

Fenómenos de Transporte 2

Ejercicios Ago – Dic 2022

Unidad 1 – Fundamentos de la transferencia de calor

EJERCICIO 1 (6 puntos)

Estimar la conductividad térmica del vapor de acetona a 184 °C y 1 atm, empleando (A) la ecuación de Stiel y Thodos, y (B) el método de Chung. A esas condiciones de temperatura y presión, la viscosidad del vapor de acetona es 114.5 μP y su capacidad calorífica a presión constante es 104.4 J/mol·K. En ambos casos, calcular el error de la estimación, si se sabe que el valor experimental de la conductividad térmica de la acetona en esas condiciones es 0.0247 W/m·K, y comentar con cuál método se tiene menor error.

RESPUESTA: (A) 0.0249 W/m·K, (B) 0.0251 W/m·K

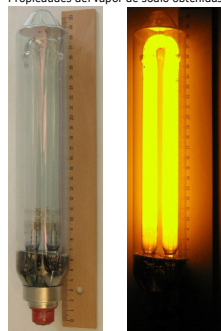
EJERCICIO 2 (4 puntos)

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

RESPUESTA: 0.0267 W/m·K

EJERCICIO 3 (8 puntos)

Propiedades del vapor de sodio obtenidas de Dunning (1960) "The thermodynamic and transport properties of sodium and sodium vapor", Argonne National Laboratory, <https://www.osti.gov/servlets/purl/4120472>



En una lámpara de vapor de sodio de baja presión (en inglés LPS, *low-pressure sodium vapor*), la corriente eléctrica excita un electrón del átomo de sodio haciendo que emita un fotón. Este tipo de lámpara emite una luz amarilla prácticamente monocromática (de hecho, dos líneas espectrales a 589.0 y 589.6 nm). Contiene una pequeña cantidad de gas neón, para producir la descarga eléctrica inicial, y sodio metálico que se sublima conforme alcanza su temperatura de operación, normalmente alrededor de 300 °C.

Estimar la conductividad térmica del gas en el interior de una lámpara de vapor de sodio de baja presión, a 300 °C y 2 Pa, de composición 91% mol Na y 9% mol Ne. Se dispone de los siguientes datos en fase gaseosa a 300 °C y baja presión: $k_{\text{Na}} = 0.0095 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, $\mu_{\text{Na}} = 75 \mu\text{P}$, $\mu_{\text{Ne}} = 490 \mu\text{P}$.

RESPUESTA: 0.0112 W/m·K

EJERCICIO 4 (6 puntos)

Estimar la conductividad térmica del etanol a 15 °C, usando (A) el método de Sato y Riedel, y (B) el método de Latini.

RESPUESTA: (A) 0.194 W/m·K, (B) 0.161 W/m·K

EJERCICIO 5 (6 puntos)

Estimar la conductividad térmica de una mezcla líquida equimolar de acetona y éter dietílico, a 15 °C.

RESPUESTA: 0.143 W/m·K

EJERCICIO 6 (8 puntos)

El acetonitrilo, el más simple de los nitrilos, es un líquido incoloro empleado como solvente polar aprótico con aplicaciones en síntesis orgánica, así como en la purificación del butadieno. Se obtiene como subproducto en la fabricación de acrilonitrilo. Entre sus ventajas destacan su miscibilidad con agua, que es líquido en un amplio intervalo de temperatura, y su capacidad de disolver una gran cantidad de sustancias iónicas y no polares debido a su elevado momento dipolo. Su baja viscosidad y escasa reactividad lo hacen útil como fase móvil en cromatografía líquida de alta resolución (HPLC, High Performance Liquid Chromatography). En dosis pequeñas es sólo moderadamente tóxico.

ACETONITRILLO	Número CAS	75-05-8
	Peso molecular	41.053 g/mol
	Punto de fusión	-45 °C
	Punto de ebullición	81.6 °C
	Temperatura crítica	275.35 °C
	Presión crítica	48.3 bar
	Volumen molar crítico	173 cm ³ /mol
	Factor acéntrico	0.327
	Momento dipolo	3.5 debye
	Densidad de líquido (@ 20 °C)	0.782 g/cm ³
	Viscosidad de líquido (@ 20 °C)	0.37 cP
	Viscosidad de vapor (@ 135 °C y 1 atm)	97.1 μP
	Cp de gas ideal (J/mol·°C, T en °C, 0 < T < 400 °C)	49.73 + 0.09843T - 4.7625×10 ⁻⁵ T ²

- (A) Estimar la conductividad térmica del vapor de acetonitrilo a 135 °C y 1 atm.
 (B) Estimar la conductividad térmica del acetonitrilo líquido a 15 °C.
 (C) Estimar la conductividad térmica de una solución acuosa de acetonitrilo al 30% peso a 15 °C.

