



Objetivo

Investigación de la dependencia entre la corriente y la tensión aplicadas a diversos dispositivos eléctricos: metales puros, aleaciones, semiconductores, electrolitos, etc. Estudio de distintos métodos de medición de resistencias: a) usando voltímetros y amperímetros, b) usando óhmetros.

Actividad 1

Ley de Ohm

- Investigación de las características Voltaje-Corriente (V - I) de una resistencia R . En este caso se propone investigar la dependencia de la corriente I que pasa por una resistencia con la tensión V aplicada a la misma, usando amperímetros y voltímetros para medir estas magnitudes físicas. El circuito sugerido es el que se muestra en la Figura 1. Se propone realizar este estudio para por lo menos dos de los siguientes dispositivos:
 - i) Resistencia de aleación (por ejemplo NiCr) de aproximadamente 10W y 10Watt.
 - ii) Lámpara de Neón.
 - iii) Lámpara de luz de aproximadamente 50W @24 V o 25W @ 12 V o 100W @ 220 V.
- Para cada uno de los sistemas estudiados, varíe la tensión aplicada y registre los valores de V e I para cada valor de la misma. Grafique I vs. V . ¿Qué relación encuentra entre I y V ?. Grafique el cociente V/I vs. V . ¿Qué puede concluir de estos gráficos?

- Si la relación entre V e I es lineal, se dice que para este dispositivo eléctrico vale la ley de Ohm ^[1,2,3]. Obtenga el valor de la resistencia $R=V/I$, usando el método de cuadrados mínimos ^[4,5]. Calcule R para cada par de valores V e I y luego aplique la teoría de errores que se aplica a una magnitud que se mide n -veces. Discuta el procedimiento más adecuado para calcular R y ΔR .

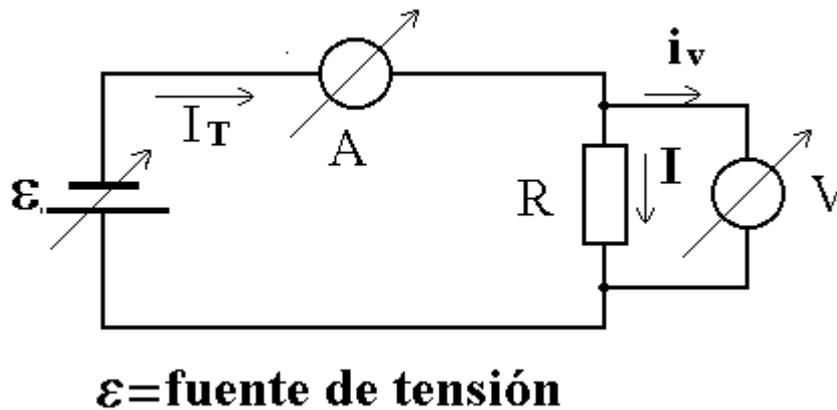


Figura 1. Circuito básico para la medición de tensión, V , y corriente, I , a través de una resistencia, R .

Nota: Arme el dispositivo experimental indicado, pero no aplique tensión (no conecte la fuente o encienda la misma) hasta que un docente revise el circuito y lo autorice a realizar la conexión.

- Mida el valor de R usando el óhmetro de un multímetro (tester). Compare y discuta las ventajas de este método de determinar R usando este método con el usado anteriormente. ¿Cómo acota el error en R en este caso?
- Discuta los errores sistemáticos que introducen los instrumentos al medir R usando el método propuesto antes. Comente cómo deben ser los valores de las resistencias internas de los instrumentos usados de modo de minimizar los errores sistemáticos que los mismos introducen ^[4,5]. Indique cómo modificaría el circuito de la Figura 1 si la resistencia a determinar fuese: i) $R \geq 10 \text{ M}\Omega$, ii) $R \leq 5 \text{ }\Omega$.

- Si dispone de una computadora con un sistema de toma de datos, evalúe la posibilidad de usar dos canales para medir simultáneamente la corriente y la tensión de circuito de la Figura 1 para verificar si el sistema en estudio obedece la ley de Ohm. En este caso es preciso recordar la diferencia entre mediciones de tensión en modo común y en modo diferencial. En modo común (el usual de la mayoría de los sistemas de tomas de datos, la tierra es la misma para todos los canales. Por consiguiente, no es posible tomar las tensiones de dos elementos en serie. Para realizar la medición de dos elementos en serie de una red hay que medir en modo diferencial, por ejemplo, con un amplificador diferencial en cada canal se mide sólo la diferencia de tensión entre las terminales como si fuese un multímetro portátil.

