

Unidad

7

Balances de Materia en Estado No Estacionario

Introducción

Todos los balances estudiados hasta el momento se referían a condiciones estacionarias, es decir, cuyo término de acumulación era igual a cero. Ahora vamos a estudiar sistemas en estado no estacionario o transitorio. Estos son procesos en los cuales las condiciones varían con el tiempo; son procesos importantes de estudiar puesto que involucran todos los procesos de arranque y parada de plantas, así como los procesos que se realizan por carga.

Objetivo

El estudiante al finalizar esta Unidad será capaz de resolver los balances de masa con reacción química que ocurren en reactores que operan en estados no estacionarios.

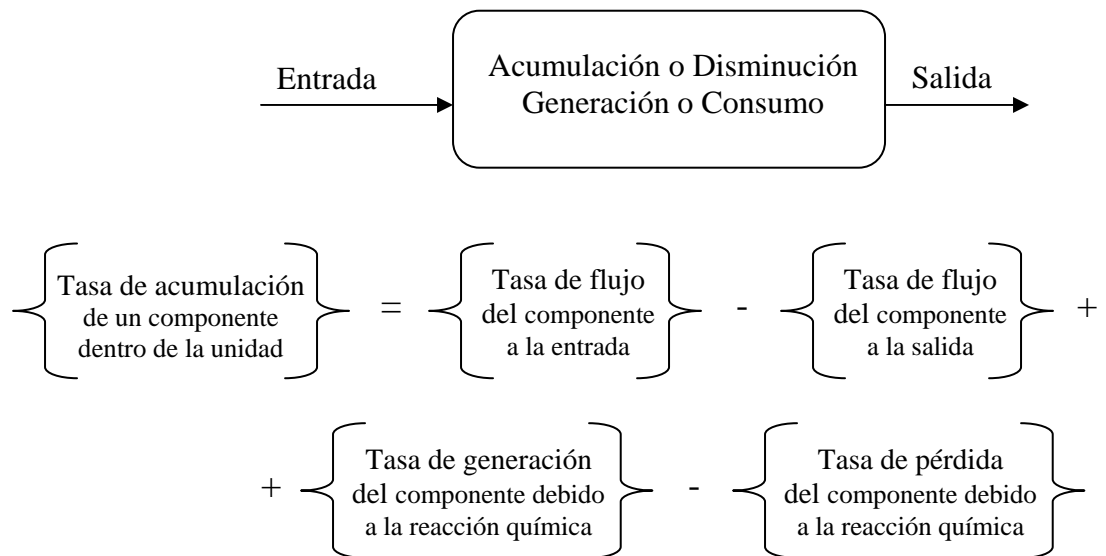
Contenido

Esta unidad consta de los siguientes temas:

Tema	Página
1. Estado transitorio	184
2. Reactores Químicos	188

Tema 1**Estado transitorio**

El estado transitorio es más complicado que el estado estacionario puesto que las ecuaciones de balance que surgen del análisis de este tipo de sistemas son ecuaciones diferenciales. Por la complejidad matemática que esto involucra, en este curso, estudiaremos sistemas bastante sencillos.

Caso general:

O, lo que es lo mismo: $a_c = (E - S + G - C)$

Donde: $a_c =$ Acumulación

$E =$ Entradas

$S =$ Salidas

$G =$ Generación

$C =$ Consumo

Por ejemplo, en un proceso por carga no existe flujo en estado estacionario que entra o sale, entonces se tiene:

$$E = S = 0$$

Sigue.....

Continuación de estado transitorio.....

Para un proceso donde no existe generación:

$$G = 0,$$

Cuando no existe consumo:

$$C = 0,$$

Y para un proceso en estado estacionario:

$$a_c = 0$$

Cuando se realiza un balance global, la generación y la pérdida de todos los componentes debe ser equivalente, así la ecuación para estado no estacionario se simplifica:

$$A_{\text{global}} = (E - S)_{\text{global}}$$

Matemáticamente, el balance para un componente se escribe como:

$$\rho_c V_{(t+\Delta t)} - \rho_c V_{(t)} = \left[(\rho_c \bar{v}s)_1 - (\rho_c \bar{v}s)_2 + R_c \right] \Delta t$$

donde:

$$\rho_c V_{(t+\Delta t)} = \text{masa del material evaluado en el tiempo } t + \Delta t,$$

$$\rho_c V_{(t)} = \text{masa del material evaluado en el tiempo } t,$$

$$\rho_c = \text{densidad del componente dado,}$$

V = volumen ocupado por un determinado componente en el sistema,

t = tiempo,

Δt = incremento de t

Subíndice 1 = Evaluado a la entrada,

Subíndice 2 = Evaluado a la salida,

\bar{v} = velocidad de flujo,

s = área de la sección de tubo a través de la cual entra y sale un elemento,

R_c = Tasa neta de generación o consumo del elemento debido a la reacción química. R_c es “+” para generación y “-” para consumo.

