

CALORIMETRÍA

1. TEMPERATURA DE UN CUERPO

Para definir la temperatura desde un punto de vista físico hay que definir el concepto de equilibrio térmico y describir el movimiento térmico de las partículas.

EQUILIBRIO TÉRMICO

Cuando se ponen en contacto dos cuerpos a diferentes temperaturas, el cuerpo caliente le transfiere energía al frío hasta que sus temperaturas se igualan. Luego deja de transferirse energía y se dice que los dos cuerpos se encuentran en equilibrio térmico.

La temperatura de dos cuerpos que alcanzan el equilibrio térmico no es la temperatura media de las que tenían inicialmente, ya que intervienen factores como la masa de cada cuerpo y la naturaleza de la materia de cada uno.

Por ejemplo, si se sumerge un pequeño trozo de metal muy caliente en un cubo con mucha agua, el metal sufre un brusco descenso de temperatura, pero el agua apenas se calienta.

LA TEORÍA CINÉTICA Y EL MOVIMIENTO TÉRMICO

Esta teoría es un modelo que explica los fenómenos que ocurren en los cuerpos a partir de las siguientes suposiciones:

- La materia está formada por pequeñas partículas que ejercen fuerzas entre sí.
- Estas partículas experimentan un movimiento continuo y desordenado denominado movimiento térmico.

Las partículas poseen energía cinética debido al movimiento térmico, y energía potencial a causa de las fuerzas de interacción entre ellas.

En la superficie de contacto entre los cuerpos, las partículas más rápidas les transfieren energía a las más lentas al chocar con ellas y la energía pasa al interior de los cuerpos mediante choques entre las partículas.

La suma de las energías cinéticas y potenciales de todas las partículas de un sistema se denomina energía interna de un sistema.

Cuando se alcanzó el equilibrio térmico entre dos cuerpos, la energía cinética media de sus partículas es la misma.

La temperatura de un cuerpo es proporcional a la energía cinética media de sus partículas.

2. EL CALOR COMO FORMA DE TRANSFERENCIA ENERGÉTICA

Al poner en contacto dos cuerpos a distinta temperatura, se transfiere energía del cuerpo caliente al frío hasta alcanzar el equilibrio térmico.

Este proceso se caracteriza por los siguientes hechos:

- La energía se transfiere del cuerpo con mayor temperatura al cuerpo con menor temperatura.
- La energía interna del cuerpo frío aumentó y la del caliente disminuyó.
- En el equilibrio térmico, los dos cuerpos cuentan con la misma temperatura e igual energía cinética media de sus partículas. En este estado cesa la transferencia de energía de un cuerpo al otro.

Calor: es el proceso de transferencia de energía de un cuerpo a otro como consecuencia de la diferencia de temperatura entre ellos.

FORMAS DE PROPAGACIÓN DE ENERGÍA MEDIANTE CALOR

- La **conducción**. Es la propagación calorífica sin desplazamiento de materia. Las partículas del cuerpo que recibe energía se mueven con mayor rapidez y transmiten esta energía mediante choques a las restantes partículas del cuerpo. De este modo se transmite el aumento de temperatura a todo el cuerpo,

aunque esa transmisión emplea un tiempo. Por ejemplo, si se calienta al fuego el extremo de una barra metálica, se puede sujetar con la mano el otro extremo durante un tiempo.

- La **convección**. Es la propagación calorífica mediante desplazamiento de materia. Se produce fundamentalmente en los fluidos. Las partes del cuerpo que reciben energía aumentan de volumen, se vuelven menos densas y ascienden. Las partes frías son más densas y bajan ocupando las zonas libres. De este modo, la temperatura tiende a igualarse en todas las partes del cuerpo.
- La **radiación**. Es la propagación de energía a través de ondas electromagnéticas sin necesidad de algún medio material. Todos los cuerpos irradian energía en función de su temperatura. Cuando la temperatura de un cuerpo alcanza un determinado valor, el cuerpo radia energía luminosa y se pone incandescente.

