

Termometría - sensores de temperatura

Objetivo

En este experimento queremos estudiar las características básicas de algunos termómetros usuales y realizar una calibración de alguno de ellos. También se pretende estudiar la dependencia de la presión con la temperatura para un gas ideal y aprovechar esta propiedad para construir un termómetro de gas.

Introducción

A menudo la temperatura se define como aquella propiedad que miden los termómetros. También se introduce la temperatura basándose en alguna propiedad termométrica, por ejemplo la expansión de un líquido, un gas, la resistencia de un conductor, la tensión eléctrica generada por un par termoeléctrico (termocupla), etc. En la práctica existen numerosos tipos de sensores de temperatura o termómetros que, según la aplicación específica, pueden ser los más adecuados. En la tabla siguiente se indican algunos tipos de termómetros y sensores de temperatura usuales junto a algunas de sus características más notables.

Tipo de termómetro	Rango Nominal [°C]	Costo	Linealidad	Características Notables
Termómetro de mercurio	-10 a 300	Bajo	Buena	Simple, lento y de lectura manual.
Termorresistencia (Pt, Ni, etc.) RTD (Resistance Temperature Detectors)	-150 a 600	Medio	Alta	Exactitud
Termocupla	-150 a 1500	Bajo	Alta	Requiere referencia de temperatura.
Termistor	-15 a 115	Medio	No lineal	Muy sensible.
Integrado Lineal		Medio	Muy alta	Fácil conexión a sistemas de toma de datos.
Gas	-20 a 100	Medio	Buena	No muy versátil
Diodos	-200 a 50	Bajo	Alta	Bajo costo

Una lista más completa puede encontrarse en las referencias 1y 2. En los experimentos propuestos se busca estudiar y calibrar alguno de ellos.

Actividad 1

Experimento para estudiar la variación de resistencia de un metal con temperatura

Una posible disposición experimental para estudiar la variación de la resistencia eléctrica, R , con la temperatura, T , se muestra esquemáticamente en la Figura 1. Consiste en colocar la resistencia en un medio líquido poco o no conductor (por ejemplo aceite de transformador o agua destilada, la idea es que la resistencia a medir sea mucho menor que la resistencia del medio líquido) que puede calentarse usando un calefactor y algún dispositivo para medir la temperatura (un termómetro, termocupla, etc.). El baño líquido sirve para uniformizar la temperatura y dar más inercia térmica al sistema. Un modo simple para medir R consiste en usar directamente un óhmetro.

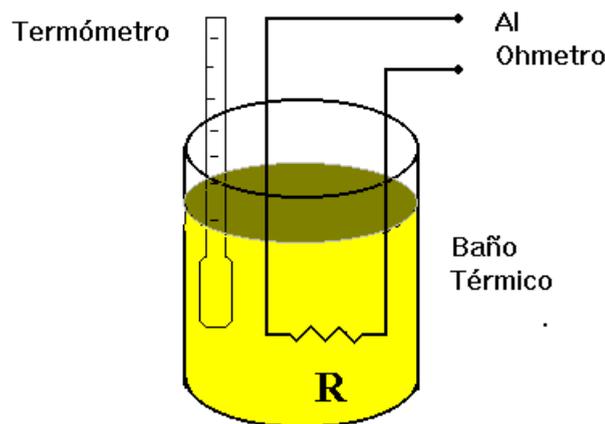


Figura 1. Dispositivo experimental para medir la variación de la resistencia con la temperatura. El baño térmico (termostato) consiste en un recipiente con un líquido de poca conductividad eléctrica. Se requiere de un termómetro y un multímetro (en modo óhmetro) para medir la resistencia R como función de la temperatura.

Estudie experimentalmente la variación de R con T para uno de los dos elementos siguientes:

- Metal puro:** Realice este estudio para algún metal puro, por ejemplo cobre. Para ellos construya un arrollamiento de unos 5 a 10 m de alambre esmaltado de diámetro entre 0.1 y 0.2 mm. Si lo prefiere puede usar un RTD (Resistance Temperature Detector), que son resistencias de Pt de valor bien conocido y cuyo

coeficiente de variación de la resistencia con la temperatura está dado por el fabricante. Para rangos no muy grande de temperatura la variación de R con T es lineal:

$$R(T) = R_0 \cdot (1 - \mathbf{a} \cdot (T - T_0)) \quad (1)$$

Para esta experimento se puede usar un óhmetro para medir la resistencia y un termómetro convencional, bien calibrado, para medir la temperatura.

