



Física General II

Guía N°3: Termometría y Dilatación Térmica

Problema 1: Históricamente se ha definido de manera empírica la temperatura θ a partir de una magnitud termométrica x experimentalmente accesible (por ejemplo, la altura de una columna de mercurio dentro de un capilar). Esta definición se ha efectuado en general de dos maneras diferentes:

i) A partir de dos puntos fijos (x_1, x_2) , a los cuales se les asignan arbitrariamente determinados valores en la escala termométrica que se está definiendo (θ_1, θ_2) . Luego, se establece “a priori” una relación lineal entre la magnitud termométrica medida y la temperatura ($\theta = Ax + B$), utilizando los puntos (x_1, θ_1) y (x_2, θ_2) .

ii) A partir de un único punto fijo (x_0, θ_0) y estableciendo “a priori” que se verifica la siguiente relación: $x/x_0 = \theta/\theta_0$.

Por ejemplo, cuando se considera la presión p de un gas (en condiciones próximas a las ideales) a volumen constante como variable termométrica x , *experimentalmente* se encuentra que la escala de temperatura θ definida según (ii) utilizando el punto triple del agua, es tal que, independientemente del gas usado, luego las lecturas coinciden en todos los termómetros en otros puntos fijos.

a) Determinar los valores de las constantes A , B y θ_i cuando ambas definiciones se aplican en la construcción de una escala termométrica en particular.

b) Utilizando la siguiente tabla, escribir las conversiones entre todos los posibles pares de escalas.

	°C	°F	°Ra	K
T de fusión del hielo	0	32	492	273
T de evaporación del agua	100	212	672	373

Problema 2: Una termocupla o termopar consiste en la unión de dos alambres de metales diferentes como ser hierro y cobre o cobre y constantán. Al calentar el punto de unión o soldadura se produce una fuerza electromotriz o fem (o diferencia de potencial eléctrico). Se observa experimentalmente que dicha fem cambia al cambiar la temperatura de la unión. La fem generada depende de la particular combinación de metales que forman la unión, y para su medición se requiere de un instrumento denominado voltímetro. Una medición burda de la temperatura puede lograrse conectando los extremos libres de los alambres de diferentes metales directamente al instrumento de medición. Sin embargo, la medición es más confiable cuando se construye una doble unión, por

ejemplo cobre-constantán-cobre, y se conectan al instrumento los extremos de cobre, mientras que una de las uniones se introduce en un baño de hielo fundente (punta fría o de referencia). Cuando una termocupla se mantiene con su punta de referencia a la temperatura de fusión del hielo y la punta de medición a la temperatura T (medida en la escala Celsius) se observa que la fem E (expresada en voltios V) es una función cuadrática de la temperatura:

$$E = \alpha T + \beta T^2, \quad \text{con } \alpha = 0,2 \text{ mV}/^\circ\text{C}, \quad \beta = 5 \times 10^{-4} \text{ mV}/^\circ\text{C}^2.$$

- a) Si la fem E es la propiedad termométrica que permite definir la escala de temperaturas θ a través de una relación lineal entre θ y E , $\theta = aE + b$, y se considera que la temperatura de fusión del hielo se corresponde con $\theta = 0$ y la temperatura de ebullición del agua con $\theta = 100$; determinar los valores de a y b .
- b) Calcular los valores de θ cuando la temperatura medida en la escala Celsius es -100°C , 0°C , 100°C , 200°C , 300°C , 400°C y 500°C .
- c) Graficar los puntos del item anterior e interpolar entre ellos con una línea continua.

Problema 3: La resistencia eléctrica de los alambres metálicos y otros conductores también depende de la temperatura. La resistencia de un termómetro de resistencia de platino en el punto de fusión del hielo es $10,00 \Omega$ y en el punto de ebullición del agua es $13,86 \Omega$. La presión ejercida por el gas en un termómetro de helio a volumen constante en el punto de fusión del hielo es 1000 mm de Hg , y en el punto de ebullición del agua es 1366 mm de Hg . Cuando ambos termómetros se introducen en un recipiente que contiene un determinado líquido, la resistencia del termómetro de platino resulta $11,59 \Omega$ y la presión del termómetro de helio es 1149 mm de Hg .

