

Operaciones Unitarias 2

Ejercicios Ago 2020 – Ene 2021

Unidad 1 – Fundamentos de transferencia de masa

EJERCICIO 1 (6 puntos)

Estimar la difusividad del vapor de ciclohexano (C_6H_{12}) en aire a 25 °C y 1.5 atm, mediante (A) la teoría cinética de Chapman-Enskog, y (B) el método de Fuller.

RESPUESTA: (A) 0.0518 cm²/s, (B) 0.0558 cm²/s

EJERCICIO 2 (4 puntos)

Estimar la difusividad del vapor de n-octano en aire a 75 °C y 0.8 bar.

RESPUESTA: 0.109 cm²/s

EJERCICIO 3 (2 puntos)

El Manual del Ingeniero Químico, 7ª edición, reporta 0.0818 cm²/s para la difusividad del vapor de alcohol isopropílico en aire, a 0 °C y 1 atm. De acuerdo a la extrapolación de Hirschfelder, ¿cuál será su difusividad a 60 °C y 1.5 bar?

RESPUESTA: 0.0744 cm²/s

EJERCICIO 4 (8 puntos)

Estimar la difusividad en una mezcla equimolar de nitrógeno y etano, a 15 °C y 47 atm.

RESPUESTA: 0.00221 cm²/s

EJERCICIO 5 (4 puntos)

En el buceo de profundidad, generalmente se necesita respirar mezclas de gases diferentes al aire, debido a los efectos narcóticos del nitrógeno a alta presión. Un tipo de mezcla frecuentemente empleada, el trimix, está formada de oxígeno, helio y nitrógeno en determinadas proporciones. Calcular la difusividad a 20 °C y 1 atm del oxígeno en trimix 15/55 (15% O₂, 55% He, 30% N₂), sabiendo que a esa temperatura $\mathcal{D}_{O_2-N_2} = 0.22$ cm²/s y $\mathcal{D}_{O_2-He} = 0.70$ cm²/s. Comparar con la difusividad del oxígeno en aire, $\mathcal{D}_{O_2-aire} = 0.196$ cm²/s.

RESPUESTA: 0.395 cm²/s

EJERCICIO 6 (6 puntos)

Estimar el paracoro de los siguientes compuestos: (A) n-hexano, (B) iso-octano, (C) metil-terbutil-éter, (D) fenol, (E) tiofeno.

RESPUESTAS: (A) 270, (B) 343.7, (C) 245.4, (D) 219.4, (E) 188.3 g^{1/4}·cm³/mol·s^{1/2}

EJERCICIO 7 (8 puntos)

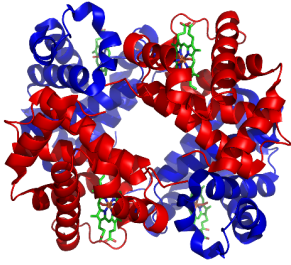
Estimar la difusividad del ciclopentanol (C₅H₉OH) en agua a 20 °C, aplicando (A) el modelo de Wilke-Chang y (B) el método de Tyn y Calus.

RESPUESTA: (A) 8.98×10⁻⁶ cm²/s, (B) 9.15×10⁻⁶ cm²/s

EJERCICIO 8 (4 puntos)

El hidróxido de sodio es un álcali fuerte que se puede emplear en solución diluida para ajustar el pH en algunas situaciones. Estimar la difusividad del NaOH en solución acuosa diluida a 72 °C.

RESPUESTA: 4.73×10⁻⁵ cm²/s

EJERCICIO 9 (4 puntos)

La hemoglobina (ilustrada a la izquierda) es una molécula compleja encargada de transportar oxígeno y dióxido de carbono en la sangre. Tiene un peso molecular cercano a los 64,500 g/mol (Van Beekvelt, 2001). La difusividad de la hemoglobina, a dilución infinita en agua a 25 °C, es 6.9×10^{-7} cm²/s (Cussler, 1997). Estimar su difusividad a dilución infinita en agua a 37 °C.

