

CAPÍTULO DOS

PRINCIPIOS BÁSICOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

2-1 INTRODUCCIÓN

Cuando se coloca la mano en contacto directo con un radiador de calefacción de vapor, el calor alcanza la mano por conducción a través de las paredes del radiador. Si la mano se mantiene ahora encima del radiador pero no en contacto con él, el calor alcanza la mano por medio de un movimiento de convección hacia arriba de las corrientes de aire, y si la mano se coloca a un lado del radiador todavía se calienta, aunque la conducción a través del aire es despreciable y la mano no está en la trayectoria de las corrientes de convección; la energía alcanza ahora a la mano por radiación.

A la transferencia de energía causada por la diferencia de temperatura entre dos regiones adyacentes de un cuerpo se le llama transferencia de calor.

En este capítulo estudiaremos los tres modos básicos de transferencia de calor de un cuerpo a otro.

2-2 MODOS BÁSICOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Los tres modos diferentes de transferencia de calor de un cuerpo a otro son: conducción, convección y radiación. En los apartados posteriores analizaremos cada uno de ellos, no obstante, el modo de transferencia de calor que se utiliza en el dispositivo es el de Conducción.

2-2-1 CONDUCCIÓN:

La conducción es un proceso de transferencia de calor por actividad molecular que ocurre básicamente entre materia sólida, pero también en los fluidos (líquidos y gases)

y entre medios diferentes que se encuentran en contacto físico directo, pero sin desplazamiento directo de las moléculas que los componen.

Por ejemplo: si el extremo de una barra metálica se coloca en una llama, las moléculas en éste aumentan la violencia de su vibración al elevarse la temperatura en dicho extremo. Estas moléculas chocan con sus vecinas, que se mueven más lentamente, y parte de su energía cinética es compartida con ellas y las otras la transmiten de igual forma a sus vecinas. Así se transmite la energía de la agitación térmica, pero cada molécula permanece en su posición inicial.

En los fluidos generalmente la conducción también se combina por movimiento de partículas del fluido y hasta en ciertos casos con la radiación.

En los sólidos opacos sólo puede transmitirse el calor por medio del proceso de conducción.

Algunos materiales son buenos conductores del calor, como los metales y es bien sabido que éstos también son buenos conductores de la electricidad, debido a que en su interior hay electrones libres, es decir, electrones que se han desprendido de los átomos de donde procedían, estos electrones también toman parte en la propagación del calor, ésta es la razón por la que los metales son muy buenos conductores de calor. Existen materiales que, por el contrario, son malos conductores de calor como es el caso de la madera.

La rapidez del flujo de energía calorífica por conducción (q) se puede calcular a través de la ecuación establecida por Fourier:

$$q = -k A \frac{dT}{dx}$$

(2-2-1)

q .- Es la rapidez del flujo de calor por conducción en un material.

k .- Es la Conductividad Térmica del material, indica la facilidad o dificultad con que éste permite el flujo de calor . En el capítulo tres se hará un estudio más a fondo sobre la misma.

A.- Es el área de la sección expuesta al flujo de calor, ésta debe ser medida perpendicularmente a dicho flujo.

dT/dx .-Es el gradiente de temperatura, indica la rapidez de variación de la temperatura (T) con respecto a la distancia (x) en la dirección del flujo de calor.

La dirección del flujo de calor será aquella en la que aumenta x; como el calor fluye en la dirección en que disminuye T, se introduce el signo menos a la ecuación, lo que quiere decir que q será positiva cuando dT/dx sea negativa.

Las unidades en que se usará cada variable son:

q (flujo de calor) en J/s

A (área transversal al flujo de calor) en m^2

dT/dx (gradiente de temperatura) en $^{\circ}C/m$

k (Conductividad Térmica) en $J/s\ m\ ^{\circ}C$

2-2-2 CONVECCIÓN:

La Convección se aplica a la propagación del calor de un lugar a otro en los fluidos (líquidos y gases), debido a un movimiento real de la sustancia caliente, combinada de conducción de calor y almacenamiento de energía.