Calcular la temperatura del líquido (en grados Celsius) en la escala del termómetro de resistencia de platino y en la del termómetro de gas.

Problema 4: Suponga que alrededor de la tierra se construye un aro de acero que se ajusta exactamente al ecuador cuando la temperatura del aro es de 20°C . Si el coeficiente de dilatación térmica lineal del acero es $11 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ y se supone que el radio de la tierra en el ecuador es igual a 6000 Km , ¿cuál será la distancia entre el aro y la tierra, si la temperatura del aro se incrementa en 1°C (sin modificar la temperatura de la tierra)?

Problema 5: Un cable de acero de 130 cm de largo y $1,1 \text{ mm}$ de diámetro es calentado a una temperatura de 830°C . Manteniéndolo a dicha temperatura, se lo fija sin tensar entre dos soportes rígidos. Calcular la tensión a la que estará sometido el cable cuando la temperatura del mismo desciende a 20°C . Recordar que la tensión que soporta un cable de longitud L y sección transversal A , cuando es estirado una longitud ΔL , está dada por $T = E A \Delta L / L$, donde $E = 200 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ es el módulo de Young del acero.

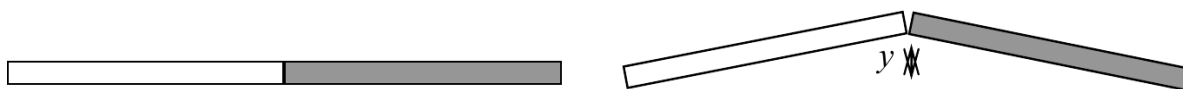
Problema 6: Un reloj de péndulo de acero funciona precisamente a una determinada temperatura.

- a) ¿Cuál es la máxima variación de temperatura admisible si el reloj no debe adelantar ni retrasar más de 1 segundo al día? ¿Depende la respuesta del período del péndulo?
- b) Un aumento de temperatura, ¿ocasionará un adelanto o un atraso del reloj?

Problema 7: Para evitar que se desfase la hora de un reloj de péndulo, debe mantenerse la longitud del péndulo cuando la temperatura del mismo varía, al menos dentro de un cierto rango. Para lograr esto se construye el péndulo uniendo dos barras de materiales diferentes cuyas dimensiones a una dada temperatura son L_A y L_B , respectivamente. Estos materiales tienen la particularidad de que el coeficiente de dilatación lineal del material A es positivo ($\alpha_A > 0$) y el coeficiente de dilatación lineal del material B es negativo ($\alpha_B < 0$). Determinar la relación que debe existir entre L_A y L_B para que pueda lograrse el objetivo.

Problema 8: Un frasco de vidrio cuyo volumen es exactamente 1000 cm^3 a 0°C está lleno completamente con mercurio en equilibrio a dicha temperatura. Conociendo que el coeficiente de dilatación volumétrica del mercurio es $18 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ y el del vidrio $1,2 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, determine qué cantidad de mercurio se derrama o falta para llenar el frasco cuando se eleva conjuntamente a 100°C la temperatura del frasco y del mercurio.

Problema 9: Dos barras de concreto cuya longitud total es de 250 m se colocan alineadas en contacto, fijando los extremos libres para que no deslicen, tal como se esquematiza en la figura. Si se produce un aumento de temperatura de 20°C , encontrar la altura y a la cual los extremos en contacto se elevan, siendo que el coeficiente de expansión lineal del concreto es $12 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.



Problema 10: Se tiene que a 20°C las longitudes de una barra de cobre y otra de acero son L_c y L_a respectivamente. Cuando las barras se calientan o enfrían se observa que la diferencia Δ_L entre sus longitudes se mantiene igual a 10 cm, independientemente de la temperatura.

- a) Mediante un razonamiento indicar cuál de las barras tiene mayor longitud.
- b) Determinar analíticamente las longitudes de las barras L_c y L_a a 20°C .

