



Medición de resistencias a cuatro puntas o método de Kelvin

Física III, 2º cuatrimestre 2013, Miércoles 17:30-21:30

Ana Heidenreich – heidenreich.ac@gmail.com
Maximiliano Dalinger - maxidalinger@hotmail.com
Sabrina Nava – sabrinasnava@gmail.com

Resumen

En esta experiencia se utilizará el método de cuatro puntas para medir resistencias de pequeña magnitud. Por otra parte, se investigará el efecto que tiene la temperatura sobre la conducción eléctrica en el cobre.

Introducción

Para medir resistencias pequeñas utilizaremos el método de Kelvin. Como se muestra en la *figura II* se hace uso de dos circuitos vinculados (exterior e interior). Por el circuito exterior se hace circular la corriente mientras que por el circuito interior la corriente prácticamente no circula, debido a la alta resistencia que aporta el voltímetro. La tensión medida por el voltímetro será entonces:

$$V^+ = \varepsilon_1 + i^+ R - \varepsilon_2,$$

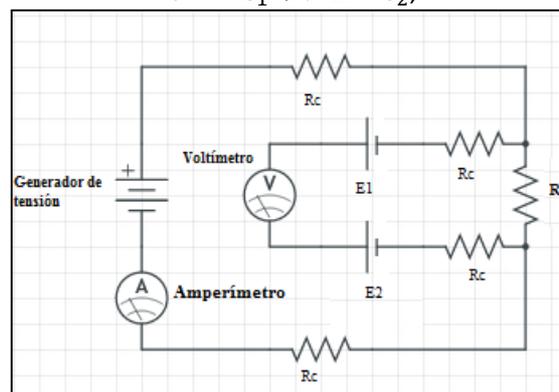


Figura II: Circuito utilizado en la primera experiencia, mejor conocido como el método de medición de resistencia de cuatro puntas. R_c son las resistencias de los cables. E_1 y E_2 son las tensiones generadas por los potenciales de contacto entre distintos metales. R es la resistencia de interés.

Donde cada ε representa el tensión de cada potencial de contacto en las uniones. El supra índice + indica que la corriente circula en sentido horario (el – indicará que sigue el sentido opuesto). Cuando se invierte la dirección de la corriente (cambiando la polaridad de la fuente de tensión), la tensión resultante es:

$$-V^- = \varepsilon_1 - i^- R - \varepsilon_2.$$

Restando las ecuaciones anteriores se obtiene:

$$V^+ + V^- = (i^+ + i^-)R.$$

Vale aclarar que los valores de tensión y corriente indicados en las ecuaciones anteriores son los valores absolutos de lo que se indica en los instrumentos de medición.

Entonces tomando la diferencia de los potenciales medidos, se puede anular el efecto que producen los potenciales de contacto:

$$R = \frac{V^+ + V^-}{i^+ + i^-} \quad \text{Ec 1}$$

La técnica de cuatro puntas o método de Kelvin, es uno de los métodos más utilizados para la determinación de resistividad o conductividad de una muestra.

Medición de la resistividad de una muestra de geometría simple:

Se tiene una muestra metálica en forma de alambre cilíndrico de diámetro ϕ y área de sección transversal $A = 2\pi\phi^2/4$. La diferencia de potencial entre dos puntos que se encuentran a una distancia L será:

$$\text{con } R = \rho \frac{L}{A} \quad \text{Ec 2}$$

$$\Delta V = i\rho \frac{L}{A} \quad \text{Ec 3}$$

Con la ecuación 1 y 2 se obtiene:

$$\rho = \frac{A \Delta V}{L i} = \frac{A V^+ + V^-}{L i^+ + i^-} \quad \text{Ec. 4}$$

Variación de la resistencia eléctrica con la temperatura:

Se puede ver que en un material metálico al aumentar la temperatura, los iones que lo forman vibran más alrededor de sus posiciones de equilibrio, lo que contribuye al incremento de la sección eficaz¹ σ_{ef} . y un consecuente aumento de la resistividad con el aumento de la temperatura. Para temperaturas no muy altas la variación de R con T en un conductor metálico es lineal:

$$\frac{R(T)}{R_0} = 1 + \alpha(T - T_0) \quad \text{Ec 5}$$

Con $R(T_0) = R_0$, α el coeficiente de variación de la resistencia con la temperatura, característico de la temperatura.

¹ Se define σ_{ef} la sección eficaz de choque entre los electrones contra los iones. Se supone que τ es inversamente proporcional a σ_{ef}

Procedimientos

Primera parte

1. Se ensambló el circuito de la figura II. Se utilizó una resistencia de un alambre de cobre, cuyo valor es muy pequeño.
2. Se varió el voltaje y la corriente, y mientras se apuntaban los datos en una tabla para su posterior análisis.
3. De dichos valores se obtuvieron la resistencia (R) y la resistividad (ρ) del cobre, y se los comparó con los tabulados.

Segunda parte

1. Se ensambló nuevamente el circuito de la figura II, y se sumergió la resistencia en agua caliente, tal cual se muestra en la figura III. La resistencia era un alambre delgado de cobre.
2. Se fue midiendo el voltaje que atravesaba la resistencia (la corriente se mantuvo constante) a medida que añadíamos agua fría.
3. Por último, se determinó el coeficiente de variación de la resistencia con la temperatura (α), y se lo comparó con el valor tabulado.

