

Tutorial 12 - Leyes Físicas III

NOMBRES: _____ CALIFICACIÓN: _____
FECHA: 29 de junio de 2018 PARALELO: _____

Resolver los siguientes problemas y, cuando corresponda, expresar las respuestas en unidades del Sistema Internacional (SI).

Datos:

$$\alpha_{\text{acero}} = 1.2 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1} = 1.2 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$c_{\text{agua}} = 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

$$c_{\text{hielo}} = 2100 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

$$L_{\text{f,H}_2\text{O}} = 334 \times 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

1. a) Calcule la única temperatura a la que los termómetros Fahrenheit y Celsius coinciden.
b) Calcule la única temperatura a la que los termómetros Fahrenheit y Kelvin coinciden.
2. Se tiene una cinta métrica de acero que tiene exactamente 50 m de longitud a una temperatura de 20°C . ¿Qué longitud tiene en un día caluroso en el que la temperatura ambiente es de 35°C ?
3. Se desea enfriar 0.25 kg de agua, que está a 25°C , agregándole hielo que está a -20°C . Si puede despreciarse la capacidad calorífica del recipiente:
 - a) ¿Quién pierde y quien gana calor?
 - b) ¿Existe algún cambio de fase?
 - c) Realice un diagrama de temperatura versus calor que indique las curvas tanto del agua como del hielo para que la temperatura final sea 0°C con todo el hielo derretido.
 - d) Utilizando el principio de conservación de energía (i.e. $\Sigma Q = 0$), ¿cuánto hielo debería agregarse para que la temperatura final sea 0°C con todo el hielo derretido?

Tabla 17.1 Coeficientes de expansión lineal

Material	α [K^{-1} o $(^\circ\text{C})^{-1}$]
Aluminio	2.4×10^{-5}
Latón	2.0×10^{-5}
Cobre	1.7×10^{-5}
Vidrio	$0.4\text{--}0.9 \times 10^{-5}$
Invar (aleación níquel-hierro)	0.09×10^{-5}
Cuarzo (fundido)	0.04×10^{-5}
Acero	1.2×10^{-5}

La constante β caracteriza las propiedades de expansión de volumen de un material dado; se llama **coeficiente de expansión de volumen**. Las unidades de β son K^{-1} , o bien, $(^\circ\text{C})^{-1}$. Al igual que en la expansión lineal, β varía un poco con la temperatura, y la ecuación (17.8) es una relación aproximada válida sólo para cambios de temperatura pequeños. En muchas sustancias, β disminuye a bajas temperaturas. En la tabla 17.2 se dan algunos valores de β a temperatura ambiente. Observe que, en general, los valores para los líquidos son mucho mayores que para los sólidos.

Para materiales sólidos, hay una relación sencilla entre el coeficiente de expansión de volumen β y el coeficiente de expansión lineal α . Para deducir esta relación, consideramos un cubo de material con longitud de lado L y volumen $V = L^3$. En la temperatura inicial, los valores son L_0 y V_0 . Al aumentar la temperatura en dT , la longitud del lado aumenta en dL y el volumen aumenta en una cantidad dV dada por

$$dV = \frac{dV}{dL} dL = 3L^2 dL$$

Ahora sustituimos L y V por los valores iniciales L_0 y V_0 . Por la ecuación (17.6), dL es

$$dL = \alpha L_0 dT$$

Puesto que $V_0 = L_0^3$, esto implica que dV también puede expresarse como

$$dV = 3L_0^2 \alpha L_0 dT = 3\alpha V_0 dT$$

Lo cual es congruente con la forma infinitesimal de la ecuación (17.8), $dV = \beta V_0 dT$, sólo si

$$\beta = 3\alpha \quad (17.9)$$

Verifique esta relación para algunos de los materiales de las tablas 17.1 y 17.2.

Tabla 17.2 Coeficientes de expansión de volumen

Sólidos	β [K^{-1} o $(^\circ\text{C})^{-1}$]	Líquido	β [K^{-1} o $(^\circ\text{C})^{-1}$]
Aluminio	7.2×10^{-5}	Etanol	75×10^{-5}
Latón	6.0×10^{-5}	Disulfuro de carbono	115×10^{-5}
Cobre	5.1×10^{-5}	Glicerina	49×10^{-5}
Vidrio	$1.2\text{--}2.7 \times 10^{-5}$	Mercurio	18×10^{-5}
Invar	0.27×10^{-5}		
Cuarzo (fundido)	0.12×10^{-5}		
Acero	3.6×10^{-5}		

Estrategia para resolver problemas 17.1

Expansión térmica



IDENTIFICAR los conceptos importantes: Decida si el problema implica cambios de longitud (expansión térmica lineal) o de volumen (expansión térmica de volumen).

