

## Ejercicios de Hidrodinámica.

### Guía 2018

23. Establece que el gasto de entrada en una tubería es igual al gasto de salida en el otro lado de la tubería, independientemente de la dimensión de los diámetros.

- a) Flujo de masa
- b) Gasto hidráulico
- c) Teorema de Bernoulli
- d) Ecuación de continuidad

24. En un tubo de 2.0 cm de diámetro fluye agua con una rapidez de 0.40 m/s. ¿Cuánto tiempo, en segundos, le tomará llenar un recipiente de 10 L?

- a) 7.936
- b) 79.36
- c) 793.6
- d) 7936

25. Relacionar cada definición con la expresión matemática que le corresponde

#### Definición

- 1. Módulo volumétrico
- 2. Principio de Arquímedes
- 3. Presión hidrostática
- 4. Presión atmosférica

#### Expresión matemática

- A.  $\beta = -V \Delta P / \Delta V$
- B.  $E = \rho g V$
- C.  $P = \rho g h$
- D.  $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$

a) 1D, 2B, 3C, 4A

b) 1A, 2C, 3B, 4D

c) 1D, 2A, 3B, 4C

d) 1A, 2B, 3C, 4D

28. La sección transversal de una tubería tiene un área de 5 cm<sup>2</sup> y el fluido se mueve a una velocidad de 10 cm/s, el gasto o flujo de volumen es:

- a)  $50 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$
- b)  $50 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$
- c)  $50 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$
- d)  $50 \text{ m}^3/\text{s}$

### Guía 2017

25. Determinar la presión hidrostática, medida en pascales, a una profundidad de 10 m en el mar Muerto, si la densidad del agua es de 1220 kg/m<sup>3</sup> y la aceleración de la gravedad es de 9.8 m/s<sup>2</sup>.

- a) 12200
- b) 119560
- c) 122000
- d) 125600



# 7. Termodinámica

- 7.1. Calor y temperatura
- 7.2. Calor específico
- 7.3. Dilatación
- 7.4. Capacidad calorífica
- 7.5. Calor latente
- 7.6. Primera Ley de la Termodinámica
- 7.7. Equivalente mecánico del calor
- 7.8. Transferencia de calor
- 7.9. Procesos termodinámicos
- 7.10. Segunda Ley de la Termodinámica
- 7.11. Entropía
- 7.12. Máquinas térmicas

## Calor y temperatura

Científicamente hablando el calor y la temperatura se encuentran relacionados entre sí, aunque representan conceptos diferentes. El **calor, Q**, es energía térmica en transferencia de un cuerpo a otro, es decir, el calor siempre fluye desde el cuerpo con mayor temperatura hacia el de menor temperatura y no deja de transferirse hasta que los dos cuerpos se igualan en temperatura y quedan en equilibrio.

Calor por otra parte es la transferencia de energía térmica de un cuerpo a otro de menor temperatura. El calor siempre fluye desde el cuerpo con mayor temperatura hacia el de menor temperatura y no deja de transferirse hasta que los dos cuerpos se igualan en temperatura y quedan en equilibrio.

El calor puede transmitirse de varias formas, por radiación, conducción o convección.

- En la conducción se produce el intercambio de calor por contacto directo entre los dos cuerpos, las moléculas transmiten su energía al otro cuerpo hasta que alcanzan el equilibrio.
- La convección se produce en los gases y en los líquidos y consiste en que los fluidos más calientes son más ligeros que los fríos por lo que tienden a subir mientras que los fríos bajan formando corrientes de convección.
- La radiación es la propagación de la energía térmica sin que exista contacto entre los dos cuerpos. La radiación se produce en el espacio vacío y es como el Sol calienta la tierra.

Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el joules ( J ), aunque también se usa con frecuencia la caloría (cal).  
 $1 \text{ cal} = 4.184 \text{ J}$  Sin embargo, existen otras unidades como el BTU's (British Thermal Unit)

Se entiende como Caloría a: "Cantidad de calor necesaria para que un gramo de agua aumente su temperatura en  $1^{\circ}\text{C}$

El BTU es la unidad en el sistema inglés, análoga a la caloría y es, el calor necesario para que una libra de agua aumente  $1^{\circ}\text{F}$  su temperatura.

$1 \text{ Kcal} = 1000 \text{ Cal}$   $1 \text{ BTU's} = 252 \text{ Cal}$   $1 \text{ cal} = 4.18 \text{ Joule}$

La **temperatura** mide la energía térmica que contiene un cuerpo. (es una medida de la energía cinética) Concretamente la temperatura mide la vibración o la energía interna de las partículas que componen ese cuerpo (átomos o moléculas en el sistema). Así pues, podríamos definir temperatura como la medición de la actividad molecular del objeto.

La temperatura es una forma de medir el calor. Solo es una magnitud física que nos indica que tan caliente o fría esta una sustancia

La Temperatura se define como la medida de la Energía Cinética Promedio, de las moléculas de una sustancia.

Para medir esa energía cinética se ocupan las diferentes escalas de temperatura que apoyadas de los TERMOMÉTROS nos dan el valor equivalente de temperatura:

- Celsius o centígrados °C
- Fahrenheit °F
- Kelvin °K

Fórmulas de conversión de escalas termométricas

$$\text{Fahrenheit Celsius } ^\circ C = (^\circ F - 32) / 1.8 \quad \text{ó} \quad 5/9 (^\circ F - 32)$$

$$\text{Celsius Fahrenheit } ^\circ F = ((^\circ C) (1.8)) + 32 \quad \text{ó} \quad 9/5^\circ C + 32$$

$$\text{Celsius Kelvin } K = ^\circ C + 273.15$$

$$\text{Kelvin Celsius } ^\circ C = K - 273.15$$

## Calor específico

Cantidad de calor que por kilogramo necesita un cuerpo para que su temperatura se eleve en un grado centígrado.

