

Mecanismos de Transferencia

Ejercicios Enero – Junio 2020

Unidad 1 – Análisis dimensional

EJERCICIO 1

Demostrar que la ecuación de gas ideal, $PV = nRT$, cumple con el principio de homogeneidad dimensional. Usar para la constante universal de los gases las unidades $J/mol \cdot K$.

EJERCICIO 2

A partir de las unidades dadas, deducir las dimensiones de: (A) potencia, W; (B) tensión superficial, N/m; (C) conductividad térmica, $W/m \cdot K$; (D) capacidad calorífica molar, $J/mol \cdot K$; (E) conductividad eléctrica, S/m.

NOTA: $1 S = 1 \text{ siemen} = 1 (\text{ohm})^{-1} = 1 \text{ ampere/volt}$.

RESPUESTA: (A) ML^2T^{-3} (B) MT^{-2} (C) $MLT^{-3}\Theta^{-1}$ (D) $ML^2T^{-2}\Theta^{-1}N^{-1}$ (E) $M^{-1}L^{-3}T^3I^2$

EJERCICIO 3

En un experimento de laboratorio de mecánica de fluidos, se vacía un tanque de diámetro D que tiene un nivel inicial de agua h_0 . El agujero de drenaje está perfectamente redondeado y tiene diámetro d . El experimentador supone que el tiempo de vaciado t depende de h_0 , D y d , así como de la gravedad g , y de la densidad ρ y viscosidad μ del agua. Empleando el teorema pi de Buckingham, encontrar un conjunto de grupos adimensionales pertinentes a este experimento.

$$\text{RESPUESTA: } \pi_1 = \frac{t^2 g}{D}, \quad \pi_2 = \frac{d}{D}, \quad \pi_3 = \frac{h_0}{D}, \quad \pi_4 = \frac{\mu^2}{\rho^2 g D^3}$$

EJERCICIO 4 – OPCIONAL

El flujo volumétrico F que se obtiene de una bomba depende de la potencia \dot{W} de la bomba, del diámetro D de la tubería de descarga y de la densidad ρ y viscosidad μ del fluido bombeado. Aplicando el teorema pi de Buckingham, determinar un conjunto de grupos adimensionales que relacione estas variables.

$$\text{RESPUESTA: } \pi_1 = \frac{F^2 \mu}{D^3 \dot{W}}, \quad \pi_2 = \frac{\rho^2 D \dot{W}}{\mu^3}$$

EJERCICIO 5

La convección entre una esfera y un fluido en movimiento está caracterizada por un parámetro llamado coeficiente de transferencia de calor por convección (h , en $W/m^2 \cdot K$), que depende del diámetro de la esfera (D), la velocidad del fluido (v), y de las propiedades del fluido como su densidad (ρ), su viscosidad (μ), su capacidad calorífica (c_p , en $J/kg \cdot K$) y su conductividad térmica (k , en $W/m \cdot K$). Determinar un conjunto de números adimensionales para este caso.

$$\text{UNA RESPUESTA: } \pi_1 = \frac{hD}{k}, \quad \pi_2 = \frac{\mu}{\rho v D}, \quad \pi_3 = \frac{\rho v D c_p}{k}$$

EJERCICIO 6

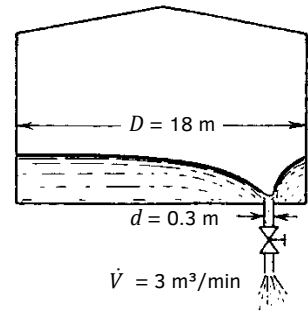
Se desea estudiar la sedimentación de las partículas de polvo en aire, mediante un modelo a escala ampliada que usará gravilla triturada sedimentando en glicerina. Las partículas de polvo tienen un diámetro promedio de $2.5 \mu\text{m}$ y densidad de 1850 kg/m^3 , y el aire en el que se encuentran tiene densidad de 1.2 kg/m^3 y viscosidad de $180 \mu\text{P}$. Calcular qué diámetro promedio debe tener la gravilla, para igualar el número de Arquímedes, si tiene una densidad de 2730 kg/m^3 , y la glicerina que se utilizará tiene densidad de 754 kg/m^3 y viscosidad de $1.85 \text{ Pa}\cdot\text{s}$.

