0}	-----	
h _F	34,4	kcal/kg
h _L	67,1	kcal/kg
H _{v0}	6635	kcal/kg
H _v	623,2	kcal/kg
H _{v'}	639,8	kcal/kg
h _D	183,8	kcal/kg
λ	479,7	kcal/kg
U	1480	kcal/h.m ² .°C
Q	2.310.858,8	Kcal/h
A		

--	--	--

Eq. 2: $F \cdot x_F = L \cdot x_L \rightarrow 8000 \cdot 0,2 = L \cdot 0,4 \rightarrow L = 4000 \text{ kg/h}$

Eq. 1: $F = L + V \rightarrow 8000 = 4000 + V \rightarrow V = 4000 \text{ kg/h}$

Para $p = 0,2031 \rightarrow T = 60 \text{ C}$ e $H_v = 623,2 \text{ kcal/kg}$

$T_{v0} = 181,5 \text{ C}$

T_{v0}	H_{v0}	h_D	λ	
180	663,2	182,2	481,0	$H_{v0} = 663,5 \text{ kcal/kg}$
181,5	H_{v0}	h_D	λ	$\lambda = 479,7 \text{ kcal/kg}$
182	663,6	184,3	479,3	$h_D = 183,8 \text{ kcal/kg}$

$ETE = 33,2 \text{ C} = T' - T \rightarrow 33,2 = T' - 60 \rightarrow T' = 93,2 \text{ C}$

$\Delta T = T_{v0} - T' \rightarrow \Delta T = 181,5 - 93,2 \rightarrow \Delta T = 88,3 \text{ C}$

$ETE = T' - T \rightarrow ETE = 33,2 \text{ C}$

$C_p = \Delta H / \Delta T \rightarrow H - H_{ref} = C_p \cdot (T - T_{ref}) \quad [\text{ref} \rightarrow T = 0 \text{ C e } h = 0 \text{ kcal/kg}]$

$H = C_p \cdot T$

$h_F = C_p F \cdot T_F \rightarrow x_F = 0,2 \text{ e } T_F = 40 \text{ C} \rightarrow h_F = 0,86 \cdot 40 \rightarrow h_F = 34,4 \text{ kcal/kg}$

$h_L = C_p L \cdot T' \rightarrow x_L = 0,4 \text{ e } T' = 93,2 \rightarrow h_L = 0,72 \cdot 93,2 \rightarrow h_L = 67,1 \text{ kcal/kg}$

$H_{v'} = H_v + C_p \cdot ETE \rightarrow H_{v'} = 623,2 + 0,5 \cdot 33,2 \rightarrow H_{v'} = 639,8 \text{ kcal/kg}$

$V_0 \cdot \lambda = L \cdot h_L + V \cdot H_{v'} - F \cdot h_F \rightarrow V_0 \cdot 479,7 = 4000 \cdot 67,1 + 4000 \cdot 639,8 - 8000 \cdot 34,4 \rightarrow$

$V_0 = 4817,3 \text{ kg/h}$

$Q = V_0 \cdot \lambda \rightarrow Q = 4817,3 \cdot 479,7 \rightarrow Q = 2.310.858,8 \text{ kcal/h}$

$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \rightarrow 2310858,8 = 1480 \cdot A \cdot 88,3 \rightarrow A = 17,68 \text{ m}^2$