Sigue.....

Continuación de estado transitorio.....

Dividiendo ambos términos de la ecuación por Δt y tomando el límite cuando Δt tiende a cero:

$$\frac{d(\rho_c V)}{dt} = -\Delta(\rho_c \bar{v}s) + R_c$$

Para definir el balance global en el sistema:

$$\frac{d(\rho V)}{dt} = -\Delta(\rho \bar{v}s) + \sum_{c=1}^n R_c$$

donde:

ρ = densidad de la masa total

V = elemento de volumen

Cinética Química

Por ejemplo, la descomposición de un componente:



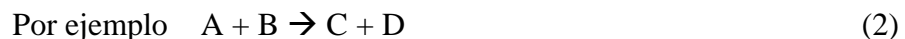
tiene la tasa de reacción

$$R_A = -\frac{dC_A}{dt} = -\frac{d(N_A / V)}{dt} = -\frac{1}{V} \frac{dN_A}{dt}$$

Para un reactor de volumen constante V , en donde N_A es el número de moles del compuesto A en el tiempo t , se ha encontrado experimentalmente que esa tasa de reacción es una función de la concentración, así para la reacción arriba indicada:

$$R_A = -\frac{dC_A}{dt} = -kC_A^2$$

k = tasa de reacción constante, determinada empíricamente y, aunque se diga “constante”, depende fuertemente de la temperatura.



La tasa de reacción: $R_A = k C_A C_B$

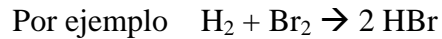
Estas ecuaciones (1) y (2) son llamadas reacciones elementales, porque la

Sigue.....

Continuación de estado transitorio.....

tasa de reacción es obtenida directamente de la ecuación estequiométrica. Las dos reacciones son de segundo orden puesto que la tasa de reacción es proporcional a la concentración al cuadrado.

En reacciones **no elementales** no existe correspondencia entre la expresión de la tasa de reacción y la estequiometría de la reacción.



la tasa de reacción no es: $R_{\text{HBr}} \neq C_{\text{H}_2} C_{\text{Br}_2}$

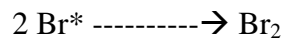
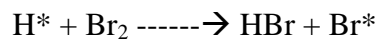
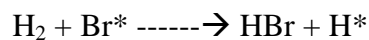
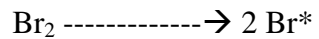
se ha encontrado experimentalmente que:

$$R_{\text{HBr}} = \frac{k_1 [\text{H}_2] [\text{Br}_2]^{1/2}}{k_2 [\text{HBr}] / [\text{Br}_2]}$$

donde: k_1 y k_2 = constantes de reacción

[]: Indica la concentración de un componente dado.

Además la reacción **no elemental** entre hidrógeno y bromo no es realmente lo que aparenta una reacción química simple, sino más bien el resultado global de una serie de reacciones elementales. La reacción puede ser resumida tomando en cuenta los siguientes pasos:

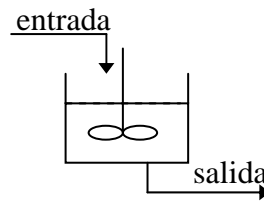


Tema 2

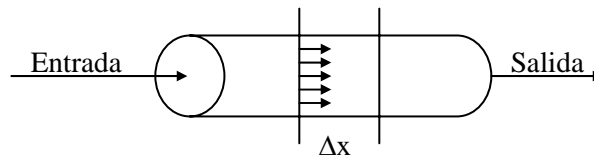
Reactores Químicos

Los reactores químicos son equipos en los cuales se efectúa una reacción química. Existen básicamente tres tipos de reactores químicos:

1. **Reactores por carga:** Son cargados con los reactantes, se produce la reacción y se descarga. Debe estar perfectamente agitado para mantener condiciones homogéneas en todo el reactor. Es un proceso no estacionario.
2. **Reactor tipo tanque (CSTR o TAC):** Se alimenta continuamente con los reactantes y de la misma forma se sacan continuamente los productos. La agitación es continua y se supone perfecta. Es un proceso que se realiza en condiciones estacionarias.



