

FENÓMENOS DE TRANSPORTE 2

Ejercicios Portafolio Unidad 1

EJERCICIO 1

Se tiene una barra de cobre de 10 cm de longitud, inicialmente a una temperatura uniforme de 0°C. El extremo izquierdo se pone en contacto con agua hirviendo a 100°C, mientras que el extremo derecho se mantiene en contacto con una mezcla de agua con hielo a 0°C. Aplicando el método gráfico de Schmidt, determinar cuánto tiempo tarda el centro de la barra en alcanzar 30°C. Tomar $\Delta x = 1$ cm.

RESPUESTA: 9.4 s

EJERCICIO 2 – Método de Schmidt, frontera convectiva

La pared interior de un incinerador está recubierta con una capa de 6 cm de un material refractario, que inicialmente se encuentra a temperatura ambiente (20 °C). Al prender el incinerador, la temperatura de los gases en el interior aumenta rápidamente a 1000°C. Se desea conocer la temperatura de la superficie de la pared expuesta a los gases después de 1 minuto de encendido el horno.

- (A) Calcular la distancia de penetración del calor y decidir si la pared se debe considerar un medio finito o semi-infinito.
- (B) Aplicando el método gráfico de Schmidt, determinar la temperatura de la superficie interna de la pared después de 1 minuto de encendido el horno, empleando un intervalo $\Delta t = 5$ s. En la gráfica indicar con una línea punteada vertical la posición de la distancia de penetración calculada en el inciso (A).

DATOS ADICIONALES:

Propiedades de la pared refractaria: $\rho = 2.647$ g/cm³, $c_p = 960$ J/kg·K, $k = 1.0$ W/m·K
Coeficiente de película: $h = 147$ W/m²·K

RESPUESTA: (A) 4.86 mm (B) 479°C

EJERCICIO 3 - CACAHUATES TOSTADOS

(Levenspiel, "Engineering Flow and Heat Exchange", Plenum Press)

Un método para preparar cacahuates tostados sin grasa consiste en llenar una canasta de malla de alambre con cacahuates crudos pelados y sumergirla en un contenedor lleno de manitol y sorbitol fundidos (azúcares no endulzantes) en vez de sumergirla en aceite caliente. Cuando los cacahuates están bien tostados se sacan, escurren, salan ligeramente y entonces están listos para empacarse. Si los cacahuates se encuentran originalmente a 15°C y el líquido tostante se encuentra a 165°C, determinar:

- (A) El tiempo necesario para que sus centros alcancen 105°C.
- (B) Qué temperatura alcanza la superficie de los cacahuates en ese tiempo.

El coeficiente de transferencia de calor por convección entre los azúcares fundidos y los cacahuates es de 80 W/m²·K. Asumir que los cacahuates son aproximadamente esféricos con diámetro de 7.5 mm y tienen las siguientes propiedades:

Conductividad térmica	0.5 W/m·K
Densidad	1150 kg/m ³
Calor específico	1700 J/kg·K

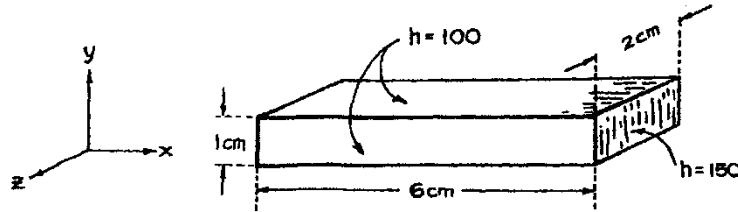
RESPUESTAS: (A) 36.7 s (B) 118.5°C

EJERCICIO 4 - DEEP-FRIED FISH STICKS

(Levenspiel, "Engineering Flow and Heat Exchange", Plenum Press)

A cod fillet, about $6 \times 1 \times 2$ cm, is taken from a cooler at 0°C and slipped into hot oil at 180°C .

- (A) What is the centerpoint temperature of the fillet after 5 minutes?
(B) How much heat has been taken up by the fillet during this time?



