

## INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE REACTORES

### Repartido 3

1) El ácido acético es hidrolizado en tres reactores continuos agitados operando en serie. El flujo de alimentación al primer reactor de volumen 1 L es de 0.4 L/min. El segundo y tercer reactores tienen volúmenes de 2.0 y 1.5 L respectivamente. La constante de primer orden para la reacción irreversible es  $0.158 \text{ min}^{-1}$ . Calcular la fracción hidrolizada en la salida del sistema.

SOLUCIÓN:

Para el primer reactor, planteando el balance de masa

$$\begin{aligned} F_{A0}X_{A1} &= r_A|_1 V_1 \\ vC_{A0}X_{A1} &= kC_{A0}(1 - X_{A1})V_1 \\ X_{A1} &= \frac{k \frac{V_1}{v}}{1 + k \frac{V_1}{v}} = \frac{0.158 \text{ min}^{-1} \frac{1 \text{ L}}{0.4 \text{ L/min}}}{1 + 0.158 \text{ min}^{-1} \frac{1 \text{ L}}{0.4 \text{ L/min}}} = 0.283 \end{aligned}$$

De igual forma para el segundo:

$$\begin{aligned} F_{A0}(X_{A2} - X_{A1}) &= r_A|_2 V_2 \\ X_{A2} &= \frac{k \frac{V_2}{v} + X_{A1}}{1 + k \frac{V_2}{v}} = \frac{0.158 \text{ min}^{-1} \frac{2 \text{ L}}{0.4 \text{ L/min}} + 0.283}{1 + 0.158 \text{ min}^{-1} \frac{2 \text{ L}}{0.4 \text{ L/min}}} = 0.599 \end{aligned}$$

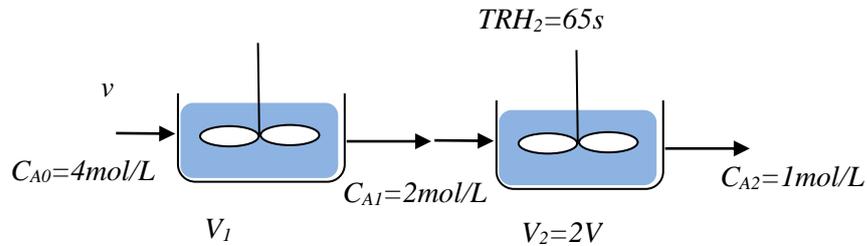
Y para el tercero

$$\begin{aligned} F_{A0}(X_{A3} - X_{A2}) &= r_A|_3 V_3 \\ X_{A3} &= \frac{k \frac{V_3}{v} + X_{A2}}{1 + k \frac{V_3}{v}} = \frac{0.158 \text{ min}^{-1} \frac{1.5 \text{ L}}{0.4 \text{ L/min}} + 0.599}{1 + 0.158 \text{ min}^{-1} \frac{1.5 \text{ L}}{0.4 \text{ L/min}}} = 0.748 \end{aligned}$$

O sea que la conversión total del sistema es del **75%**

2) La cinética en fase acuosa de descomposición de un compuesto A fue estudiada en dos reactores RCAI en serie, el primero con la mitad de volumen del segundo. En estado estacionario la concentración de alimentación es de 4 mol/L, el tiempo medio de residencia en el segundo reactor de 65 s, la concentración que entra al segundo reactor 2 mol/L y la que sale del segundo reactor 1 mol/L. Encontrar una expresión cinética.

SOLUCIÓN:



Balance de masa para el reactor 2:  $V_2 r_{A2} = v(C_{A1} - C_{A2})$

$$r_{A2} = \frac{C_{A1} - C_{A2}}{\tau_2} = \frac{(2 - 1) \text{ mol/L}}{65 \text{ s}} = 0.0154 \frac{\text{mol}}{\text{L} \cdot \text{s}}$$

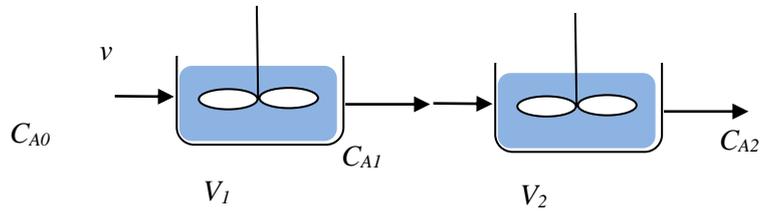
En forma similar

$$r_{A1} = \frac{C_{A0} - C_{A1}}{\tau_1} = \frac{(4 - 2) \text{ mol/L}}{65/2 \text{ s}} = 0.0615 \frac{\text{mol}}{\text{L} \cdot \text{s}}$$

Observemos  $r_{A1} = 4r_{A2}$  multiplicar por 4 cuando se pasa de 1 mol/L a 2 mol/L sugiere orden 2, entonces  $r_A = kC_A^2$  con  $k = 0.0154 \text{ mol}^{-1} \text{ L s}^{-1}$

3) Una reacción de primer orden va a ser llevada a cabo en un conjunto de dos RCAI. Mostrar que el volumen total de los reactores es mínimo cuando ambos son de igual tamaño.

