

CALOR

Transferencia de energía de una parte a otra de un cuerpo, o entre diferentes cuerpos, en virtud de una diferencia de temperatura. El calor es energía en tránsito; siempre fluye de una zona de mayor temperatura a una zona de menor temperatura, con lo que eleva la temperatura de la segunda y reduce la de la primera, siempre que el volumen de los cuerpos se mantenga constante. La energía no fluye desde un objeto de temperatura baja a un objeto de temperatura alta si no se realiza trabajo.

Hasta principios del siglo XIX, el efecto del calor sobre la temperatura de un cuerpo se explicaba postulando la existencia de una sustancia o forma de materia invisible, denominada calórico. Según la teoría del calórico, un cuerpo de temperatura alta contiene más calórico que otro de temperatura baja; el primero cede parte del calórico al segundo al ponerse en contacto ambos cuerpos, con lo que aumenta la temperatura de dicho cuerpo y disminuye la suya propia. Aunque la teoría del calórico explicaba algunos fenómenos de la transferencia de calor, las pruebas experimentales presentadas por el físico británico Benjamin Thompson en 1798 y por el químico británico Humphry Davy en 1799 sugerían que el calor, igual que el trabajo, corresponde a energía en tránsito (proceso de intercambio de energía). Entre 1840 y 1849, el físico británico James Prescott Joule, en una serie de experimentos muy precisos, demostró de forma concluyente que el calor es una transferencia de energía y que puede causar los mismos cambios en un cuerpo que el trabajo.

TEMPERATURA

La sensación de calor o frío al tocar una sustancia depende de su temperatura, de la capacidad de la sustancia para conducir el calor y de otros factores. Aunque, si se procede con cuidado, es posible comparar las temperaturas relativas de dos sustancias mediante el tacto, es imposible evaluar la magnitud absoluta de las temperaturas a partir de reacciones subjetivas. Cuando se aporta calor a una sustancia, no sólo se eleva su temperatura, con lo que proporciona una mayor sensación de calor, sino que se producen alteraciones en varias propiedades físicas que se pueden medir con precisión. Al variar la temperatura, las sustancias se dilatan o se contraen, su resistencia eléctrica cambia y, en el caso de un gas, su presión varía. La variación de alguna de estas propiedades suele servir como base para una escala numérica precisa de temperaturas (ver más adelante).

TIPOS DE TRANSMISIÓN DE CALOR

El calor puede transmitirse de tres maneras. Puesto que el calor es la energía de la actividad molecular, una forma simple de transferencia del mismo, denominada *conducción*, será la comunicación directa de la energía molecular a través de una sustancia por medio de colisiones entre sus moléculas. Los metales contienen electrones "libres", que hacen de ellos buenos conductores de la electricidad ; estos electrones contribuyen también poderosamente a la conducción del calor, por esto, los metales son magníficos conductores térmicos (tabla 1).

Convección es una forma de transmisión del calor de un lugar a otro por movimiento de la materia caliente. Otro tipo de transferencia de calor puede ser por combinación de *radiación* y *absorción*. En la radiación, la energía térmica se transforma en energía radiante, similar en su naturaleza a la luz. En realidad, una parte de esta radiación es luminosa. En esta forma, la energía radiante puede atravesar distancias enormes antes de ser absorbida por un cuerpo y transformada de nuevo en calor. Por ejemplo, la energía radiante procedente del sol se convierte en calor en la superficie de la Tierra ocho minutos después de su salida.

• CONDUCCIÓN:

Cuando el calor se propaga sin transporte real de la sustancia que forma el sistema, por medio de intercambios energéticos (choques) entre sus partículas integrantes (átomos, moléculas, electrones ...) se dice que se ha transmitido por conducción.

La cantidad de calor que fluye a través de un cuerpo por conducción depende del tiempo, del área a través de la cual fluye, del gradiente de temperatura y de la clase de material.

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = c^2 \left[\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} \right]$$

o lo que es lo mismo:

$$\nabla^2 p - \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0$$

donde k es la *conductividad térmica* del material, A el área normal a la dirección del flujo de calor, t el tiempo y $D T/D L$ es el gradiente de temperatura. El símbolo $D T$ representa la diferencia de temperatura entre dos superficies paralelas distantes entre sí $D L$.

Existen grandes diferencias de conductividad térmica para distintos materiales.

Los gases tienen una conductividad muy pequeña. Igualmente, los líquidos son en general malos conductores. En el caso de los sólidos, la conductividad térmica varía de una forma extraordinaria, desde valores bajísimos, como en el caso de las fibras de amianto, hasta valores muy altos para el caso de los metales. Los materiales fibrosos, como el fieltro o el amianto, son muy malos conductores (buenos aislantes) cuando están secos; si se humedecen, conducen el calor bastante bien. Una de las dificultades para el uso de estos materiales como aisladores es el mantenerlos secos.