RESPUESTA: 4.71 mm.

EJERCICIO 7

Adaptado de Bird (1960)

Se planea construir un tanque de almacenamiento de melaza de 18 m de diámetro, con una tubería de salida de 0.3 m de diámetro colocada a 1.2 m de la pared lateral del tanque. El flujo volumétrico de salida debe ser $3 \text{ m}^3/\text{min}$. Se sabe por experiencia que al extraer la melaza se forma un vórtice. Cuando disminuye el nivel del líquido, el vórtice alcanza finalmente la tubería de salida, succionándose aire junto con la melaza, lo que es una situación indeseable. El comportamiento de este sistema se va a estudiar usando agua (asumir 1 g/cm^3 y 1 cP) en un modelo a escala reducida, dinámicamente similar. Determinar las dimensiones y las condiciones de operación del modelo, sabiendo que la densidad de la melaza es 1.283 g/cm^3 y su viscosidad es 56.7 cP .



Los grupos adimensionales relevantes son $Re = \frac{\rho v d}{\mu}$ y $Fr = \frac{v}{\sqrt{gD}}$ (v es la velocidad del fluido en la tubería de salida).

RESPUESTA: El tanque debe medir 1.44 m de diámetro, la tubería de salida debe medir 2.4 cm de diámetro y estar ubicada a 9.6 cm de la pared lateral, y el flujo de salida debe ser 5.43 L/min .

EJERCICIO 8

Cuando una válvula se cierra repentinamente, se produce una onda de presión llamada "golpe de ariete", generada por la rápida desaceleración del fluido que circula en la tubería. Esta onda de presión puede causar daños a la tubería o a los accesorios que tenga instalados, incluyendo la misma válvula que la causó.

- (A) Si la presión generada (P , en pascales) depende de la densidad del fluido (ρ , kg/m^3), la velocidad con la que circula en la tubería (v , m/s), la velocidad del sonido en el fluido (c , m/s), la longitud de la tubería (L , m) y el diámetro de la tubería (D , m), determinar un conjunto de grupos adimensionales que relacionen estas variables.
- (B) Se está planeando instalar una válvula industrial en una tubería de 6 plg de diámetro y 30 m de longitud por la cual circularía tetracloruro de carbono ($\rho = 1595 \text{ kg/m}^3$) fluyendo a una velocidad de 3 m/s . Para evaluar los efectos del golpe de ariete en ese sistema, se va a estudiar un modelo a escala reducida, empleando agua ($\rho = 997 \text{ kg/m}^3$) que circulará por una tubería de $\frac{1}{2}$ plg de diámetro. La velocidad del sonido en el agua es 1498 m/s y en el CCl_4 es 956 m/s . Empleando los grupos adimensionales obtenidos en el inciso (A), determinar qué longitud debe tener la tubería y a qué velocidad debe hacerse circular el agua en el modelo, y qué presión se esperaría del golpe de ariete en la válvula real, si la presión generada en el modelo reducido fue 5 MPa .

RESPUESTA: (B) 2.5 m, 4.7 m/s, 3.26 MPa.

EJERCICIO 9 – OPCIONAL

Ejercicio libre – Buscar un ejercicio (no se aceptan ejemplos resueltos) pertinente al contenido de esta unidad en alguna de las referencias bibliográficas (preferentemente no internet) y resolverlo. Indispensable anexar la copia de la página donde aparece el ejercicio, anotando en esa copia los datos bibliográficos del libro.

EJERCICIO 10 – OPCIONAL

Se desea diseñar un gotero para administrar un medicamento en solución. Se sabe que la masa m de las gotas obtenidas depende únicamente del diámetro del gotero D , de la densidad ρ y tensión superficial σ del líquido, así como de la gravedad g .

