Balance de Momentum, Calor y Masa

Ejercicios Enero – Junio 2017

EJERCICIO 0 – REPASO DE ECUACIONES DIFERENCIALES (OPCIONAL)

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

RESPUESTAS:

1.	$\dfrac{dy}{dx} = e^{3x+2y}$	$-3e^{-2y} = 2e^{3x} + C$
2.	$\dfrac{d}{dx}\left(x\dfrac{dy}{dx}\right) = 0$	$y = C_1 \ln x + C_2$
3.	$\left(4y + yx^2\right)dy - \left(2x + xy^2\right)dx = 0$	$2 + y^2 = C\left(4 + x^2\right)$
4.	$x\dfrac{dy}{dx} + 2y = 3$	$y = \dfrac{3}{2} - \dfrac{C}{2x^2}$
5.	$\dfrac{dy}{dx} + e^{-3x} = 0$	$y = \dfrac{1}{3}e^{-3x} + C$
6.	$\dfrac{dy}{dx} + y = e^{3x}$ sujeta a $y(0) = 1$	$y = \dfrac{1}{4}e^{3x} + \dfrac{3}{4}e^{-x}$
7.	$2\dfrac{d^2y}{dx^2} + 5\dfrac{dy}{dx} = 0$	$y = C_1 + C_2 e^{-\frac{5}{2}x}$
8.	$\dfrac{d^2y}{dx^2} + 9y = 0$	$y = C_1 \operatorname{sen}(3x) + C_2 \cos(3x)$
9.	$\dfrac{d^2y}{dx^2} - 10\dfrac{dy}{dx} + 25y = 0$	$y = C_1 e^{5x} + C_2 x e^{5x}$
10.	$\dfrac{d^2y}{dx^2} - 4\dfrac{dy}{dx} + 5y = 0$	$y = C_1 e^{2x} \operatorname{sen} x + C_2 e^{2x} \cos x$

EJERCICIO 1

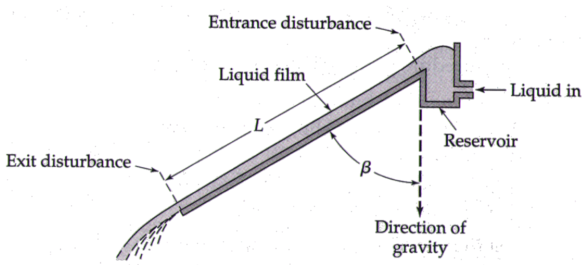
Considérese un fluido newtoniano de propiedades constantes que se encuentra entre dos placas planas horizontales y paralelas (flujo de Poiseuille), de longitud L y ancho W, separadas por una distancia δ. El fluido se mueve en la dirección horizontal, debido a una diferencia de presiones $P_0 - P_L$, siendo P_0 la presión en el extremo derecho, y P_L la presión en el extremo izquierdo. Ubicar el sistema de coordenadas en la esquina inferior izquierda del sistema, siendo x el eje horizontal y y el eje vertical. Mediante un balance diferencial de momentum en una capa de espesor Δy, encontrar el perfil de velocidad del fluido, v_x en función de y

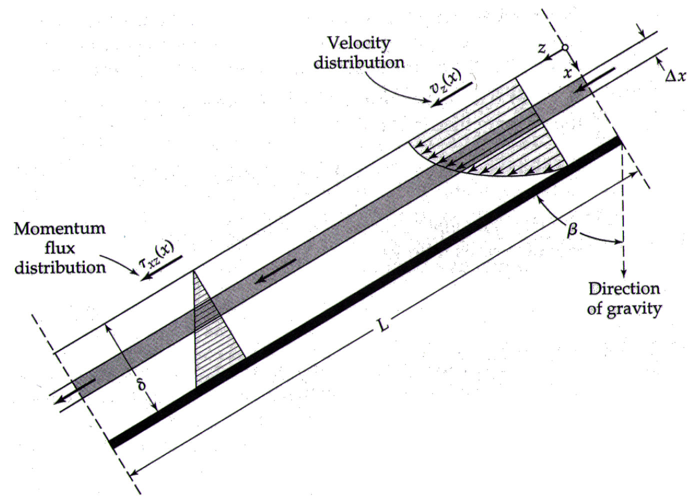
RESPUESTA: $v_x(y) = \dfrac{(P_0 - P_L)\delta^2}{2\mu L}\left[\left(\dfrac{y}{\delta}\right) - \left(\dfrac{y}{\delta}\right)^2\right]$

EJERCICIO 2

Adaptado de Bird (2002)

Se tiene un líquido newtoniano que desciende en forma laminar formando una capa de espesor uniforme δ por encima de una pared inclinada de longitud L y ancho W. Empleando el sistema de coordenadas que se muestra en la figura, obtener la ecuación diferencial del sistema mediante simplificación de las ecuaciones de conservación, y determinar el perfil de velocidades $v_z(x)$.