Nota: Sobre la fuente de tensión variable - Si bien las fuentes de tensión variable son dispositivos comunes casi todos los laboratorios actuales, también es posible construir una fuente de tensión variable a partir de una fuente de tensión fija y un divisor de tensión resistivo. El circuito se ilustra esquemáticamente en la Figura 2.

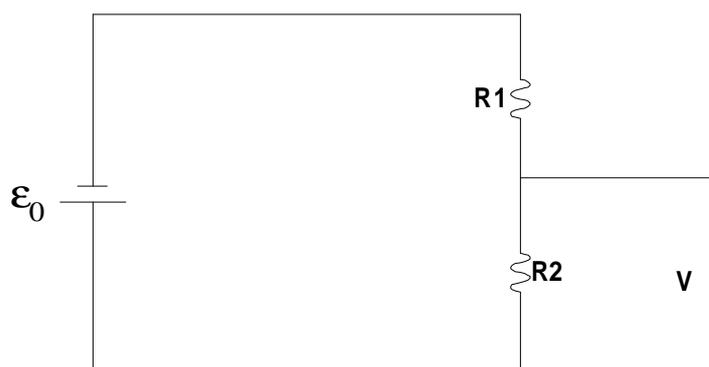


Figura 2. Fuente de tensión variable a partir de una fuente de tensión fija.

Es fácil probar que en este caso que:

$$V = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \varepsilon_0 \quad [1]$$

Actividad 2

Variación de la resistencia con la geometría

Utilizando un lápiz de grafito puro (que pueden adquirirse en los negocios que venden artículos de artes gráficas), o bien un lápiz tipo B6 (mina muy blanda) o similar, marcar sobre un papel liso cuadriculado un trazo bien nítido. Para ello practique previamente hasta lograr un trazo parejo y uniforme, para lo cual tal vez sea necesario repasar con el lápiz unas 4 a 6 veces por la misma traza.

- Usando un multímetro en modo óhmetro, determinar la resistencia de la traza como función de su longitud. Es conveniente para este experimento usar puntas romas para el multímetro.
- Tomando tramos de igual longitud del trazo, pero en distintas posiciones, caracterice mediante un histograma la uniformidad de las resistencias unitarias definidas por el trazo de lápiz y la longitud unitaria (tamaño de la cuadrícula). Calcule en valor medio de esta resistencia unitaria y su dispersión.
- Combinando los resultados de los análisis anteriores, grafique la variación de la resistencia con la longitud. ¿Qué puede concluir de este último gráfico respecto de la dependencia de la resistencia con la longitud?. Estime el ancho del trazo del lápiz, averigüe la resistividad del grafito de tablas y, a partir de estos datos y el gráfico anterior, estime el espesor de la película de grafito sobre el papel.

Actividad 3

Resistencias en serie y en paralelo

Usando dos resistencias distintas pero del mismo orden de magnitud, determine el valor de la resistencia de cada una de ellas individualmente y de las mismas en una configuración a) en serie y b) en paralelo. Compare los valores medidos con los predichos teóricamente. Discuta la implicancia de sus resultados.

Actividad 4

Aplicaciones simples

- Construya un divisor de tensión con una resistencia variable y una fija de modo de variar la tensión de una fuente de tensión fija V_0 , entre 0 Volt y V_0 . ¿Puede, empleando sólo resistencias, aumentar la tensión de la fuente?
- Usando dos llaves comunes (Figura 3) diseñe un circuito que le permita encender o apagar una lámpara de luz desde dos lugares independientes, por ejemplo, desde la parte superior e inferior de una escalera.



Figura 3. Conector o llave de luz simple.

Actividad 5

Puente de Wheatstone

El puente de Wheatstone se presenta esquemáticamente en la Figura 4.

- Demuestre que si la corriente i_g que pasa por el galvanómetro (microamperímetro) es nula, entonces:

$$\frac{R_1^0}{R_4^0} = \frac{R_2^0}{R_3^0} = Z_0 \quad [2]$$

Por lo tanto si se conocen los valores de R_2 , R_3 y R_4 , es posible calcular el valor de $R_1 = R_x$.