El calor específico se obtiene a partir de la capacidad calorífica y representa la dificultad con que una sustancia intercambia calor con el entorno. Es una característica de las sustancias que forman los cuerpos y es independiente de la masa. Al calor específico también se le conoce como capacidad calorífica específica o capacidad térmica específica.

El calor específico de una sustancia es su capacidad calorífica por unidad de masa. Viene dada por la expresión:

$$c = \frac{C}{m}$$

Donde:

c: Calor específico. Es la cantidad de calor que la unidad de masa de la sustancia tiene que intercambiar con su entorno para que su temperatura varíe un kelvin. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el julio por kilogramo por kelvin ( J/kg·K ) aunque también se usa con frecuencia la caloría por gramo y por grado centígrado ( cal/g·°C )

C: Capacidad calorífica. Es la cantidad de calor que el cuerpo tiene que intercambiar con su entorno para que su temperatura varíe un kelvin. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el julio por Kelvin ( J/K ), aunque también se usa con frecuencia la caloría por grado centígrado ( cal/°C )

m: Masa. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el kilogramo ( Kg )

Calor específico molar

En ocasiones, particularmente en el caso de sustancias gaseosas, conviene usar el mol como unidad de masa. De esta manera, el calor específico queda referido a la unidad de masa según la expresión:

$$c = \frac{C}{n}$$

Donde  $n$  en este caso es el número de moles. En cuanto a las unidades de medida del calor específico molar, se suele utilizar el  $\text{J/mol}\cdot\text{K}$  aunque también se usa con frecuencia el  $\text{cal/mol}\cdot^\circ\text{C}$ .

Dado que en el Sistema Internacional de mediciones la unidad para el calor es los joules (J), el calor específico se expresa en este sistema en joules por kilogramo y por kelvin ( $\text{J Kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ).

Otra forma común de medición implica el uso de la caloría por gramo y por grado centígrado ( $\text{cal. g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ), y en los países o los ámbitos que emplean el sistema anglosajón, se lo mide con BTU's por libra y por grado Fahrenheit. Estos dos últimos, por fuera del SI.

La fórmula más usual para calcular el calor específico de una sustancia es:

$$\hat{c} = Q / m.\Delta t$$

donde  $Q$  representa la transferencia de energía calórica entre el sistema y su entorno,  $m$  la masa del sistema y  $\Delta t$  la variación de temperatura al cual se lo somete.

El calor específico del agua es  $1 \text{ caloría/gramo } ^\circ\text{C} = 4.186 \text{ joules/gramo } ^\circ\text{C}$  que es más alto que el de cualquier otra sustancia común. Por ello, el agua desempeña un papel muy importante en la regulación de la temperatura. El calor específico por gramo de agua es mucho más alto que el de un metal, como se describe en el ejemplo agua-metal. En la mayoría de los casos es más significativo comparar los calores específicos molares de las sustancias.

El calor específico se obtiene a partir de la capacidad calorífica y representa la dificultad con que una sustancia intercambia calor con el entorno. Es una característica de las sustancias que forman los cuerpos y es independiente de la masa. La capacidad calorífica también se expresa como la relación que hay entre el calor suministrado al cuerpo y su incremento de temperatura. Se puede calcular a través de la expresión:

$$C=Q\Delta T$$

Donde:

$C$ : Capacidad calorífica. Es la cantidad de calor que el cuerpo tiene que intercambiar con su entorno para que su temperatura varíe un kelvin. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el julio por Kelvin ( $\text{J/K}$ ), aunque también se usa con frecuencia la caloría por grado centígrado ( $\text{cal}/^\circ\text{C}$ )

$Q$ : Calor intercambiado. Cantidad de energía térmica intercambiada con el entorno. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el Joules ( $\text{J}$ ), aunque también se usa con frecuencia la caloría ( $\text{cal}$ ).  $1 \text{ cal} = 4.184 \text{ J}$

$\Delta T$ : Variación de temperatura. Viene determinada por la diferencia entre la temperatura inicial y la final  $\Delta T = T_f - T_i$ . Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el Kelvin ( $\text{K}$ ) aunque también se suele usar el grado centígrado o Celsius ( $^\circ\text{C}$ )

Puedes entender la capacidad calorífica como la dificultad con que un cuerpo aumenta su temperatura cuando le suministramos una determinada cantidad de calor. Así, a mayor capacidad calorífica, menor incremento de temperatura para una determinada cantidad de calor suministrado. Los aislantes térmicos tienen una capacidad calorífica alta.

La capacidad calorífica de un cuerpo depende de dos factores:

La sustancia por la que está formado el cuerpo: No aumentan su temperatura de igual manera un gramo de agua que un gramo de aceite o un gramo de hierro, aun cuando se sitúen sobre un fuego de igual intensidad: El hierro sería el primero en aumentar su temperatura, seguido del aceite y finalmente el agua

La cantidad de masa del cuerpo: Tal y como has podido comprobar en el experimento anterior, no aumenta su temperatura de igual manera un gramo y un kilogramo de agua, aun cuando se sitúen sobre un fuego de igual intensidad: un gramo de agua variará su temperatura más rápidamente que un kilogramo de esta misma sustancia

Estos dos factores nos permiten definir el calor específico de una sustancia.

# Dilatación.

Se le llama dilatación (térmica) al aumento de volumen a presión constante. que sufre un cuerpo debido al aumento de temperatura. Por otro lado, la contracción térmica es la disminución de dimensiones por disminución de la temperatura.

Esta dilatación se explica por el aumento de la agitación térmica de las partículas que forman el cuerpo. Todos los materiales se expanden más o menos bajo el efecto de los aumentos de temperatura. Cada material utilizado en la construcción tiene su propio coeficiente de dilatación.

