

EJERCICIO 2.

1350

De un proceso gas sólido $A(g) + B(sol) \rightarrow C(sol) + D(g)$ no catalítico se han realizado ensayos en laboratorio manteniendo la concentración en fase gas constante y se ha puesto de manifiesto que controla la difusión interna y que el coeficiente de difusión tiene un valor de $D_A = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. En los ensayos el diámetro de partícula era de 2 mm y el tiempo necesario para la conversión hasta el 80 por ciento 2 horas.

Estímese el tiempo necesario en los ensayos de planta piloto, con partículas de 2 cm para alcanzar una conversión del 98 por ciento.

diámetro \rightarrow 10 mm radio

$$\frac{t}{R_s^2} = \frac{c \rho_B}{M_B C_{AG} 6 D_e} \left[3 \left[1 - (1 - X_B)^{2/3} \right] - 2 X_B \right] \quad [8.131]$$

$$\frac{2}{12} = \frac{c \rho_B}{M_B C_{AG}} \cdot \frac{1}{6 \cdot 5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}} \left[3 \left[1 - (1 - 0.8)^{2/3} \right] - 2 \cdot 0.8 \right]$$

$$\frac{M_B C_{AG}}{c \rho_B} = \frac{1}{2.65 \cdot 10^{-8}} \left[3 \left[1 - (1 - 0.8)^{2/3} \right] - 2 \cdot 0.8 \right] = 6.23 \cdot 10^5$$

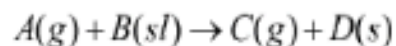
$$\frac{t}{10^2} = \frac{1}{6.23 \cdot 10^5} \cdot \frac{1}{6 \cdot 5 \cdot 10^{-8}} \left[3 \left[1 - (1 - 0.98)^{2/3} \right] - 2 \cdot 0.98 \right]$$

$$t = 10^2 \cdot 4.38 = 438 \text{ h}$$

EJERCICIO 3.

1250

Se han realizado ensayos para comprobar la etapa más lenta del proceso



Se ha mantenido el sólido en presencia de gas de modo que la concentración de éste ha sido constante

Se han medido los tiempos necesarios para alcanzar una relación R_c/R_s dada.

Estos datos se recogen en la tabla adjunta

✓ $t = f(R_s^2) \rightarrow$ controla transporte interno

	R_c/R_s	t_s	t/R_s	t/R_s^2	
$R_s=0,02m$	0,95	2416,64	$1,21 \cdot 10^5$	$6,04 \cdot 10^6$	
	0,8	34666,32			
	0,5	166665,00			
	0,3	261330,72			
$R_s=0,01m$	0,95	604,14	$6,04 \cdot 10^4$	$6,04 \cdot 10^6$	
	0,8	8666,32			
	0,5	41665,00			
	0,3	65330,72			
$R_s=0,006m$	0,95	217,50		$6,04 \cdot 10^6$	
	0,8	3120,00			
	0,5	15000,00			
	0,3	23520,00			

8.5. Reacciones heterogéneas gas - líquido

1355

Ejercicio.3

8.5 ¿Reactor?

En una reacción gas- líquido de primer orden en el compuesto gaseoso se tienen las siguientes condiciones.

$$P_A = 0,1 \text{ atm} \quad C_B = 5 \cdot 10^{-5} \text{ mol cm}^3 \quad k_r = 50 \text{ s}^{-1} \quad D_B = D_A = 2 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$$

$$k_G = 2 \text{ mol cm}^{-2} \text{ atm}^{-1} \text{ s}^{-1} \quad k_L = 4 \cdot 10^{-4} \text{ cm s}^{-1} \quad H = 2 \text{ cm}^3 \text{ atm mol}^{-1}$$

Indíquese:

La etapa controlante del proceso

El flujo de A en la interfase $J_A (X=0)$.

En reactores

9.1

9.2

9.3 X

9.4 X

9.5 Reactores gas líquido

9.6 X

Reactor!!!

1531

9.5.

Ejercicio 4.- Un proceso gas líquido $A(g) + B(l) \rightarrow C(l)$ se lleva a cabo en un reactor de flujo mezcla total de ambas fases. El componente gaseoso a reaccionar (A) se halla en la corriente de entrada a 0,1 atm de presión parcial y a la salida a 0,01 atm. La presión total es de 1 atm. Se debe estimar el flujo de componente desde la fase gas a la fase líquida como $\text{kmol/m}^3 \text{ s}$.

