



UNAH
UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE HONDURAS

Universidad Nacional Autónoma de Honduras

Facultad de Ciencias

Escuela de Física



Circuitos Eléctricos

Elaborada por: Oscar Pineda y Kenneth Cortés

Actualizada por: Kenneth Cortés

1. OBJETIVOS

1. Comprobar la Ley de Ohm por medio de un circuito simple.
2. Comprobar la Ley de Voltajes de Kirchhoff por medio de un circuito de resistencias en serie.
3. Comprobar la Ley de Corrientes de Kirchhoff por medio de un circuito de resistencias en paralelo.
4. Determinar experimentalmente las resistencias equivalentes para los circuitos en serie y paralelo.

2. MARCO TEÓRICO

Un circuito eléctrico es una trayectoria cerrada que permite el flujo de corriente eléctrica para generar y transportar energía mediante la conexión entre elementos eléctricos. Algunos de estos elementos eléctricos son:

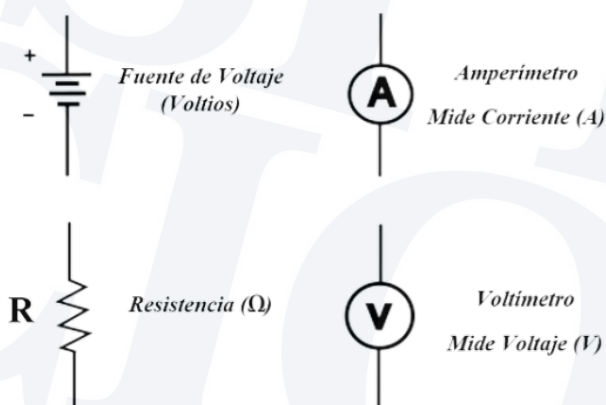
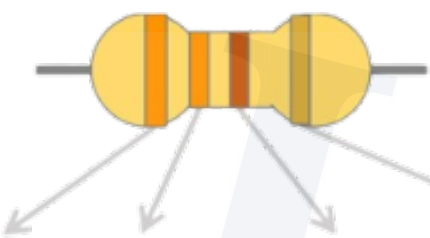


Figura 1: Elementos Básicos de Circuitos Eléctricos

Estos son una pequeña parte de los elementos eléctricos que se suelen utilizar en los circuitos, pero solo se utilizarán los elementos anteriormente mencionados en esta práctica.

Resistencia



Color	Primera banda	Segunda banda	Tercera banda Multiplicador	Tolerancia
Negro	0	0	$\times 10^0 = 1$	
Café	1	1	$\times 10^1 = 10$	
Rojo	2	2	$\times 10^2 = 100$	2%
Anaranjado	3	3	$\times 10^3 = 1,000$	
Amarillo	4	4	$\times 10^4 = 10,000$	
Verde	5	5	$\times 10^5 = 100,000$	
Azul	6	6	$\times 10^6 = 1,000,000$	
Morado	7	7	$\times 10^7 = 10,000,000$	
Gris	8	8	$\times 10^8 = 100,000,000$	
Blanco	9	9	$\times 10^9 = 1,000,000,000$	
				Dorado 5%
				Plata 10%

Figura 2: Código de colores para resistencias

La resistencia R de un elemento denota su capacidad para resistirse al flujo de la corriente eléctrica; se mide en ohms (Ω) [1]. Las resistencias disponen de 4 bandas de colores que nos ayudan a identificar su valor. Cada color corresponde a un dígito, por ejemplo el rojo es el dígito 2. Así las primeras dos bandas nos dan los dos primeros dígitos del valor de la resistencia. La tercera banda es un multiplicador que nos indica el prefijo o la escala de la resistencia. Por ejemplo la banda naranja nos indicaría el prefijo kilo. De esta forma una resistencia con bandas roja-roja-naranja tendría un valor de $22 \text{ K}\Omega$. La cuarta banda nos indica la tolerancia, la cual indica la variación entre el valor real y teórico de la resistencia. Este es un parámetro necesario en electrónica.

Ley de Ohm

La **Ley de Ohm** es una relación empírica entre la resistencia eléctrica (R), el voltaje (V) y la corriente (I) que indica:

La corriente que pasa por un conductor es directamente proporcional al voltaje que recibe e inversamente proporcional a la resistencia eléctrica del conductor.

$$I = \frac{V}{R} \quad (1)$$

Esta relación se mantiene entre dos puntos cualesquiera del circuito, es decir que aplica tanto para la totalidad del circuito como para cada elemento de resistencia dentro del circuito. Por tanto, si se mide el voltaje y la corriente que entrega la fuente, es posible determinar la resistencia total o equivalente del circuito.

