

TEMA 3. CONVECCION

1. Para mantener a 20°C, durante el invierno, un depósito de aceite lubricante, se calienta su fondo, de 25x25 cm, hasta alcanzar 100°C, conservándose constante esta temperatura durante todo el proceso, en la superficie interior del fondo del depósito. Una vez establecidas las condiciones anteriores, ¿cuál será el calor por unidad de tiempo que pasa del fondo al aceite? DATOS: Aceite lubricante a 60°C: $\rho = 864 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 0,489 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$, $\mu = 261 \text{ kg/hm}$; $k = 0,121 \text{ kcal/hm}^\circ\text{C}$; $Pr = 1050$; $\alpha_v(20^\circ\text{C}) = 0,702 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

$$Nu = C(Gr Pr)^m \rightarrow \begin{array}{ll} C = 0,525 & m = 1/4 \\ C = 0,14 & m = 1/3 \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{si } 10^4 < Gr Pr < 10^9 \\ \text{si } 10^9 < Gr Pr < 10^{12} \end{array}$$

(Sol: 368,05 kcal/h)

2. En los problemas de convección libre, suele admitirse que el régimen es laminar para $Gr Pr < 10^9$, y que es turbulento si $Gr Pr > 6 \times 10^{10}$. En el caso de convección libre sobre tubos verticales, se recomienda, en régimen laminar, la expresión $Nu = 0,75(Gr Pr)^{1/4}$ y para régimen turbulento $Nu = 0,15(Gr Pr)^{1/3}$. Se tiene un tubo vertical de diámetro $d = 12 \text{ cm}$ y altura $h = 6 \text{ m}$, en el aire. La temperatura de la pared del cilindro es $T_c = 523 \text{ K}$ y la del aire $T_a = 293 \text{ K}$. Calcular el calor por unidad de tiempo transferido al aire por convección libre, sabiendo que la conductividad térmica es $0,026 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, la viscosidad cinemática del aire a 293K es $15,06 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ y el n° de Prandtl $Pr = 0,703$. Puede considerarse el aire a 293 K como gas ideal. (Sol: 5,84 kW)
3. Consideremos una placa de 0,1 m de longitud por 0,1 m de ancho, que se encuentra a una temperatura de 80 °C. Se hace pasar agua a 40 °C sobre su superficie a una velocidad de 0,01m/s. Calcular el calor disipado por la placa en la unidad de tiempo. Supóngase las siguientes propiedades del agua a la temperatura media de 60 °C:

$$k = 0,651 \text{ W/m K}; Pr = 3,02; \nu = 0,478 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}.$$

$$Nu = 0,664 Re^{1/2} Pr^{1/3} \text{ si el régimen es laminar}$$

$$Nu = 0,036 Re^{0,8} Pr^{1/3} \text{ si es turbulento.}$$

Considérese régimen laminar si $Re < 2300$. Tómese como longitud característica en Re y Nu , la longitud de la placa. (Sol: 114 W)

4. Aire a 2 atm y 200 °C penetra en un tubo de 2,54 cm de diámetro a una velocidad de 10 m/s. La pared del tubo se mantiene siempre 20 °C por encima de la temperatura del aire a lo largo de todo el tubo, de modo que se tiene siempre un flujo calorífico constante de la pared al tubo. Averiguar: a) el calor transmitido por unidad de tiempo y unidad de longitud del tubo, b) el incremento sufrido por la temperatura del aire si el tubo tiene 3m de longitud. Datos: Para el aire, a la temperatura del problema: viscosidad = $2,57 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m s}$, conductividad térmica = $0,0386 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, calor específico a presión constante = $1,025 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$. El aire puede considerarse como un gas ideal en el que $R/Mr = 287 \text{ (SI)}$, donde R es la constante universal de los gases perfectos y Mr la masa molecular relativa del aire. Las relaciones experimentales usadas para transferencia de calor entre fluidos y tubos son las siguientes:

$$\text{Para régimen laminar: } Nu_d = 1,86 (Re_d Pr)^{1/3} \left(\frac{d}{L}\right)^{1/3}$$

$$\text{Para régimen turbulento: } Nu_d = 0,023 Re_d^n Pr^n \quad \begin{array}{l} n = 0,4 \text{ para calentamiento del fluido} \\ n = 0,3 \text{ para enfriamiento} \end{array}$$

