

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**Laboratorio de Ingeniería Química**

**BALANCE DE MATERIA  
APLICADO A UN COMPONENTE  
EN ESTADO NO ESTACIONARIO**

# 1. INTRODUCCIÓN

Los balances de propiedad, o ecuaciones de conservación, dan información de la variación de propiedad que se produce en un sistema. Dicho sistema, o volumen de control, es una región del espacio que debe quedar perfectamente definida.

La expresión general de un balance de propiedad tiene la forma:

$$\text{SALIDA} - \text{ENTRADA} + \text{ACUMULACIÓN} = \text{GENERACIÓN} \quad (1)$$

en la que:

**Entrada/salida** es la cantidad de propiedad que cruza los límites del sistema desde fuera hacia dentro, o viceversa, en un tiempo determinado.

**Acumulación** es la cantidad de propiedad que hay dentro del sistema en un tiempo dado menos lo que había en un tiempo anterior.

**Generación** es la cantidad de propiedad que aparece o desaparece dentro del sistema, sin estar presente dentro del mismo ni haberse transferido a través de sus límites, en un tiempo dado.

La ecuación general de conservación puede aplicarse a cualquier propiedad: materia, energía, población, dinero, etc.

En el caso concreto del balance de materia, como en el entorno donde vayamos a plantearlo existirá normalmente más de un componente, esta ecuación podremos aplicarla tanto a la masa o cantidad de sustancia total del sistema como a la de cualquiera de los componentes individuales que lo constituyen.

Aplicando la ecuación (1) a la cantidad de sustancia total de un sistema, la expresión simplificada que resulta es:

$$\Sigma F_2 - \Sigma F_1 + \frac{dN}{dt} = g \cdot V \quad (2)$$

en la que:

$F_1$  y  $F_2$  son los caudales molares totales de las corrientes de entrada y salida al sistema, respectivamente (mol/s)

$N$  es el número total de moles del sistema en un instante determinado (mol)

$t$  es la variable tiempo (s)

$g$  es la cantidad de sustancia total generada uniformemente en todo el sistema por unidad de tiempo y de volumen (mol/s·m<sup>3</sup>)

$V$  es el volumen total del sistema (m<sup>3</sup>).

La ecuación (1) también puede aplicarse a cualquier componente individual A del sistema, siendo la ecuación simplificada que resulta en este caso:

$$\Sigma F_{A_2} - \Sigma F_{A_1} + \frac{dN_A}{dt} = g_A \cdot V \quad (3)$$

donde:

$F_{A_1}$  y  $F_{A_2}$  son los caudales molares de componente A de entrada y salida al sistema, respectivamente (mol A/s)

$N_A$  es el número de moles del componente A en el sistema en un instante determinado (mol A)

$g_A$  es la cantidad de componente A generada uniformemente en todo el sistema por unidad de tiempo y de volumen (mol A/s·m<sup>3</sup>).

El caudal molar de cualquier componente y los moles totales del mismo se pueden expresar como:

$$F_A = Q_L \cdot c_A \quad (4)$$

$$N_A = V \cdot c_A \quad (5)$$

donde:

$Q_L$  es el caudal volumétrico total de cualquier corriente de entrada o salida al sistema (m<sup>3</sup>/s)

$V$  es el volumen total del sistema (m<sup>3</sup>)

$c_A$  es la concentración másica del componente A (mol A/m<sup>3</sup>).

Si en el sistema no existe generación de componente A y el volumen permanece constante, la expresión (3), teniendo en cuenta la (4) y la (5), se transforma en:

$$\Sigma Q_{L_2} c_{A_2} - \Sigma Q_{L_1} c_{A_1} + V \frac{dc_A}{dt} = 0 \quad (6)$$

Si el sistema está perfectamente agitado, la concentración de la corriente de salida coincide en todo momento con la concentración en el interior del sistema, es decir:

$$c_{A_2} = c_A$$

Si, además, existe una única entrada y una única salida, y se trata de un sistema de densidad total constante, se cumple que:

$$Q_{L_1} = Q_{L_2} = Q_L$$

Teniendo en cuenta estas consideraciones, la ecuación (6) se transforma en:

$$Q_L c_A - Q_L c_{A_1} + V \frac{dc_A}{dt} = 0 \quad (7)$$

Esta ecuación representa una de las formas simplificadas más utilizadas del balance de materia aplicado a un componente.

