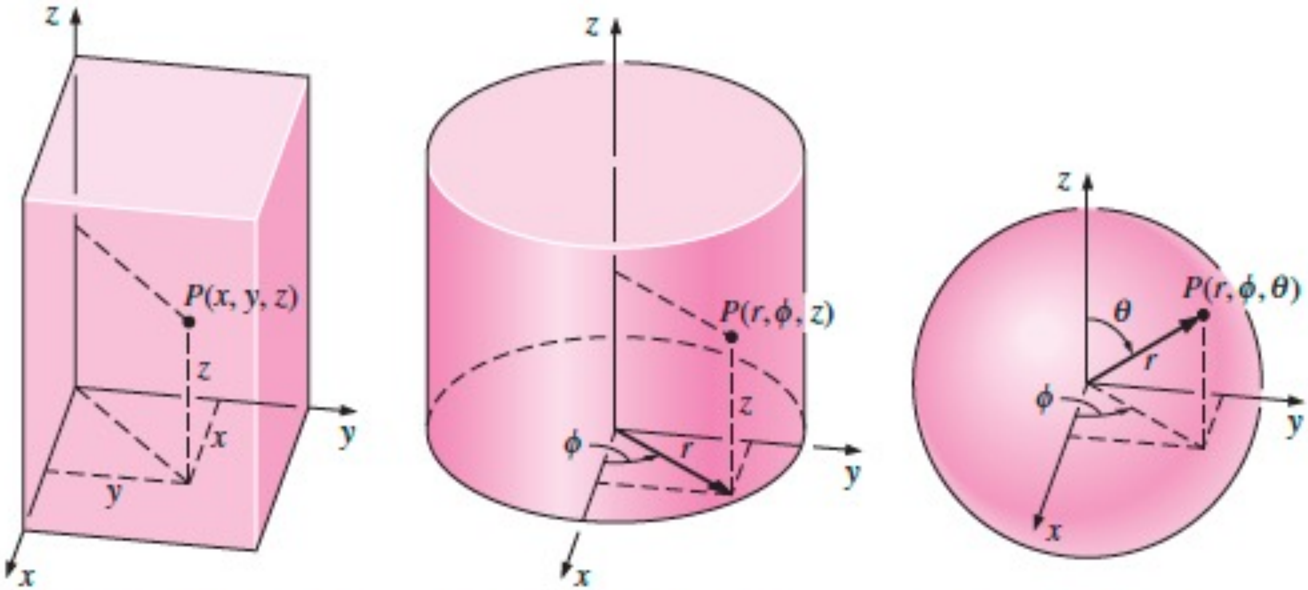
INGENIERÍA DE CALOR

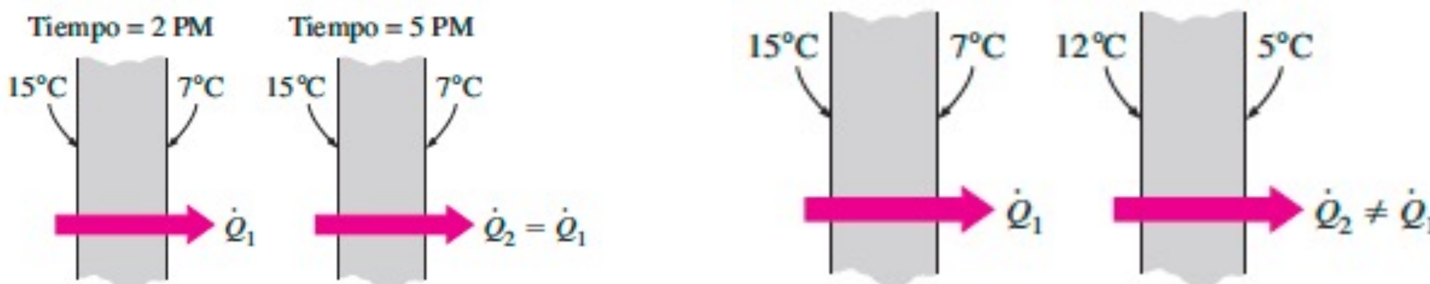
INGENIERÍAS.

Dr. Omar Martínez Alvarez.

TRANSFERENCIA DE CALOR



a) Coordenadas rectangulares b) Coordenadas cilíndricas c) Coordenadas esféricas



a) Régimen estacionario b) Régimen transitorio

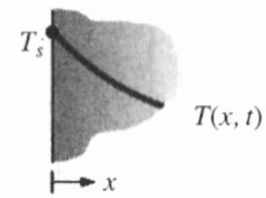
Cengel, Y. A. (2016). "Transferencia de calor y masa" McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. 4ta. Edición.México.

Codiciones de frontera

TABLA 2.1 Condiciones de frontera para la ecuación de difusión de calor en la superficie ($x = 0$)

1. Temperatura superficial constante

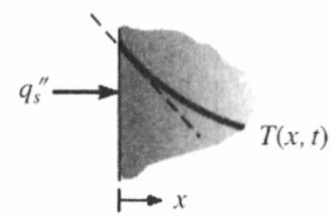
$$T(0, t) = T_s \qquad (2.24)$$



2. Flujo de calor superficial constante

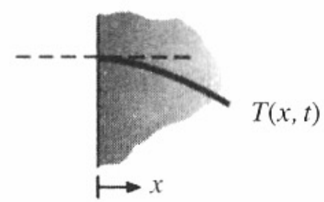
(a) Flujo finito de calor

$$-k \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = q''_s \qquad (2.25)$$



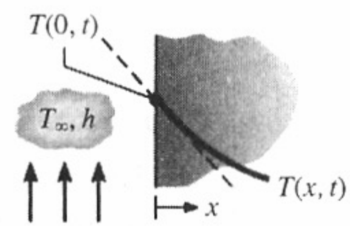
(b) Superficie adiabática o aislada

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = 0 \qquad (2.26)$$



3. Condición de convección superficial

$$-k \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = h[T_\infty - T(0, t)] \qquad (2.27)$$



Incropera F. P, Dewitt D. P. (1999). "Fundamentis de transferencia de calor" PRENTICE HALL. 4ta. Edición.México.

