Balance de Momentum, Calor y Masa

Ejercicios Agosto – Diciembre 2019

EJERCICIO 0 – REPASO DE ECUACIONES DIFERENCIALES (OPCIONAL)

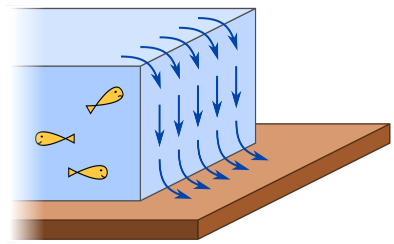
En cada caso, resolver la ecuación diferencial. Cuando se proporcione condiciones de frontera, emplearlas para obtener la solución particular.

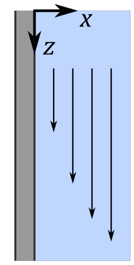
		RESPUESTAS:
1.	$\dfrac{dy}{dx} - 3x^2 + 1 = 0$	$y = x^3 - x + C$
2.	$\dfrac{dy}{dx} + e^{-3x} = 0$	$y = \dfrac{1}{3}e^{-3x} + C$
3.	$\dfrac{dy}{dx} = e^{3x+2y}$	$2e^{3x} + 3e^{-2y} = C$
4.	$\dfrac{d}{dx}\left(x\dfrac{dy}{dx}\right) = 0$	$y = C_1 \ln x + C_2$
5.	$x\dfrac{dy}{dx} - 2y = 6$ con $y = -1$ cuando $x = 1$	$y = 2x^2 - 3$
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.	$\dfrac{d^2y}{dx^2} - 4\dfrac{dy}{dx} + 5y = 0$	$y = C_1 e^{2x} \operatorname{sen} x + C_2 e^{2x} \cos x$
11.	$\dfrac{d^2y}{dx^2} - \dfrac{dy}{dx} - 2y = 0$ sujeta a $y(0) = 3$ y $y'(0) = 0$	$y = e^{2x} + 2e^{-x}$

Unidad 1 – Balances de momentum

EJERCICIO 1

Una pecera está derramando agua por un costado, formando una capa vertical descendente de espesor δ uniforme (con ancho W y altura H). Empleando el sistema de coordenadas indicado en la figura, realizar un balance diferencial de momentum en un volumen de control de espesor Δx para encontrar el perfil de velocidad v_z en función de x. Determinar también la velocidad máxima.

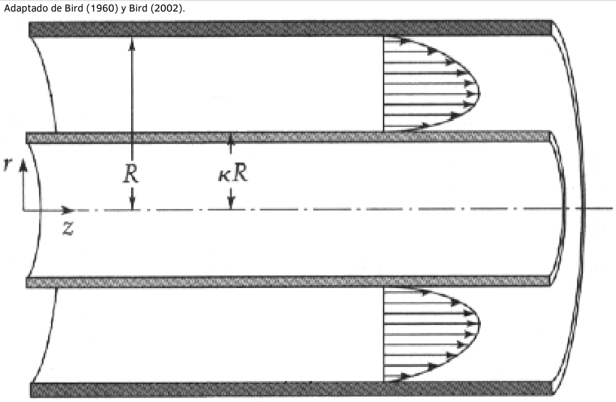




RESPUESTA: $v_z = \dfrac{\rho g \delta^2}{\mu}\left[\left(\dfrac{x}{\delta}\right) - \dfrac{1}{2}\left(\dfrac{x}{\delta}\right)^2\right]$, $v_{z,\max} = \dfrac{\rho g \delta^2}{2\mu}$

EJERCICIO 2

Adaptado de Bird (1960) y Bird (2002).



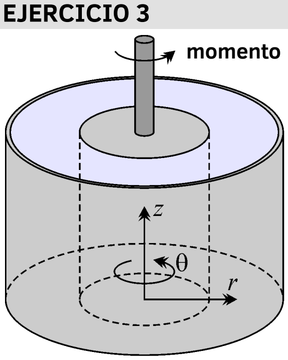
Obtener el perfil de velocidad $v_z(r)$ para el movimiento de un fluido newtoniano en flujo laminar isotérmico en el espacio anular entre dos tuberías cilíndricas coaxiales de radios R y κR y longitud L. La presión del fluido en los extremos es P_0 en $z=0$, y P_L en $z=L$ (con $P_0 > P_L$).

