

## PORTAFOLIO MECANISMOS DE TRANSFERENCIA

### EJERCICIO 1

Discutir en clase las siguientes situaciones, tratando de identificar todos los mecanismos de transferencia involucrados:

1. Un mechero bunsen encendido, que se usa para hervir agua en un vaso de precipitado.
2. Una bola "curva" por parte de un lanzador de beisbol (también ocurre en algunos tiros en futbol).
3. Hacer caer agua de un recipiente a otro para que se enfríe.

Plantear una cuarta situación de la vida cotidiana que involucren algunos mecanismos de transferencia.

### EJERCICIO 2

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  $D$ ,  $d$  y  $h_0$ , así como de la gravedad  $g$ , y de la densidad  $\rho$  y viscosidad  $\mu$  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 3

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  $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ ), que depende del diámetro de la esfera ( $D$ ), la velocidad del fluido ( $v$ ), y de las propiedades del fluido como su densidad ( $\rho$ ), su viscosidad ( $\mu$ ), su capacidad calorífica ( $c_p$ , en  $\text{J/kg}\cdot\text{K}$ ) y su conductividad térmica ( $k$ , en  $\text{W/m}\cdot\text{K}$ ). Determinar un conjunto de números adimensionales para este caso.

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

### EJERCICIO 4

Los siguientes datos corresponden al diámetro de las burbujas obtenidas al inyectar aire en agua a  $20^\circ\text{C}$  a través de capilares de diversos diámetros:

$D_c$ ( $\mu\text{m}$ )	1.5	3.5	4.2	6.3	11.1	13.5	15.5	56.5	121	332	728	1275	2880
$D_b$ (mm)	0.41	0.57	0.54	0.70	0.77	0.84	0.84	1.34	1.74	2.34	2.86	3.63	4.89

Datos obtenidos de la Figura P2.30 presentada en Middleman (1998), "An Introduction to Fluid Dynamics", Ed. Wiley, que a su vez cita a Blanchard y Syzdek (1977), *Chem. Eng. Sci.*, **32**, p. 1109.

donde  $D_c$  es el diámetro del capilar y  $D_b$  es el diámetro de las burbujas producidas. Se cree que el diámetro de burbuja adimensional  $D^* = D_b / D_c$  es función del número de Bond  $\text{Bo} = D_c^2 \rho g / \gamma$ , donde  $\rho$  es la densidad del agua,  $g$  es la gravedad y  $\gamma$  es la tensión superficial del agua. Para el agua tomar  $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$  y  $\gamma = 0.072 \text{ N/m}$ .

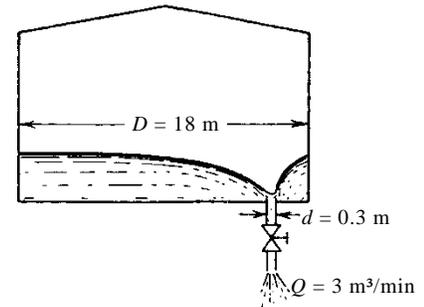
- A partir de los datos de la tabla, generar una gráfica de  $D^*$  en función de  $\text{Bo}$ . Generar una segunda gráfica de  $D^*$  en función de  $\text{Bo}$  pero ahora en escala logarítmica. En estas dos gráficas, los datos deben aparecer con símbolos sin línea, ya que son datos experimentales discretos.

- En base a la segunda gráfica, se puede asumir que la relación entre estos dos números adimensionales es de la forma  $D^* = a \cdot Bo^b$ , donde  $a$  y  $b$  son dos constantes. Para verificar esta suposición, en la segunda gráfica, agregar una línea de tendencia de potencia, para encontrar los valores de las constantes y expresar la correlación buscada de  $D^*$  en función de  $Bo$ .

RESPUESTA:  $D^* = 1.705Bo^{-0.339}$

### EJERCICIO 5

Se desea construir un tanque de almacenamiento de melaza de 18 m de diámetro, provisto de una tubería de salida de 0.3 m de diámetro, situada a 1.2 m de la pared lateral del tanque. La velocidad de vaciado debe ser 3 m<sup>3</sup>/min. Se sabe por experiencia que al extraer la melaza se forma un vórtice y que al disminuir el nivel del líquido, el vórtice alcanza finalmente la tubería de salida, dando lugar a la succión de aire junto con la melaza, situación que se desea evitar.