Ley de Voltajes de Kirchhoff (LVK)

La **Ley de Voltajes de Kirchhoff** establece que *la suma algebraica de los voltajes de los voltajes alrededor de una trayectoria cerrada (conocida como malla) es cero.*

$$\sum_{i=0}^N V_i = V_1 + V_2 + \dots + V_N = 0 \quad (2)$$

Ley de Corrientes de Kirchhoff (LCK)

La **Ley de Corrientes de Kirchhoff** establece que *la suma algebraica de las corrientes que entran a un nodo es igual a la suma algebraica de las corrientes que salen de ese mismo nodo.* Un nodo es un punto donde dos o más elementos de un circuito tienen una conexión en común.

$$\sum_{i=0}^N I_i = I_1 + I_2 + \dots + I_N = 0 \quad (3)$$

Convención de Signos

Se seguirá la siguiente convención de signos:

1. Se toma la dirección de la corriente producida por la fuente partiendo de la terminal positiva hacia la terminal negativa de la fuente.
2. Se tomarán positivas todas las corrientes que entren a un nodo y negativas las corrientes que salgan del nodo.
3. El signo de cada voltaje es la polaridad de la primera terminal encontrada al recorrer la malla siguiendo el sentido de la corriente.

Resistencia Equivalente

Muchas veces se pueden simplificar las resistencias de un circuito y reemplazarlas por una **resistencia equivalente**. La resistencia equivalente es aquella que sustituye a varias resistencias, absorbiendo la misma intensidad de corriente.

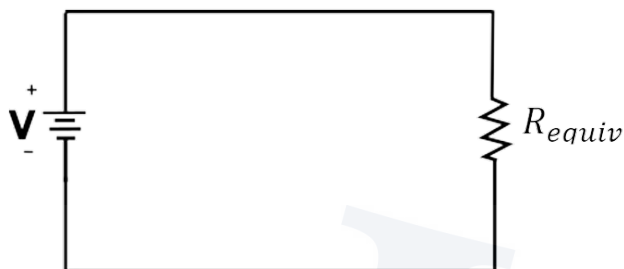


Figura 3: Circuito simplificado

Resistencia equivalente en serie

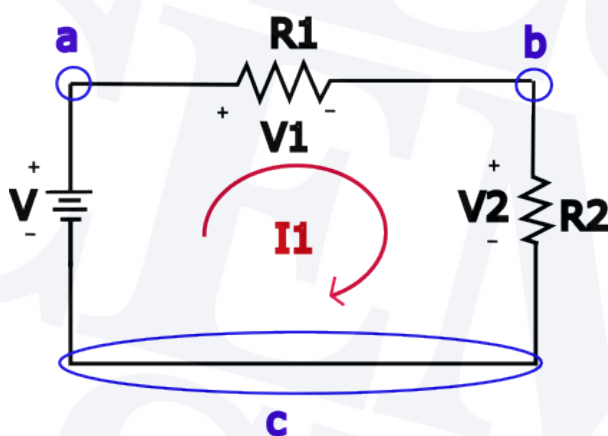


Figura 4: Circuito con resistencias en serie

Se dice que dos o más resistencias se encuentran en serie si tienen un solo nodo en común. Por ejemplo, las resistencias R_1 y R_2 en la Figura 4 solo tienen en común el nodo **b**. La corriente que atraviesa las resistencias en serie es la misma, esto se puede comprobar usando LCK, pues la corriente que sale del nodo **a** es la misma que entra al nodo **b**. La resistencia equivalente de resistencias en serie es la suma de los valores de las resistencias individuales.

$$R_{eq} = \sum_{i=0}^N R_i = R_1 + R_2 + \dots + R_N \quad (4)$$

De esta forma el circuito de la Figura 4 se simplifica al circuito de la Figura 3.

Resistencia equivalente en paralelo

Se dice que dos o más resistencias se encuentran en paralelo si tienen dos nodos en común. Por ejemplo, las resistencias R_1 y R_2 de la Figura 5 tienen en común los nodos **a** y **b**. El voltaje de las resistencias en paralelo es el mismo, esto se puede comprobar usando LVK. El recíproco de la resistencia equivalente de resistencias en paralelo es igual a la suma del recíproco de las resistencias individuales.

