

1 Ecuación de Estado del gas ideal

Todos los gases a baja presión y densidad comparten las mismas propiedades físicas (gas ideal)

Para describirlas definamos la cantidad de gas en número de moles.

Un mol de cualquier sustancia contiene el número de Avogadro de átomos o moléculas. $N_A = 6.022 \times 10^{23}$. El número de moles n es:

$$n = \frac{m}{M}$$

donde M es la masa molar(g/mol).

La ecuación de estado del gas ideal es:

$$PV = nRT$$

T es la temperatura absoluta y R es una constante, llamada la constante universal de los gases, $R = 8.315 \frac{J}{\text{mol } K}$. P (presión) se mide en Pascales(1 Pa = $1N/m^2$) V (volumen) se miden en m^3 .

Si la expresión se expresa en atmósferas y V en litros se tiene $R = 0.08214 \frac{\text{L}\cdot\text{atm}}{\text{mol}\cdot\text{K}}$. Por lo tanto el volumen ocupado por 1 mol de cualquier gas a 0°C y 1atm es de 22.4 L.

Si N es el número de moléculas en el volumen V se tiene que:

$$PV = Nk_B T$$

donde $k_B = R/N_A = 1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$ es la constante de Boltzmann.

2 El Equivalente mecánico del calor

A comienzos del siglo XIX la gente estaba interesada en mejorar la eficiencia de las máquinas de vapor y de los cañones. Un hecho evidente era que después de algunos disparos los cañones se recalentaban hasta tal punto que se volvían inservibles. Esto llevó a la observación que debía existir una conexión entre las fuerzas mecánicas y químicas involucradas en el disparo y el "calórico" como se llamaba el calor en esa época.

Fue Joule quien estableció la relación precisa entre energía mecánica y calor.

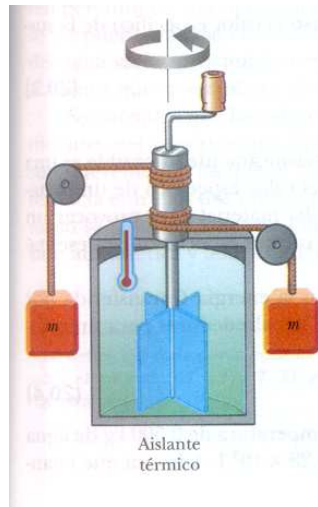


Figura 20.1 El experimento de Joule para determinar el equivalente mecánico del calor. Los bloques que caen hacen rotar las aspás, provocando que la temperatura del agua se incremente.

Figura 1.

El calor es transferencia de energía debido a diferencias de temperatura. En este contexto se introduce la caloría:

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

Se tiene además: $1\text{Cal}=1000\text{ cal}$.

Joule utilizando una rueda con paletas conectada a un conjunto de poleas con pesos en sus extremos pudo mostrar una relación precisa entre la energía mecánica de los pesos en las poleas y el aumento de temperatura del agua en el recipiente, debido a la rotación de las paletas. Esto da:

1 cal= 4.186 J

2.1 Capacidad calorífica y Calor específico

La capacidad calorífica (C) de una muestra se define como la cantidad de energía necesaria para aumentar la temperatura de esa muestra en 1°C .

Por lo tanto si una cantidad de calor Q produce un cambio ΔT en la temperatura de una sustancia se tiene:

$$Q = C \Delta T$$

El calor específico es la capacidad calorífica por unidad de masa

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

NOTA: En general $c(T)$, por lo tanto:

$$Q = m \int_{T_i}^{T_f} c(T) dT$$

CONVENCION: Q es positivo si fluye calor hacia el sistema. Q es negativo si el sistema cede calor.

El calor específico depende de las condiciones externas. Para gases el calor específico a presión constante (c_P) es diferente del calor específico a volumen constante (C_V). Para líquidos y sólidos no hay gran diferencia entre los dos.