OPCIONAL: Determinar también la velocidad máxima.

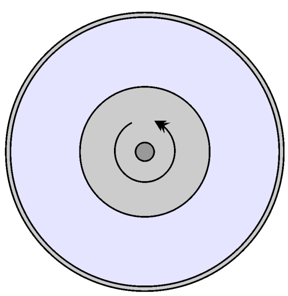
RESPUESTA: $v_z = \dfrac{(P_0 - P_L)R^2}{4\mu L}\left[1 - \left(\dfrac{r}{R}\right)^2 - \dfrac{1-\kappa^2}{\ln\kappa}\ln\left(\dfrac{r}{R}\right)\right]$

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

EJERCICIO 3



vista en perspectiva



vista superior

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 debido a la aplicación de un momento de giro; mientras que el cilindro externo se mantiene fijo. Mediante simplificación de las ecuaciones de conservación, determinar el perfil de velocidad $v_\theta(r)$ para el movimiento laminar del fluido.

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

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

EJERCICIO 4

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

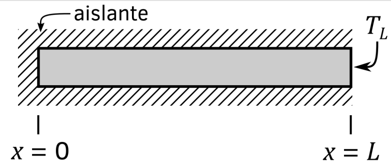
NOTA: El único componente del esfuerzo que no es cero es τ_{rz}.

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

Unidad 2 – Balances de calor (parte 1)

EJERCICIO 8

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. En 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.

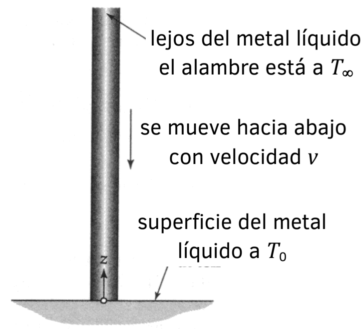


RESPUESTA: $T(x) = T_L + \dfrac{aL^4}{12k}\left[\left(\dfrac{x}{L}\right)^4 - 2\left(\dfrac{x}{L}\right)^3 + 1\right], \quad T_{\max} = T_L + \dfrac{aL^4}{12k}$

EJERCICIO 9

Adaptado de Bird (2002).

Un alambre de densidad uniforme ρ se mueve hacia abajo con velocidad constante v, entrando en un baño de metal líquido que se encuentra a una temperatura T_0. Se desea encontrar el perfil de temperatura $T(z)$. Se puede asumir que la temperatura del alambre en la superficie del metal líquido también es T_0, y muy lejos de la superficie (es decir, cuando $z \to \infty$) el alambre tiene una temperatura T_∞. Asumir que el alambre no pierde calor por convección al medio ambiente, y que las propiedades físicas del alambre son constantes.



RESPUESTA: $T(z) = T_\infty + (T_0 - T_\infty)\exp\left(-\dfrac{\rho c_P v z}{k}\right)$

EJERCICIO 10

Un fluido newtoniano de propiedades constantes se mueve en flujo laminar estable por el interior de una tubería de radio interno R y longitud L, con un perfil de velocidad dado por:

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

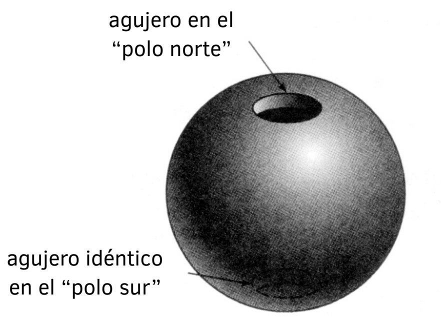
donde $\Delta\mathscr{P}$ es la diferencia de presión entre los extremos de la tubería y μ es la viscosidad del fluido. Si la viscosidad y la velocidad del fluido son suficientemente altas, la disipación viscosa de energía, producida por las fuerzas de fricción entre las capas de fluido, hace que la temperatura del fluido aumente. La pared de la tubería se mantiene a una temperatura constante T_w. Determinar el perfil de temperatura en este caso, en función de la posición r.

