

Balance de materia en régimen no estacionario

Objetivos de la práctica

- Determinar la variación de la concentración de un soluto con el tiempo en un tanque de volumen constante al aplicar una corriente de agua.
- Comprobar el cumplimiento de la ecuación resultante del tratamiento teórico del problema.

Fundamento teórico

En un proceso industrial, el balance de materia es la aplicación al mismo de la conservación de la materia. Su aplicación conduce a una ecuación que expresa el cómputo total de la materia que entra, sale se acumula y se genera (o desaparece) en un recinto determinado:

$$\textit{Entrada} + \textit{Generación} = \textit{Salida} + \textit{Acumulación}$$

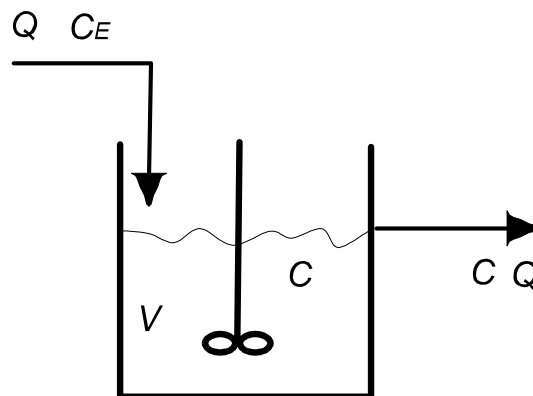
El balance de materia puede aplicarse considerando la materia total, un componente (especie química) o un elemento:

- En el balance de materia total el término **G**eneración es nulo, ya que de acuerdo con el propio principio de la conservación de la materia, ésta sólo se puede transformar.
- Si el sistema contiene varios componentes, pueden establecerse tantos balances como componentes se consideren, relacionados entre sí; el término **G**eneración indica la cantidad de componente que se produce (por reacción química) a partir de otro que desaparece (por la misma reacción). Si no hay reacción, el término **G**eneración será nulo.
- Cuando se aplica el balance a un elemento, también será nulo el término **G**eneración, ya que no sólo no hay variación de masa, sino tampoco de la naturaleza del elemento, aunque éste pase a formar parte de diferentes compuestos.
- Si el sistema opera en régimen estacionario, es decir, las propiedades físico-químicas no varían con el tiempo en el interior del recinto considerado, el término **A**cumulación será nulo, ya que no puede haber acumulación de materia en el recinto (de haberla, cambiarían las propiedades).

Para realizar el balance de materia, es necesario considerar todos y cada uno

de los términos implicados con precisión, expresándolos en las mismas unidades. De esta forma podrá calcularse uno de sus términos en función de los demás, que figurarán como datos.

Se considerará un sistema formado por un tanque de volumen constante V , conteniendo una disolución de NaCl, perfectamente mezclada, de concentración C , sobre el cual comienza a verterse una corriente de agua (que se considerará, en principio, conteniendo una concentración C_E de soluto) con un caudal Q , según se muestra en el siguiente esquema:



Obsérvese que, al ser constante el volumen del tanque, el caudal de salida será idéntico al de entrada y al estar su contenido perfectamente mezclado, la concentración de la corriente de salida será idéntica a la del interior del tanque.

Los términos de un balance de materia aplicado al soluto (NaCl) serían:

<i>Entrada</i> $\left[\frac{\text{mol}}{\text{s}} \right]$	$Q \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \cdot C_E \left[\frac{\text{mol}}{\text{m}^3} \right]$
<i>Generación</i> $\left[\frac{\text{mol}}{\text{s}} \right]$	No hay reacción química
<i>Salida</i> $\left[\frac{\text{mol}}{\text{s}} \right]$	$Q \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \cdot C \left[\frac{\text{mol}}{\text{m}^3} \right]$
<i>Acumulación</i> $\left[\frac{\text{mol}}{\text{s}} \right]$	$V \left[\text{m}^3 \right] \cdot \frac{dC}{dt} \left[\frac{\text{mol}}{\text{m}^3} \right]$

siendo, por tanto, la ecuación del balance:

$$Q C_E = Q C + V \frac{dC}{dt}$$

Como la entrada es agua pura, ($C_E = 0$), se tendrá:

$$Q C = - V \frac{dC}{dt}$$

Ecuación diferencial que será necesario integrar para obtener la variación de la concentración a lo largo del tiempo.