Datos: $\alpha_c = 17 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $\alpha_a = 11 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Problema 11: En general los líquidos aumentan de volumen al incrementarse su temperatura y su coeficiente de expansión volumétrica es casi 10 veces más grande que el de los sólidos. El agua es una excepción a esta regla ya que cuando su temperatura aumenta de 0°C a 4°C ésta se contrae, es decir que su densidad aumenta. Por encima de 4°C el agua se expande conforme aumenta la temperatura. Explicar cómo este comportamiento determina que en los inviernos de las regiones

frías el agua en los lagos empieza a congelarse por la superficie.

Problema 12: Considerar un termómetro de mercurio en vidrio. Suponer que a 0°C todo el mercurio está contenido en el bulbo de vidrio de volumen V_0 y lo llena exactamente. Calcular la longitud de la columna de mercurio en el capilar, si la temperatura es positiva, $t^\circ\text{C}$, siendo λ el coeficiente de dilatación lineal del vidrio y γ el coeficiente de dilatación volumétrica del mercurio. Despreciar la variación con la temperatura de la sección transversal del capilar de vidrio que se asume igual a A_0 .

Problema 13: Se practica un orificio circular de 1 cm de diámetro en una lámina de latón que se encuentra a 20°C . Si el coeficiente de dilatación lineal del latón es $\alpha = 1,9 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, ¿cuál es el diámetro del orificio cuando la temperatura de la lámina se aumenta hasta 200°C ?

Problema 14: Un par bimetálico consiste en dos tiras de diferentes metales roblonadas entre sí a una dada temperatura T_0 de referencia, de forma que sus extremos coinciden. Al calentar el par, el vínculo impuesto por el contacto lleva a las láminas a curvarse. Este fenómeno se lo utiliza para la construcción de termostatos: Se aprovecha la curvatura de la lámina para accionar un interruptor eléctrico o bien una válvula.

Suponer que el par se construye con dos metales cuyos coeficientes de dilatación lineal son α_1 y α_2 ($\alpha_1 > \alpha_2$) y sus espesores son d_1 y d_2 , respectivamente. Calcular el radio de curvatura del par cuando la temperatura del mismo se incrementa en ΔT respecto de la temperatura T_0 .

Problema 15: El coeficiente de dilatación lineal suele depender ligeramente de la temperatura. Por ejemplo, para el cobre (Cu) y el aluminio (Al) se obtiene experimentalmente: $\alpha(t) = a + bt$, donde t es la temperatura en la escala Celsius y

$$\begin{aligned} a_{\text{Cu}} &= 16 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}, & b_{\text{Cu}} &= 0,005 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-2} \\ a_{\text{Al}} &= 24 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}, & b_{\text{Al}} &= 0,01 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-2} \end{aligned}$$

Suponer que se utiliza al cobre y al aluminio como sustancias termométricas para la construcción de sendos termómetros correspondientes a la escala Celsius. Al comparar las temperaturas medidas con estos termómetros y la medida con un termómetro de gas ideal, indicar

- ¿en qué puntos coinciden las lecturas de los termómetros?
- ¿las lecturas de los termómetros de cobre y aluminio son mayores o menores que la del termómetro ideal en el rango $(0 - 100)^\circ\text{C}$?
- ¿en qué rangos de temperatura el termómetro de aluminio indica temperaturas mayores que el de cobre?

Problema 2: Calibración de una termocupla

Usando la termocupla como termómetro para definir la escala Celsius, se tiene que $\theta = aE + b$ y en el punto fijo de agua fundente ($\theta = 0^\circ\text{C}$), por diseño experimental $E = 0\text{ mV}$, por lo tanto $b = 0$; mientras que usando el punto fijo de agua en ebullición ($\theta = 100^\circ\text{C}$) se obtiene $a = 100/E(100)$.

Calibrando la escala del voltímetro con un termómetro de gas (T), se obtiene:

$$E = \alpha T + \beta T^2, \quad \text{con } \alpha = 0,2\text{ mV}/^\circ\text{C}, \quad \beta = 5 \times 10^{-4}\text{ mV}/^\circ\text{C}^2.$$

Por lo tanto, la relación entre las temperaturas, $\theta(T)$, resulta:

$$\theta(T) = \frac{100}{E(100)} E(T) = 4 [^\circ\text{C}/\text{mV}] E(T).$$