PLANTEAR el problema siguiendo estos pasos:

1. Elija la ecuación (17.6) para la expansión lineal y la ecuación (17.8) para la expansión de volumen.
2. Identifique las cantidades conocidas y desconocidas en la ecuación (17.6) o (17.8).

EJECUTAR la solución como sigue:

1. Despeje las incógnitas. Muchas veces se dan dos temperaturas y hay que calcular ΔT ; o se da una temperatura inicial T_0 y hay que

determinar la temperatura final que corresponde a un cambio de volumen o longitud dado. En este caso, obtenga ΔT primero; así, la temperatura final será $T_0 + \Delta T$.

2. La consistencia de unidades es crucial, como siempre. L_0 y ΔL (o bien, V_0 y ΔV) deben tener las mismas unidades, y si usa un valor de α o de β en K^{-1} o de $(^\circ\text{C})^{-1}$, ΔT debe estar en kelvins o grados Celsius ($^\circ\text{C}$). Pero se pueden usar K y $^\circ\text{C}$ indistintamente.

EVALUAR la respuesta: Compruebe que sus resultados sean lógicos. Recuerde que los tamaños de los agujeros en un material se expanden con la temperatura como cualquier otra dimensión lineal, y el volumen de una cavidad (como el volumen de un recipiente) se expande igual que la forma sólida correspondiente.

Comparando con la ecuación (17.15), podemos expresar la capacidad calorífica molar C (calor por mol por cambio de temperatura) en términos del calor específico c (calor por masa por cambio de temperatura) y la masa molar M (masa por mol):

$$C = \frac{1}{n} \frac{dQ}{dT} = Mc \quad (\text{capacidad calorífica molar}) \quad (17.19)$$

Por ejemplo, la capacidad calorífica molar del agua es

$$C = Mc = (0.0180 \text{ kg/mol})(4190 \text{ J/kg} \cdot \text{K}) = 75.4 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

En la tabla 17.3 se dan valores de calor específico y capacidad calorífica molar para varias sustancias. Note el valor extraordinariamente elevado del calor específico del agua (figura 17.18).

CUIDADO El significado de “capacidad calorífica” Es lamentable que se haya generalizado el uso del término *capacidad calorífica* porque da la impresión errónea de que un cuerpo *contiene* cierta cantidad de calor. Recuerde que el calor es transferencia de energía desde o hacia un cuerpo, no la energía que reside en el cuerpo. ■

La medición precisa de calores específicos y capacidades caloríficas molares requiere gran habilidad experimental. Lo usual es aportar una cantidad medida de energía mediante un alambre calefactor enrollado en una muestra. El cambio de temperatura ΔT se mide con un termómetro de resistencia o termopar incrustado en la muestra. Parece sencillo, pero se requiere gran cuidado para evitar o compensar una transferencia de calor no deseada entre la muestra y su entorno. Las mediciones en sólidos suelen hacerse a presión atmosférica constante; los valores correspondientes se llaman *calor específico* y *capacidad calorífica molar a presión constante*, denotados con c_p y C_p respectivamente. En el caso de un gas, suele ser más fácil mantener la sustancia en un recipiente con *volumen* constante; los valores correspondientes son *calor específico* y *capacidad calorífica molar a volumen constante*, denotados con c_v y C_v , respectivamente. Para una sustancia dada, C_v y C_p son diferentes. Si el sistema puede expandirse al agregar calor, hay un intercambio adicional de energía porque el sistema efectúa *trabajo* sobre su entorno. Si el volumen es constante, el sistema no efectúa trabajo. En los gases, la diferencia entre C_p y C_v es sustancial. Estudiaremos las capacidades caloríficas de los gases a fondo en la sección 19.7.

La última columna de la tabla 17.3 muestra algo interesante. Las capacidades caloríficas molares de la mayoría de los sólidos elementales son casi iguales, alrededor de $25 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$. Esta correlación, llamada *regla de Dulong y Petit* (por sus descubridores), es la base de una idea muy importante. El número de átomos en un mol es el mismo para todas las sustancias elementales. Esto implica que, *por átomo*, se requiere

17.18 El agua tiene un calor específico mucho más alto que el vidrio y los metales que se usan para hacer utensilios de cocina. Esto explica en parte por qué se requieren varios minutos para hervir agua en una estufa, aunque el recipiente alcanza una temperatura alta con gran rapidez.