- Grafique la resistencia del alambre (o RDT) como función de la temperatura.
- Obtenga el coeficiente de variación de R con la temperatura, \mathbf{a} , y compare su valor con los de tabla.

- b) **Termistor:** Estos dispositivos semiconductores son muy usados en la práctica para medir temperaturas por su bajo costo y sensibilidad. La propiedad termométrica de los mismos es la resistencia eléctrica. Sin embargo la dependencia con la temperatura no es simple. Una expresión que describe bien a alguno de estos componentes es:

$$R(T) = R(T_0) \cdot \exp\left(\mathbf{b} \cdot \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right]\right) = R_0 \cdot \exp\left(\frac{E_g}{k} \cdot \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right]\right) \quad (2)$$

Donde T y T_0 son las temperaturas absolutas, $R(T_0)=R_0$ la resistencia a T_0 , \mathbf{b} y E_g son constantes a determinar y k la constante universal de Boltzmann.

Elija un termistor de no muy alta resistencia, de modo que al sumergirlo en agua su valor no sea afectado por la resistencia del agua. Un termistor de $R(T_0) < 5$ k Ω puede ser adecuado.

- Grafique la resistencia del termistor como función de la temperatura y el cociente $R(T)/R_0$ versus $1/T$ en escala semilogarítmica.
- Obtenga el coeficiente de variación de R con la temperatura, \mathbf{b} , e indique si la expresión (2) da cuenta adecuadamente de sus resultados experimentales.

Actividad 2

Calibración de un termómetro de gas

Para este experimento, se hace uso de un recipiente de un 1/4 litro aproximadamente, estanco y conectado a través de un tubo flexible a un sensor de presión. La señal de presión puede leerse con un multímetro o conectando el sensor a un sistema de adquisición de datos por computadora. Se requiere además un baño térmico, por ejemplo un recipiente con agua que lo cubra totalmente, de modo que cuando el recipiente de gas llegue al equilibrio, su temperatura sea la del agua.

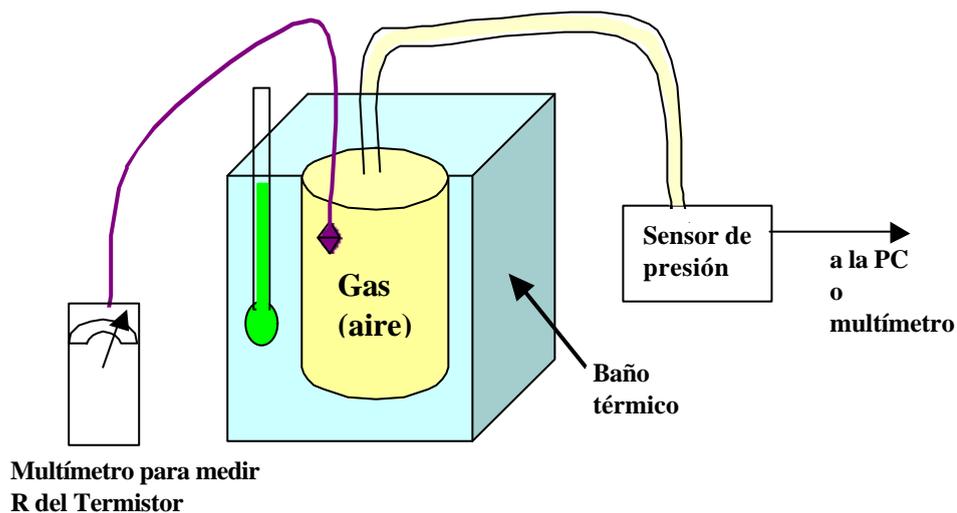


Figura 2. Diagrama esquemático de un termómetro de gas. El baño térmico en un recipiente con agua, cuya temperatura se puede variar. El sensor de presión mide este parámetro y lo transfiere a la computadora.

El recipiente de gas es deseable que sea de un metal de buena conductividad térmica, de modo de lograr condiciones de equilibrio rápidamente. En el seno del gas se coloca un

termistor para medir la temperatura del gas. Para evitar la excesiva presencia de vapor en el gas, es conveniente calentar el tubo de gas para que se vaya la humedad.

- Usando un termómetro convencional calibrado en el agua, realice una calibración del termistor en el seno del gas. Obtenga una expresión que le permita calcular T conociendo R . Realice esta calibración usando tres puntos (como mínimo) y suponga que la relación entre R y T viene dada por (2).
- Grafique la presión en el tubo versus la temperatura del gas. ¿Siguen su gas la ecuación de estado de los gases ideales?