3. **Reactor de flujo de pistón (PFR o FP)** Los materiales se mueven a lo largo del reactor, a la misma velocidad y en forma continua.



Ejemplo

Un reactor cuyo volumen es de 60 l, es alimentado con un flujo de 10 l/min con una concentración de 2 mol/l. En el reactor se lleva a cabo una reacción de segundo orden de la forma $2A \rightarrow B$, siendo la constante de reacción $k = 2 \text{ l/mol min}$. Halle la conversión de este sistema si:

- a) El proceso se realiza en un reactor de mezcla completa.
- b) El proceso se lleva a cabo en un reactor de flujo pistón.

En ambos casos se trabaja en condiciones estacionarias.

Sigue.....

Continuación de reactores químicos.....

a) La ecuación de balance en A establece:

$$q C_{A0} = q C_A + (-R_A) V$$

Entra = Sale + Consumo

$$-R_A = k C_A^2 \quad q C_{A0} = q C_A + k C_A^2 V$$

$$q C_{A0} = 10 \frac{1}{\text{min}} * 2 \frac{\text{mol}}{1} = 20 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$$

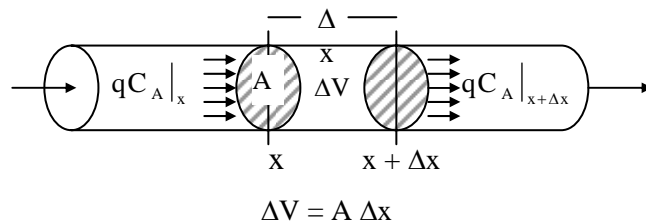
$$20 = 10 * C_A + 120 C_A^2$$

$$2 = C_A + 12 C_A^2$$

$$C_A = 0,369$$

$$\text{La conversión } X_A = \frac{C_{A0} - C_A}{C_{A0}} = 0,82$$

b) En el modelo PFR con las mismas condiciones que el modelo anterior:



Análisis de un diferencial de volumen:

Entra = Sale + Consumo

$$qC_A|_x = qC_A|_{x+\Delta x} + kC_A^2 \Delta V$$

o reagrupando

$$qC_A|_x - qC_A|_{x+\Delta x} = kC_A^2 \Delta V$$

multiplicando por menos uno (-1) a ambos lados de la igualdad y sacando límites cuando $\Delta x \rightarrow 0$ las diferencias pasan a diferenciales:

$$qC_A|_{x+\Delta x} - qC_A|_x = -kC_A^2 \Delta V$$

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} [qC_A|_{x+\Delta x} - qC_A|_x] = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} [-kC_A^2 \Delta V]$$

Sigue.....

Continuación de reactores químicos.....

$$d(qC_A) = -kC_A^2 dV$$

si supone que no hay variaciones en el flujo volumétrico del sistema (es decir que $q \approx$ constante) se puede sacar “q” del diferencial del lado izquierdo, para obtener luego de reagrupar:

$$-\frac{qdC_A}{dV} = kC_A^2$$

ecuación diferencia que se puede integrar por separación de variables según:

$$\int_{C_{A0}=2}^{C_A} -\frac{dC_A}{C_A^2} = \int_0^{60} \frac{k}{q} dV$$

$$C_A = 0,08 \text{ y } X_A = \frac{(20 - 0,08)}{20} = 0,96$$

Por lo que se puede observar que en el modelo de flujo de pistón la conversión es mayor.

En el ejemplo anterior, se puede apreciar que la conversión en los reactores de flujo de pistón en condiciones estacionarias es mayor que la de los reactores de mezcla completa, operando a las mismas condiciones.

