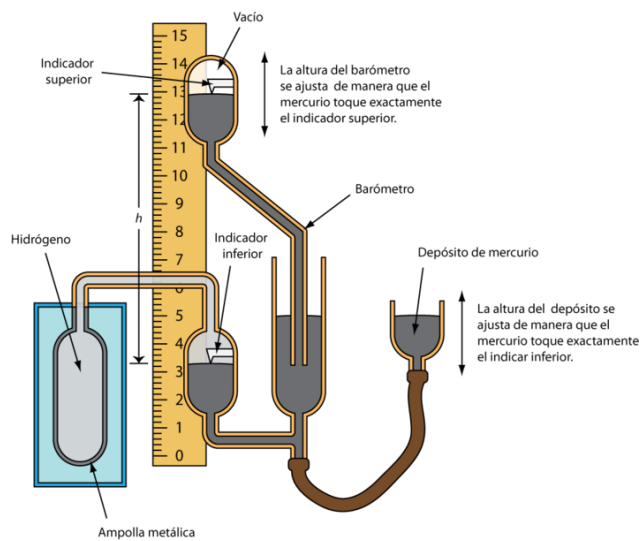


APOYO PARA LA PREPARACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

FÍSICA (PREPARACIÓN A LA UNIVERSIDAD)



Unidad 16: Temperatura y gases ideales

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

14 de abril de 2010

16.1. Planificación de la unidad

16.1.1. Objetivos

1. Repasar las magnitudes termodinámicas y conocer sus unidades.
2. Comprender los conceptos de calor, temperatura y conocer las escalas termométricas
3. Saber distinguir los distintos tipos de dilataciones lineal, superficial y cúbica.

16.1.2. Actividades

1. Lectura del resumen del tema
2. Realización del cuestionario.
3. Realización de los ejercicios
4. Actividades complementarias
 - a) Buscar información sobre termómetros y escalas termométricas.

16.1.3. Bibliografía

1. Libros de Bachillerato.
2. P.A. Tipler y G. Mosca, Física para Ciencias e Ingeniería”, 5ª Edición, Editorial Reverté, 2005.
3. Aguilar Peris J. “Curso de Termodinámica”. Alhambra Universidad, 1992.

16.1.4. Enlaces relacionados

1. Guía de recursos educativos en la Red. Física: <http://educasites.net>
2. Proyecto Newton: <http://newton.cnice.mec.es>
3. Plataforma moodle UPM: <https://moodle.upm.es/puntodeinicio>
4. Curso Interactivo de Física en Internet: <http://www.sc.ehu.es>
5. Página de Internet con vídeos de Física: <http://cienciasgalilei.com>

16.2. Calor y Temperatura

La Termodinámica estudia los fenómenos físicos en los que interviene el calor o la temperatura y, en general, todo tipo de transformaciones energéticas sobre la conversión de la energía calorífica en trabajo mecánico.

16.2.1. Concepto de Calor

El calor es la energía transferida a través de los límites de un sistema, en virtud de una diferencia de temperaturas. El calor es un fenómeno transitorio: cuando un cuerpo caliente se pone en comunicación con otro frío, el calor se transfiere del primero al segundo hasta que se alcanza el equilibrio térmico.

Unidades:

En el Sistema Internacional: Julio

En el Sistema Cegesimal: Ergio

Una unidad práctica es la caloría:

Una caloría es la cantidad de calor necesaria para elevar en 1°C la temperatura de un gramo de agua de $14,5^\circ\text{C}$ a $15,5^\circ\text{C}$ bajo la presión normal.

$$1 \text{ caloría} = 4,186 \text{ Julios}$$

Ecuación fundamental de la calorimetría:

$$Q = m c_e \Delta t = m c_e (t_f - t_i) \quad (16.1)$$

Donde c_e es el calor específico ($\text{cal/g}^\circ\text{C}$). Para el agua el $c_e=1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$

