

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE FÍSICA

F1-1202

LABORATORIO DE FÍSICA GENERAL II

EXPERIMENTO 5

DEMOSTRACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS LEYES DE KIRCHHOFF

PROFESORA:

JENNIFER ELIZONDO ZÚÑIGA

ESTUDIANTES:

JOSÉ JULIÁN CAMACHO HERNÁNDEZ

GABRIEL GONZÁLEZ RODRÍGUEZ

EMMANUEL NARANJO BLANCO

Junio 2020

Resumen

En este experimento se demuestra la validez de las leyes de Kirchhoff, útiles para la determinación teórica de las corrientes y tensiones en los elementos de un circuito lineal, al comprobar los valores teóricos obtenidos de la aplicación de estas leyes con los valores experimentales medidos del circuito, que en este caso contaba de dos fuentes de tensión y cinco resistencias. Además, al aplicar el teorema de superposición manera teórica y comprobando los cálculos con los resultados experimentales obtenidos (salvo que para este caso se analiza la respuesta de cada fuente, sobre las resistencias, por separado) se demuestra la validez de este teorema.

Índice

| | |
|--|-----------|
| 1. Introducción | 3 |
| 2. Materiales y métodos | 6 |
| 3. Resultados y discusión | 10 |
| 3.1. Datos obtenidos experimentalmente | 10 |
| 4. Conclusiones | 13 |
| 5. Apéndice | 14 |
| 5.1. Comprobación teórica del Teorema de Superposición. | 14 |
| 5.2. Aplicación Teórica de la Ley de Nodos de Kirchhoff. | 18 |
| 5.3. Cálculo del porcentaje de error | 19 |

1. Introducción

En ocasiones, los circuitos eléctricos que involucran resistores no pueden ser expresados como configuraciones en serie o en paralelo con una sola resistencia equivalente. Debido a que no se pueden reducir, su estudio resulta de mayor complejidad. El físico alemán Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) desarrolló un conjunto métodos o reglas que se conocen como las Leyes de Kirchhoff, que permiten resolver de manera sistemática estos problemas en específico (Young y Freedman, 2013).

La primera regla de Kirchhoff se denomina la ley de nodos o ley de corrientes. En circuitos eléctricos, un nodo, una unión o un punto de derivación es el punto donde se unen más de dos elementos del circuito. Esta ley plantea lo siguiente:

La suma algebraica de las corrientes en cualquier nodo es igual a cero.

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0 \Leftrightarrow I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = 0 \quad (1)$$

Entendido de otro modo, se puede decir que la suma de todas las corrientes que entran a un nodo es igual a la suma de todas las corrientes que salen de él. De lo anterior, se puede establecer que esta regla está basada en la conservación de la carga eléctrica, ya que se determina que en un nodo no se puede acumular carga eléctrica.

La segunda regla de Kirchhoff es la ley de mallas, de espiras o de voltajes, que plantea lo siguiente:

La suma algebraica de todas las diferencias de potencial a través de todos los elementos del circuito, tanto fuentes como elementos con resistencia, en cualquier trayectoria cerrada (malla) es igual a cero.

$$\sum_{i=1}^n V_i = 0 \Leftrightarrow V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n = 0 \quad (2)$$

Para la comprensión de esta ley, es importante definir el concepto de malla. Una espira o malla, en un circuito eléctrico, es cualquier trayectoria cerrada de conducción. La segunda ley de Kirchhoff se basa en la conservación de la energía. Debido a esto, cuando se recorre la malla, y se determinan las diferencias de potencial de cada uno de los elementos, la suma de estas mediciones debe ser cero.

Existe una convención de signos para el recorrido en la malla a través de una fuente o un resistor, que es necesaria para la aplicación de la segunda ley. En este aspecto, cabe

aclarar que una espira se puede recorrer en cualquier sentido, ya sea en sentido horario o antihorario, que el resultado obtenido debe ser el mismo. De la misma manera, se puede plantear cualquier sentido para cada una de las corrientes. Sin embargo, al final del ejercicio, se debe interpretar el significado físico los signos de los resultados. Si el signo de la corriente es positivo, la dirección de la corriente que se planteó fue la correcta. Si la corriente resulta negativa, esta va en sentido contrario al escogido originalmente.