SOLUCIÓN:



Haciendo Los balances de masa se llega a:  $C_{A2} = \frac{C_{A0}}{\left(1+k\frac{V_1}{v}\right)\left(1+k\frac{V_2}{v}\right)}$

Llamando  $V_1 = \alpha V$  con  $0 \leq \alpha \leq 1$  ,  $V_2 = (1 - \alpha)V$ , llamando  $M = k\frac{V}{v}$

$$C_{A2} = \frac{C_{A0}}{(1 + \alpha M)(1 + (1 - \alpha)M)}$$

Maximizar  $C_{A2}$  es lo mismo que minimizar el denominador; derivo e igualo a cero

$$-2M^2\alpha + M^2 = 0 \text{ entonces } \alpha = 1/2$$

4) Una reacción elemental en fase líquida  $A \rightarrow R$  se lleva a cabo en un RTFP y la conversión es del 96%. Si un reactor de mezcla completa 10 veces más grande que el anterior se coloca en paralelo con la unidad existente, ¿cuánto podría aumentarse el caudal a tratar manteniendo la misma conversión a la salida?

SOLUCIÓN:

$$\text{Ec. de diseño del RTFP: } V = v \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{k(1-X_A)} = -\frac{v}{k} \ln(1 - X_A)$$

$$\text{Ec. de diseño del RCAI: } V' = \frac{v'X_A}{k(1-X_A)}$$

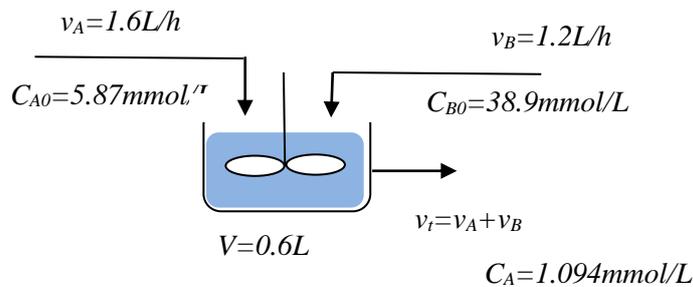
$$\text{Si } V' = 10V, \text{ entonces } \frac{v'X_A}{k(1-X_A)} = -\frac{v}{k} \ln(1 - X_A)$$

$$v' = -10v \frac{(1 - X_A)}{X_A} \ln(1 - X_A)$$

Como  $X_A = 0.96$  entonces  $v' = 0.58v$ , se puede aumentar un 58% el caudal a tratar.

5) En un RCAI de 0.6 L se lleva a cabo la siguiente reacción en fase líquida  $A + B \rightarrow C + D$ . El caudal de alimentación de A es de 1.16 L/h con una concentración de 5.87 mmol/L y el caudal de alimentación de B es de 1.20 L/h con una concentración de 38.9 mmol/L. En la salida la concentración de A es 1.094 mmol/L. Calcular la velocidad de reacción asumiendo que la ley de velocidad es  $r = k[A][B]$ .

SOLUCIÓN:



Como entran dos corrientes tenemos que corregir por dilución:

$$C_{A0}' = 5.87 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \frac{1.6}{2.8} = 3.35 \text{ mmol/L}$$

$$C_{B0}' = 38.9 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \frac{1.6}{2.8} = 16.67 \text{ mmol/L}$$

$$\Delta C_A = 3.354 - 1.094 = 2.26 \text{ mmol/L}$$

$$\Delta C_B = \Delta C_A, \text{ por lo tanto } C_B = 16.67 - 2.25 = 14.41 \text{ mmol/L}$$

$$\text{BM del RCAI: } V = \frac{v_t(C_{A0}' - C_A)}{k C_A C_B} \text{ entonces } k = \frac{v_t(C_{A0}' - C_A)}{V C_A C_B} = \frac{2.8 \frac{\text{L}}{\text{h}} (3.354 - 1.094) \frac{\text{mmol}}{\text{L}}}{0.6 \text{ L} \cdot 1.094 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \cdot 14.41 \frac{\text{mmol}}{\text{L}}}$$