Se va a estudiar el sistema usando un tanque a escala reducida empleando agua (densidad 1 g/cm<sup>3</sup>, viscosidad 0.001 Pa·s) como fluido del modelo. Determinar las dimensiones y las condiciones de operación del modelo, sabiendo que la densidad de la melaza es 1.283 g/cm<sup>3</sup> y su viscosidad es 0.0567 Pa·s.

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 6

La potencia ( $\dot{W}$ ) requerida para accionar un ventilador se supone que depende de la densidad del fluido ( $\rho$ ), el flujo volumétrico ( $Q$ ), el diámetro del impulsor ( $D$ ), y la velocidad angular ( $\omega$ ).

(A) Aplicando el teorema pi de Buckingham, encontrar un conjunto de números adimensionales que involucren estos parámetros. Seleccionar como dimensiones base  $D$ ,  $\rho$  y  $\omega$ .

(B) Si un ventilador con  $D_1 = 8$  plg operando a  $\omega_1 = 2400$  rpm proporciona un flujo de  $Q_1 = 800$  pie<sup>3</sup>/min de aire con un consumo de potencia de 1.5 kW, ¿qué flujo volumétrico de aire y consumo de potencia podría esperarse para un ventilador geoméricamente similar con  $D_2 = 16$  plg operando a  $\omega_2 = 1850$  rpm? (emplear los mismos números adimensionales que se encontraron en el inciso anterior)

RESPUESTA: 4933 pie<sup>3</sup>/min, 21.9 kW

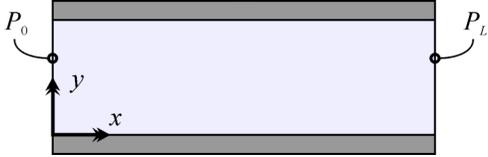
### EJERCICIO 7

Ejercicio libre – Cada estudiante debe buscar un ejercicio pertinente al contenido de la unidad en alguna de las referencias bibliográficas (no internet) y presentar su solución. Indispensable incluir la copia de la página donde aparece el ejercicio (no se aceptan ejemplos resueltos) y los datos bibliográficos del libro.

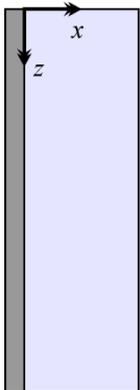
### EJERCICIO 8

En cada uno de los casos siguientes, hacer un bosquejo del perfil de velocidades en flujo laminar, describir paso a paso la transferencia de momentum que está ocurriendo en el sistema, e identificar cuál componente del esfuerzo cortante es diferente de cero y cuál es su signo.

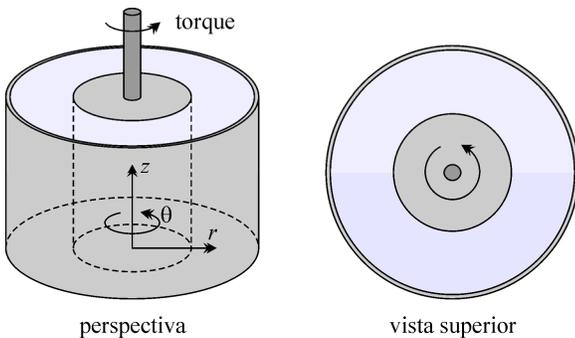
(A) Flujo entre dos placas planas paralelas debido a una diferencia de presión ( $P_0 > P_L$ )



(B) Flujo descendente en película vertical por el exterior de un recipiente de paredes planas



(C) Flujo entre dos cilindros concéntricos, cilindro interior en rotación



### EJERCICIO 9

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. Comparar ambos resultados.

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

### EJERCICIO 10

El vapor de fenol a 750°C y 1 atm tiene una viscosidad de 247  $\mu$ P. ¿Cuál será su viscosidad si la presión aumenta a 450 atm?

Respuesta: 796.8  $\mu$ P

### EJERCICIO 11

Construir una gráfica de la viscosidad de mezclas de amoniaco e hidrógeno a 33°C en función de la fracción mol de  $\text{NH}_3$ . A dicha temperatura, las viscosidades de los componentes puros son 90.6  $\mu$ P para el hidrógeno y 105.9  $\mu$ P para el amoniaco. Desarrollar un cálculo a mano a una cierta composición como ejemplo, y los demás puntos de la gráfica obtenerlos con ayuda de una hoja de cálculo.

### EJERCICIO 12

Estimar la viscosidad a temperatura ambiente de una mezcla líquida que contiene un 33% de acetonitrilo y un 67% de acetato de butilo (en base molar). Las viscosidad de los componentes puros a temperatura ambiente es 0.37 y 2.98 cP, respectivamente.