Dilatación en los sólidos. En los sólidos, la dilatación térmica es menos visible que en los líquidos y los gases, porque las fuerzas de cohesión son más intensas.

Hay tres tipos de dilatación:

- Lineal. Ocurre significativamente en una sola dirección
- Superficial. Ocurre significativamente en dos direcciones (área)
- Volumétrica. Se produce en las tres dimensiones de un objeto.

Dilatación en los líquidos. La dilatación de los líquidos es similar a la dilatación volumétrica de los sólidos.

Dilatación en los gases. El volumen de un gas varía notablemente tanto con la temperatura como con la presión. Para medir los cambios de volumen debidos a variaciones de la temperatura, mantenemos constante la presión, se debe considerar el espacio que contiene al fluido.

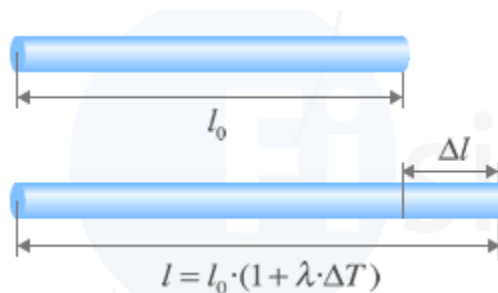
El coeficiente de dilatación (o más específicamente, el coeficiente de dilatación térmica) es el cociente que mide el cambio relativo de longitud, área o volumen que se produce cuando un cuerpo sólido o un fluido dentro de un recipiente cambia de temperatura provocando una dilatación térmica. Cuando la energía almacenada aumenta, también lo hace la longitud de estos enlaces. Así, los sólidos normalmente se expanden al calentarse y se contraen al enfriarse; este comportamiento de respuesta ante la temperatura se expresa mediante el coeficiente de dilatación térmica (típicamente expresado en unidades de  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )

$$\alpha = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)$$

Si el cuerpo es largo, su dilatación será especialmente perceptible en el sentido de la longitud: se habla entonces de su dilatación lineal.

## Dilatación Lineal. Solidos.

Es aquella en la cual predomina la variación en una única dimensión, o sea, en el ancho, largo o altura del cuerpo. El coeficiente de dilatación lineal, designado por  $\alpha$  ó  $\alpha_L$ , para una dimensión lineal cualquiera, se puede medir experimentalmente comparando el valor de dicha magnitud antes y después del cambio de temperatura, se puede expresar de la siguiente forma:

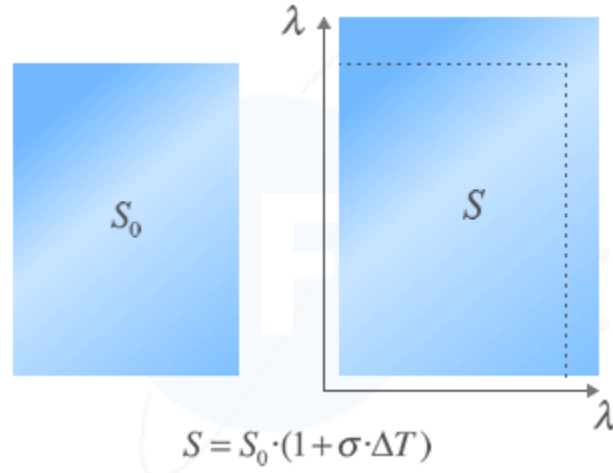


$$L = L_0 \alpha \quad T \quad L_f = L_0 [1 + \alpha_L (T_f - T_0)]$$

Donde:

- $\alpha$ =coeficiente de dilatación lineal [ $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ]
- $L_0$  = Longitud inicial
- $L_f$  = Longitud final
- $T_0$  = Temperatura inicial.
- $T_f$  = Temperatura final

### Dilatación superficial. Sólidos.



Se produce cuando predominan dos dimensiones (una superficie o de también llamado de área). El coeficiente de dilatación superficial, designado por  $\sigma$  ó  $\alpha_s$ , para un área o superficie cualquiera La dilatación superficial de un cuerpo viene dada por la expresión:

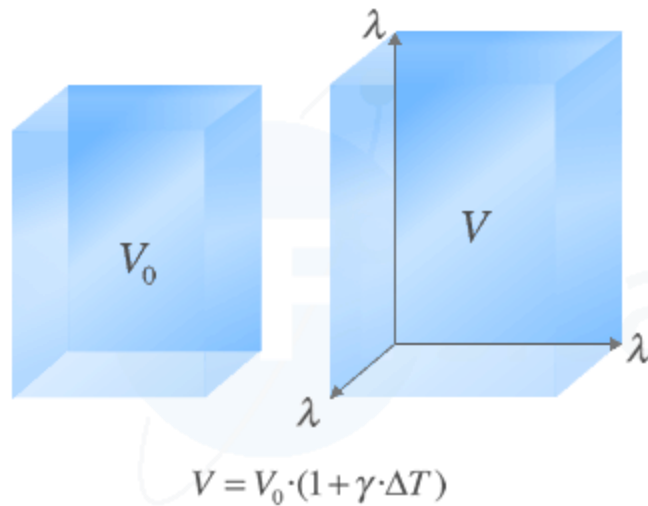
$$S = S_0 \cdot (1 + \sigma \cdot \Delta T) \quad A_f = A_0 + A_0 \beta \Delta T$$

Donde:

- $S, S_0, A$  ó  $A_0$ : Área final e inicial respectivamente del cuerpo. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el metro al cuadrado ( $\text{m}^2$ )
- $\beta, \sigma$  ó  $\alpha_s$ : Coeficiente de dilatación superficial. Es específico de cada material y representa el aumento de superficie de un sólido de área unidad, cuando su temperatura se eleva 1 K. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el  $\text{K}^{-1}$ , aunque también se usa el  $^{\circ}\text{C}^{-1}$
- $\Delta T$ : Incremento de temperatura que experimenta el cuerpo. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el kelvin (K), aunque también se usa el  $^{\circ}\text{C}$

La relación entre el coeficiente de dilatación lineal  $\lambda$  y el coeficiente de dilatación superficial  $\sigma$  es  $\sigma=2 \cdot \lambda$ .

