

**Tema N° 5:** Evaporadores**PROBLEMA N° 1**

Un evaporador simple se utiliza para concentrar 30000 lb/h de una solución de NaOH a 120 °F desde 15% (p/p) hasta 40%. Para ello el evaporador es calentado con vapor vivo a 27 lb<sub>f</sub>/in<sup>2</sup> de presión relativa; la presión absoluta en la cámara de evaporación es de 1.8 lb<sub>f</sub>/in<sup>2</sup>. El coeficiente global de transferencia de calor se ha estimado en 300 Btu/ft<sup>2</sup>-h-°F. Calcule el flujo de vapor vivo que debe ser alimentado para cumplir los requerimientos del proceso.

**SOLUCIÓN PROBLEMA N° 1:**

Alimentación: 30000 lb/h en base húmeda (15% p/p)

- **Balances de Masa:**

	Entrada	Salida	Evaporado
<b>Sólido</b>	4500	4500	0
<b>Agua</b>	25500	6750	18750
<b>Total</b>	30000	11250	18750

- **Balance de Calor:**

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

- Para la solución concentrada:  $p_{\text{abs}} = 1.8 \text{ psi} \rightarrow t_{\text{eb}} \text{ agua pura} = 122 \text{ °F}$   
Utilizando gráfico N° 1 (líneas de Dühring) se tiene  $t_{\text{eb}}(\text{solución } 40\%) = 162 \text{ °F}$
- Las entalpías de la alimentación y de la solución concentrada se obtienen del gráfico N° 2:  
Alimentación: 15% p/p, 120 °F  $\rightarrow H_f = 75 \text{ BTU/lb}$   
Solución concentrada: 40% p/p, 162 °F  $\rightarrow H = 145 \text{ BTU/lb}$
- Para el vapor que sale consideramos que está saturado a la temperatura de ebullición del agua pura en la cámara (122 °F):  $H_v = 1114.5 \text{ BTU/lb}$
- El calor de vaporización del agua saturada a  $p_{\text{abs}} = 27 + 14.7 = 41.7 \text{ psi}$  es  $\lambda_s = 932 \text{ BTU/lb}$

Luego, reemplazando se obtiene:

$$\dot{m}_s = 21758 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

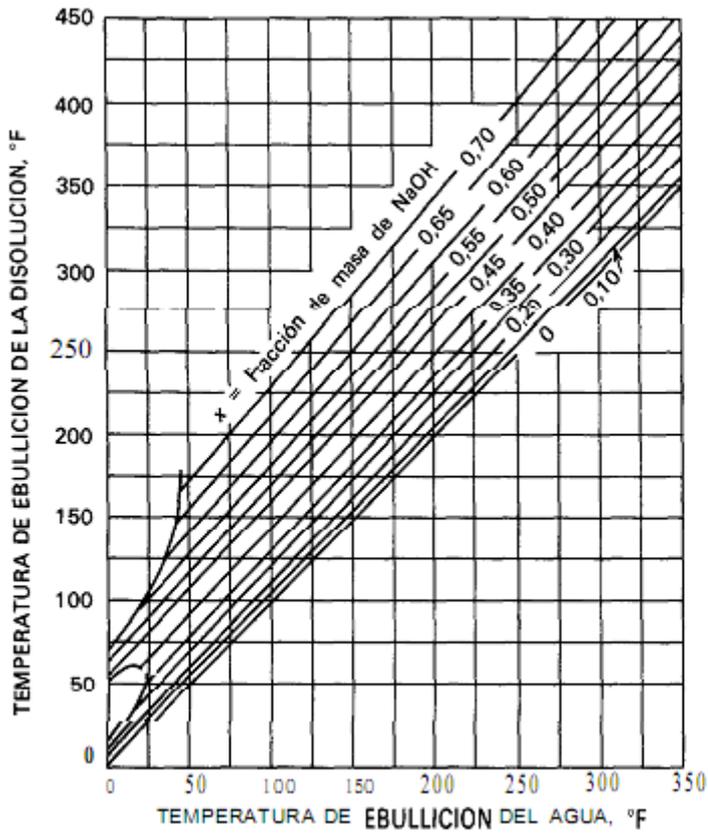


Figura 16.4. Líneas de Dühring para el sistema hidróxido sódico-agua. (Según McCabe<sup>6</sup>.)