(El subíndice d indica que el diámetro es la longitud característica que hay que tomar en el correspondiente número adimensional). (Sol: a) 103,5 W/m; b) $\Delta t = 40,04^\circ\text{C}$)

5. Para enfriar los elementos electrónicos situados en una placa se hace circular aire a 27°C a una velocidad $v = 10 \text{ m/s}$ en la dirección paralela a la placa. Uno de dichos elementos es un chip de 4mm x 4mm, situado en la placa a 12mm del borde. A partir de diferentes experimentos se ha constatado que el flujo sobre la placa es perturbado por los propios elementos que contiene y que para la transmisión de calor por convección puede utilizarse la expresión: $Nu = 0,04 Re^{0,85} Pr^{1/3}$. Estimar la temperatura de la superficie del chip si éste está disipando 30mW. Datos para el aire a 27°C: $Pr = 0,707$; densidad = $1,16 \text{ kg/m}^3$; viscosidad = $184,6 \times 10^{-7} \text{ Ns/m}^2$; conductividad = $26,3 \times 10^{-3} \text{ W/mK}$. Tómese como longitud característica en los números de Nusselt y Reynolds la distancia del chip al borde de la placa. (Sol: 44°C)
6. Un chip electrónico de forma rectangular y pequeño espesor disipa una potencia de 1W. Está montado sobre una placa a través de la que se elimina por conducción el 30% de dicha potencia. El resto lo elimina por la superficie (5 cm^2) que está en contacto con aire a una temperatura característica de 25°C. Determinar la temperatura que alcanza la superficie del chip si, mediante un ventilador, se hace circular el aire a lo largo del chip con una velocidad de 2 m/s, siendo válida para este caso la relación $Nu = 0,664 Re^{1/2} Pr^{1/3}$. Se consideran despreciables las pérdidas por radiación.

Datos: Las propiedades físicas del aire a la temperatura media del problema son: densidad = $1,10 \text{ kg/m}^3$; viscosidad cinemática = $18 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$; conductividad = $28 \times 10^{-3} \text{ W/m K}$; $Pr = 0,7$; longitud del chip = 3 cm (Sol: $69,2^\circ\text{C}$)

7. Sobre un tubo de 30 mm de diámetro exterior, por cuyo interior circula agua a 77°C , fluye transversalmente aire a 27°C , con una velocidad de $1,0 \text{ m/s}$. Hallar el flujo calorífico por unidad de longitud. La relación empírica que rige el fenómeno es $Nu = C Pr^{1/3} \cdot Re^n$

Re	C	n
0,4 a 4	0,989	0,330
4 a 40	0,911	0,385
40 a 4000	0,683	0,466
4000 a 40000	0,193	0,618
40000 a 400000	0,0266	0,805

Datos: Para el aire a 52°C , $v = 1,824 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; $k_{\text{aire}} = 0,0281 \text{ W/m K}$; $Pr = 0,702$ (Sol: $84,48 \text{ W/m}$)

8. Un local comercial de 4 m de altura y que se encuentra a 20°C , tiene una única fachada de $10 \times 4 \text{ m}^2$. El 40% de la fachada está acristalada, siendo el coeficiente global de transmisión de calor del cristal, $H = 5 \text{ kcal/hm}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. El resto de la fachada está formado por un muro compuesto de:

- ladrillo macizo de 25 cm de espesor y conductividad $k = 0,6 \text{ kcal/hm}^\circ\text{C}$
- 5 cm de lana de vidrio ($k_{\text{lana}} = 0,028 \text{ kcal/hm}^\circ\text{C}$)
- ladrillo macizo de 12 cm de espesor
- y finalmente una capa de 2 cm de enlucido de yeso ($k_{\text{yeso}} = 0,4 \text{ kcal/hm}^\circ\text{C}$).

