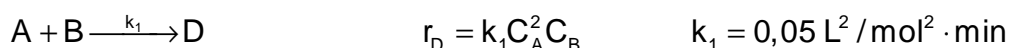




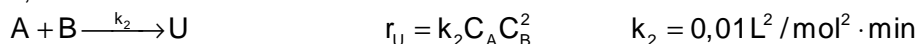
REACTORES QUIMICOS  
Prof. Dosinda González y Jaime Riera

Trimestre septiembre-diciembre de 2009 - Ejercicios para el segundo parcial

**PROBLEMA 1:** Se desea diseñar un reactor isotérmico para la siguiente reacción en fase gaseosa:

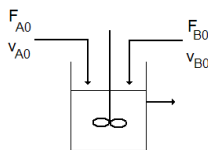


Lamentablemente, también ocurre una reacción secundaria indeseada.

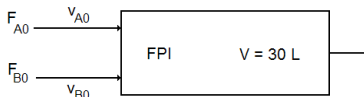


Suponiendo que la alimentación contiene sólo A y B, compare la selectividad global ( $S_{D/U}$ ) y el rendimiento global ( $Y_{D/A}$ ) para los siguientes casos:

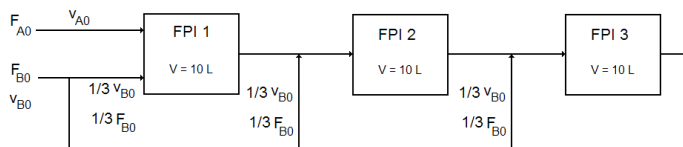
- a) Si la reacción se efectúa en un reactor TAC de 30 L de capacidad.



- b) Trabajando con un reactor FPI de 30 L de capacidad.



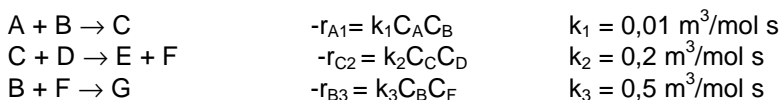
- c) Trabajando con el mismo reactor FPI del apartado anterior pero reciclando el 50% de la corriente de salida.
- d) Empleando tres reactores FPI en serie de 10 L de capacidad cada uno, alimentando A desde el comienzo y B en tres etapas, tal como se muestra en la siguiente figura:



- e) Compare y justifique los resultados obtenidos en cada apartado.

Datos adicionales:  $v_{A0} = 0,60 \text{ L/min}$ ;  $v_{B0} = 0,30 \text{ L/min}$ ;  $F_{A0} = 1,2 \text{ mol/min}$ ;  $F_{B0} = 0,60 \text{ mol/min}$ .

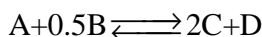
**PROBLEMA 2:** Considere el siguiente esquema de reacciones, todas ellas irreversibles y elementales que se desarrollan en fase líquida a temperatura constante.



Este sistema se lleva a cabo de tal forma que se alimenta una mezcla de los componentes A y B a un reactor continuo de tanque agitado. Las concentraciones de A y B en esta corriente son 5 y 7 mol/m<sup>3</sup> respectivamente. El volumen de este reactor es de 1 m<sup>3</sup>. El caudal de entrada es de 0.01 m<sup>3</sup>/s. El producto resultante se mezcla con una corriente que contiene al compuesto D con una concentración de 7 mol/m<sup>3</sup> y caudal 0.01 m<sup>3</sup>/s. La corriente resultante se introduce en un reactor de flujo de pistón de 5 m de longitud y 0.1 m<sup>2</sup> de sección. En estado estacionario

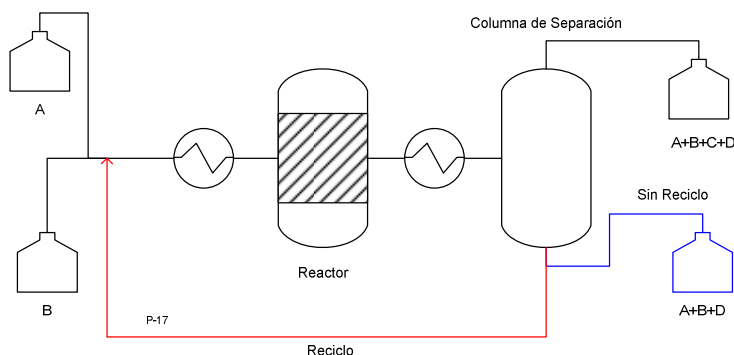
- Calcule los flujos de cada componente a la salida del TAC
- Determine los flujos de cada componente a la salida del FPI.
- Para incrementar la selectividad de F, el ingeniero de la planta propone separar el A no convertido y reciclarlo al FPI ¿cuáles serán los nuevos flujos de salida del FPI?

