

Fenómenos de Transporte 2

Ejercicios Enero – Junio 2018

EJERCICIO 1

Estimar la conductividad térmica del nitrógeno gaseoso a 135 °C y 1 atm. A esta temperatura, la capacidad calorífica a presión constante del nitrógeno es 29.3 J/mol·K y su viscosidad en fase gas es 2.23×10^{-5} Pa·s.

RESPUESTA: 0.0335 W/m·K

EJERCICIO 2 – OPCIONAL

Estimar la conductividad térmica del monóxido de carbono gaseoso a 377 °C y 1 atm. La capacidad calorífica a presión constante del CO como gas ideal es $c_p = 35.524 - 0.0325T + 9.827 \times 10^{-5}T^2 - 1.082 \times 10^{-7}T^3 + 4.282 \times 10^{-11}T^4$ (T en K, c_p en J/mol·K).

RESPUESTA: 0.0518 W/m·K

EJERCICIO 3

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

RESPUESTA: 0.0268 W/m·K

EJERCICIO 4

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 5 – OPCIONAL

Algunos diseños de lámparas de vapor de mercurio emplean cierta cantidad de argón como gas de relleno para favorecer el inicio de la descarga eléctrica. Estime la conductividad térmica de una mezcla de argón y vapor de mercurio a una temperatura de 400 °C y una presión total de 2 bar, si la fracción mol de argón es 5%.

RESPUESTA: 0.0111 W/m·K

EJERCICIO 6

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 7

Estimar la conductividad térmica de una mezcla líquida equimolar de benceno y tolueno a 35 °C. Las conductividades de los compuestos puros son 0.488 y 0.4566 W/m·K, respectivamente.

RESPUESTA: 0.4654 W/m·K

EJERCICIO 8

Genuino salmón del Pacífico Noroeste (Oregón, para más señas) se va a conservar congelado a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ para su eventual consumo en finos restaurantes en todo el mundo. La composición (en base peso) del salmón es 75.62% agua, 19.76% proteína, 3.41% grasa y 1.21% cenizas, y su temperatura de congelamiento inicial es $-2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Calcular el porcentaje de hielo y la conductividad térmica (empleando el modelo paralelo) del salmón cuando se congela a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

RESPUESTA: 69.9% hielo, 2.044 W/m·K

EJERCICIO 9

En un experimento de transferencia de calor por radiación, se disponen dos rectángulos (que pueden asumirse cuerpos negros) de $9\text{ cm} \times 18\text{ cm}$, colocados uno frente al otro paralelamente a una distancia de 5 cm , y se mantienen a temperaturas constantes de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente. (A) Calcule la densidad de flujo de calor emitida como radiación por cada rectángulo, de acuerdo a la ley de Stefan-Boltzmann. (B) Determine el flujo neto de calor entre los dos rectángulos.

RESPUESTA: (A) 448.05 W/m^2 y 618.3 W/m^2 , (B) 1.29 W .

EJERCICIO 10 – OPCIONAL

Un estudiante llevó a cabo una demostración experimental de la transferencia de calor por radiación entre dos discos metálicos paralelos (pueden asumirse cuerpos negros). Ambos discos miden 18.8 cm de diámetro y sus temperaturas se mantenían constantes a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente. El estudiante determinó que la rapidez de transferencia de calor por radiación fue 22.3 watts . Sin embargo, olvidó medir la distancia entre los discos, y es un dato que necesita para su reporte. A partir de la información conocida, calcule a qué distancia se encontraban los discos.

RESPUESTA: 4.7 cm

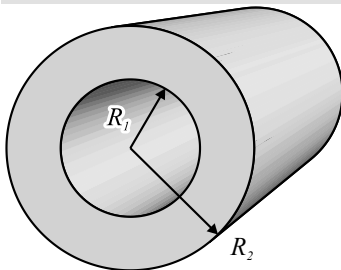
EJERCICIO 11

En realidad, me gusta mucho mi oficina. Tiene un gran ventanal desde el que tengo 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. Considerando que en un día soleado el suelo alcanza una temperatura de $55\text{ }^{\circ}\text{C}$, y que la ventana está a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, y asumiendo que la emisividad del concreto del suelo es 0.88 y la emisividad de la ventana es 0.91 , estimar la rapidez neta de transferencia de calor por radiación, del suelo a la ventana de mi oficina.