En los cambios de estado:

$$Q = m L \quad (16.2)$$

Donde L es el calor latente en cal/g

Para el agua el calor latente de fusión es $L_f = 80 \text{ cal/g}$ y el calor latente de vaporización $L_v = 540 \text{ cal/g}$

1. **Capacidad calorífica media**, C_{12} es la energía térmica que se necesita para aumentar la temperatura de una sustancia desde t_1 a t_2 .

$$c_{12} = \frac{\Delta Q}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (16.3)$$

Unidades de la capacidad calorífica: J/°C; cal/°C

2. **Capacidad calorífica verdadera:** C es la energía térmica que se necesita para variar la temperatura de una sustancia un dt

$$c_{12} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt} \quad (16.4)$$

Las unidades de la capacidad calorífica: J/°C; cal/°C

3. **Calor específico:** c_e es la capacidad calorífica referida a la unidad de masa.

$$c_e = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dt} \quad (16.5)$$

Las unidades del calor específico son: J/kg °C; cal/g °C

4. **Calores molares:** c_m es la capacidad calorífica referida al número de moles n .

$$c_m = \frac{1}{n} \frac{dQ}{dt} \quad (16.6)$$

El valor del calor molar depende del tipo de proceso que haya sufrido el sistema durante la absorción de calor. Por esta razón para los gases se suele definir el calor molar a $\mathcal{V} = \text{cte}$ y el calor molar a $P = \text{cte}$.

Calor molar a $\mathcal{V} = \text{cte}$, c_v :

$$c_v = \frac{1}{n} \frac{dQ}{dt} \quad (16.7)$$

Calor molar a $P = \text{cte}$, c_p :

$$c_p = \frac{1}{n} \frac{dQ}{dt} \quad (16.8)$$

Las unidades del calor molar son: J/mol K; cal/mol K

5. Ley de Mayer

La diferencia entre los calores molares a P y V constantes para un gas ideal es igual a R:

$$c_p - c_v = R \quad (16.9)$$

(R: constante de los gases ideales $R = 2 \text{ cal/mol K} = 8,31 \text{ J/mol K}$)

Los gases de igual atomicidad tienen el mismo calor molar:

Gases monoatómicos	$c_p = \frac{5}{2} R$	$c_v = \frac{3}{2} R$	$\gamma = \frac{c_p}{c_v} = 1,6$
Gases diatómicos	$c_p = \frac{7}{2} R$	$c_v = \frac{5}{2} R$	$\gamma = \frac{c_p}{c_v} = 1,4$

16.2.2. Concepto de Temperatura

La sensación fisiológica de calor y frío es el origen del concepto primario de temperatura.

El verdadero concepto de temperatura se alcanza con la teoría molecular, según la cual esta magnitud mide la energía cinética media de las moléculas de una sustancia.

La temperatura es una magnitud física que se introduce a través del Principio Cero de la Termodinámica y del Segundo principio. El Principio Cero permite definir el concepto de temperatura empírica, como una propiedad común que tienen todos los sistemas que se encuentran en equilibrio térmico. El Segundo Principio permite introducir el concepto de temperatura termodinámica independiente de las propiedades de cualquier sustancia en particular.

16.3. Escalas Termométricas

16.3.1. Escalas de temperaturas relativas: Escalas Celsius y Fahrenheit

1. Escala Celsius

El astrónomo sueco Celsius (1701-1744) escogió como puntos fijos de su escala de temperaturas el punto de fusión del hielo y el punto de ebullición del agua a una presión de 1 atm, asignándoles los valores de 0 y 100 respectivamente, y dividió la distancia entre esos dos puntos en 100 partes iguales o grados. En esta escala las temperaturas inferiores a 0° son negativas y las superiores positivas.