For cod:

$$k = 0.5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$
$$\alpha = 1.7 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$
$$\rho = 1050 \text{ kg/m}^3$$

For the fillet in the deep-fat fryer:

$$h = 150 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} \text{ for the two small faces}$$
$$h = 100 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} \text{ for the four long faces}$$

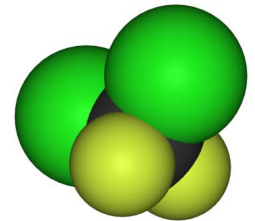
RESPUESTA: (A) 149.85°C (B) 5792.41 J

Ejercicios Portafolio Unidad 2

EJERCICIO 5

Freón-12 (diclorodifluorometano) a -20°C fluye lentamente a 5 mm/s sobre una placa plana de 25 cm de longitud (en la dirección del flujo) y 15 cm de ancho (perpendicular al flujo) que se mantiene a una temperatura uniforme y constante de 0°C .

- (A) Trazar en una misma gráfica las capas límite hidrodinámica y térmica.
(B) Determinar los dos componentes de la velocidad y la temperatura en un punto situado a 20 cm del borde frontal de la placa y a una distancia de 5 mm sobre de la misma.
(C) Calcular el número de Nusselt promedio, el coeficiente promedio de transferencia de calor, la densidad de flujo de calor, y el calor total transferido.



Propiedades del freón-12 a 260 K : $\rho = 1439 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 0.9163 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$, $\mu = 3.22 \times 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$, $k = 0.073 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

RESPUESTAS: (B) $u = 2.67 \text{ mm/s}$, $v = 0.0164 \text{ mm/s}$, $T = -16^\circ\text{C}$
(C) $\overline{Nu}_L = 79.03$, $\overline{h} = 23.08 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, $q = 461.6 \text{ W/m}^2$, $Q = 17.31 \text{ W}$

EJERCICIO 6

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°C , determine la pérdida de calor por convección para (A) una velocidad del vehículo de 35 km/h en aire a -5°C , y (B) una velocidad de 20 cm/s en una corriente de agua a 10°C . ¿En cuál condición se sentiría más frío? Comparar con una pérdida de calor de aproximadamente 30 W/m^2 en condiciones ambientales normales.

RESPUESTA: (A) 1345.7 W (B) 21575 W .

EJERCICIO 7

Un calentador cilíndrico de 10 mm de diámetro se instala en un ducto en el que circula agua en flujo cruzado alrededor del calentador. La temperatura y velocidad del agua son, respectivamente, 27°C y 5 cm/s . Estimar la temperatura superficial en estado estable del calentador cuando se disipa energía eléctrica a razón de 1 kW por cada metro de longitud del calentador. El material del cual está hecho el calentador tiene una densidad de 2700 kg/m^3 , una conductividad térmica de $240 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ y una capacidad calorífica de $900 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$.

RESPUESTA: 47.6°C

EJERCICIO 8

Vaca esférica.

RESPUESTA: Como esfera pierde 236.6 W y como cilindro pierde 437.1 W

Ejercicios Portafolio Unidad 3

EJERCICIO 9

Estimar la difusividad del amoniaco 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 (tomando como referencia que la difusividad es 0.256 cm²/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 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, (C) 0.173 cm²/s

EJERCICIO 10

Aplicar la modificación de Brokaw de la teoría cinética para calcular el coeficiente de difusión del sistema clorometano-cloroformo a 600°C y 2.5 atm.

RESPUESTA: 0.3723 cm²/s

EJERCICIO 11

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

RESPUESTA: 7.3×10⁻⁴ cm²/s

EJERCICIO 12

Estimar la difusividad del cloruro de calcio en agua a 47°C.

RESPUESTA: 2.064×10⁻⁵ cm²/s

EJERCICIO 13

- (A) Determinar el coeficiente de difusión del vapor de acetato de etilo en aire a 50°C y 2 atm, aplicando la teoría cinética de Chapman-Enskog.
- (B) Empleando el método de Tyn y Calus, estimar la difusividad del acetato de etilo a dilución infinita en agua, y la difusividad del agua a dilución infinita en acetato de etilo, ambas a 20 °C. Emplear los métodos de contribución de grupos para estimar el volumen molar y el paracoro del acetato de etilo.