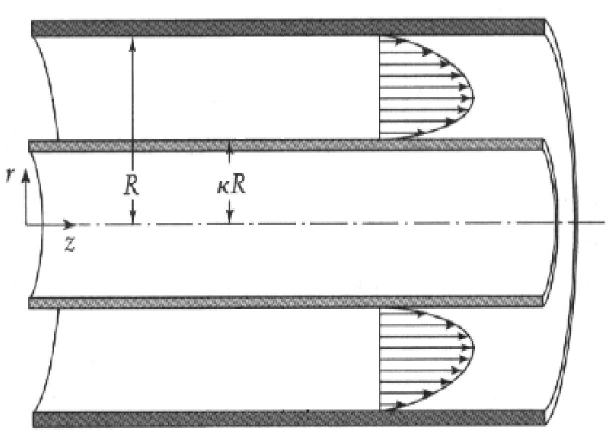
RESPUESTA: $v_z = \dfrac{\rho g \delta^2 \cos\beta}{2\mu}\left[1-\left(\dfrac{x}{\delta}\right)^2\right]$

EJERCICIO 3

Adaptado de Bird (1960) y Bird (2002)

Se desea analizar el movimiento de un fluido newtoniano en flujo laminar isotérmico en el espacio anular entre dos tuberías cilíndricas coaxiales de radios R y κR y longitud L. La presión del fluido en los extremos es P_0 en $z=0$, y P_L en $z=L$ (con $P_0 > P_L$). Como las tuberías están en posición horizontal, se puede ignorar el efecto de la gravedad. Obtener el perfil de velocidad v_z en función de r.

OPCIONAL: Determinar también la velocidad máxima y el flujo volumétrico.



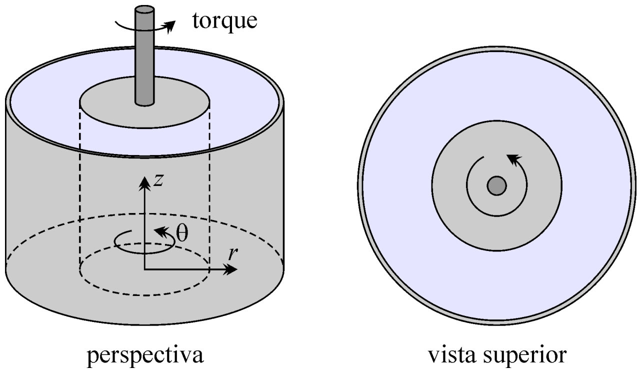
RESPUESTA:

$$v_z = \frac{(P_0 - P_L)R^2}{4\mu L}\left[1-\left(\frac{r}{R}\right)^2 + \frac{1-\kappa^2}{\ln(1/\kappa)}\ln\left(\frac{r}{R}\right)\right]$$

$$v_{z,\max} = \frac{(P_0 - P_L)R^2}{4\mu L}\left\{1-\left(\frac{1-\kappa^2}{2\ln(1/\kappa)}\right)\left[1-\ln\left(\frac{1-\kappa^2}{2\ln(1/\kappa)}\right)\right]\right\}$$

$$\dot{V} = \frac{\pi(P_0 - P_L)R^4}{8\mu L}\left[\left(1-\kappa^4\right) - \frac{\left(1-\kappa^2\right)^2}{\ln(1/\kappa)}\right]$$