RESPUESTA: 1.5 cP

### EJERCICIO 13

*Ejercicio libre* – Cada estudiante debe buscar en la bibliografía la viscosidad en fase gaseosa de alguna sustancia pura, y estimar la viscosidad con el método de Chapman-Enskog y el método de Stiel-Thodos, a las mismas condiciones de temperatura y presión que reporte su fuente bibliográfica. Calcular en cada caso el error porcentual respecto al valor experimental. Indispensable anexar copia de la página donde aparece el dato experimental, con los datos bibliográficos correspondientes.

### EJERCICIO 14

Estimar la conductividad térmica del benceno en los siguientes casos: (A) como gas a 20°C y 0.05 atm, (B) como gas a 740°C y 340 atm, y (C) como líquido a 20°C.

RESPUESTA:

### EJERCICIO 15

El ciclopentano hierve a 49°C y tiene una densidad de líquido de 0.745 g/cm<sup>3</sup>. Estimar la conductividad térmica del vapor de ciclopentano a 150°C.

RESPUESTA:

### EJERCICIO 16

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

RESPUESTA:

### EJERCICIO 17

Considérese un material compuesto formado por microesferas de vidrio de 100  $\mu$ m de diámetro dispersas en una matriz de polipropileno. Si la conductividad térmica del material compuesto es 0.347 W/m·K, y la conductividad térmica del vidrio y del polipropileno son 1.1 y 0.25 W/m·K, respectivamente, estimar la fracción volumen de esferas, y cuántas esferas hay en 1 mm<sup>3</sup> del material compuesto.

RESPUESTA:

### EJERCICIO 18

*Ejercicio libre* – Cada estudiante debe buscar en la bibliografía la conductividad térmica en fase gaseosa de alguna sustancia pura, y estimarla con el método de Chapman-Enskog a las mismas condiciones de temperatura (y presión) que reporte su fuente bibliográfica. Calcular el error porcentual respecto al valor experimental. Indispensable anexar copia de la página donde aparece el dato experimental, con los datos bibliográficos correspondientes.

### EJERCICIO 19

Estimar la difusividad del amoníaco en argón, a 255 K y 1 bar, aplicando (A) la teoría cinética de Chapman-Enskog, (B) el método de Fuller, y (C) la extrapolación de Hirshfelder basándose en el valor reportado de  $0.256 \text{ cm}^2/\text{s}$  a 333 K y 1 atm. En los tres casos, calcular el porcentaje de error sabiendo que el valor experimental de la difusividad a 255 K y 1 bar es  $0.152 \text{ cm}^2/\text{s}$  (dato experimental de Srivastava y Srivastava, *Journal of Chemical Physics*, **36**:2616, 1962; citado por Reid, Prausnitz y Poling, "The Properties of Gases and Liquids", 1987).

RESPUESTA: (A)  $0.155 \text{ cm}^2/\text{s}$ , (B)  $0.171 \text{ cm}^2/\text{s}$ , (C)  $0.173 \text{ cm}^2/\text{s}$

### EJERCICIO 20

Estimar el coeficiente de difusión del yodo (1% peso) en dióxido de carbono a 100 bar y 400 K.

RESPUESTA:  $7.3 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$

### EJERCICIO 21

Por contribución de grupos, estimar el paracoro de los siguientes compuestos:

(A) hexano, (B) fenol, (C) metil-terbutil-éter, (D) tiofeno.

RESPUESTAS: (A) 270.0; (B) 219.4; (C) 251.7; (D)  $141.8 \text{ g}^{1/4} \cdot \text{cm}^3/\text{mol} \cdot \text{s}^{1/2}$

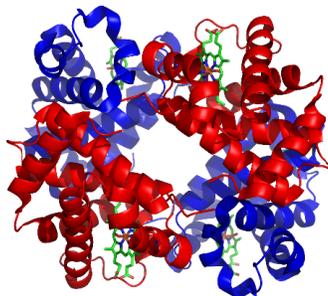
### EJERCICIO 22

Estimar la difusividad a dilución infinita en agua líquida a  $47^\circ\text{C}$  de los siguientes compuestos:

(A) butanona, (B) cloruro de calcio.

RESPUESTA: (B)  $2.06 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$

### EJERCICIO 23



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  $64,500 \text{ g/mol}$  (Van Beekvelt *et al.*, 2001). La difusividad de la hemoglobina a dilución infinita en agua a  $25^\circ\text{C}$  es  $6.9 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$  (Cussler, 1997). ¿Cuál será su difusividad a  $37^\circ\text{C}$ ?

