

Clase Auxiliar 8.

Adsorción: Sistemas de adsorción de un componente

PROBLEMA N° 1

Una solución acuosa que contiene un soluto valioso está coloreada con pequeñas cantidades de una impureza. Antes de la cristalización, se va a eliminar la impureza por adsorción con carbón decolorante que sólo adsorbe cantidades insignificantes del soluto principal. Mediante una serie de pruebas de laboratorio se agitaron distintas cantidades del adsorbente en lotes de una solución original, hasta que se estableció el equilibrio. Así se obtuvieron los siguientes datos a temperatura constante:

kg de carbón / kg de solución	0,000	0,001	0,004	0,008	0,020	0,040
Color en el equilibrio	9,6	8,6	6,3	4,3	1,7	0,7

La intensidad de color se midió de acuerdo con una escala arbitraria, proporcional a la concentración de la sustancia coloreada. Se desea reducir el color al 10% de su valor original 9,6. Calcular la cantidad de carbón fresco que se requiere para decolorar 1.000 kg de solución.

SOLUCIÓN:

Se debe convertir los datos a una escala adecuada para los cálculos. Se define Y en unidades de color por kilogramo de solución y X como unidades de color adsorbido por kilogramo de carbón. Se pueden considerar diluidas las soluciones para los cálculos siguientes.

Los valores de color en el equilibrio/kg de solución (Y^*) los obtenemos directamente de la tabla. Para obtener los valores de X utilizamos las variaciones de Y:

De este modo entre los dos primeros puntos:

$$X = \frac{\text{Variación de color}}{\text{kg de carbón utilizados}} = \frac{9,6 - 8,6}{0,001} = 1.000$$

De esta forma se obtiene la siguiente tabla:

kg carbón/kg solución	Y^* = color / kg solución	X = color adsorbido/kg carbón
0	9,6	--
0,001	8,6	1.000
0,004	6,3	825
0,008	4,3	663
0,020	1,7	395
0,040	0,7	223

Los datos de equilibrio deben cumplir la ecuación de Freundlich, para lo cual se toma una regresión lineal a los logaritmos de X e Y*, obteniéndose:

$$\begin{aligned} n &= 1,66 \\ m &= 8,91 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

, es decir:

$$Y^* = 8,91 \times 10^{-5} \cdot X^{1,66}$$

Una vez establecida la curva de equilibrio podemos calcular la pendiente de la curva de operación, ya sea gráficamente o analíticamente.

$$\begin{aligned} Y_0 &= 9,6 & \Rightarrow & & Y_1 &= 0,1 \cdot Y_0 = 0,96 \\ L_S &= 1.000 \text{ kg} & & & & \end{aligned}$$

Como se utiliza carbón fresco se tiene $X_0 = 0,0$.

Luego podemos utilizar directamente:

$$\frac{S_S}{L_S} = \frac{Y_0 - Y_1}{(Y_1/m)^{1/n}} = \frac{9,6 - 0,96}{(0,96/(8,91 \times 10^{-5}))^{1/1,66}} = 0,032$$

$$S_S = 0,032 \times L_S = 32 \text{ kg de carbón.}$$

PROBLEMA N° 2

Realice el mismo estudio del problema N° 1 para el caso de un sistema de 2 etapas con flujo cruzado y 2 etapas a contracorriente.

SOLUCIÓN:

1. Caso dos etapas en flujo cruzado

En este caso utilizamos la figura N° 1 para encontrar el valor de Y_1 que optimiza el proceso en flujo cruzado (notar que no es posible obtenerlo directamente de los balances de masa).

$$Y_2/Y_0 = 0,96/9,6 = 0,1 \quad n = 1,66 \text{ (de problema anterior)}$$

De acuerdo a la figura se obtiene $Y_1/Y_0 = 0,344$; por lo tanto $Y_1 = 0,344 \times 0,96 = 3,30$

Luego podemos reemplazar en nuestros balances de masa:

$$\frac{S_{S1}}{L_S} = \frac{Y_0 - Y_1}{(Y_1/m)^{1/n}} = \frac{9,60 - 3,30}{(3,30/(8,91 \times 10^{-5}))^{1/1,66}} = 0,01114 \text{ kg / kg sol}$$

$$\frac{S_{S2}}{L_S} = \frac{Y_1 - Y_2}{(Y_2/m)^{1/n}} = \frac{3,30 - 0,96}{(0,96/(8,91 \times 10^{-5}))^{1/1,66}} = 0,00867 \text{ kg / kg sol}$$