• CONVECCIÓN:

Cuando el calor se transmite por medio de un movimiento real de la materia que forma el sistema se dice que hay una propagación de calor por convección. Un ejemplo son: Los radiadores de agua caliente y las estufas de aire.

La transferencia de calor por corrientes de convección en un líquido o en un gas, está asociada con cambios de presión, debidos comúnmente a cambios locales de densidad. Un aumento de temperatura en un fluido va acompañado por un descenso de su densidad. Si aplicamos calor en la base de un recipiente, el fluido, menos denso en esta parte debido al calentamiento, será continuamente desplazado por el fluido más denso de la parte superior. Este movimiento que acompaña a la transmisión del calor se denomina *convección libre*. Ejemplos clásicos de convección son: el movimiento del viento sobre la tierra, la circulación del agua en un sistema de calefacción doméstico. Algunas veces las diferencias de presión se producen mecánicamente mediante una bomba o un ventilador; en tal caso, se dice que la conducción del calor ocurre por *convección forzada*. En ambos casos, el calor pasa hacia dentro o fuera de la corriente a lo largo del recorrido.

El método de las corrientes de convección es uno de los más eficaces de transferencia de calor y debe tenerse en cuenta cuando se diseña o construya un sistema de aislamiento. Si se dejan en una casa grandes espacios sin paredes, se forman muy fácilmente corrientes de convección, produciéndose pérdidas de calor. Sin embargo, si los espacios se rompen en pequeños recintos, no son posibles las corrientes de convección y las pérdidas de calor por este método son muy pequeñas. Por esta razón, los materiales aislantes usados en las paredes de refrigeradores o en las de las casas son poroso: viruta de corcho, corcho prensado, lana de vidrio u otros materiales similares. Estos, no solamente son malos conductores por sí mismos, sino que dejan además pequeños espacios de aire, que son muy malos conductores y, al mismo tiempo, lo suficientemente pequeños

para que no se produzcan corrientes de convección.

• RADIACIÓN:

Además de los procesos descritos convección y conducción, un sistema puede transmitir energía mediante la transmisión de ondas electromagnéticas. Un segundo cuerpo puede absorber estas ondas y con ello aumentar su temperatura. Entre los dos cuerpos se registra un cambio de temperatura. Entre los dos cuerpos se registra un cambio de temperatura se dice que ha habido una propagación del calor por radiación.

La transferencia de calor por radiación no requiere ningún medio material intermedio en el proceso. La energía se traslada desde la superficie del sol hasta la tierra, donde es absorbida y convertida en energía calorífica. La energía emitida por un filamento de lámpara eléctrica atraviesa el espacio entre filamento y bulbo aunque no tenga ningún gas en su interior. Energía de esta naturaleza la emiten todos los cuerpos. Un cuerpo que absorbe esta energía radiante la convierte en calor, como resultado de un aumento de su velocidad molecular.

Todos los cuerpos calientes emiten energía radiante. Una estufa, por ejemplo, emite energía radiante hasta que encuentra cualquier objeto donde, en general, es parcialmente reflejada, parcialmente absorbida y parcialmente transmitida. Sucede lo mismo que con la luz, excepto que no produce sensación en la vista. La energía radiante calorífica difiere de la luz únicamente en la longitud de onda.

Hay grandes diferencias en la transparencia de las diversas sustancias a la radiación calorífica. Algunos materiales tales como el caucho duro, óxido de níquel, vidrios especiales o una disolución de sulfuro de carbono y yodo, opaca a la luz, son casi transparentes a las radiaciones caloríficas. Los vidrios de ventana ordinarios, casi completamente transparentes a la luz, absorben radiaciones caloríficas.

El tejado de vidrio de un invernadero es transparente a las radiaciones visibles y al infrarrojo próximo procedentes del sol. Esta energía se convierte en calor cuando es absorbida por los objetos que están dentro del invernadero. Estos objetos se calientan y radian energía, pero, dado que su temperatura no es alta, la radiación calorífica que emiten no es idéntica a la que recibieron. El vidrio no transmite esta energía calorífica y, por tanto, la energía radiada por los cuerpos que están dentro del invernadero no puede salir. Un invernadero actúa, por tanto, como una trampa para energía, y dado que las pérdidas por radiación y convección se previenen en alto grado, la temperatura interior puede ser muy superior a la del exterior, siempre que reciba energía solar directa.

