TRABAJO PRÁCTICO Nº3

Problema 1: Una pared de espesor $2L$, area A, masa M y calor específico c_p inicialmente a temperatura uniforme T_i es calefaccionada repentinamente or un proceso de convección (T_∞, h) durante un período de tiempo t_0, luego del cual la pared es aislada térmicamente. Suponer que la temperatura en el centro de la pared no alcanza la temperatura T_∞ durante ese período de tiempo.

a.- Asumiendo que $Bi >>> 1$, para el proceso de calefacción, graficar en un sistema de coordenadas $T-x$ las siguientes distribuciones de temperatura: inicial, de estado estacionario, $(t \to \infty)$, $T(x,t_0)$ y en dos tiempos intermedios entre $t = t_0$ y $t \to \infty$.

b.- Graficar sobre un sistema de coordenadas $T-t$ las distribuciones de temperaturas en el centro de la pared y en uno de sus bordes.

c.- Repetir los items a.- y b.- asumiendo que $Bi <<< 1$ en la pared.

d.- Deducir una expresión para la temperatura de estado estacionario $T(x,\infty) = T_f$, expresando su resultado en términos de los parámetros de la pared (M, c_p), condiciones térmicas (T_i, T_∞, h) la temperatura de la superficie $T(L,t)$, y el tiempo durante el cual la pared fue calefaccionada t_0.

Problema 2: En algunos procesos industriales que requieren de grandes intensidades de corriente continua, se utilizan barras de cobre de $20\,mm$, encamisadas con agua para conducir la corriente. El agua, que circula continuamente entre la camisa y la barra, mantiene la temperatura de la barra en $75\,^oC$, durante la operación normal en que se conducen $1000\,A$. La resistencia eléctrica de la barra es $15\,\Omega/m$. El problema que se analiza es el caso hipotético en que no se disponga del agua refrigerante (por ejemplo, por una falla en una válvula). En esta situación la transferencia de calor desde la superficie de la barra disminuiría en gran medida, y la barra eventualmente se fundiría. Estimar el tiempo requerido para que se funda la barra. La densidad del cobre es de $8900\,kg/m^3$, la conductividad termica es de $372\,W/mK$ y el calor específico es de $394\,J/kgK$. La temperatura de fusión del cobre es $1083\,^oC$.

Problema 3: Una esfera de acero de radio $1{,}0\,inch$ se halla a una temperatura uniforme de $800\,^oF$. Repentinamente, se la introduce en un medio cuya temperatura se mantiene constante a $250\,^oF$.

- Suponiendo que el coeficiente convectivo es $h = 2{,}0\,btu/hr\,ft^{2o}F$, calcular la temperatura de la esfera luego de una hora. Las propiedades físicas promedio son: $k = 25\,btu/hr\,ft^oF$, $\rho = 490\,lb_m/ft^3$, y $c_p = 0{,}11\,btu/lb_m{}^oF$.
- Calcular la cantidad total de calor removido en una hora.

Problema 4: Un panel de aluminio de $3\,mm$ de espesor ($k = 177\,W/mK$, $c = 875\,J/kg.K$, y$\rho = 2770\,kg/m^3$) se termina en ambas caras con un revestimiento que debe curarse a una temperatura $T_c = 150\,^oC$ o mayor durante 5 minutos al menos. La línea de producción para este proceso involucra dos pasos: (1) calentamiento en un gran horno con aire a $T_{\infty,c} = 175\,^oC$, y un coeficiente de convección de $h_c = 40\,W/m^2$; (2) enfriamiento en una cámara mediante aire a $T_{\infty,e} = 25\,^oC$ y un coeficiente de convección de $h_e = 10\,W/m^2$. La etapa de calentamiento se desarrolla durante un intervalo de tiempo $t_e = t_c + 5\,min$, donde t_c es el tiempo requerido para alcanzar los $150\,^oC$. El material del recubrimiento tiene una emisividad $\varepsilon = 0{,}8$, y las temperaturas de las paredes en ambos pasos son de $175\,^oC$ y $25\,^oC$, respectivamente. Si el panel se introduce al horno a $25\,^oC$ y se extrae de la cámara de enfriamiento a $37\,^oC$, ¿cuál es el tiempo total necesario para las dos etapas del proceso?

Problema 5: Considere una tubería de acero AISI 1010 que tiene $1\,m$ de diámetro y paredes de $40\,mm$ de espesor. El tubo está completamente aislado. A tiempo $t = 0$ comienza a circular petróleo crudo. Inicialmente la pared exterior del tubo se mantiene a temperatura uniforme de $-20\,^oC$. Cuando comienza a circular el petróleo que se encuentra a $60\,^oC$ se genera una condición convectiva entre el petróleo y la pared del tubo con un $h = 500\,W/m^2.K$ en la pared interior del tubo.

a.- Calcular los números Bi y Fo para $t = 8\,min$ luego de que el petróleo comenzó a circular.

b.- A $t = 8\,min$, hallar la temperatura en la superficie exterior del tubo que se encuentra aislada.

c.- ¿Cuál es el flujo de calor en la superficie interior del tubo para $t = 8\,min$?

Indicaciones:

- Propiedades del acero AISI 1010: $\rho = 7823\,kg/m^3$, $c_p = 434J/kg.K$, $k = 63{,}9\,W/m.K$, $\alpha = 18{,}8\,10^{-6}\,m^2/s$.
- La pared del tubo puede aproximarse como una pared plana, dado que $espesor <<< diametro$.
- Debe decidirse si puede suponerse temperatura espacialmente uniforme en el sólido o, por el contrario, hay que apelar a las soluciones exactas.