Referencias:

Cussler E.L. (1997). "Diffusion: Mass Transfer in Fluid Systems". 2nd Edition, Cambridge University Press.
 Van Beekvelt M.C., Colier W.N., Wevers R.A., Van Engelen B.G. (2001). "Performance of near-infrared spectroscopy in measuring local O₂ consumption and blood flow in skeletal muscle". *J Appl Physiol* **90** (2): 511-519.

RESPUESTA: 9.22×10^{-7} cm²/s

EJERCICIO 10 (5 puntos)

En cada caso, resolver la ecuación diferencial. Cuando se proporcione condiciones de frontera, emplearlas para obtener la solución particular.

RESPUESTAS:

1. $\frac{dy}{dx} - 3x^2 + 1 = 0$

$$y = x^3 - x + C$$

2. $\frac{dy}{dx} + e^{-3x} = 0$

$$y = \frac{1}{3} e^{-3x} + C$$

3. $x \frac{dy}{dx} - 2y = 6$ con $y = -1$ cuando $x = 1$

$$y = 2x^2 - 3$$

4. $\frac{dy}{dx} + y = e^{3x}$ sujeta a $y(0) = 1$

$$y = \frac{1}{4} e^{3x} + \frac{3}{4} e^{-x}$$

5. $\frac{d}{dx} \left(x \frac{dy}{dx} \right) = 0$

$$y = C_1 \ln x + C_2$$

6. $\frac{d^2 y}{dx^2} - \frac{dy}{dx} - 2y = 0$

$$y = C_1 e^{2x} + C_2 e^{-x}$$

7. $\frac{d^2 y}{dx^2} + 9y = 0$

$$y = C_1 \sin(3x) + C_2 \cos(3x)$$

8. $\frac{d^2 y}{dx^2} - 10 \frac{dy}{dx} + 25y = 0$

$$y = C_1 e^{5x} + C_2 x e^{5x}$$

9. $\frac{d^2 y}{dx^2} - 4 \frac{dy}{dx} + 5y = 0$

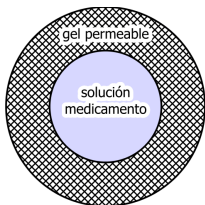
$$y = C_1 e^{2x} \sin x + C_2 e^{2x} \cos x$$

10. $2 \frac{d^2 y}{dx^2} + 3 \frac{dy}{dx} = 0$ sujeta a $y(0) = 11$ y $y'(0) = -10.5$

$$y = 4 + 7e^{-1.5x}$$

EJERCICIO 11 (4 puntos)

Cuando a una persona se le administra una medicina, es ocasionalmente necesario que el medicamento sea liberado lentamente para que sea efectivo durante un mayor tiempo. Supóngase que se emplean cápsulas esféricas huecas de gel permeable llenas de una solución acuosa del medicamento, con una concentración C_{A0} . Demostrar que el perfil de concentraciones del medicamento C_A en función de r está dado por:

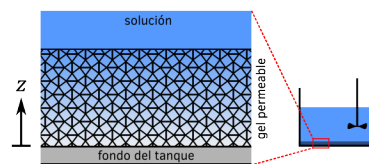


$$C_A(r) = C_{A0} \frac{R_1(R_2 - r)}{r(R_2 - R_1)} \quad \text{para } R_1 \leq r \leq R_2$$

donde R_1 es el radio interno y R_2 es el radio externo de la cápsula. Se puede asumir que la concentración C_{A0} es bastante baja (sistema diluido) y que no cambia con el tiempo (estado estable). También se puede asumir que fuera de la cápsula la concentración del medicamento es cero.

EJERCICIO 12 (6 puntos)

En un tanque se tiene una solución de un reactivo A con concentración C_0 . El fondo del tanque se encuentra recubierto con una capa de gel permeable de espesor L . El reactivo A se difunde a través del gel, donde ocurre la reacción química $A \longrightarrow B$ con cinética de primer orden ($-r_A = kC_A$). Determinar el perfil de concentración de A en el gel, asumiendo estado estable.