Conducción unidimensional

TABLA 3.3 Soluciones unidimensionales de estado estable para la ecuación de calor sin generación interna

	Pared plana	Pared cilíndrica[a]	Pared esférica[a]
Ecuación de calor	$\frac{d^2T}{dx^2} = 0$	$\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\frac{dT}{dr}\right) = 0$	$\frac{1}{r^2}\frac{d}{dr}\left(r^2\frac{dT}{dr}\right) = 0$
Distribución de temperaturas	$T_{s,1} - \Delta T\frac{x}{L}$	$T_{s,2} + \Delta T\frac{\ln(r/r_2)}{\ln(r_1/r_2)}$	$T_{s,1} - \Delta T\left[\frac{1-(r_1/r)}{1-(r_1/r_2)}\right]$
Flujo de calor (q'')	$k\frac{\Delta T}{L}$	$\frac{k\,\Delta T}{r\ln(r_2/r_1)}$	$\frac{k\,\Delta T}{r^2[(1/r_1)-(1/r_2)]}$
Transferencia de calor (q)	$kA\frac{\Delta T}{L}$	$\frac{2\pi Lk\,\Delta T}{\ln(r_2/r_1)}$	$\frac{4\pi k\,\Delta T}{(1/r_1)-(1/r_2)}$
Resistencia térmica ($R_{t,\text{cond}}$)	$\frac{L}{kA}$	$\frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi Lk}$	$\frac{(1/r_1)-(1/r_2)}{4\pi k}$

[a]El radio crítico de aislamiento es $r_{cr} = k/h$ para el cilindro y $r_{cr} = 2k/h$ para la esfera.

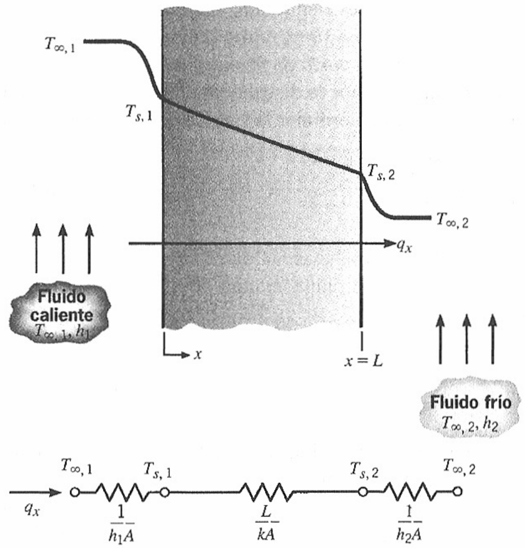


FIGURA 3.1 Transferencia de calor a través de una pared plana. (*a*) Distribución de temperatura. (*b*) Circuito térmico equivalente.

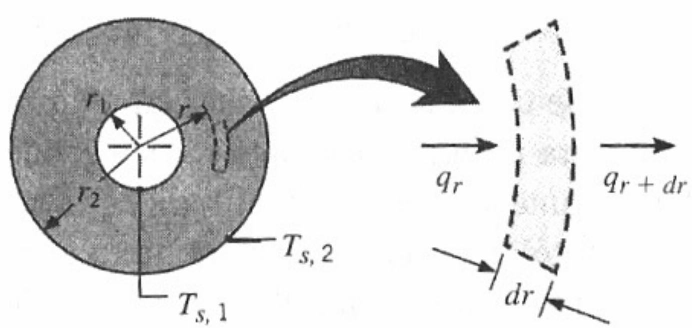


FIGURA 3.8
Conducción en una coraza esférica.

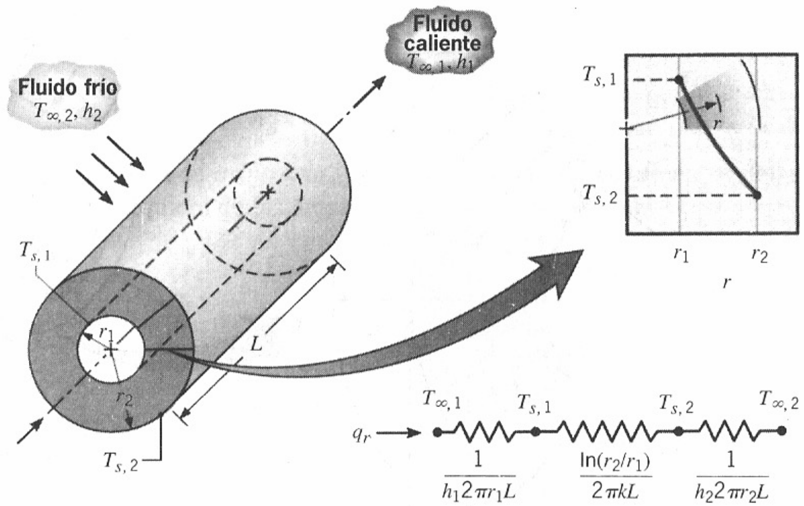


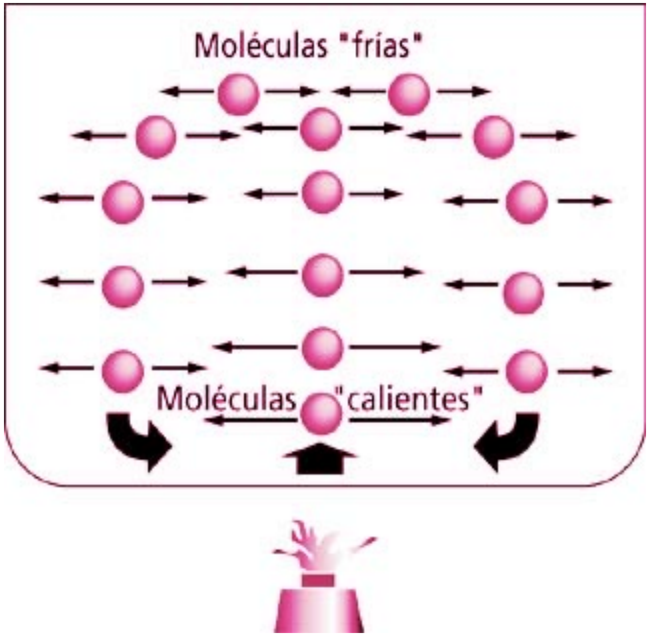
FIGURA 3.6 Cilindro hueco con condiciones convectivas en la superficie.