Separando variables e integrando entre los límites:

$$t = 0 \quad C = C_o$$

$$t = t \quad C = C_t$$

se obtiene:

$$t = - \frac{V}{Q} \ln \frac{C_t}{C_o}$$

o bien, teniendo en cuenta que la concentración es la variable dependiente:

$$C_t = C_o e^{-\frac{Q}{V} t}$$

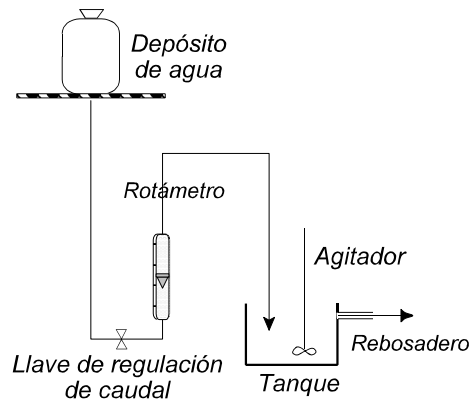
Esta ecuación indica que, operando a un caudal de agua constante y determinado que fluye sobre un tanque de volumen constante que contiene inicialmente una concentración C_o de NaCl, el valor de esta magnitud decrecerá exponencialmente con el tiempo, hasta producirse el lavado total del tanque

Dispositivo experimental

Para estudiar la variación de la concentración de NaCl con el tiempo se dispone de la instalación experimental esquematizada en la figura.

Como material auxiliar para medir concentraciones se dispone asimismo de un cronómetro y un conductímetro de campo.

El volumen del tanque es de **1,8 l** y se trabajará con una disolución de NaCl **0,2 M**, que se preparará en un matraz aforado de 2 l de capacidad.



Realización práctica

La realización práctica consiste en la medida del caudal de entrada y de la concentración de salida en función del tiempo. El caudal se mide con un rotámetro, mientras que la obtención de la concentración se fundamenta en medidas de conductividad. El rotámetro viene calibrado de fábrica y para obtener la relación entre las conductividades y las concentraciones, es necesario proceder a un calibrado previo del dispositivo de medida.

Calibrado del conductímetro

Se sabe que la conductividad varía linealmente con la concentración de la forma:

$$\kappa = a + b C$$

Utilizando agua y la disolución de NaCl preparada podrán obtenerse dos valores de conductividad para sendos valores de concentración lo que permite, mediante la resolución del correspondiente sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas, obtener los parámetros **a** y **b** de la ecuación anterior y, por tanto, la recta de calibrado del conductímetro.

Operación

Se llena el tanque con la disolución de NaCl, vertiendo ésta hasta que salga líquido por el rebosadero. Se instala en su interior el agitador y se pone en funcionamiento. Por otro lado se fija un caudal de agua mediante la válvula de regulación, cuidando de que la lectura del rotámetro se mantenga constante; el agua vertida se

recoge en un vaso y se desecha. Una vez conseguido un caudal estacionario (arbitrario, pero determinado), se introduce la entrada de agua en el tanque y se comienza a contar el tiempo. A partir de este momento se tomarán muestras de la corriente de salida cada 4 - 5 minutos para medir su conductividad. El experimento se prolongará durante una hora, o hasta que el valor de la conductividad de la corriente de salida sea igual a la del agua de entrada.

Presentación de los resultados

1. Representar los datos experimentales obtenidos para el proceso de lavado del tanque.
2. Obtener la recta de calibrado del conductímetro, expresándola como $C = f(K)$ y calcular las concentraciones correspondientes.
3. Linealizar la ecuación integrada del balance de materia y representar los datos en el papel logarítmico adecuado.
4. Calcular el cociente Q/V (min^{-1}) para el caudal utilizado, calcular el cociente Q/V (min^{-1}) a partir de la representación gráfica, comparar los dos valores de Q/V y razonar el resultado. ¿Cuál sería el valor del tiempo de residencia (min) para el experimento realizado?
5. Si se realizase un experimento análogo, pero utilizando como corriente de entrada, en vez de agua, una disolución de NaCl 0,1 M, ¿cómo habría que representar los datos experimentales para obtener el valor de Q/V ? Razonar la respuesta planteando un nuevo balance de materia (con $C_E \neq 0$), integrando la ecuación obtenida y linealizándola convenientemente.
6. Si se realizase otro experimento, utilizando como corriente de entrada una disolución de una sal de bario que precipitase parte del cloruro presente en el tanque, es decir, que en el interior de éste se produjese una reacción química que hiciese desaparecer el NaCl a una velocidad dada por: $r \left[\frac{\text{mol}}{\text{m}^3 \cdot \text{s}} \right] = -k C$
siendo $k = 0,1 \text{ s}^{-1}$ el coeficiente cinético de la reacción, ¿cómo se vería afectada la concentración de salida del tanque? Razónese la respuesta planteando un nuevo balance de materia, con generación, integrando la ecuación obtenida y linealizándola convenientemente.

Bibliografía

- Costa, E. y otros; “Ingeniería Química I. Conceptos generales”, Ed. Alhambra, Madrid (1983).
- Costa, J. y otros; “Curso de Química Técnica”, Ed. Reverté, Barcelona (1988)
- McCabe, W.L. y Smith, J.C.; “Operaciones básicas de Ingeniería Química”, Ed. Reverté, Barcelona (1973).
- Vian, A. y Ocón, J.; “Elementos de Ingeniería Química”, Ed. Aguilar, Madrid (1972).