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

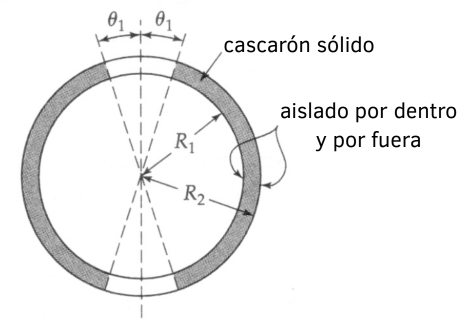
EJERCICIO 11 – OPCIONAL

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 el perfil 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 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 – OPCIONAL

Se tiene un fluido circulando por el interior de un tubo, y otro fluido diferente circulando por el exterior del mismo tubo. El coeficiente de transferencia de calor por convección en el interior del tubo es h_i y el coeficiente de transferencia de calor por convección en el exterior del tubo es h_e. La conductividad térmica del material del tubo es k, y sus dimensiones son: diámetro externo D_e, diámetro interno D_i, y longitud L. Demostrar que el coeficiente global de transferencia de calor, basado en el área externa del tubo, está dado por:

$$U_e = \frac{1}{\dfrac{D_e}{D_i h_i} + \dfrac{D_e \ln(D_e / D_i)}{2k} + \dfrac{1}{h_e}}$$

EJERCICIO 15

Considérese un dispositivo de enfriamiento que consiste en 16 aletas de cobre de forma cilíndrica (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. Analizando una sola aleta, determinar su eficiencia y la rapidez con la que disipa calor. Calcular también la rapidez total de transferencia de calor del dispositivo. La conductividad térmica del cobre es 401 W/m·K.

RESPUESTA: η = 0.85; Q_{ideal} = 1.769 W, Q = 1.504 W, Q_{total} = 24.06 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.

Unidad 3 – Balances de calor (parte 2)

EJERCICIO 17

Una varilla de vidrio borosilicato (k = 1.4 W/m·K, α = 7.5×10^{-7} m²/s) de 4 mm de diámetro se va a someter a un tratamiento térmico para mejorar su resistencia mecánica. Para ello, se introduce durante 7.5 segundos en un horno, donde va a entrar en contacto con aire caliente a 350 °C. El coeficiente de transferencia de calor entre el aire y la varilla es 830 W/m²·K. Determinar la temperatura que alcanza el centro de la varilla, si su temperatura inicial era 20 °C.

RESPUESTA: 320 °C

EJERCICIO 18

Adaptado de 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 de menor poder endulzante), 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.

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/m³, calor específico 1700 J/kg·K. El coeficiente de transferencia de calor por convección entre los azúcares fundidos y los cacahuates es de 80 W/m²·K.

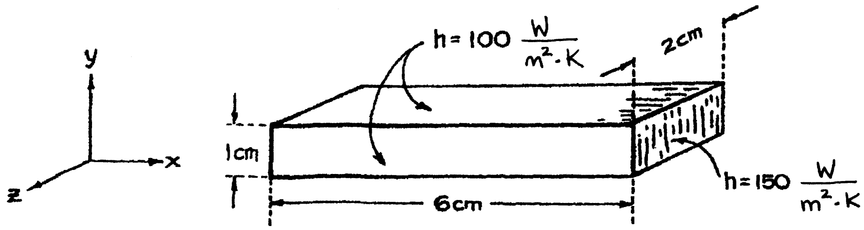
RESPUESTA: (A) 36.7 s, (B) 118.5 °C

EJERCICIO 19

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

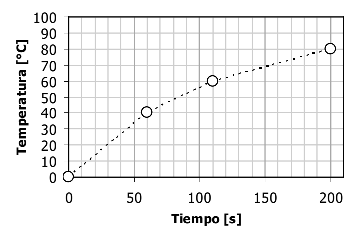
ANSWER: (A) 149.85 °C, (B) 5792.41 J

EJERCICIO 20 – OPCIONAL

Adaptado de Levenspiel (1998), “Engineering Flow and Heat Exchange”, Plenum Publishing Corporation.

Un cilindro largo de cobre de 4.7 cm de diámetro externo, inicialmente a 0 °C, se introduce rápidamente en un lecho fluidizado que se mantiene a 100 °C. Un termopar instalado en el centro del cilindro indica temperaturas de 40, 60 y 80 °C después de 60, 110 y 200 s, respectivamente. **Determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección entre el cilindro y el lecho.**

NOTA: Se puede asumir que el número de Biot es pequeño, por lo que la temperatura medida por el termopar es la temperatura promedio del cilindro.