Incropera F. P, Dewitt D. P. (1999). "Fundamentis de transferencia de calor" PRENTICE HALL. 4ta. Edición.México.

Convección

$$q^{n} = h(T_s - T_\infty)$$

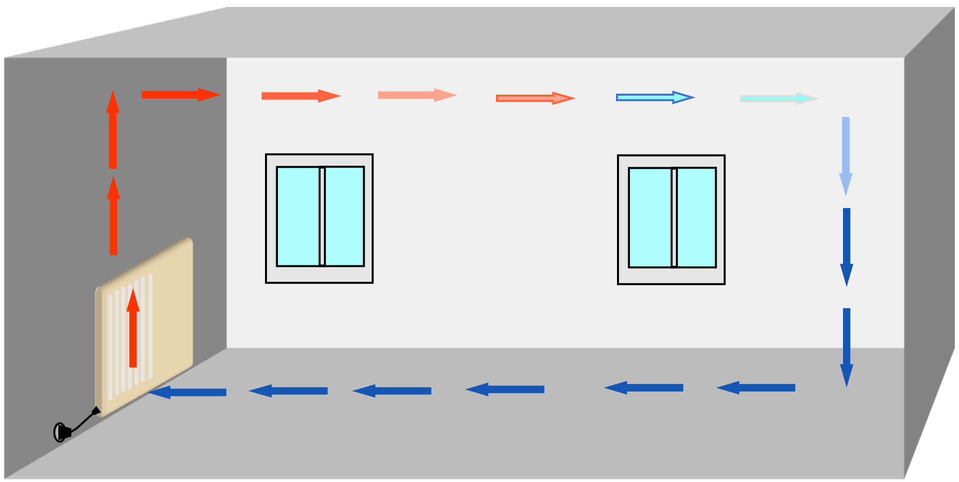
- **Cuando un fluido se calienta, sus partículas se mueven más rápido, se separan más unas de otras y el fluido se hace menos denso y sube. Cuando se enfría, se hace más denso y baja: se crean unas corrientes (verticales), las cuales son denominadas corrientes de convección. Estas corrientes tienden a distribuir el calor por toda la masa del fluido.**
- **En un fluido, la mayor parte del calor es transportado de una parte a otra del cuerpo por el mismo fluido. Se produce también desplazamiento de la masa de líquido o de gas, arrastrada por las corrientes convectivas. La *Tasa de transmisión de calor* por convección.**



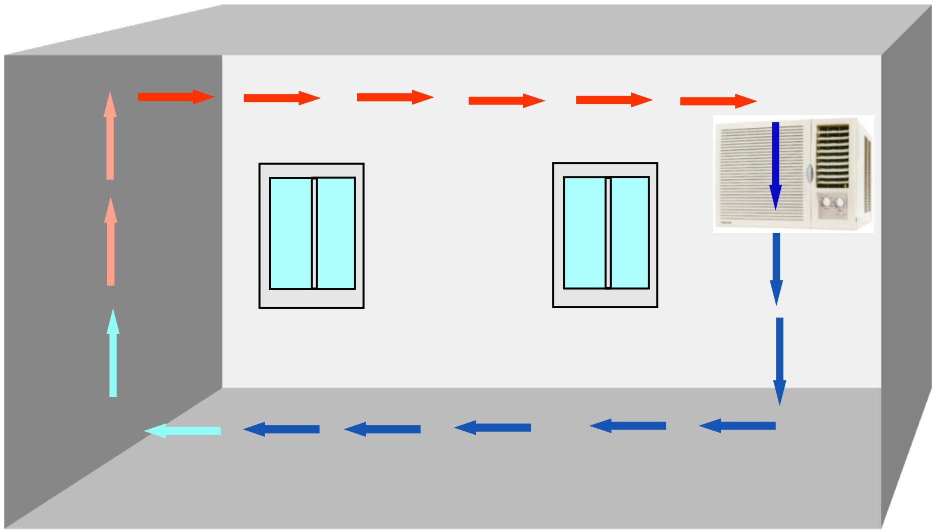
$$H = hA\left(T_1 - T_2\right)$$

Donde A es el área superficial del cuerpo en contacto con el ambiente circundante y h es el coeficiente de transferencia por convección.

Convección y acondicionamiento del ambiente



Corriente de convección del aire frío



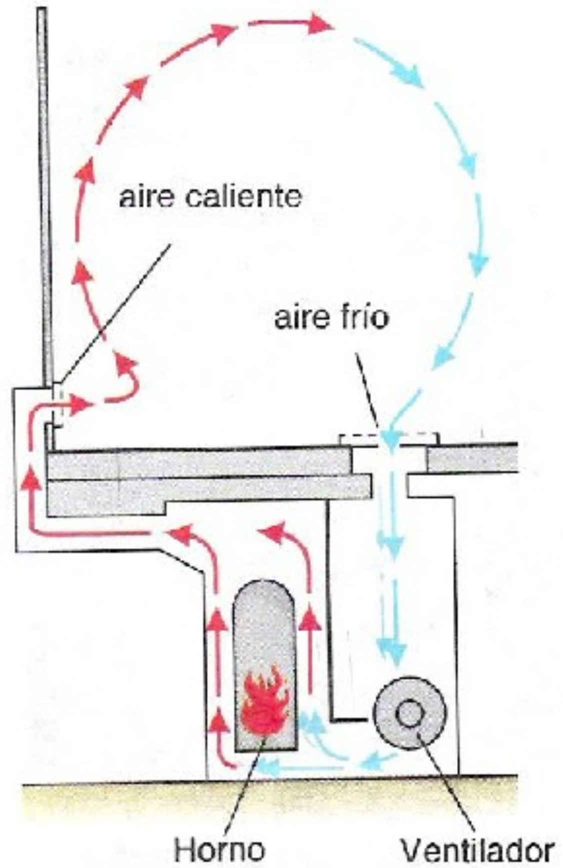
Corriente de convección del aire caliente