Luego en total se requieren: 1.000 (kg sol) x (0,01114+0,00867)

19,81 kg carbón

2. Caso dos etapas en contracorriente

En este caso utilizamos la figura N° 2 para encontrar el valor de Y_1 que optimiza el proceso en flujo cruzado (notar que no es posible obtenerlo directamente de los balances de masa).

$$Y_2/Y_0 = 0,96/9,6 = 0,1 \quad n = 1,66 \text{ (de problema anterior)}$$

De acuerdo a la figura se obtiene $Y_2/Y_1 = 0,217$

Por lo tanto $Y_1 = 0,96/0,217 = 4,42$

Y reemplazamos:

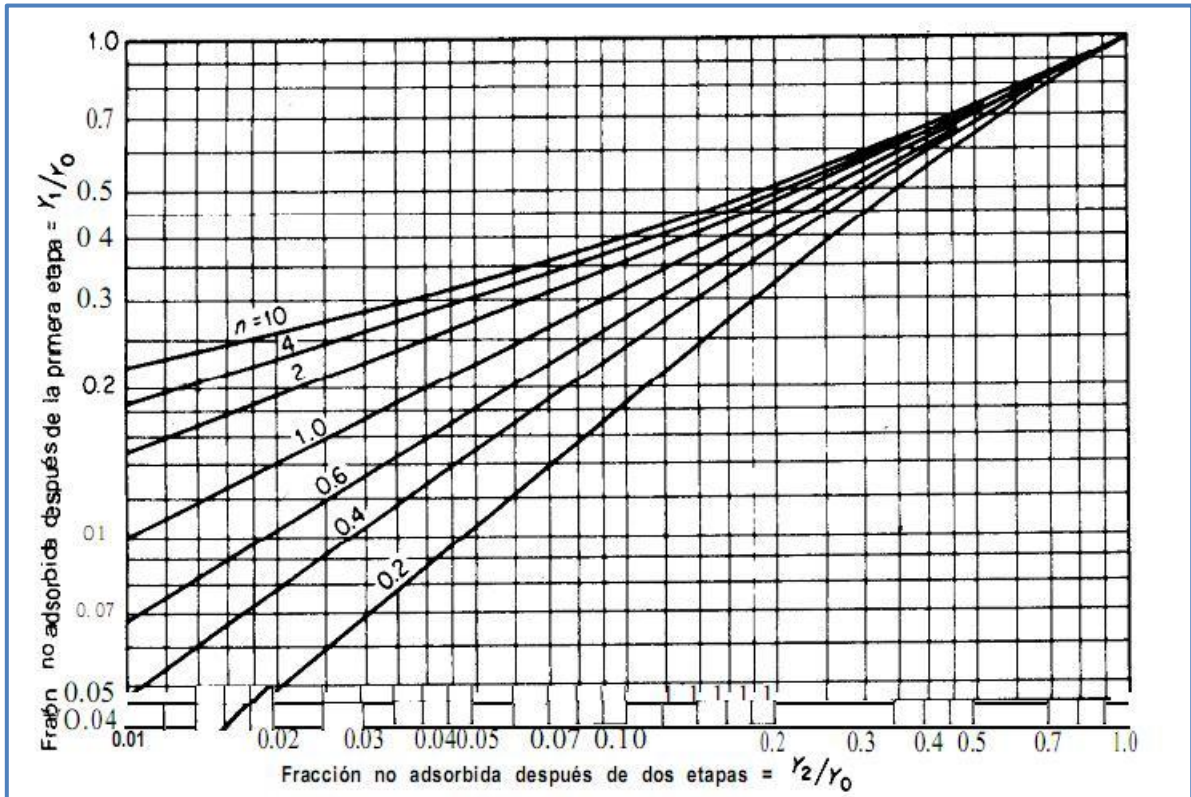
$$\frac{S_S}{L_S} = \frac{Y_0 - Y_2}{\left(\frac{Y_1}{m}\right)^{1/n}} = \frac{9,6 - 0,96}{\left(\frac{4,42}{8,91 \times 10^{-5}}\right)^{1/1,66}} = 0,01280 \text{ kg / kg sol}$$

Luego para 1.000 kg de solución se requieren **12,80 kg de carbón**.