EJERCICIO 4



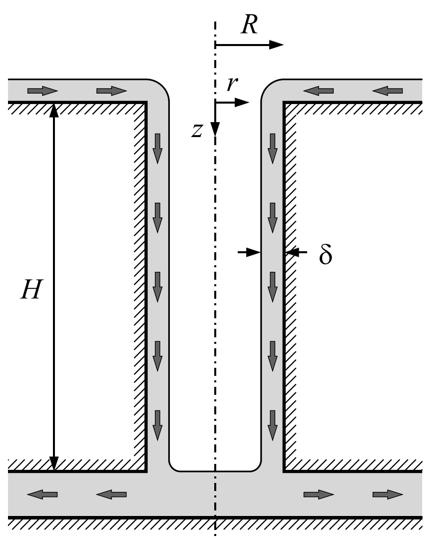
El espacio entre dos cilindros coaxiales verticales se encuentra lleno con un líquido newtoniano a temperatura constante. El cilindro interno tiene radio R_1 y el cilindro externo tiene radio R_2. El cilindro interno gira con una velocidad angular constante Ω, mientras que el cilindro externo permanece estacionario. Mediante simplificación de las ecuaciones de conservación, determinar el perfil de velocidades del fluido $v_\theta(r)$.

NOTA: Recordar que la velocidad tangencial es igual al producto de la velocidad angular por el radio de giro.

RESPUESTA: $v_\theta = \dfrac{\Omega R_1^2}{R_2^2 - R_1^2}\left(\dfrac{R_2^2}{r} - r\right)$

EJERCICIO 5 – OPCIONAL

Se desea determinar el perfil de velocidades en estado estable de un líquido newtoniano que escurre en flujo laminar a lo largo de un tubo vertical de longitud H y radio interior R, formando una película de espesor uniforme δ sobre la superficie interior del tubo. La temperatura y la presión son constantes en todo el sistema.



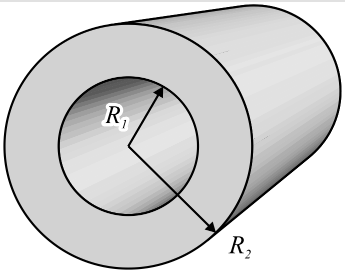
RESPUESTA: $v_z(r) = \dfrac{\rho g R^2}{4\mu}\left[1 - \left(\dfrac{r}{R}\right)^2 + 2\left(\dfrac{R-\delta}{R}\right)^2 \ln\left(\dfrac{r}{R}\right)\right]$

EJERCICIO 6

Determinar el perfil de velocidad de un fluido de la ley de la potencia que se mueve de forma laminar en el interior de una tubería horizontal de radio R y longitud L, debido a un gradiente de presión constante igual a $-(P_0 - P_L)/L$.

RESPUESTA: $v_z = \dfrac{n}{n+1}\left(\dfrac{(P_0 - P_L)R^{n+1}}{2LK}\right)^{\frac{1}{n}}\left[1 - \left(\dfrac{r}{R}\right)^{\frac{n+1}{n}}\right]$

EJERCICIO 7



Considérese un cilindro hueco de radio interior R_1 y radio exterior R_2 y longitud L. Las superficies interna y externa del cilindro se mantienen a temperaturas constantes T_1 y T_2, respectivamente, y los extremos del cilindro se mantienen aislados. Plantear el balance de energía en un volumen de control ubicado entre r y $r+\Delta r$, de la misma longitud L, y resolver la ecuación diferencial resultante para obtener el perfil de temperaturas $T(r)$ en estado estable, para $R_1 \le r \le R_2$.

RESPUESTA: $T(r)=T_1+(T_2-T_1)\dfrac{\ln(r/R_1)}{\ln(R_2/R_1)}$

EJERCICIO 8 – OPCIONAL

Repetir el ejercicio anterior para el caso de una esfera hueca de radio interior R_1 y radio exterior R_2, cuyas superficies interna y externa se mantienen a temperaturas constantes T_1 y T_2, partiendo del balance de energía en un volumen de control ubicado entre r y $r+\Delta r$, para obtener el perfil de temperaturas $T(r)$ en estado estable, para $R_1 \le r \le R_2$.

RESPUESTA: $T(r)=T_1+(T_2-T_1)\dfrac{R_2(r-R_1)}{r(R_2-R_1)}$

EJERCICIO 9

Se tiene una barra metálica recta de longitud L que está aislada en todos sus lados excepto en el extremo $x=L$, que se mantiene a una temperatura constante T_L. Dentro de la barra hay una generación de calor no uniforme dada por:

$$\dot{G} = ax(L-x)$$

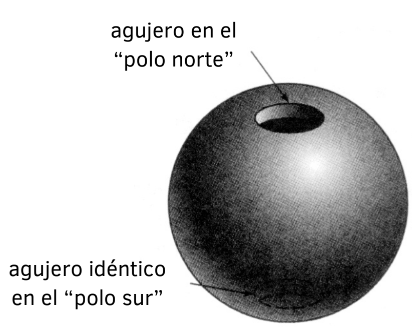
donde a es una constante con unidades W/m⁵. Determinar el perfil de temperatura en estado estable $T(x)$ así como la temperatura máxima en la barra.

