

CALOR, TEMPERATURA Y ENERGÍA TÉRMICA: SÍNTESIS FINAL DEL TEMA

Juan Francisco González Hernández

Resumen

Se resumen los contenidos y conceptos del tema que hemos estudiado en clase.

Índice

| | |
|---|----|
| 1. TEMPERATURA Y CALOR | 2 |
| 2. TEMPERATURA Y TEORÍA CINÉTICA | 2 |
| 3. VARIABLES TERMODINÁMICAS Y SISTEMAS TERMODINÁMICOS | 6 |
| 4. LAS LEYES DE LA TERMODINÁMICA | 7 |
| 5. MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DEL CALOR. EFECTOS. | 9 |
| 6. CAPACIDAD CALORÍFICA Y CALOR ESPECÍFICO | 10 |
| 7. CAMBIOS DE ESTADO: CALOR LATENTE | 11 |
| 8. CAMBIOS DE ESPACIO: COEFICIENTES DE DILATACIÓN | 11 |
| A. FORMULARIO MATEMÁTICO | 13 |

1. TEMPERATURA Y CALOR

¿Qué debes saber? La diferencia entre temperatura y calor. También tener clara las unidades en que ambos se miden y diferentes equivalencias (Ver formulario).

😊 Temperatura

Propiedad que poseen los cuerpos que se encuentran en *equilibrio térmico*.

Es decir, en el equilibrio térmico, dos o más cuerpos tienen la *misma temperatura*. Se mide con aparatos llamados termómetros. Las unidades son principalmente tres: la escala Celsius, la escala Fahrenheit y la fundamental en el S.I. de unidades, la **escala Kelvin**.

😊 Calor

Es una forma de transferir energía.

La energía transferida en forma de calor se llama *energía térmica*. El calor se puede medir con aparatos denominados calorímetros. La antigua unidad de calor se llamaba caloría (aún se usa en la industria de la alimentación pero está progresivamente siendo sustituida por el Julio). El experimento de Joule probó la equivalencia entre calor y energía.

😊 Equivalencia calor-energía

$$1\text{caloría} = 4,186\text{J}$$

Si dos cuerpos están en equilibrio térmico, la suma del calor absorbido y cedido es cero

$$Q_{abs} + Q_{ced} = 0 \leftrightarrow Q_{abs} = -Q_{ced}$$

2. TEMPERATURA Y TEORÍA CINÉTICA

😊 Teoría cinética: energía interna y temperatura

La temperatura es una medida de la energía interna de un cuerpo.

La energía interna es una magnitud que suma tanto las energías cinéticas como potenciales de un cuerpo. Para un caso sencillo, podemos simplificar a la llamada Teoría Cinética. Aplicaremos la Teoría Cinética a un modelo simple de un gas.

Para explicar el comportamiento de los gases, se elaboró en el siglo XIX la denominada **Teoría Cinética**, en especial impulsada por los físicos Clausius, Maxwell y Boltzman, y que también se llamó cinético-atómica o cinético-molecular por otros autores. Esta teoría está basada en una serie de hipótesis o postulados.

Teoría Cinética: Principios

1. Principio corpuscular:

“Todos los gases están constituidos por un gran número, enorme, de partículas¹ (átomos o moléculas)” .

2. Principio de dilución:

“El volumen que ocupan las partículas comparado con el volumen del recipiente es muy pequeño”.

Esto significa que el gas está muy diluido en el recipiente y que entre partícula y partícula sólo existe espacio “vacío”.

3. Principio del caos molecular o “Stoßzahlansatz”:

“Las partículas que forman el gas chocan o colisionan aleatoriamente entre sí, de forma *caótica* (desordenada o azarosamente), y contra las paredes del recipiente que las contiene”.

En los choques o colisiones entre partículas y contra las paredes del recipiente *no se pierde energía*, y las velocidades de las partículas son *independientes* de la posición que ocupan en el recipiente y de la velocidad que posean cada partícula por separado (es decir, no hay relación alguna entre las velocidades de cada partícula, ni con la posición que ocupan en el espacio del recipiente).

¹Originariamente se pensaba que nunca se podrían ver al microscopio. Sin embargo, el denominado *movimiento browniano* generado por el movimiento aleatorio de “granos” o “polvo” en suspensión en un fluido , constituyó finalmente una prueba irrefutable de la Teoría Cinética y, en último lugar, de los átomos. Hoy existen métodos diversos para “ver” a las moléculas o partículas cuya existencia proclama la Teoría Cinética.

