



OPERAÇÕES UNITÁRIAS II

Prof. Antonio Carlos da Silva

CÁLCULO DE EVAPORADOR SIMPLES EFEITO

Exercícios

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	0,10	(adimensional)
x _L	0,50	(adimensional)
V ₀ (=D)	3775	kg/h
T _F	32	°C
T _{V0}	172,1	°C
T	67,4	°C
T'	110	°C
$\Delta T = T_{V0} - T'$	62,1	°C
ETE = T' - T	42,6	°C
p	0,285	kgf/cm ²
P _{V0}	8,5	kgf/cm ²
h _F	30	kcal/kg
h _L	140	kcal/kg
H _{V0}	661,4	kcal/kg
H _V	626,2	kcal/kg

CÁLCULO DE EVAPORADOR SIMPLES EFEITO

H_v'	641,5	kcal/kg
h_D	173,9	kcal/kg
λ	487,5	kcal/kg
U	1200	kcal/h.m ² .°C
Q	1840320	kcal/h
A	24,7	m ²

(2) $F \cdot xF = L \cdot xL \dots 3600 \cdot 0,1 = L \cdot 0,5 \dots L = 720 \text{ kg/h}$

(1) $F = L + V \dots 3600 = 720 + V \dots V = 2880 \text{ kg/h}$

$P_{vo} = 8,5$

T	p	h _D	H _{vo}	λ
170	8,076	171,7	660,9	489,2

T _{vo}	p	h _D	H _{vo}	λ
175	9,101	176,9	662,1	485,2

$(T_{vo} - 170)/(175-170) = (8,5-8,076)/(9,101-8,076)$

$T_{vo} = 172,1 \text{ C}$

$H_{vo} = 661,4 \text{ kcal/kg}$

$h_D = 173,9 \text{ kcal/kg}$

$\lambda = 487,5 \text{ kcal/kg}$

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

T	p	H _v
65	0,2550	625,2

T	p	H _v
70	0,3177	627,3

$T = 67,4 \text{ C}$

$H_v = 626,2 \text{ kcal/kg}$

$H_v' = H_v + C_p(T' - T) \dots H_v' = 626,2 + 0,36 \cdot (110 - 67,4) \dots H_v' = 641,5 \text{ kcal/kg}$

$xL = 0,5 \text{ e } T = 67,4 \rightarrow \text{Dühring} \rightarrow T' = 110 \text{ C}$

$$C_p = 3,6/10 = 0,36 \text{ kcal/kg.C}$$

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

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

$$T_F = 32 \text{ C e } x_F = 0,1 \rightarrow \text{Diagr Entalpia-Concentração} \rightarrow h_F = 30 \text{ kcal/kg}$$

$$T_c = 5/9.(T_F - 32)$$

$$32 = 5/9.(T_F - 32) \dots T_F(^{\circ}\text{F}) = 89,6 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$T' = 110 \text{ C e } x_L = 0,5 \rightarrow \text{Diagr Entalpia-Concentração} \rightarrow h_L = 140 \text{ kcal/kg}$$

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

$$V_o.\lambda = L.h_L + V.H_{V'} - F.h_F$$

$$V_o.487,5 = 720.140 + 2880.641,5 - 3600.30 \dots V_o = 3775 \text{ kg/h}$$

$$Q = V_o.\lambda \dots Q = 3775.487,5 = 1.840.320 \text{ kcal/h}$$

$$(5) Q = U.A.\Delta T$$

$$1.840.320 = 1200.A.62,1 \dots A = 24,7 \text{ m}^2$$

EXERCÍCIOS

1) 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	(adimensional)
x_L	0,4	(adimensional)
V₀ (=D)	5287,5	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}	xxxxxxxx	kgf/cm ²
h_F	34,4	kcal/kg
h_L	74,1	kcal/kg
H_{v0}	663,5	kcal/kg
H_v	623,2	kcal/kg
H_{v'}	635,8	kcal/kg
h_D	183,8	kcal/kg
λ	479,7	kcal/kg
U	1480	kcal/h.m ² .°C
Q	2.536.400	kcal/h
A	19,4	m ²

$$(2) F \cdot x_F = L \cdot x_L \quad \dots \quad 8000 \cdot 0,2 = L \cdot 0,4 \quad \dots \quad L = 4000 \text{ kg/h}$$

$$(1) F = L + V \quad \dots \quad 8000 = 4000 + V \quad \dots \quad V = 4000 \text{ kg/h}$$

T	hD	Hv	λ	
180	182,2	663,2	481,0	hD = 183,8 kcal/kg
181,5	hD	Hv	λ	Hvo = 663,5 kcal/kg
182	184,3	663,6	479,3	$\lambda = 479,7 \text{ kcal/kg}$

$$P = 0,2031 \text{ kgf/cm}^2 \rightarrow T = 60^\circ\text{C e } H_v = 623,2 \text{ kcal/kg}$$

$$\text{Para } x_L = 0,4 \text{ e } T = 60 \text{ C} \rightarrow T - T' = 33,2 \quad \dots \quad T' = 33,2 + 60 = 93,2 \text{ C}$$

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

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

$$H_v' = H_v + C_p \cdot (T' - T) = 623,2 + 0,38 \cdot 33,2 \quad \dots \quad H_v' = 635,8 \text{ kcal/kg}$$

$$C_p \text{ vapor} = 3,8/10 = 0,38 \text{ kcal/kg}$$

$$C_p = (h - h_{ref}) / (T - T_{ref}) \quad \dots \quad H = C_p \cdot T$$

$$T_{ref} = 0 \text{ C e } h_{ref} = 0 \text{ kcal/kg}$$

$$h_L = C_p L \cdot T' \quad \dots \quad h_L = 0,72 \cdot 93,2 \quad \dots \quad h_L = 67,1 \text{ kcal/kg}$$

$$h_F = D_p F \cdot T_F \quad \dots \quad h_F = 0,86 \cdot 40 \quad \dots \quad h_F = 34,4 \text{ kcal/kg}$$

$$V_o \cdot \lambda = L \cdot h_L + V \cdot H_v' - F \cdot h_F$$

$$V_o \cdot 79,7 = 4000 \cdot 67,1 + 4000 \cdot 635,8 - 8000 \cdot 34,4 \quad \dots \quad V_o = 5287,5 \text{ kg/h}$$

$$\text{Economia} = V/V_o = 4000/5287,5 \quad \dots \quad \text{Economia} = 0,76$$

$$Q = V_o \cdot \lambda \quad \dots \quad Q = 5287,5 \cdot 479,7 \quad \dots \quad Q = 2.536.400 \text{ kcal/h}$$

$$(5) Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

$$2536400 = 1480 \cdot A \cdot 88,3 \quad \dots \quad A = 19,4 \text{ m}^2$$