2. Escala Fahrenheit

El físico alemán Fahrenheit (1686-1736) utilizó un termómetro de alcohol, asignando el 0 de su escala a la temperatura de una mezcla de hielo y sal y el 100 a la temperatura normal del hombre, correspondiendo en esta escala al 0°C el $+32^\circ\text{F}$

y al 100 °C el 212 °F, y dividiendo esta distancia en 180 grados. En esta escala las temperaturas inferiores a 0 °F son negativas y las superiores positivas.

$$\frac{t(^{\circ}\text{C}) - 0}{100} = \frac{t(^{\circ}\text{F}) - 32}{180} \rightarrow t(^{\circ}\text{C}) = \frac{5}{9}(t(^{\circ}\text{F}) - 32) \quad (16.10)$$

Ejercicio:

Expresar las temperaturas: a) 72 °F en grados Celsius ó centígrados. b) 25 °C en grados Fahrenheit.

$$\text{a) } t(^{\circ}\text{C}) = \frac{5}{9}(t(^{\circ}\text{F}) - 32) = \frac{5}{9}(72 - 32) = 22,2^{\circ}\text{F}$$

$$\text{b) } t(^{\circ}\text{C}) = \frac{9}{5}(t(^{\circ}\text{C}) + 32) = \frac{9}{5}(25 + 32) = 77^{\circ}\text{F}$$

16.3.2. Escalas de temperaturas absolutas: Escalas Kelvin y Rankine

1. Escala Kelvin

En la escala Kelvin se toma como punto de referencia el punto triple del agua y se le asigna el valor 273,16 K (equivalente a 0,01 °C).

Para pasar de la temperatura en $t(^{\circ}\text{C})$ a la temperatura medida en $T(\text{K})$:

$$T(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273,16 \quad (16.11)$$

2. Escala Rankine

La escala Rankine es la escala absoluta del sistema inglés, el cero absoluto en esta escala está 459,67 °F por debajo del punto de fusión del hielo.

$$T(\text{R}) = t(^{\circ}\text{F}) + 459,67 \quad (16.12)$$

16.4. Dilatación de sólidos, líquidos y gases

16.4.1. Dilatación de sólidos

Es un hecho experimental que, con muy pocas excepciones, todos los cuerpos se dilatan al calentarse. En los sólidos pueden darse tres tipos de dilataciones, denominadas, dilatación lineal, superficial y cúbica.

1. Dilatación lineal

Supongamos un sólido en forma de barra y se mide su longitud l , a una temperatura t . Al variar la temperatura en un Δt , la variación de longitud Δl es proporcional a la longitud inicial de la varilla l , y al incremento de temperatura Δt .

$$\Delta l = \alpha_L l \Delta t \quad (16.13)$$

siendo α_L el coeficiente de dilatación lineal, que representa el alargamiento que experimenta una barra de longitud inicial l al aumentar su temperatura un grado.

Las unidades de α_L son: $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ó K^{-1}

$$\alpha_L = \frac{1}{l} \frac{dl}{dt} \quad (16.14)$$

$$dl = \alpha_L l dt \quad (16.15)$$

Integrando esta ecuación, en un intervalo de temperatura en el que $\alpha_L = \text{cte}$

$$l_t = l_0 (1 + \alpha_L (t - t_0)) \quad (16.16)$$

Ejercicio:

Calcular la longitud que tendrá a 150°C una varilla de hierro que a 0°C tiene una longitud de 3 m.

Coeficiente de dilatación lineal: $\alpha_L = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

De la Ecuación 16,16:

$$l_{150} = l_0(1 + \alpha_L(t - t_0)) \rightarrow l_{150} = 3(1 + 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 150) = 3,0054 \text{ m}$$

2. Dilatación superficial

Si tenemos una superficie S , a una temperatura t , al variar la temperatura en un Δt , la variación de superficie ΔS es proporcional a la superficie inicial S , y al incremento de temperatura Δt .

$$\Delta S = \alpha_s S \Delta t \quad (16.17)$$

Siendo α_s el coeficiente de dilatación superficial, que representa la variación relativa de superficie por variación de temperatura.