RESPUESTA: (A) 0.0175 W/m·K; (B) 0.202 W/m·K; (C) 0.414 W/m·K

EJERCICIO 7 (4 puntos)

Resolver cada una de las siguientes ecuaciones diferenciales. Cuando se proporcionen condiciones de frontera, usarlas para obtener la solución particular.

RESPUESTAS:

(A) $\frac{dy}{dx} - 3x^2 + 1 = 0$

$y = x^3 - x + C$

(B) $\frac{dy}{dx} + e^{-3x} = 0$

$y = \frac{1}{3}e^{-3x} + C$

(C) $x \frac{dy}{dx} - 2y = 6$ con $y = -1$ cuando $x = 1$

$y = 2x^2 - 3$

(D) $\frac{d}{dx} \left(x \frac{dy}{dx} \right) = 0$

$y = C_1 \ln x + C_2$

(E) $\frac{d^2 y}{dx^2} - \frac{dy}{dx} - 2y = 0$

$y = C_1 e^{2x} + C_2 e^{-x}$

(F) $\frac{d^2 y}{dx^2} - 4 \frac{dy}{dx} + 5y = 0$

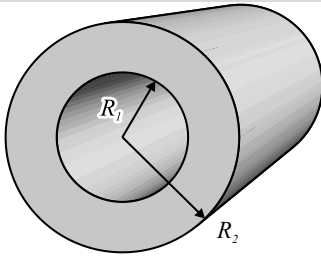
$y = C_1 e^{2x} \sin x + C_2 e^{2x} \cos x$

(G) $\frac{d^2 y}{dx^2} - 9y = 0$

$y = C_1 \sinh(3x) + C_2 \cosh(3x)$

(H) $2 \frac{d^2 y}{dx^2} + 3 \frac{dy}{dx} = 0$ sujeta a $y(0) = 11$ y $y'(0) = -10.5$

$y = 4 + 7e^{-1.5x}$

EJERCICIO 8 (4 puntos)

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. Mediante simplificación de la ecuación de conservación de la energía térmica, obtener el perfil de temperaturas $T(r)$ en estado estable, para la región $R_1 \leq r \leq R_2$.

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

EJERCICIO 9 (6 puntos)

Adaptado de Bird (2002)

En cierto tipo de reactores nucleares, se emplea esferas de combustible nuclear formadas por uranio mezclado con un 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 $\dot{G} = G_0(1 + Br^2)$, donde G_0 y B son constantes.
- (B) Determinar la máxima temperatura en el interior de la esfera, si $T_s = 150$ °C, $R = 1.35$ plg, $G_0 = 3.6 \times 10^6$ W/m³, $k = 2.5$ W/m·K y $B = 425$ m⁻².

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

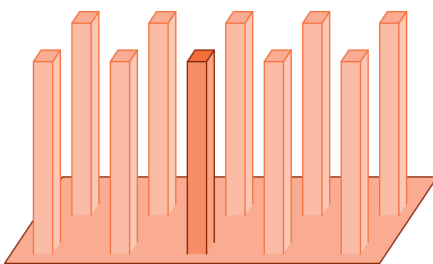
EJERCICIO 10 (8 puntos)

Un fluido newtoniano de propiedades constantes se mueve en flujo laminar estable por el interior de una tubería horizontal de radio interno R y longitud L , con el perfil de velocidad parabólico mostrado en la ecuación (derecha), donde ΔP es la diferencia de presión entre los extremos de la tubería y μ es la viscosidad del fluido.

$$v_z = \frac{(\Delta P)}{4\mu L} (R^2 - r^2)$$

Si la viscosidad y la velocidad del fluido son suficientemente altas, la disipación viscosa de energía, debida a las fuerzas de fricción entre las capas de fluido, hace que la temperatura del fluido aumente. Si la pared de la tubería se mantiene a una temperatura constante T_w , determinar el perfil de temperatura en el fluido, en función de la posición r .

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

EJERCICIO 11 (4 puntos)

Se disipa calor de una placa por medio de una serie de aletas rectas. Todas las aletas son idénticas, están hechas de cobre ($k = 400$ W/m·K), tienen 25 mm de longitud y una sección transversal cuadrada (constante) de 5 mm de lado. El coeficiente de transferencia de calor por convección, asumido constante, es 347 W/m²·K. La temperatura de la placa es 80 °C y la temperatura del aire circundante es 25 °C. Analizando una sola de las aletas, calcular el número de Biot y la rapidez de transferencia de calor (en watts).