- (A) Determinar un conjunto de grupos adimensionales que relacionen estos parámetros.
(B) Usando los grupos obtenidos en el inciso (A), determinar qué masa deberán tener las gotas de agua en las pruebas, si se desea que cada gota de medicamento tenga una masa de 21 mg, y qué diámetro deberá tener el gotero del medicamento, si las pruebas con agua se realizaron usando un gotero de 2 mm de diámetro.

	① agua a 20 °C	② medicamento
densidad	$\rho_1 = 998 \text{ kg/m}^3$	$\rho_2 = 1340 \text{ kg/m}^3$
tensión superficial	$\sigma_1 = 0.0729 \text{ N/m}$	$\sigma_2 = 0.0470 \text{ N/m}$

RESPUESTA: $D_2 = 1.38 \text{ mm}$, $m_1 = 47 \text{ mg}$

Unidad 2 – Transferencia de momentum

EJERCICIO 11

Estimar la viscosidad del vapor de cloroformo a 200 °C y 1 atm, aplicando (A) la teoría cinética de Chapman-Enskog y (B) el método de Stiel y Thodos.

RESPUESTA: (A) $1.61 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ (B) $1.63 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$

EJERCICIO 12

Estimar la viscosidad del ciclopropano gaseoso a 435 °C y 110 atm.

RESPUESTA: 254 μP

EJERCICIO 13

Calcular la viscosidad de una mezcla gaseosa de 24% mol amoníaco y 76% mol hidrógeno a 33 °C. A esa temperatura, la viscosidad del H_2 es 90.6 μP y la viscosidad del NH_3 es 105.9 μP .

RESPUESTA: 106.9 μP

EJERCICIO 14 – OPCIONAL

Construir una gráfica de la viscosidad de mezclas gaseosas de amoníaco e hidrógeno a 33 °C, en función de la fracción mol de amoníaco. A esa temperatura, la viscosidad del H_2 es 90.6 μP y la viscosidad del NH_3 es 105.9 μP .

EJERCICIO 15

Un aceite para motor tiene una viscosidad de 3850 cP a 0 °C y de 53 cP a 65 °C. Asumiendo que la ecuación de Andrade es aplicable para este aceite, estimar su viscosidad a 25 °C.

RESPUESTA: 594 cP

EJERCICIO 16

Estimar la viscosidad del iso-butirato de metilo líquido a 20 °C, empleando el método de Orrick y Erbar. Su densidad a 20 °C es 0.891 g/cm³.

RESPUESTA: 0.489 cP

EJERCICIO 17 – OPCIONAL

Estimar la viscosidad de m-xileno líquido a 140 °C, empleando el método de Przedziecki y Sridhar. Los siguientes datos del m-xileno se encuentran en el apéndice A de Poling *et al.* (2000): $M = 106.167$ g/mol, $T_m = 225.28$ K, $T_c = 617.0$ K, $P_c = 35.41$ bar, $\tilde{V}_c = 375$ cm³/mol, $\omega = 0.327$. También de la misma fuente, se obtiene el volumen molar de líquido, 123.47 cm³/mol a 298.15 K.

RESPUESTA: 0.232 cP.

EJERCICIO 18



La fosa de las Marianas es el punto más profundo del océano (10.91 km), con una presión promedio de 1100 bar y una temperatura de 4 °C. Estimar la viscosidad del agua de mar en esas condiciones. A 4 °C y 1 atm, la viscosidad del agua de mar (con una salinidad típica de 35 g/kg) es 1.72 cP, su densidad es 1.028 kg/m³, y su presión de vapor es 721 Pa. Otros datos pueden asumirse los del agua pura.