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{i=0}^N \frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N} \quad (5)$$

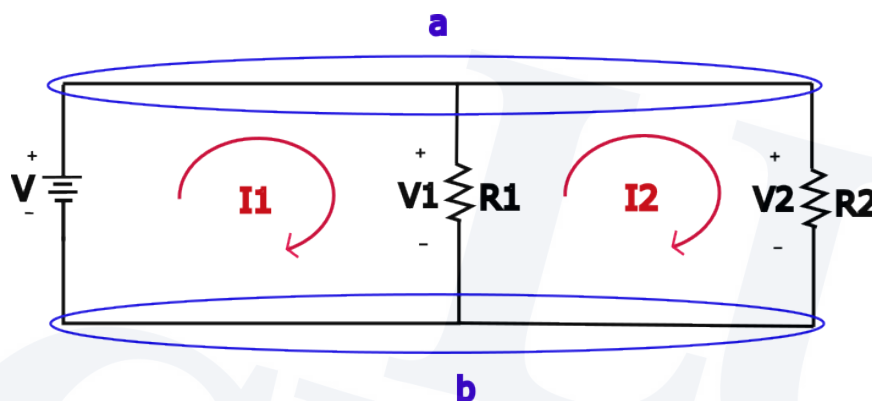


Figura 5: Circuito con resistencias en paralelo

De esta forma el circuito de la Figura 5 se simplifica al circuito de la Figura 3.

3. MATERIAL Y EQUIPO

- 1 Fuente de voltaje
- 3 multímetros digitales Truper, modelo MUT-105 (en ausencia de multímetros se puede utilizar el multímetro Truper, modelo MUT-33 para medir corriente)
- 1 Placa de conexión Phywe
- 4 resistencias Phywe
- Cables tipo Banana o puentes Phywe

Incertidumbres de un multímetro digital

Para calcular las incertidumbres de voltaje, corriente y resistencia medidas con un multímetro, se hace uso de las tablas 1, 2 y 3 respectivamente (se presenta un ejemplo en los anexos). **Cabe señalar que estos valores dependerán de la marca y modelo del multímetro.** (Los valores brindados en las tablas corresponden al multímetro Truper modelo MUT105)

Escala	δV
2 V	$0.008 \langle V \rangle + 0.2 \text{ V}$
20 V	$0.008 \langle V \rangle + 0.2 \text{ V}$

Tabla 1: Incertidumbre del voltaje de acuerdo a la escala

Escala	δI
2 mA	$0.018 \langle I \rangle + 0.2 \text{ mA}$
20 mA	$0.018 \langle I \rangle + 0.2 \text{ mA}$
200 mA	$0.02 \langle I \rangle + 0.2 \text{ mA}$

Tabla 2: Incertidumbre de la corriente de acuerdo a la escala

Escala	δR
200 Ω	$0.01 \langle I \rangle + 1\Omega$
2 k Ω	$0.01 \langle I \rangle + 0.4 \text{ k}\Omega$
20 k Ω	$0.01 \langle I \rangle + 0.4 \text{ k}\Omega$
200 k Ω	$0.01 \langle I \rangle + 0.4 \text{ k}\Omega$
2 M Ω	$0.01 \langle I \rangle + 0.4 \text{ M}\Omega$

Tabla 3: Incertidumbre de la Resistencia de acuerdo a la escala

Incertidumbres de la Resistencias segun el fabricante

La incertidumbre de las resistencia, según el fabricante, está dada por el valor de tolerancia según el código de colores. (Se presenta un ejemplo en los anexos).

$$\delta R = \frac{\% \text{Tolerancia}}{100 \%} \langle R \rangle$$

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Resistencias

El instructor le proporcionará 4 resistencias. De acuerdo al código de colores visto en la figura 2 determine el valor y la tolerancia de cada resistencia y anótelos en la siguiente tabla. Se utilizará estas resistencias para todas las mediciones.

	$R_1(\Omega)$	$R_2(\Omega)$	$R_3(\Omega)$	$R_4(\Omega)$
Valor del Fabricante				
Tolerancia				

Tabla 4: Valor de las resistencias de acuerdo al código de colores.