Calor específico (capacidad calorífica específica) (25 °C, 1 atm=101 325 Pa)

Material	J/(kg·K)	Material	J/(kg·K)
Aceite vegetal	2000	Hielo (-10 °C a 0 °C)	2093
Agua (0 °C a 100 °C)	4186	Hierro/Acero	452
Aire	1012	Hormigón	880
Alcohol etílico	2460	Latón	380
Alcohol metílico	2549	Litio	3560
Aluminio	897	Madera	420
Amoniaco (líquido)	4700	Magnesio	1023
Arena	290	Mármol	858
Asfalto	920	Mercurio	138
Azufre	730	Metano (275 K)	2191
Benceno	1750	Níquel	440
Calcio	650	Nitrógeno	1040
Cinc	390	Oro	129

Figura 2.

3 Calorimetría

Una técnica para medir el calor específico de una sustancia X consiste en calentar una muestra hasta una temperatura conocida T_x , colocarla en un recipiente con agua de masa conocida m_a y temperatura menor $T_a < T_x$, medir la temperatura del sistema después de alcanzado el equilibrio.

Como el trabajo realizado es despreciable, la conservación de la energía implica:

$$Q_x = -Q_a$$

Note que la convención de los signos implica el signo - en el lado derecho de esta ecuación (El agua absorbe calor).

Sea m_x la masa de la sustancia X.

Se tiene:

$$m_x c_x (T_f - T_x) = -m_a c_a (T_f - T_a)$$

Esto es:

$$c_x = \frac{m_a c_a (T_f - T_a)}{m_x (T_x - T_f)}$$

3.1 Calor Latente

Cuando hay transferencia de calor sin cambio de temperatura (como en una transición de fase) se habla de calor latente L .

La cantidad de calor Q necesaria para cambiar la fase de una masa m de una sustancia pura es:

$$Q = mL$$

Calor latente de fusión L_f : Cambio de fase de sólido a líquido.

Calor latente de vaporización L_v : Cambio de fase de líquido a gas.

TABLA 20.2 Calores latentes de fusión y vaporización

Sustancia	Punto de fusión (°C)	Calor latente de fusión (J/kg)	Punto de ebullición (°C)	Calor latente de vaporización (J/kg)
Helio	-269.65	5.23×10^5	-268.93	2.09×10^4
Nitrógeno	-209.97	2.55×10^4	-195.81	2.01×10^5
Oxígeno	-218.79	1.38×10^4	-182.97	2.13×10^5
Alcohol etílico	-114	1.04×10^5	78	8.54×10^5
Agua	0.00	3.33×10^5	100.00	2.26×10^6
Azufre	119	3.81×10^4	444.60	3.26×10^5
Plomo	327.3	2.45×10^4	1 750	8.70×10^5
Aluminio	660	3.97×10^5	2 450	1.14×10^7
Plata	960.80	8.82×10^4	2 193	2.33×10^6
Oro	1 063.00	6.44×10^4	2 660	1.58×10^6
Cobre	1 083	1.34×10^5	1 187	5.06×10^6

Figura 3.

Sustancia	T fusión °C	L_f (J/kg) $\cdot 10^3$	T ebullición °C	L_v (J/kg) $\cdot 10^3$
Hielo (agua)	0	334	100	2260
Alcohol etílico	-114	105	78.3	846
Acetona	-94.3	96	56.2	524
Benceno	5.5	127	80.2	396
Aluminio	658.7	322-394	2300	9220
Estaño	231.9	59	2270	3020
Hierro	1530	293	3050	6300
Cobre	1083	214	2360	5410
Mercurio	-38.9	11.73	356.7	285
Plomo	327.3	22.5	1750	880
Potasio	64	60.8	760	2080
Sodio	98	113	883	4220

Tabla 1.

Ejemplos:

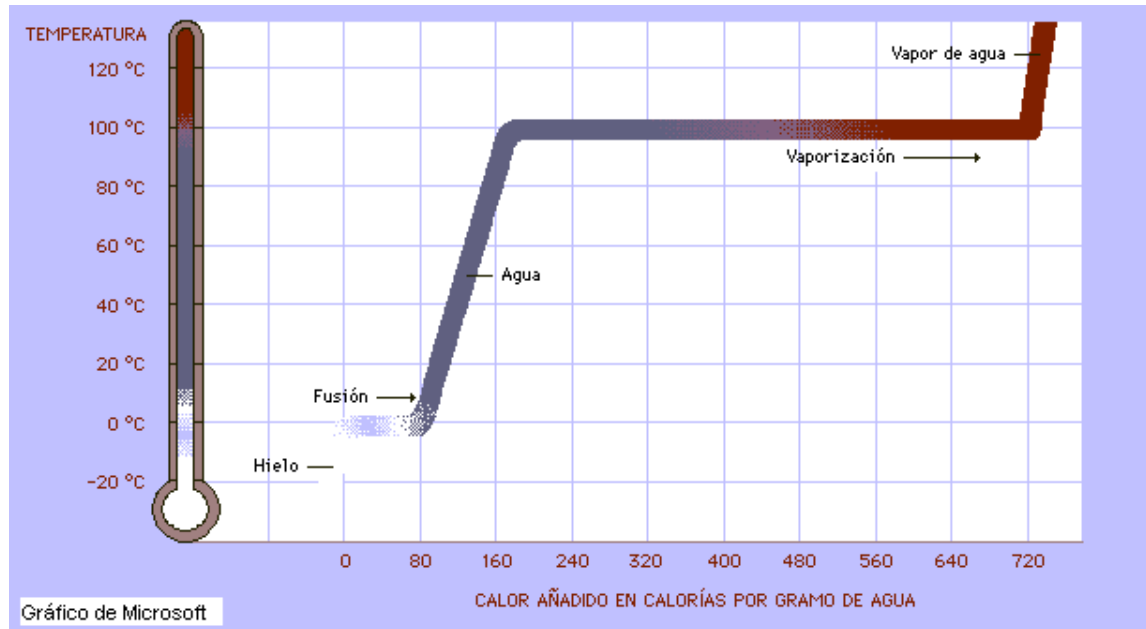


Figura 4.

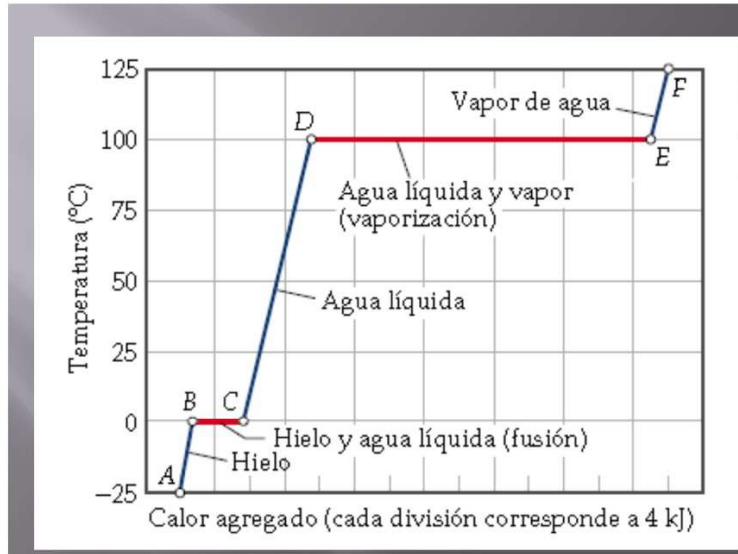


Figura 5.

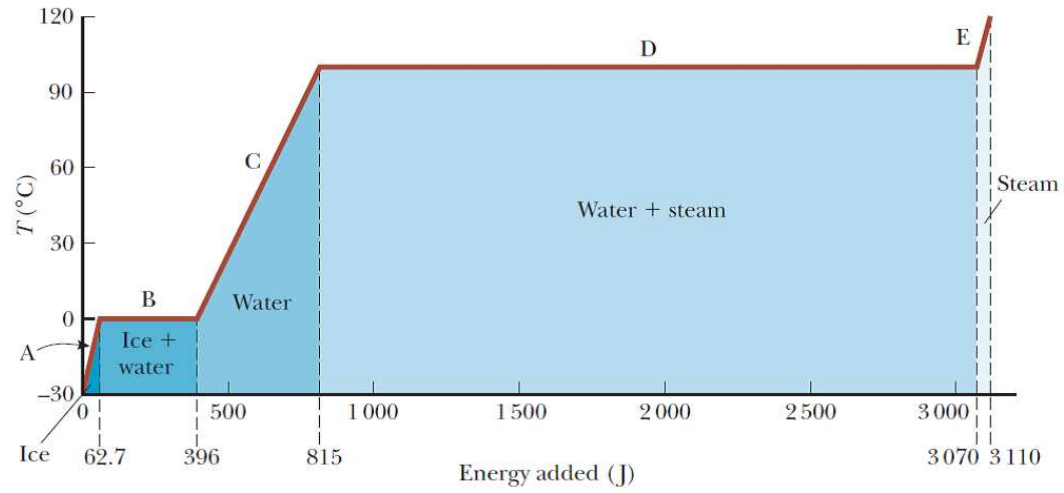


Figura 6. Una gráfica de temperatura versus energía agregada cuando 1gr. de hielo originalmente a -30°C se convierte en vapor a 120°C .