RESPUESTA: 754 W .

EJERCICIO 12



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 una envoltura cilíndrica de espesor Δr y longitud L , y resolver la ecuación diferencial resultante para obtener el perfil de temperaturas $T(r)$ en estado estable, para $R_1 \leq r \leq R_2$.

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

EJERCICIO 13 – 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 una envoltura esférica de espesor Δr para obtener el perfil de temperaturas $T(r)$ en estado estable, para $R_1 \leq r \leq R_2$.

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

EJERCICIO 14

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/m^5 . Determinar el perfil de temperatura en estado estable $T(x)$ así como la temperatura máxima en la barra.

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

EJERCICIO 15

Adaptado de Bird (2002)

En cierto tipo de reactores nucleares, se emplea esferas de combustible nuclear formadas por un material fisionable (uranio) disperso en un material moderador de neutrones (grafito). El calor generado por la desintegración radioactiva se emplea para producir vapor de agua, el cual se usa para accionar un generador eléctrico.

(A) Mediante simplificación de la ecuación de conservación de la energía térmica, determinar el perfil de temperatura en una esfera de combustible nuclear de radio R y conductividad térmica k , cuya superficie se mantiene a una temperatura constante y uniforme T_s , para el caso de una rapidez de generación de calor no uniforme dada por:

$$\dot{G} = G_0 \left[1 + b \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] \quad (G_0 \text{ y } b \text{ constantes})$$

(B) Determinar la máxima temperatura en el interior de la esfera, si $T_s = 150 \text{ }^\circ\text{C}$, $R = 1.35 \text{ plg}$, $G_0 = 3.6 \times 10^6 \text{ W/m}^3$, $k = 2.5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ y $b = 0.5$.

$$\text{RESPUESTA: (A) } T = T_s + \frac{G_0 R^2}{6k} \left\{ \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] + \frac{3b}{10} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^4 \right] \right\}, \quad \text{(B) } 474.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

EJERCICIO 16

Considérese un fluido mueve de forma laminar en el interior de una tubería cilíndrica de radio interno R y longitud L . En este caso, el perfil de velocidad está dado por:

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

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 lo suficientemente altas, la fricción entre las capas de fluido produce una disipación viscosa de energía, haciendo que la temperatura del fluido aumente. Determinar el perfil de temperatura en este caso, en función de la posición r . 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 la viscosidad y la conductividad térmica del fluido no cambian con respecto a la temperatura.

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

EJERCICIO 17

Se disipa calor de una placa por medio de una serie de aletas rectas. 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 placa es $80 \text{ }^\circ\text{C}$ y la temperatura del aire circundante es $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Considerando una sola de las aletas, calcular el número de Biot para la aleta y la rapidez de transferencia de calor (en watts).

$$\text{RESPUESTA: } Bi = 0.434, Q = 8.43 \text{ W}$$

EJERCICIO 18

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 $125 \text{ }^\circ\text{C}$. Las aletas están hechas de bronce ($k = 109 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), tienen un diámetro externo de 3.5 plg y un espesor de 1/16 plg. El aire circundante se encuentra a $20 \text{ }^\circ\text{C}$. 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 79 aletas por cada metro de longitud del tubo

EJERCICIO 19 – OPCIONAL

Adaptado de Welty, Wicks y Wilson, "Fundamentos de Transferencia de Momento, Calor y Masa".