### Dilatación volumétrica o cúbica. Sólidos.



Se produce cuando las tres dimensiones del cuerpo son igualmente relevantes. El coeficiente de dilatación volumétrico, designado por  $\alpha_V$  ó  $\gamma$ , se mide experimentalmente comparando el valor del volumen total de un cuerpo antes y después de cierto cambio de temperatura. La dilatación volumétrica viene dada por la expresión:

$$V = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta T)$$

La relación entre el coeficiente de dilatación lineal  $\lambda$  y el coeficiente de dilatación volumétrico  $\gamma$  es  $\gamma = 3 \cdot \lambda$ .

#### Relación entre los coeficientes de dilatación.

Al relacionar los tres coeficientes de dilatación las ecuaciones.

- Dilatación superficial  $\sigma = 2 \cdot \lambda$ .
- Dilatación volumétrica  $\gamma = 3 \cdot \lambda$ .

Al querer relacionar ambas dilataciones se obtiene que la relación superficie – volumen es.

$$\gamma = 3/2 \cdot \sigma.$$

#### Dilatación de líquidos.

El efecto de la dilatación en los líquidos es más evidente que en los sólidos: al encontrarse sus moléculas con más libertad para moverse, el volumen que ocupa cada una aumenta más fácilmente con la temperatura, por lo que también lo hace el volumen del líquido en su conjunto. Su expresión es similar a la dilatación volumétrica de los sólidos y esta dada por la expresión.

$$V = V_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

Donde:

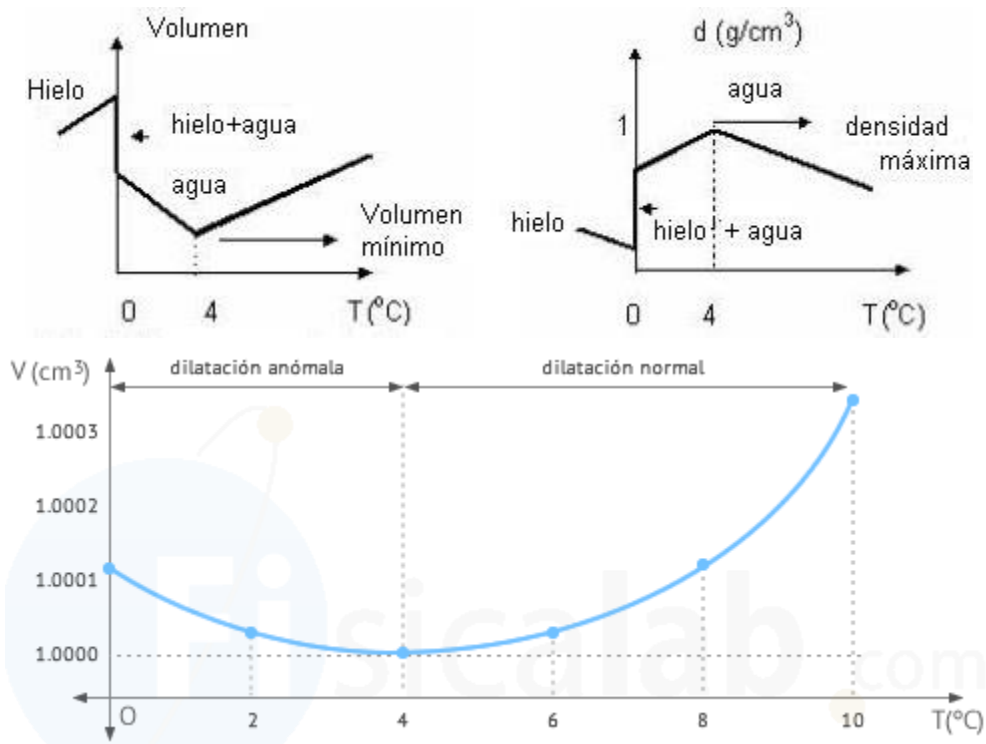
- $V, V_0$ : Volumen final e inicial respectivamente del líquido. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el metro al cubo ( $m^3$ )
- $\alpha$ : Coeficiente de dilatación del líquido. Es específico de cada líquido y representa el aumento de volumen de un líquido de volumen la unidad, cuando su temperatura se eleva 1 K. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el  $K^{-1}$ , aunque también se usa el  $^{\circ}C^{-1}$
- $\Delta T$ : Incremento de temperatura que experimenta el líquido. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el kelvin (K), aunque también se usa el  $^{\circ}C$

Dilatación anómala del agua.

La gran mayoría de los líquidos sufren dilatación con el aumento de la temperatura y contracción cuando la temperatura disminuye. Pero el agua constituye una anomalía del comportamiento general entre  $0^{\circ}C$  y  $4^{\circ}C$ , veamos:



A partir de 0°C en la medida que la temperatura aumenta, el agua sufre contracción, pero esa contracción no sigue cuando llega a 4°C; a partir de esa temperatura el agua empieza a dilatarse. Así siendo, el agua llega a un volumen mínimo a 4°C y en esa temperatura su densidad es máxima.



Dilatación aparente de los líquidos.

“En la mayor parte de los casos los líquidos sufren una dilatación mayor que la de los recipientes que los contienen.”

Consecuentemente, si a una cierta temperatura el recipiente está completamente lleno, cuando calentamos el conjunto habrá un desborde de parte del líquido contenido en el recipiente. A este volumen de líquido desbordado damos el título de **dilatación aparente del líquido**.