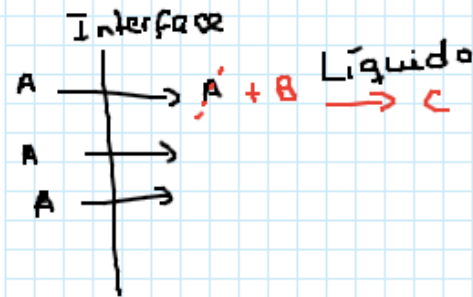
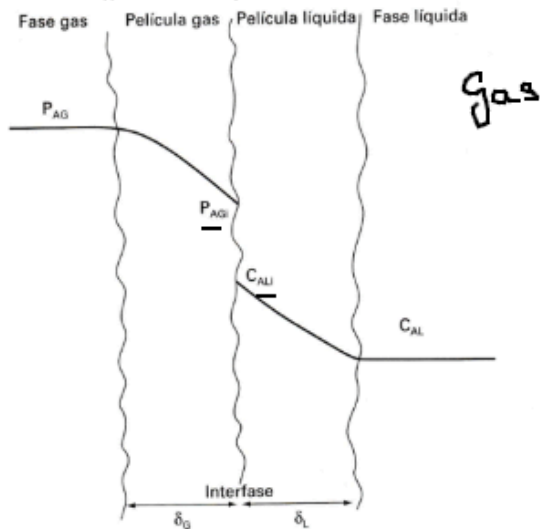
Datos $K_R = 20 \text{ m}^3/\text{kmol s}$ $k_L = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ $D_A = D_B = 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

C_B en el reactor $= 1 \text{ kmol/m}^3$

En el equilibrio $p_A = H C_A$ $H = 2 \text{ atm m}^3 \text{ kmol}^{-1}$ $a = 3 \text{ m}^{-1}$.

La fase gas no ofrece resistencia al transporte.

doble película



- Transferencia de materia
- Reacción química (acelera la transferencia de materia)

flujo

J_A (cantidad de A que pasa del gas al líquido)

$$J_A = k_G(P_{AG} - P_{AGi}) = k_L(C_{Ai} - C_{AL}) \quad [8.133a]$$

y en función de las fracciones molares en cada fase:

$$J_A = k_G(P_{AG} - P_{AGi}) = k_G P_T(y_A - y_{Ai}) = k_y(y_A - y_{Ai}) = k_L(C_{Ai} - C_{AL}) = k_L C_T(x_{Ai} - x_A) = k_x(x_{Ai} - x_A) \quad [8.133b]$$

Si las fases cumplen la ley de Henry

$$H_A = \frac{P_{AG \text{ EQUILIBRIO}}}{C_{AL \text{ EQUILIBRIO}}}$$

→ sirve para hallar valores C_{Ai}

[8.134]

Sin reacción química

En presencia de reacción química el flujo por difusión física resulta modificado

$$J_{AR} = J_A E$$

y el modelo intenta predecir el valor del factor E .

← factor aumento debido a la reacción química

8.5.4. Transporte + reacción química 1er orden

El modulo ϕ_L es el **modulo de Hatta** relación entre la velocidad de reacción en el volumen de película correspondiente a la unidad de área interfásica y la velocidad de transporte de A, a través de dicha unidad de área interfásica. Considerando el volumen de película saturado en A y la máxima velocidad de transporte.

$$\phi_L = \frac{\text{velocidad de reacción en la película saturada por unidad de área interfásica}}{\text{velocidad de difusión máxima por unidad de área interfásica}}$$