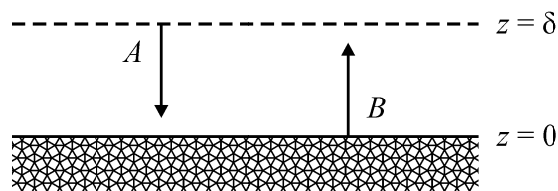
ACETATO DE ETILO	
Fórmula	CH ₃ -COO-CH ₂ -CH ₃
Punto de fusión	-83.55 °C
Punto de ebullición	77.15 °C
Temperatura crítica	250 °C
Presión crítica	38.3 bar
Volumen molar crítico	280 cm ³ /mol
Densidad a 20°C	0.900 g/cm ³
Densidad en el punto de ebullición	0.882 g/cm ³
Índice de refracción	1.372
Viscosidad	0.529 cP @ 0°C 0.455 cP @ 20°C 0.367 cP @ 40°C

RESPUESTA: (A) 0.0499 cm²/s,
(B) 1.10×10⁻⁵ cm²/s para acetato de etilo en agua,
3.47×10⁻⁵ cm²/s para agua en acetato de etilo

Ejercicios Portafolio Unidad 4

EJERCICIO 14

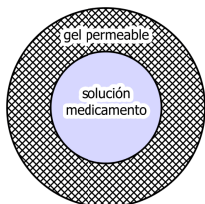
Considérese la difusión en fase gaseosa en la vecindad de una superficie catalizadora, bajo condiciones de temperatura y presión constantes. El componente A se difunde a través de una capa límite estancada (en reposo) hacia la superficie del catalizador en la cual reacciona y se convierte instantáneamente en B de acuerdo a la reacción $A \longrightarrow 2B$. El componente B se difunde alejándose de la superficie, también a través de la misma capa. Determinar el perfil de concentraciones en fracción mol de A , dentro de la capa límite, es decir, y_A en función de z . Fuera de la capa límite ($z \geq \delta$) se puede asumir que el gas es A puro.



RESPUESTA: $y_A = 2^{z/\delta} - 1$

EJERCICIO 15

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 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 y que no cambia con el tiempo (estado cuasi-estable). También se puede asumir que fuera de la cápsula la concentración del medicamento es cero.

EJERCICIO 16

Una partícula de carbón de 3 mm de diámetro se quema en oxígeno puro a 780 °C y 1 atm, de acuerdo a la reacción $C_{(s)} + O_{2(g)} \longrightarrow CO_{2(g)}$. La reacción química es rápida comparada con la difusión de los gases. En la superficie de la partícula, $P_{CO_2} = 1$ atm y $P_{O_2} = 0$, mientras que muy lejos de la partícula $P_{CO_2} = 0$ y $P_{O_2} = 1$ atm. Determinar una ecuación para el perfil estable de concentraciones (en fracción mol de CO_2) y para la densidad de flujo molar de CO_2 , ambos en función de la distancia r . Realizar el análisis transitorio del carbono que se ha quemado para determinar cuánto tiempo tardará la partícula en disminuir su diámetro a 2 mm. La partícula es de carbón vegetal de roble, para el cual se reporta una densidad relativa de 0.47 (Perry) y se puede asumir que es carbono puro.

RESPUESTA: 40 segundos

Ejercicios Portafolio Unidad 5

EJERCICIO 17

Un disco sólido de ácido benzoico de 25 mm de diámetro se encuentra girando a 20 rpm sumergido en un gran volumen de agua a 25 °C. Calcular la rapidez con la que se está disolviendo el ácido benzoico (en $g/cm^2 \cdot s$), sabiendo que el coeficiente de difusión del ácido benzoico en agua a 25 °C es $1 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/s$ y su solubilidad en agua es 0.003 g/cm^3 .