RESPUESTA: 2.02 cP

EJERCICIO 19

Estimar la viscosidad a temperatura ambiente de una mezcla líquida con 33% peso de acetonitrilo y 67% peso de acetato de butilo. La viscosidad de los componentes puros a temperatura ambiente es 0.37 y 2.98 cP, respectivamente.

RESPUESTA: 0.885 cP

EJERCICIO 20 – OPCIONAL

En un proceso industrial se va a requerir bombear una suspensión de carbonato de calcio en agua (10% peso CaCO₃) a 40 °C. El ingeniero a cargo del diseño del proceso necesita la viscosidad de la suspensión para sus cálculos, pero está pensando que tal vez no haya mucho problema si emplea la viscosidad del agua. Estimar la viscosidad de la suspensión, asumiendo que las partículas de carbonato de calcio son esféricas. La densidad del CaCO₃ sólido es 2.71 g/cm³.

RESPUESTA: 0.72 cP.

EJERCICIO 21

Calcular la velocidad terminal de una esfera de bronce (8.52 g/cm³) de 1.6 mm de diámetro si cae en (A) aire a 0 °C y 1 atm, (B) agua a 10 °C, y (C) glicerina a 15 °C ($\rho = 1267$ kg/m³, $\mu = 2.23$ Pa·s). En cada caso, reportar la velocidad terminal en m/s y el valor del número de Reynolds.

RESPUESTA: (A) 17.7 m/s, (B) 0.556 m/s, (C) 0.00454 m/s

Unidad 3 – Transferencia de calor

EJERCICIO 22

Estimar la conductividad térmica del nitrógeno gaseoso a 135 °C y 1 atm. En esas condiciones, su capacidad calorífica a presión constante es 1047 J/kg·K y su viscosidad es 223 μ P.

RESPUESTA: 0.0335 W/m·K

EJERCICIO 23

Estimar la conductividad térmica del monóxido de carbono gaseoso a 377 °C y 1 atm, empleando el método de Chung. Para el monóxido de carbono, $c_p = 35.526 - 0.03253T + 9.828 \times 10^{-5}T^2 - 1.083 \times 10^{-7}T^3 + 4.282 \times 10^{-11}T^4$ (T en K, y c_p en J/mol·K), y su viscosidad a 377 °C es 3.01×10^{-5} Pa·s.

RESPUESTA: 0.0518 W/m·K

EJERCICIO 24

Estimar la conductividad térmica del argón a 110 °C y 147 atm.

RESPUESTA: 0.0267 W/m·K

EJERCICIO 25

Sabiendo que la conductividad térmica de la acetona a 353 K y 1 bar es 0.0157 W/m·K (Reid, 2000), estimar la conductividad térmica de la acetona a 500 °C y 100 atm.

RESPUESTA: 0.0535 W/m·K

EJERCICIO 26

Estimar la conductividad térmica del etanol líquido a 15 °C, empleando (A) el método de Sato y Riedel, y (B) el método de Latini. Calcular el error porcentual en ambos casos, sabiendo que a esa temperatura el valor experimental reportado es 0.174 W/m·K (Perry, 2004).

RESPUESTA: (A) 0.194 W/m·K, (B) 0.161 W/m·K

EJERCICIO 27

Estimar la conductividad térmica de una mezcla líquida de 20% metanol, 50% etanol y 30% éter dietílico (porcentaje molar) a 20 °C. A esa temperatura, la conductividad térmica de los fluidos puros es 0.203, 0.173, y 0.134 W/m·K, respectivamente (Perry, Manual del Ingeniero Químico).

RESPUESTA: 0.1577 W/m·K

EJERCICIO 28 – OPCIONAL

El acetonitrilo, el más simple de los nitrilos, es un líquido incoloro empleado como solvente polar aprótico con aplicaciones en síntesis orgánica, así como en la purificación del butadieno. Se obtiene como subproducto en la fabricación de acrilonitrilo. Entre sus ventajas destacan su miscibilidad con agua, que es líquido en un amplio intervalo de temperatura, y su capacidad de disolver una gran cantidad de sustancias iónicas y no polares debido a su elevado momento dipolo. Su baja viscosidad y escasa reactividad lo hacen útil como fase móvil en cromatografía líquida de alta resolución (HPLC, High Performance Liquid Chromatography). En dosis pequeñas es sólo moderadamente tóxico.