Las unidades de α_s son: $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ó K^{-1}

$$\alpha_s = \frac{1}{S} \frac{dS}{dt} \quad (16.18)$$

$$dS = \alpha_S S dt \quad (16.19)$$

Integrando esta ecuación, en un intervalo de temperatura en el que $\alpha_S = \text{cte}$

$$S_t = S_0 (1 + \alpha_S (t - t_0)) \quad (16.20)$$

La relación entre los coeficientes de dilatación cúbica y lineal es:

$$\alpha_S = 2 \alpha_L \quad (16.21)$$

3. Dilatación cúbica

Si un cubo de arista l_0 , a una temperatura t_0 , se calienta hasta una temperatura t , la arista del cubo aumenta su longitud hasta l_t , y por tanto el nuevo volumen será \mathcal{V}_t . La variación de volumen que experimenta el cubo es:

$$\Delta \mathcal{V} = \alpha_V \mathcal{V} \Delta t \quad (16.22)$$

Siendo α_V el coeficiente de dilatación cúbica, que representa la variación relativa de volumen que experimenta el cubo por variación de temperatura.

Las unidades de α_V son: $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ó K^{-1}

$$\alpha_V = \frac{1}{\mathcal{V}} \frac{d\mathcal{V}}{dt} \quad (16.23)$$

$$d\mathcal{V} = \alpha_V \mathcal{V} dt \quad (16.24)$$

Integrando esta ecuación, en un intervalo de temperatura en el que $\alpha_V = \text{cte}$

$$\mathcal{V}_t = \mathcal{V}_0 (1 + \alpha_V (t - t_0)) \quad (16.25)$$

La relación entre los coeficientes de dilatación cúbica y lineal es:

$$\alpha_V = 3 \alpha_L \quad (16.26)$$

16.4.2. Dilatación de líquidos

Los líquidos se dilatan más que los sólidos, y sólo presentan dilatación cúbica. La determinación de la dilatación térmica de un líquido presenta el problema de la que sufre simultáneamente el recipiente sólido que lo contiene. En los líquidos hay que distinguir dos dilataciones: la real o absoluta, y la aparente dentro de la vasija que los contiene.

$$\mathcal{V}_t = \mathcal{V}_0 (1 + K_{real} t) \quad (16.27)$$

siendo \mathcal{V}_t el volumen real ocupado por el líquido, \mathcal{V}_0 el volumen inicial, y K_{real} el coeficiente de dilatación cúbica real del líquido.

La medida de \mathcal{V}_t presenta dificultades porque la vasija experimenta a su vez cambios de volumen.

El volumen final \mathcal{V}' es:

$$\mathcal{V}' = \mathcal{V}_0 (1 + K_a t) \quad (16.28)$$

Siendo K_a el coeficiente de dilatación aparente del líquido. El volumen final \mathcal{V}_t debería ser igual a \mathcal{V}' , pero no es así porque se dilata también la vasija que contiene el líquido, y si K_v es su coeficiente de dilatación se tiene:

$$\mathcal{V}_t = \mathcal{V}_0 (1 + K_a t) (1 + K_v t) \approx \mathcal{V}_0 [1 + (K_a + K_v) t] \quad (16.29)$$

Comparando esta ecuación con la expresión 16.27, se obtiene que la relación entre los coeficientes dilatación es:

$$K_{real} = K_a + K_v \quad (16.30)$$

16.4.3. Dilatación de gases

Los gases se dilatan más que los sólidos y líquidos. Al aumentar la temperatura pueden aumentar no sólo el volumen sino también la presión. Por eso consideramos dos casos:

1. Dilatación a $P = \text{cte}$

1ª ley de Gay-Lussac: A $P = \text{cte}$ si la temperatura aumenta un grado todos los gases se dilatan una cantidad constante, que es igual a $1/273$ de su volumen a 0°C .