Comprobación de la Ley de Ohm

1. Arme el circuito de acuerdo a las siguientes figuras.

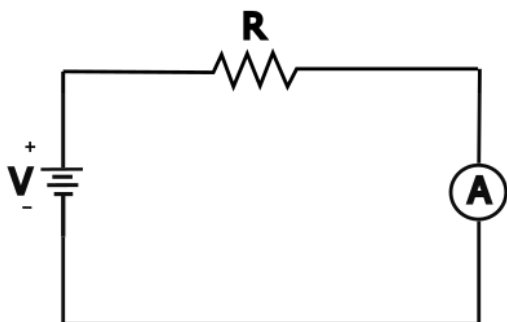


Figura 6: Diagrama del circuito simple.

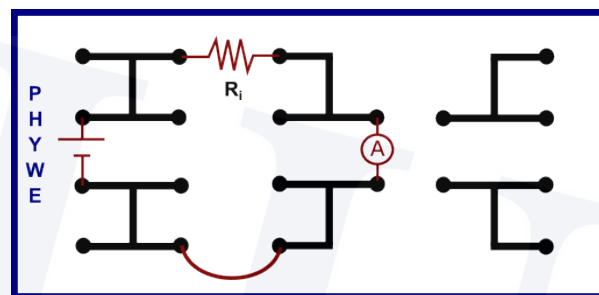


Figura 7: Circuito simple en la placa de conexión



Figura 8: Montaje del circuito simple en la placa de conexión.

2. Asegúrese de que las conexiones estén correctas y que el primer multímetro esté conectado a la fuente, midiendo voltaje DC en la escala de 20 V
3. Conecte el segundo multímetro en configuración para medir corriente DC en la escala de 20 mA como se muestra en la figura 7.
4. Conecte y encienda la fuente.
5. Escoja un voltaje entre 4 V y 8 V.
6. Regule el limitador de corriente de la fuente.
7. Aumente el voltaje de la fuente hasta leer el valor del voltaje deseado con el primer multímetro.
8. Anote el valor del voltaje y la corriente en la tabla 5

9. Aumente el voltaje de la fuente en 0.5 V y mida la corriente hasta tener 8 mediciones.
10. Disminuya el voltaje de la fuente hasta 0 V.
11. Disminuya la mínimo el regulador de corriente.
12. Apague la fuente de voltaje.
13. Desconecte la resistencia y mida su valor con uno de los multímetros, colocándolo en la configuración para medir resistencia.
14. Mida la resistencia con uno de los multímetros y anote este valor (R_m) en la tabla 5.
15. Anote el valor del fabricante de la resistencia (R_f)

i	$R_f (\Omega)$	$\delta R_f (\Omega)$	$V_i (V)$	$I_i (A)$	$R_m (\Omega)$	$\delta R_m (\Omega)$
1						
2						
3						
\vdots						
8						