ACETONITRILLO	Número CAS	75-05-8
$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}\equiv\text{N} \\ \\ \text{H} \end{array} $	Punto de fusión	-45 °C
	Punto de ebullición	81.6 °C
	Temperatura crítica	275.35 °C
	Presión crítica	48.3 bar
	Volumen molar crítico	173 cm ³ /mol
	Factor acéntrico	0.327
	Densidad de líquido (@ 20 °C)	0.782 g/cm ³
	Cp de gas ideal (J/mol·°C, T en °C, 0 < T < 400 °C)	49.73 + 0.09843T - 4.7625 × 10 ⁻⁵ T ²
	Momento dipolo	3.5 debye

- (A) Estimar la conductividad térmica del vapor de acetonitrilo a 135 °C y 1 atm.
- (B) Estimar la conductividad térmica del acetonitrilo líquido a 15 °C.
- (C) Estimar la conductividad térmica de una solución acuosa de acetonitrilo al 30% peso a 15 °C.

RESPUESTA: (A) 0.0175 W/m·K; (B) 0.202 W/m·K; (C) 0.414 W/m·K

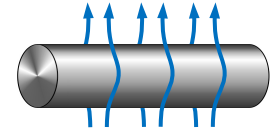
EJERCICIO 29

Considérese un material compuesto formado por microesferas de vidrio de $100\ \mu\text{m}$ de diámetro dispersas en una matriz de polipropileno. Si la conductividad térmica del material compuesto es $0.364\ \text{W/m}\cdot\text{K}$, y la conductividad térmica del vidrio y del polipropileno son 1.1 y $0.25\ \text{W/m}\cdot\text{K}$, respectivamente, estimar la fracción volumen de esferas, y cuántas esferas hay en $1\ \text{mm}^3$ del material compuesto.

RESPUESTA: $\phi = 0.2484$, 474 esferas

EJERCICIO 30

Para enfriar un cilindro metálico de $1\ \text{plg}$ de diámetro, cuya superficie se encuentra a $80\ ^\circ\text{C}$, se va a colocar en una corriente de agua a $10\ ^\circ\text{C}$ moviéndose a $3.5\ \text{cm/s}$ perpendicularmente al eje del cilindro. Estimar el coeficiente de transferencia de calor por convección entre el cilindro y el agua.



RESPUESTA: $850.6\ \text{W/m}^2\cdot\text{K}$

EJERCICIO 31

Adaptado de Incropera (2006)

Usted ha experimentado el enfriamiento por convección si alguna vez sacó la mano por la ventana de un vehículo en movimiento o si la sumergió en una corriente de agua. Si la superficie de la mano se asume a una temperatura constante de $30\ ^\circ\text{C}$, estimar la rapidez con que se pierde calor por convección para (A) una velocidad del vehículo de $35\ \text{km/h}$ en aire a $-5\ ^\circ\text{C}$, y (B) una velocidad de $20\ \text{cm/s}$ en una corriente de agua a $10\ ^\circ\text{C}$. (C, opcional) Explicar por qué se pierde el calor más rápidamente en el caso del agua, a pesar de que el aire está a menor temperatura.

RESPUESTA: (A) $1363.9\ \text{W/m}^2$ (B) $21444\ \text{W/m}^2$

EJERCICIO 32

Estimar la rapidez con la que se pierde calor desde la superficie exterior de una ventana de 2 metros de ancho y 1.5 metros de alto. La superficie del vidrio se encuentra a $20\ ^\circ\text{C}$ (uniforme) y el aire exterior está en reposo a $0\ ^\circ\text{C}$.