3. MEDIDA DE LA TEMPERATURA

La sensación de caliente o frío depende de la temperatura de quien toca un objeto y de si este es buen o mal conductor calorífico \Rightarrow El sentido del tacto es un mal medio para medir la temperatura de los objetos.

La temperatura se mide con los **termómetros**. Un termómetro es un instrumento que posee alguna propiedad observable (longitud, resistencia eléctrica, volumen o color) que varía con el valor de la temperatura.

El más conocido es el termómetro de mercurio, que mide la temperatura de un objeto al alcanzar el equilibrio térmico con él. Se calibra midiendo la longitud de la columna de mercurio en dos procesos que ocurren a temperaturas determinadas: la fusión del hielo y la ebullición del agua.

ESCALAS DE TERMOMÉTRICAS.

- **Escala Celsius**. El científico sueco Anders Celsius creó la escala Celsius, que le asigna el valor 0°C a la temperatura de fusión del agua y 100°C a su temperatura de ebullición. El intervalo termométrico entre los dos puntos se divide en 100 partes, y cada una de ellas se denomina grado centígrado.
- **Escala Fahrenheit**. Propuesta por el físico holandés Gabriel Fahrenheit, sólo se utiliza en los países anglosajones. En ella se le da el valor 32°F al punto de fusión del agua y 212°F a su punto de ebullición. El intervalo termométrico se divide en 180 partes. La relación con la escala centígrada viene expresada por:

$$\frac{T(^{\circ}\text{C})}{5} = \frac{T(^{\circ}\text{F}) - 32}{9}$$

Las dos escalas citadas tienen el mismo defecto: la arbitrariedad en la elección de los valores de sus puntos fijos. En cambio, la denominada escala absoluta cuenta con un fundamento físico más universal.

- **Escala absoluta o Kelvin**. Es la más utilizada por los científicos. El cero de esta escala o cero absoluto (0 K) corresponde a $-273,15^{\circ}\text{C}$, y a esta temperatura, las partículas que forman la materia carecen de movimiento térmico; por lo tanto, es imposible pensar en una temperatura inferior. La relación entre la escala centígrada y la absoluta es:

$$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273$$

4. CAPACIDAD CALORÍFICA Y CALOR ESPECÍFICO

Si dos cuerpos de sustancias distintas pero de igual masa se ponen en contacto con el mismo foco calorífico, experimentan incrementos de temperatura diferentes. Se dice que poseen distinta **capacidad calorífica**.

Capacidad calorífica: es la cantidad de energía que hay que transferirle caloríficamente a un cuerpo para que su temperatura aumente un kelvin. Su valor depende de la masa del cuerpo y de la sustancia de la que está formado. Se mide en J/K.

Calor específico: C_e una sustancia es la energía que absorbe mediante calor un kilogramo de esta para aumentar 1 K su temperatura. La unidad de calor específico en el sistema internacional es $\text{J kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$.

Por lo tanto, la energía que hay que transferir mediante calor, Q , a un cuerpo de masa m para elevar su temperatura desde T_i hasta T_f es:

$$Q = mC_e\Delta(T_f - T_i)$$

CALORES ESPECÍFICOS

Substancia	C_e (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	Substancia	C_e (J kg ⁻¹ K ⁻¹)
Agua líquida	4180	Cobre	1100
Agua sólida	2132	Aluminio	896
Etanol	2450	Hierro	452
Acetona	2180	Plata	239

Como consecuencia del principio de conservación de la energía, si dos cuerpos intercambian energía mediante calor, la energía cedida por uno de ellos (negativa) es igual a la absorbida por el otro (positiva). Por consiguiente:

$$Q_{\text{absorbido}} = -Q_{\text{cedido}} \Rightarrow Q_{\text{absorbido}} + Q_{\text{cedido}} = 0$$

5. VARIACIÓN DE TEMPERATURA Y CAMBIOS DE ESTADO

Al transferirle energía mediante calor a una sustancia sólida o líquida, aumenta su temperatura porque se incrementa la energía cinética promedio de sus partículas.