RESPUESTA: $T(x) = T_L + \dfrac{aL^4}{12k}\left[\left(\dfrac{x}{L}\right)^4 - 2\left(\dfrac{x}{L}\right)^3 + 1\right], \quad T_{\max} = T_L + \dfrac{aL^4}{12k}$

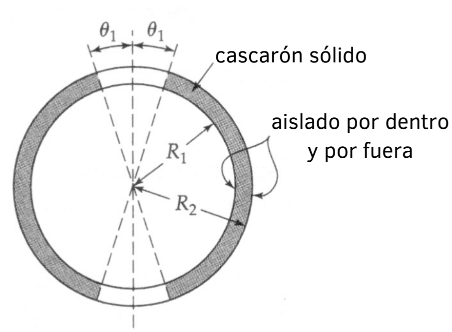
EJERCICIO 10

Adaptado de Bird (2002)

Considerar un cascarón esférico de radios interno y externo R_1 y R_2 respectivamente. Una perforación se efectúa en el “polo norte” del cascarón al cortar el segmento cónico en la región $0 \le \theta \le \theta_1$. Una perforación similar se hace en el “polo sur” removiendo la porción comprendida en $(\pi-\theta_1) \le \theta \le \pi$. Las superficies interna y externa del cascarón se mantienen aisladas. La superficie expuesta en el agujero superior ($\theta=\theta_1$) se mantiene a una temperatura $T=T_1$, y la superficie expuesta en el agujero inferior ($\theta=\pi-\theta_1$) se mantiene a una temperatura $T=T_2$. Encontrar la distribución de temperatura en estado estable en el cascarón.



vista del cascarón esférico
en perspectiva



vista en sección transversal
sobre el eje z

RESPUESTA: $T = T_1 + (T_2 - T_1)\dfrac{\ln\left[\dfrac{\operatorname{sen}\theta_1(1-\cos\theta)}{\operatorname{sen}\theta(1-\cos\theta_1)}\right]}{\ln\left[\dfrac{1+\cos\theta_1}{1-\cos\theta_1}\right]}$

EJERCICIO 11

Un fluido newtoniano se mueve de forma laminar en una tubería cilíndrica de radio interno R y longitud L, con un perfil de velocidad dado por:

$$v_z = \frac{(\Delta\mathscr{P})R^2}{4\mu L}\left[1-\left(\frac{r}{R}\right)^2\right]$$

donde ΔP es la diferencia de presión entre los extremos de la tubería y μ es la viscosidad del fluido. Si la viscosidad y la velocidad del fluido son suficientemente altas, la disipación viscosa de energía, producida por las fuerzas de fricción entre las capas de fluido, hace que la temperatura del fluido aumente. Se puede asumir que el sistema está en estado estable, que la pared de la tubería se mantiene a una temperatura constante T_w, y que las propiedades del fluido son constantes. Determinar el perfil de temperatura en este caso, en función de la posición r.

RESPUESTA: $T = T_w + \dfrac{(\Delta\mathscr{P})^2 R^4}{64\mu L^2 k}\left[1-\left(\dfrac{r}{R}\right)^4\right]$

EJERCICIO 12

La pared de una mufla mide 30×20 cm y está formada, de adentro hacia fuera, por una capa de 3.5 cm de ladrillo refractario de caolín (k = 0.26 W/m·K), 4 cm de fibra de vidrio (k = 0.081 W/m·K) y una lámina de 2.5 mm de espesor de aluminio (k = 273 W/m·K). Determinar la resistencia térmica total y el flujo de calor a través de la pared cuando la mufla opera a 800 °C y la superficie externa de la lámina de aluminio se encuentra a 25 °C. Las resistencias por convección se pueden asumir despreciables.