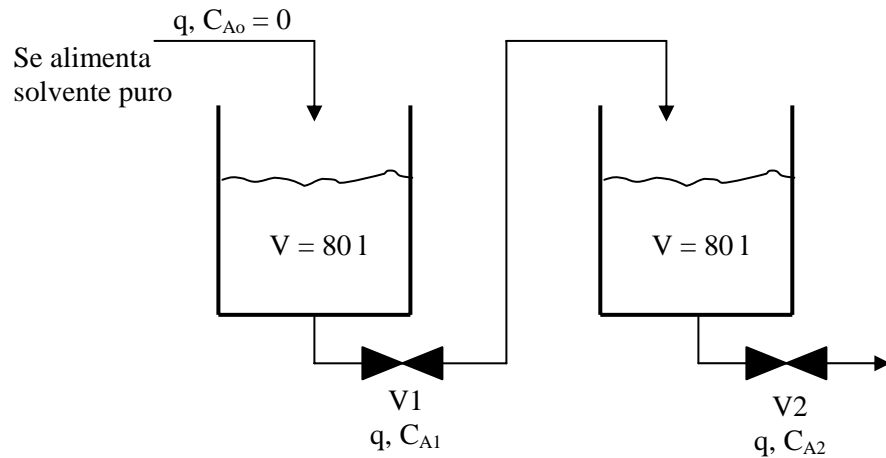
A continuación, vamos a trabajar con reactores de mezcla completa en condiciones no estacionarias para diferentes sistemas.

Ejemplo

En la figura se muestran dos tanques de 80 l de capacidad cada uno, el primero de los cuales tiene una solución de concentración 20 g/l y el segundo 12 g/l.

Sigue.....

Continuación de reactores químicos.....



Repentinamente, se pone en operación el sistema de flujo mostrado en la figura, alimentando solvente puro a razón de 16 l/min y abriendo las válvulas $V1$ y $V2$ simultáneamente por un sistema de control neumático, con el objeto de mantener el volumen de reacción en cada reactor constante. Determine el tiempo que transcurre hasta que la concentración de salida del sistema haya decaído hasta 3 g/l y la concentración del primer tanque en ese mismo instante.

Datos:

$$C_{A1}(0) = 20 \text{ g/l} \quad C_{A2}(0) = 12 \text{ g/l} \quad q = 16 \text{ l/min} \quad C_{A2}(t) = 3 \text{ g/l}$$

La ecuación de balance que vamos a utilizar es:

$$\text{Acumulación} = \text{Entrada} - \text{Salida}$$

En el tanque N° 1:

$$V \frac{\partial C_{A1}}{\partial t} = 0 - qC_{A1}$$

$$\int_{C_{A1}(0)}^{C_{A1}} \frac{\partial C_{A1}}{C_{A1}} = \frac{q}{V} \int_0^t \partial t$$

$$\ln\left(\frac{C_{A1}}{C_{A1}(0)}\right) = -\frac{16}{80}t \quad \frac{C_{A1}}{20} = e^{-0.2t} \quad C_{A1}(t) = 20e^{-0.2t}$$

Sigue.....

Continuación de reactores químicos.....

En el tanque N° 2:

$$V \frac{\partial C_{A2}}{\partial t} = qC_{A1}(t) - qC_{A2}(t)$$

$$80 \frac{\partial C_{A2}}{\partial t} = 16 * 20e^{-0,2t} - 16C_{A2}(t)$$

$$\frac{\partial C_{A2}}{\partial t} = 4e^{-0,2t} - 0,2C_{A2}(t)$$

Para resolver esta ecuación diferencial vamos a recordar el **Teorema de las ecuaciones diferenciales** que establece:

Si se tiene una ecuación diferencial de la forma:

$$\frac{dy}{dx} + p(x)y = q(x)$$

su solución será de la forma:

$$y = \left[c + \int q(x)e^{\int p(x)dx} dx \right] e^{-\int p(x)dx}$$

en el problema que estamos resolviendo:

$$\frac{dC_{A2}}{dt} + 0,2C_{A2} = 4e^{-0,2t}$$

$$y = C_{A2} \quad x = t \quad p(x) = 0,2 \quad q(x) = 4e^{-0,2t}$$

por lo tanto:

$$C_{A2} = \left[c + \int_0^t 4e^{-0,2t} e^{\int_0^t 0,2dt} dt \right] e^{-\int_0^t 0,2dt}$$

resolviendo y reacomodando:

$$C_{A2} = e^{-0,2t} [c + 4t]$$

en el tiempo $t = 0$, $C_{A2} = 12$ g/l por lo tanto $c = 12$

$$C_{A2} = e^{-0,2t} [12 + 4t]$$

Con esta última ecuación queremos calcular el tiempo cuando la concentración C_{A2} baja a 3 g/l, es decir, debemos resolver la siguiente ecuación no lineal en función de t :

Sigue.....