SONIDO

Fenómeno físico que estimula el sentido del oído. En los seres humanos, esto ocurre siempre que una vibración con frecuencia comprendida entre unos 15 y 20.000 hercios llega al oído interno. El hercio (Hz) es una unidad de frecuencia que corresponde a un ciclo por segundo. Estas vibraciones llegan al oído interno transmitidas a través del aire, y a veces se restringe el término "sonido" a la transmisión en este medio. Sin embargo, en la física moderna se suele extender el término a vibraciones similares en medios líquidos o sólidos. Los sonidos con frecuencias superiores a unos 20.000 Hz se denominan ultrasonidos. Véase Ultrasónica.

Este artículo se ocupa de este campo de la física en líneas generales. Para lo relativo a la ciencia arquitectónica del diseño de estancias y edificios con propiedades adecuadas de propagación y recepción del sonido, véase Acústica. Para lo relativo a la naturaleza del proceso fisiológico de la audición de sonidos y la anatomía del mecanismo de audición en personas y animales, véase Oído. En cuanto a las propiedades generales de la producción y propagación de ondas vibracionales, entre ellas las ondas de sonido, véase Movimiento ondulatorio; Oscilación.

En general, las ondas pueden propagarse de forma transversal o longitudinal. En ambos casos, sólo la energía y la cantidad de movimiento del movimiento ondulatorio se propagan en el medio; ninguna parte del propio medio se mueve físicamente a una gran distancia. Por ejemplo, imaginemos que atamos firmemente una cuerda a un poste por un extremo, la estiramos sin tensarla del todo y sacudimos el otro extremo. Una onda se desplazará por la cuerda hacia el poste, donde se reflejará y volverá hacia la mano. En realidad, ninguna parte de la cuerda se mueve longitudinalmente hacia el poste, pero todas las partes de la cuerda se mueven transversalmente. Este tipo de movimiento ondulatorio se denomina onda transversal. Del mismo modo, si tiramos una piedra a un estanque, una serie de ondas transversales se propaga desde el punto de impacto. Un corcho que flote cerca de dicho punto se moverá hacia arriba y hacia abajo, es decir, de forma transversal a la dirección del movimiento ondulatorio, pero apenas mostrará movimiento longitudinal. En cambio, una onda de sonido es una onda longitudinal. A medida que la energía del movimiento ondulatorio se propaga alejándose del centro de la perturbación, las moléculas de aire individuales que transmiten el sonido se mueven hacia delante y hacia atrás, de forma paralela a la dirección del movimiento ondulatorio. Por tanto, una onda de sonido es una serie de compresiones y enrarecimientos sucesivos del aire. Cada molécula individual transmite la energía a las moléculas vecinas, pero una vez que pasa la onda de sonido, las moléculas permanecen más o menos en la misma posición.

Una onda de sonido se refleja especularmente cuando choca con un objeto de al menos el tamaño de su longitud de onda, interpuesto en su camino. El sonido se refleja bien en superficies duras y rígidas, y mal en superficies porosas, blandas y deformables.

Al incidir el sonido sobre, por ejemplo, un cortinaje, hay varios fenómenos que causan que se absorba la energía de la onda sonora, siendo el más importante el debido al roce con el aire. Esto se explica porque el aire cerca de las fibras está siempre prácticamente en reposo. El sonido que incide sobre el cortinaje sólo puede inducir a moverse a las moléculas del aire con distintas velocidades; la fricción, consecuencia de la viscosidad del aire, se encarga de disipar la energía de la onda sonora.

VELOCIDAD DE PROPAGACION DEL SONIDO

EN EL AIRE, AGUA Y EN SOLIDOS

La velocidad de propagacion del sonido en el aire es de unos 334 m/s . y a 0° es de 331,6 m/s. La velocidad de propagacion es proporcional a la raiz cuadrada de la temperatura absoluta y es alrededor de 12 m/s mayor a 20°. La velocidad es siempre independiente de la presion atmosferica.

En el agua la velocidad de propagacion es de 1500 m/s. Es posible obtener medidas de temperatura de los oceanos midiendo la diferencia de velocidad sobre grandes distancias.

Si necesitas mas datos sobre la propagacion del sonido en los materiales recurre al CRC Handbook of Chemistry & Physics.

La superficie radiante de un emisor submarino al vibrar, induce a las partículas del medio a desplazarse de sus posiciones de reposo. Dentro del límite de elasticidad del medio, las vibraciones del emisor, pueden transmitirse a grandes distancias, ya que las partículas adyacentes provocan perturbaciones sucesivas de modo que la señal emitida se transmite en forma de ondas que se alejan de la fuente.

La ecuación diferencial fundamento de la acústica ondulatoria que gobierna la propagación de las ondas es: en las que c es el valor de la celeridad en el punto (x,y,z) , p la presión y t el tiempo.

Esta ecuación relaciona la presión acústica (energía) en un determinado punto del medio, con las coordenadas de ese punto y en un momento dado.