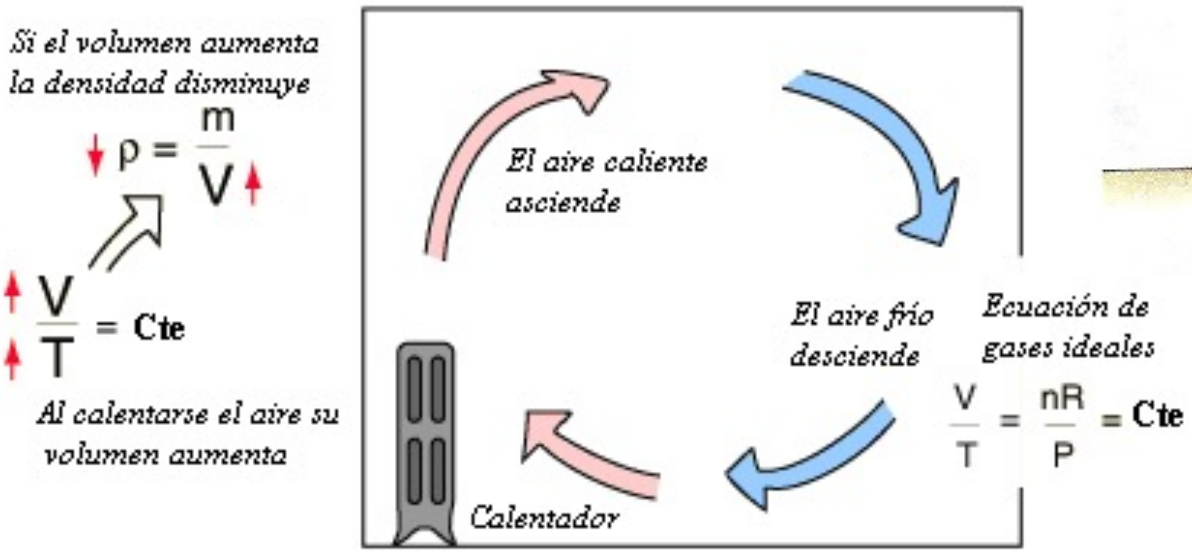
Convección

-Existe un medio fluido hacia el cual el calor fluye.

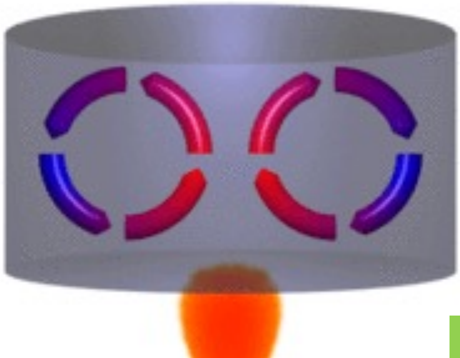
-Existe transporte neto de materia.

-Resulta en un movimiento de fluido debido a cambios de *peso* específico por dilatación al calentarse y enfriarse; o bien puede *forzarse* dicho movimiento.

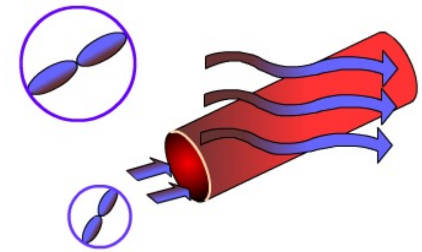




Transferencia de calor por convección se compone de dos mecanismos.



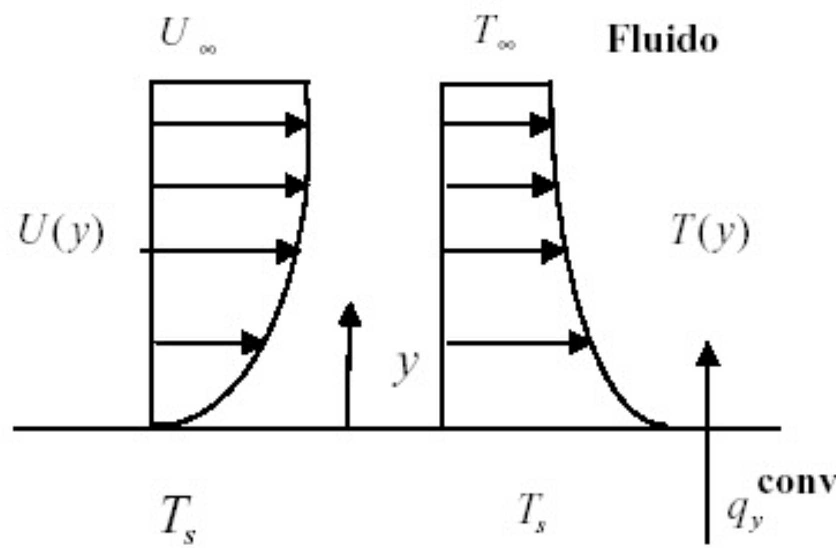
- **Movimiento molecular aleatorio (Energía).**
- **Movimiento global o macroscópico (fluido).**



Ecuación de enfriamiento de Newton .

Las condiciones de corriente libre se suceden en donde los valores de U_∞ y T_∞ se hacen independientes de *y* .