Continuación de reactores químicos.....

$$3 = e^{-0,2t} [12 + 4t] \quad (3)$$

De la ecuación (3) no se puede despejar el valor de “t” directamente ya que es implícita en “t”. Por lo tanto, para encontrar el tiempo estacionario es necesario utilizar un método numérico que nos permita calcular las raíces de la ecuación no lineal. Un método muy sencillo es el método de punto fijo que consiste en hallar una expresión de la forma:

$$t = g(t)$$

Así, al suponer un valor de t, se puede calcular g(t) y comparar si da el mismo valor supuesto. Si se hace en forma iterativa, podremos escribir:

$$t_{n+1} = g(t_n)$$

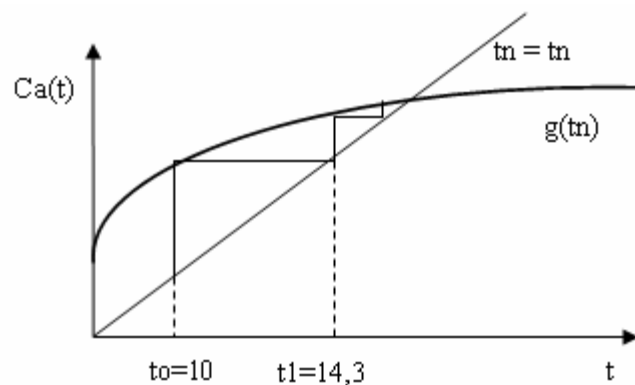
La ecuación $3 = e^{-0,2t} [12 + 4t]$ podemos escribirla como:

$$t_{n+1} = 5 \ln \left[\frac{12 + 4t_n}{3} \right]$$

Suponiendo un valor inicial (n = 0) de 10 minutos, obtendremos un segundo valor (n = 1) de 14,2632 minutos.

Notamos que $|t_8 - t_7| = 0,0001$ minutos es un valor satisfactoriamente pequeño, por lo que podemos concluir que $t = 16,217 \pm 0,0001$ minutos.

Si se quiere representar gráficamente el proceso iterativo, se le puede apreciar en el esquema que se muestra a continuación:



Sigue.....

Continuación de reactores químicos.....

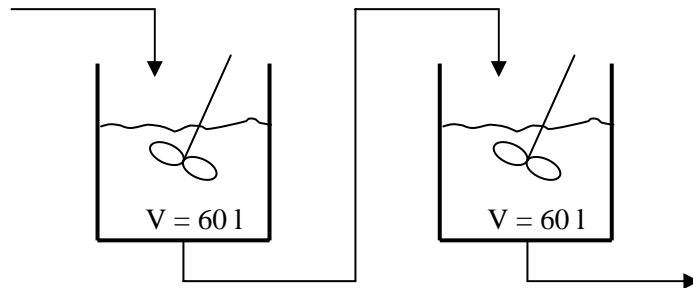
Una vez conocido t , podemos calcular C_{A1} con la ecuación diferencial respectiva para obtener $C_{A1}(t = 16,2174) = 0,78 \text{ g/l}$

Ejemplo:

Se dispone de dos tanques agitados de 60 l de capacidad cada uno. En ellos se lleva a cabo una reacción irreversible de primer orden $A \rightarrow B$, con una constante de reacción $k = 0,15 \text{ min}^{-1}$. Se alimenta al sistema con 10 l/min de una solución 2M.

En un momento dado, la alimentación aumenta a 15 l/min. Determine:

1. Conversión del sistema.
2. Tiempo que tarda el sistema en alcanzar condiciones estacionarias (con una desviación del 0,1%).
3. La nueva conversión estacionaria.



En primer lugar vamos a calcular la conversión estacionaria inicial.

Tanque N° 1:

$$q_1 C_{A0} = q_1 C_{A1} + k V C_{A1}$$

$$C_{A1} = \frac{q_1 C_{A0}}{q_1 + k V} = \frac{20}{19} = 1,05 \text{ mol/l}$$

Sigue.....

Continuación de reactores químicos.....

Tanque N° 1:

$$q_1 C_{A1} = q_1 C_{A2} + kVC_{A2}$$

$$C_{A2} = \frac{q_1 C_{A1}}{q_1 + kV} = 0,55 \text{ mol/l}$$

$$\% \text{ Conversión} = \frac{2 - 0,55}{2} * 100 = 72,368\%$$

Ahora vamos a determinar el tiempo en el cual el sistema vuelve a alcanzar las condiciones estacionarias una vez que se varió el flujo de entrada de 10 l/min a 15 l/min. Para ello tenemos que hallar la forma en la cual varía la concentración de salida en el segundo reactor con el tiempo.