RESPUESTA: 74 W

EJERCICIO 13

Se tiene un fluido circulando por el interior de un tubo, y otro fluido diferente circulando por el exterior. El coeficiente de transferencia de calor por convección en el interior del tubo es h_i = 1035 W/m²·K, y el coeficiente de transferencia de calor por convección en el exterior del tubo es h_e = 1209 W/m²·K. El tubo está hecho de bronce (k = 52 W/m·K) y sus dimensiones son D_e = 1 plg, D_i = 0.782 plg y L = 6 ft. Calcúlese la resistencia térmica total, el coeficiente global de transferencia de calor basado en el área externa, y el coeficiente global de transferencia de calor basado en el área interna.

RESPUESTA: R_T = 0.014546 K/W, U_e = 471.1 W/m²·K, U_i = 602.4 W/m²·K

EJERCICIO 14

Se va a suministrar vapor a 130 °C a un equipo, empleando una tubería de 2 m de longitud y ½ plg de diámetro externo. ¿Con qué rapidez perderá calor la tubería si no se aisla? ¿Cuál es el radio crítico de aislamiento si se va a emplear un aislante con conductividad térmica de 0.065 W/m·K? ¿Cuánto calor perderá la tubería si el espesor del aislamiento es 5 mm? En todos los casos, despreciar la resistencia por conducción en la pared de la tubería, y usar un coeficiente de transferencia de calor por convección de 5 W/m²·K y temperatura ambiente de 25 °C.

RESPUESTA: 41.9 W, 13 mm, 49.8 W

EJERCICIO 15

Considérese un dispositivo de enfriamiento que está conformado por 16 aletas cilíndricas de cobre (1.9 mm de diámetro, 10.4 mm de longitud). La temperatura de la base es 55 °C, la del aire circundante es 25 °C, y el coeficiente de transferencia de calor por convección es 950 W/m²·K. Determinar la eficiencia de las aletas, cuánto calor disipa cada una, y cuánto calor en total disipa el dispositivo. La conductividad térmica del cobre es 401 W/m·K.

RESPUESTA: η = 0.85; Q_{ideal} = 1.765 W, Q = 1.5 W, Q_{total} = 24 W

EJERCICIO 16

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 125 °C. Las aletas están hechas de bronce (k = 109 W/m·K), tienen un diámetro externo de 3.5 plg y un espesor de 1/16 plg. El aire circundante se encuentra a 20 °C. Asumir h = 560 W/m²·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 79 aletas por cada metro de longitud del tubo

EJERCICIO 17

Para realizar pruebas de transferencia de calor, se emplea una esfera de 3 plg de diámetro hecha de un material no metálico (k = 4 W/m·K), equipada con un sensor de temperatura en su centro, y un baño de aceite con agitación, ajustado para mantener una temperatura constante de 200 °C.

(**A**) En el primer experimento, la esfera (inicialmente a una temperatura uniforme de 20 °C) se sumerge en el aceite caliente. El aceite se está agitando vigorosamente, lo que hace que el coeficiente de transferencia de calor por convección entre el líquido y la esfera sea muy alto. Después de 5 minutos en el aceite, el sensor marca una temperatura de 189 °C. ¿Cuál es la difusividad térmica del material de la esfera?

(**B**) En el segundo experimento, se desea medir el coeficiente de transferencia de calor por convección natural, por lo que se apaga el agitador del baño de aceite. La temperatura inicial de la esfera es 20 °C. Después de 90 segundos en el aceite, el sensor de la esfera registra 29 °C. ¿Cuál es el valor del coeficiente de transferencia de calor en este caso?

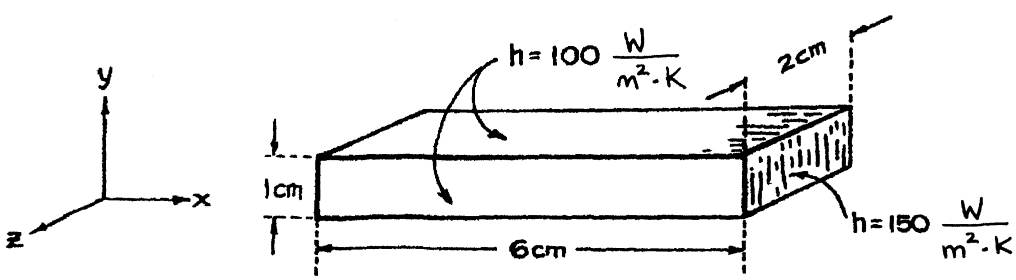
RESPUESTA: 1.72×10^{-6} m²/s, 94.5 W/m²·K

EJERCICIO 18

Adapted from Levenspiel, "Engineering Flow and Heat Exchange", Plenum Press.

