

### Ejercicio 3

Profesor: Tomás Vargas.  
 Auxiliar: Melanie Colet.  
 Ayudante: Igor Guzmán – Maurice Menadier.

#### Problemas numéricos

1. Considere el evaporador diseñado en el problema 16.2. Determine a cuanto se puede aumentar la capacidad de ese mismo evaporador si la presión en la cámara de evaporación se baja de 1,93 a 0,12 lb/in<sup>2</sup>.

Para este cálculo se ha tomado que el flujo de vapor utilizado es:

$$m_s = 16.000 \text{ lb/h}$$

Mientras que la temperatura y presión permanecen constantes, por lo que el calor latente sigue siendo el mismo:

$$\lambda_s = 939 \text{ btu/lb}$$

Luego, la capacidad del evaporador es directa:

$$q = \dot{m}_s \cdot \lambda_s = 15.024.000 \text{ [btu / h]} \quad (1)$$

La condición de entrada del vapor sigue siendo la misma, cambian las condiciones de operación en la cámara, por lo que cambian las propiedades de los flujos de salida:

Balances de Masa para la solución:

$$\dot{m}_f = 20000 \text{ lb / h}$$

$$\dot{m}_{NaOH} = 4000 \text{ lb / h}$$

Se debe determinar la nueva concentración del flujo de producto:

$$X = \frac{\dot{m}_{NaOH}}{\dot{m}} \Rightarrow \dot{m} = \frac{4000 \text{ lb / h}}{X}$$

El balance de energía resulta en:

$$q = \dot{m} \cdot H + (\dot{m}_f - \dot{m}) \cdot H_v - \dot{m}_f \cdot H_f$$

$$q = \frac{4000 \text{ [lb / h]}}{X} \cdot H + (20000 \text{ [lb / h]} - \frac{4000 \text{ [lb / h]}}{X}) \cdot H_v - 20000 \text{ [lb / h]} \cdot H_f$$

Se ha supuesto que la entalpía del flujo de vapor que sale por la parte superior en la cámara de evaporación es la de vapor saturado a 0,12 lb/in<sup>2</sup>:

$$H_v = 1078,73 \text{ btu/lb}$$

$$q = \frac{4000 \text{ [lb / h]}}{X} \cdot H + (20000 \text{ [lb / h]} - \frac{4000 \text{ [lb / h]}}{X}) \cdot 1078,73 \text{ btu / lb} - 20000 \text{ [lb / h]} \cdot 55 \text{ btu / lb}$$

A partir de ahora se realizan iteraciones para estimar el valor de X:

- 1.- Se supone un valor de X.
- 2.- Mediante gráfico se estima la temperatura de ebullición de la solución concentrada (Dühring).
- 3.- De la figura 16.9 se ve la entalpía de la solución concentrada.
- 3.- Se evalúa la ecuación de calor y se comprueba si el calor es suficientemente parecido a la capacidad calculada (ec. 1).
- 4.- Si el calor no se parece, volver al paso 1 y suponer un nuevo valor de X, si se parece, se detienen las iteraciones.

De esta forma se tiene que:

X = 0,6	→ H = 230 btu/lb	→ q = 15.916.399 btu/lb
X = 0,58	→ H = 225 btu/lb	→ q = 15.686.806 btu/lb
X = 0,57	→ H = 200 btu/lb	→ q = 15.408.073 btu/lb
X = 0,55	→ H = 175 btu/lb	→ q = 15.002.018 btu/lb

De esta forma se llega finalmente a X = 55%

Ahora, se supone que el cambio de condiciones de operación sobre el equipo es en la presión de la cámara de evaporación, pero el equipo (dimensiones) sigue siendo la misma). El ejercicio hecho sin supuestos (flujo de vapor) se debe iterar como sigue:

- 1.- Suponer X.
- 2.- Mediante figura 16.9 estimar la entalpía de la solución concentrada.
- 3.- Mediante figura 16.5 estimar la temperatura de ebullición de la solución concentrada.
- 4.- Usando la temperatura de ebullición calculada en 3, estimar la entalpía de vapor a la presión de la cámara de evaporación (vapor sobrecalentado).
- 5.- Cálculo del calor necesario (capacidad).
- 6.- Con la ecuación:  $q = A \cdot U \cdot \Delta T$  se comprueba si el área es la conocida previamente (dato). Si es suficientemente parecida se detiene la iteración, si no es parecida se supone una nueva concentración X.