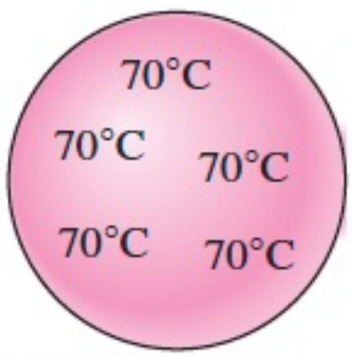
$$q^n = hA(T_s - T_\infty)$$



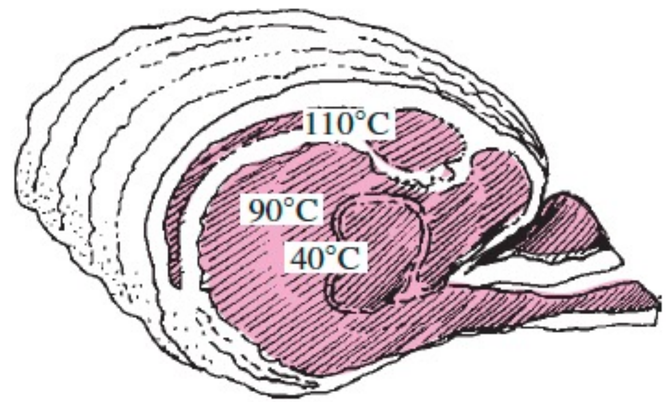
En la ecuación de Newton, *h* no es una propiedad termofísica ya que depende de una gran variedad de factores tanto geométricos como fluidodinámicos.

CONDUCCIÓN DE CALOR EN RÉGIMEN TRANSITORIO

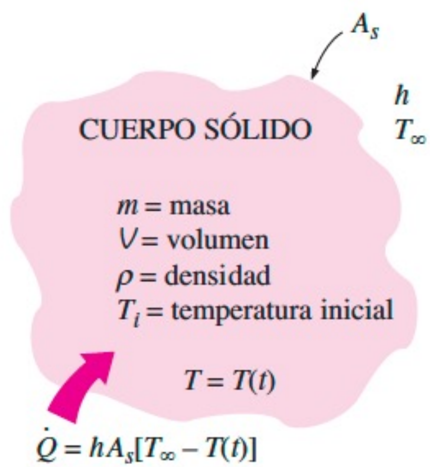
SISTEMAS CONCENTRADOS



a) Bola de cobre



b) Rosbif

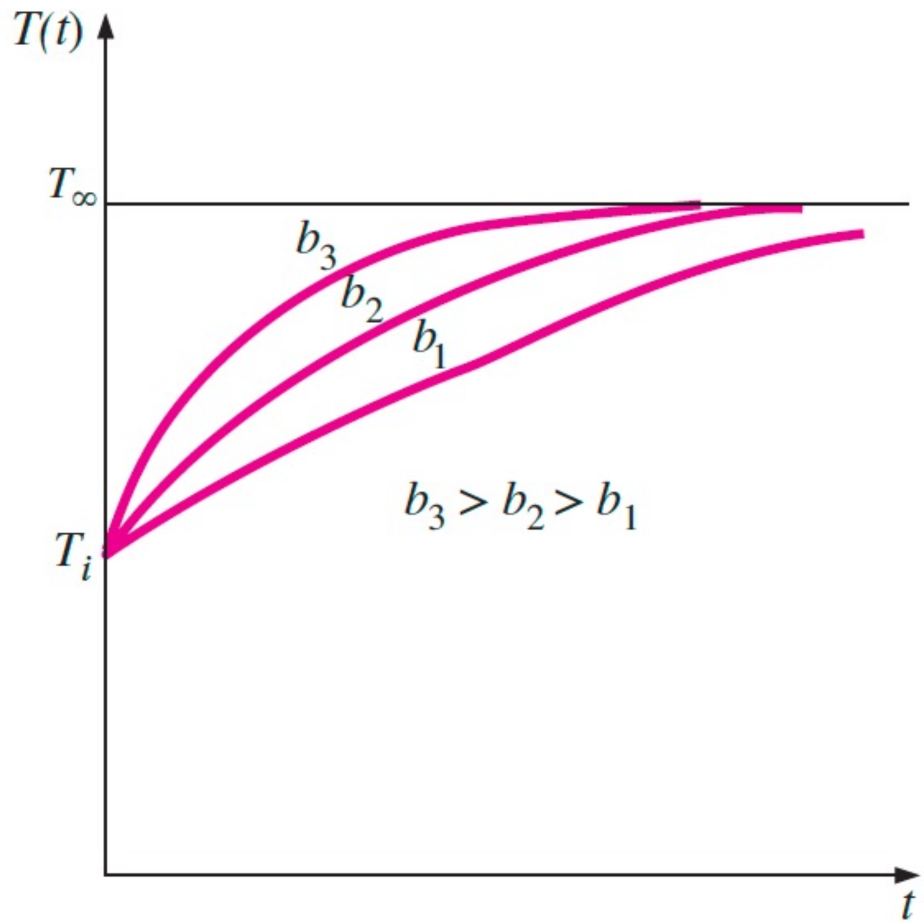


Cengel, Y. A. (2016). “Transferencia de calor y masa” McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. 4ta. Edición.México.

Transferencia de calor hacia el cuerpo durante dt → El incremento en la energía del cuerpo durante dt

$$e^{-bt} = \frac{T(t) - T_\infty}{T_i - T_\infty}$$

$$b = \frac{hA_s}{\rho V c_p} \qquad (1/s)$$



Cengel, Y. A. (2016). “Transferencia de calor y masa” McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. 4ta. Edición.México.

