

OPERACIONES UNITARIAS

TP 12

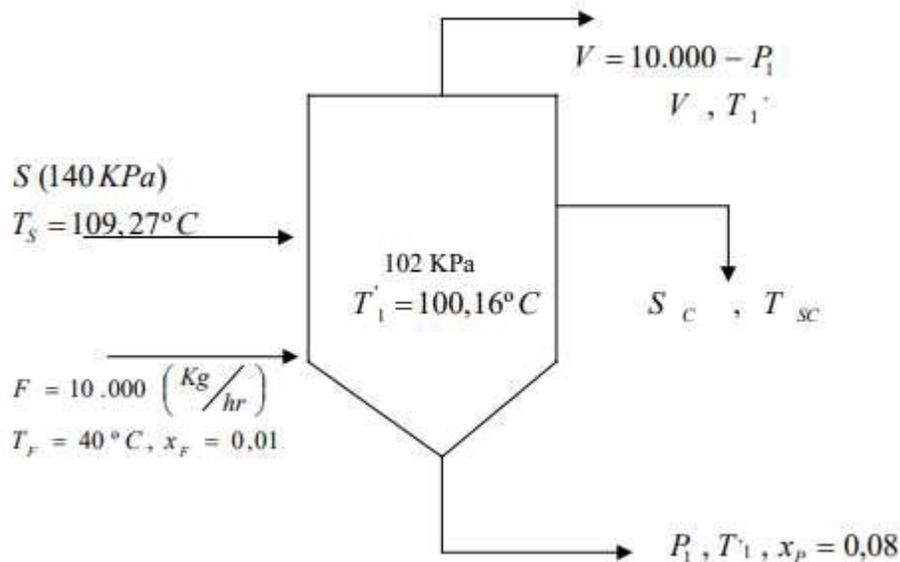
EVAPORACION

Ejercicios resueltos

Problema n°1:

Un evaporador continuo de efecto simple concentra 10000 kg/hr de una solución de sal al 1,0% en peso que entra a 40°C, hasta una concentración final de 8 % en peso.

El espacio del vapor en el evaporador está a 102 kPa abs. y el vapor de agua que se introduce está saturado a 140 kPa. El coeficiente total U es $1700 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Calcúlense las cantidades de vapor y de líquido como productos, así como el área de transferencia de calor que se requiere. Nota: Las capacidades caloríficas del ClNa (cristales) está dada por la siguiente ecuación: C_p (cal/mol- °C) = $10,79 + 0,000420 T$; donde T está en K; $0^\circ\text{C} = 273,1 \text{ K}$; y es aplicable para el rango $273 \leq T \leq 1074 \text{ K}$.



Datos:

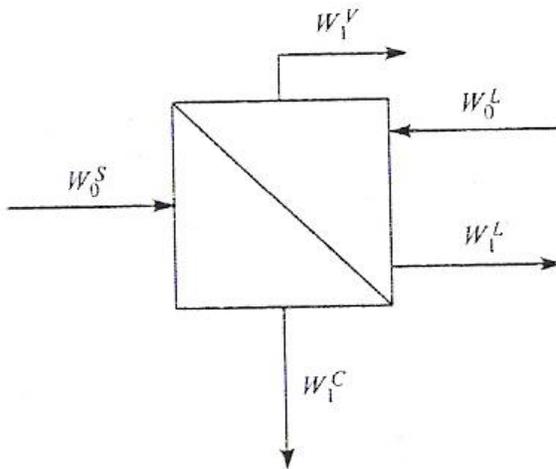
- ✓ Flujo másico de alimentación: $F = 10.000 \left(\frac{kg}{hr} \right)$
- ✓ Concentración del liquido diluido: $x_F = 0,01$
- ✓ Concentración del liquido concentrado: $x_p = 0,08$
- ✓ Presión en el espacio interior del evaporador: 102 KPa
- ✓ Presión del vapor que se introduce en el equipo: 140 KPa.
- ✓ Temperatura de ingreso del liquido diluido o alimentación: $T_F = 40 \text{ }^\circ\text{C}$
- ✓ Coeficiente de transferencia de calor: $U = 1700 \left(\frac{W}{m^2 K} \right)$

Búsqueda de temperaturas de saturación mediante interpolación en las tablas de vapor saturado.

T° saturación	Presión KPa
109,27	140
100,17	102

Resolución.

El equipo se puede esquematizar como



Se plantean balances de materia y balances de entalpía.

Balance de materia

Global:

$$W_0^L = W_1^L + W_1^V \quad ; \quad W_0^S + W_0^L = W_1^C + W_1^L + W_1^V$$

Como $W_{0s} = W_{1c}$ se simplifica como

$$W_{0L} = W_{1L} + W_{1V}$$

Para los sólidos

$$W_{0L} \cdot x_{0L} = W_{1L} \cdot x_{1L} + W_{1V} \cdot x_{1V}$$

Pero como $x_{1V} = 0$ (no hay evaporación de sólidos)

$$W_{1L} = W_{0L} \cdot \frac{x_{0L}}{x_{1L}} = 10000 \text{ kg/h} \cdot 0.01/0.08 = \mathbf{1250 \text{ kg/h}}$$

$$\text{Luego: } W_{0L} = W_{1L} + W_{1V}$$

$$W_{1V} = W_{0L} - W_{1L} = 10000 \text{ kg/h} - 1250 \text{ kg/h} = \mathbf{8750 \text{ kg/h}}$$