PREGUNTA EXTRA OPCIONAL: Si la ventana tiene 1.5 metros de ancho y 2 metros de alto, y las demás condiciones son las mismas, ¿se perderá la misma cantidad de calor? No es necesario calcularla, sólo responder sí o no, y por qué.

RESPUESTA: $238.5\ \text{W}$

EJERCICIO 33

[Asumir que la vaca es una esfera]

RESPUESTA: (A) $239.2\ \text{W}$, (B) $441.9\ \text{W}$

EJERCICIO 34

Determinar la densidad de flujo de calor emitido por radiación (de acuerdo a la ley de Stefan-Boltzmann) y la longitud de onda a la cual se emite la máxima cantidad de radiación (de acuerdo a la ley de Wien) para cada uno de los objetos siguientes, tratados como si fueran cuerpos negros: (A) una persona a temperatura ambiente, $25\ ^\circ\text{C}$, (B) un horno a $180\ ^\circ\text{C}$, y (C) la superficie del Sol a $5000\ \text{K}$.

RESPUESTA: (A) $448\ \text{W/m}^2$, $9.67\ \mu\text{m}$, (C) $3.54 \times 10^7\ \text{W/m}^2$, $576.8\ \text{nm}$.

EJERCICIO 35

En una prueba de transferencia de calor por radiación, se ubican dos rectángulos (asumidos como cuerpos negros) de $9\ \text{cm} \times 18\ \text{cm}$, uno frente al otro paralelamente a una distancia de $5\ \text{cm}$, y se mantienen a temperaturas constantes de $25\ ^\circ\text{C}$ y $50\ ^\circ\text{C}$, respectivamente. Calcular la rapidez neta de flujo de calor entre los dos rectángulos.

RESPUESTA: $1.29\ \text{W}$

ASUMIR QUE LA VACA ES UNA ESFERA

Primero, unos antecedentes...

Un granjero está preocupado porque sus vacas no están produciendo suficiente leche, y decide consultar algunos expertos para tratar de solucionar el problema. Pone un anuncio en el periódico solicitando ayuda profesional para su dilema y espera a que lleguen los especialistas...

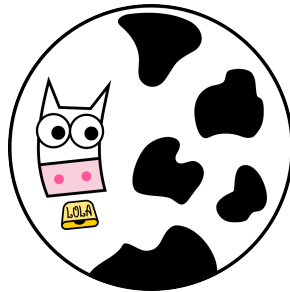
El primero en llegar es un psicólogo. Él le dice al granjero que las vacas están estresadas. Opina que tienen recuerdos traumáticos de su infancia y que seguramente les hizo falta una figura paterna cuando eran terneras. Le recomienda al granjero hablar con ellas todas las tardes y ponerles música instrumental para que se relajen.

Luego viene un ingeniero industrial. Realiza un estudio de tiempos y movimientos mientras ordeña cada vaca, y elabora un manual de procedimientos operativos para la ordeña. Con esto estima que la producción aumentará 12%, aunque recomienda la instalación de ordeñadoras automáticas para realizar la extracción de leche rápida y consistentemente. Si el granjero sigue sus recomendaciones, se podrá certificar bajo la norma ISO 9001 en un año o dos.

También va un decorador de interiores. Éste opina que el granero es muy monótono y pasado de moda. No sigue los principios básicos del Feng-Shui. Sugiere pintar el granero de tonos verdes y cafés, para recrear la sensación del ambiente al aire libre donde las vacas habrían vivido. También recomienda colocar plantas de interior y fotografías de llanuras y pastizales, que armonicen con el estilo general de la habitación.

Después llega un ingeniero civil. Toma las medidas del granero y divide el área total entre el número de vacas, descontando las áreas administrativas y los pasillos para tránsito, y determina que las vacas están muy apretadas. Se necesita un granero más grande, donde a cada vaca se le puedan asignar por lo menos 3.47 m² de espacio.