### Dilatación de los gases.

Los gases varían de forma clara su volumen tanto con la temperatura como con la presión debido a que las fuerzas de cohesión entre las partículas son más débiles que en los casos anteriores. Su expresión es similar a la dilatación volumétrica de los sólidos. El volumen de un gas varía notablemente tanto con la temperatura como con la presión. Para medir los cambios de volumen debidos a variaciones de la temperatura, mantenemos constante la presión:

$$V = V_0 \cdot (1 + \alpha_p \cdot \Delta T)$$

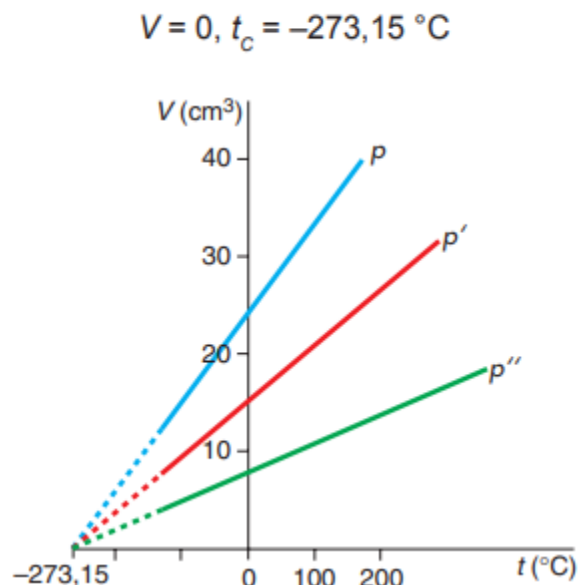
Donde:

- $V, V_0$ : Volumen final e inicial respectivamente del líquido. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el metro al cubo ( $m^3$ )
- $\alpha_p$ : Coeficiente de dilatación a presión constante. Para una presión determinada existe un valor de  $\alpha_p$ , único igual para todos los gases. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el  $K^{-1}$ , aunque también se usa el  $^{\circ}C^{-1}$
- $\Delta T$ : Incremento de temperatura que experimenta el líquido. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el kelvin (K), aunque también se usa el  $^{\circ}C$

Aunque esta ecuación es similar a la de sólidos y líquidos, existe una diferencia básica: el coeficiente de dilatación  $\alpha_p$  presión constante, vale igual para todos los gases que se encuentran a una determinada presión.. Si  $V_0$  es el volumen del gas a  $0^\circ\text{C}$ , se cumple que:

$$\alpha_p = \frac{1}{273.15} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Al representar el volumen de cualquier gas frente a la temperatura Celsius, salen líneas rectas que, extrapoladas a la región de bajas temperaturas, confluyen en el punto:



Esa temperatura, que corresponde al cero absoluto (0 K), es la mínima posible, ya que el volumen no puede ser negativo.

La ecuación general de los gases establece que el producto de la presión  $P$  por el volumen  $V$  que ocupa el gas se relaciona con la temperatura  $T$  según:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Donde  $n$  es el número de moles del gas y  $R$  es una constante de valor  $0.982 \text{ atm} \cdot \text{L} / \text{K} \cdot \text{mol}$ .

Si consideramos un gas a presión constante sometido a dos temperaturas  $T_0$  y  $T_1$  distintas, ocupara dos volúmenes distintos,  $V_0$  y  $V_1$ . Dado que la presión es constante,  $P_1 = P_2 = P$  y podemos escribir:

$$P \cdot V_0 = n \cdot R \cdot T_0$$

$$P \cdot V_1 = n \cdot R \cdot T_1$$

Por tanto, la diferencia entre ambas expresiones nos permite llegar al resultado buscado:

$$P \cdot V_0 = n \cdot R \cdot T_0$$

Finalmente, identificando la expresión anterior con la que habíamos dado para la dilatación volumétrica de los gases,  $V = V_0 \cdot (1 + \alpha_p \cdot \Delta T)$  tenemos que  $\alpha_p = 1/T_0$  y, dado que habíamos dicho que  $T_0 = 273.15^\circ\text{C}$ ,  $\alpha_p = 1/273.15^\circ\text{C}^{-1}$ .

## Capacidad calorífica

La capacidad calorífica ó también llamado calor sensible de un cuerpo es la relación que hay entre el calor suministrado al cuerpo y su incremento de temperatura. Las diferentes sustancias se ven afectadas a diferentes magnitudes por la adición de calor. Cuando se agrega una cantidad determinada de calor a diferentes sustancias, sus temperaturas

aumentan en diferentes cantidades. Esta constante de proporcionalidad entre el calor Q que el objeto absorbe o pierde y el cambio de temperatura resultante T del objeto se conoce como la capacidad calorífica C de un objeto. Se puede calcular a través de la expresión:

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

Donde:

C: Capacidad calorífica. Es la cantidad de calor que el cuerpo tiene que intercambiar con su entorno para que su temperatura varíe un kelvin. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el julio por Kelvin ( J/K ), aunque también se usa con frecuencia la caloría por grado centígrado ( cal/°C )

Q: Calor intercambiado. Cantidad de energía térmica intercambiada con el entorno. Su unidad de medida en el Sistema Internacional son los joules ( J ), aunque también se usa con frecuencia la caloría ( cal ). 1 cal = 4.184 J Sin embargo, existen otras unidades como el BTU's

$\Delta T$ : Variación de temperatura. Viene determinada por la diferencia entre la temperatura inicial y la final  $\Delta T = T_f - T_i$ . Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el Kelvin ( K ) aunque también se suele usar el grado centígrado o Celsius ( °C ).