**PROBLEMA 3:** En el esquema de la planta que se presenta abajo, ocurre la reacción en fase líquida reversible,



La velocidad de reacción viene dada por,  $-r_A = k_1 C_A^{0.7} C_B^{1.2} - k_2 C_C C_D^{0.3}$

con,  $A_1 = 5.5 \cdot 10^7$ ,  $E_1 = 20000$  cal/mol,  $A_2 = 2 \cdot 10^3$ ,  $E_2 = 10000$  cal/mol. Los volúmenes molares de las especies son:  $v_{MA} = 0.4$ ,  $v_{MB} = 0.6$ ,  $v_{MC} = 1.2$ ,  $v_{MD} = 0.5$  en L/mol; las condiciones de operación son  $T = 600$  K,  $P = 30$  atm. Al sistema ingresan A, con un flujo de  $FA_0 = 10000$  mol/h y B con una relación de  $\theta_B = 2$ .

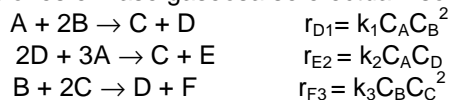


**Parte a:** Calcule la producción y pureza del Producto C para el sistema sin reciclo, además de la conversión de A. Suponga que se utiliza un reactor FPI de 10000 L. Las relaciones de separación de la columna son:  $S_A = 0.1$ ,  $S_B = 0.14$ ,  $S_C = 1$ ,  $S_D = 0.3$

**Parte b:** Repita el cálculo anterior para el sistema con reciclo, es decir, toda la corriente de fondo del sistema es reingresada al reactor. Explique el efecto de utilizar el reciclo en el sistema, ¿lo recomendaría?

**Parte c:** Para el sistema con reciclo sustituya el reactor FPI por dos reactores en serie de igual tamaño, considere las siguientes combinaciones: TAC-TAC, FPI-TAC, TAC-FPI. Suponga la misma producción de C obtenida en el apartado b. ¿Cuál es la conversión intermedia óptima para la Configuración TAC-TAC? ¿Cuál configuración es mejor en este caso, la TAC-FPI o la FPI-TAC? Explique sus respuestas.

**PROBLEMA 4:** Las siguientes reacciones en fase gaseosa se efectúan isotérmicamente:



Se conoce:  $k_1 = 15$  L<sup>2</sup>/mol<sup>2</sup>.h,  $k_2 = 3$  L/mol.h y  $k_3 = 6$  L<sup>2</sup>/mol<sup>2</sup>.h. El caudal de alimentación es de  $v_0 = 600$  L/h, el flujo molar de A alimentado al sistema es de 900 mol/h y la relación de flujo  $\theta_B = 4/3$ . Determine como varía la conversión en función del volumen, si se tiene un reactor FPI de 250 L.

- Determine la conversión y la producción de C (producto deseado) para un TAC de 250 L.
- Calcule la selectividad global, donde C es el producto deseado y D, E y F son los productos no deseados.
- ¿Cuál sería el mejor esquema de reactores y condiciones que se podría usar para maximizar la producción de C?

**PROBLEMA 5:** Las siguientes reacciones tienen lugar en fase líquida en un reactor isotérmico de tanque agitado de volumen constante e igual a 10 L, operando por cargas.



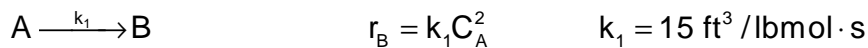
A la temperatura de reacción (400 K) solo el compuesto E presenta una volatilidad apreciable. La eliminación de este compuesto del medio de reacción se produce de acuerdo con la expresión  $R_v = K_v P_v$ .  $K_v$  es una constante ( $K_v = 1,2 \text{ mol/s atm}$ ) y  $P_v$  la presión parcial del compuesto E, calculada de acuerdo con la ley de Raoult:  $P_v = \chi_E P_E^0$ . Donde:  $\chi_E$  es la fracción molar de E en el líquido y  $P_E^0$  es la presión de vapor de E. La presión de vapor de E se puede calcular mediante la ecuación de Antoine:

$$\ln[P_E^0 (\text{mmHg})] = \left( 2,4526 - \frac{8622}{T(\text{K}) + 17716,8022} \right)$$

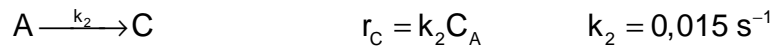
Si el reactor se carga inicialmente solo con A y B ( $N_{A0} = 7 \text{ mol}$ ,  $N_{B0} = 5 \text{ mol}$ ), escriba detalladamente todas las ecuaciones y el procedimiento de cálculo para determinar como evolucionan los moles de cada compuesto con el tiempo.

Calcule los moles de cada compuesto presentes en el reactor a los 200 s de haberse iniciado la reacción.

**PROBLEMA 6:** Usted está diseñando un reactor isotérmico de flujo pistón (FPI) para la siguiente reacción en fase gaseosa:



Lamentablemente, también ocurre una reacción secundaria indeseada.



C es un contaminante y su eliminación cuesta dinero; B es el producto deseado.