Una barra de acero (conductividad térmica: $23 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) de 3 cm de diámetro y 45 cm de longitud forma parte de la estructura interna de una chimenea, donde está expuesta a gases calientes a $350 \text{ }^\circ\text{C}$. La barra está adherida a dos paredes opuestas de la chimenea, que mantienen una temperatura constante de $200 \text{ }^\circ\text{C}$. Si la temperatura máxima de la barra es $300 \text{ }^\circ\text{C}$, determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección (asumido constante).

$$\text{RESPUESTA: } 10.58 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

SUGERENCIA: La simetría del sistema permite analizar la barra como si se tratara de dos aletas unidas por su extremo libre. Demostrar primero que la temperatura T_L del extremo de una aleta recta de sección transversal constante cumple con la relación:

$$T_L = T_\infty + \frac{T_b - T_\infty}{\cosh \sqrt{Bi}}$$

EJERCICIO 20

Considérese un objeto sólido, con masa m_s , capacidad calorífica c_{ps} y temperatura inicial T_0 que se introduce en un recipiente que contiene un fluido con masa m_f , capacidad calorífica c_{pf} y temperatura inicial T_{f0} . El recipiente está aislado, por lo que no hay pérdidas de calor al medio ambiente. El área del objeto es A , y el coeficiente de transferencia de calor entre el objeto y el fluido es h . La masa del fluido no se puede asumir infinita, por lo que debe tomarse en cuenta también el cambio de la temperatura del fluido T_f con respecto al tiempo. Realizar un balance de energía para el objeto y otro para el fluido, y resolver el sistema de ecuaciones diferenciales obtenido para encontrar una ecuación que describa la temperatura T del objeto en función del tiempo.

$$\text{RESPUESTA: } T = \frac{m_s c_{ps} T_0 + m_f c_{pf} T_{f0}}{m_s c_{ps} + m_f c_{pf}} + \left(\frac{m_f c_{pf} (T_0 - T_{f0})}{m_s c_{ps} + m_f c_{pf}} \right) \exp \left[\frac{-hA (m_s c_{ps} + m_f c_{pf})}{m_s c_{ps} m_f c_{pf}} t \right]$$

Sugerencia: Los balances de energía para el sólido y el fluido dan lugar a las siguientes ecuaciones diferenciales:

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{hA}{m_s c_{ps}} (T - T_f) \quad (1)$$

$$\frac{dT_f}{dt} = \frac{hA}{m_f c_{pf}} (T - T_f) \quad (2)$$

que es un sistema de dos ecuaciones diferenciales simultáneas de primer orden. Si se divide la ecuación (2) entre la ecuación (1), se obtiene una ecuación de primer orden donde no aparece el tiempo de forma explícita (un sistema de este tipo se denomina *autónomo*), cuya solución es una ecuación que relaciona T_f con T , que puede luego sustituirse en la ecuación (1) para encontrar la solución buscada.

EJERCICIO 21

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

(A) En el primer experimento, la esfera (inicialmente a una temperatura uniforme de $20 \text{ }^\circ\text{C}$) 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 $189 \text{ }^\circ\text{C}$. ¿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 $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Después de 90 segundos en el aceite, el sensor de la esfera registra $29 \text{ }^\circ\text{C}$. ¿Cuál es el valor del coeficiente de transferencia de calor en este caso?

RESPUESTA: $1.72 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $94.5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

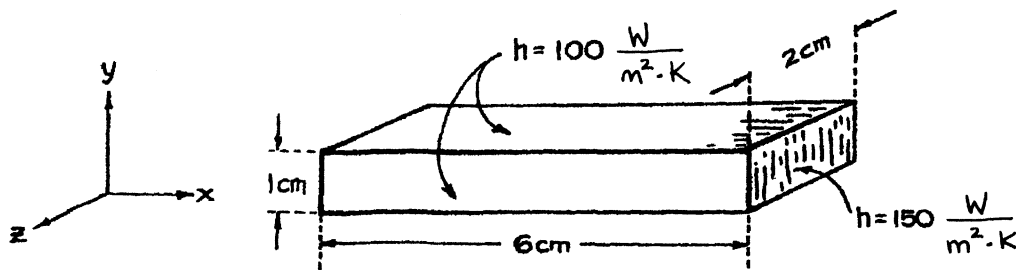
EJERCICIO 22

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

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

(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:

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

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

ANSWER: (A) $149.85 \text{ }^\circ\text{C}$, (B) 5792.41 J

EJERCICIO 23 – OPCIONAL

Es mucho más sencillo fabricar cubos que fabricar esferas. Un estudiante está interesado en medir el coeficiente de transferencia de calor de un cubo sumergido en un fluido. Para este efecto, fabrica un cubo de bronce de 5 cm de lado con un termopar instalado en el centro, y lo deja en hielo toda la noche para que alcance una temperatura uniforme de $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Al día siguiente, lo sumerge en un baño de agua hirviente a $100 \text{ }^\circ\text{C}$. De acuerdo a la lectura registrada por el termopar, el centro del cubo alcanza $99.9 \text{ }^\circ\text{C}$ en 4 minutos con 7 segundos. Asumiendo que la transferencia de calor

ocurre de manera idéntica en las tres direcciones del cubo, ¿cuál es el valor del coeficiente de transferencia de calor por convección? El bronce empleado tiene una densidad de 8.8 g/cm^3 , un calor específico de $0.1 \text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$ y una conductividad térmica de $52 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.

RESPUESTA: $1040 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

EJERCICIO 24

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/m^2 (B) 21575 W/m^2

EJERCICIO 25

Adaptado de Welty, Wicks y Wilson (1997)

Por el interior de una tubería de acero de 8 plg cédula 140, de 6 m de longitud, fluyen 4500 kg/h de vapor saturado a 230°C . Estimar el coeficiente de transferencia de calor por convección del vapor a la pared interior de la tubería.

NOTA: Asumir que todas las propiedades del vapor son iguales a las del vapor saturado a 230°C (esta suposición se justifica en el caso de tuberías bien aisladas, porque la temperatura de la pared va a ser apenas unos grados diferente que la del fluido).

RESPUESTA: $269.6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

EJERCICIO 26

(vaca esférica)

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

EJERCICIO 27 – OPCIONAL

Una barra cilíndrica de acero de 20 mm de diámetro y 200 mm de longitud, con una emisividad de 0.9 , se saca de un horno a 455°C y se sumerge horizontalmente en agua a presión atmosférica. Asumiendo ebullición en película, estimar la rapidez inicial con la que se transfiere calor de la barra al agua.

RESPUESTA: 92.876 kW/m^2

EJERCICIO 28 – OPCIONAL

Se hace hervir agua en el exterior de tubos de cobre de 1 plg de diámetro y 75 cm de longitud. La presión del sistema es 1 atm . Los tubos se operan con una densidad de flujo de calor de 830 kW/m^2 . ¿Se tiene ebullición nucleada o en película? ¿Cuántos tubos se necesitan para producir 750 kg/h de vapor saturado? ¿Cuál es la temperatura superficial de los tubos?

RESPUESTA: 10 tubos, 109.5°C

EJERCICIO 29

Una placa vertical de 50 cm de altura y 30 cm de ancho, cuya temperatura superficial se mantiene a 54°C , se pone en contacto con vapor de agua a 1 atm . Calcular la densidad de flujo de calor y el flujo másico del condensado.

RESPUESTA: 162.5 kW/m^2 , 38.88 kg/h

EJERCICIO 30

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 ($k = 0.26 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), 4 cm de fibra de vidrio ($k = 0.081 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) y una lámina de 2.5 mm de espesor de aluminio ($k = 273 \text{ W/m}\cdot\text{K}$). 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 31

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 $h_i = 1035 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, y el coeficiente de transferencia de calor por convección en el exterior del tubo es $h_e = 1209 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. El tubo está hecho de bronce ($k = 52 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) y sus dimensiones son $D_e = 1 \text{ plg}$, $D_i = 0.782 \text{ plg}$ y $L = 6 \text{ ft}$. 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: $R_T = 0.014546 \text{ K/W}$, $U_e = 471.1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, $U_i = 602.4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