RESPUESTA: 343 W/m·K

EJERCICIO 21

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 22

Se desea estimar la rapidez con la que pierde calor un foco incandescente de 40 W 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, y (**B**) Si el aire alrededor del foco se encuentra en reposo.

RESPUESTA: 26.9%, 16.6%

EJERCICIO 23

[vaca esférica]

RESPUESTA: (A) 239.2 W, (B) 441.9 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…

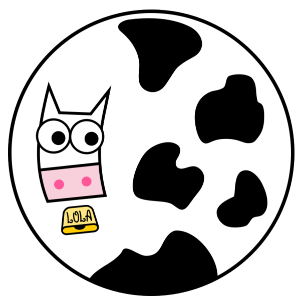
El primero en llegar es un psicólogo. Él le dice al granjero que las vacas están estresadas. Opina que tienen recuerdos traumáticos de su infancia y que seguramente les hizo falta una figura paterna cuando eran terneras. Le recomienda al granjero hablar con ellas todas las tardes y ponerles música instrumental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

Luego viene un ingeniero industrial. Realiza un estudio de tiempos y movimientos mientras ordeñan 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.

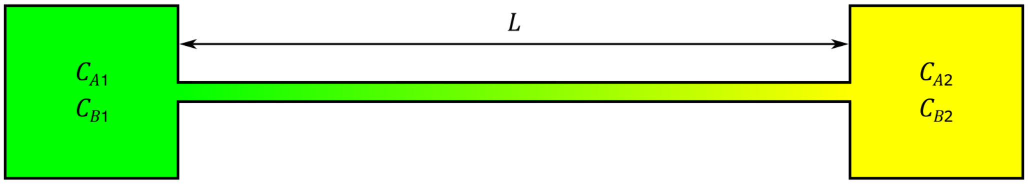
La temperatura ambiente es 4 °C (una temperatura típica de un refrigerador de carnicería) y no sopla viento. La piel de la vaca tiene una temperatura superficial de 28 °C. Estimar la rapidez con la que la vaca pierde calor (en watts) si se asume que la vaca es:

(**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 24

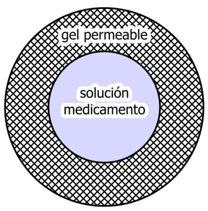
Se tienen dos recipientes grandes llenos de mezclas de dos gases A y B con diferente concentración, conectados mediante un tubo capilar de longitud L y diámetro D. El sistema se mantiene a temperatura y presión constantes. Encontrar el perfil de concentración de A en función de la posición z a lo largo del capilar.



RESPUESTA: $C_A = C_{A1} + \left(C_{A2} - C_{A1}\right)\dfrac{z}{L}$

EJERCICIO 25

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:



$$C_A(r) = C_{A0}\frac{R_1(R_2 - r)}{r(R_2 - R_1)} \qquad \text{para } R_1 \le r \le R_2$$

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 pseudo-estable). También se puede asumir que fuera de la cápsula la concentración del medicamento es cero.

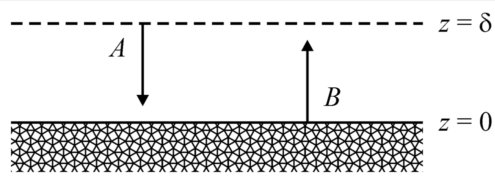
EJERCICIO 26 – OPCIONAL

Un conducto 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** $\longrightarrow$ **B**. 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.

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

EJERCICIO 27 – OPCIONAL

Considérese la difusión en fase gaseosa cerca de la superficie de un catalizador. El componente A se difunde a través de una capa límite hacia el catalizador, donde reacciona instantáneamente para producir B de acuerdo a la reacción A $\longrightarrow$ 2B. El componente B se difunde alejándose del catalizador, también a través de la misma capa. Fuera de la capa límite ($z \ge \delta$) se tiene gas A puro. El sistema se mantiene isotérmico e isobárico. Determinar el perfil de concentraciones en estado estable para la fracción mol de A en la capa límite.



