

Tema 9.- TEMPERATURA Y PROPAGACIÓN DEL CALOR

Suele decirse que la temperatura es una medida del grado de calor o frío de los cuerpos, pero esta definición no es válida desde el punto de físico. Cuando un cuerpo se calienta o enfría, cambian algunas de sus propiedades físicas: La mayor parte de los sólidos y líquidos se dilatan al calentarse, si se calienta un conductor eléctrico varía su resistencia, etc. Una propiedad física que varía con la temperatura se denomina *propiedad termométrica* y un cambio de esta propiedad indica que se ha modificado la *temperatura* del objeto.

• Equilibrio térmico y principio cero de la Termodinámica

Dos sistemas en contacto están en *equilibrio térmico* cuando sus propiedades ya no cambian con el tiempo. Para que dos sistemas estén en contacto deben estar separados por una *pared diatérmica* que facilite su interacción térmica. Una *pared adiabática* no permite esta interacción: cada sistema está aislado del otro y cada uno de ellos puede permanecer en su estado de equilibrio. El *principio cero de la Termodinámica* establece que dos sistemas que están en equilibrio térmico con un tercero lo están también entre sí. El concepto de temperatura está relacionado con el estado de equilibrio térmico de dos sistemas pues estarán en equilibrio térmico si tienen la misma temperatura.

• Termómetros y la escala de temperaturas del gas ideal

Para establecer una escala de temperatura se utiliza una propiedad termométrica. Los termómetros de gas tienen la propiedad de que todos ellos concuerdan entre sí en la medición de cualquier temperatura con tal de que la densidad del gas empleado en el termómetro sea muy baja. La temperatura del gas ideal se define mediante un límite con gases reales diluidos en un *termómetro de gas a volumen constante*. La escala de temperaturas se ajusta asignando al punto triple del agua la temperatura 273.16 K. En este estado coinciden el punto de fusión, el punto de ebullición y el punto de sublimación, y tiene lugar a una presión de vapor de 610 Pa y a una temperatura de 0.01° C. Se define la temperatura del gas ideal mediante:

$$T = 273.16 K \frac{p}{p_3}$$

donde p es la presión del gas en el termómetro cuando está en equilibrio térmico con el sistema del que se quiere medir la temperatura y p_3 es la presión cuando el termómetro está en un baño de agua-hielo-vapor en su punto triple.

• Dilatación térmica

La mayoría de las sustancias se expanden o dilatan al aumentar su temperatura y contraen cuando ésta disminuye.

(i) *Dilatación lineal*: El cambio L de la longitud L_0 de un objeto al cambiar la temperatura en T es:

$$L = L_0 \alpha T$$

donde α es el coeficiente de dilatación lineal de la sustancia.

(ii) *Dilatación superficial*: El cambio S de la superficie S_0 de un objeto al cambiar la temperatura en T viene dado por:

$$S = S_0 \beta T$$

donde β es el coeficiente de dilatación superficial de la sustancia. Para una sustancia isotrópica se cumple que $\beta = 2\alpha$.

(iii) *Dilatación cúbica*: El cambio V del volumen V_0 de un objeto al cambiar la temperatura en T es:

$$V = V_0 \gamma T$$

donde γ es el coeficiente de dilatación cúbica o de expansión de volumen. Para una sustancia isotrópica se cumple que $\gamma = 3\alpha$. El agua presenta una expansión térmica anómala entre 0° y 4° C, pues se contrae al aumentar la temperatura.

• Esfuerzos de origen térmico

Si los extremos de una barra están fijos de modo que se impida su dilatación o contracción, y se varía la temperatura de la barra, se producen en ésta esfuerzos de tracción y compresión que pueden llegar a ser muy grandes, originando en la barra tensiones que pueden sobrepasar el límite elástico y aun el de ruptura. Si E es el módulo de Young del material, el valor de este esfuerzo es:

$$\sigma = \frac{F}{S} = E \epsilon$$

• Propagación del calor por conducción

El calor Q es la energía transferida entre un sistema y su entorno, debido únicamente a una diferencia de temperatura entre dicho sistema y alguna parte de su entorno. El flujo de calor persiste hasta que se igualan las temperaturas. En el proceso de propagación del calor por *conducción*, el calor se transmite entre dos sistemas a través de un medio de acoplamiento. Si el medio que separa los sistemas que están a temperaturas T_1 y T_2 tiene longitud L y sección S , en el estado estacionario (T ya no cambia con el tiempo) el calor que pasa a través de una sección transversal por unidad de tiempo (corriente térmica, $H = Q/t$) es:

$$H = kS \frac{T_2 - T_1}{L}$$

donde k es la *conductividad térmica* del medio. Se define la *resistencia térmica* del medio, R , como:

$$R = \frac{L}{kS}$$

y $H = T/R$. Para una pared compuesta en el estado estacionario, su resistencia térmica equivalente es la suma de las resistencias térmicas de las paredes componentes si tienen la misma superficie. La corriente térmica H para condiciones no estacionarias y para diversas geometrías se calcula como:

$$H = -kS \frac{dT}{dx}$$

que se conoce como ley de Fourier. dT/dx es el gradiente de temperatura y H es la corriente de calor instantánea a través de un elemento de área S . El signo negativo indica que el calor fluye desde las temperaturas altas a las bajas.

• Propagación del calor por convección y radiación

En la propagación por *convección* existe transferencia de calor de un lugar a otro por un movimiento real de la sustancia caliente dando lugar a corrientes de convección macroscópicas, que pueden aparecer en fluidos en el campo gravitatorio cuya densidad varía con la temperatura (convección natural). La convección puede forzarse también con el uso de ventiladores.

En el calor transferido por *radiación*, la potencia radiada P por una superficie viene dada por la ley de Stefan-Boltzmann:

$$P = e \sigma T^4$$

donde e es la emisividad y $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ es la constante de Stefan-Boltzmann. Todos los objetos emiten energía desde sus superficies cuando están calientes y la radiación térmica es un tipo de radiación electromagnética.

En todos los mecanismos de propagación del calor, si la diferencia de temperatura entre el cuerpo y los alrededores es pequeña, la velocidad de enfriamiento del cuerpo es aproximadamente proporcional a la diferencia de temperatura (*ley de enfriamiento de Newton*).

• BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

[GETTYS, 1991] *Cap. 16: Temperatura y transferencia del calor.*

[TIPLER, 1999] *Cap. 18: Temperatura y teoría cinética de los gases.*