Por ejemplo: cuando calentamos un recipiente con agua, el fondo del recipiente se calienta, la porción de agua que está en contacto con éste es calentada por conducción, se expande y se vuelve menos densa que las capas superiores, así ésta sube y el fluido más denso y frío baja y se calienta, de tal forma que se crea una circulación convectiva; debido a esta circulación convectiva se calentará toda el agua del recipiente de modo que se producirá un calor uniforme, por tanto, también se lleva a cabo un proceso de mezclado, esto ocurre en cualquier fluido.

Si en el proceso de transferencia de calor por convección la sustancia se mueve a causa de diferencias en la densidad, se denomina convección natural o libre. Si en cambio, la sustancia en la transferencia de calor por convección, es obligada a moverse por un agente externo tal como un ventilador o una bomba, el proceso se denomina de convección forzada.

El grado o magnitud del flujo depende principalmente de las diferencias de densidad producidas por las diferencias de temperatura, por lo tanto, la eficiencia del proceso de transferencia de calor por convección depende del movimiento de mezclado del fluido. El proceso de convección es más rápido que el de conducción.

2-2-2a LA CONVECCIÓN CUANDO LA TRASFERENCIA DE CALOR OCURRE ENTRE LA SUPERFICIE DE UN MATERIAL Y UN FLUIDO:

La magnitud del flujo de energía calorífica para este tipo de convección puede calcularse con la relación propuesta por Newton:

$$q_c = h_c A \Delta T$$

(2-2-2a)

q_c .- Es la rapidez del flujo de calor por convección.

A .- Es el área superficial expuesta.

ΔT .- Es la diferencia de temperatura entre la superficie (T_2) y el aire (T_1), esta última generalmente se mide en algún lugar específico, generalmente lejos de la superficie.

h_c .- Es un coeficiente de convección que a su vez depende de la viscosidad, de la velocidad del aire y de la configuración física y textura de la superficie, lo que determinará si el flujo del aire será laminar o turbulento. Tabla 2-2-2a [4].

Las unidades utilizadas en la fórmula son:

q_c (flujo de calor por convección) en J/s.

A (área expuesta) en m².

T_1 y T_2 (temperaturas) en °C.

h_c (coeficiente de convección) en J/s m² °C

h_c W/m ² °C	Para superficies interiores
3.0	Superficies Verticales
4.3	Superficies Horizontales con intercambio hacia arriba
1.5	Superficies Horizontales con intercambio hacia abajo
$5.8 + 4.1v$ $v = \text{vel. viento}$	Superficies expuestas al viento $v = (\text{m/s})$

Tabla 2-2-2a

2-2-2b LA CONVECCIÓN EN LA VENTILACIÓN:

La convección cuando se refiere a la ventilación, es decir, a las pérdidas y ganancias de energía calorífica por intercambio del aire entre el exterior de un espacio, ya sea por infiltración o por ventilación deliberada, se calculan por la fórmula:

$$q_v = 1200 V \Delta T$$

(2-2-2b)

- q_v .- Es el flujo calorífico por ventilación.
 1200.- Calor específico volumétrico del aire.
 V .- Es la ventilación.

Las unidades usadas son:

- q_v (flujo por ventilación) en watts (J/s).
 1200 (calor específico vol del aire) en $J/m^3 \cdot ^\circ C$.
 V (ventilación) en m^3/s .
 T_1 y T_2 (temperaturas) en $^\circ C$.

2-2-3 RADIACIÓN:

La radiación es la transferencia de energía por medio de ondas electromagnéticas que se propagan con la velocidad de la luz y se transmiten a través del vacío lo mismo que a través del aire. Esta energía transmitida recibe el nombre de calor radiante.

Cuando las ondas de radiación inciden sobre la superficie de cuerpos opacos, una parte es absorbida pero otra se refleja. Figura 2-2-3a. En los cuerpos transparentes, una parte de la radiación lo atraviesa, otra parte es reflejada en su superficie y otra pequeña porción es absorbida por las partículas del cuerpo. Figura 2-2-3b.

A la fracción de energía que absorbe un material sujeto a la radiación se le llama Absortancia (α). A la porción que es reflejada por la superficie del material se le

conoce como la reflectancia (ρ). La tercera parte que es transmitida es la transmitancia (τ).