La capacidad calorífica es una propiedad extensa de la materia, lo que significa que es proporcional al tamaño del sistema. La capacidad calorífica C tiene la unidad de energía por grado o energía por kelvin. Cuando se expresa el mismo fenómeno que una propiedad intensiva, la capacidad calorífica se divide por la cantidad de sustancia, masa o volumen, por lo que la cantidad es independiente del tamaño o extensión de la muestra.

Capacidad calorífica específica

La capacidad calorífica de una sustancia por unidad de masa se denomina capacidad calorífica específica (  $C_p$  ) de la sustancia. El subíndice p indica que la capacidad calorífica y la capacidad calorífica específica se aplican cuando el calor se agrega o elimina a presión constante.

$$c_p = Q / m\Delta T$$

Capacidad Calorífica de los gases

Para los gases ideales, si se determina la capacidad calorífica molar para un mismo gas a:

- volumen constante se denomina,  $C_v$
- presión constante se denomina,  $C_p$

La relación existente entre ellas está determinada por la expresión siguiente:

$$C_p - C_v = R$$

Donde:

R es la constante de los gases ideales expresada en unidades de energía:

$$R = 8,314 \text{ J/mol-K} \quad R = 1,989 \text{ cal/mol-K}$$

La capacidad calorífica de los gases ideales varía, si se trata de gases monoatómicos, diatómicos y triatómicos. En el modelo de gas ideal, las propiedades intensivas  $C_v$  y  $C_p$  se definen para sustancias compresibles puras y simples como derivadas parciales de la energía interna u ( T, v ) y entalpía h ( T, p ), respectivamente:

$$c_v = \left( \frac{\partial u}{\partial T} \right)_v \quad c_p = \left( \frac{\partial h}{\partial T} \right)_p$$

donde los subíndices v y p denotan las variables mantenidas fijas durante la diferenciación. Las propiedades  $c_v$  y  $c_p$  se denominan calores específicos (o capacidades de calor) porque, bajo ciertas condiciones especiales, relacionan el cambio de temperatura de un sistema con la cantidad de energía agregada por la transferencia de calor. Sus unidades SI son  $J / kg K$  o  $J / mol K$ .

En la tabla siguiente se muestran los valores de capacidad calorífica a volumen constante ( $C_v$ ) y a presión constante ( $C_p$ ) para gases ideales monoatómicos, diatómicos y triatómicos.

Gas	$C_v$	$C_p$
Monoatómico (ejm. He, Ne)	$\frac{3}{2}R$	$\frac{5}{2}R$
Diatómico (ejm. $H_2$ , CO)	$\frac{5}{2}R$	$\frac{7}{2}R$
Triatómico (ejm. $NO_2$ , $SO_2$ )	$\frac{7}{2}R$	$\frac{9}{2}R$

Si el sistema involucra a los gases ideales podemos expresar el calor a presión constante ( $q_p$ ), como:

$$q_p = \Delta H = nC_p \Delta T \quad Q = n \cdot \bar{c} \cdot \Delta T$$

Donde:

- $Q$  ó  $q_p$  = calor específico molar
- $n$  = número de moles
- $C_p$  o  $\bar{c}$  = calor específico molar
- $\Delta T$ : Variación de temperatura

Recuerden que el calor a presión constante se conoce como Entalpía (H)

## Calor latente

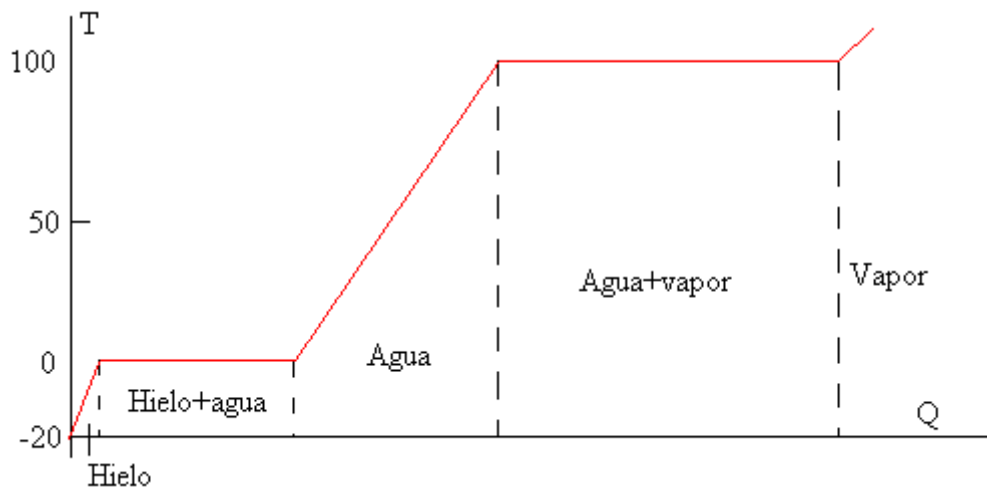
Calor Latente es la cantidad de energía requerida para lograr el cambio de estado físico de una sustancia sin que exista variación de temperatura. Normalmente, una sustancia experimenta un cambio de temperatura cuando absorbe o cede calor al ambiente que le rodea. Sin embargo, cuando una sustancia cambia de fase absorbe o cede calor sin que se produzca un cambio de su temperatura. El calor  $Q$  que es necesario aportar para que una masa  $m$  de cierta sustancia cambie de fase es igual a

$$Q = mL \quad \text{ó} \quad \lambda = Q/m$$

Donde:

- $L$  ó  $\lambda$  = Se denomina calor latente de la sustancia y depende del tipo de cambio de fase. Las unidades para calor latente S.I.: (Joule/kilogramo) ó (caloría/gramo)
- $Q$  = Es el calor que es necesario aportar cambio de fase
- $m$  = a la masa de cierta sustancia

Para cada proceso de cambio de estado existe un calor latente distinto (por ejemplo, calor latente de fusión, de vaporización, de condensación, etc.). En el caso del agua, para que el agua cambie de sólido (hielo) a líquido, a  $0^\circ C$  se necesitan  $330 J/kg$  ó  $79.7 cal/g$ . Para que cambie de líquido a vapor a  $100^\circ C$  se precisan  $2.260 J/kg$  ó  $540 cal/g$ .