Balance de energía:

$$W_{0L}^S H_{0L}^S + W_{0L}^L h_{0L}^L = W_{1L}^C h_{1L}^C + W_{1V}^V H_{1V}^V$$

Temperatura

$$T_{0L}^L = 40 \text{ }^\circ\text{C}, T_{1L}^L = 100.91 \text{ }^\circ\text{C} = T_{1V}^V$$

$$T_{0L}^S = T_{1L}^C = 109.27$$

Entalpia de la corriente de entrada de alimentación: Como se dispone del cp del NaCl y no de la solución se realiza un balance para cada componente de la corriente, utilizando la fracción molar del compuesto en cuestión:

Para el NaCl (cristales): $C_p = 10,79 + 0,000420 T$,

Para la corriente de ingreso a $40 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$C_{p \text{ NaCl}} = 10,79 + 0,000420 \cdot (273,1 + 40) = 10,92 \text{ cal/mol}^\circ\text{C}$$

$$C_{p \text{ H}_2\text{O}} = 0,999 \text{ cal/g}^\circ\text{C} = 17,982 \text{ cal/mol}^\circ\text{C} \text{ (de tablas)}$$

Para la corriente de salida a $100.17 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$C_{p \text{ NaCl}} = 10,79 + 0,000420 \cdot (273,1 + 100,17) = 10,95 \text{ cal/mol}^\circ\text{C}$$

$$C_{p \text{ H}_2\text{O}} = 1,008 \text{ cal/g}^\circ\text{C} = 18,144 \text{ cal/mol}^\circ\text{C} \text{ (de tablas)}$$

Calculo de las masas molares:

Alimentación: 10000 kg/h de una solución al 1% de NaCl,

Masa de agua: $10000 \text{ kg/h} \cdot 0,99 = 9900 \text{ kg/h}$

Peso molecular del agua de agua: 18 g/mol ,

ingreso: Masa entrada / PM = $9900 \text{ kg/h} \cdot 1000 \text{ g/kg} / 18 \text{ g/mol} = 550000 \text{ moles/h}$

Salida: $Masa\ salida/PM + 1250 * 0,92 = 1150\text{ kg/h} * 1000\text{ g/kg} / 18\text{ g/mol} = 63888,9\text{ mol/h}$

Vapor: $Masa * PM = 8750\text{ kg/h} * 1000\text{ g/kg} / 18\text{ g/mol} = 486111,1\text{ mol/h}$

Masa de NaCl: $10000\text{ hg/h} * 0,01 = 100\text{ kg/h}$

Peso molecular del NaCl: $55,44\text{ g/mol}$

Número de moles de NaCl: $Masa/PM = 100\text{ kg/h} * 1000\text{ g/kg} / 55,44\text{ g/mol} = 1803,75\text{ moles}$

Caudal molar de ingreso = caudal molar de egreso

Cálculo de entalpías por corriente: ($T_0 = 0\text{ °C}$)

Ingreso de solución (40 °C)

Entalpia H₂O: $caudal * C_{pH_2O} (T_i - T_0) = 550000\text{ moles} * 17,982\text{ cal/mol °C} * (40\text{ °C} - 0\text{ °C}) =$

$H_{H_2O}\text{ ingreso: } 395604000\text{ cal}$

Entalpia NaCl ingreso: $caudal * C_{P_{NaCl}} (T_i - T_0) = 1803,75\text{ moles} * 10,92\text{ cal/mol °C} * (40\text{ °C} - 0\text{ °C}) =$

$H_{NaCl}\text{ ingreso} = 787878\text{ cal/hr}$

Egreso de la solución: ($100,17\text{ °C}$)

Entalpia H₂O: $caudal * C_{pH_2O} (T_s - T_0) = 63888,9\text{ mol/h} * 18,144\text{ cal/mol °C} * (100,17\text{ °C} - 0\text{ °C}) =$

$H_{H_2O}\text{ egreso: } 116117084,2\text{ cal}$

Entalpia NaCl: $caudal * C_{P_{NaCl}} (T_s - T_0) = 1803,75\text{ moles} * 10,95\text{ cal/mol °C} * (100,17\text{ °C} - 0\text{ °C}) =$

$H_{NaCl}\text{ egreso} = 1978463,93\text{ cal/hr}$

Entalpia del vapor de tablas: $11505,92\text{ cal/mol}$

Entalpia vapor: $masa * C_p\text{ vapor} (T_s - T_0) = 486111,1\text{ mol/h} * 11505,92\text{ cal/mol} = 5593155622\text{ cal/hr}$

$Q = W^C_1 h^C_1 - W^L_1 h^L_1 + W^V_1 H^V_1 = 116117,08\text{ kcal/hr} + 1978,46\text{ kcal/hr} - 395604\text{ kcal/hr} - 787,88\text{ kcal/hr} + 5593155,6\text{ kcal/hr} = 5314859,26\text{ kcal/h} = 88581\text{ kcal/s}$

Luego $Q = UA\Delta T$

$U = 1700\text{ W/m}^2\text{K} = 1\text{ cal} / 4,184\text{ J} * 1700\text{ J/sm}^2\text{K} = 406,31\text{ cal/sm}^2\text{K}$

$\Delta T = 109,27\text{ °C} - 100,17\text{ °C} = 9,10\text{ °C}$

$A = 23,10\text{ m}^2$