La cantidad de energía en forma de calor radiante que sale de una superficie se calcula con la siguiente ecuación:

$$q_r = \sigma \epsilon A T^4$$

(2-2-3)

q_r .—Es la cantidad de calor radiante emitido por una superficie

σ .— Es la constante de Stefan Boltzman = $4.9E-08$ kcal/hr ($^{\circ}K$)⁴

ϵ .— Se refiere a la emisividad de la superficie en relación con un cuerpo negro.

A.— Es el área de la superficie emisora.

T.— La temperatura en la superficie, en grados absolutos.

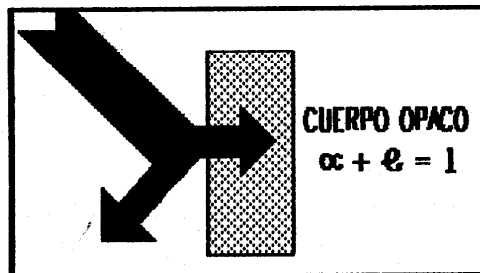


Fig. 2-2-3a Radiación sobre un cuerpo opaco

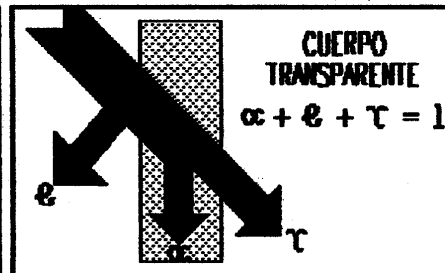


Fig. 2-2-3b Radiación sobre un cuerpo transparente

La energía reflejada puede ser difusa o brillante, difusa cuando la reflexión es independiente del ángulo incidente de radiación y brillante cuando el ángulo de reflexión es igual que el de incidencia.

2-3 FORMAS COMBINADAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Ya se estudió la conducción, la convección y la radiación por separado, pero en la práctica, generalmente se encontrará que el calor se transfiere a través de las diferentes secciones por dos mecanismos en paralelo.

Para mayor comprensión de este tema, se puede hacer una comparación del flujo de calor (q) con la corriente eléctrica; así que la diferencia de temperatura es semejante a la caída del voltaje y la sección del material que transmite el calor viene a ser como una resistencia eléctrica pura, por lo que el factor similar a la resistencia eléctrica es la resistencia térmica.

Con lo anterior se tiene que:

La corriente eléctrica $I = V/R$

donde:

V es el voltaje.

R la resistencia eléctrica.

El flujo de calor:

$$q = \frac{\Delta T}{R}$$

(2-3-1)

Para la conducción (k) dado que:

$$q = k A \frac{\Delta T}{L}$$

y despejando R de la ecuación 2-3-1 se obtiene:

$$Rk = \frac{L}{kA}$$

(2-3-2)

Para la convección (h) dado que:

$$q = hc A \Delta T$$

y despejando R de la ecuación 2-3-1 se obtiene:

$$R_h = \frac{1}{hc A}$$

(2-3-3)

Para la radiación (rad) dado que:

$$q_{rad} = \sigma \epsilon A T^4 = \sigma \epsilon_{1-2} A (T_2^4 - T_1^4)$$

donde:

ϵ_{1-2} es un factor de corrección que está en función de los coeficientes de emisión (ϵ) y las geometrías relativas de los cuerpos reales.

La ecuación para el flujo de calor por radiación es posible escribirla así:

$$q_{rad} = \sigma \epsilon_{1-2} A (T_2 - T_1)(T_2 + T_1)(T_2^2 + T_1^2)$$

y llamándole

$$P = (T_2 - T_1)(T_2 + T_1)(T_2^2 + T_1^2)$$

se reduce a:

$$q_{rad} = \sigma \epsilon_{1-2} A (T_2 - T_1) P$$

y despejando R de la ecuación 2-3-1 se obtiene:

$$R_{rad} = \frac{1}{\sigma \epsilon_{1-2} A P}$$

(2-3-4)

Se puede notar que la R_{rad} sí depende de la diferencia de temperaturas involucradas.

La ecuación general del flujo de calor (Q) se puede expresar en términos de un potencial de temperatura y de las características de transferencia de calor de cada sección de la trayectoria del flujo de calor, por lo tanto:

$$Q = U A \Delta T(\text{total})$$

U es el coeficiente global de transferencia de calor.