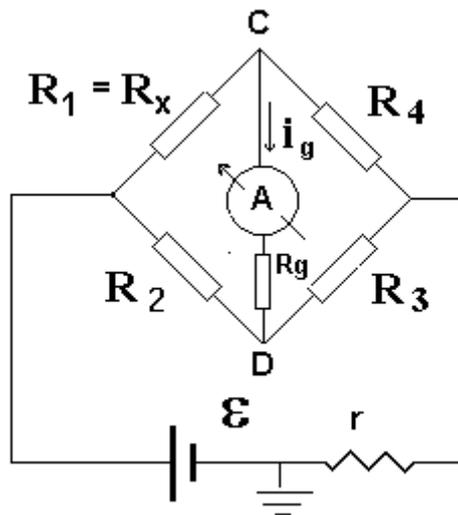


Figura 4. Puente de Wheatstone

- Usando las leyes de Kirchhoff demuestre que, en general, el valor de V_{CD} viene dado por:

$$V_x = \frac{V_{CD}}{\varepsilon_0} = \frac{R_1 \cdot R_3 - R_2 \cdot R_4}{Deno} \quad [3]$$

donde

$$\begin{aligned}
 deno = & r \cdot (R_1 + R_2 + R_3 + R_4) + (R_1 + R_3) \cdot (R_2 + R_4) + \\
 & + \frac{r}{R_g} \cdot (R_1 + R_3) \cdot (R_2 + R_4) + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_g} \cdot (R_2 + R_4) + \frac{R_2 \cdot R_4}{R_g} \cdot (R_1 + R_3)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Usualmente, se mide la diferencia de tensión entre los puntos AB con un voltímetro de muy alta resistencia, de modo que por lo general, $R_g \gg 10 \text{ MW}$ y si $R_g \gg R_1$ and R_2 and R_3 and R_4 . Además, sí

$$R_1(x) \equiv R_1^0 \cdot (1 + x) \tag{5}$$

entonces tenemos:

$$V_x = \frac{V_{CD}}{\epsilon_0} = \frac{R_1^0 \cdot R_3^0}{r \cdot (R_1 + R_2^0 + R_3^0 + R_4^0) + (R_1 + R_3^0) \cdot (R_2^0 + R_4^0)} \cdot x \tag{6}$$

y decimos que el sistema está equilibrado cuando $V_x = 0$. Esta condición se cumple si:

$$R_1^0 \cdot R_3^0 = R_2^0 \cdot R_4^0. \tag{7}$$

En particular, si $x \ll 1$ y $r \ll R_i^0$, entonces la expresión [6] se puede escribir como:

$$V_x = \frac{V_{CD}}{\epsilon_0} = S_R \cdot x = S_R \cdot \frac{\Delta R_1}{R_1} \tag{8}$$

donde

$$S_R = \frac{1}{2 + \lambda + \frac{1}{\lambda}}; \tag{9}$$

con

$$\lambda = \frac{R_1^0}{R_4^0} = \frac{R_3^0}{R_2^0} \quad [10]$$

Notese que cuando se usa un puente de Wheatstone, el instrumento que mide el desbalance CD debe ser un instrumento que permita realizar una medición de tensión diferencial, esto es un instrumento de tierra flotante como un multímetro común. A este respecto debe tenerse mucho cuidado en utilizar un instrumento que trabaje en modo común, es decir un instrumento cuya tierra sea la misma que, en este caso, la de la fuente. Por lo general las interfaces A/D conectada a las computadoras operan en modo común, por lo tanto no pueden usarse directamente para medir la diferencia de tensión entre C y D.

- Discuta que sucede con este circuit si uno de los puntos C o D se conecta a tierra.
- Construya un circuito de puente, que le permita someter a prueba experimental las expresiones [6] y [7]. Represente gráficamente V_x en función de x . ¿Qué puede decir acerca de la sensibilidad del método para detectar variaciones de R_x y de la linealidad del valor de V_{CD} en función de x .
- Discuta la posibilidad de usar una computadora para seguir la variación de V_{CD} . ¿Puede usar las conexiones en modo común?. ¿Por qué?.

Actividad 6

Resistencia interna de una fuente de tensión.