Transferencia de calor por convección entre el cuerpo y su medio ambiente

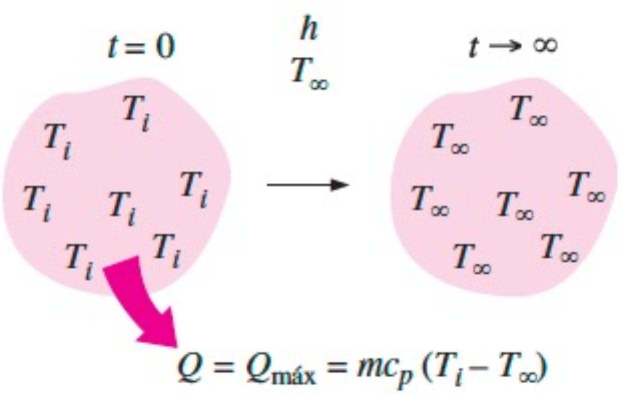
$$\dot{Q}(t) = hA_s[T(t) - T_\infty] \qquad \text{(W)}$$

La cantidad total de transferencia de calor entre el cuerpo y el medio circundante durante el intervalo desde tiempo de t 0 hasta t es simplemente el cambio en el contenido de energía de ese cuerpo:

$$Q = mc_p[T(t) - T_i] \qquad \text{(kJ)}$$

La cantidad de transferencia de calor llega a su límite superior cuando el cuerpo alcanza la temperatura T del medio circundante. Por lo tanto, la transferencia de calor máxima entre el cuerpo y sus alrededores es

$$Q_{\text{máx}} = mc_p(T_\infty - T_i) \qquad \text{(kJ)}$$



Cengel, Y. A. (2016). “Transferencia de calor y masa” McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. 4ta. Edición.México.

UNITEC
Universidad Tecnológica de México

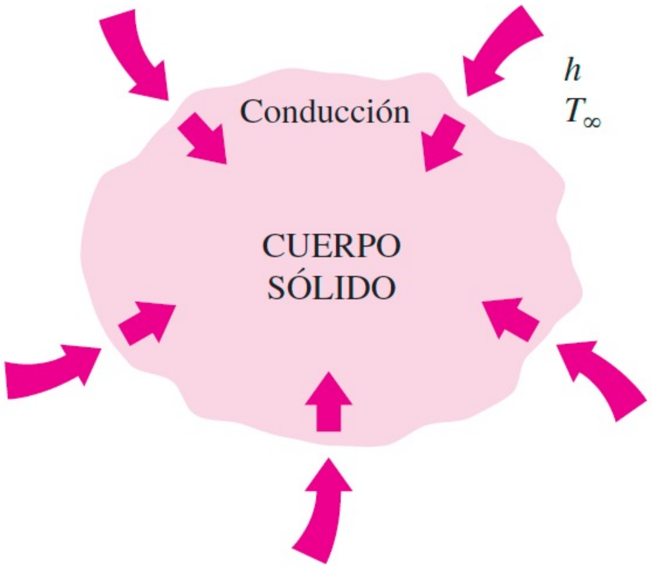
Criterios para el análisis de sistemas concentrados

Longitud característica

$$L_c = \frac{V}{A_s}$$

Número de Biot

$$\mathrm{Bi} = \frac{hL_c}{k} \qquad \mathrm{Bi} \leq 0.1$$



$$\mathrm{Bi} = \frac{\text{convección de calor}}{\text{conducción de calor}}$$

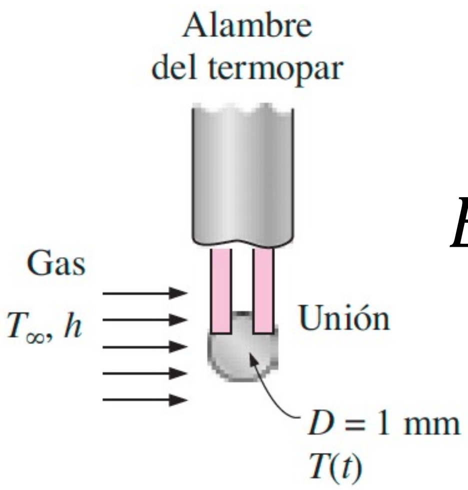
$$\mathrm{Bi} = \frac{h}{k/L_c}\frac{\Delta T}{\Delta T} = \frac{\text{Convección en la superficie del cuerpo}}{\text{Conducción dentro del cuerpo}}$$

$$\mathrm{Bi} = \frac{L_c/k}{1/h} = \frac{\text{Resistencia a la conducción dentro del cuerpo}}{\text{Resistencia a la convección en la superficie del cuerpo}}$$

Cengel, Y. A. (2016). “Transferencia de calor y masa” McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. 4ta. Edición.México.

Se va a medir la temperatura de un flujo de gas por medio de un termopar cuya unión se puede considerar como una esfera de 1 mm de diámetro, como se muestra en la figura. Las propiedades de la unión son k= 35 W/m · °C, ρ=8500 kg/m^3 y Cp=320 J/kg °C, y el coeficiente de transferencia de calor por convección entre la unión y el gas es h=210 W/m^2 °C. Determine cuánto tiempo transcurrirá para que la lectura del termopar sea 99% de la diferencia inicial de temperatura

$$L_c = \frac{V}{A_s} = \frac{\frac{1}{6}\pi D^3}{\pi D^2} = \frac{1}{6}D = \frac{1}{6}(0.001\,m) = 1.67x10^{-4}\mathrm{m}$$



$$Bi = \frac{hL_c}{k} = \frac{(210\frac{W}{m^2ºC})(1.67x10^{-4}m)}{35\frac{W}{mºC}} = 0.001 < 0.1$$

$$\frac{T(t) - T_\infty}{T_i - T_\infty} = 0.001$$

Cengel, Y. A. (2016). “Transferencia de calor y masa” McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. 4ta. Edición.México.