La conductancia total U es igual al recíproco de la suma de las resistencias de las secciones individuales de una serie de n secciones por donde se transmite el flujo de calor.

$$UA = \frac{1}{R_1 + R_2 + \dots + R_n}$$

$$UA = \frac{1}{R(\text{total})}$$

(2-3-5)

Cuando el flujo de calor se transmite a través de varias secciones, una seguida de la otra, es semejante a varias resistencias colocadas en serie en un circuito como lo muestran las figuras 2-3-1a y 2-3-1b.

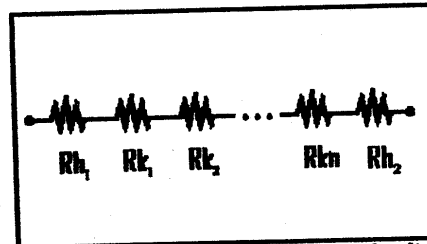
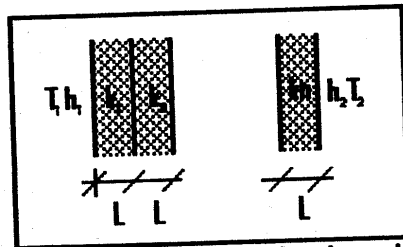


Fig. 2-3-1a Flujo de calor a través de varias secciones

Fig. 2-3-1b Resistencias en serie en un circuito

Por lo que el flujo de calor Q está dado por:

$$Q = \frac{\Delta T}{(R_{h_1} + R_{k_1} + R_{k_2} + \dots + R_{k_n} + R_{h_2})}$$

y sustituyendo por las ecuaciones 2-3-2 y 2-3-3

$$Q = \frac{\Delta T}{\left(\left(\frac{1}{h_1 A} \right) + \sum_{i=1}^n \left(\frac{L_i}{k_i A} \right) + \left(\frac{1}{h_2 A} \right) \right)}$$

(2-3-6)

de la ecuación 2-3-6 se llega a:

$$Q = U A \Delta T$$

para el caso anterior.

(2-3-7)

Cuando existe radiación (rad) y convección (h) en una sección entonces el flujo de calor hasta la superficie de la sección (punto 2) se considera como resistencias en paralelo en un circuito. Figuras 2-3-2a y 2-3-2b

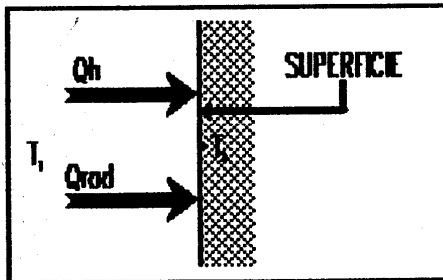


Fig. 2-3-2a Radiación y Convección en una sección

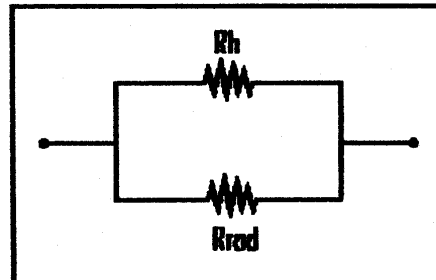


Fig. 2-3-2b Resistencias en paralelo en un circuito

La fórmula para el flujo de calor será:

$$Q_{total} = Q_h + Q_{rad}$$

de la ecuación 2-3-1, sabemos que:

$$Q_h = \frac{\Delta T}{R_h}$$

y sustituyendo R_h de acuerdo a la ecuación 2-3-3 se obtiene:

$$Q_h = \Delta T h_c A$$

ahora para la radiación:

$$Q_{rad} = \frac{\Delta T}{R_{rad}}$$

y sustituyendo R_{rad} de acuerdo a la ecuación 2-3-4 se obtiene:

$$Q_{rad} = \sigma \epsilon_{1-z} A F \Delta T$$

por lo tanto, para el caso anterior:

$$Q_{total} = \Delta T (h_c A + \sigma \epsilon_{1-z} A F)$$

(2-3-8)

Por lo tanto se pueden presentar sistemas en los que se combinen los tres modos de transferencia de calor.