Una característica importante de toda fuente de tensión es su resistencia interna. Por ejemplo, si tenemos una batería cuyo voltaje de terminal es ϵ_0 cuando por ella no pasa corriente, es decir, cuando no se está tomando potencia de la misma, el voltaje que mediremos cuando la fuente esté conectada a un circuito que sí tome potencia variará

dependiendo de cuánta corriente circule por ella. En general, una fuente de tensión está formada por circuitos eléctricos o electrónicos complejos, sin embargo para todos los fines prácticos es posible suponer que la fuente de tensión real está formada por una fuente ideal de tensión ϵ_{th} y una resistencia en serie con la misma R_{th} , también llamada la *resistencia interna de la fuente*. Esta última afirmación es el enunciado de un teorema muy útil de la teoría de circuitos^[8] llamado *Teorema de Thévenin*.

El objeto de esta actividad es verificar en un caso práctico la validez del teorema de Thévenin y determinar la resistencia interna de una fuente de tensión. Se propone armar el circuito que se indica esquemáticamente en la Figura 5. Para ello se requiere de una resistencia variable R , un amperímetro y un voltímetro. Asegúrese que la resistencia externa R pueda disipar la potencia eléctrica cuando se le aplique la máxima tensión.

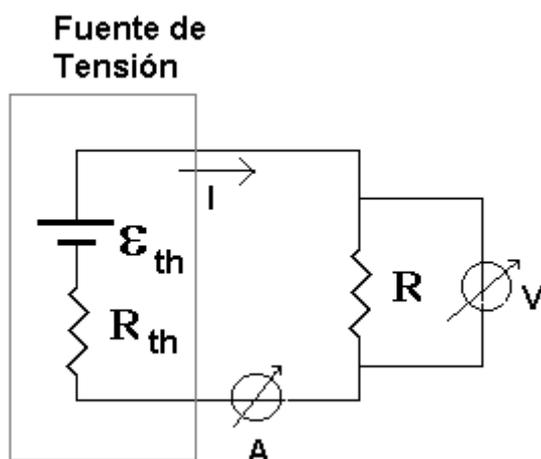


Figura 5. Circuito para determinar la resistencia interna de la fuente R_{th} y su valor en circuito abierto.

Según el teorema de Thévenin, para el circuito de la Figura 5, llamando V_R al voltaje medido por el voltímetro conectado a la resistencia R e i a la corriente medida por el amperímetro, tenemos:

$$V_R = \epsilon_0 - i \cdot R_{th} \quad [11]$$

- El experimento propuesto consiste en variar R y para cada valor de la misma determinar V_R e i . Luego se propone graficar estos valores. De ser válido el enunciado del teorema de Thévenin, el gráfico $V_R(i)$ debe ser lineal, la pendiente determina R_{th} y la ordenada en el origen el valor de ϵ_{th} .
- Analice sus resultados y discuta la validez del teorema de Thévenin y determine la resistencia interna, R_{th} , de la fuente usada.

Bibliografía

1. *Física para estudiantes de ciencias e ingeniería*, D. Halliday, R. Resnick y J. Walker, 4ta. Ed. (Trad. de Fundamentals of Physics – John Wiley & Sons, Inc. New York 1993).
2. *Física Vol.II - Campos y ondas* - M. Alonso y E. J. Finn, Fondo Educativo Interamericano Ed. Inglesa, Addison-Wesley, Reading Mass. (1967); Fondo Educativo Interamericano (1970).
3. *Berkeley physics course - Volumen 2*, Electricidad y magnetismo, E. M. Purcell, Editorial Reverté, Barcelona (1969).
4. *Teoría de errores – Incertezas de medición*, S. Gil y E. Rodríguez, publicación interna del Departamento de Física de la FCEyN de la UBA (1999).
5. *Trabajos prácticos de física*, J. E. Fernández y E. Galloni, Editorial Nigar, Buenos Aires (1968).
6. *Manual de física elemental*, N. Koshkin y M. G. Shirkevich, MIR Moscú (1975).
7. *Curso superior de física práctica*, B. L. Worsnop y H.T. Flint, Eudeba, Buenos Aires (1964).
8. *The art of electronics*, P. Horowitz and W. Hill, 2nd. ed., Cambridge University Press, Cambridge (1989); ISBN 0-521-37095-7.