Además con esto se puede calcular el flujo de vapor necesario. Una vez terminada la iteración anterior se utiliza  $q = \dot{m}_s \cdot \lambda_s$  para este cálculo.

2. Un evaporador de simple efecto será usado en una industria alimentaria para concentrar un flujo de 10.000 lb/h de una solución de azúcar que ingresará al equipo a 80°F conteniendo un 15% en peso de sólidos. La solución se desea concentrar hasta un 30% en peso. Vapor saturado a 240°F se utiliza para el calentamiento y la presión del espacio de evaporación será de 1 atm absoluta. Si la elevación del punto de ebullición se rige por la siguiente ecuación:

$$\text{BRP } (^{\circ}\text{F}) = 3,2 \cdot X + 11,2 \cdot X^2$$

, y la capacidad calorífica de la solución por:

$$C_p \text{ (}^{\text{BTU}}/\text{lb} \cdot ^{\circ}\text{F}) = 1,0 - 0,56 \cdot X$$

, donde X es la fracción en peso de azúcar.

Calcule el área requerida por el evaporador y la cantidad de vapor en lb/h.

DATOS:  $U = 350 \text{ }^{\text{BTU}}/\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^{\circ}\text{F}$ . Considere un calor de solución despreciable.

Balances de Masa para la solución:

$$\dot{m}_f = 10000 \text{ lb} / \text{h}$$

$$\dot{m}_{\text{azucar}} = 1500 \text{ lb} / \text{h}$$

Solución al 30%:

$$0,3 = \frac{\dot{m}_{\text{azucar}}}{\dot{m}} \Rightarrow \dot{m} = 5000 \text{ lb} / \text{h}$$

$$\text{Agua retirada: } \dot{m}_f - \dot{m} = 5000 \text{ lb} / \text{h}$$

El balance de energía para el cálculo del calor requerido:

$$q = \dot{m} \cdot H + (\dot{m}_f - \dot{m}) \cdot H_v - \dot{m}_f \cdot H_f$$

Temperatura de ebullición de agua (1 atm) = 212°F

BRP (X = 0,3) = 1,968 ( $\approx 2$ )  $\rightarrow$  temperatura de ebullición de solución = 214°F

Entalpía de vapor a 1 atm y 214°F es aproximadamente: 1151,25 btu/lb

$$C_p (X = 0,3) = 0,832 \text{ }^{\text{btu}}/\text{lb} \cdot ^{\circ}\text{F}$$

$$C_p (X = 0,15) = 0,916 \text{ }^{\text{btu}}/\text{lb} \cdot ^{\circ}\text{F}$$

Con esto se tiene:

$$q = 5000 \text{ lb} / \text{h} \cdot 0,832 \text{ btu} / \text{lb} \cdot ^{\circ}\text{F} \cdot 214 \text{ }^{\circ}\text{F} + 5000 \text{ lb} / \text{h} \cdot 1151,25 \text{ btu} / \text{lb} - 10000 \text{ lb} / \text{h} \cdot 0,916 \text{ btu} / \text{lb} \cdot ^{\circ}\text{F} \cdot 80 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$q = 5.913.690 \text{ btu} / \text{h}$$

Entalpía de vapor saturado a 240°F: 952,3 btu/lb

$$q = \dot{m}_s \cdot \lambda_s \Rightarrow \dot{m}_s = 6209,9 \text{ lb} / \text{h}$$

Además la transferencia de calor se produce a través de la pared del intercambiador:

$$q = A \cdot U \cdot \Delta T \Rightarrow A = \frac{q}{U \cdot \Delta T} = \frac{5.913 \cdot 690 \text{ [btu / hr]}}{350 \text{ [btu / hr - ft}^2 \text{ - } ^\circ\text{F]} \cdot (240 \text{ } ^\circ\text{F} - 214 \text{ } ^\circ\text{F})}$$

$$A = 649,86 \text{ ft}^2 \quad (A = 650 \text{ ft}^2)$$