RESPUESTA:
$$C_A = C_0 \frac{\cosh(z\sqrt{k / \mathcal{D}_{AB}})}{\cosh(L\sqrt{k / \mathcal{D}_{AB}})}$$

Unidad 2 – Transferencia de masa por convección**EJERCICIO 13** (5 puntos)

Para un equipo de transferencia de masa, que opera a 25 °C y 0.8 atm, se sabe que el coeficiente de transferencia de masa para la fase gaseosa es $k_G^0 = 0.272 \text{ kmol/atm}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}$. El mismo equipo se va a utilizar para evaporar pentano, bajo las mismas condiciones de temperatura y presión. En la superficie donde ocurre la evaporación, la presión parcial de pentano es igual a su presión de vapor (0.673 atm a 25 °C), y el aire lejos de dicha superficie se puede asumir libre de pentano. Determinar los coeficientes de transferencia de masa k_G , k_C y k_y .

RESPUESTA: $k_G = 0.595 \text{ kmol/atm}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}$, $k_C = 14.56 \text{ m/h}$, $k_y = 0.476 \text{ kmol/m}^2\cdot\text{h}$

EJERCICIO 14 (10 puntos)

Se necesita promover el crecimiento de un microorganismo aerobio en un medio de cultivo líquido. Para mantener la concentración necesaria de oxígeno disuelto, se va a burbujear oxígeno puro en el fondo del tanque. Las burbujas de oxígeno tienen un diámetro promedio de 2.5 mm. El líquido se mantiene sin agitación, por lo que las burbujas ascienden sólo por flotación. El sistema se mantiene a 30 °C y 1 atm. La densidad y viscosidad del líquido son, respectivamente, 1.15 g/cm³ y 3.3 cP. El oxígeno es sólo ligeramente soluble en el medio de cultivo y su difusividad en el líquido es $2.1 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$. Estimar el valor del coeficiente de transferencia de masa k_L .

RESPUESTA: $7.66 \times 10^{-5} \text{ m/s}$

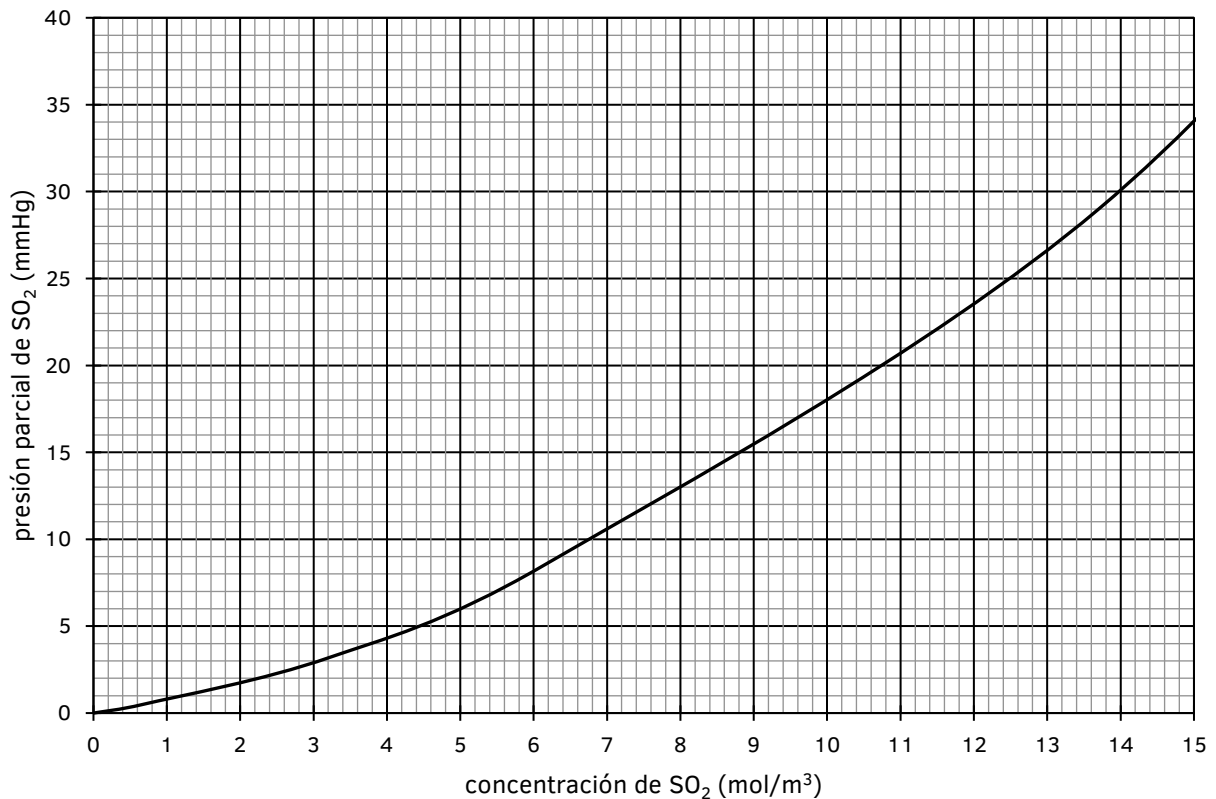
EJERCICIO 15 (15 puntos)