Tabla 5: Mediciones de Ley de Ohm

4.1. Comprobación de la Ley de Voltajes de Kirchhoff

1. Arme el circuito tal como se muestra en las siguientes figuras:

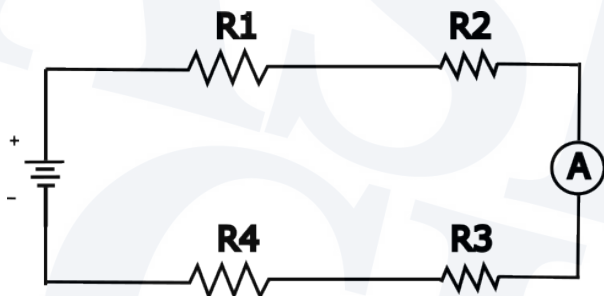


Figura 9: Diagrama del circuito en serie

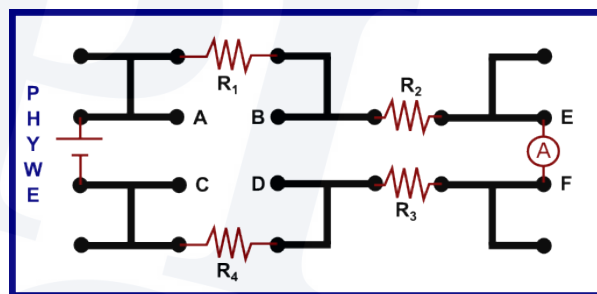


Figura 10: Circuito en serie

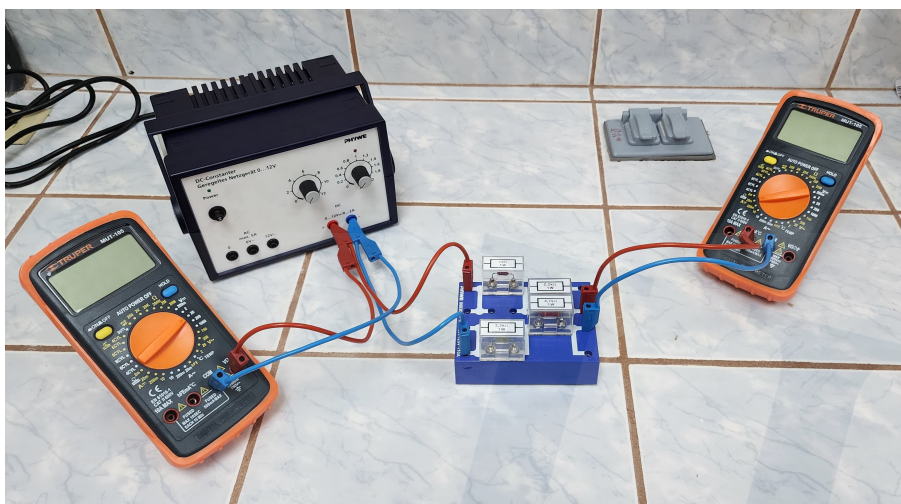


Figura 11: Montaje del circuito en serie en la placa de conexión.

2. Asegúrese de que las conexiones estén correctas y que el primer multímetro conectado a la fuente se encuentre midiendo voltaje en la escala de 20 **V**.
3. Conecte el segundo multímetro en serie entre los puntos **E** y **F** para leer la corriente de la fuente (I_f), tal como se muestra en a figura 10. Asegúrese que esté configurado para medir corriente en una escala de 20 **mA**.
4. Escoja un voltaje entre 10 **V** y 15 **V**.
5. Regule el limitador de corriente de la fuente.
6. Aumente el voltaje de la fuente hasta leer el voltaje deseado con el primer multímetro.
7. Anote los valores del voltaje de la fuente (V_f) y corriente de la fuente (I_f) en la tabla 6.
8. Coloque un tercer multímetro en configuración para medir voltaje, conectándolo entre los puntos **A** y **B** para medir el voltaje de la resistencia R_1 .
9. Coloque el tercer multímetro entre los puntos **B** y **E** para medir el voltaje de la resistencia R_2 .
10. Coloque el tercer multímetro entre los puntos **F** y **D** para medir el voltaje de la resistencia R_3 .
11. Coloque el tercer multímetro entre los puntos **D** y **C** para medir el voltaje de la resistencia R_4 .
12. Anote sus datos en la tabla 6

i	V_f (V)	δV_f (V)	I_f (A)	δI_f (A)	R_i (Ω)	V_i (V)	δV_i (V)
1							
2							
3							
4							

