Introducción a la Física Experimental
Ejemplo de Informe

Calibrado de un termistor

J. Güémez
Comp. G. Alfonso
GRUPO 2B (Prof. R. Valiente)

Noviembre 25, 2003

Resumen

Se ha calibrado un termistor de cubierta metálica, por comparación con un termómetro digital, obteniéndose las constantes características del mismo $A = (9,7 \pm 0,1)10^{-5}$ kΩ y $B = (4120 \pm 60)$ K. Se determinó la temperatura de una mezcla frigorífica, obteniéndose la temperatura $t = -11,8 \pm 0,8$ °C.

Introducción

En este experimento se han determinado las constantes características de un termistor de cubierta metálica.

Para llevar a cabo esta calibración se utilizan las variaciones de temperatura de una masa de agua, medidas mediante un termómetro digital, y las correspondientes variaciones de la resistencia eléctrica del termistor mediante un multímetro digital.

Un termistor es un dispositivo basado en un material semiconductor. En los materiales conductores la resistencia eléctrica aumenta al aumentar la temperatura. En un termistor la resistencia eléctrica disminuye al aumentar la temperatura. La resistencia eléctrica de un termistor varía con la temperatura como

$$R = A \exp(B/T)\,, \tag{1}$$

donde T es la temperatura absoluta y A y B son las constantes características del termistor.

Procedimiento experimental

El extremo del termistor y el extremo del termómetro de referencia se introducen muy próximos en un vaso de precipitados que contiene inicialmente agua fría, obtenida de una mezcla agitada de agua y hielo. Posteriormente el agua se calienta con la ayuda de una placa calefactora. La temperatura se homogeiniza con un agitador magnético. A diferentes temperaturas del agua, se mide la resistencia eléctrica del termistor con un multímetro utilizado como ohmetro.

Como dato particulares de este experimento indicar que la transformación de grados Celsius, t, en kelvin, T, viene dada por

$$T = t + 273,15\,. \tag{2}$$

Resultados

$t/°\mathrm{C}$	$R/\mathrm{k}\Omega$	$R/\mathrm{k}\Omega$ (est.)
5,0	265,0	263,2
10,0	205,0	203,7
15,0	160,0	159,0
25,0	100,0	99,4
35,0	63,0	64,0
45,0	41,1	42,4
55,0	27,7	28,8
65,0	19,0	20,0
70,0	15,7	16,8
75,0	13,2	14,2
80,0	11,0	12,1

Tabla 1: Datos experimentales de la resistencia eléctrica, R, a diferentes temperaturas, t, para un termistor de cubierta metálica. Hubo que cambiar dos veces la posición del dial del multímetro debido a la importante variación del rango de variación de la resistencia. La tercera columna corresponde a los valores de la resistencia estimados R (est) después de haber tomado las cuatro primeras medidas experimentales. La estimación utilizada para obtener esta columna fue de $R = 1,3{\times}10^{-4}\exp(4040/T)$.

En la Tab. 1 se muestran los resultados experimentales obtenidos. Mientras se tomaban los primeros datos se hizo una estimación previa de las constantes características. Tomando $\ln R$ como ordenadas y $1/T$ como abscisas, las constantes A y B del termistor pueden estimarse como:

$$B \;=\; \frac{\ln 100.0 - \ln 205,0}{(1/273+25)-(1/273+10)} = 4040\,\mathrm{K};$$

$$A \;=\; \frac{205,0}{\exp(4040/273+10)} = 1,3{\times}10^{-4}\,\mathrm{k\Omega}\,. \tag{3}$$

Con este cálculo previo se obtuvieron las estimaciones que se muestran en la columna tercera, R (est), de la Tab. 1.

Una vez concluida la anterior toma de datos, se llevó a cabo el siguiente experimento. Agua enfriada mediante una mezcla frigorífica (mezcla de agua, hielo y sal común) se colocó en el vaso de precipitados y se midió la resistencia en las mismas condiciones que en la experiencia anterior. Se midió una resistencia de $R = 707$ kΩ. La temperatura medida con el termómetro digital fue de $t = -12,2$ °C.

Análisis

Puesto que la Ec. (1) indica que la representación gráfica de $\ln R$ frente a $1/T$ debe dar una línea recta de pendiente B, a partir de los datos de la Tab. 1 se construye la Tab. 2.

$T^{-1}{\times}10^3/\mathrm{K}^{-1}$	$\ln R/\mathrm{k\Omega}$
3,60	5,58
3,53	5,32
3,47	5,08
3,35	4,61
3,25	4,14
3,14	3,72
3,05	3,32
2,96	2,94
2,91	2,76
2,87	2,58
2,83	2,40

Tabla 2: Resultados obtenidos para $1/T$ y $\ln R$ a partir de los datos dados en la Tab. 1.

La estimación a partir de datos extremos de la Tab. 2, permite obtener

$$B = 10^3 \left[\frac{2,40-5,58}{2,83-3,60}\right] \approx (4130 \pm 40)\,\mathrm{K}\,. \tag{4}$$

Utilizando también datos de la Tab. 2,

$$A = 41,1\exp(-4130{\times}3,14{\times}10^{-3}) \approx (8,5 \pm 0,1){\times}10^{-5}\,\mathrm{k\Omega}\,, \tag{5}$$

El ajuste por mínimos cuadrados, Tab. 2, permite obtener

$$B = (4120 \pm 60)\,\mathrm{K};\ .(9,7 \pm 0,1){\times}10^{-5}\,\mathrm{k\Omega}\,, \tag{6}$$