4. Principio dinámico de cohesión-dispersión:

“El movimiento en zig-zag de las partículas, llamado *movimiento térmico*, está causado por fuerzas”.

Estas fuerzas son de dos tipos distintos, pero de igual origen:

- **Fuerzas de atracción o cohesión.** Son las que tienden a unir a las partículas. Su origen es **electrostático** y *cuántico*.
- **Fuerzas de repulsión o dispersión.** Son las que tienden a separar a las partículas. Su origen es también **electrostático** y *cuántico*.

La Teoría Cinética lleva a una interpretación novedosa y “microscópica” de los conceptos “macroscópicos” de temperatura, presión y cambios de estado.

Teoría Cinética: consecuencias

1^a. La temperatura es una medida proporcional a la energía cinética media de las partículas

Como la energía cinética, que se mide como cualquier forma de energía en julios (J), es en términos mecánicos

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

la consecuencia de este postulado es la definición de temperatura *absoluta* por comparación con la energía cinética media de las partículas²

$$\langle \mathbf{E}_c \rangle = \text{constante} \cdot T = \frac{3}{2}k_B \cdot T$$

en donde T está medida en la llamada escala absoluta. Se define, así, la **escala absoluta** de *temperatura* o **escala Kelvin** en función de la “agitación térmica” o “movimiento térmico” de las partículas según la Teoría Cinética. Las unidades de esta escala son el grado kelvin, o simplemente **kelvin**, y se

²El factor de proporcionalidad se llama constante de Boltzman, y aparece también en otra fórmula de la Física Estadística que se encuentra en la lápida del científico que le da nombre y quien la calculó, $S = k_B \ln(W)$. En unidades del Sistema Internacional, $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} JK^{-1}$.

simboliza por **K**. Nótese que no se le pone el círculo de grado como en la escala Celsius o la Fahrenheit.

El *cero absoluto* de temperatura se define como aquella temperatura en la que el movimiento de las partículas se ha detenido y la energía cinética es cero³.

La relación entre la escala Celsius y la escala Kelvin de temperatura viene dada por una ecuación sencilla:

$$\boxed{\mathbf{T(K) = T(^{\circ}C) + 273,15}} \quad \boxed{0\text{ K} = -273,15^{\circ}\text{C}}$$

2^a. La presión es consecuencia de los choques de las partículas en el recipiente.

De hecho, la presión es siempre el cociente entre una fuerza ejercida sobre una superficie, en este caso la fuerza la ejercen las partículas y la superficie es la del contenedor o recipiente del gas. De esta forma:

- Si *disminuye* el volumen, a temperatura constante, *aumenta* la frecuencia de choques y *aumenta* la presión.
- Si *aumenta* el volumen, a temperatura constante, *disminuye* la frecuencia de choques y *disminuye* la presión.
- Si *disminuye* la temperatura, a volumen constante, *disminuyen* la energía cinética media y el número de choques, y, por lo tanto, *disminuye* la presión.
- Si *aumenta* la temperatura, a volumen constante, *aumentan* la energía cinética media y el número de choques, y, por lo tanto, *aumenta* la presión.

3^a. Al *aumentar* la temperatura, se favorecen los *cambios de estado progresivos*.

³Realmente, el cero absoluto es inalcanzable, por mucho que nos gusten los dibujos animados o cómics de *Los Caballeros del Zodíaco*, y ataques como el Polvo de Diamantes, debido a los fundamentos de la Teoría Cuántica. Una definición más precisa de “cero absoluto” sería la de aquella temperatura a la cual la energía cinética media de las partículas alcanza un valor mínimo.

La razón es que al *aumentar* la energía cinética media, las partículas tienen *mayor movilidad* y la vibración de las partículas sólidas o líquidas hace que **pierdan rigidez y cohesión**.

4^a. Al *aumentar* la presión, se favorecen los *cambios de estado regresivos*.

La razón es que al *aumentar* la presión se está aumentando la fuerza con la que se mantienen cohesionadas o unidas las partículas, que tienen *mayor acercamiento o proximidad* y la vibración de las partículas sólidas o líquidas será **mayor** al aumentar el número de choques.