Tabla 6: Mediciones de LVK en circuito en serie

4.2. Comprobación de la Ley de Corrientes de Kirchhoff

1. Arme el circuito tal como se muestra en las siguientes figuras:

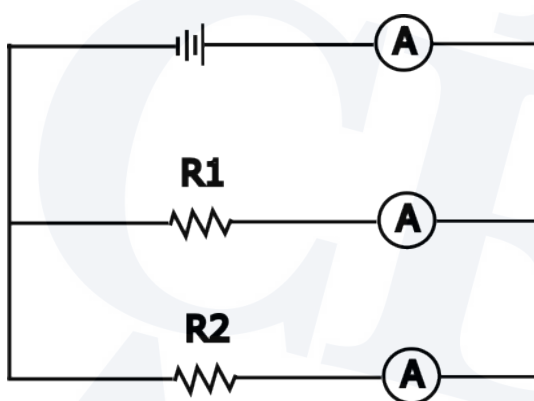


Figura 12: Diagrama del circuito en paralelo

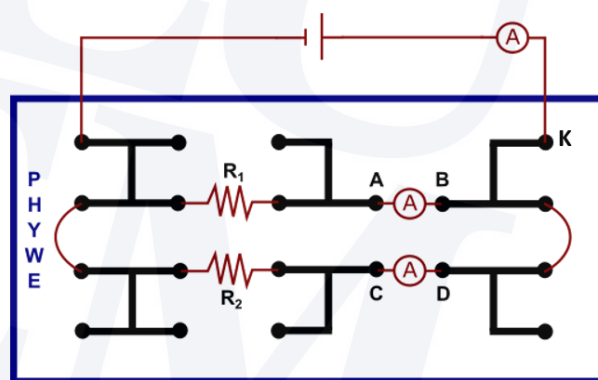


Figura 13: Circuito en paralelo

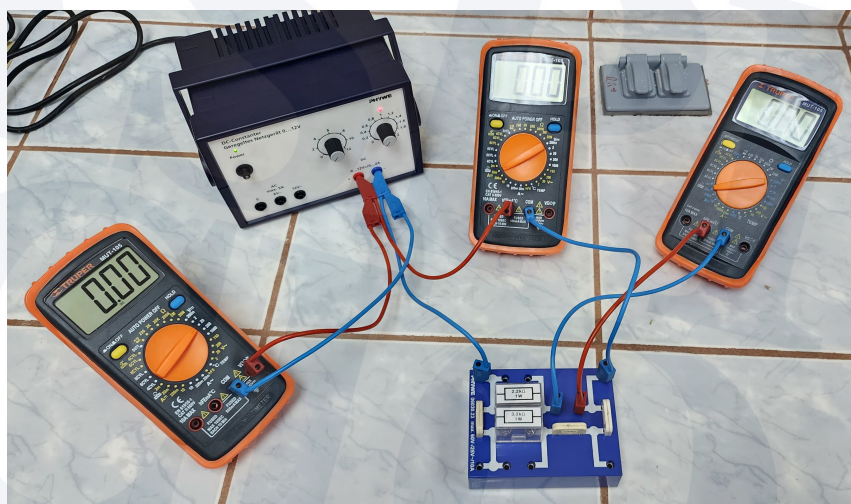


Figura 14: Montaje del circuito en paralelo en la placa de conexión

2. Asegúrese de que las conexiones estén correctas y que el primer multímetro esté conectado a la fuente, midiendo voltaje en la escala de 20 V.

3. Conecte el segundo multímetro en serie entre la terminal positiva de la fuente y el punto **K**, como se muestra en la figura 13 circuito para leer la corriente de la fuente (I_f), tal como se ve en el diagrama de la figura 13. Asegúrese que esté configurado para medir corriente en una escala de 20 **mA**.
4. Conecte el tercer multímetro entre los puntos **A** y **B** en configuración para medir corriente en una escala de 20 **mA** (Este será la corriente de resistencia R_1)
5. Coloque un puente entre los puntos **C** y **D**.
6. Escoja un voltaje entre 4 **V** y 8 **V**.
7. Regule el limitador de corriente de la fuente.
8. Aumente el voltaje de la fuente (V_f) hasta leer el voltaje deseado con el primer multímetro.
9. Anote los valores de la corriente de entrada (I_f) e (I_1) en la tabla 7.
10. Desconecte el multímetro de los puntos **A** y **B** y cámbielo con el puente de los puntos **C** y **D**.
11. Anote el valor de la corriente de la resistencia R_2 (este valor será I_2) en la tabla 7.

i	I_f (A)	δI_f (A)	V_f (V)	δV_f (V)	R_i (Ω)	I_i (A)	δI_i (A)
1							
2							

Tabla 7: Mediciones de LCK en Circuito en Paralelo.

5. TRATAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES

Comprobación de la Ley de Ohm

Utilizando la ecuación (1) y los datos obtenidos en la Tabla 2 es posible determinar el voltaje de las resistencias a partir de la siguiente relación:

$$V_i = R_i I_i$$

De esta forma se puede realizar una regresión lineal para encontrar el valor de la resistencia del circuito.

$$y = Bx$$

Encuentre el valor de la constante B

$$B = \frac{\sum x_i y_i}{\sum x_i^2}$$

Calcule la incertidumbre ΔB

$$\Delta B = \frac{\sigma_y}{\sqrt{\sum x_i^2}} \quad \text{donde} \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum (f(x_i) - y_i)^2}{N - 1}}$$

Calcule el índice de correlación lineal r

$$r = \frac{\sum ((x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}))}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

Encuentre el valor central y la incertidumbre de la resistencia

$$\langle R \rangle = B$$

$$\Delta R = \Delta B$$

Reporte el valor de la resistencia en notación estándar.