En primer lugar, para resistores la convención establece que, si el sentido del recorrido por la malla y el planteado para la corriente son opuestos, la diferencia de potencial entre los extremos del resistor según la ley de Ohm está dada por

$$\Delta V = IR \quad (3)$$

Mientras que, si van en la misma dirección, la diferencia de potencial se determina negativa:

$$\Delta V = -IR \quad (4)$$

Para una fuente (ε), la convención establece que, si el recorrido pasa por una fuente desde su parte negativa hacia su lado positivo, la diferencia de potencial es positiva.

$$\Delta V = \varepsilon \quad (5)$$

Contrariamente, si se recorre la fuente de positivo a negativo, el gradiente de potencial es negativo.

$$\Delta V = -\varepsilon \quad (6)$$

Por otro lado, el teorema de superposición es la consecuencia más importante de la linealidad (Hayt, Kemmerly y Durbin, 2012) y establece que la contribución de varias fuentes (ya sea de tensión o de corriente) sobre una resistencia es igual a la suma de las contribuciones de cada una de esas fuentes a la resistencia. La forma de aplicar esto es el apagar todas las fuentes, excepto una, sustituyéndolas por un cortocircuito en caso de una fuentes de tensión, o en un circuito abierto en caso de una fuentes de corriente, y determinar, mediante técnicas como las leyes de Kirchhoff, la respuesta que esta ejerce sobre la resistencia en estudio. Una vez hecho esto, se repite el proceso para cada una de las fuentes en el circuito y al final se suman las respuestas obtenidos para cada uno de los casos, esta tendría entonces que corresponder a la respuesta en la resistencia a causa de todas las fuentes presentes.

Tomar en cuenta que entonces para una cantidad n de fuentes presentes en el circuito, se realizan n ecuaciones, cada una de ellas con una fuente diferente encendida y las demás apagadas. Esto no necesariamente tiene que hacerse de esta manera, se pueden dejar cualquier cantidad de fuentes encendidas y calcular la respuesta de estas y luego calcular la respuesta

de las fuentes que en un inicio se dejaron apagadas, y al final lo que interesa es que la suma de estas contribuciones corresponda al valor original. Sin embargo, entre menos fuentes se dejen encendidas de forma simultánea, más sencillos se hacen los cálculos (Hayt, Kemmerly y Durbin, 2012).

Es importante aclarar que, lo explicado anteriormente aplica para fuentes independientes, generalmente las fuentes dependientes se mantienen activas en todos los casos (Hayt, Kemmerly y Durbin, 2012).

En esta práctica, por medio de una simulación, se van a realizar diversas mediciones de corriente y voltaje en los elementos de un circuito, en presencia de dos baterías y en la ausencia de cada una de ellas. Este procedimiento se realizará con el fin de verificar en forma experimental la Ley de Mallas y la Ley de Nodos. De igual forma, se intentará verificar el principio de superposición para un circuito eléctrico. El objetivo principal de esta práctica es hacer una introducción al tema, así como estudiar la validez de las Leyes de Kirchhoff tanto de manera teórica como experimental.

2. Materiales y métodos

Para estudiar el principio de superposición y la aplicación de las leyes de Kirchhoff en un circuito eléctrico en corriente directa se utilizaron los materiales mostrados en la siguiente tabla.

Cuadro 1: Equipo mínimo requerido para la realización del experimento.

| Cantidad | Descripción |
|----------|-------------------------|
| 1 | Fuente de Potencia |
| 1 | Multímetro |
| 5 | Resistencias eléctricas |
| - | Cables de conexión |

En este experimento se determinaron los datos de la siguiente forma:

Mediante la teoría de circuitos en corriente directa, se establecieron los datos necesarios que se deben obtener durante el experimento para describir correctamente el comportamiento de un circuito resistivo cuya configuración no permite reducir la red a combinaciones sencillas en serie y en paralelo (figura 1)

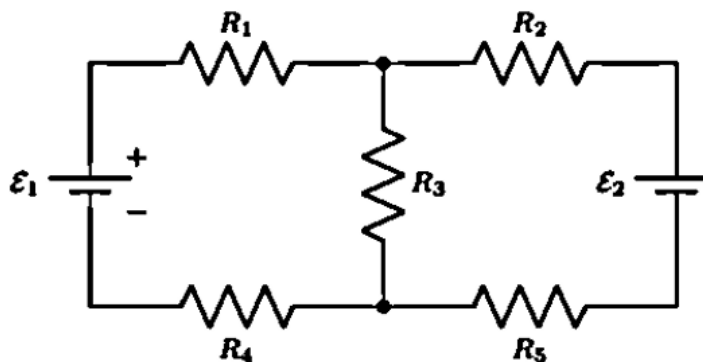


Figura 1: Circuito eléctrico con dos fuentes y cinco resistencias.

El experimento empieza con el montaje del equipo en el ambiente de simulación PhET. Este consiste en un circuito resistivo formado por dos baterías, una de 5,0 V y otra de 10,0 V con una resistencia interna de 1 Ω ; un resistor de 100,0 Ω , 50,0 Ω , 25 Ω , 10 Ω y 75 Ω .

Primero se armó el circuito (figura 2), donde $R_1=100\ \Omega$ y $R_2=75\ \Omega$, $R_3=50\ \Omega$, $R_4=25\ \Omega$ y $R_5=10\ \Omega$. Con el amperímetro y voltímetro digital, cuya resolución es de 0,01 A y 0.01V respectivamente, se midió la corriente y la diferencia de potencial en cada elemento.