Los coeficientes de transmisión de calor en el interior y exterior son respectivamente 8 y $30 \text{ kcal/h m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. Cuando en el exterior la temperatura sea de 0°C : Calcular el flujo de calor perdido a través de la fachada. Determinar la longitud de una tubería ($k_{\text{tubería}} = 37 \text{ kcal/hm}^\circ\text{C}$) de 30 mm de diámetro externo y $2,5 \text{ mm}$ de espesor necesaria para mantener el local a 20°C , si por la tubería circula agua a 90°C . (los coeficientes de transmisión de calor de la tubería en el interior y exterior son respectivamente 1000 y $5 \text{ kcal/hm}^2 \text{ }^\circ\text{C}$) (Sol: $l = 54,81 \text{ m}$; $\phi = 2071,26 \text{ W}$)

9. Se construye un iglú de forma semiesférica, con un radio interno de $1,8 \text{ m}$ y paredes de nieve compacta de $0,5 \text{ m}$ de espesor. El coeficiente de transmisión de calor en el interior del iglú es de $6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ y en el exterior, en condiciones de viento normal, es de $15 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. La conductividad de la nieve compacta es de $0,15 \text{ W/m K}$. La temperatura de la capa de hielo sobre la cual está situada el iglú es de -20°C y tiene la misma conductividad térmica que la nieve compacta. Suponiendo que el cuerpo de los ocupantes desprenden continuamente un calor de 320 W dentro del iglú, calcular la temperatura del aire interior cuando la temperatura del aire en el exterior es de -40°C . (Considerar las pérdidas a través del suelo del iglú). (Sol: $t_i = -17,43^\circ\text{C}$)

10. Se quiere enfriar petróleo desde 120°C hasta 50°C mediante un intercambiador de calor en contracorriente. El intercambiador tiene 15 m de largo y está formado por un tubo central de 1 cm de diámetro y de espesor despreciable, rodeado por otro tubo de diámetro mayor. En el tubo central se hace circular petróleo con un caudal de 5 litros/minuto. Por el tubo periférico se hace circular agua, que entra a 14°C . a) Determinar el flujo de calor que debe evacuar el agua para enfriar al petróleo. b) Calcular el número de Nusselt para el enfriamiento del petróleo admitiendo la relación $Nu = 0,0225 Re^{0,8} Pr^{0,4}$. c) Obtener el coeficiente de transmisión de calor por convección del petróleo con la pared del tubo. d) Si la temperatura de salida del agua es 25°C , deducir el coeficiente de intercambio global de calor entre el petróleo y el agua.

Datos: Para el petróleo: $\mu = 6 \times 10^{-4} \text{ kg/m s}$; $c_p = 0,5 \text{ kcal/kg }^\circ\text{C}$; $\rho = 0,9 \text{ kg/dm}^3$; $k = 0,12 \text{ kcal/hm }^\circ\text{C}$

Para el agua: $\mu = 3,1 \times 10^{-4} \text{ kg/m s}$; $k = 0,12 \text{ kcal/hm }^\circ\text{C}$.

(Sol: a) $q = 10972 \text{ W}$; b) $Re = 1,59 \times 10^4$; c) $h = 1734 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$; d) $\Delta t_m = 60,8^\circ\text{C}$)

11. Un aceite lubricante con $c_p = 0,5 \text{ kcal/kg }^\circ\text{C}$ se enfría con agua en un intercambiador ideal. El aceite entra a 93°C , sale a 71°C y fluye a razón de 2000 kg/h . El agua entra a 10°C y se utilizan 750 kg/h . Si el flujo es en contracorriente, determinar: a) la temperatura de salida del agua, b) el área de transferencia de calor necesaria si el coeficiente global de transmisión de calor del cambiador es $220 \text{ kcal/hm}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. (Sol: a) $t = 39,33^\circ\text{C}$; b) $S = 1,75 \text{ m}^2$)

12. En una tubería de $0,02 \text{ cm}$ de diámetro, penetra agua a razón de $0,01 \text{ kg/s}$ y a temperatura de 10°C que debe ser calentada hasta 40°C . El exterior de la tubería está recubierto de un elemento calefactor eléctrico aislado, que produce un flujo uniforme de 15000 W/m^2 sobre la superficie. Despréciense los efectos de entrada. Determinar: a) el número de Reynolds; b) el coeficiente de transmisión del calor; c) la longitud de tubería necesaria para el incremento deseado de la temperatura del agua.

(Datos: 1) propiedades del agua: densidad, $= 997 \text{ kg/m}^3$; calor específico a presión constante, $c_p = 4180 \text{ J/(kg K)}$; conductividad térmica, $k = 0,608 \text{ W/(m K)}$; viscosidad (dinámica), $\mu = 910 \times 10^{-6} \text{ Pa-s}$; 2) en este problema el número de Nusselt que utiliza el diámetro como dimensión lineal permanece constante y vale $4,36$.

(Solución: a) 699 ; b) $132,5 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$; c) $1,33 \text{ m}$)