

Operaciones Unitarias 2

Ejercicios Agosto – Diciembre 2018

Unidad 1

EJERCICIO 1

Estimar la difusividad del amoniaco en argón, a 255 K y 1 bar, aplicando (A) la teoría cinética de Chapman-Enskog, y (B) el método de Fuller. En ambos casos, calcular el porcentaje de error sabiendo que el valor experimental de la difusividad a 255 K y 1 bar es 0.152 cm²/s (dato experimental de Srivstava y Srivastava, *Journal of Chemical Physics*, 36:2616, 1962; citado por Reid, Prausnitz y Poling, “*The Properties of Gases and Liquids*”, 1987).

RESPUESTA: (A) 0.155 cm²/s, (B) 0.171 cm²/s

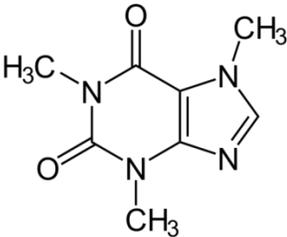
EJERCICIO 2

La difusividad experimental del vapor de ácido acético en aire a 0 °C y 1 atm es 0.1064 cm²/s (Perry, 7ª edición, Tabla 2.371). ¿Cuál será su difusividad a 80 °C y 2.5 atm?

RESPUESTA: 0.06257 cm²/s

EJERCICIO 3 – OPCIONAL

La cafeína es un alcaloide (del grupo de las xantinas) de sabor amargo, estimulante del sistema nervioso central, y relacionado químicamente con la adenina y la guanina (bases del ADN y ARN). Muchas bebidas contienen cafeína, incluyendo el café y el té negro. Uno de los métodos para extraer la cafeína de los granos de café es mediante dióxido de carbono a alta presión.

<div style="text-align: center;">CAFEÍNA</div> 	Fórmula molecular	C ₈ H ₁₀ N ₄ O ₂
	Número CAS	58-08-2
	Peso molecular	194.19 g/mol
	Punto de fusión	238 °C
	Punto de ebullición	N/D <small>(sublima a 178 °C)</small>
	Temperatura crítica	N/D
	Presión crítica	N/D
	Volumen molar crítico	N/D
	Densidad de sólido (18 °C)	1.23 g/cm ³
	Solubilidad en 100 g de agua	2.1 g

N/D = no disponible.

- (A) Estimar la difusividad de la cafeína en CO₂ a 400 K y 1 bar, empleando el método de Chapman-Enskog.
- (B) Estimar la difusividad de la cafeína en CO₂ a 400 K y 100 bar, empleando el método de Takahasi. Asumir que las propiedades pseudocríticas son iguales a las del CO₂ puro (válido si la concentración de cafeína es baja).

RESPUESTA: (A) 0.060 cm²/s, (B) 4.8×10⁻⁴ cm²/s

EJERCICIO 4

Estimar la difusividad del ciclopentanol (C₅H₉OH) en agua a 20 °C, aplicando el modelo de Wilke-Chang.

RESPUESTA: 9.84×10⁻⁶ cm²/s

EJERCICIO 5

Estimar la difusividad del agua en acetona líquida a 0 °C, empleando el método de Tyn y Calus. La viscosidad de la acetona a 0 °C es 3.197×10⁻⁴ Pa·s.

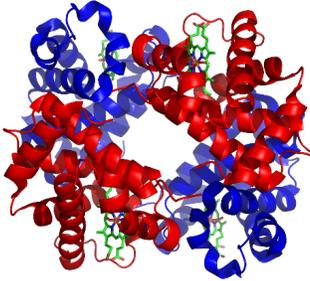
RESPUESTA: 4.23×10⁻⁵ cm²/s

EJERCICIO 6

Estimar la difusividad del cloruro férrico en solución acuosa diluida a 39 °C.

RESPUESTA: $1.71 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$

EJERCICIO 7



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 $6.9 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$ (Cussler, 1997). Estimar su difusividad a dilución infinita en agua a 37 °C, de acuerdo al método de Stokes-Einstein.

Referencias:

Cussler E.L. (1997). "Diffusion: Mass Transfer in Fluid Systems". 2nd Edition, Cambridge University Press.
Van Beekvelt M.C., Collier 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: $9.26 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$

EJERCICIO 8 – OPCIONAL

La **etanolamina** (también llamada 2-aminoetanol o monoetanolamina, abreviado MEA) es un compuesto orgánico que es a la vez una amina primaria y un alcohol primario. A temperatura ambiente es un líquido viscoso incoloro, inflamable y corrosivo con olor similar al amoníaco. Se emplea en solución acuosa para remover gases ácidos como el H_2S y el CO_2 de corrientes gaseosas. También se emplea como materia prima en la producción de detergentes, emulsificantes, medicamentos y varios intermediarios químicos.