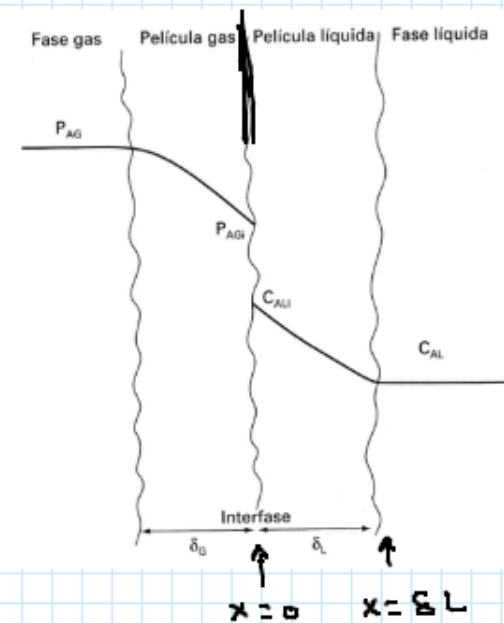
$$\phi_L = \frac{k_{R1} C_{Ai} \delta_L}{\sqrt{D_A (C_{Ai} - 0)}} = \sqrt{\frac{k_{R1} \delta_L^2 D_A}{D_A^2}} = \sqrt{\frac{k_{R1} D_A}{k_L}} \quad [8.142]$$

El modulo de Hatta es análogo al modulo de Thiele de reacciones gas sólido catalíticas, compara la cinética del transporte por difusión con la cinética de la reacción química.

$$J_A|_{X=0} = \frac{D_A \phi_L}{\delta_L \tanh \phi_L} \left[C_{Ai} - \frac{C_{AL}}{\cosh \phi_L} \right]$$

$$J_A|_{X=0} = \frac{k_L C_{Ai} \phi_L}{\tanh \phi_L} \left[1 - \frac{C_{AL}}{C_{Ai} \cosh \phi_L} \right] \quad [8.145]$$

$$J_A|_{X=\delta_L} = \frac{k_L \phi_L}{\sinh \phi_L} [C_{Ai} - C_{AL} \cosh \phi_L]$$



$$J_A|_{X=0} = \frac{(C_{AEG} - C_{ALi}) + (C_{ALi} - C_{AL})}{\frac{1}{k_G H} + \frac{1}{k_L E_A}} = \frac{C_{AEG} - C_{AL}}{\frac{1}{k_G H} + \frac{1}{k_L E_A}} = \frac{(P_{AG}/H) - C_{AL}}{\frac{1}{k_G H} + \frac{1}{k_L E_A}} \quad [8.149]$$

8.55. Transporte + reacción 2º orden

$$\phi_L = \sqrt{\frac{k_{R2} C_{BL} C_{Ai} \delta_L}{D_A (C_{Ai} - 0)}} = \sqrt{\frac{k_2 C_{BL} \delta_L^2 D_A}{D_A^2}} = \sqrt{\frac{k_{R2} C_{BL} D_A}{k_L}} \quad [8.150]$$

$$E_{A\infty} = \left[1 + \frac{D_B C_{BL}}{b D_A C_{Ai}} \right] \quad [8.155]$$

pdf (reacciones G-V)

$$\phi_L = \frac{\sqrt{k_R C_B D_A}}{k_L} \quad E_{\infty} = 1 + \frac{D_B C_{BL}}{a D_A C_{Ai}} \quad J_A = \frac{P_{AG}}{\frac{1}{k_G} + \frac{H}{k_L E}}$$

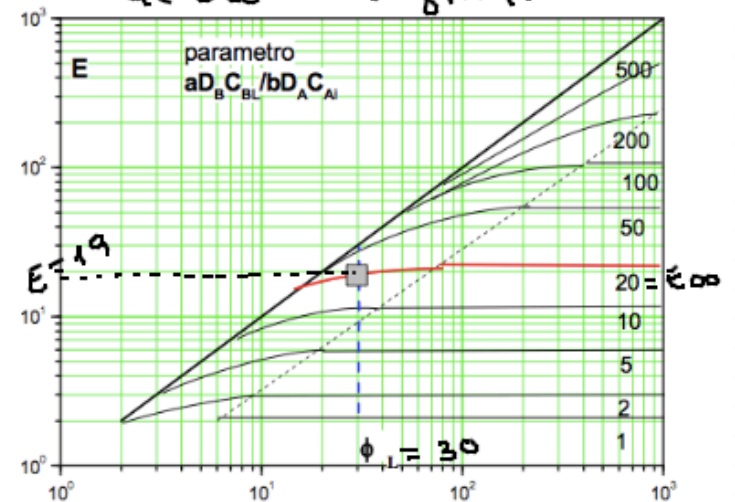
Calcular ϕ_L , $E_{A\infty}$

Compararlos

Si $\phi_L \ll E_{\infty}$ $E = \phi_L$

Si $\phi_L \gg E_{\infty}$ $E = E_{\infty}$

Si ϕ_L no es muy diferente de $E_{\infty} \rightarrow$ gráfico



Ejercicio.3

1354

En una reacción gas- líquido de primer orden en el compuesto gaseoso se tienen las siguientes condiciones.