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

EJERCICIO 28

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 el coeficiente de transferencia de masa desde el disco hacia el agua. NOTA: El ácido benzóico es sólo escasamente soluble en agua.

RESPUESTA: $k = 8.96\times10^{-4}$ cm/s

EJERCICIO 29

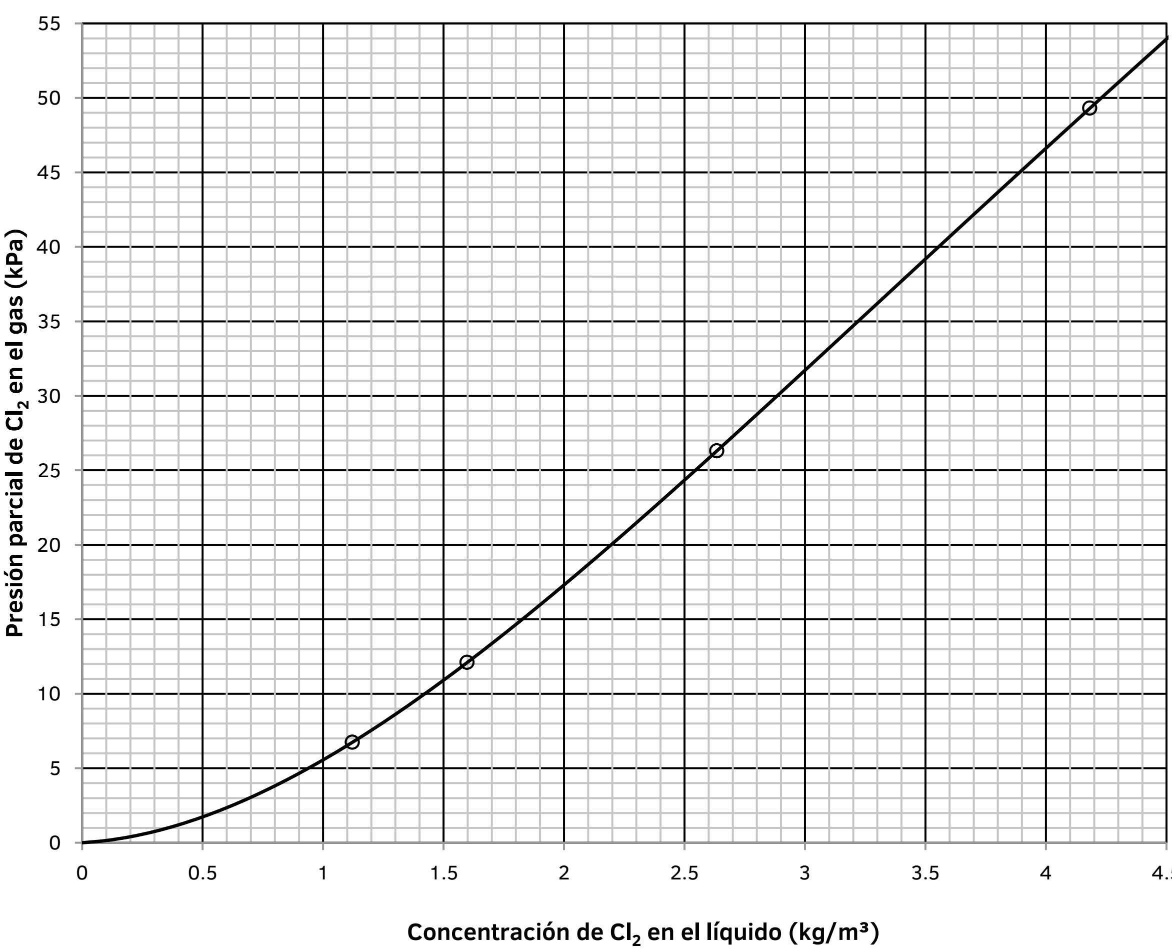
El agua clorada que se utiliza para blanquear la pulpa de papel se prepara por absorción de Cl_2 en agua. En ciertas condiciones de operación en el sistema, la presión parcial de cloro en la fase gaseosa es de 47 kPa y la concentración de cloro en el líquido es 0.2 kg/m³. El coeficiente global de transferencia 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