A cod fillet, about 6 × 1 × 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 W/m·K
α = 1.7 × 10⁻⁷ m²/s
ρ = 1050 kg/m³

For the fillet in the deep-fat fryer:

h = 150 W/m²·K for the two small faces
h = 100 W/m²·K for the four long faces

ANSWER: (A) 149.85 °C, (B) 5792.41 J

EJERCICIO 19

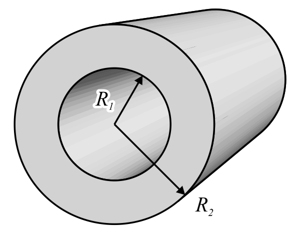
Un tubo de longitud total $2L$ lleno de un gel permeable conecta dos recipientes idénticos llenos de una solución de un reactivo A, con concentración C_0. Este reactivo entra por difusión al gel, donde ocurre una reacción química A $\longrightarrow$ B con una cinética de primer orden $-r_A = kC_A$. Ubicando el origen del sistema de coordenadas en el centro del tubo, determinar el perfil de concentración de A en función de la posición en el gel.

OPCIONAL: $\phi = L\sqrt{k / \mathscr{D}_{AB}}$ es una forma del módulo de Thiele para una reacción de primer orden, que expresa la proporción entre la rapidez de la reacción química y la rapidez de la difusión del reactivo. Re-escribir el perfil de concentración en términos del módulo de Thiele, y hacer un bosquejo del perfil de concentración para valores del módulo de Thiele muy pequeños y muy grandes.

RESPUESTA: $C_A = C_0 \dfrac{\cosh\left(x\sqrt{k / \mathscr{D}_{AB}}\right)}{\cosh\left(L\sqrt{k / \mathscr{D}_{AB}}\right)}$

EJERCICIO 20

Se emplea una 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. En todos los puntos del sistema se mantiene la misma presión total. 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**) Encontrar una expresión para la densidad de flujo molar de A ($n_{A,r}$).



RESPUESTA: $P_A = P_{A0} \dfrac{\ln\left(r / R_2\right)}{\ln\left(R_1 / R_2\right)}$, $n_A = \dfrac{\mathscr{D}_{AB} P_{A0}}{rRT \ln\left(R_2 / R_1\right)}$

EJERCICIO 21 – OPCIONAL

Considérese una esfera de un material pemeable en la que ocurre la reacción química homogénea A $\longrightarrow$ B, con una cinética de orden cero $-r_A = k_0$. Si la esfera se encuentra en un contenedor muy grande que tiene una concentración C_{A0}, determine expresiones matemáticas para el perfil de concentraciones C_A y la densidad de flujo molar $n_{A,r}$, ambas en función del radio.

RESPUESTA: $C_A = C_{A0} - \dfrac{k_0}{6\mathscr{D}_{AB}}\left(R^2 - r^2\right)$ $\quad n_{A,r} = -\dfrac{k_0}{3} r$

EJERCICIO 22

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 °C, estimar la rapidez con que se pierde 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 sentirá más frío?

RESPUESTA: (A) 1345.7 W/m² (B) 21575 W/m²

EJERCICIO 23 – OPCIONAL

Se desea estimar la rapidez con la que pierde calor un foco incandescente hacia el aire circundante. El foco se puede aproximar como una esfera de 50 mm de diámetro con una temperatura superficial de 125 °C, y el aire lejos del foco se encuentra a 27 °C. Calcular qué porcentaje de la energía consumida por el foco se pierde como calor por convección en los siguientes casos:

(**A**) Si el aire alrededor del foco se mueve a una velocidad de 0.5 m/s.
(**B**) Si el aire alrededor del foco se encuentra en reposo.

RESPUESTA: 26.9%, 16.6 %

EJERCICIO 24

(vaca esférica)

RESPUESTA: (A) 238.2 W, (B) 441.1 W

EJERCICIO 25

Un disco sólido de ácido benzóico de 25 mm de diámetro se encuentra girando a 20 rpm sumergido en un recipiente con agua a 25 °C, que tiene una concentración de ácido benzóico disuelto de 0.5 kg/m³. Calcular la rapidez con la que se está disolviendo el ácido benzóico (en g/cm²·s), sabiendo que el coeficiente de difusión del ácido benzóico en agua a 25 °C es 1×10^{-5} cm²/s y su solubilidad en agua a 25 °C es 3 kg/m³.