Resumiendo se obtiene:

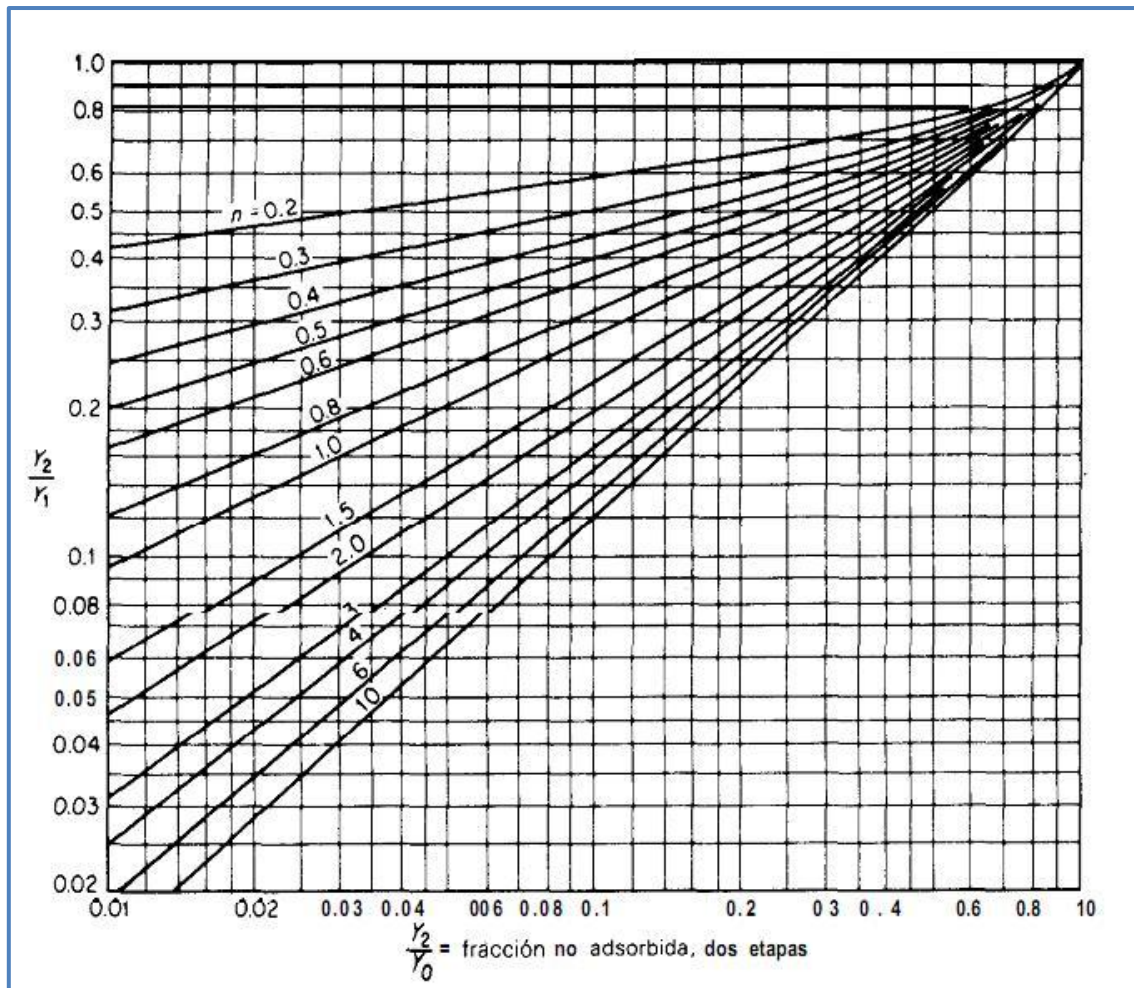
Para una sola etapa	:	32 kg carbón
Dos etapas flujo cruzado	:	19,81 kg carbón
Dos etapas en contracorriente	:	12,80 kg carbón

Figura N° 1. Adsorbente mínimo total, operación en corriente cruzada en dos etapas



Fuente: R. Treybal, "Operaciones de Transferencia de Masa"

Figura N° 2. Adsorción a contracorriente en dos etapas



Fuente: R. Treybal, "Operaciones de Transferencia de Masa"