$$k = 0.64 \frac{\text{L}}{\text{mmol} \cdot \text{h}}$$

6) Para realizar la reacción reversible de hidrólisis en fase líquida del compuesto A para dar B y C se usa un RCAI de 15 L. La reacción directa es de pseudo primer orden respecto a A con una constante de velocidad  $k_1 = 1.82 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ . La reacción inversa es de Segundo orden global (primer orden respect a B y a C) y su valor es  $k_{-1} = 4.49 \times 10^{-4} \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$ . La alimentación de A es de 0.25 L/h con una concentración de 0.25 mol/L. Calcule la conversión de A.

SOLUCIÓN:

$$\text{RCAI: } V = \frac{v(C_{A0} - C_A)}{r_{As}} = \frac{v(C_{A0} - C_A)}{k_1 C_A - k_{-1} C_B C_C}$$

Expresando en función de la conversión  $C_A = C_{A0}(1 - X_A)$   $C_B = C_C = C_{A0}X_A$

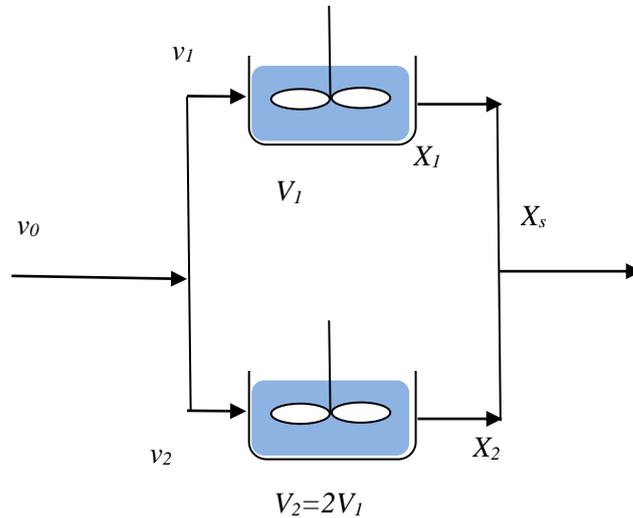
$$V = \frac{v C_{A0} X_A}{k_1 C_{A0}(1 - X_A) - k_{-1} C_{A0}^2 X_A^2} = \frac{v X_A}{k_1(1 - X_A) - k_{-1} C_{A0} X_A^2}$$

Es una ecuación de segundo grado en  $X_A$ , tomando la raíz positiva que tiene significado físico

$$X_A = 0.69$$

- 7) Una corriente de reactante se divide para pasar a través de dos RCAI en paralelo, uno con el doble de volumen que el otro. La reacción es de primer orden.
- ¿Cómo debe dividirse la corriente para maximizar la conversión?
  - ¿Sería mejor colocar los reactores en serie? ¿En qué orden?

SOLUCIÓN:



Para cada reactor  $X = \frac{kV}{v+kV}$

Por lo tanto  $X_s = \frac{v_1 X_1 + v_2 X_2}{v_0} = \frac{v_1 \left( \frac{kV_1}{v_1 + kV_1} \right) + (v_0 - v_1) \left( \frac{kV_2}{v_2 + kV_2} \right)}{v_0}$

Derivando e igualando a 0 se llega a que  $v_1 = \frac{V_1}{V_1 + V_2}$  y  $v_2 = \frac{V_2}{V_1 + V_2}$  o sea los TRH son iguales.

Comparando la conversión en serie con la conversión en paralelo se verifica que

$X_{serie} > X_{paralelo}$

$$\frac{k(\tau_1 + \tau_2 + k\tau_1\tau_2)}{(1 + k\tau_1)(1 + k\tau_2)} > \frac{k(\tau_1 + \tau_2)}{1 + k(\tau_1 + \tau_2)}$$

- 8) La cloración de un efluente se lleva a cabo en un sistema de cámaras de contacto (completamente mezcladas) en serie, con un tiempo de residencia hidráulico de 30 min.
- Determinar el número de cámaras para reducir la población bacteriana de  $10^6$  a 15 organismos por mL, si la constante de remoción de primer orden es  $6.1 \text{ h}^{-1}$ .
  - Si se usara una cámara de contacto en flujo pistón con el mismo tiempo de residencia, ¿cuál sería la remoción?