RESPUESTA: $Bi = 0.434$, $Q = 8.38$ W

EJERCICIO 12 (6 puntos)

En un intercambiador de calor, se va a utilizar tubos de cobre ($k = 400 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) de 1 plg de diámetro externo, equipados con aletas circulares extruidas de 1.75 plg de diámetro y 0.75 mm de espesor. La temperatura en la base de las aletas va a ser $95 \text{ }^\circ\text{C}$, y el fluido alrededor del tubo va a estar a $40 \text{ }^\circ\text{C}$. En las condiciones en las que se va a operar el intercambiador, se espera que el coeficiente de transferencia de calor entre las aletas y el fluido circundante será $3210 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Determinar cuánto calor transferirá cada aleta.

RESPUESTA: 210.3 W

EJERCICIO 13 (6 puntos)

Se desea utilizar aletas circulares de espesor uniforme para promover la transferencia de calor desde un tubo de 1 plg de diámetro. Las aletas deben tener 2 plg de diámetro y estarán fabricadas de acero inoxidable ($15.1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$). La temperatura del tubo y del aire circundante son $85 \text{ }^\circ\text{C}$ y $21 \text{ }^\circ\text{C}$, respectivamente. El coeficiente de transferencia de calor por convección es $80 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Determinar qué espesor (en milímetros) deben tener las aletas, si cada una debe disipar calor con una rapidez de 9.5 W .

RESPUESTA: 1.2 mm

Unidad 3 – Transferencia de calor en estado transitorio

EJERCICIO 14 (6 puntos)

Una varilla de vidrio borosilicato ($k = 1.4 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, $\alpha = 7.5 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$) 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 $350 \text{ }^\circ\text{C}$. El coeficiente de transferencia de calor entre el aire y la varilla es $830 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Determinar la temperatura que alcanza el centro de la varilla, si su temperatura inicial era $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

RESPUESTA: $320 \text{ }^\circ\text{C}$ **EJERCICIO 15** (8 puntos)

Adaptado de Levenspiel, "Engineering Flow and Heat Exchange", Plenum Press.

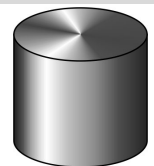
Un método para preparar cacahuates tostados sin grasa consiste en llenar una canasta de malla de alambre con cacahuates crudos pelados y sumergirla en un contenedor lleno de manitol y sorbitol fundidos (azúcares de menor poder endulzante), en vez de sumergirla en aceite caliente. Cuando los cacahuates están bien tostados se sacan, escurren, salan ligeramente y entonces están listos para empacarse. Si los cacahuates se encuentran originalmente a $15 \text{ }^\circ\text{C}$ y el líquido tostante se encuentra a $165 \text{ }^\circ\text{C}$, determinar:

- (A) El tiempo necesario para que sus centros alcancen $105 \text{ }^\circ\text{C}$.
- (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 $0.5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, densidad 1150 kg/m^3 , calor específico $1700 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$. El coeficiente de transferencia de calor por convección entre los azúcares fundidos y los cacahuates es de $80 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

RESPUESTA: (A) 36.7 s, (B) $118.5 \text{ }^\circ\text{C}$ **EJERCICIO 16** (8 puntos)

Un cilindro de aluminio ($\rho = 2702 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 0.903 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$, $k = 237 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) de 12 cm de diámetro y 12 cm de altura, inicialmente a $200 \text{ }^\circ\text{C}$, se va a enfriar sumergiéndolo durante 75 segundos en un gran baño de aceite a $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Calcular (A) la temperatura en el centro del cilindro, (B) su temperatura promedio y (C) la cantidad de calor que se ha transferido. El coeficiente de transferencia de calor por convección es $847 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. (NOTA: el cilindro no puede considerarse infinitamente largo).

RESPUESTA: (A) $90 \text{ }^\circ\text{C}$, (B) $87.1 \text{ }^\circ\text{C}$, (C) 373.8 kJ

EJERCICIO 17 (4 puntos)

Un vial de vacunas, originalmente almacenado en un ultracongelador a $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$, se transfiere a un refrigerador que se mantiene a $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ para su descongelación y posterior aplicación. El vial es cilíndrico, con un diámetro de 1.8 cm. Si el vial tarda 17 minutos en alcanzar una temperatura promedio de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, ¿cuál es el valor del coeficiente de transferencia de calor, del aire del refrigerador al vial? Asumir que el vial tiene una conductividad térmica de $1.4\text{ W/m}\cdot\text{K}$ y una difusividad térmica de $1\times 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$.