Solución exacta adimensionalizada:

$$\theta^* = \sum_{n=1}^{\infty} C_n\, e^{(-\xi_n^2\,Fo)}\, cos(\xi_n\, x^*)$$

donde $C_n = \frac{4\,sen\xi_n}{2\xi_n + sen2\xi_n}$

Solución aproximada adimensionalizada:

- $\theta^* = C_1\, e^{(-\xi_1^2\,Fo)}\, cos(\xi_1\, x^*)$
- $\theta^* = \theta_0^*\, cos(\xi_1\, x^*)$
  Con $\theta_0^* = \frac{T_0 - T_\infty}{T_i - T_\infty} = C_1\, e^{(-\xi_1^2\,Fo)}$ en $x^* = 0$

Explique claramente qué hipótesis permiten decidirse por una u otra solución, y cómo obtendría los parámetros necesarios en cada caso.

Problema 6: Se evaluará un proceso nuevo para el tratamiento de un material especial. El material, una esfera de radio $r_0 = 5mm$, está en equilibrio a 400^{o}C en un horno. Se retira súbitamente del horno y se sujeta a un proceso de enfriamiento de dos pasos.

Paso 1 Enfriamiento en aire a 20^{o}C durante un periodo de tiempo t_a hasta que la temperatura del centro alcanza un valor crítico, $T_a(0,t_a) = 335^o$C. Para esta situación, el coeficiente de calor convectivo es $h_a = 10\ W/m^2K$. Después de que la esfera alcanza esta temperatura crítica, se inicia el segundo paso.

Paso 2 Enfriamiento en un baño de agua muy agitado a 20^{a}C, con un coeficiente de transferencia de calor por convección $h_w = 6000\,W/m^2K$.

Las propiedades termofísicas del material son $\rho = 3000\ kg/m^3$, $k = 20\ W/m.K$, $c = 1000J/kg.K$ y $\alpha = 6{,}66 \times 10^{-6} m^2/s$.

1. Calcule el tiempo t_a que se requiere para que se complete el paso 1 del proceso de enfriamiento.
2. Calcule el tiempo t_w que se requiere durante el paso 2 del proceso para que el centro de la esfera se enfríe de 335^{o}C (condición al final del paso 1) a 50^{a}C.

Problema 7: Una rodaja rectangular de manteca de $46{,}2\,mm$ de espesor que se encuentra en un refrigerador a $277{,}6\,K$ es extraída y colocada al aire ambiente a $297{,}1\,K$. Los lados y la base del recipiente que la contiene pueden considerarse aislados por las paredes del mismo. La superficie superior de la manteca se expone al medio. El coeficiente convectivo puede considerarse constante, $h = 8{,}52\,W/m^2.K$. Calcular la temperatura de la

manteca en la superficie, a 25,4 mm por debajo de ella y en la superficie inferior aislada luego de 5 h de exposición.
Las propiedades termofísicas de la manteca son $\rho = 998\ kg/m^3$, $k = 0.197\ W/m.K$, $c = 2.3\ kJ/kg.K$.

Problema 8: Una lata cilíndrica de puré de choclo tiene un diámetro de 68,1 mm y se encuentra inicialmente a una temperatura uniforme de 29,4 ^oC. La latas se hallan apiladas verticalmente en un autoclave con vapor a 115,6 ^oC. Para un tiempo de calentamiento de 0,75 h a 115,6 ^oC, calcular la temperatura en el centro de la lata. Suponer que la lata está en el centro de una pila, y aislada en sus dos extremos por las otras latas. La capacidad calorífica de la pared de metal de la lata puede ser despreciada. El coeficiente convectivo del vapor puede estimarse como $h = 4540 W/m^2K$.Las propiedades del puré de choclo son $\alpha = 2{,}007\,10^{-7}\,m^2/s$, $k = 0{,}830 W/m.K$.

Problema 9: Se propone una cámara de aire frío para templar cojinetes de bolas de acero de diámetro $D = 0{,}2\,m$ y temperatura inicial $T_i = 400\,^oC$. El aire de la cámara se mantiene a $-15^o C$ mediante un sistema de refrigeración, y las bolas de acero pasan a través de la cámara en una banda transportadora cuya longitud es de 5 m. La producción óptima de cojinetes requiere que se elimine 70 % del contenido inicial de energía térmica de la bola. Se dejan de lado los efectos de radiación, y el coeficiente de transferencia de calor por convección dentro de la cámara es $1000 W/m^2.K$. Estime el tiempo de permanencia de las bolas dentro de la cámara y recomiende una velocidad de conducción para la banda transportadora. Se pueden usar las siguientes propiedades para el acero: $k = 50 W/mK$, $\alpha = 2 \times 10^{-5}\,m^2/s$ y $c = 450 J/kg.K$.

Problema 10: Un cilindro de acero inoxidable de diámetro $D = 30\,mm$ que inicialmente se encuentra a $T_i = 325\,^oC$ se enfría mediante un refrigerante a $T_\infty = 25\,^oC$. Suponiendo conducción unidimensional radial y propiedades constantes, graficar la distribución de temperatura en función del radio adimensional para:

1. $h = 100 W/m^2.K,\ t = 0, 100, 500\ s$
2. $h = 1000 W/m^2.K,\ t = 0, 10, 50\ s$
3. $h = 5000 W/m^2.K,\ t = 0, 1, 5, 25\ s$

Propiedades: $k = 15 W/mK$, $\rho = 8000 kg/m^3$, $c_p = 475 J/kg.K$.