$$P_A = 0,1 \text{ atm} \quad C_B = 510^{-5} \text{ mol cm}^{-3} \quad k_r = 50 \text{ s}^{-1} \\ k_G = 2 \text{ mol cm}^{-2} \text{ atm}^{-1} \text{ s}^{-1} \quad k_L = 4 \cdot 10^{-4} \text{ cm s}^{-1}$$

$$D_B = D_A = 2 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} \\ H = 2 \text{ cm}^3 \text{ atm mol}^{-1}$$

Indíquese:

La etapa controlante del proceso →

El flujo de A en la interfase $J_A (X=0)$.

reacción en película y fase líquida
 $0,3 < \phi_L < 3$

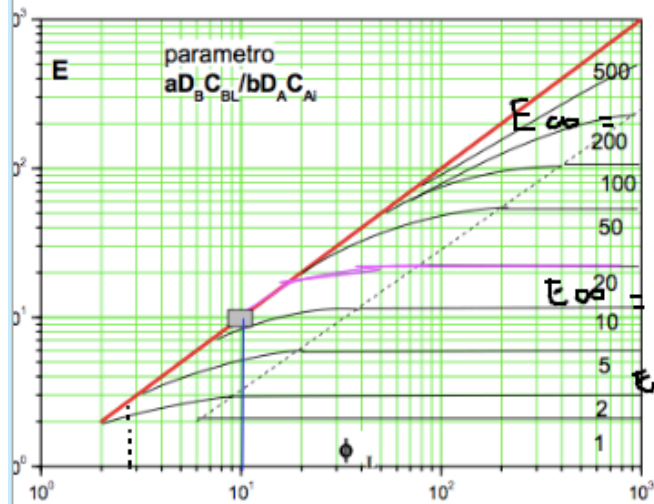
$H k_G \gg k_L E \rightarrow$ transferencia en la fase líquida controla

$$P_A = H \cdot C_{A_i} \quad C_{A_i} = \frac{P_A}{H}$$

$$H k_G = 2 \cdot 2 = 4 \text{ cm s}^{-1}$$

$$k_L E = 4 \cdot 10^{-4} \cdot 1'001 = 4'004 \cdot 10^{-4} \text{ cm s}^{-1}$$

$$\phi_L = \frac{\sqrt{k_r C_B D_A}}{k_L} = \frac{\sqrt{50 \text{ s}^{-1} \cdot 5 \cdot 10^{-5} \text{ mol cm}^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}}}{4 \cdot 10^{-4} \text{ cm s}^{-1}} = 1'77$$



$$1 + \frac{D_B C_{B,L}}{D_A C_{A,i}}$$

$$1 + \frac{D_B C_{B,L}}{D_A \cdot \frac{P_A}{H}}$$

$$1 + \frac{2 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} \cdot 5 \cdot 10^{-5} \text{ mol cm}^{-3}}{2 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} \cdot \frac{0'1 \text{ atm}}{2 \text{ cm}^3 \text{ atm mol}^{-1}}}$$

$$1'001$$

E_{∞} no es mucho menor que $\phi_L \rightarrow E$ gráfico (no se puede leer del gráfico)

$$E_{\infty} < \phi_L$$

$$E = E_{\infty} \quad J_A = \frac{P_{AG}}{\frac{1}{k_G} + \frac{H}{k_L E}} = \frac{0'1}{\frac{1}{2} + \frac{2}{4 \cdot 10^{-4} \cdot 1'001}} = 2'00 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{cm}^2 \text{ s}}$$