Finalmente llega un científico. Después de reflexionar unos minutos, empieza a hacer anotaciones en un pizarrón. El granjero no entiende nada de lo que está garabateado, pero se siente esperanzado porque ve que el científico es muy metódico en su desarrollo matemático. Luego de varias horas de intensos cálculos, el científico anuncia triunfalmente que ha resuelto el problema, y empieza a explicarlo: "Primero vamos a asumir que la vaca es una esfera..."



De acuerdo, no es un muy buen chiste. Pero resalta la simplificación que ocasionalmente se hace en ciencia e ingeniería. A veces esta simplificación permite llegar a una respuesta (y algo es mejor que nada), pero hay que tener cuidado de no llevarla al extremo, porque puede ser que el resultado obtenido casi no tenga relación con el fenómeno real que se quiere estudiar.

Ahora sí, el ejercicio...

Una vaca se queda fuera del establo en una fría noche invernal. La vaca está tan asustada que se queda inmóvil. El granjero se da cuenta de que la vaca no está en el granero, pero no quiere tener que salir a buscarla porque ya está listo para irse a dormir. Ya que el granjero sabe que la vaca puede sobrevivir durante la noche si pierde calor con una rapidez menor a 350 watts, se le ocurre hacer primero algunos cálculos para decidir si debe salir a buscarla.

La temperatura ambiente es 4 °C (una temperatura típica de un refrigerador de carnicería) y no sopla viento. La piel de la vaca tiene una temperatura superficial de 28 °C. Estimar la rapidez con la que la vaca pierde calor (en watts) si se asume que la vaca es:

- (A) una esfera de 1.1 m de diámetro.
- (B) un cilindro horizontal de 80 cm de diámetro y 1.4 m de longitud (usar el área total del cilindro, asumiendo que el coeficiente de transferencia de calor de la superficie lateral aplica también para los extremos del cilindro).

¿Es una buena suposición (sobre todo para la vaca) asumir que es una esfera?

EJERCICIO 36

De 2013 a 2019, tenía mi oficina en el edificio K, junto al Laboratorio de Alimentos. Me gustaba mucho esa oficina, sobre todo porque tiene un gran ventanal con muy buena vista al jardín. El único problema es que, en verano, el sol calienta el piso de concreto que está enfrente, y se siente el calor irradiado hacia la ventana. Si en un día soleado la temperatura del suelo llega a 55 °C, la ventana está a 25 °C, y asumiendo que la emisividad del concreto del suelo es 0.88 y la emisividad de la ventana es 0.91, estimar la rapidez de transferencia de calor por radiación, del suelo a la ventana de esa oficina.



RESPUESTA: 754 W.

Unidad 4 – Transferencia de masa

EJERCICIO 37

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 cm^2/s , (B) 0.0558 cm^2/s

EJERCICIO 38 – OPCIONAL

El clorometano y el cloroformo son moléculas moderadamente polares. Utilizando la modificación de Brokaw para la teoría cinética, estimar la difusividad del sistema clorometano-cloroformo a 300 °C y 0.8 bar.

RESPUESTA: 0.216 cm^2/s

EJERCICIO 39

El Manual del Ingeniero Químico, 7ª edición, reporta 0.0818 cm^2/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 cm^2/s

EJERCICIO 40 – OPCIONAL

Estimar la difusividad del tolueno en una mezcla gaseosa de 5% mol tolueno y 95% mol benceno, a 400 °C y 74 bar.

RESPUESTA: $1.13 \times 10^{-3} cm^2/s$

EJERCICIO 41

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% O_2 , 55% He, 30% N_2), sabiendo que a esa temperatura $\mathcal{D}_{O_2-N_2} = 0.22 cm^2/s$ y $\mathcal{D}_{O_2-He} = 0.70 cm^2/s$. Comparar con la difusividad del oxígeno en aire, $\mathcal{D}_{O_2-aire} = 0.196 cm^2/s$.