Actividad 3

Calibración de un termómetro basado en una termocupla

Una termocupla básicamente es un transductor de temperaturas, es decir un dispositivo que convierte una magnitud física en una señal eléctrica. Está constituida por dos alambres metálicos diferentes que, unidos, desarrollan una diferencia de potencial eléctrica entre sus extremos libres que es aproximadamente proporcional a la diferencia de temperaturas entre estas puntas y la unión. Se suelen fabricar con metales puros o aleaciones (caso más común) y la característica más notable es que son empleadas para medir temperaturas en un rango notablemente grande comparadas con otros termómetros. Valores típicos del rango están entre 70 K y 1700 K, pudiéndose llegar en algunas circunstancias con aleaciones especiales hasta los 2000 K.

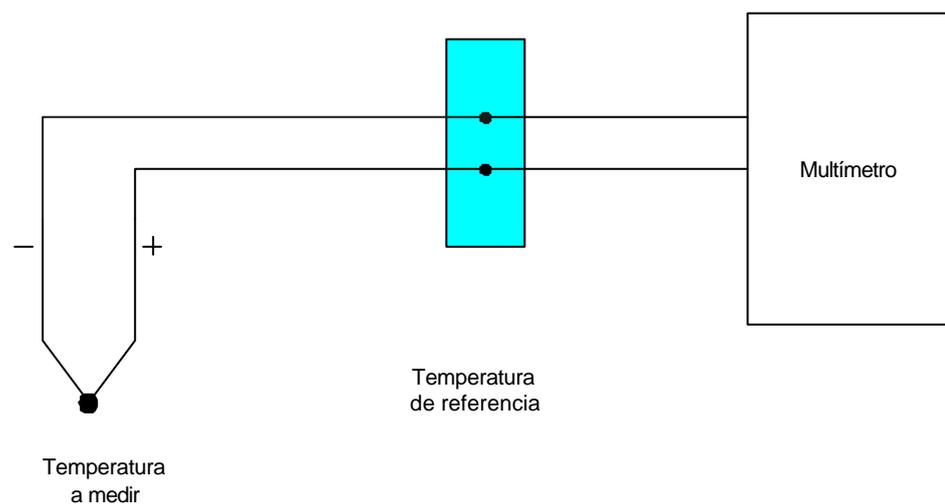


Figura 3. Diagrama esquemático de una termocupla, incluyendo el instrumento de medición y la temperatura de referencia.

Una termocupla, en rigor, mide diferencias de temperaturas y no temperaturas absolutas. Esto hace necesario el uso de una temperatura de referencia, por lo que suele emplearse un baño de agua con hielo (0° C). El empleo de termocuplas para medir temperaturas está fundamentado en el efecto Seebeck, que a su vez es una combinación de dos efectos: el Thompson y el Peltier.

- Grafique la tensión generada por el par como función de la temperatura.
- Obtenga el coeficiente de variación de la tensión con la temperatura y compare los valores de tablas.

Nota: Para calibraciones más precisas se usan puntos fijos de temperaturas definidos por los puntos de fusión de metales de alta pureza. El punto $T=273.15$ K se obtiene en una celda de punto triple del agua (ver Ref. [7]). La elección del tipo de termocupla a usar en una dada aplicación depende tanto del medio en el que se va a usar (no debe atacar a la termocupla, ni ésta contaminar el medio) como del rango de temperaturas.



Actividad 4

Termómetro de diodo

Un diodo es un componente electrónico muy usual y económico. La característica básica de un diodo es que deja pasar corriente eléctrica en una sola dirección solamente. Cuando por un diodo pasa una corriente I , la diferencia de potencial entre sus bornes viene dada por:

$$I = I_0 \cdot \exp\left(-\frac{e \cdot V_0}{k \cdot T}\right) \cdot \left[\exp\left(\frac{e \cdot V}{k \cdot T}\right) - 1\right] \approx I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{e \cdot (V - V_0)}{k \cdot T}\right)\right] \quad (3)$$

En esta expresión I_0 y V_0 son dos constantes, k es la constante de Boltzmann. La última expresión vale cuando $e \cdot V \gg k \cdot T$. En este último caso vemos que si I (la corriente que pasa por el diodo es constante, V deberá ser proporcional a T , o sea:

$$V = V_0 - b \cdot T, \quad \text{si } I = \text{constante} \quad (4)$$

Un modo de lograr esto ($I = \text{constante}$) es usar una fuente de corriente o simplemente colocar una resistencia en serie varios órdenes mayor que la resistencia del diodo. En la Figura 4 se indica esquemáticamente el circuito que debe usarse. Una corriente entre 10^{-2} mA a 1 mA es adecuada.