RESPUESTA: $k = 8.96 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$, $n_A = 2.69 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^2 \cdot s$

EJERCICIO 18

El exceso de acetona se quita de una lámina plástica durante su fabricación, dejando que se evapore en una corriente de nitrógeno gaseoso que fluye de forma paralela a la superficie de la lámina. La lámina mide 60 cm en la dirección del flujo. La corriente de nitrógeno se encuentra a 30°C y 1 atm (presión total absoluta), fluye a 4.7 cm/s, y tiene una cantidad residual de vapor de acetona (3 mmHg). Determinar la rapidez promedio con la que se transfiere la acetona de la lámina al nitrógeno (en mol/m²·s).

RESPUESTA: 0.01045 mol/m²·s

EJERCICIO 19

El granizo se forma cuando en una nube de tormenta hay fuertes corrientes de aire hacia arriba, un alto contenido de humedad, y una buena porción de la nube está a temperaturas bajo cero. Considérese una partícula de granizo aproximadamente esférica, de 4.7 mm de diámetro. La velocidad relativa entre el granizo y el aire es 5.8 m/s. La temperatura es constante a 0°C y la presión total del sistema es 0.5 atm. Asumiendo que la presión de vapor de agua en la superficie del granizo es 260 Pa y que la presión parcial de agua en la nube es 610 Pa, estimar el coeficiente de transferencia de masa (en mol/Pa·m²·s) y la densidad de flujo molar (en mol/m²·s) del vapor de agua que se está condensando en la superficie del granizo.

NOTAS: Para gases a baja presión, la *viscosidad* es independiente de la presión, pero como la *densidad* sí depende de la presión, la *viscosidad cinemática* también depende de la presión. Ignore cualquier efecto de la transferencia de calor en este problema.

RESPUESTA: $k_G = 7.721 \times 10^{-5}$ mol/Pa·m²·s, $n_A = 0.027$ mol/m²·s

Ejercicios Portafolio Unidad 6

EJERCICIO 20

Se emplea un equipo de absorción que opera a 20 °C y 1 atm para remover SO₂ del aire empleando una corriente de agua. En un punto del equipo, la presión parcial de SO₂ fue de 30 mmHg, y la concentración de SO₂ en la corriente de líquido en contacto fue de 1.2147 mol/m³ de solución. Los coeficientes de transferencia de masa a la temperatura y presión del sistema fueron:

$$k_L = 0.3962 \text{ m/h}$$

$$k_G = 0.1896 \text{ mol/mmHg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}$$

Los datos de equilibrio a 20 °C son los siguientes:

Presión parcial de SO ₂ (mmHg)	0.5	3.2	8.5	29	59
Concentración de SO ₂ (mol/m ³)	0.675	3.217	6.138	13.702	20.047

(A) Determinar las condiciones de la interfase, $C_{A,i}$ y $P_{A,i}$.

(B) Calcular la densidad de flujo molar n_A .

(C) Calcular el porcentaje de la resistencia a la transferencia de masa en la fase gaseosa y en la fase líquida

(D) Completar la tabla siguiente con los diversos coeficientes y las fuerzas motrices respectivas.

Coeficiente	Fuerza motriz
$k_G =$	$P_{A,G} - P_{A,i} =$

$$k_L = C_{A,i} - C_{A,L} =$$

$$K_G = P_{A,G} - P_A^* =$$

$$K_L = C_A^* - C_{A,L} =$$

En un equipo de transferencia de masa se extrae amoniaco de una solución acuosa transfiriéndolo a una corriente de aire. La concentración de amoniaco en el líquido es 81.76 kg/m^3 y la presión parcial de amoniaco en la corriente gaseosa es 0.06 atm . El coeficiente global de transferencia de masa para el líquido es $K_L = 0.01447 \text{ m/h}$.

EJERCICIO 21

Las soluciones diluidas de amoniaco en agua a la temperatura de operación de la columna siguen la ley de Henry, con una constante de $H = 4.0825 \text{ atm}\cdot\text{m}^3/\text{kmol}$.

Si la fase gaseosa ofrece el **70** % de la resistencia total a la transferencia de masa, calcular:

- (A) los coeficientes individuales de transferencia de masa para el gas y el líquido
- (B) el coeficiente global de transferencia de masa para el gas
- (C) la concentración y la presión parcial en la interfase
- (D) la densidad de flujo molar de amoniaco.