Tanque N° 1:

$$V \frac{dC_{A1}}{dt} = q_2 C_{A0} - q_2 C_{A1} - kVC_{A1}$$

$$60 \frac{dC_{A1}}{dt} = 15 * 2 - 15C_{A1} - 9C_{A1}$$

$$dt = \frac{dC_{A1}}{0,5 - 0,4C_{A1}}$$

$$C_{A1} = 1,25 - 0,2e^{-0,4t}$$

Tanque N° 2:

$$V \frac{dC_{A2}}{dt} = q_2 C_{A1} - q_2 C_{A2} - kVC_{A2}$$

$$60 \frac{dC_{A2}}{dt} = 15(1,25 - 0,2e^{-0,4t}) - 15C_{A2} - 9C_{A2}$$

$$\frac{dC_{A2}}{dt} = 0,3125 - 0,05e^{-0,4t} - 0,4C_{A2}$$

utilizando el teorema de la integral y resolviendo:

$$C_{A2} = 0,78 - 0,05te^{-0,4t} + ce^{-0,4t}$$

Sigue.....

Continuación de reactores químicos.....

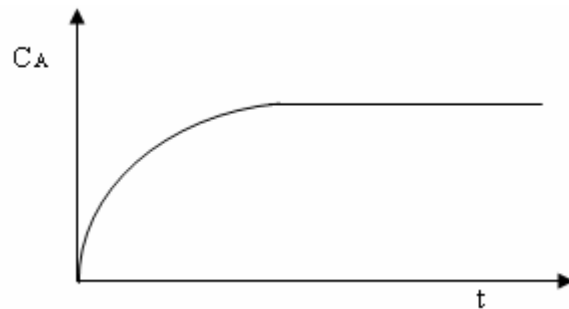
en el tiempo $t = 0$, $C_{A2} = 0,55$ M. Sustituyendo este valor en la ecuación anterior se obtiene:

$$0,5 = 0,78 + c \quad c = -0,23$$

y, por lo tanto:

$$C_{A2} = 0,78 - 0,05te^{-0,4t} - 0,23e^{-0,4t}$$

El sistema alcanza condiciones estacionarias cuando el tiempo tiende a infinito ya que nos encontramos ante una función asintótica de la forma:



Entonces, para hallar el tiempo en el cual el sistema alcanza condiciones estacionarias con una desviación del 1%, procederemos de la siguiente manera:

Evaluaremos la ecuación de A en función del tiempo para $t = \infty$. Sacando límite cuando $t \rightarrow \infty$ a la ecuación (4)

$$\lim_{t \rightarrow \infty} [0,78 - 0,05te^{-0,4t} - 0,23e^{-0,4t}] = \lim_{t \rightarrow \infty} 0,78 - 0,05 \lim_{t \rightarrow \infty} (te^{-0,4t}) - 0,23 \lim_{t \rightarrow \infty} (e^{-0,4t}) =$$

$$0,78 - 0,05 \lim_{t \rightarrow \infty} \left(\frac{t}{e^{0,4t}} \right) - 0,23 \lim_{t \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{e^{0,4t}} \right) = 0,78 - 0,05 \lim_{t \rightarrow \infty} \left(\frac{t}{e^{0,4t}} \right)$$

$$= (\text{Aplicando L'Hopital al último límite}) = 0,78 - 0,05 \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{0,4e^{0,4t}} = 0,78$$

Sigue.....

Entonces, si $t = \infty$, $C_{A2} = 0,78 \text{ M}$

Pero si evaluamos esta expresión con una desviación del 1%, suponemos que no vamos a obtener esta concentración de salida, sino un 99% de ella, es decir:

$$C_{A2} = 0,99 * 0,78 = 0,7722$$

entonces, con este valor de la concentración se despeja t de la ecuación:

$$0,99 * 0,78 = 0,78 - 0,05te^{-0,4t} - 0,23e^{-0,4t}$$

de donde podemos calcular $t \approx 12$ minutos a través de un método iterativo.