RESPUESTA: 0.395 cm^2/s

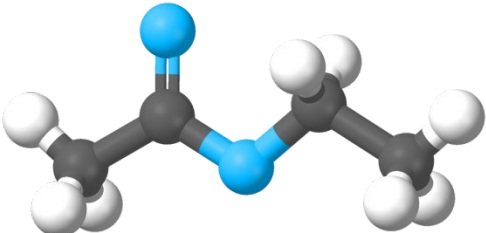
EJERCICIO 42 - OPCIONAL

Por contribución de grupos, estimar el paracoro de los siguientes compuestos: (A) iso-octano, (B) fenol, (C) metil-terbutil-éter, (D) tiofeno.

RESPUESTAS: (A) 343.7; (B) 219.4; (C) 245.4; (D) 188.3 $g^{1/4} \cdot cm^3/mol \cdot s^{1/2}$

EJERCICIO 43

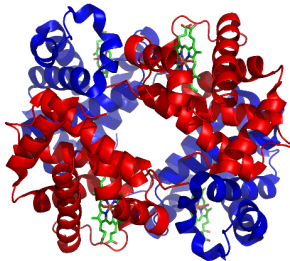
El acetato de etilo es el éster del ácido acético y el etanol. Es un líquido incoloro con olor dulce característico. Se produce a gran escala (más de un millón de toneladas anuales) para utilizarse como solvente, debido a su bajo costo, baja toxicidad y olor aceptable. Sus principales aplicaciones son en pegamentos, removedores de barniz de uñas, y en algunos procesos de producción de café descafeinado. También es el éster más común en el vino, especialmente los vinos jóvenes, y contribuye a la percepción “frutal” del vino.

 <p style="text-align: center;">ACETATO DE ETILO</p>	Fórmula	CH ₃ -COO-CH ₂ -CH ₃
	Número CAS	141-78-6
	Punto de fusión	-83.55 °C
	Punto de ebullición	77.15 °C
	Temperatura crítica	250 °C
	Presión crítica	38.3 bar
	Volumen molar crítico	280 cm ³ /mol
	Densidad a 20 °C	0.900 g/cm ³
	Densidad en el punto de ebullición	0.882 g/cm ³
	Índice de refracción	1.372
	Viscosidad	0.529 cP @ 0 °C 0.455 cP @ 20 °C 0.367 cP @ 40 °C

Empleando el método de Tyn y Calus, estimar la difusividad a dilución infinita a 25 °C de (A) acetato de etilo en agua, y (B) agua en acetato de etilo.

RESPUESTA: (A) 1.05×10^{-5} cm²/s (B) 3.71×10^{-5} cm²/s

EJERCICIO 44



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., 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: 9.22×10^{-7} cm²/s

EJERCICIO 45

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

RESPUESTA: 1.71×10^{-5} cm²/s

EJERCICIO 46 – OPCIONAL

Experimentalmente se determinó que la difusividad de cierto polímero en solución acuosa es de 3.1×10^{-7} cm²/s. Si su grado de polimerización es de 23,000, estimar el coeficiente de difusión en solución acuosa de un polímero del mismo tipo, pero con un grado de polimerización de 10,000.

RESPUESTA: 4.7×10^{-7} cm²/s

EJERCICIO 47

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 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 48

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 49

Un disco sólido de ácido benzoico de 40 mm de diámetro se encuentra girando a 45 rpm sumergido en un recipiente grande con agua a 25 °C, que tiene una concentración de ácido benzoico disuelto de 6.7 mol/m³. La difusividad del ácido benzoico en agua a 25 °C es $9 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ y su solubilidad en agua a 25 °C es 28.1 mol/m³. Calcular el coeficiente de transferencia de masa y la rapidez con la que se está disolviendo el ácido benzoico (en mol/m²·h).

NOTA: Como el ácido benzoico es sólo escasamente soluble en agua, el sistema es diluido.

RESPUESTA: $1.2786 \times 10^{-5} \text{ m/s}$, $0.985 \text{ mol/m}^2\cdot\text{h}$