## **2. OBJETO DE LA PRÁCTICA**

a) Obtener, experimentalmente, la variación con el tiempo de la concentración de un componente en un tanque agitado, en el que se introduce un caudal constante de agua y del que sale una corriente con un caudal idéntico al de entrada, y con una composición que en todo momento será representativa de la existente en el tanque.

b) Comparar la variación experimental observada con la obtenida teóricamente, a partir de un balance de materia en régimen no estacionario aplicado al componente en cuestión.

## **3. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL**

Consiste, básicamente, en un recipiente de vidrio provisto de un sistema de rebosadero que asegura un nivel de disolución constante, y un sistema de agitación de la misma mediante un agitador de paletas.

En dicho recipiente se origina la disolución concentrada de ácido clorhídrico añadiendo una cierta cantidad de HCl concentrado al recipiente. Al mismo, entra una corriente de agua pura con un caudal constante, y del mismo, sale la disolución con el mismo caudal.

## **4. PROCEDIMIENTO**

a) Ajustar el caudal de agua de entrada al depósito a un valor alrededor de 10 L/h. Este caudal asegura una realización adecuada de la práctica. El ajuste se realizará mediante la regulación de la bomba peristáltica. Utilizando probeta y cronómetro se medirá el caudal y se aumentará o disminuirá éste hasta alcanzar un valor próximo al deseado. Una vez conseguido el caudal se realizarán cinco medidas y se sacará el valor medio.

b) Preparar 1 litro de disolución de hidróxido sódico con una concentración aproximada de 0.1 mol/L, disolviendo para ello 4.00 gr de lentejas de NaOH en agua, y llevando la disolución a 1 litro en un matraz aforado.

c) Añadir el HCl concentrado al recipiente (esta operación la realizará el profesor/a de prácticas). Dejar transcurrir 30 segundos, poner en marcha el cronómetro ( $t = 0$ ) y tomar la primera muestra de la corriente de salida del tanque agitado.

d) Tomar muestras de la corriente de salida del recipiente para tiempos: 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 y 90 minutos. Las muestras deben ser de unos  $30 \text{ cm}^3$ , aproximadamente.

e) Proceder a la valoración volumétrica de las muestras con la disolución de NaOH previamente preparada. La valoración de cada muestra deberá hacerse por duplicado utilizando una alícuota de  $10 \text{ cm}^3$  en cada caso. Se utilizará fenoftaleína como indicador. Se tomará un valor medio de las dos valoraciones como representativo de cada muestra.

## 5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Con los datos experimentales obtenidos se construye la siguiente tabla:

**TABLA I**

Volumen de disolución =  $\text{m}^3$   
Caudal de líquido =  $\text{m}^3/\text{s}$

Muestra N°	t (s)	Vol. NaOH ( $\text{cm}^3$ )	$c_A$ ( $\text{mol}/\text{m}^3$ )
1	0	-----	-----
2	300	-----	-----
3	600	-----	-----
4	1200	-----	-----
5	1800	-----	-----
6	2400	-----	-----
7	3000	-----	-----
8	3600	-----	-----
9	5400	-----	-----

a) Representar los valores experimentales de la concentración de HCl ( $c_A$ ) frente al tiempo ( $t$ ) en escala decimal y semilogarítmica.

b) Ajustar los datos experimentales (concentración de HCl y tiempo) a una ecuación exponencial de la forma:

$$c_A = A \cdot \exp(B \cdot t) \quad (8)$$

## 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

a) Obtener, mediante la realización de un balance de HCl [ecuación (7)] aplicado al recipiente de trabajo, una expresión analítica de la forma de la ecuación (8), y representar la concentración teórica de HCl frente al tiempo en papel milimetrado junto con los valores experimentales obtenidos. Comparar los valores de A y B calculados a partir del balance de materia con los obtenidos del ajuste exponencial de los datos experimentales. Comprobar que el balance de materia aplicado al sistema reproduce los resultados experimentales.

b) Suponer que toda la disolución de HCl que sale del tanque durante la primera hora de funcionamiento, se recoge en otro recipiente de volumen adecuado. Calcular (POR TRES PROCEDIMIENTOS DIFERENTES) la concentración media ( $\text{mol/m}^3$ ) de HCl en este segundo recipiente.

c) Comentar los resultados obtenidos.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

- Son suficientes los apuntes de clase del módulo "Ingeniería Química".