Figura N° 1. Líneas de Dühring para el sistema hidróxido sódico – agua

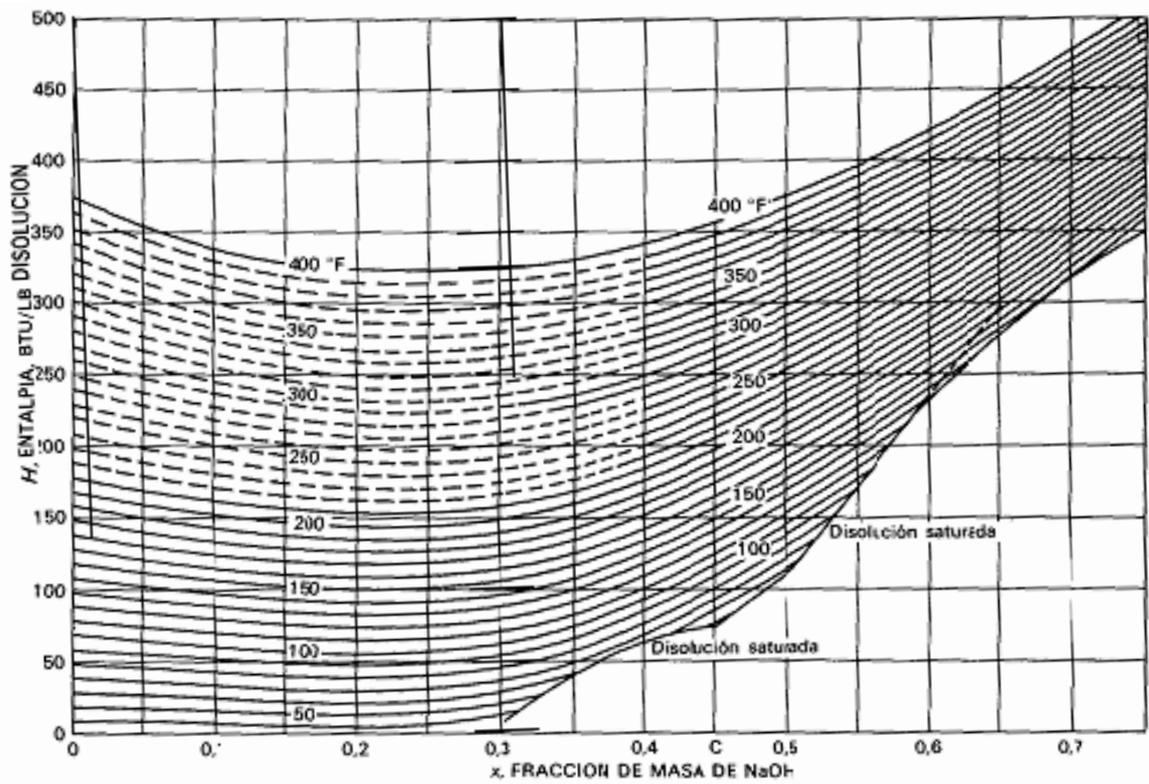


Figura 16.8. Diagrama entalpía-concentración para el sistema hidróxido sódico-agua. (Según McCabe.<sup>6</sup>)

Figura N° 2. Entalpías para el sistema hidróxido sódico - agua

## PROBLEMA N° 2

En una empresa de alimentos se desea concentrar una solución de clorhidrato de cocaína. Dada la escasez de recursos no se dispone de una caldera para alimentar vapor y se utilizará un evaporador calefaccionado por un calefactor eléctrico de 10 kW. El flujo de solución de 1 kg/min y concentración 1% en peso entra al evaporador a 20 °C y el evaporador opera a 1 atm de presión. En estas condiciones calcule cuál es la concentración de salida de la solución, la cantidad de agua evaporada y la temperatura de la solución.

### DATOS:

- Calor latente de vaporización del agua = 2500 [J/g]

Capacidad calorífica de la solución = 4.5 [J/g·°C]

$\Delta T_{eb} = 0.094 \cdot c^{1.325}$ , donde c es la concentración como % en peso.

### SOLUCIÓN DEL PROBLEMA N° 2:

Para resolver el problema nos apoyamos en los balances de masa y de calor para el evaporador.

#### Balances de Masa:

	Entrada [kg/h]	Salida [kg/h]	Evaporado [kg/h]
Sólidos	0.6	0.6	-
Agua	59.4	59.4 - x	x
Total	60	60 - x	x

En consecuencia la concentración como % en peso a la salida del evaporador será:

$$c = \frac{\text{Masa Sólido}}{\text{Masa Total}} \cdot 100 = \frac{0.6 \cdot 100}{60 - x} = \frac{60}{60 - x}$$

#### Balances de Calor:

El calor que ingresa al evaporador por el calefactor será utilizado como calor sensible de calentamiento de la solución y calor latente de evaporación de agua:

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T + w \cdot \lambda$$

la diferencia de temperatura corresponde a la diferencia entre la temperatura de entrada de la solución y la temperatura a la cual se evapora incluyendo la elevación del punto de ebullición asociada a la concentración de sólidos que se establece al interior del evaporador. Luego:

$$\Delta T = T_{out} - T_{in} = (T_{ebullición\ normal} + \Delta T_{eb}) - T_{in} \rightarrow \Delta T = (100 + 0.094 \cdot c^{1.325}) - 20$$

En consecuencia:

$$\text{Calor Sensible} = \left( \left[ \frac{1 \text{ kg}}{\text{min}} \right] \cdot \left[ \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right] \right) \cdot \left( \left[ \frac{4.5 \text{ J}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \right] \cdot \left[ \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \right] \right) \left[ \left( 100 + 0.094 \cdot \left( \frac{60}{60 - x} \right)^{1.325} \right) - 20 \right]$$

$$\text{Calor Latente} = \left( \frac{x \text{ kg}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \right) \left( \frac{2500 \text{ J}}{\text{g}} \right)$$

Luego el balance para el calor ingresado será:

$$\frac{45000 J}{s} = \frac{75 J}{s \cdot ^\circ C} \cdot \left[ 80 + 0.094 \left( \frac{60}{60-x} \right)^{1.325} \right] + \frac{694.44 \cdot x J}{s}$$

Resolviendo se tiene:

Al reemplazar:

$\Delta T_{eb} = 3.2 \text{ } ^\circ C \rightarrow$

**x = 55.815 kg de agua / h**

**c = 14.34 %**

**T<sub>solución</sub> = 103.2 °C**