EJERCICIO 2

En un proceso para retirar el compuesto A de una mezcla gas por absorción química con una fase líquida, se puede utilizar dos reactivos, las constantes características del proceso y los datos específicos de cada reactivo se recogen en la tabla. La difusividad de A es $9 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ y su presión parcial 0,001 atm

	k_L ms^{-1}	k_G $\text{kmol}(\text{m}^2 \text{ atm s})^{-1}$	k_R s^{-1}	C_{reactivo} Kmol m^{-3}	Difusividad $\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$	H_A $\text{atm m}^3/\text{kmol}$
Reactivo B	$2 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-2}$	100	1,1	$8 \cdot 10^{-9}$	0,5
Reactivo C	$2 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-2}$	300	0,7	$5 \cdot 10^{-9}$	0,5

Indíquese que reactivo proporciona mayor aumento a la absorción física de A = Flujo de A por m^2 de área interfacial, en las condiciones puntuales indicadas. Justifique la respuesta estimando el flujo de A.

Reactivo B calcular ϕ_L , $E \infty$

$$E \infty = 1 + \frac{D_B L_{BL}}{D_A C_{Ai}} = 1 + \frac{D_B \cdot C_{BL}}{D_A \frac{P_A}{H}} = 1 + \frac{8 \cdot 10^{-9} \cdot 1,1}{9 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{0,001}{0,5}} = 489,9$$

$$\phi_L \ll E \infty \quad E = \phi_L = 4,97$$

$$J_A = \frac{P_A G}{\frac{1}{k_G} + \frac{H}{k_L E}} = \frac{0,001}{\frac{1}{5 \cdot 10^{-2}} + \frac{0,5}{2 \cdot 10^{-4} \cdot 4,97}} = 1,91 \cdot 10^{-6} \text{ kmol/m}^2 \text{ s}$$

Reactivo C $\phi_L = \frac{\sqrt{300 \cdot 0,7 \cdot 9 \cdot 10^{-9}}}{2 \cdot 10^{-4}} = 6,87$ $E \infty = 1 + \frac{5 \cdot 10^{-9} \cdot 0,7}{9 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{0,001}{0,5}} = 195,4$ $\phi_L \ll E \infty \quad E = \phi_L$

$$J_A = \frac{0,001}{\frac{1}{5 \cdot 10^{-2}} + \frac{0,5}{2 \cdot 10^{-4} \cdot 6,87}} = 1,77 \cdot 10^{-6} \text{ kmol/m}^2 \text{ s}$$

$$P_A = H \cdot C_{Ai}$$

$$C_{Ai} = \frac{P_A}{H}$$

$$J_{A \text{ reactivo B}} > J_{A \text{ reactivo C}}$$

EJERCICIO 3

Indíquese un modelo que explique el comportamiento de un sistema gas líquido que tenga las siguientes características.

$$H = 10 \text{ kmol}^{-1} \text{ m}^3 \text{ atm} \quad P_{AG} = 0.08 \text{ atm} \quad C_{BL} = 4 \text{ kmol m}^{-3} \quad D_A = D_B = 3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \\ k_L = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m s}^{-1} \quad k_R = 1.4 \text{ m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1} \quad k_G = 2 \text{ kmol m}^{-2} \text{ atm}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

$$\phi_L = \frac{\sqrt{k_R C_{BL} D_A}}{k_L} = \frac{\sqrt{1.4 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 10^{-5}}}{5 \cdot 10^{-4}} = 25.92$$

$$E_{\infty} = 1 + \frac{D_B \cdot C_{BL}}{D_A \cdot C_{A,Li}} = 1 + \frac{D_B \cdot C_{BL}}{D_A \cdot \frac{P_{AG}}{H}} = 1 + \frac{3 \cdot 10^{-5} \cdot 4}{3 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{0.08}{10}} = 50.1$$

$$\phi_L \ll E_{\infty} \Rightarrow E = \phi_L = 25.92$$

En este caso la concentración de B, C_B , se mantiene constante en la película líquida, se comporta como una reacción de pseudo primer orden (estos casos se recogen en la línea roja del gráfico) $k_r \rightarrow$ reacción rápida

$$J_A = \frac{P_{AG}}{\frac{1}{k_G} + \frac{H}{k_L E}} = \frac{0.08}{\frac{1}{2} + \frac{10}{5 \cdot 10^{-4} \cdot 25.92}} = 1.036 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \text{ s}}$$

resistencia al transporte en la fase gas
resistencia a la difusión en la fase líquida