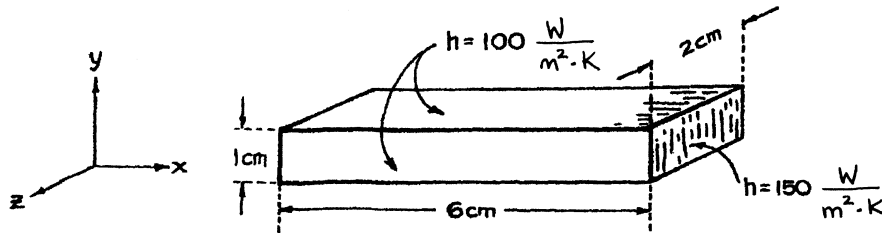
RESPUESTA: $15.5\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

EJERCICIO 18 (8 puntos)

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 19 (8 puntos)

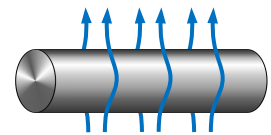
Una esfera metálica de masa m , diámetro D y temperatura inicial T_0 se sumerge en un gran recipiente lleno con un líquido a temperatura T_{∞} , con el que intercambia calor de acuerdo a la ley de Newton del enfriamiento (h constante). Se puede asumir que la esfera tiene una temperatura uniforme; es decir, que es un sistema de parámetros agrupados, y que la temperatura del líquido no cambia, por ser muy grande su volumen. (A) Realizando un balance de energía para la esfera, obtener la ecuación diferencial para la temperatura de la esfera. (B) Resolver la ecuación diferencial obtenida para encontrar la ecuación que describe la temperatura de la esfera en función del tiempo.

RESPUESTA: $T = T_{\infty} + (T_0 - T_{\infty})e^{\frac{-\pi D^2 h t}{mc_p}}$

Unidad 4 – Convección y radiación

EJERCICIO 20 (4 puntos)

Para enfriar un cilindro metálico de 1 plg de diámetro y 5 plg de longitud se va a colocar en una corriente de agua a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ moviéndose a 3.5 cm/s perpendicularmente al eje del cilindro. Considerando únicamente la convección en la superficie lateral del cilindro, estimar el coeficiente de transferencia de calor por convección, la densidad de flujo de calor por convección y la rapidez de transferencia de calor entre el cilindro y el agua, si la temperatura superficial del cilindro es $80\text{ }^{\circ}\text{C}$.



RESPUESTA: $850.6\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, 59542 W/m^2 , 603.4 W

EJERCICIO 21 (6 puntos)

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, en W/m², 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. Explicar por qué se pierde el calor más rápidamente en el caso del agua, a pesar de que el aire está a menor temperatura.

RESPUESTA: (A) 1363.9 W/m² (B) 21444 W/m²

EJERCICIO 22 (6 puntos)

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).

RESPUESTA: (A) 239.2 W, (B) 441.9 W

EJERCICIO 23 (4 puntos)

Determinar la densidad de flujo de calor emitido por radiación (de acuerdo a la ley de Stefan-Boltzmann) y la longitud de onda a la cual se emite la máxima cantidad de radiación (de acuerdo a la ley de Wien) para cada uno de los objetos siguientes, tratados como si fueran cuerpos negros: (A) una persona a temperatura ambiente, 25 °C, (B) un horno a 180 °C, y (C) la superficie del Sol a 5000 K.

RESPUESTA: (A) 448 W/m², 9.67 μm, (C) 3.54×10⁷ W/m², 576.8 nm.

EJERCICIO 24 (4 puntos)**82746.45**

En una prueba de transferencia de calor por radiación, se ubican dos rectángulos (asumidos como cuerpos negros) de 9 cm × 18 cm, uno frente al otro paralelamente a una distancia de 5 cm, y se mantienen a temperaturas constantes de 25 °C y 50°C, respectivamente. Calcular la rapidez neta de transferencia de calor entre los dos rectángulos.

RESPUESTA: 1.29 W

EJERCICIO 25 (6 puntos)

De 2013 a 2019, tuve mi oficina en el edificio K, junto al Laboratorio de Alimentos. Me gustaba mucho esa oficina, sobre todo porque tiene un gran ventanal con 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. Si en un día soleado la temperatura del suelo llega a 55 °C, la ventana está a 25 °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 de transferencia de calor por radiación, del suelo a la ventana de esa oficina.