3. VARIABLES TERMODINÁMICAS Y SISTEMAS TERMODINÁMICOS

Un sistema termodinámico no es más que un conjunto abstracto de objetos y un entorno que lo rodea. Al conjunto de sistema con su entorno se le llama de forma genérica Universo. Hay tres tipos de sistemas según lo que intercambia con su entorno:

1. **Sistema aislado.** No intercambia ni materia ni energía con su entorno. Ejemplos: un termo ideal, el Universo como un todo sin nada más exterior a él,...
2. **Sistema cerrado.** Intercambia energía pero no materia con su entorno. Ejemplos: una olla cerrada herméticamente a la que se aplica una llama, una botella herméticamente cerrada,...
3. **Sistema abierto.** Intercambia energía y materia con su entorno. Ejemplo: una sartén sin tapa, un mechero que hacemos arder,...

Las variables termodinámicas que nos informan del estado de un sistema termodinámico son de dos tipos:

1. **Variables intensivas.** Variables o propiedad físicas de un cuerpo que no dependen del tamaño o de la cantidad de materia de un sistema. Ejemplos: temperatura, presión, velocidad(en módulo), densidad,... Además, estas variables *no* se pueden sumar, es decir, si juntas dos cuerpos con diferentes variables intensivas, éstas no se suman.
2. **Variables extensivas.** Variables o propiedades físicas de un cuerpo que dependend del tamaño y la cantidad de materia de un sistema.

Estas magnitudes, como la palabra indica, *sí* se pueden sumar. Ejemplos: masa, volumen, longitud, calor, energía (interna, cinética,...), entropía,...

4. LAS LEYES DE LA TERMODINÁMICA

La Termodinámica es la parte de la Física (y de la Química también) que se encarga de estudiar los fenómenos de transferencia de energía térmica y los efectos que los cambios producidos por la variación de presión(P), volumen (V) y temperatura (T) producen en los sistemas termodinámicos macroscópicos, es decir, de gran tamaño, analizando lo que les pasa a estas magnitudes y funciones que dependen de ellas, tales como la energía interna, la entropía, o el calor.



Principio cero de la Termodinámica

♡ Si un sistema A está en equilibrio térmico con B, y B lo está con otro sistema C, entonces A, B y C están en **equilibrio térmico** y tienen las tres la misma temperatura.

Nótese que si vale para dos y para tres, el equilibrio térmico puede establecerse para cualquier número de sistemas.



Primer principio de la Termodinámica

♡ “La energía total interna de un sistema **U** ni se crea ni se destruye, sólo se transforma en, o bien un calor absorbido o cedido por el sistema **Q**, o bien en un trabajo **W** realizado por el sistema o sobre el sistema.”

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W$$

Se usa actualmente el llamado *criterio egoísta* de signos para el calor y el trabajo:

1. El calor **absorbido** se toma **positivo**, el calor **cedido** **negativo**. Cuando estamos calientes excensivamente necesitamos expulsar o quitarnos el calor, signo negativo; cuando estamos fríos necesitamos absorber el calor que nos falta, y tomarlo del entorno, signo positivo.
2. El trabajo realizado **por el sistema** en contra del entorno se toma **negativo**, el trabajo realizado **sobre el sistema** por el entorno es **positivo**.

Si queremos que nos paguen, necesitamos hacer un trabajo y un esfuerzo, que siempre nos cuesta una energía, que perdemos, signo negativo; si queremos que trabajen para nosotros en positivo, pero tenemos que pagar por esa energía que gastan otros a nuestro favor, signo positivo.

😊 Segundo Principio de la Termodinámica

♡ “El segundo Principio de la Termodinámica, en la formulación de Carnot, señala que no se puede construir una máquina térmica que transforme el calor íntegramente en trabajo, una parte se transfiere como energía térmica.”
La parte de la energía que se aprovecha es el porcentaje de la energía total que se cambia con el entorno que rodea al sistema.

En esta expresión del segundo principio, la segunda Ley de la Termodinámica señala que de todas las máquinas térmicas, la más eficiente es una que funcione según el denominado ciclo de Carnot. El ciclo de Carnot consiste de un sistema sencillo formado por dos cuerpos a diferente temperatura que permite el flujo de energía térmica entre ambos. El rendimiento de una máquina ideal funcionando como un ciclo de Carnot es igual a:

$$\eta_c = \frac{W_{\text{realizado}}}{Q_{\text{suministrado}}} = \frac{Q_{\text{suministrado}} - Q_{\text{cedido}}}{Q_{\text{suministrado}}} = 1 - \frac{T_{\text{frío}}}{T_{\text{caliente}}}$$

Una expresión equivalente del Segundo Principio de la Termodinámica usa la denominada variable entropía, **S**, que mide el grado de “desorden” o “agitación térmica”, esto es, energía cinética según el modelo que discutimos en clase, que posee un determinado sistema. Usando la entropía, el segundo principio dice

♡ “La entropía **S** de un sistema aislado evoluciona en el tiempo de tal forma que aumenta y alcanza un valor máximo (**MaxEnt**)”.

$$\Delta S_{\text{sist. aislado}} \geq 0 \Leftrightarrow \text{Unidades de la entropía } S: \frac{J}{K}$$

Sólo se puede disminuir la entropía haciendo un esfuerzo. El Universo morirá térmicamente dentro de miles de millones de años(muerte térmica del Universo) como consecuencia del aumento de la entropía del mismo.