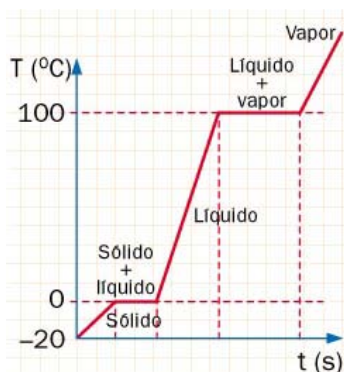
Cuando su energía cinética no puede aumentar más, toda la energía absorbida se emplea en incrementar la energía potencial de las partículas, lo que debilita las fuerzas de atracción entre ellas y produce un cambio de estado.

Los cambios de estado pueden deberse a una absorción o cesión de energía:

- **Fusión:** Es el paso de una sustancia desde el estado sólido al estado líquido.
- **Solidificación:** Es el paso de líquido a sólido.
- **Vaporización:** Es el paso de una sustancia desde el estado líquido al estado gaseoso y puede ocurrir de dos formas diferentes: evaporación y ebullición.
 - La evaporación es una vaporización lenta que ocurre sólo en la superficie libre de los líquidos y a cualquier temperatura. Como por ejemplo, en un charco a temperatura ambiente.
 - La ebullición es una vaporización tumultuosa que se realiza en toda la masa del líquido. Para una presión determinada, cada líquido tiene una temperatura de ebullición, T_e característica.
- **Licuación o condensación:** Es el cambio del estado gaseoso a estado líquido. Se realiza desprendiendo energía.
- **Sublimación:** Es el paso directo desde el estado sólido al estado gaseoso sin pasar por la fase líquida. A presión atmosférica sólo subliman algunas sustancias, como la naftalina o el yodo. Con todo, a menor presión subliman más sustancias, y en el vacío (sin presión), todas las sustancias subliman.
- **Sublimación regresiva:** Es el proceso de paso directo de estado gaseoso a estado sólido.



Durante un cambio de estado, la temperatura de una sustancia pura permanece constante.



La gráfica del aumento de la temperatura con la energía transferida muestra dos tramos donde la temperatura de la sustancia en cuestión permanece constante aunque continúe existiendo transferencia energética, y corresponden a los cambios de estado. El ejemplo de la gráfica corresponde al agua.

La energía Q que interviene en un cambio de estado depende de las características de la sustancia y de su masa m .

$$Q_{\text{cambio-de-estado}} = mL$$

L es una constante característica de cada sustancia que se denomina **calor latente de cambio de estado**.

Cada sustancia posee dos constantes diferentes:

- Calor latente de cambio de estado de fusión y de solidificación: L_f .
- Calor latente de cambio de estado de vaporización y de condensación: L_v .

Ejemplo: Calcula la energía necesaria para vaporizar completamente 2 L de agua a 25°C.

Primero, hay que elevar a temperatura del agua desde 25 hasta 100°C

$$Q_1 = mC_e(T_f - T_i) = 2 \cdot 4180 \cdot (100 - 25) = 627000 \text{ J}$$

Después, hay que convertir el agua a 100°C en vapor de agua a la misma temperatura.

$$Q_2 = mL_v = 2 \cdot (2257000) = 4514000 \text{ J}$$

Finalmente, sumamos las energías de los pasos intermedios y obtenemos la energía total necesaria para vaporizar los dos litros de agua.

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2 = 5141000 \text{ J}$$

CALORES LATENTES DE FUSIÓN Y VAPORIZACIÓN		
Substancia	L_f (kJ/kg)	L_v (kJ/kg)
Agua	334,4	2257
Etanol	108,9	840
Aluminio	395	10919
Cobre	134	4793
Hierro	275	6291
Oro	62,8	1647

COEFICIENTES DE DILATACIÓN LINEAL	
Substancia	α (°C ⁻¹)
Cobre	$1,67 \cdot 10^{-5}$
Aluminio	$2,3 \cdot 10^{-5}$
Hierro	$1,17 \cdot 10^{-5}$
Plata	$2 \cdot 10^{-5}$
Oro	$1,5 \cdot 10^{-5}$
Aleación invar	$0,04 \cdot 10^{-5}$

6. DILATACIÓN

La **dilatación** es el aumento de las dimensiones de un cuerpo cuando se eleva su temperatura.