ETANOLAMINA	Fórmula	$\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$
	Número CAS	141-43-5
	Punto de fusión	10.35 °C
	Punto de ebullición	170.3 °C
	Temperatura crítica	340 °C
	Presión crítica	44.5 bar
	Volumen molar crítico	196 cm^3/mol
	Factor acéntrico	0.838
	Densidad de líquido	1.012 g/cm^3
	Momento dipolo	2.6 debye

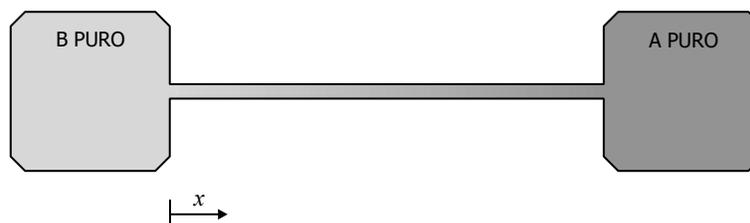
(A) Calcular la difusividad del vapor de etanolamina en aire a 230 °C y 3 atm.

(B) Calcular la difusividad de la etanolamina en dilución infinita en agua a 47 °C.

RESPUESTA: (A) $0.0862 \text{ cm}^2/\text{s}$, (B) $2.026 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$

EJERCICIO 9

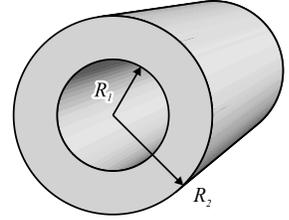
Se tienen dos recipientes grandes, llenos de dos gases puros A y B respectivamente. Los recipientes están unidos por un tubo capilar delgado de longitud L y diámetro D . La temperatura T y la presión P del sistema son constantes. Encontrar el perfil de concentraciones para la fracción mol de A (y_A) en función de x , así como la densidad de flujo molar (n_A).



RESPUESTA: $y_A = \frac{x}{L}$, $n_A = -\frac{\mathcal{D}_{AB}P}{RTL}$

EJERCICIO 10

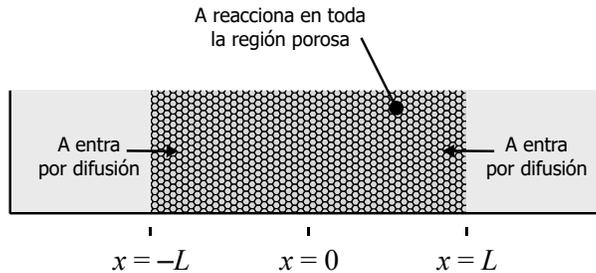
Se emplea un tubo de membrana permeable (radio interno R_1 y radio externo R_2) para remover el dióxido de carbono de una corriente de aire cuya presión parcial de CO_2 es P_{A0} . El CO_2 se difunde radialmente a través de la pared del tubo desde el interior hacia el exterior, donde existe aire esencialmente libre de CO_2 . Al mismo tiempo, entra oxígeno a través de la pared, de tal forma que la presión total del sistema se mantiene constante. Aunque la presión parcial de CO_2 va a ir disminuyendo a lo largo del tubo, en este ejercicio se analiza sólo la difusión en la porción inicial del tubo, por lo que P_{A0} puede asumirse constante. (A) Encontrar el perfil de presión parcial de CO_2 en la pared del tubo. (B, opcional) Encontrar una expresión para la densidad de flujo molar de A ($n_{A,r}$).



$$\text{RESPUESTA: } P_A = P_{A0} \frac{\ln(r/R_2)}{\ln(R_1/R_2)}, \quad n_A = \frac{\mathcal{D}_{AB} P_{A0}}{rRT \ln(R_2/R_1)}$$

EJERCICIO 11

Un ducto de longitud total $2L$, lleno de un gel permeable, conecta dos recipientes idénticos llenos de una solución diluida de un reactivo A, con concentración C_0 . Este reactivo entra por difusión al gel, donde ocurre una reacción de primer orden $A \longrightarrow \text{productos}$. Ubicando el origen del sistema de coordenadas en el centro del ducto, determinar el perfil de concentración de A en función de la posición en el gel.



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