Tabla 17.3 Valores aproximados del calor específico y capacidad calorífica molar (a presión constante)

Sustancia	Calor específico, (J/kg · K)	Masa molar, (kg/mol)	Capacidad calorífica molar (J/mol · K)
Aluminio	910	0.0270	24.6
Berilio	1970	0.00901	17.7
Cobre	390	0.0635	24.8
Etanol	2428	0.0461	111.9
Etilenglicol	2386	0.0620	148.0
Hielo (cerca de 0 °C)	2100	0.0180	37.8
Hierro	470	0.0559	26.3
Plomo	130	0.207	26.9
Mármol (CaCO ₃)	879	0.100	87.9
Mercurio	138	0.201	27.7
Sal (NaCl)	879	0.0585	51.4
Plata	234	0.108	25.3
Agua (líquida)	4190	0.0180	75.4

Para un material dado, a una presión dada, la temperatura de congelación es la misma que la de fusión. En esta temperatura única, las fases líquida y sólida (agua líquida y hielo, por ejemplo) pueden coexistir en una condición llamada **equilibrio de fases**.

Algo similar sucede con la *ebullición* o *evaporación*, una transición de fase entre líquido y gas. El calor correspondiente (por unidad de masa) se llama **calor de vaporización** L_v . A presión atmosférica normal el calor de vaporización L_v del agua es

$$L_v = 2.256 \times 10^6 \text{ J/kg} = 539 \text{ cal/g} = 970 \text{ Btu/lb}$$

Es decir, necesitamos $2.256 \times 10^6 \text{ J}$ para convertir 1 kg de agua líquida a 100°C en 1 kg de vapor de agua a 100°C . En contraste, para elevar la temperatura de 1 kg de agua de 0°C a 100°C se requieren $Q = mc \Delta T = (1.00 \text{ kg}) (4190 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}) \times (100^\circ\text{C}) = 4.19 \times 10^5 \text{ J}$, menos de la quinta parte del calor necesario para la vaporización a 100°C . Esto concuerda con nuestra experiencia en la cocina: una olla de agua puede alcanzar la temperatura de ebullición en unos minutos, pero tarda mucho más en evaporarse por completo.

Al igual que la fusión, la ebullición es una transición reversible. Si quitamos calor a un gas a la temperatura de ebullición, el gas vuelve a la fase líquida (se *condensa*), cediendo a su entorno la misma cantidad de calor (calor de vaporización) que se necesitó para vaporizarlo. A una presión dada, las temperaturas de ebullición y condensación siempre son la misma; en ella, las fases líquida y gaseosa pueden coexistir en equilibrio de fases.

Tanto L_v como la temperatura de ebullición de un material dependen de la presión. El agua hierve a menor temperatura (cerca de 95°C) en Denver que en Pittsburgh, porque Denver está a mayor altura y la presión atmosférica promedio es menor. El calor de vaporización es un poco más alto a esta presión reducida: aproximadamente $2.27 \times 10^6 \text{ J/kg}$.

La tabla 17.4 presenta calores de fusión y vaporización para varios materiales y sus temperaturas de fusión y ebullición, a presión atmosférica normal. Muy pocos *elementos* tienen temperaturas de fusión cercanas a la temperatura ambiente; uno de ellos es el metal galio (figura 17.20).

17.20 El metal galio, que vemos aquí fundiéndose en la mano de una persona, es uno de los pocos elementos que se funden cerca de la temperatura ambiente. Su temperatura de fusión es de 29.8°C y su calor de fusión es de $8.04 \times 10^4 \text{ J/kg}$.



Tabla 17.4 Calores de fusión y de vaporización

Sustancia	Punto de fusión normal		Calor de fusión, L_f (J/kg)	Punto de ebullición normal		Calor de vaporización, L_v (J/kg)
	K	$^\circ\text{C}$		K	$^\circ\text{C}$	
Helio	*	*	*	4.216	-268.93	20.9×10^3
Hidrógeno	13.84	-259.31	58.6×10^3	20.26	-252.89	452×10^3
Nitrógeno	63.18	-209.97	25.5×10^3	77.34	-195.8	201×10^3
Oxígeno	54.36	-218.79	13.8×10^3	90.18	-183.0	213×10^3
Etanol	159	-114	104.2×10^3	351	78	854×10^3
Mercurio	234	-39	11.8×10^3	630	357	272×10^3
Agua	273.15	0.00	334×10^3	373.15	100.00	2256×10^3
Azufre	392	119	38.1×10^3	717.75	444.60	326×10^3
Plomo	600.5	327.3	24.5×10^3	2023	1750	871×10^3
Antimonio	903.65	630.50	165×10^3	1713	1440	561×10^3
Plata	1233.95	960.80	88.3×10^3	2466	2193	2336×10^3
Oro	1336.15	1063.00	64.5×10^3	2933	2660	1578×10^3
Cobre	1356	1083	134×10^3	1460	1187	5069×10^3

*Se requiere una presión mayor que 25 atmósferas para solidificar el helio. A presión de 1 atmósfera, el helio sigue siendo líquido hasta el cero absoluto.