DILATACIÓN DE SÓLIDOS

Las partículas de los sólidos vibran alrededor de posiciones fijas. Al aumentar la temperatura, la vibración se hace mayor y las partículas se separan entre sí produciendo un aumento del tamaño del cuerpo. Por el contrario, cuando disminuye la temperatura se produce la contracción del cuerpo.

La dilatación que experimenta un cuerpo en su longitud se denomina **dilatación lineal**:

$$\Delta L = \alpha L_o (T_f - T_o)$$

La constante α es característica de cada sustancia y se denomina **coeficiente de dilatación lineal** (es la variación de longitud que experimenta un metro de una sustancia cuando su temperatura se modifica un grado centígrado).

La dilatación que experimenta un cuerpo en sus tres dimensiones se denomina **dilatación cúbica o volumétrica**:

$$\Delta V = \gamma V_o (T_f - T_o)$$

La constante γ se denomina **coeficiente de dilatación cúbica** (es la variación de volumen que experimenta un metro cúbico de una sustancia cuando su temperatura se modifica un grado centígrado). Su valor es prácticamente el triple del coeficiente de dilatación lineal: $\gamma = 3 \alpha$

DILATACIÓN DE LÍQUIDOS

En general, los líquidos también se dilatan al calentarse y contraen al enfriar. Al transferir energía mediante calor a un líquido, sus partículas aumentan de energía cinética, chocan con mayor frecuencia unas con

otras y tienden a separarse más. La dilatación de los líquidos es mayor que la de los sólidos porque sus partículas tienen más libertad de movimiento.

El agua líquida presenta una dilatación anómala debido a su estructura molecular: al aumentar la temperatura, el agua se contrae entre 0 y 4°C, y se dilata entre 4 y 100°C.

DILATACIÓN DE GASES

Los gases se dilatan más que los sólidos y que los líquidos porque sus moléculas se mueven con entera libertad por todo el recipiente. Las distintas formas de calentar un gas son a presión constante o a volumen constante.

$$\Delta V = V - V_o = \gamma V_o (T_f - T_o) \Rightarrow$$

$$V = V_o + \gamma V_o (T_f - T_o) \Rightarrow (\text{si } T_o = 0^\circ\text{C}) \Rightarrow V = V_o + \gamma V_o T_f \Rightarrow$$

$$V = V_o (1 + \gamma T)$$

El físico francés Gay-Lussac investigó este fenómeno y descubrió que el coeficiente de dilatación γ es igual para todos los gases.

$$\gamma = \frac{1}{273} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

OTRAS PROPIEDADES DE LOS GASES RELACIONADAS CON LA TEMPERATURA

Leyes de los gases:

Proceso	Ley (fórmula)	Autor	Significado	Relación entre las variables
El volumen de una masa de gas a presión constante es directamente proporcional al valor de su temperatura en kelvin (Ley de Gay - Lussac)				
Isobárico (P cte)	$V / T = \text{cte}$ $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	Gay - Lussac	A mayor T \Rightarrow mayor V A menor T \Rightarrow menor V	Directa
Si el gas se calienta a volumen constante (como por ejemplo, dentro de un recipiente cerrado), al aumentar la temperatura, el incremento de la energía cinética de sus moléculas producirá un aumento de los choques de las partículas entre sí y con las paredes del recipiente, es decir, un incremento de la presión. La presión del gas es proporcional al valor de su temperatura en kelvin.				
Isocórico (V cte)	$P / T = \text{cte}$ $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$	Charles	A mayor P \Rightarrow mayor T A menor P \Rightarrow menor T	Directa
Si el gas se comprime la temperatura constante, disminuirá su volumen y las partículas chocarán con mayor frecuencia entre sí y con las paredes del recipiente. Una disminución del volumen produce un aumento de la presión, y una expansión del gas ocasiona una disminución de esta. Este fenómeno fue investigado por el físico inglés Robert Boyle.				
Isotérmico (T cte)	$P V = \text{cte}$ $P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$	Boyle - Mariotte	A mayor P \Rightarrow menor V A menor P \Rightarrow mayor V	Inversa