4 Trabajo y Calor

Trabajo y calor en procesos termodinámicos

Gas contenido en un cilindro a una presión P efectúa trabajo sobre un émbolo móvil cuando el sistema se expande de un volumen V a un volumen $V + dV$.

$$dW = Fdy = PA dy$$

$$dW = PdV$$

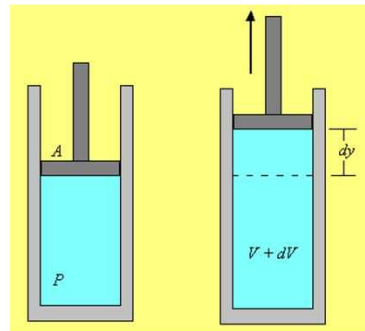


Figura 7.

Consideremos un gas contenido en un recipiente cilíndrico de área transversal A , con un émbolo. Al expandirse el gas hace un trabajo sobre el émbolo dado por

$$dW = PdV$$

Si el gas se expande desde un volumen V_i a un volumen V_f cuasi-estáticamente: es decir tan lentamente que cada estado intermedio puede considerarse un estado de equilibrio, se tiene:

$$W = \int_{V_i}^{V_f} P dV$$

Esto representa el área bajo la curva $P(V)$ en un diagrama P-V.

CONVENCION: $W > 0$ Trabajo hecho por el sistema; $W < 0$ Trabajo hecho sobre el sistema.

El trabajo depende de los estados intermedios para ir de $i \rightarrow f$ y no solamente de i y f .

5 La Primera Ley de la Termodinámica

Si la cantidad Q-W se mide para diferentes trayectorias que conectan los estados de equilibrio i y f , se encuentra un único resultado. Por lo tanto esta cantidad

está determinada por completo por i y f . Si U representa la energía interna, se tiene:

$$\Delta U = Q - W$$

Esta es la Primera Ley de la Termodinámica. Expresa la conservación de la energía incluyendo a procesos que involucran la transferencia de calor.

Si se trata de un cambio de estado infinitesimal, se tiene que:

$$dU = dQ - dW$$

Nota que sólo dU es un verdadero infinitesimal, puesto que dQ y dW dependen de la trayectoria.

Aplicaciones Proceso adiabático: $Q=0$

Proceso isobárico: $P=\text{constante}$.

Proceso isovolumétrico: $V=\text{constante}$.

Proceso Isotérmico: $T=\text{constante}$.

Expansión isotérmica de un gas ideal

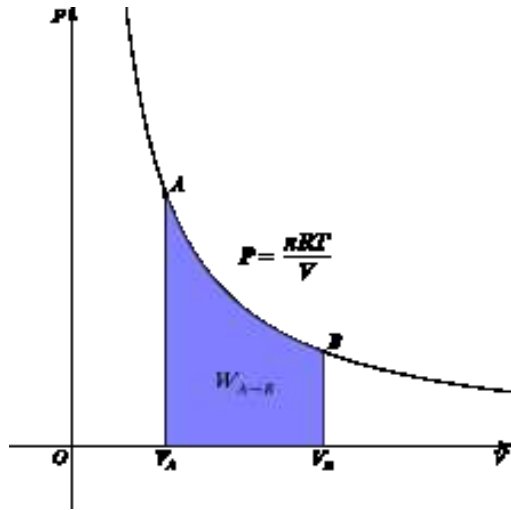


Figura 8.