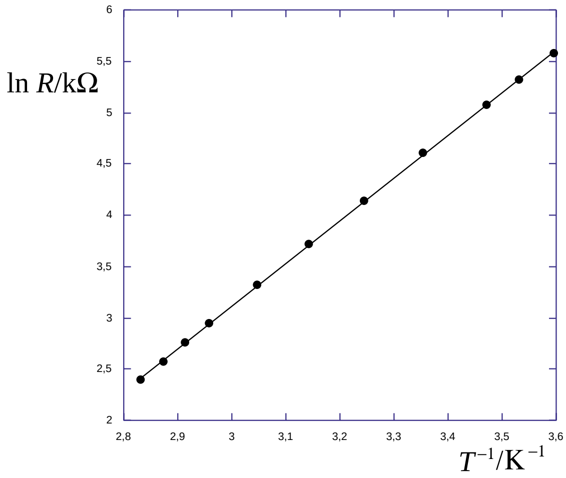

Figura 1: Representación gráfica de los datos del termistor dados en la Tab. 2. El ajuste por mínimos cuadrados del programa de ajuste proporciona los valores $B = 4164$ K y $A = 8,5{\times}10^{-5}$ kΩ como valores característicos del termistor.

En la Fig. 1 se muestra la representación gráfica de los datos para el termistor del logaritmo neperiano resistencia eléctrica frente al inverso de la temperatura absoluta.

En cuanto a la última experiencia, para el valor de la resistencia obtenida se se le asignaría una temperatura de

$$T^{-1} = \frac{\ln 707 - \ln A}{B} = 3,83{\times}10^{-3}\ \mathrm{K}^{-1}\, T = 261,3\,\mathrm{K}\,, \tag{7}$$

o $t = -11,8 \pm 0,8$ °C.

Discusión

El termistor estudiado se comporta según las teorías aceptadas. Indirectamente, esto indica que el procedimiento experimental empleado ha sido probablemente el adecuado.

Las estimaciónes de las constantes características del termistor proporcionan valores semejantes a las constantes características obtenidas mediante el ajuste por mínimos cuadrados.

Este termistor combinado con el multímetro de resolución 1 Ω no proporciona una adecuada resolución como termómetro, especialmente a bajas temperaturas. Se necesitaría un multímetro con precisión de 0,1 Ω para obtener una resolución semejante a la del termómetro digital.

Es interesante señalar la importancia del tiempo de respuesta del termistor a las variaciones de temperatura del agua para obtener resultados reproducibles, Ref. [1] y asignar temperaturas correctas.

Agradecimientos

Agradezco a mi compañero de laboratorio el haberme señalado el interés del artículo Ref. [1] en relación al experimento referido.

Referencias

[1] V. Thomsen, *Response time of a thermometer*, The Physics Teacher **36** (1998) 540 .

[2] E. McIldowie, *Introducing temperature scales*, Phys. Educ. **33** 368-372 (1998)

Apéndice. Cálculo de errores

Considerando que $\varepsilon(R) = \pm 0,1$ kΩ, y que $\varepsilon(T) = \pm 0,1$ K,

$$\varepsilon(B) \approx \frac{2,58 - 5,32}{10^{-6}(2,87 - 3,53)^2} \frac{2{\times}0,1}{(323)^2} = 12\,\mathrm{K}\,,$$

donde se ha despreciado el error de la resistencia.

$\varepsilon(\ln A) = -12{\times}3,5{\times}10^{-3} = -4,2{\times}10^{-2}; \varepsilon(A) = 4,2{\times}10^{-2}{\times}8,5{\times}10^{-5} = 4{\times}10^{-6}$

El error en la temperatura estimada será de Así,

$$\varepsilon(T) \approx \frac{\varepsilon(B)}{\ln 707 - \ln A} = 0,8 \text{ K}\,,$$

Ajuste por mínimos cuadrados

En la Tab. 2 se dan los datos intermedios necesarios para el ajuste por mínimos cuadrados obtenidos a partir de los datos de la Tab. 1.

A partir de los datos de la Tab. 2 se tiene que

$$\begin{aligned} B &= \frac{n\sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} = 4122 \text{ K}\,, \\ \ln A &= \overline{y} - a\overline{x} = -9,24; A = 9,71{\times}10^{-5} \text{ mV}\,. \end{aligned}$$

Los errores vienen dados por

$$\begin{aligned} \varepsilon(B) &= \sqrt{\frac{\sum(y_i - ax_i - b)^2}{(n-2)\sum(x_i - \overline{x})^2}} = 60 \text{ mV}^\circ\text{C}^{-1}\,, \\ \varepsilon(\ln A) &= \sqrt{\frac{\sum(y_i - ax_i - b)^2}{n(n-2)}} = 0,02;\ \ \varepsilon(A) = 0,1 \text{ mV} \end{aligned}$$

n	11	$\Sigma(x_i - \overline{x})^2$	$0{,}770{\times}10^{-3}$
$\overline{x}$	$3{,}178{\times}10^{-3}$	$\Sigma(\overline{y}_i - mx_i - b)^2$	$0{,}0228$
$\overline{y}$	$3{,}858$		
Σx_i	$34{,}962{\times}10^{-3}$		
Σy_i	$42{,}441$		
Σx_i^2	$111{,}9{\times}10^{-6}$		
$\Sigma x_i y_i$	$138{,}1{\times}10^{-3}$		
B	4160	$\varepsilon(m)$	60
A	$1{,}01{\times}10^{-4}$		

Tabla 3: Datos intermedios para el ajuste por mínimos cuadrados $\ln R = B/T + \ln A$, con $1/T \equiv x$ (K^{-1}) y $\ln R/k\Omega \equiv y$.