

¿Como se transfiere el calor?

¿Cómo fluye el calor?

Cuando dos objetos que están a temperaturas diferentes se ponen en contacto térmico, el calor fluye desde el objeto más caliente hacia el más frío (zonas de mayor temperatura a las de menor temperatura). En ingeniería y ciencias aplicadas, comprender cómo ocurre ese tránsito es esencial para diseñar procesos eficientes, prevenir pérdidas energéticas y garantizar la seguridad de los equipos. Las tres vías macroscópicas a través de las cuales se transfiere el calor son la conducción, la convección y la radiación. Cada mecanismo responde a principios físicos distintos y está gobernado por ecuaciones que permiten cuantificar los flujos de energía en situaciones prácticas.

Conducción

Si existe un gradiente de temperatura en una sustancia, el calor fluye sin que tenga lugar un movimiento observable de la materia. El flujo de calor de este tipo recibe el nombre de conducción, y de acuerdo con la ley de Fourier, el flujo de calor es proporcional al gradiente de la temperatura y de signo opuesto. Para el flujo de calor en una dimensión, la ley de Fourier es

$$\frac{dq}{dA} = -k \frac{dT}{dx}$$

donde

q = velocidad del flujo de calor en dirección normal a la superficie

A = área de la superficie

T = temperatura

x = distancia normal a la superficie

k = constante de proporcionalidad o conductividad térmica

En los metales, la conducción térmica resulta del movimiento de los electrones libres; existe una estrecha relación entre la conductividad térmica y la conductividad eléctrica

En los sólidos que son malos conductores de la electricidad, y en la mayor parte de los líquidos, la conducción térmica se debe a la transferencia de la cantidad de movimiento entre las moléculas o átomos adyacentes que vibran.

En gases, la conducción se produce por el movimiento al azar de las moléculas, de forma que el calor se “difunde” desde regiones más calientes hacia otras más frías. El ejemplo más común de conducción pura es el flujo de

calor en sólidos, tales como la pared de ladrillo de un horno o la pared metálica de un tubo intercambiador de calor. Con frecuencia, la conducción de calor en líquidos o gases se ve influida por el flujo de los fluidos, y los procesos conductivo y convectivo están enlazados bajo el término de convección o transferencia de calor convectiva.

Convección. La convección se refiere al flujo de calor asociado con el movimiento de un fluido, tal como cuando el aire caliente de un horno entra a una habitación, o a la transferencia de calor de una superficie caliente a un fluido en movimiento. El segundo significado es más importante para las operaciones unitarias, de forma que incluye la transferencia de calor a partir de paredes metálicas, partículas sólidas y superficies líquidas.

Por lo general, el flujo convectivo por unidad de área es proporcional a la diferencia entre la temperatura de la superficie y la temperatura del fluido, como se establece en la ley de Newton de enfriamiento.

$$\frac{q}{A} = h(T_s - T_f)$$

donde T_s = temperatura de la superficie

T_f = temperatura global del fluido, más allá de la superficie

h = coeficiente de transferencia de calor

Observe que la dependencia lineal de la fuerza impulsora de la temperatura $T_s - T_f$ es la misma que para la conducción pura en un sólido con conductividad térmica constante, tal como se observa a partir de la integración de la ecuación de Fourier. A diferencia de la conductividad térmica, el coeficiente de transferencia de calor no es una propiedad intrínseca del fluido, sino que depende tanto de los patrones de flujo determinados por la mecánica de fluidos como de las propiedades térmicas del fluido. Si $T_f - T_s > 0$, el calor será transferido del fluido a la superficie

Convección natural y forzada. Cuando las corrientes en un fluido son consecuencia de las fuerzas de flotación generadas por diferencias de densidad, que a su vez se originan por gradientes de temperatura en la masa del fluido, la acción recibe el nombre de convección natural. Cuando las corrientes se deben a un dispositivo mecánico, tal como una bomba o un agitador, el flujo es independiente de las diferencias de densidad y recibe el nombre de convección forzada. Las fuerzas de flotación también existen en la convección forzada, pero por lo general sólo tienen un pequeño efecto.

Radiación. Radiación es el término que se emplea para designar a la transferencia de energía a través del espacio por medio de ondas electromagnéticas. Si la radiación pasa

a través de un espacio vacío, no se transforma en calor ni en otra forma de energía, ni se desvía de su trayectoria. Sin embargo, si en su trayectoria encuentra algún material, la radiación se transferirá, reflejará o absorberá. Sólo la energía absorbida es la que aparece

como calor y esta transformación es cuantitativa. Por ejemplo, el cuarzo fundido transfiere prácticamente toda la radiación que incide sobre él; una superficie opaca pulida o un espejo reflejan la mayor parte de la radiación incidente; una superficie negra o mate absorbe la mayor parte de la radiación que recibe y la energía absorbida es transformada cuantitativamente en calor.

La energía emitida por un cuerpo negro es proporcional a la temperatura absoluta elevada a la cuarta potencia

$$W_b = \sigma T^4$$

donde W_b = velocidad de emisión de la energía radiante por unidad de área

σ = constante de Stefan-Boltzmann

T = temperatura absoluta

Los gases monoatómicos y la mayoría de los diatómicos son transparentes a la radiación térmica, y es muy frecuente encontrarse con que el calor fluye a través de las masas de tales gases por radiación y por conducción-convección. Ejemplos de ello son las pérdidas de calor desde un radiador o una tubería no aislada que conduce vapor de agua hacia el aire de una habitación, así como la transferencia de calor en hornos y otros equipos que operan con gases calentados a temperaturas elevadas. Los dos mecanismos son mutuamente independientes y transcurren en forma paralela, de modo que un tipo de flujo de calor puede ser controlado o variado independientemente del otro. Es posible estudiar de manera separada la conducción-convección y la radiación, y sumar sus efectos separados en casos donde ambos son importantes. En términos muy generales, la radiación se hace importante a temperaturas elevadas y es independiente de las circunstancias del flujo del fluido. La conducción-convección es sensible a las condiciones de flujo y no se afecta relativamente por el nivel de temperatura.

Cuestionario

- 1) ¿Hacia dónde fluye el calor cuando dos objetos a diferente temperatura se ponen en contacto térmico?
- 2) Según la ley de Fourier, ¿de qué variables depende la velocidad de flujo de calor por conducción en una dimensión?
- 3) ¿Qué partículas son responsables de la alta conductividad térmica en los metales y por qué existe una relación estrecha con la conductividad eléctrica?
- 4) Mencione dos ejemplos descritos en el texto donde la convección interviene claramente en operaciones industriales o domésticas
- 5) Ley de Newton de enfriamiento ¿Qué magnitud reemplaza a la conductividad térmica k al pasar de conducción pura a convección, y por qué no puede considerarse una propiedad intrínseca del fluido?
- 6) Explique brevemente la diferencia entre convección natural y forzada e indique cuál de las dos depende directamente de dispositivos mecánicos
- 7) ¿Qué sucede con la radiación al atravesar un espacio vacío y qué acciones puede sufrir al encontrar un material? Mencione cuál de esas acciones conduce finalmente a la aparición de calor
- 8) Compare la respuesta frente a la radiación de:
 - a) cuarzo fundido,
 - b) una superficie metálica pulida/espejo,
 - c) una superficie negra o mate
- 9) De acuerdo con la lectura, ¿con qué potencia de la temperatura absoluta se relaciona la energía emitida por un cuerpo negro?
- 10) ¿En qué condiciones generales (temperatura y flujo del fluido) la radiación se vuelve un mecanismo dominante frente a la conducción-convección, y por qué es posible sumar ambos efectos?