Comprobación de LVK

Reporte el voltaje de la fuente medido (V_f):

$$V_f = \langle V_f \rangle \pm \delta V_f$$

A partir de la ecuación (2) y siguiendo la convención de signos, se obtiene una relación entre el voltaje de la fuente y el voltaje en cada resistencia. Calcule el valor del voltaje total (V_t) a partir de la Tabla 5.

$$\langle V_t \rangle = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

Calcule la incertidumbre de este valor:

$$\Delta V_t = \sqrt{(\delta V_1)^2 + (\delta V_2)^2 + (\delta V_3)^2 + (\delta V_4)^2}$$

Reporte el voltaje calculado en notación estándar.

Comprobación de LCK

Reporte la corriente de la fuente medida (I_f):

$$I_f = \langle I_f \rangle \pm \delta I_f$$

A partir de la ecuación (3) y siguiendo la convención de signos, se obtiene una relación entre la corriente total que entrega la fuente de la fuente y la corriente que pasa por cada resistencia. Calcule el valor de la corriente total (I_t) de la tabla 7.

$$\langle I_t \rangle = I_1 + I_2$$

Calcule la incertidumbre de este valor:

$$\Delta I_t = \sqrt{(\delta I_1)^2 + (\delta I_2)^2}$$

Reporte el voltaje calculado en notación estándar.

Cálculo de resistencias equivalentes

Circuito en Serie

- Calcule la resistencia equivalente teórica ($\mathbf{R_{eqt}}$) para el circuito en serie por medio de la relación (4).

$$R_{eqt} = \sum R_i$$

- Calcule la incertidumbre de la resistencia equivalente teórica ($\Delta \mathbf{R_{eqt}}$) por medio de:

$$\Delta R_{eqt} = \sqrt{\sum \delta R_i^2}$$

- Calcule la resistencia equivalente del circuito en serie ($\mathbf{R_{eq}}$) por medio de las mediciones del voltaje y la corriente de salida de la fuente anotadas en la tabla 6.

$$R_{eq} = \frac{V_f}{I_f}$$

- Calcule la incertidumbre de la resistencia equivalente ($\Delta \mathbf{R_{eq}}$) por medio de:

$$\Delta R_{eq} = R_{eq} \sqrt{\left(\frac{\delta V_f}{V_f}\right)^2 + \left(\frac{\delta I_f}{I_f}\right)^2}$$

- Reporte ambos resultados en notación estándar.

Circuito en Paralelo

- Calcule la resistencia equivalente teórica ($\mathbf{R_{eqt}}$) para el circuito en paralelo por medio de la relación (5).

$$\frac{1}{R_{eqt}} = \sum \frac{1}{R_i}$$

- Calcule la incertidumbre de la resistencia equivalente teórica ($\Delta \mathbf{R_{eqt}}$) por medio de:

$$\Delta R_{eqt} = R_{eqt} \sqrt{\left(\frac{\delta R_1}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{\delta R_2}{R_2}\right)^2 + \left(\frac{\delta R_1 + \delta R_2}{R_1 + R_2}\right)^2}$$

- Calcule la resistencia equivalente ($\mathbf{R_{eq}}$) del circuito en paralelo por medio de las mediciones del voltaje y la corriente de salida de la fuente anotadas en la tabla 7.

$$R_{eq} = \frac{V_f}{I_f}$$

- Calcule la incertidumbre de la resistencia equivalente ($\Delta \mathbf{R_{eq}}$) por medio de:

$$\Delta R_{eq} = R_{eq} \sqrt{\left(\frac{\delta V_f}{V_f}\right)^2 + \left(\frac{\delta I_f}{I_f}\right)^2}$$

- Reporte ambos resultados en notación estándar.

6. ANÁLISIS DE DATOS EXPERIMENTALES

Ley de Ohm

- Graficar los datos y la función de ajuste en una sola gráfica.
- Calcular la incertidumbre porcentual de la resistencia del circuito.
- Realizar un gráfico de discrepancia que compare el valor de la resistencia del fabricante (R_f), el valor obtenido con la regresión (R) y el valor medido directamente con el multímetro (R_m).
- ¿Se logró comprobar la Ley de Ohm? Justifique.