$$L_c = \frac{V}{A_s}$$

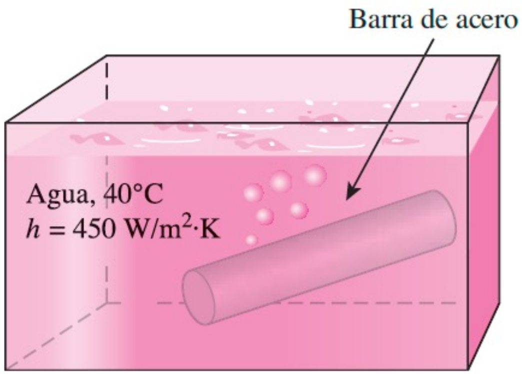
$$b = \frac{hA_s}{\rho V c_p} = \frac{h}{\rho c_p L_c} = \frac{(210\frac{W}{m^2 ºC})}{(8500\frac{kg}{m^3})(320\frac{J}{kg ºC})(1.67x10^{-4} m)} = 0.462\ s^{-1}$$

$$\frac{T(t) - T_\infty}{T_i - T_\infty} = e^{-bt} \longrightarrow 0.01 = e^{-(0.462\ s^{-1})t}$$

$$\mathrm{t} = 10\ s$$

Cengel, Y. A. (2016). "Transferencia de calor y masa" McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. 4ta. Edición.México.

En un proceso de templado, barras de acero (ρ = 7 832 kg/m^3, Cp = 434 J/kg ºK y k = 63.9 W/m · K) se calientan en un horno a 850ºC y después se enfrían en una tina de agua a una temperatura promedio de 95ºC. La tina de agua tiene una temperatura uniforme de 40ºC y un coeficiente de transferencia de calor por convección de 450 W/m^2 · K. Si las barras de acero tienen un diámetro de 50 mm y una longitud de 2 m, determine: a) el tiempo necesario para enfriar una barra de acero de 850ºC a 95ºC en la tina de agua y b) la cantidad total de calor que una sola barra transfiere al agua durante el proceso de templado.



$$L_c = \frac{V}{A_s} = \frac{(\pi D^2/4)L}{\pi D L} = \frac{D}{4} = \frac{0.050m}{4} = 0.0125\,m$$

$$Bi = \frac{hL_c}{k} = \frac{(450\frac{W}{m^2 ºK})(0.0125\,m)}{63.9\frac{W}{mºK}} = 0.088 < 0.1$$

$$b = \frac{hA_s}{\rho V c_p} = \frac{h}{\rho c_p L_c} = \frac{(450\frac{W}{m^2 ºK})}{(7832\frac{kg}{m^3})(434\frac{J}{kgºK})(0.0125m)} = 0.1059\,s^{-1}$$

$$\frac{T(t) - T_\infty}{T_i - T_\infty} = e^{-bt}$$

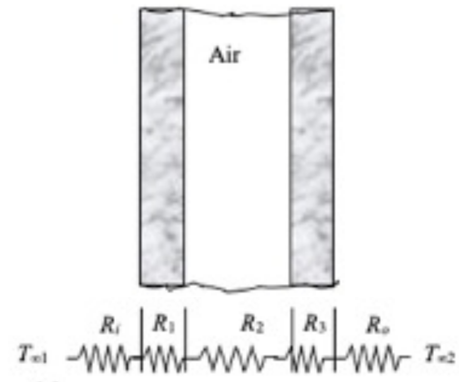
$$t = -\frac{1}{b}\ln\frac{T(t) - T_\infty}{T_i - T_\infty} = -\frac{1}{0.1059\ s^{-1}}\ln\frac{95-40}{850-40} = 254\ s$$

$$Q = mc_p[T_i - T(t)] = \rho V c_p[T_i - T(t)] = \frac{\pi D^2 L \rho c_p}{4}[T_i - T(t)]$$

$$= \frac{\pi(0.050m)^2(2m)(7832\frac{kg}{m^3})(434\frac{J}{kgºK})}{4}[850 - 95]ºK \quad = 1.01x10^{7-4}\ \mathrm{J}$$

Cengel, Y. A. (2016). “Transferencia de calor y masa” McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. 4ta. Edición.México.

Considere una ventana de hoja doble de 1 m de alto y 2 m de ancho que consta de dos capas de vidrio al plomo de 4 mm de espesor separadas por un espacio de aire estancado a una temperatura de 30 ºC y 8 mm de ancho. Determine la razón de transferencia de calor estacionaria a través de esta ventana de hoja doble y la temperatura de su superficie interior para un día durante el cual el cuarto se mantiene a 25°C en tanto quela temperatura del exterior es de –8°C. Tome los coeficientes de transferencia de calor por convección sobre las superficies interior y exterior de la ventana como h_1=10 W/m^2 · °C y h_2=25 W/m^2 · °C y descarte cualquier transferencia de calor por radiación.



Datos

Alto, ancho = 1, 2 cm
K_{vidrio} = 0.85 W/m ºC
Espesor = 4 mm
K_{aire} = 0.02588 W/m ºC
Espacio = 0.8 mm
$T_{interna}$, $T_{externa}$ = 25 , -8 ºC
h_1, h_2 = 10, 25 W/m^2 ºC

$$R_i = \frac{1}{h_1 A} = \frac{1}{10 * 2} = 0.05\ ºC/W$$

$$R_1 = R_3 = \frac{L}{k_1 A} = \frac{0.004}{0.85 * 2} = 0.0023\ ºC/W$$

$$R_2 = \frac{L}{k_2 A} = \frac{0.008}{0.02588 * 2} = 0.1545\ ºC/W$$

$$R_0 = \frac{1}{h_2 A} = \frac{1}{25 * 2} = 0.02\ ºC/W$$

$$R_{total} = 0.2292\ ºC/W$$

Ecuaciones

$$R = \frac{1}{h_1 A} = \frac{L}{k_1 A}$$

$$Q = \frac{T_\infty - T_1}{R_{total}} = \frac{25 - (-8)}{0.2292} = 143\ W$$

$$T_1 = T_\infty - QR$$
$$= 25 - (143 * 0.05)$$
$$T_1 = 17.8\ ºC$$

Incropera F. P, Dewitt D. P. (1999). "Fundamentis de transferencia de calor" PRENTICE HALL. 4ta. Edición.México.