Una placa cuadrada de naftalina de 12 cm de lado se encuentra orientada paralela a una corriente de aire que se mueve a 0.473 m/s. El aire se encuentra a 25 °C y 1 atm (presión absoluta). La difusividad de la naftalina en el aire, a las condiciones del sistema, es 0.0586 cm²/s y su presión de vapor a 25 °C es 0.2 mmHg. Calcular la rapidez con la que se está sublimando la naftalina (en mol/m²·s).

RESPUESTA: 2.8335×10^{-5} mol/m²·s

EJERCICIO 16 (20 puntos)

Se emplea un equipo de absorción operando a 20 °C y 1 atm para remover el dióxido de azufre de una corriente de aire empleando agua. En cierto punto del equipo, la presión parcial de SO₂ en el gas era 30 mmHg, y el líquido en contacto tenía una concentración de SO₂ de 2.7 mol/m³. La densidad de flujo molar del SO₂ era $n_A = 3.325$ mol/m²·h y el coeficiente individual de transferencia de masa para el gas era $k_G = 0.475$ mol/mmHg·m²·h. Determinar las condiciones de la interfase ($C_{A,i}$ y $P_{A,i}$), el coeficiente global de transferencia para el gas (K_G) y los coeficientes individual y global de transferencia para el líquido (k_L y K_L). En la gráfica ubicar las condiciones globales del sistema, las condiciones de la interfase, y trazar la línea de potencial.