El trabajo realizado al expandirse de V_i a V_f es:

$$W = nRT \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V}$$

Esto es:

$$W = nRT \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$$

6 Mecanismos de Transferencia de Energía

Conducción térmica

Si los dos extremos de un material de área transversal A separados por una distancia dx se encuentran a diferente temperatura, habrá un flujo de calor dQ durante un instante dt , desde el lado más caliente al más frío, dado por:

$$\mathcal{P} = \frac{dQ}{dt} = k A \left| \frac{dT}{dx} \right|$$

La rapidez de transferencia de energía \mathcal{P} se mide en watts. k es la conductividad térmica del material y $\left| \frac{dT}{dx} \right|$ es el gradiente de temperatura.



Figura 9.

Ej: Para una barra uniforme de largo L , aislada en el manto se tiene que:

$$\mathcal{P} = k A \frac{(T_2 - T_1)}{L} > 0$$

Ej: Para una placa compuesta por varios materiales de espesor L_i , se tiene:

$$P = A \frac{(T_2 - T_1)}{\sum L_i/k_i}$$

Aislamiento de casas En aplicaciones de Ingeniería se introduce el valor R de un material:

$$R = L/k$$

TABLA 20.4 Valores R para algunos materiales de construcción comunes

Material	Valor R (pie ² · °F · h/Btu)
Separadores de madera dura (1 pulg de grueso)	0.91
Tejas de madera (ensambladas)	0.87
Ladrillo (4 pulg de grueso)	4.00
Bloque de concreto (centro lleno)	1.93
Hojas de fibra de vidrio (3.5 pulg de grueso)	10.90
Hojas de fibra de vidrio (6 pulg de grueso)	18.80
Tableros de fibra de vidrio (1 pulg de grueso)	4.35
Fibra celulosa (1 pulg de grueso)	3.70
Vidrio plano (0.125 pulg de grueso)	0.89
Vidrio aislante (0.25 pulg de espacio)	1.54
Espacio de aire (3.5 pulg de grueso)	1.01
Capa de aire sin circulación	0.17
Muro de piedra (0.5 pulg de grueso)	0.45
Revestimiento (0.5 pulg de grueso)	1.32

Figura 10.



Figura 11.

Convección

Es calor transferido por corrientes de material.



Figura 12.

Radiación



Figura 13.

Calor radiado por un objeto por unidad de tiempo:

Ley de Stefan:

$$\mathcal{P} = \sigma A e T^4$$

A es la superficie del objeto, $\sigma = 5.6696 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$, es la constante de Stefan-Boltzmann, e es la constante de emisividad y T es la temperatura absoluta.

La emisividad es la fracción de la energía entrante que la superficie absorbe. e varía entre 0 y 1.

Cuando un cuerpo está en equilibrio con su entorno, su temperatura no cambia y emite tanta energía como la que absorbe.

En una noche nublada, la superficie de la Tierra pierde menos energía por radiación que en una noche clara. Por eso las noches claras son más frías.

Material (temperatura del material)	Emisividad
Aluminio, muy oxidado (93<degree>C)	0,2
Aluminio, muy pulido(100<degree>C)	0,09
Aluminio, no oxidado (25<degree>C)	0,02
Aluminio, no oxidado (100<degree>C)	0,03
Auminio, laminado enrollado (170<degree>C)	0,04
Latón, oxidado (200<degree>C)	0,61
Ladrillo, mortero, yeso (20<degree>C)	0,93
Ladrillo a la vista (40<degree>C)	0,93
Fundición, oxidada (200<degree>C)	0,64
Cromo (40<degree>C)	0,08
Cromo, pulido (150<degree>C)	0,06
Cerámica, cocida (70<degree>C)	0,91
Concreto (25<degree>C)	0,93
Cobre, oxidado (130<degree>C)	0,76
Cobre, pulido (40<degree>C)	0,03
Cobre, enrollado (40<degree>C)	0,64
Cobre, ligeramente deslustrado (20<degree>C)	0,04
Corcho (20<degree>C)	0,7
Algodón (20<degree>C)	0,77
Vidrio (90<degree>C)	0,94
Granito (20<degree>C)	0,45
Yeso crudo (20<degree>C)	0,9

7 El frasco Dewar



Figura 14.

Así funcionan los termos. Está hecho de un recipiente con doble pared de vidrio con paredes plateadas. Entre las dos paredes de vidrio se hace vacío para minimizar la pérdida de energía por convección. Las paredes plateadas evitan la pérdida por radiación, debido a que la Plata es un buen reflector y tiene baja emisividad.