EJERCICIO 32

Se tiene un fluido circulando por el interior de un tubo, y otro fluido diferente circulando por el exterior. Para el interior del tubo, el coeficiente convectivo es $1209 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y el coeficiente de ensuciamiento es $1991 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, mientras que para el exterior del tubo, el coeficiente convectivo es $7600 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y el de ensuciamiento es $2750 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. El tubo está hecho de bronce (de conductividad $52 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), su diámetro externo es $3/4 \text{ plg}$, y el espesor de la pared es $1/16 \text{ plg}$. Calcular el coeficiente global de transferencia de calor basado en el área externa del tubo.

RESPUESTA: $U_e = 471 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

EJERCICIO 33

Para enfriar un aceite, se emplea un intercambiador de calor de tubos concéntricos formado con un tubo interior de pared delgada por donde circula agua (720 kg/h, entrando a 30 °C), y un tubo exterior por donde circula el aceite (450 kg/h, entrando a 100 °C). Se desea que el aceite salga del intercambiador a 55 °C. El intercambiador está conectado para flujo en contracorriente, con un coeficiente global de transferencia de calor de $240.6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Calcule la cantidad total de calor transferido (en kW), la temperatura de salida del agua, y el área de transferencia requerida en el intercambiador. El calor específico del aceite es $2000 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$, y el del agua se puede asumir como $4200 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$.

RESPUESTA: 11.25 kW, 43.39 °C, 1.209 m²

EJERCICIO 34

Adaptado de Incropera (2006).

En una planta de procesamiento de lácteos, se necesita enfriar una corriente de leche de vaca, que está inicialmente a temperatura corporal, hasta una temperatura adecuada para su refrigeración. Para ello se va a emplear un intercambiador de calor de coraza y tubos, con agua como fluido de enfriamiento. El coeficiente global de transferencia de calor para el intercambiador es $1000 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Determinar el tipo adecuado de intercambiador a usar, la temperatura de salida del agua y el área requerida de transferencia de calor.

	\dot{V} (m ³ /h)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg·K)	T_e (°C)	T_s (°C)
leche	2.5	1030	3860	38.6	13
agua	7.2	1000	4200	10	?

RESPUESTA: intercambiador 2-4, 18.41 °C, 9.445 m²

EJERCICIO 35 – OPCIONAL

Adaptado de Incropera (2006).

En un proceso, se desea enfriar 2 kg/s de una solución ($c_p = 3.5 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$) desde 80°C hasta 50°C , empleando 150 LPM agua refrigerada disponible a 15°C . Calcular el área necesaria del intercambiador si se emplea: (A) un intercambiador de doble tubo en flujo paralelo, (B) un intercambiador de doble tubo a contracorriente, y (C) un intercambiador de coraza y tubos 1-2. En todos los casos, asumir que el coeficiente global de transferencia de calor es $2000 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. ¿A qué conclusión se puede llegar respecto a cuál intercambiador requiere la menor área?

RESPUESTA: (A) 3.09 m^2 , (B) 2.64 m^2 , (C) 2.83 m^2

EJERCICIO 36

Se emplea un intercambiador de calor de coraza y tubos 1-2 para enfriar una corriente de etilenglicol ($\dot{m} = 2.1 \text{ kg/s}$, $c_p = 2470 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$) empleando una corriente de agua de río ($\dot{m} = 5 \text{ kg/s}$, $c_p = 4180 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$). Los fluidos entran a 75°C y 25°C , respectivamente. El intercambiador tiene un área total de 9.12 m^2 , y en las condiciones en las que se operará se estima que el coeficiente global de transferencia de calor es $850 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Determinar el número de unidades de transferencia del intercambiador y las temperaturas de salida de ambos fluidos.