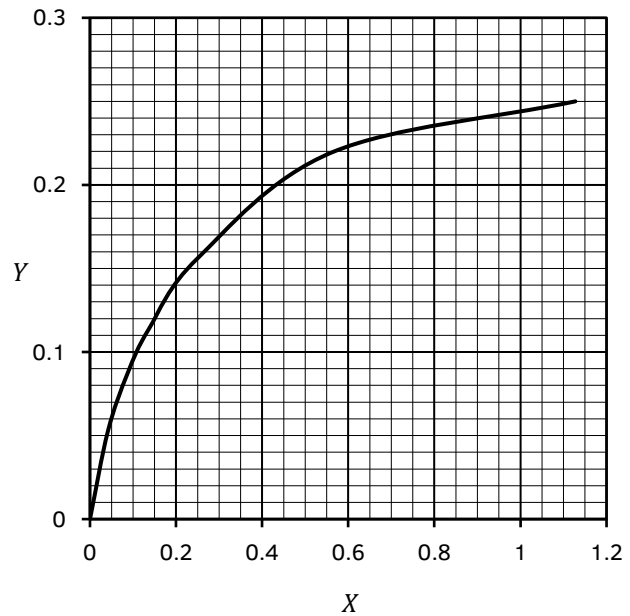
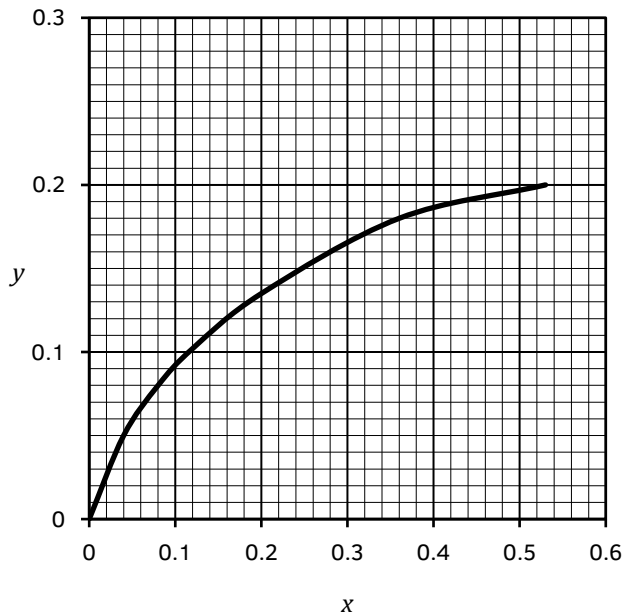


RESPUESTA: $C_{A,i} = 11.8$ mol/m³, $P_{A,i} = 23$ mmHg, $K_G = 0.1209$ mol/mmHg·m²·h, $k_L = 0.365$ m/h, $K_L = 0.294$ m/h

Unidad 3 – Absorción

EJERCICIO 17 (10 puntos)

A una columna empacada para absorción a contracorriente se alimentan 147 kmol/h de un gas que contiene 18.6% volumen de vapor de éter etílico y el resto de aire, a 25 °C y 1 atm de presión absoluta. Por la parte superior se alimenta un solvente líquido puro. Se requiere que el aire salga con un contenido máximo de éter de 6.5% volumen. Determinar **(A)** el flujo mínimo de solvente, en kmol/h, y **(B)** el contenido de éter en el líquido que sale de la columna, en % mol, cuando se alimenta 1.4 veces la cantidad mínima de solvente.



RESPUESTA: (A) 42.28 kmol/h, (B) 24.32%

EJERCICIO 18 (20 puntos)

Adaptado de Treybal (1980).

Se desea remover el vapor de benceno de una corriente de nitrógeno, absorbiéndolo a contracorriente en queroseno en una torre empacada. La corriente de gas que se alimenta a la columna tiene un flujo de 1.5 m³/s, a 25 °C y 1.1 bar, y contiene 5% mol de benceno. El gas que sale es esencialmente nitrógeno puro. El líquido alimentado tiene una densidad de 800 kg/m³, una viscosidad de 2.3 cP, y se alimenta a razón de 4 kg/s. El empaque a utilizar es anillos Pall de metal de 2 pulgadas. Calcular el diámetro que debe tener la columna para operar con una caída de presión del gas de 400 Pa/m.

EJERCICIO 19 (20 puntos)

Adaptado en parte de Chohey (2003) "Handbook of Chemical Engineering Calculations", McGraw-Hill.

Se va a utilizar una columna empacada para remover el amoníaco de una corriente de aire (2% volumen de amoníaco) empleando agua. Los flujos de alimentación son 11.64 m³/s del gas (medido a la temperatura de operación de 26 °C) y 700 LPM del agua. El gas debe salir con una concentración de amoníaco de 53 partes por millón (en volumen). La columna tiene un diámetro de 4 pies. El sistema se puede asumir diluido, por lo que el factor de absorción es constante. La línea de equilibrio está descrita por la ecuación $y = 1.06x$, donde x y y son las fracciones mol de amoníaco en el agua y en el aire, respectivamente. Para el empaque utilizado en la columna, la altura de la unidad de transferencia es 0.74 m. Determinar la altura de empaque que se necesita en la columna.