No siempre es posible encontrar soluciones a la ecuación dada, lo que implica que en muchos casos no puedan obtenerse expresiones exactas que sirvan de base para el cálculo de la intensidad acústica en el

océano.

CARACTERISTICAS ESPECIFICAS

Cualquier sonido sencillo, como una nota musical, puede describirse en su totalidad especificando tres características de su percepción: el tono, la intensidad y el timbre. Estas características corresponden exactamente a tres características físicas: la frecuencia, la amplitud y la composición armónica o forma de onda. El ruido es un sonido complejo, una mezcla de diferentes frecuencias o notas sin relación armónica.

VELOCIDAD DEL SONIDO

La frecuencia de una onda de sonido es una medida del número de vibraciones por segundo de un punto determinado. La distancia entre dos compresiones o dos enrarecimientos sucesivos de la onda se denomina longitud de onda. El producto de la longitud de onda y la frecuencia es igual a la velocidad de propagación de la onda, que es la misma para sonidos de cualquier frecuencia (cuando el sonido se propaga por el mismo medio a la misma temperatura). Por ejemplo, la longitud de onda del la situado sobre el do central es de unos 78,2 cm, y la del la situado por debajo del do central es de unos 156,4 centímetros.

La velocidad de propagación del sonido en aire seco a una temperatura de 0 °C es de 331,6 m/s. Al aumentar la temperatura aumenta la velocidad del sonido; por ejemplo, a 20 °C, la velocidad es de 344 m/s. Los cambios de presión a densidad constante no tienen prácticamente ningún efecto sobre la velocidad del sonido. En muchos otros gases, la velocidad sólo depende de su densidad. Si las moléculas son pesadas, se mueven con más dificultad, y el sonido avanza más despacio por el medio. Por ejemplo, el sonido avanza ligeramente más deprisa en aire húmedo que en aire seco, porque el primero contiene un número mayor de moléculas más ligeras. En la mayoría de los gases, la velocidad del sonido también depende de otro factor, el calor específico, que afecta a la propagación de las ondas de sonido.

Generalmente, el sonido se mueve a mayor velocidad en líquidos y sólidos que en gases. Tanto en los líquidos

como en los sólidos, la densidad tiene el mismo efecto que en los gases; la velocidad del sonido varía de forma inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la densidad. La velocidad también varía de forma proporcional a la raíz cuadrada de la elasticidad. Por ejemplo, la velocidad del sonido en agua es de unos 1.500 m/s a temperaturas ordinarias, pero aumenta mucho cuando sube la temperatura. La velocidad del sonido en el cobre es de unos 3.500 m/s a temperaturas normales y decrece a medida que aumenta la temperatura (debido a la disminución de la elasticidad). En el acero, más elástico, el sonido se desplaza a unos 5.000 m/s; su propagación es muy eficiente.

FORMAS DE PROPAGACION DEL SONIDO

REFRACCION, REFLEXION E INTERFERENCIAS

El sonido avanza en línea recta cuando se desplaza en un medio de densidad uniforme. Sin embargo, igual que la luz, el sonido está sometido a la refracción, es decir, la desviación de las ondas de sonido de su trayectoria original (Véase Óptica). En las regiones polares, por ejemplo, donde el aire situado cerca del suelo es más frío que el de las capas más altas, una onda de sonido ascendente que entra en la región más caliente, donde el sonido avanza a más velocidad, se desvía hacia abajo por la refracción. La excelente recepción del sonido a favor del viento y la mala recepción en contra del viento también se deben a la refracción. La velocidad del aire suele ser mayor en las alturas que cerca del suelo; una onda de sonido ascendente que avanza a favor del viento se desvía hacia el suelo, mientras que una onda similar que se mueve en contra del viento se desvía hacia arriba, por encima de la persona que escucha.

El sonido también se ve afectado por la reflexión, y cumple la ley fundamental de que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión. Un eco es el resultado de la reflexión del sonido. El sonar se basa en la reflexión de los sonidos propagados en agua. Una bocina es un tubo cónico que forma un haz de ondas de sonido reflejando algunos de los rayos divergentes en los lados del tubo. Un tubo similar puede recoger ondas de sonido si se dirige el extremo ancho hacia la fuente de sonido.

El sonido también experimenta difracción e interferencia. Si el sonido de una única fuente llega a un oyente por dos trayectorias diferentes por ejemplo, una directa y otra reflejada, los dos sonidos pueden reforzarse; sin embargo, si no están en fase pueden interferir de forma que el sonido resultante sea menos intenso que el

sonido directo sin reflexión. Las trayectorias de interferencia son distintas para sonidos de diferentes frecuencias, con lo que la interferencia produce distorsión en sonidos complejos. Dos sonidos de distintas frecuencias pueden combinarse para producir un tercer sonido cuya frecuencia es igual a la suma o diferencia de las dos frecuencias originales.