Por último hallamos la nueva conversión estacionaria:

$$\% X_A = \frac{2 - 0,7722}{2} 100 = 61,5\%$$

Autoevaluación

1. ¿Qué es un reactor flujo pistón?
2. ¿Qué es un reactor de mezcla completa?
3. ¿Cómo se escribiría el término cinético de una reacción reversible?
4. ¿Cómo se resolvería la ecuación de balance para el tipo de reacción de la pregunta anterior?
5. ¿Cómo se define el tiempo de permanencia de una especie en el reactor?
¿Interesa que ese tiempo sea corto o largo? Explique su respuesta.

REFERENCIAS

Felder, R. y R. Rousseau, Principios Elementales de los Procesos Químicos, 2da. Edición, Addison-Wesley Iberoamericana, Delaware, 1991.

Himmelblau, D., Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, Prentice-Hall International Series, London, 1989.

Hougen, O., Watson, K. y R. Ragatz, Principios de los Procesos Químicos, Tomo I: Balances de Materia y Energía. Editorial Reverté, S.A., Barcelona, 1982.

Perry, R. y D. Green, Perry's Chemical Engineer's Handbook, 6th. Ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1984.

Reklaitis, G., Balances de Materia y Energía, McGraw-Hill, México, 1989.

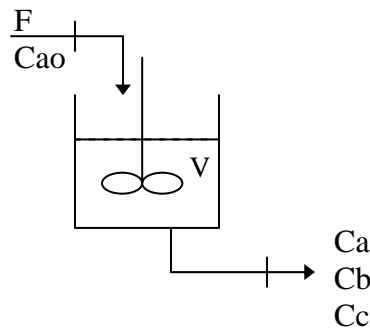
Whitweel, J. y R. Toner, Conservation of Mass and Energy, McGraw-Hill Kogakusha, LTD., Tokyo, 1969.

EJERCICIOS PROPUESTOS

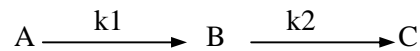
1.- Un reactor perfectamente agitado se emplea para llevar a cabo la reacción irreversible de primer orden $A \rightarrow \text{producto}$ ($k = 0,02 \text{ min}^{-1}$). Inicialmente, el reactor está vacío, y se comienza a introducir un flujo constante de alimentación con $C_{A0} = 500 \text{ mol/m}^3$. A los 10 minutos, cuando el reactor justamente se llena, se abre la válvula de descarga de manera que el volumen del reactor se mantenga constante. Calcular la concentración del reactivo:

- En el momento en que se abre la válvula de salida.
- 10 minutos después de abierta esa válvula.
- En estado estacionario.

2.- Se desea analizar el comportamiento no estacionario del sistema:



Dentro del reactor ocurre la reacción irreversible de primer orden:



Se dispone de los siguientes datos:

$$F = 10 \text{ l/min}$$

$$C_{A0} = 6 \text{ mol/l}$$

$$k_1 = 0,1 \text{ min}^{-1}$$

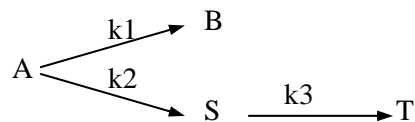
$$C_A(0) = 2 \text{ mol/l}$$

$$V = 100 \text{ l}$$

$$k_2 = 0,025 \text{ min}^{-1}$$

- Encontrar las expresiones de concentración para A, B y C.
- Calcular las concentraciones de A, B y C en estado estacionario.

3.- En un tanque de volumen constante V ocurre la siguiente reacción:



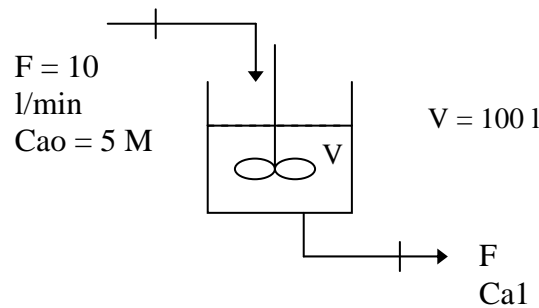
Inicialmente el reactor de mezcla completa está vacío. Luego se llena el tanque con el reactante A (con flujo F y composición C_{A0}) y la reacción toma lugar. Se le pide:

Sigue.....

Continuación de ejercicios.....

- Escribir las ecuaciones de balance no estacionario para cada componente.
- Hallar las concentraciones de Ca y Cs en función de t.
- De acuerdo a la expresión obtenida en el apartado b), ¿alcanzará Cs un valor máximo? En caso afirmativo, hallar una expresión para t cuando Cs alcance ese valor máximo.