- Grafique la tensión V como función de la temperatura para al menos dos valores de la corriente que pasa por el diodo.

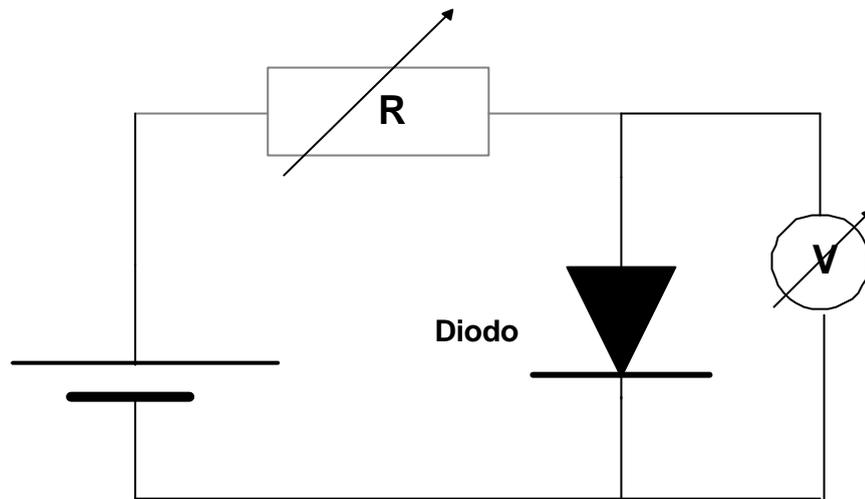


Figura 4. Diagrama esquemático del circuito para medir la variación del voltaje de un diodo con la temperatura.

Actividad 5

Termómetro basado en un circuito integrado.

Varios fabricantes han producido circuitos integrados que son muy adecuados para medir temperaturas. En particular estos circuitos son muy adecuados para medir temperaturas cuando se usa un sistema de toma de datos conectado en una computadora. Estos circuitos, por lo general tienen tres patas: tierra, alimentación (V_c entre 5 a 15V) y una salida, similar a como se muestra en la Figura 5. Estos circuitos producen una señal muy lineal y calibrada. Por lo general producen entre 1 y 10 mV/K. Existen integrados con calibraciones para diversos sistemas de unidades. El rango usual de estos termómetros está típicamente entre los -10°C y 120°C .

- Grafique la tensión V de uno de estos termómetros integrados como función de la temperatura. Puede usar por ejemplo el LM35, AD590 o el que encuentre disponible en el mercado local.
- Usando dos recipientes de agua (uno frío y otro caliente estudie la constante de tiempo del integrado).

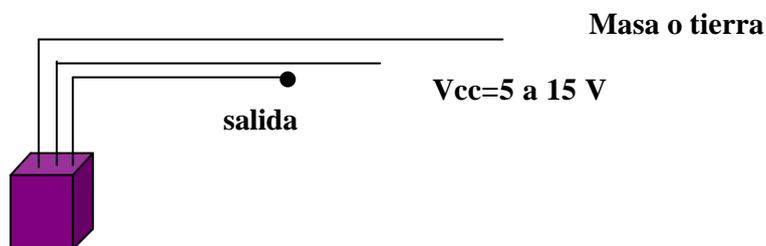


Figura 5. Termómetro de estado sólido basado en un circuito integrado lineal.

Bibliografía

1. Sitio de Internet de la compañía Omega: <http://www.omega.com> y la compañía Lake Shore: <http://www.lakeshore.com>
2. *Interfacing sensors to the IBM PC*, W. J. Topkins and J. G. Webster, Prentice Hall, N.J. (1988).
3. *Trabajos prácticos de física*, J. E. Fernández y E. Galloni, Editorial Nigar, Buenos Aires (1968).
4. *Response time of a thermometer*, V. Thomsen, Phys. Teacher **36**, 540 (1998).

5. *Resistance of a wire as a function of temperature*, D. Henry, Phys. Teacher **33**, 96 (Feb.1995).
6. *The thermometric properties of a diode*, F. W. Inman and D. Wooddruff, Phys. Teach. **33** 120 (1995).
7. *Tackling the triple point*, Shawn Carlson, Scientific American, pág. 78, (Feb. 1999).