LVK

- Calcule la incertidumbre porcentual del voltaje total calculado (V_t).
- Realice un gráfico de discrepancia que compare el valor de el voltaje total calculado (V_t) y el voltaje de la fuente medido con el multímetro (V_f).
- ¿Se logró comprobar la Ley de Voltajes de Kirchhoff? Justifique.

LCK

- Calcule la incertidumbre porcentual de la corriente total calculada (I_t).
- Realice un gráfico de discrepancia que compare el valor de la corriente total calculada (I_t) y la corriente de entrada medida con el multímetro (I_f).
- ¿Se logró comprobar la Ley de Corrientes de Kirchhoff? Justifique.

Resistencias Equivalentes

- Realice un gráfico de discrepancia que compare el valor de la resistencia equivalente teórica (R_{eqt}) y la calculada (R_{eq}) del circuito en serie.
- Realice un gráfico de discrepancia que compare el valor de la resistencia equivalente teórica (R_{eqt}) y la calculada (R_{eq}) del circuito en paralelo.

7. CUESTIONARIO

1. ¿Existen fuentes de corriente?
2. ¿Se puede afirmar que la Ley de Ohm tiene un comportamiento lineal? Justifique.
3. Según las Leyes de Kirchhoff, ¿por qué el multímetro debe colocarse en serie para medir la corriente y en paralelo para medir el voltaje?
4. ¿Es correcto colocar una fuente de voltaje de 10V en paralelo con otra fuente de 5V, sin ninguna resistencia intermedia? Explique.

5. Demuestre que, en un circuito alimentado por una fuente de voltaje, dos resistencias en paralelo de distinto valor tienen el mismo voltaje.
6. Demuestre la relación de resistencia equivalente en serie mediante LVK.
7. Demuestre la relación de resistencia equivalente en paralelo mediante LCK.

8. CONCLUSIONES

Redacte sus conclusiones en base a sus objetivos y resultados.

9. REFERENCIAS

Referencias

- [1] Charles K. Alexander y Matthew N. Sadiku. *Fundamentos de circuitos eléctricos*. 5.^a ed. McGraw Hill, 2013.
- [2] N. A. Pérez y J. Ávila. “Resistencias. En implementación de circuitos lógicos.” En: (2021). Recuperado el 23 de Noviembre del 2023. URL: <https://portalacademico.cch.unam.mx/cibernetica1/implementacion-de-circuitos-logicos/resistencias>.
- [3] Raymond A. Serway y John W. Jewett. *Física para ciencias e ingeniería, con física moderna*. 7.^a ed. Vol. 2. Cengage Learning, 2009.
- [4] Hugh D. Young y Roger A. Freedman. *Física universitaria, con física moderna*. 12.^a ed. Vol. 2. Pearson Education, 2009.

10. Anexos

Ejemplo del cálculo de incertidumbre para cantidades medidas con el multímetro digital

Suponga que un estudiante realiza la medición del voltaje en las terminales de una batería y encuentra que la batería es 9 V con la ayuda de un multímetro (se realizó la medida en la escala de 20 V). ¿Cómo se calcularía la incertidumbre en este caso? Para ello, de acuerdo a la tabla 1 y la escala que se utilizó, se deberá multiplicar el valor medido por 0.008 y sumarle a esta cantidad 0.2 V de la siguiente forma:

$$\delta V = 0.008 \times \langle V \rangle + 0.2$$

$$\delta V = 0.008 \times 9 \text{ V} + 0.2 \text{ V}$$

$$\therefore \boxed{\delta V = 0.272 \text{ V}}$$

Ejemplo del cálculo de incertidumbre según el valor del fabricante

Imagine que se tiene una resistencia de $27\ \Omega$ y su última banda es de color plata. ¿Cuál sería la incertidumbre según el fabricante? En este caso, para encontrar la incertidumbre, se dividirá el porcentaje de acuerdo a la tolerancia de la resistencia indicada por el color de la última banda entre 100 y luego se multiplicará por el valor de la resistencia según el fabricante.

$$\delta R = \frac{\% \text{Tolerancia}}{100\ \%} \times \langle R \rangle$$

$$\delta R = \frac{10\ \%}{100\ \%} \times 27\ \Omega$$

$$\therefore \boxed{\delta R = 2.7\ \Omega}$$

Nunca alcanzaremos la meta de las ciencias naturales, pero el hecho de que se reconozca como tal ofrece cierta satisfacción y en aproximarse a ella reside el mayor placer

- Gustav Kirchhoff