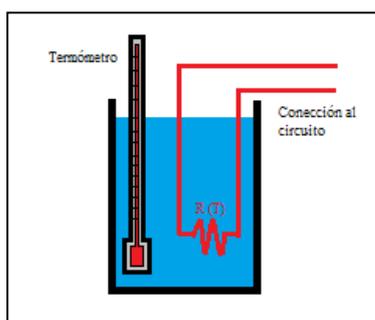


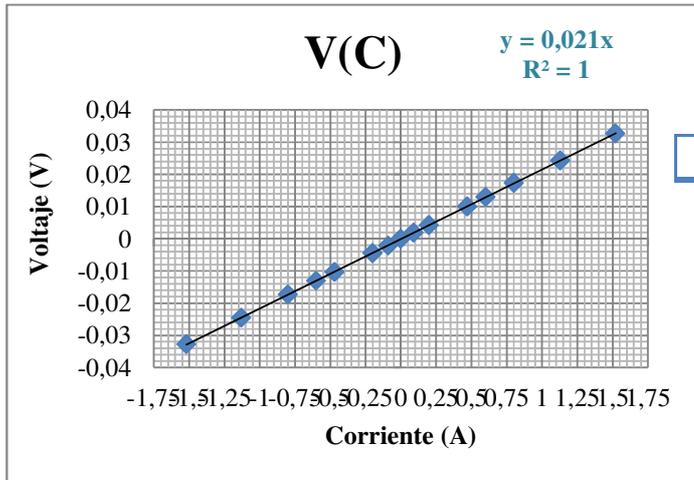
Figura III: Esquema del sistema utilizado para variar la resistencia con la temperatura.

Resultados

Primera parte

Se generó el circuito de la figura II y por medio de la ecuación 1 se calculó la resistencia del material usado, un solenoide de cobre.

Área del alambre:	$0,0000169 \pm 0.0000005(m^2)$
Largo del alambre:	$2 \pm 0,001 (m)$



Resultados obtenidos:

Resistencia	$(21,7 \pm 0,2) \text{ m}\Omega$
--------------------	--

Es decir este método permite medir una resistencia tan pequeña como 22 mΩ con una precisión mejor al 1%.

Gráfico I: Voltaje en función de la corriente, con ambas polaridades del generador de tensión.

Luego se calculó la resistividad del cobre (ρ), a partir de la ecuación 4.

Resistividad calculada	$(1,8 \pm 0,6) 10^{-8} (\Omega \cdot \text{m})$
Resistividad de tabla	$1,72 \cdot 10^{-8} (\Omega \cdot \text{m})$

Segunda parte

Nuevamente se generó el circuito de la figura II pero con un solenoide de menores dimensiones. Aplicando una corriente constante se varió la temperatura del material (cobre) y se determinó su coeficiente de variación de la resistencia con la temperatura (α), utilizando la ecuación 9.

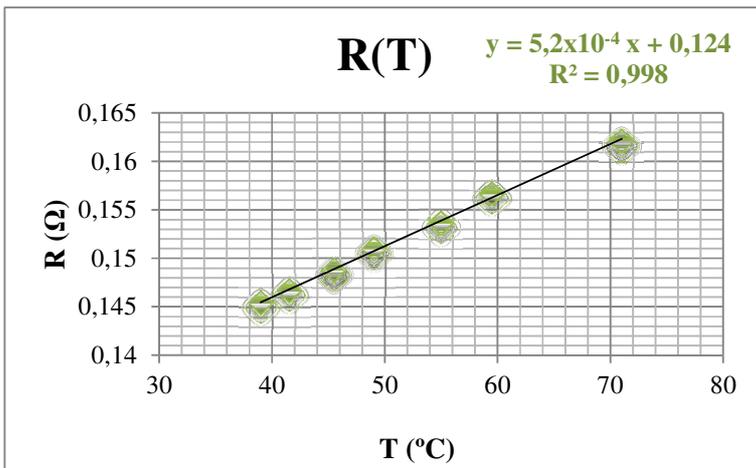


Gráfico II: Resistencia del material en función de la temperatura.

Coefficiente α calculado	$(4,10 \pm 0,09) 10^{-3} (1/\text{K})$
Coefficiente α de tabla	$3,9 \cdot 10^{-3} (1/\text{K})$

Conclusiones

En la primera parte se comprobó que el método de cuatro puntas es útil para medir resistencias pequeñas, en este caso la de un alambre de cobre. Gracias a esto se pudo comprobar que el valor de la resistividad (ρ) obtenido es muy similar a la de tabla. La diferencia puede deberse a que el material del alambre no necesariamente es cobre puro y su composición no era conocida,

En la segunda parte comprobamos que la resistencia aumenta con la temperatura tal y como lo indicaba la era de esperar, es decir Ec.5. Además, el comportamiento de la resistencia en función de la temperatura obtenido resultó lineal como se preveía para el cobre. El coeficiente de variación de la resistencia con la temperatura (α) obtenido es bastante aproximado al valor de tabla.

Apéndice

Errores

Primera parte

Área

$$\Delta A = \frac{\pi d}{2} \Delta d = 4,6 \cdot 10^{-7} m^2$$

Resistividad

$$\Delta \rho = \Delta R \frac{A}{l} + \Delta A \frac{R}{l} + \Delta l \frac{R A}{l^2} = 6,56 \cdot 10^{-9} (\Omega \cdot m)$$

Segunda parte

Coefficiente de variación de la resistencia con la temperatura (α)

Si $y: 5,2 \cdot 10^{-4}x + 0,124 = ax + b$

$$\Delta \alpha = \frac{\Delta a}{b} + \frac{\Delta b a}{b^2} = 9 \cdot 10^{-5} \left(\frac{1}{K}\right)$$

Bibliografía

- Salvador Gil y Eduardo Rodríguez, *Física re-Creativa*, Buenos Aires – Prentice-Hall, 2001.