😊 Tercer Principio de la Termodinámica

♡“El tercer Principio de la Termodinámica, señala que a temperatura de OK la entropía de todo sistema alcanza un valor constante, $S(T = 0K) = cte.$ ”
Equivalentemente, el cero absoluto de temperaturas, asociado a la temperatura a la que todo movimiento atómico o molecular se detiene, y en la que no habría intercambio de energía cinética o interna de ningún tipo, es inalcanzable mediante procesos elementales.

5. MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DEL CALOR. EFECTOS.

Para transferir calor o energía térmica hay tres mecanismos fundamentales:

1. **Conducción:** tiene lugar en sólidos y cuerpos en contacto, lo que provoca transferencia de energía térmica hasta alcanzar el equilibrio. Ejemplos: mano que toca un bloque de metal, llama sobre una sartén, ...
2. **Convección:** tiene lugar en fluidos (líquidos y gases). Las variaciones de densidad de un punto a otro del fluido provoca la aparición de corrientes de convección que hacen moverse al fluido según cambia su temperatura por estas variaciones. Ejemplo: corrientes de convección en el magma y en la atmósfera, corrientes de convección creadas por un radiador en una habitación,...
3. **Radiación:** tiene lugar entre cualquier cuerpo que recibe o absorbe ondas electromagnéticas. Una onda electromagnética porta una energía, que puede interpretarse como energía térmica al incidir y transferirse a otro cuerpo. Ejemplos: el microondas, el calor desprendido por las lámparas de iluminación, la radiación que nos llega del Sol,...

Los efectos fundamentales del calor sobre los cuerpos son:

1. Dilataciones y contracciones en longitud, superficie y volumen. Debido a la modificación de la energía interna y cinética, la cantidad de espacio ocupado por una sustancia material cambia.

2. Cambios de estado de fase (Sólido, líquido, gas,...). Aunque hay tres estados de la materia fundamentales a temperatura y presión normales⁴ o estándar ⁵, se conoce la existencia de otras fases de la materia desde principios del siglo XX ⁶.

6. CAPACIDAD CALORÍFICA Y CALOR ESPECÍFICO

Miden cómo afecta el calor a una determinada sustancia.

😊 Capacidad calorífica

Se define capacidad calorífica **C** como la cantidad de calor necesaria para subir su temperatura un grado Kelvin. Unidades: $\frac{J}{K}$.

😊 Calor específico

Se define calor específico **c_e** como la cantidad de calor necesaria para que un kilogramo de una determinada sustancia suba su temperatura un grado Kelvin. Unidades: $\frac{J}{kg \cdot K}$.

La sustancia con mayor calor específico es el agua (y el hielo), lo que hace de ella un excelente acumulador térmico. Matemáticamente se tiene que

$$\Delta Q = C\Delta T = mc_e\Delta T$$

⁴Condiciones normales de presión y temperatura, **c.n.**, es cuando $P=1 \text{ atm.}$ y $T = 0^\circ C \approx 273K$

⁵Condiciones estándar de presión y temperatura, **c.e.**, es cuando $P=1 \text{ atm.}$ y $T = 25^\circ C \approx 298K$

⁶Existen otros estados de agregación menos convencionales. A temperatura ambiente también existen el estado de *crystal líquido*, el estado de *sólido amorfo* o el estado *magnéticamente ordenado* de materiales ferromagnéticos y “antiferromagnéticos”. A temperaturas muy altas existen el estado de *plasma* o gas ionizado, y el estado de *plasma de quark-gluón*. A muy baja temperatura existen el estado *condensado de Bose-Einstein*, el estado *superconductor*, el estado *superfluido* o el estado *condensado fermiónico*. Y aún podrían existir otros estados de la materia en situaciones de extremas de densidad, denominados generalmente *materia degenerada* o *materia exótica*, y que no conocemos aún más que en nuestra imaginación.