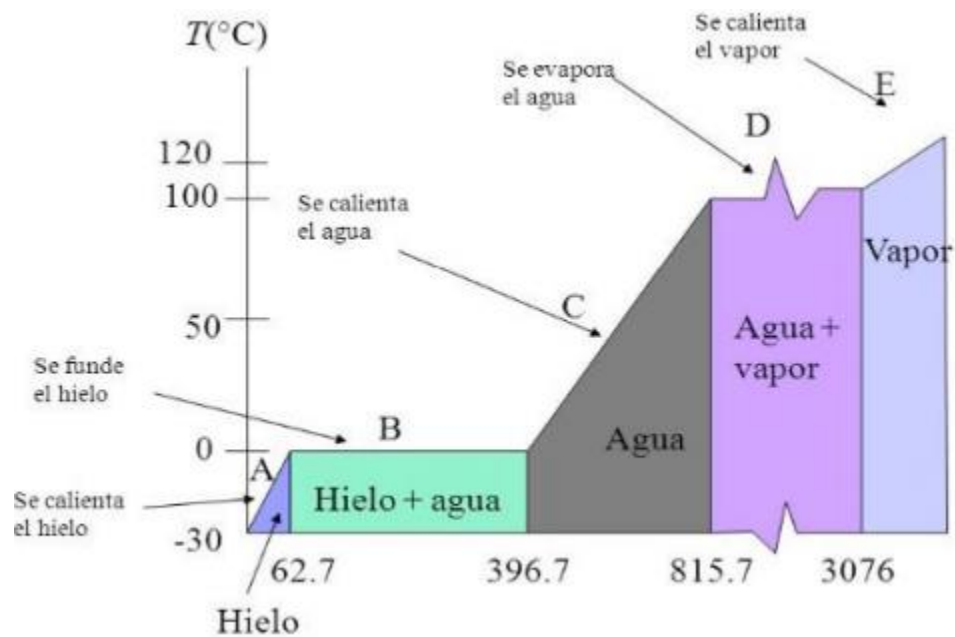


Todos los calores latentes son parámetros característicos de cada sustancia, y su valor depende de la presión a la que se produzca el cambio de fase para la misma. En el sistema internacional, el calor latente se mide en J/kg

### Tipos de calor latente

El calor latente se manifiesta en cualquier proceso de cambio de fase, detallándose a continuación los tipos de cambio de fase:

- Vaporización: es un cambio de líquido a gas
- Fusión: cambio de sólido a líquido
- Solidificación: proceso de cambio de líquido a sólido
- Sublimación: cambio de sólido a gas
- Condensación: proceso de cambio de gas a líquido



Energía necesaria para pasar 1 gramo de agua a  $-10^{\circ}\text{C}$  a vapor a  $120^{\circ}\text{C}$

- Para la Parte A se ocupa  $Q = mC_e\Delta t$   $Q = (1\text{g})(0.5 \text{ cal/g } ^{\circ}\text{C})[0 - (-30)]$   $Q_A = 15 \text{ cal}$
- Para la Parte B se ocupa  $Q = m\lambda$   $Q = (1\text{g})(79.7 \text{ cal/g})$   $Q_B = 79.7 \text{ cal}$
- Para la Parte C se ocupa  $Q = mC_e\Delta t$   $Q = (1\text{g})(1 \text{ cal/g } ^{\circ}\text{C})[100 - (0)]$   $Q_C = 100 \text{ cal}$
- Para la Parte D se ocupa  $Q = m\lambda$   $Q = (1\text{g})(539.4 \text{ cal/g})$   $Q_D = 539.4 \text{ cal}$
- Para la Parte E se ocupa  $Q = mC_e\Delta t$   $Q = (1\text{g})(0.48 \text{ cal/g } ^{\circ}\text{C})[120 - (100)]$   $Q_E = 9.6 \text{ cal}$

- Por lo tanto, la energía total requerida para pasar un gramo de agua a  $-10^{\circ}\text{C}$  a vapor de

agua a  $120^{\circ}\text{C}$  es:  $Q_T = Q_A + Q_B + Q_C + Q_D + Q_E$

$$Q_T = 15 \text{ cal} + 79.7 \text{ cal} + 100 \text{ cal} + 539.4 \text{ cal} + 9.6 \text{ cal} \quad Q_T = 743.7 \text{ cal} \text{ ó } 3112.9794 \text{ J}$$

## Primera Ley de la Termodinámica

La primera ley de la termodinámica relaciona el trabajo y el calor transferido intercambiado en un sistema a través de una nueva variable termodinámica, la energía interna. Se dice que:

“...energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma...”

$$E_{\text{entra}} - E_{\text{sale}} = \Delta E_{\text{sistema}}$$

$$\Delta U = Q - W,$$

Donde:

- $U$ , es la energía interna del sistema (aislado)
- $Q$ , es la cantidad de calor aportado al sistema
- $W$ , es el trabajo realizado por el sistema. Esta última expresión es igual de frecuente encontrarla en la forma  $U=Q+W$ . Ambas expresiones, aparentemente contradictorias, son correctas y su diferencia está en que se aplique el convenio de signos

La primera ley de la termodinámica aplica el principio de conservación de energía a sistemas donde la transferir de calor y hacer un trabajo son los métodos de intercambio de energía dentro y fuera del sistema. En forma de ecuación, la primera ley de la termodinámica es,

$$\Delta U = Q + W$$

Donde:

- $\Delta U$ , es el cambio en la energía interna  $U$  del sistema,
- $Q$ , es el calor neto que se le ha transferido (es decir,  $Q$  es la suma de todo el calor transferido por y hacia el sistema)
- $W$ , es el trabajo neto realizado sobre el sistema.