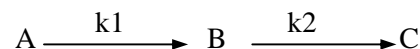
4.- El siguiente reactor de mezcla completa funciona inicialmente en estado estacionario:



Dentro de él ocurre la reacción irreversible de primer orden $A \rightarrow B$, con $k = 0,1 \text{ min}^{-1}$. En un determinado momento, el caudal de entrada se reduce a la mitad debido a fallas técnicas en una de las bombas. Se le pide:

- Determinar la concentración estacionaria dentro del tanque antes de que ocurriera la reducción del flujo volumétrico en la alimentación.
- Determinar cómo varía la concentración de A con el tiempo, a partir del momento en que se reduce el caudal.
- Determinar la nueva concentración dentro del tanque luego de que se alcancen condiciones estacionarias dentro del mismo.
- Calcular en qué tiempo se alcanza la condición detallada en el apartado c.

5.- Un sistema de reactores está formado por un reactor de flujo continuo perfectamente agitado (CSTR) de volumen fijo V_1 , seguido por un reactor semicontinuo (con entrada de material pero sin salida), perfectamente agitado, de volumen máximo V_2 . La reacción es de primer orden irreversible:

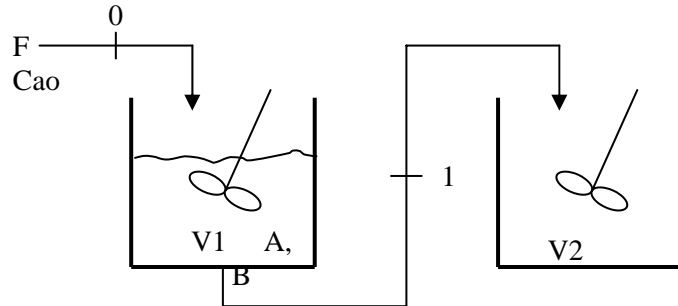


Inicialmente el recipiente semicontinuo está vacío y el CSTR lleno con A y B en concentraciones $C_a(0)$ y $C_b(0)$, respectivamente. Un flujo volumétrico F , que contiene A en concentración constante C_{a0} y no contiene B ni C, comienza a fluir al CSTR y continúa hasta que el tanque semicontinuo está completamente lleno.

Sigue.....

Continuación de ejercicios.....

Escribir las ecuaciones diferenciales para las concentraciones de A, B y C en cada reactor como funciones del tiempo. Escribir las condiciones iniciales.



6.- Para producir un compuesto B mediante la reacción irreversible de primer orden $A \rightarrow B$ ($k = 0,15 \text{ min}^{-1}$), se usa un reactor de mezcla completa con un volumen de tanque máximo (V_t) de 300 l. Se sabe que dicho reactor está operando en condiciones estacionarias con caudal de entrada igual a 10 l/min y con concentración de A en dicha entrada (C_{ao}) de 5 mol/l. También se conoce que la concentración de A dentro del tanque, en esas condiciones estacionarias, es de 2 mol/l y que el líquido dentro del reactor ocupa un volumen V_1 , menor que el volumen máximo del mismo (V_t).

Por problemas de operación se necesita cerrar la salida del reactor, manteniendo el caudal de entrada en 10 l/min hasta que el líquido dentro del tanque alcance el valor máximo V_t . Cuando esto ocurre, para evitar que se derrame el tanque, se vuelve a permitir la salida de líquido del reactor, pudiendo de nuevo operar el reactor a volumen constante.

Se desea saber:

- Luego de cerrar la salida del reactor, ¿cuánto tiempo se puede trabajar sin que el líquido se derrame?
- ¿Cuál sería la concentración de A y B dentro del tanque al tiempo calculado en el apartado anterior?
- ¿Cuáles son las concentraciones de A y B dentro del reactor cuando éste alcance nuevamente las condiciones estacionarias?
- A partir de que nuevamente se permite la salida de líquido del reactor, ¿en qué tiempo el sistema alcanza las condiciones explicadas en el apartado c)?

7.- Un tanque cuyo volumen es de 90 l contiene inicialmente 15 l de un solvente puro. En un momento dado, se comienza a alimentar al sistema con 15 l/min de una solución 4 M. En el tanque ocurre una reacción irreversible de primer orden ($k = 0,075 \text{ min}^{-1}$). Determinar el tiempo necesario para que la conversión sea del 90%.