7. CAMBIOS DE ESTADO: CALOR LATENTE

☺ Calor latente

Se define calor latente L como la cantidad de calor por unidad de masa (por kg en el S.I.) que hay que suministrar a un cuerpo para que cambie su estado de fase.

Hay calores latentes de fusión, vaporización, sublimación,... Unidades: $\frac{J}{kg}$.

Matemáticamente se tiene que

$$\Delta Q = mL$$

El calor que absorbe o cede un cuerpo en un cambio de estado tiene lugar a temperatura constante, es decir, durante el *cambio de fase* **no varía** la temperatura. Sin embargo la **temperatura** a la que un cuerpo cambia de estado se ve afectada por factores externos como la presión. Por ejemplo, en Madrid, la temperatura de vaporización del agua no es de cien grados Celsius sino de noventa y siete, aproximadamente. Por tanto, a una presión prefijada, el cambio de estado tiene lugar a una temperatura que no cambia por el lugar físico si no se varía dicha presión.

8. CAMBIOS DE ESPACIO: COEFICIENTES DE DILATACIÓN

El otro efecto común que tiene el calor o energía térmica, a parte del cambio de estado o fase de la materia, es el de el cambio del volumen (o bien, en casos más simples, la superficie o longitud) que ocupa un objeto debido a la modificación del estado de agitación de sus componentes. Este efecto, conlleva al cambio de longitud, superficie y volumen de un cuerpo, y a la definición de los llamados coeficientes de dilatación lineal, superficial y volúmico dados por las siguientes expresiones:

- **Dilatación lineal.** El coeficiente de dilatación lineal λ mide la variación de longitud que experimenta una sustancia por el cambio de temperatura:

$$L = L_o (1 + \lambda \Delta T)$$

o bien

$$\Delta L = \lambda L_o \Delta T$$

Las unidades del coeficiente de dilatación lineal son K^{-1}

- **Dilatación superficial.** El coeficiente de dilatación superficial β mide la variación de área o superficie que experimenta una sustancia por el cambio de temperatura:

$$A = A_o (1 + \beta \Delta T)$$

o bien

$$\Delta A = \beta A_o \Delta T$$

Las unidades del coeficiente de dilatación superficial son K^{-1} , pero aunque son las mismas unidades que el coeficiente de dilatación lineal, es evidente que para una misma sustancia cambia el valor de dicho coeficiente, al estar considerando una dimensión más en el espacio, lo que hace que sea diferente situación física.

- **Dilatación volúmica.** El coeficiente de dilatación superficial γ mide la variación de volumen que experimenta una sustancia por el cambio de temperatura:

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

o bien

$$\Delta V = \gamma V_o \Delta T$$

Las unidades del coeficiente de dilatación volúmico son K^{-1} , pero aunque son las mismas unidades que el coeficiente de dilatación lineal o superficial, es evidente que para una misma sustancia cambia el valor de dicho coeficiente, al estar considerando 3 dimensiones en el espacio, y ello hace que sea diferente situación física.

A. FORMULARIO MATEMÁTICO

Cambios de escalas termométricas 😊

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273,15$$

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

O bien puede usarse la relación entre los termómetros de Fahrenheit y Celsius:

$$\frac{T(^{\circ}C)}{100} = \frac{T(^{\circ}F) - 32}{180}$$

Ecuación de Boltzmann 😊

$$\langle E_c \rangle = \frac{3}{2} k_B T$$

Primer Principio de la Termodinámica 😊

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W$$

Calor transferido por cambio de temperatura 😊

$$\Delta Q = C \Delta T = m c_e \Delta T$$

Calor transferido por cambio de fase 😊

$$\Delta Q = mL$$

Dilatación lineal, superficial y volúmica 😊

$$L = L_o (1 + \lambda \Delta T)$$

$$A = A_o (1 + \beta \Delta T)$$

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

en donde L y L_o , A y A_o , V y V_o son las longitudes final e inicial, área final e inicial, volumen final e inicial, respectivamente, ΔT la variación temperatura y λ, β, γ los coeficientes de dilatación lineal, superficial y volúmico.

Segundo Principio de la Termodinámica 😊

$$\Delta S_{\text{sist. aislado}} \geq 0 \Leftrightarrow \text{Unidades de la entropía } S: \frac{J}{K}$$

Rendimiento de un ciclo de Carnot 😊

$$\eta_c = 1 - \frac{T_{\text{frío}}}{T_{\text{caliente}}} = \frac{W_{\text{realizado}}}{Q_{\text{suministrado}}}$$