$$V_t = V_0 (1 + \alpha_V t) = V_0 \left(1 + \frac{1}{273} t\right) = V_0 \left(\frac{273 + t}{273}\right) = V_0 \left(\frac{T}{T_0}\right) \quad (16.31)$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{T}{T_0} \quad (16.32)$$

2. Dilatación a $\mathcal{V} = \text{cte}$

2ª ley de Gay-Lussac: A $\mathcal{V} = \text{cte}$ si la temperatura aumenta un grado todos los gases se dilatan una cantidad constante, que es igual a $1/273$ de su volumen a 0°C .

$$P_t = P_0 (1 + \alpha_P t) = P_0 \left(1 + \frac{1}{273} t\right) = P_0 \left(\frac{273 + t}{273}\right) = P_0 \left(\frac{T}{T_0}\right) \quad (16.33)$$

$$\frac{P}{P_0} = \frac{T}{T_0} \quad (16.34)$$

16.5. Ley de los gases ideales

16.5.1. Ley de Boyle-Mariotte

Si una determinada masa de gas se comprime ó dilata a temperatura constante el producto de la presión P , por el volumen V , permanece constante.

$$P\mathcal{V} = \text{cte}$$

16.5.2. Ecuación del gas ideal

Los gases ideales cumplen las leyes de Boyle-Mariotte y Gay-Lussac, en condiciones ordinarias de presión y temperatura. Un gas real se aproxima al estado ideal a bajas presiones y altas temperaturas.

La ecuación de estado de un gas ideal:

$$P\mathcal{V} = nRT \quad (16.35)$$

Donde P es la presión, \mathcal{V} el volumen, T la temperatura absoluta del gas, n el número de moles y R la constante de los gases ideales.

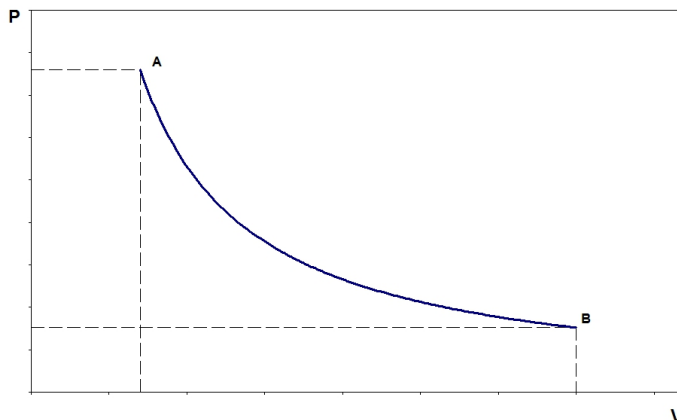


Figura 16.1: Ley de Boyle-Mariotte

$$R = 0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol K}} = 2 \frac{\text{cal}}{\text{mol}}$$

1^{er} Ejercicio:

Un recipiente de 10 dm^3 contiene 4 moles de un gas ideal a una temperatura de 17°C . Calcular la presión del gas:

$$PV = nRT$$

$$P = \frac{nRT}{V} = \frac{4 \cdot 8,31 \cdot 290}{10 \cdot 10^{-3}} = 9,6 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

2^o Ejercicio:

Un gas ideal se encuentra a una temperatura de $18,5^\circ\text{C}$, con un volumen inicial de 100 L , y manteniendo la presión constante, se eleva la temperatura a 27°C . Calcular el volumen final del gas:

$$P_1 V_1 = n R T_1$$

$$P_2 V_2 = n R T_2$$

Dividiendo las dos ecuaciones, como la presión es constante: $P_1 = P_2$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \rightarrow \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \rightarrow V_2 = \frac{T_2}{T_1} V_1 = \frac{300}{291,5} 10^{-1} = 0,103 \text{ m}^3 = 103 \text{ L}$$