- ¿Qué tamaño de reactor proporcionará un flujo de efluente con el mayor valor económico?.
- Una vez instalado el reactor calculado en el apartado anterior, el ingeniero de la planta le encomienda a usted estudiar dos alternativas para mejorar el proceso. ¿Cuál recomienda y por qué?:

**Alternativa 1:** Reciclar el 20% molar de toda la corriente de salida.

**Alternativa 2:** Aumentar la temperatura de reacción en 50 °F (2 puntos).

Suponga  $E_1 = 10.000 \text{ BTU/lbmol}$  y  $E_2 = 20.000 \text{ BTU/lbmol}$ .

**Datos:** Precio de B: \$60/lbmol de B.

Precio de A: \$10/lbmol de A.

Eliminar C cuesta: \$15/lbmol de C.

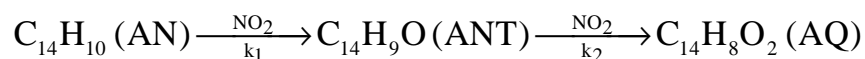
Condiciones de reacción originales: 460 °F y 3 atm de presión.

Flujo volumétrico alimentado al reactor a las condiciones de reacción:  $15 \text{ ft}^3/\text{s}$

Concentración de A en la alimentación:  $4,47 \times 10^{-3} \text{ lbmol/ft}^3$ .

**PROBLEMA 7:** En el procesamiento de pulpa y papel, la antraquinona (AQ) juega un papel muy importante ya que acelera la deslignificación de la madera y promueve la selectividad del licor.

La antraquinona (AQ) puede obtenerse por oxidación en fase líquida del antraceno (AN) en presencia de  $\text{NO}_2$  en ácido acético como solvente, pasando a través de la formación de un compuesto intermedio, la antrona (ANT), según la reacción:



Esta reacción fue estudiada por Rodríguez y Tijero (1989) en un reactor semi batch (batch respecto a la fase líquida) en condiciones bajo las cuales la cinética del proceso global está controlada por la velocidad de reacción en fase líquida. Estos autores obtuvieron a 95 °C, las siguientes constantes de velocidad de reacción:  $k_1 = 7,47 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$   $k_2 = 3,36 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

- Calcule el tiempo requerido para obtener la máxima concentración del producto intermedio en un reactor por lotes que opera a 95 °C si la concentración inicial de antraceno es 0,0337 mol/L
- Para el resultado obtenido en el apartado (a), determine la conversión del antraceno y el rendimiento y la selectividad de la antrona.

NOTA: Suponga que la cinética es elemental y que la densidad se mantiene constante.

**PROBLEMA 8:** La reacción en fase gas  $A + B \xrightarrow{k_A} 2C$  se lleva a cabo en un reactor FPI que opera en estado estacionario. La reacción es de primer orden respecto a los dos reactantes. El reactor construido de acero inoxidable con una rugosidad de 0,0018 in, tiene un diámetro interno de 3 cm y una longitud de 10 m. La alimentación contiene 60% molar de A y 40% molar de B.

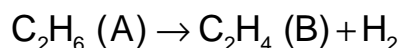
Suponiendo gas ideal y estado estacionario, determine la conversión de A y presión que se alcanzan a la salida del reactor si se supone que éste opera:

- a T y P constantes.
- a T constante y P variable.

Datos adicionales:

$$\begin{array}{lll}
 v_0 = 5,5 \text{ L/s} & T_0 = 410 \text{ K} & P_0 = 0,800 \text{ MPa} \\
 \mu = 0,022 \text{ cP (puede suponerse constante a lo largo del proceso)} & & \\
 M_A = 28 \text{ g/mol} & M_B = 32 \text{ g/mol} & M_C = 30 \text{ g/mol} \\
 k_A = 10^6 \exp\left(\frac{-4.900}{T}\right) \text{ L/mol.s} & & \Delta H_R^0 \text{ a } 298 \text{ K} = -11,0 \text{ kJ/mol de A}
 \end{array}$$

**PROBLEMA 9:** La deshidrogenación de etano (A) a eteno (B)



se lleva a cabo en un reactor FPI de 0,5 m<sup>3</sup> de capacidad. La reacción es de primer orden con respecto a A, con una constante de velocidad de reacción de 15,2 min<sup>-1</sup> a 725 °C. La alimentación contiene puro etano a 725 °C, 400 kPa y 1 kmol/min. Compare la conversión que se obtiene en una operación isotérmica e isobárica con el caso isotérmico pero no isobárico. El diámetro del reactor es 0,076 m y la viscosidad de la mezcla gaseosa es 2,5 x 10<sup>-2</sup> cP. Suponga que la rugosidad de la tubería es 0,0018 in.

Para incrementar la conversión su jefe decide reciclar el 20% del etano no convertido. Suponiendo proceso isotérmico e isobárico, ¿cuál será la nueva conversión de etano que se alcanzará en este reactor manteniendo las mismas condiciones de operación que en el caso anterior?.