RESPUESTA: $N_T = 1.495$; el etilenglicol sale a 39.8°C y el agua sale a 33.7°C

EJERCICIO 37 – OPCIONAL

Se pretende emplear un intercambiador de tubos concéntricos para enfriar una corriente de salmuera (18 kg/min entrando a 70°C) empleando agua (450 kg/min entrando a 30°C). El intercambiador está construido en acero inoxidable ($k = 16 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), formado por un tubo de 1 plg de diámetro externo (con espesor de pared de 0.065 plg), instalado dentro de un tubo de 2 plg de diámetro externo (con espesor de pared de 0.109 plg), ambos de 10 pies de longitud. La salmuera fluye en el tubo interno, y el agua circula a contracorriente en el espacio entre los tubos. Las propiedades físicas de las corrientes se muestran en la tabla y se pueden asumir constantes. Las pérdidas de calor al medio ambiente son despreciables. Calcular (A) el coeficiente global de transferencia de calor, basado en el área externa del tubo interno, y (B) la temperatura de salida de la salmuera.

	densidad kg/m^3	viscosidad cP	capacidad calorífica $\text{J/kg}\cdot\text{K}$	conductividad térmica $\text{W/m}\cdot\text{K}$
AGUA	1000	1	4150	0.615
SALMUERA	1190	1.35	3270	0.570

RESPUESTA: $1535.2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, 57.4°C .

EJERCICIO 38

Se alimenta a un evaporador de efecto simple un flujo de 15 toneladas por hora de una solución acuosa al 10% de un coloide orgánico, entrando a 20°C , que se desea concentrar hasta 40% en peso. El calor específico de la solución coloidal es $0.9 \text{ kcal/kg}\cdot^\circ\text{C}$ y se puede asumir constante e independiente de la concentración. El medio de calentamiento es vapor de agua saturado a 2 atm (presión absoluta), que sale del evaporador como líquido saturado. En la cámara de evaporación se mantiene una presión de 150 mmHg (absoluta). El coeficiente global de transferencia de calor es $2000 \text{ kcal/m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}$. Se puede despreciar el incremento del punto de ebullición, el calor de dilución y las pérdidas de calor al entorno. Determinar (A) el consumo de vapor vivo, (B) el área de transferencia de calor que debe tener el evaporador, y (C) la economía del vapor.

RESPUESTA: (A) 13329.5 kg/h , (B) 57.7 m^2 , (C) 84.4%

EJERCICIO 39

Se desea concentrar agua de mar (que contiene 3.5 g de NaCl/kg) para producir 180 kg/h de salmuera al 23% en peso, empleando un evaporador de efecto único que tiene un área de transferencia de 75 m^2 y un coeficiente global de transferencia de calor de $1176 \text{ kcal/m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}$. La alimentación entra a 20°C y se desea que la solución en ebullición en el evaporador se encuentre a 70°C . El calor específico de las soluciones acuosas de NaCl está dado por la ecuación:

$c_p = 1 - 1.221x + 1.818x^2$ donde x es la fracción peso de NaCl en la solución y el c_p está dado en cal/g·°C (asumir independiente de la temperatura). Determinar: (A) el flujo de alimentación, (B) el incremento en el punto de ebullición, (C) la presión que debe tener el vapor vivo que se emplee como medio de calentamiento, si entra como vapor saturado y sale como líquido saturado.

RESPUESTA: (C) 4.7 atm.

EJERCICIO 40 – OPCIONAL

Se va a utilizar un sistema de evaporación de triple efecto con alimentación hacia adelante para concentrar una solución de hidróxido de sodio del 10% al 50% en peso. La alimentación entra a 25 °C. Como medio de calentamiento en el primer efecto se dispone de vapor saturado a 7.5 atm manométrico y se utilizará eyectores para mantener una presión de 720 mmHg de vacío en el tercer efecto. Se espera tener coeficientes globales de transferencia de calor de 4,500, 2,800 y 1700 W/m²·K, respectivamente en el primer, segundo y tercer efecto. Las áreas de calentamiento deberán ser iguales y lo suficientemente grandes para producir 10 toneladas de concentrado cada hora. Determinar (A) el área de transferencia de calor para cada efecto, (B) el consumo de vapor y (C) la economía del vapor.