

LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS

APUNTES TEÓRICOS EXPERIENCIA: EVAPORACIÓN

La evaporación consiste en concentrar una solución mediante la eliminación de disolvente por ebullición. Un evaporador básicamente consiste en un intercambiador de calor capaz de hervir la solución y un dispositivo para separar la fase vapor del líquido en ebullición.

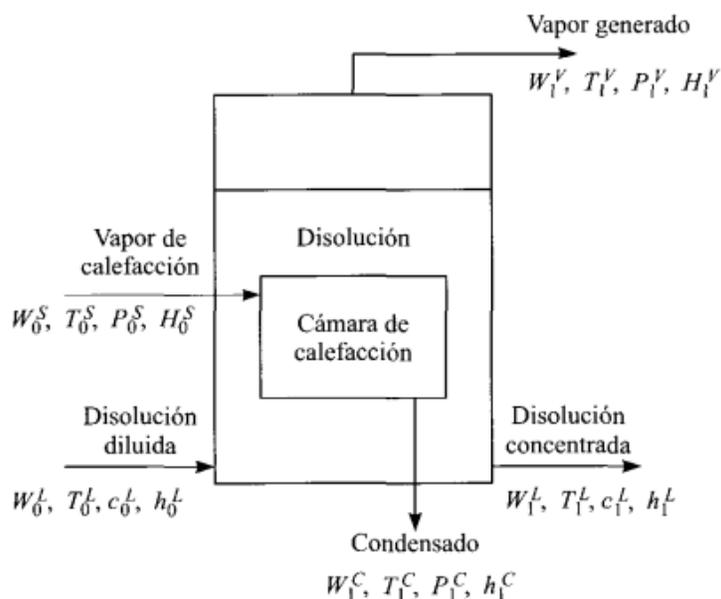


Figura 1. Representación esquematizada de un evaporador

Fuente: Rus

Donde, W es el caudal de corriente, P es presión, T es temperatura, c es concentración, H es entalpía corriente gaseosa por unidad de masa y h es entalpía corriente líquida por unidad de masa. Los subíndices 0 y 1 corresponden a si es una corriente de entrada o salida, respectivamente, mientras que S, C, V y L corresponden a si es vapor vivo, condensado, vapor generado o corriente líquida.

La evaporación se produce vaporizando una porción del solvente para producir una solución concentrada, también llamada licor espeso (thick liquor). Un proceso de evaporación difiere de uno de secado en que el residuo del primero es un líquido (usualmente muy viscoso) y en el segundo es un sólido; además, difiere de una destilación en que el vapor producido está compuesto, generalmente, por un solo componente, y si fuese el caso de que tuviese más de un componente tampoco existe una intención de recuperarlo, ya que el producto valioso es el licor espeso. Por otro lado, difiere de una cristalización en que el objetivo es producir un líquido concentrado y no un sólido cristalizado.

A continuación, se presentan las ecuaciones principales utilizadas en el análisis de transferencia de calor de un evaporador:

Balance de masa global:

$$W_0^L = W_1^L + W_1^V$$

$$W_0^S + W_0^L = W_1^C + W_1^L + W_1^V \quad \text{Ec. 1}$$

Balance de materia componente volátil:

$$W_0^L \cdot c_0^L = W_1^L \cdot c_1^L + W_1^V \quad \text{Ec. 2}$$

Balance de energía:

$$W_0^S \cdot H_0^S + W_0^L \cdot h_0^L = W_1^C \cdot h_1^C + W_1^L \cdot h_1^L + W_1^V \cdot H_1^V$$

$$\therefore Q = W_0^S \cdot H_0^S - W_1^C \cdot h_1^C = W_0^S (H_0^S - h_1^C) \quad \text{Ec. 3}$$

La mayoría de los evaporadores se calientan con vapor de agua que condensa sobre tubos metálicos. Generalmente el vapor es de baja presión, inferior a 3 atm absolutas, y con frecuencia el líquido que hierve se encuentra a un vacío moderado, de hasta 0,05 atm absolutas. Al reducir la temperatura de ebullición del líquido aumenta la diferencia de temperatura entre el vapor condensante y el líquido de ebullición y, por tanto, aumenta la velocidad de transmisión de calor en el evaporador.

Existen diferentes tipos de equipos para llevar a cabo una operación de evaporación. Una diferencia entre estos es lo que se denomina como “efecto”, se llama efecto al número de procesos de calentamiento que sufre la solución a concentrar: la evaporación de simple efecto es cuando se utiliza un solo evaporador, el vapor procedente del líquido en ebullición se condensa y desecha. Por otra parte, si hay una serie de evaporadores conectando la entrada y la salidos de aquellos, significa que es un evaporador de múltiple efecto.

La principal diferencia entre estos es el rendimiento del vapor en la etapa de calentamiento, así por ejemplo, en un equipo de efecto simple, para evaporar un kilogramo de agua se necesitan entre 1 a 1.3 [kg] de vapor de servicio. Si el vapor residual que no alcanzó a entregar su calor latente es alimentado a una segunda calandria (segundo efecto) se aprovecha este y el rendimiento de agua evaporada por kilogramo de vapor de servicio aumenta.