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

RESPUESTA: $k = 8.96\times10^{-4}$ cm/s, $n_A = 2.24\times10^{-6}$ g/cm²·s

EJERCICIO 26 – OPCIONAL

El exceso de acetona se quita de una lámina plástica durante su fabricación, dejando que se evapore en una corriente de aire que fluye de forma paralela a la superficie de la lámina. La lámina mide 60 cm en la dirección del flujo. La corriente de aire se encuentra a 40 °C y 1 atm (presión total absoluta), fluye a 47 cm/s, y tiene una cantidad residual de vapor de acetona (30 mmHg). Determinar la rapidez promedio con la que se transfiere la acetona de la lámina al aire (en mol/m²·s).

NOTA: Las propiedades para evaluar los números de Reynolds y Schmidt deben ser a la concentración promedio de la película. **No se puede asumir que el sistema es diluido.**

DATOS ADICIONALES:

★ Presión de vapor de la acetona a 40 °C: 0.5576 atm.
★ Difusividad del vapor de acetona en aire a 40 °C y 1 atm: 0.1338 cm²/s.
★ Viscosidad del vapor de acetona a 40 °C y 1 atm: 7.884×10^{-6} Pa·s.

RESPUESTA: 0.0674 mol/m²·s

EJERCICIO 27

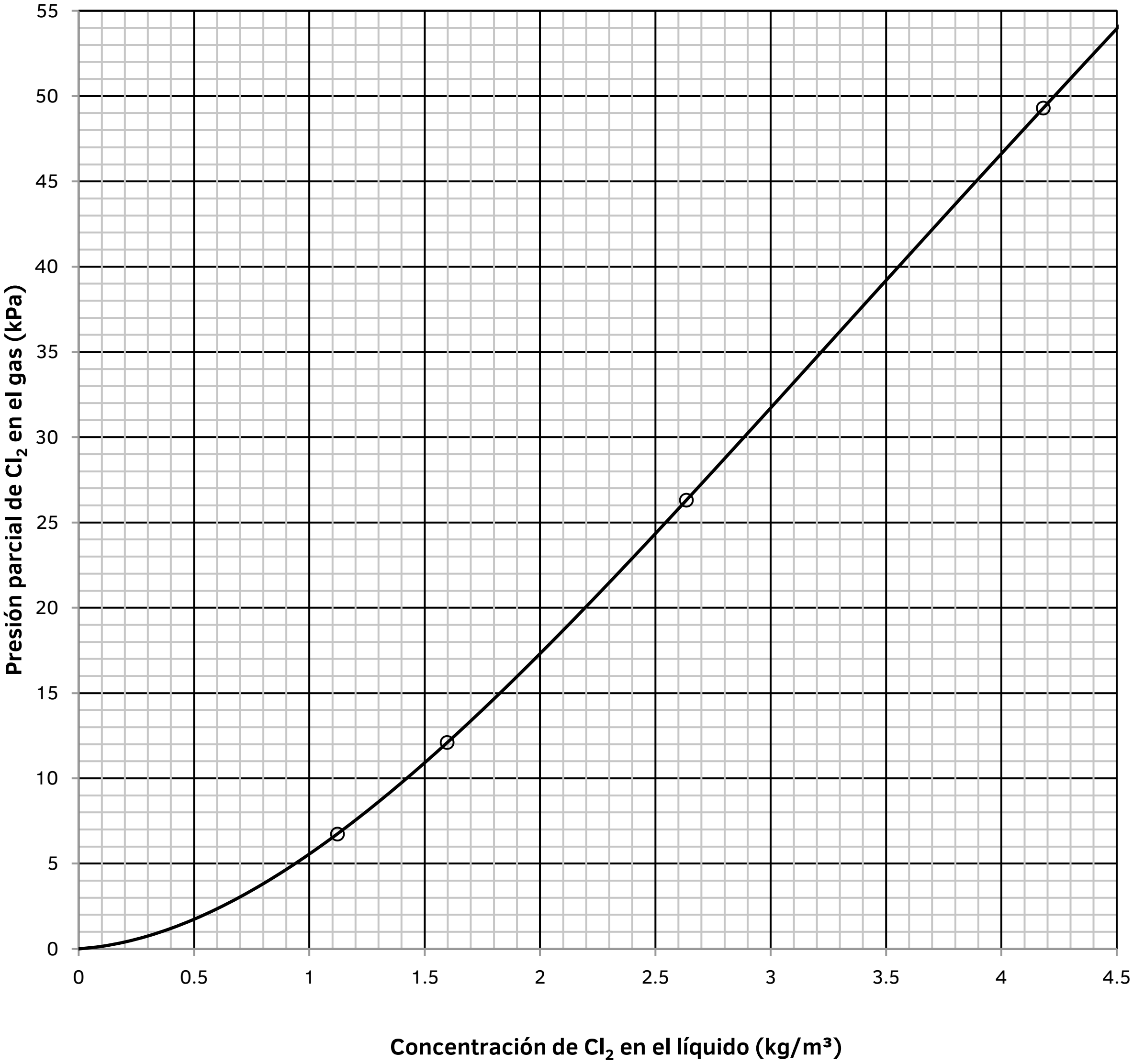
El agua clorinada que se utiliza para blanquear la pulpa de papel se prepara por absorción de Cl_2 en agua. En ciertas condiciones de absorción, la presión parcial de cloro en la fase gaseosa es de 47 kPa y la concentración de cloro en el líquido es 0.2 kg/m³. El coeficiente global de transferencia de masa para el líquido es 3.16 m/h y el 20% de la resistencia a la transferencia de masa se presenta en la fase líquida. Para este caso, determinar lo siguiente:

(**A**) los coeficientes individuales de transferencia de masa (en kg/kPa·m²·h y m/h, respectivamente).
(**B**) las condiciones de la interfase (en kPa y kg/m³, respectivamente).
(**C**) la densidad de flujo de transferencia de masa del cloro (en kg/m²·h).

Los datos disponibles para el equilibrio de cloro gaseoso con agua a 293 K (la temperatura de operación del equipo) se muestran en la tabla y en la gráfica:

Presión parcial de cloro (kPa)	6.74	12.1	26.3	49.3	97.7
Solubilidad del cloro (kg/m³)	1.12	1.60	2.63	4.18	7.25

Datos adaptados de Welty, Wilson y Wicks, "Fundamentos de Transferencia de Momentum, Calor y Masa", Limusa.



RESPUESTA: (A) 0.288 kg/kPa·m²·h, 15.8 m/h, (B) $P_{A,i}$ = 5 kPa, $C_{A,i}$ = 0.966 kg/m³, (C) n_A = 12.1 kg/m²·h

ASUMIR QUE LA VACA ES UNA ESFERA

Primero, algunos 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 ordeñan cada vaca, y elabora un procedimiento interno para la ordeña. Con esto estima que la eficiencia de la producción aumentará en 17%, aunque recomienda instalar de ordeñadoras automáticas para realizar la extracción de leche de manera rápida y consistente. Si el granjero sigue sus recomendaciones, posiblemente hasta se pueda certificar bajo la norma ISO 9001.

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 natural en el que 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 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 el científico. Después de meditar un poco sobre el problema, comienza a hacer cálculos y anotaciones en un pizarrón. El granjero, aunque no entiende nada de lo que está garabateado, se siente esperanzado porque ve que el científico es muy metódico en su desarrollo matemático. Después de varias horas de intensos cálculos, el científico anuncia triunfalmente que ha resuelto el problema, y empieza a explicarlo: **"Comenzamos asumiendo que la vaca es una esfera…"**

Cierto, estoy de acuerdo… no es un muy buen chiste. Pero resalta la sobre-simplificación que ocasionalmente se hace en ciencia e ingeniería. Aunque muchas veces esta simplificación permite llegar a una respuesta (y algo es mejor que nada) se debe tener cuidado de no llevarla al extremo, porque entonces puede ser que el modelo no tenga casi 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 ya está listo para irse a dormir cuando se da cuenta de que la vaca no está en el granero, pero no quiere tener que salir por ella. Como el granjero sabe que la vaca puede sobrevivir durante la noche si pierde calor con una rapidez menor a 350 watts, decide hacer primero algunos cálculos para decidir si debe salir a buscarla.

La temperatura ambiente es 4 °C (que sería 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 calculado para la superficie lateral también se puede usar para los extremos del cilindro).

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