SOLUCIÓN:

$$\text{a) } \tau_N = N\tau_i = \frac{N}{k} \left[ \left( \frac{C_0}{C_N} \right)^{1/N} - 1 \right]$$

$$\tau_N = N \times 0.5 \text{ h} = \frac{N}{6.1 \text{ h}^{-1}} \left[ \left( \frac{10^6}{15} \right)^{1/N} - 1 \right]$$

La solución está entre 7 y 8, por lo tanto tomamos  $N = 8$

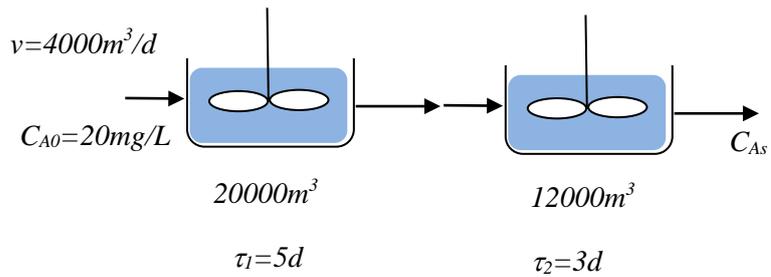
$$\text{b) } \tau_p = \frac{V}{v} = - \int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{kC_A} = \frac{1}{k} \ln \left( \frac{C_{A0}}{C_A} \right)$$

$$C_A = C_{A0} e^{-k\tau_p} = 10^6 e^{-(6.1 \cdot 8 \cdot 0.8)} = 2.5 \times 10^{-5} \text{ organismos por mL}$$

La remoción es de  $2.5 \times 10^{-11}$  veces.

9) Un río de caudal  $4000 \text{ m}^3/\text{d}$  entra al primero de dos lagos conectados en serie con una DBO última de  $20 \text{ mg/L}$ . El primer lago tiene un volumen de  $20000 \text{ m}^3$  y el segundo  $12000 \text{ m}^3$  y pueden asumirse en un régimen de mezcla completa. Si la constante de reacción de primer orden es  $0.35 \text{ d}^{-1}$  ¿cuál es la concentración de salida?

SOLUCIÓN:

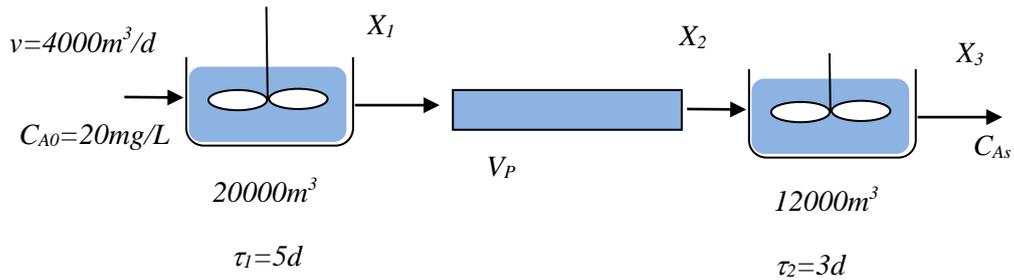


$$X_{serie} = \frac{k(\tau_1 + \tau_2 + k\tau_1\tau_2)}{(1 + \tau_1)(1 + \tau_2)} = \frac{0.35(5 + 3 + 0.35 \times 5 \times 3)}{(1 + 0.35 \times 5)(1 + 0.35 \times 3)} = 0.823$$

$$C_{A5} = 20 \text{ mg/L} \times (1 - 0.823) = 3.5 \text{ mg/L}$$

10) ¿Qué pasaría si en el problema anterior la conexión entre los dos lagos fuera de 3 km y la velocidad en ese tramo 0.4 m/s?

SOLUCIÓN:



$$X_1 = \frac{k\tau_1}{1 + k\tau_1} = \frac{0.35 \times 5}{1 + 0.35 \times 5} = 0.636$$

Sección:  $\frac{4000\text{m}^3/d}{0.4\text{m/s} \times 3600 \times 24\text{s/d}} = 0.116\text{m}^2$  entonces  $V_P = 0.116\text{m}^2 \times 3000\text{m} = 347\text{m}^3$

$$\tau_P = \frac{V_P}{v} = \int_{X_1}^{X_2} \frac{dX}{k(1-X)} = \frac{1}{k} \ln \left( \frac{1-X_1}{1-X_2} \right)$$

Con lo cual  $X_2 = 0.647$

$$X_3 = \frac{k\tau_2 + X_2}{1 + k\tau_2} = \frac{0.35 \times 3 + 0.647}{1 + 0.35 \times 3} = 0.828$$

$C_{A5} = 20\text{mg/L} \times (1 - 0.828) = 3.4\text{mg/L}$