Otro punto importante en la operación es la forma en que la solución a concentrar se alimenta a la calandria. En los equipos de tipo batch a esto se le llama recirculación, para entender esto refiérase a la Figura 2. La recirculación puede ser natural o forzada. Se llama recirculación natural al hecho de que cuando la solución se caliente en la calandria, esta fluirá por convección hacia el acumulador y solución fresca entrará a la calandria. Por otro lado, se llama recirculación forzada al hecho de impulsar la solución a través de la calandria por medio de una bomba. La ventaja de usar una bomba para hacer la recirculación es que el flujo dentro de la calandria se pone en régimen turbulento, beneficiando el fenómeno de transferencia de calor, por otro lado, una relativa desventaja de usar una bomba es que aumenta el consumo energético del proceso global.

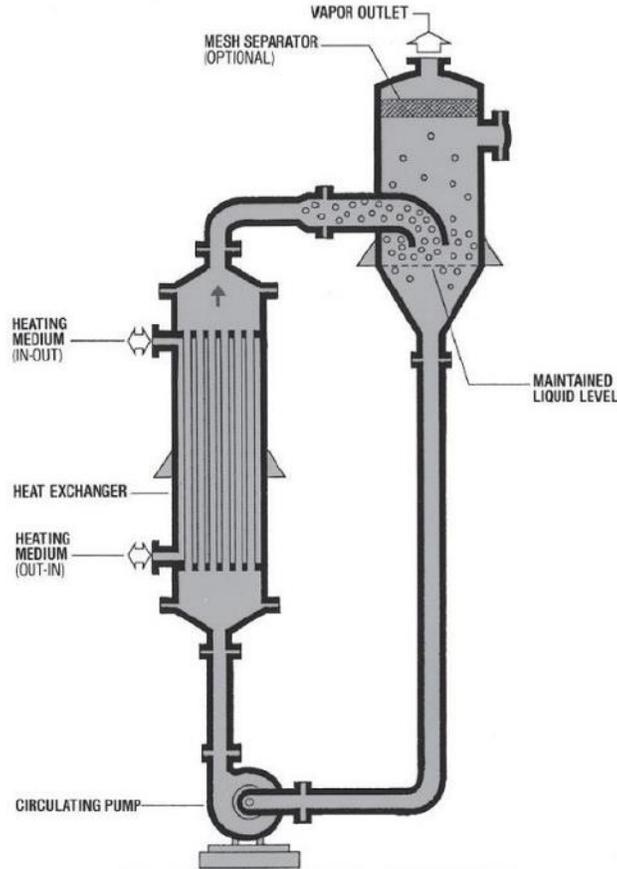


Figura 2. Evaporador Batch de efecto simple con recirculación forzada

BALANCE DE ENERGÍA EN EVAPORADOR SIMPLE EFECTO

En un evaporador de simple efecto el calor latente de condensación del vapor de agua es transmitido a través de una superficie de calefacción para vaporizar agua de una disolución a ebullición. Se necesitan dos balances de entalpía, uno para el vapor de agua y otro para el lado de la disolución o vapor.

- Balance de calor lado de vapor de agua

$$q_s = m_s(H_s - H_c) = m_s \cdot \lambda_s \quad \text{Ec. 4}$$

Donde q_s es la velocidad de transmisión de calor a través de la superficie de calefacción desde el vapor de agua, H_v es la entalpía específica del vapor de agua, H_c es la entalpía específica del condensado, λ_s es el calor latente de condensación del vapor de agua y m_s es la velocidad de flujo del vapor de agua.

- Balance de calor para el lado de la solución

$$q = (t_i - m)H_v - m_f H_f + mH \quad \text{Ec. 5}$$

Donde q es la velocidad de transmisión de calor desde la superficie de calefacción hacia el líquido, H_v es la entalpía específica del vapor, H_f es la entalpía específica de la disolución concentrada.

DATOS CALANDRIA

Diámetro interno tubos: 0,026 [m]

Diámetro externo tubos: 0,0284 [m]

Largo tubos: 1,2 [m]

Número de tubos:7

REFERENCIAS

1. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. **McCabe**. 4ta Ed.
2. *Principios de Operaciones Unitarias*. **Alan Foust**. 2da Ed.
3. *Operaciones de Separación en Ingeniería Química*. **Eloísa Rus & Pedro Martínez**.

ANEXO 1

Coefficientes globales típicos de evaporadores

Tabla 16.1. Coeficientes globales típicos de evaporadores

Tipo	Coeficiente global U	
	Btu/pie ² -h-°F	W/m ² -°C
Evaporadores de tubos verticales largos:		
Circulación natural	200-600	1000-3000
Circulación forzada	400-1000	2000-5000
Evaporador de película agitada, líquido newtoniano, viscosidad:		
1 cP	400	2000
1 P	300	2000
100 P	120	600