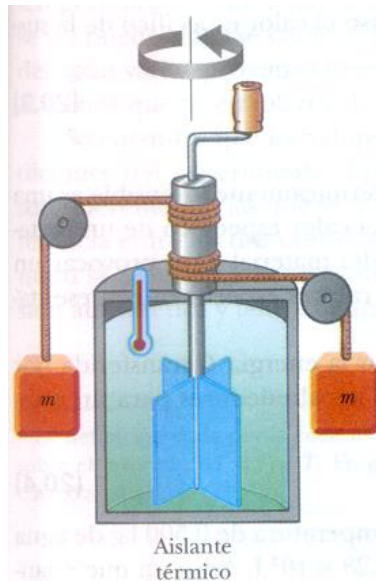
Así que el calor  $Q$  positivo y el trabajo  $W$  positivo inyectan energía en el sistema. La primera ley toma la forma  $\Delta U=Q+W$  por esta razón. Simplemente establece que puedes aumentar la energía interna de un sistema al calentarlo o al hacer trabajo sobre él.

$\Delta U$ (cambio en la energía interna).	$Q$ (calor).	$W$ (trabajo hecho).
es + si la temperatura $T$ aumenta.	es + si entra calor al gas.	es + si el gas se comprime.
es - si la temperatura $T$ disminuye.	es - si sale calor del gas.	es - si el gas se expande.
es 0 si la temperatura $T$ es constante.	es 0 si no se intercambia calor.	es 0 si el volumen es constante.

# Equivalente mecánico del calor

Hace referencia a que el movimiento y el calor son mutuamente intercambiables, y que, en todos los casos, una determinada cantidad de trabajo podría generar la misma cantidad de calor siempre que el trabajo hecho se convirtiese totalmente en energía calorífica. El equivalente mecánico del calor fue un concepto que tuvo un papel importante en el desarrollo y aceptación del principio de la conservación de la energía y en el establecimiento de la ciencia de la termodinámica en el siglo XIX.

En el siglo XIX, Joule ideó un experimento para demostrar que el calor no era más que una forma de energía, y que se podía obtener a partir de la energía mecánica. Dicho experimento se conoce como experimento de Joule para determinar el equivalente mecánico del calor. Con su experimento, Joule se propuso demostrar que se podía elevar la temperatura del agua transfiriéndole energía mecánica.



Antes del experimento de Joule se pensaba que calor y energía eran dos magnitudes diferentes, por lo que las unidades en que se medían ambas eran también distintas. La unidad de calor que se empleaba era la caloría. El calor es transferencia de energía debido a diferencias de temperatura.

La conversión de energía mecánica íntegramente en calor se expresa mediante la siguiente ecuación.

$$Mgh = mc(T - T_0)$$

Se despeja el calor específico del agua que estará expresado en J/(kg K).

$$c = \frac{Mgh}{m(T - T_0)}$$

Como el calor específico del agua es por definición  $c = 1 \text{ cal}/(\text{g } ^\circ\text{C})$ , obtenemos la equivalencia entre las unidades de calor y de trabajo o energía. En este contexto se introduce la caloría:

$$4180 \text{ J} = 1000 \text{ cal} = 1 \text{ kcal} \rightarrow \boxed{1 \text{ cal} = 4.18 \text{ J}}$$

Una caloría es el calor que se necesita transferir a un gramo de agua, para cambiar su temperatura de 14.5 a 15.5 grados Celsius.

# Transferencia de calor

La transferencia de calor es el proceso físico de propagación del calor en distintos medios. La subdisciplina de la física que estudia estos procesos se llama a su vez termodinámica.

La transferencia de calor se produce siempre que existe un gradiente térmico en un sistema o cuando dos sistemas con diferentes temperaturas se ponen en contacto. El proceso persiste hasta alcanzar el equilibrio térmico, es decir, hasta que se igualan las temperaturas. Cuando existe una diferencia de temperatura entre dos objetos cercanos o regiones lo suficientemente próximas se transfiere calor más rápido. El proceso de la transferencia de calor es indetenible (no se lo puede frenar) aunque ralentizable (se puede desacelerar), empleando barreres y aislantes. Pero siempre que exista una diferencia de calor en el universo, el calor tenderá a transferirse a través de los medios disponibles. Dependiendo de ellos, dicha transferencia podrá darse por tres modos: conducción, convección y radiación.

$$\frac{Q}{t} = \frac{\kappa A (T_{caliente} - T_{fria})}{d}$$

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \quad \text{Ley de conducción de Calor de Fourier}$$

$$Q = -\frac{S \cdot \lambda}{d} (t_2 - t_1) \quad \rightarrow \quad Q = \frac{1}{R} (t_2 - t_1) \quad \rightarrow \quad R = \frac{d}{S \cdot \lambda}$$

Donde:

Q = calor transferido en el tiempo t

$\kappa$  = conductividad térmica de la barrera

A ó s = área

T = temperatura

d = grosor de la barrera

R = resistencia térmica

La conductividad de una sustancia depende de su estado y de la temperatura. Se expresa en el S.I. de unidades en W/m.K

La cantidad  $(t_2 - t_1)/L$  es la diferencia de temperatura por unidad de longitud, llamada gradiente de temperatura. El valor numérico de k depende del material. Las unidades de corriente de calor Q son unidades de energía por tiempo, es decir, potencia; la unidad SI de corriente de calor es el watt (1 W = 1 J/s). Podemos determinar las unidades de k despejándola de la ecuación.



Procesos termodinámicos

Segunda Ley de la Termodinámica

Entropía

Máquinas térmicas