#### Referencias:

Cussler E.L. (1997). "Diffusion: Mass Transfer in Fluid Systems". 2nd Edition, Cambridge University Press, 580 p.  
Van Beekvelt M.C., Colier W.N., Wevers R.A., Van Engelen B.G. (2001). "Performance of near-infrared spectroscopy in measuring local  $\text{O}_2$  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 24

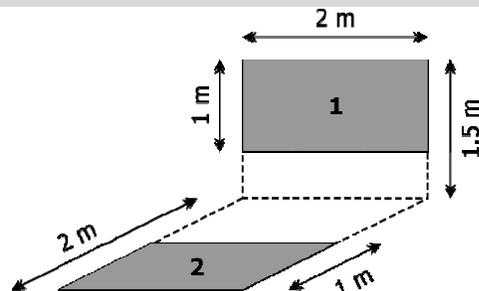
Ejercicio libre – Cada estudiante debe buscar en la bibliografía la difusividad en fase gaseosa de algún compuesto orgánico en aire, y también estimar la difusividad con un método apropiado, a las mismas condiciones de temperatura (y presión) que reporte su fuente bibliográfica. Calcular el error porcentual respecto al valor experimental. Hacer lo mismo con un dato reportado de difusividad en fase líquida de un compuesto orgánico (puede ser el mismo o diferente) en agua. Indispensable anexar copia de las páginas donde aparecen los datos experimentales, con los datos bibliográficos correspondientes.

### EJERCICIO 25

Considérese los dos rectángulos de  $1\text{m} \times 2\text{m}$  que se muestran en la figura. Las temperaturas de las dos superficies son  $T_1 = 270^\circ\text{C}$  y  $T_2 = 47^\circ\text{C}$ , respectivamente, y la emisividad de ambos rectángulos es  $\varepsilon = 1$ . Determinar:

(A) el factor de visión  $F_{12}$ .

(B) la rapidez de transferencia de calor por radiación  $Q_{12}$ .



RESPUESTA:  $F_{12} = 0.075$ ;  $Q_{12} = 650.9 \text{ W}$

### EJERCICIO 26

En un experimento demostrativo de transferencia de calor por radiación, se colocan dos rondanas idénticas, paralelamente, a una distancia de  $\frac{1}{2}$  plg. Las rondanas tienen  $1 \frac{1}{2}$  plg de diámetro externo, con una perforación de  $\frac{1}{2}$  plg de diámetro. Determinar el factor de visión de la rondana 1 a la rondana 2.

RESPUESTA:  $F_{12} = 0.439$ .

### EJERCICIO 27

Se disipa calor de una placa por medio de una serie de aletas rectas de sección transversal constante. Todas las aletas son idénticas, están hechas de cobre ( $k = 400 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ) y tienen una longitud de 25 mm y una sección transversal cuadrada (constante) de 5 mm de lado. El coeficiente de transferencia de calor por convección es  $347 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  (también constante). La temperatura de la pared es  $80^\circ\text{C}$  y la temperatura del aire circundante es  $25^\circ\text{C}$ . Para los cálculos siguientes, considerar una sola de las aletas.

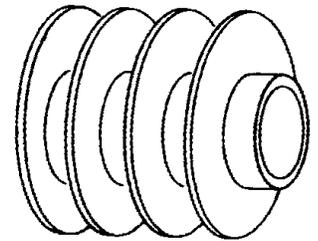
(A) Calcular el número de Biot para la aleta ( $Bi$ ).

(B) Calcular la rapidez con la que la aleta pierde calor ( $Q$  en watts).

RESPUESTA:  $Bi = 0.4338$ ;  $Q = 8.36 \text{ W}$

### EJERCICIO 28

Se desea utilizar aletas de enfriamiento circulares de espesor constante para disipar calor de un tubo de 2 plg de diámetro externo cuya superficie se encuentra a  $134^\circ\text{C}$ . Las aletas están hechas de bronce ( $k = 109 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ), tienen un diámetro externo de 3 plg y un espesor de  $\frac{1}{8}$  plg. El aire circundante se encuentra a  $20^\circ\text{C}$ . Asumir  $h = 560 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  constante. Determinar cuántas aletas de enfriamiento se requieren para disipar 20 kW de calor por cada metro de longitud del tubo.



RESPUESTA: Se requieren 47 aletas por cada metro de longitud del tubo.