RESPUESTA: 754 W.

Unidad 5 – Intercambiadores de calor

EJERCICIO 26 (8 puntos)

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 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 27 (8 puntos)

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 W/m²·K. Calcular 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 J/kg·K, y el del agua se puede asumir como 4200 J/kg·K.

RESPUESTA: 11.25 kW, 43.4 °C, 1.209 m²

EJERCICIO 28 (12 puntos)

Se requiere enfriar 1.2 kg/s de un jarabe ligero (15 °Bx) desde una temperatura inicial de 100 °C hasta una temperatura final de 60 °C, empleando 1.65 kg/s de agua a 20 °C. El calor específico del jarabe es 3.9 kJ/kg·°C, y el del agua es 4.2 kJ/kg·°C. (A) Calcular la carga térmica del intercambiador y la temperatura de salida del agua. (B) Determinar el área de transferencia de calor, si se emplea un intercambiador de coraza y tubos 1-2, con un coeficiente global de transferencia de calor de 12.9 kW/m²·°C.

RESPUESTA: (A) 187.2 kW, 47 °C, (B) 0.345 m²

EJERCICIO 29 (14 puntos)

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 m², y en las condiciones en las que se operará se estima que el coeficiente global de transferencia de calor es 850 W/m²·K. Determinar el número de unidades de transferencia del intercambiador y la temperatura 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

Unidad 6 – Evaporación y cristalización

EJERCICIO 30 (6 puntos)

A un evaporador de efecto simple, se alimenta 15 toneladas métricas por hora de una solución acuosa al 10% en peso 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 kcal/kg·°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 a esa misma presión. En la cámara de evaporación se mantiene una presión de 150 mmHg (absoluta). El coeficiente global de transferencia de calor es 2000 kcal/m²·h·°C. El incremento del punto de ebullición es despreciable. También se puede ignorar 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) 13209 kg/h, (B) 57.4 m², (C) 85.2%

EJERCICIO 31 (10 puntos)

Se desea concentrar 7200 kg/h una solución de sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, entrando al evaporador a 25 °C, desde una concentración desde un 10% hasta un 40% en peso empleando un evaporador continuo de efecto simple. Para asegurar que el producto no sufra una descomposición térmica, se requiere que la temperatura de la solución no exceda 80 °C. Como medio de calentamiento se dispone de vapor saturado a 2.5 bar absoluto. Determinar: (A) el flujo másico del producto, (B) el área requerida de transferencia de calor, (C) el consumo de vapor, y (D) la economía del vapor.

DATOS ADICIONALES:

$$c_p = 3.8 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \text{ para la solución al 10\%}$$

$$c_p = 2.5 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \text{ para la solución al 40\%}$$

$$U = 4700 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

RESPUESTA: (A) 1800 kg/h, (B) 17.54 m², (C) 6394.3 kg/h, (D) 85%

EJERCICIO 32 (8 puntos)

Adaptado de McCabe et al. (2005) "Operaciones Unitarias en Ingeniería Química", 7ª edición, McGraw-Hill.

Se planea usar un evaporador de circulación forzada para concentrar 4500 kg/h de una solución de hidróxido de sodio al 35% peso (entrando a 21 °C) hasta 60% peso. Se requiere que la temperatura de condensación del vapor eliminado sea 55 °C. Para la operación del evaporador se dispone de vapor saturado de baja presión (3 bar manométrico). El coeficiente global de transferencia de calor en el evaporador es 2400 W/m²·°C. Las pérdidas de calor del evaporador a los alrededores son despreciables. Determinar: (A) la presión de operación del evaporador, (B) el consumo de vapor de calentamiento, y (C) el área requerida de transferencia de calor.

RESPUESTA: (A) 118 mmHg, (B) 2898 kg/h, (C) 21.45 m²

EJERCICIO 33 (8 puntos)

Se tienen 300 kg de sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$) comercial que contiene 2% en peso de impurezas insolubles. Para purificarlo, se disuelve en 250 kg de agua caliente, la solución se filtra para eliminar las impurezas, y se enfría a 20 °C, temperatura a la cual la solubilidad es 0.2075 kg $\text{CuSO}_4/\text{kg H}_2\text{O}$. El sulfato se deja cristalizar y se separa del licor madre por filtración. Asumiendo que los cristales no retienen nada de solución, calcular la masa de los cristales de $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ obtenidos.

RESPUESTA: 202.1 kg