7. LAS MÁQUINAS TÉRMICAS Y SU RENDIMIENTO



Las máquinas térmicas o motores térmicos aprovechan una fuente de calor para realizar un trabajo mecánico. La energía transferida como calor a la máquina no puede ser a su vez transferida íntegramente por esta como trabajo: una parte de la energía debe ser transferida como calor.

Por esta razón, las máquinas térmicas constan de:

- Un foco caliente, que le cede energía a la máquina mediante calor.
- Un foco frío, que recibe energía de la máquina también mediante calor.

El balance energético de una máquina térmica es el siguiente:

Energía cedida por el foco caliente = Trabajo realizado por la máquina + Energía cedida al foco frío

Una **máquina térmica** es un dispositivo que realiza un trabajo mediante un proceso de paso de energía desde un foco caliente hasta un foco frío. Ejemplos de máquinas térmicas son:

- La **máquina de vapor** fue la máquina térmica más utilizada hasta el siglo XX. La energía obtenida al quemar un combustible (gas, petróleo, carbón etc.) se emplea en calentar agua hasta convertirla en vapor. Este vapor desplaza un émbolo, con el que realiza así un trabajo. El medio del sistema actúa como foco frío de la máquina. Muy utilizadas en las locomotoras de vapor para el ferrocarril, actualmente se usan cada vez menos.
- Las **turbinas de vapor**. Funcionan de manera similar a las turbinas hidráulicas. Un chorro de vapor, calentado con la energía generada en la quema de un combustible, incide sobre las paletas de la rueda giratoria de la turbina y realiza un trabajo mecánico de rotación. Se utilizan en las centrales termoeléctricas para mover los generadores eléctricos y en los barcos para accionar las hélices.
- Los **motores de explosión**. Se utilizan en los automóviles. Aprovechan la energía generada en la combustión de una mezcla de aire con gasolina para mover un pistón. El trabajo mecánico del movimiento del pistón se aprovecha para el desplazamiento del vehículo.

FUNCIONAMIENTO DUN MOTOR DE EXPLOSIÓN DE CATRO TEMPOS



- El **motor de reacción**, también llamado turbina de gas. Es una máquina térmica de mayor potencia que el motor de explosión. Los gases generados continuamente al quemar un combustible son expulsados hacia atrás por una tobera y se impulsa el vehículo hacia adelante. Se utilizan en aviación, para conseguir aviones que desarrollen grandes velocidades.

RENDIMIENTO DE LAS MÁQUINAS TÉRMICAS

El rendimiento de una máquina térmica es el cociente entre el trabajo W realizado por la máquina y la energía Q_1 cedida por el foco caliente.

$$r = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

donde Q_2 es la energía cedida por la máquina como calor al foco frío. Su rendimiento se puede expresar en función de las temperaturas absolutas de sus focos caliente y frío.

Las máquinas térmicas no son muy eficientes, porque la mayor parte de la energía que consumen se emplea en calentar las piezas de la máquina y el medio. Esta energía no se aprovecha para producir un trabajo. Como por ejemplo:

- El rendimiento de las locomotoras de vapor es del 8%.
- El de las turbinas de vapor, del 22 %.
- La producción de un motor de explosión varía entre el 25 y el 35%.
- Una central térmica es una turbina de vapor con un rendimiento que oscila entre el 30 y el 40 %.

El rendimiento de una máquina térmica nunca es del 100% por las pérdidas que se producen al calentar el medio.