Considere una ventana de hoja doble de 0.8 m de alto y 1.5 m de ancho que consta de dos capas de vidrio de 4 mm de espesor (k=0.78 W/m · °C) separadas por un espacio de aire estancado de 10 mm de ancho (k =0.026 W/m · °C). Determine la razón de transferencia de calor estacionaria a través de la ventana de hoja doble y la temperatura en la superficie interior para un día durante el cual el cuarto se mantiene a 20°C, en tanto que la temperatura del exterior es de 10°C. Tome los coeficientes de transferencia de calor por convección en las superficies interior y exterior como h_1=10 W/m2 · °C y h_2= 40 W/m^2 · °C, respectivamente, los cuales incluyen los efectos de la radiación.

Datos

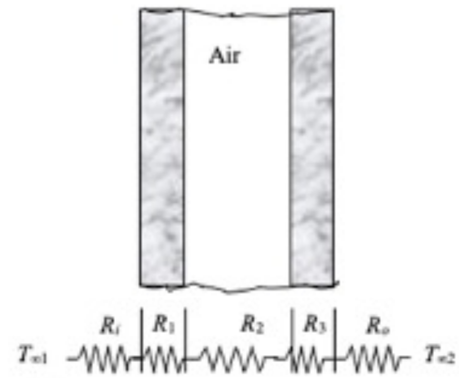
Alto, ancho = 0.8, 1.5 cm
K_{vidrio} = 0.78 W/m ºC
Espesor = 4 mm
K_{aire} = 0.026 W/m ºC
Espacio = 10 mm
$T_{interna}$, $T_{externa}$ = 20 , 10 ºC
h_1, h_2 = 10, 40 W/m^2 ºC

$$R_i = \frac{1}{h_1 A} = \frac{1}{10 * 1.2} = 0.083 \text{ ºC/W}$$

$$R_1 = R_3 = \frac{L}{k_1 A} = \frac{0.004}{0.78 * 1.2} = 0.0042 \text{ ºC/W}$$

$$R_2 = \frac{L}{k_2 A} = \frac{0.01}{0.026 * 1.2} = 0.3205 \text{ ºC/W}$$

$$R_0 = \frac{1}{h_2 A} = \frac{1}{40 * 1.2} = 0.0208 \text{ ºC/W}$$



Ecuaciones

$$\text{R} = \frac{1}{h_1 A} = \frac{L}{k_1 A}$$

$$R_{total} = 0.4332 \text{ ºC/W}$$

$$\text{Q} = \frac{T_\infty - T_1}{R_{total}} = \frac{20 - 10}{0.4332} = 23.08 \text{ W}$$

$$T_1 = T_\infty - QR$$
$$= 20 - (143 * 0.083)$$
$$T_1 = 18.07\ ºC$$

Incropera F. P, Dewitt D. P. (1999). “Fundamentis de transferencia de calor” PRENTICE HALL. 4ta. Edición.México.

Ejemplos

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 considera a una temperatura de 30ºC, determine el flujo de calor por convección para (a) una velocidad del vehículo de 35 km/h en aire a -5ºC con un coeficiente de convección de 40 W/m^2ºK y (b) una velocidad de 0.2 m/s en una corriente de agua a 10ºC con un coeficiente de convección de 900 W/m^2ºK. ¿En cuál condición se sentiría más frío? Compare estos resultados con una pérdida de calor de aproximadamente 30 W/m^2 en condiciones ambientales normales.

Un calentador de resistencia eléctrica se encapsula en un cilindro largo de 30 mm de diámetro. Cuando fluye agua con una temperatura de 25ºC y velocidades de 1 m/s cruzando el cilindro, la potencia por unidad de longitud que se requiere para mantener la superficie a una temperatura uniforme de 90ºC es de 28 KW/m, cuando fluye aire, también a 25ºC, pero con una velocidad de 10 m/s, la potencia por unidad de longitud que se requiere para mantener la misma temperatura superficial es de 400W/m. Calcule y compare los coeficientes de convección para los flujos de agua y aire.

Ejemplos

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 considera a una temperatura de 30ºC, determine el flujo de calor por convección para (a) una velocidad del vehículo de 35 km/h en aire a -5ºC con un coeficiente de convección de 40 W/m^2ºK y (b) una velocidad de 0.2 m/s en una corriente de agua a 10ºC con un coeficiente de convección de 900 W/m^2ºK. ¿En cuál condición se sentiría más frío? Compare estos resultados con una pérdida de calor de aproximadamente 30 W/m^2 en condiciones ambientales normales.

Un calentador de resistencia eléctrica se encapsula en un cilindro largo de 30 mm de diámetro. Cuando fluye agua con una temperatura de 25ºC y velocidades de 1 m/s cruzando el cilindro, la potencia por unidad de longitud que se requiere para mantener la superficie a una temperatura uniforme de 90ºC es de 28 KW/m, cuando fluye aire, también a 25ºC, pero con una velocidad de 10 m/s, la potencia por unidad de longitud que se requiere para mantener la misma temperatura superficial es de 400W/m. Calcule y compare los coeficientes de convección para los flujos de agua y aire.

Un calentador eléctrico de cartucho tiene forma cilíndrica de longitud L=200 mm y diámetro exterior D=20 mm. En condiciones de operación normal el calentador disipa 2 KW mientras se sumerge en un flujo de agua que está a 20ºC y provee un coeficiente de transferencia de calor por convección de h=5000 W/m²ºK. sin tomar en cuenta la transferencia de calor de los extremos del calentador, determine la temperatura superficial Ts. Si el flujo de agua cesa sin advertirlo mientras el calentador continua operando, la superficie del calentador se expone al aire que también está a 20ºC, pero para el que h=50 W/m²ºK ¿Cuáles son las consecuencias de tal evento?.