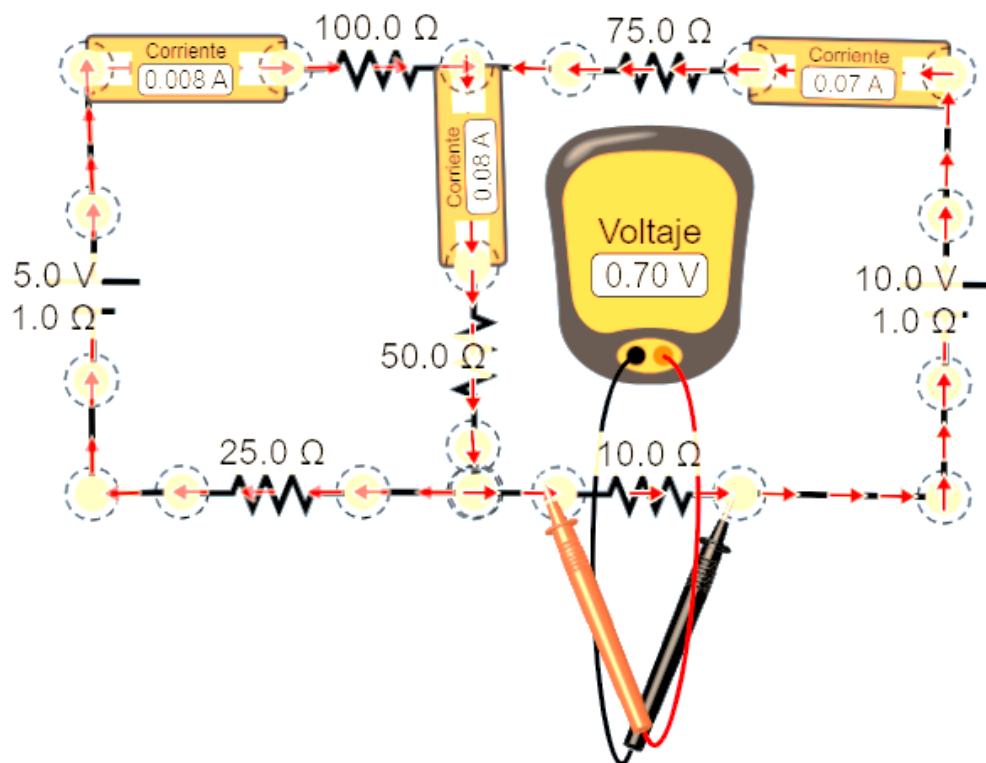


Figura 2: Circuito eléctrico usado en el experimento.

Posteriormente, para estudiar de forma experimental el principio de superposición en un circuito se armaron los circuitos mostrados en las figuras 3 y 4 con el fin de cuantificar el efecto producido por cada fuente sobre el circuito. Para obtener la tensión y corriente en cada componente a causa de la fuente de potencia de 5,0 V se colocó un cortocircuito en lugar de la fuente de 10,0 V. Luego, se utilizó el voltímetro y el amperímetro para hacer la toma de datos en cada componente. Se siguió el mismo procedimiento para medir el efecto de la batería de 10,0 V.

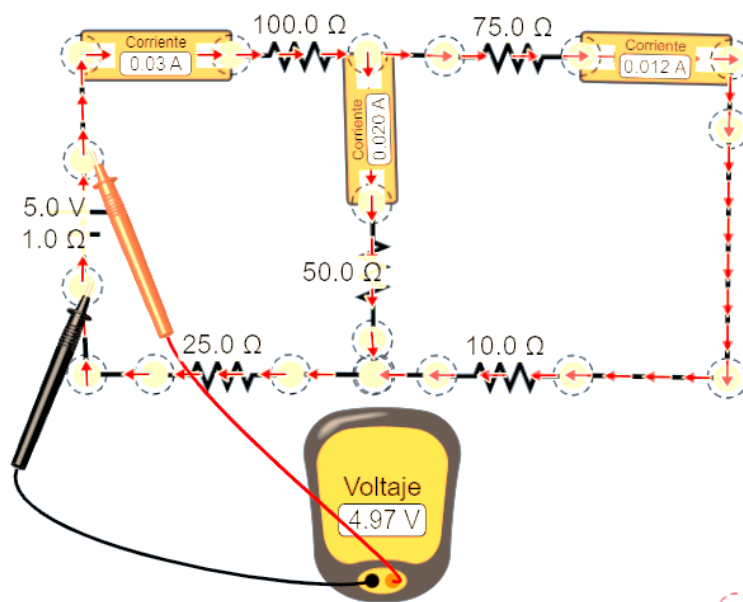


Figura 3: Circuito eléctrico con la fuente de 10,0 V apagada.

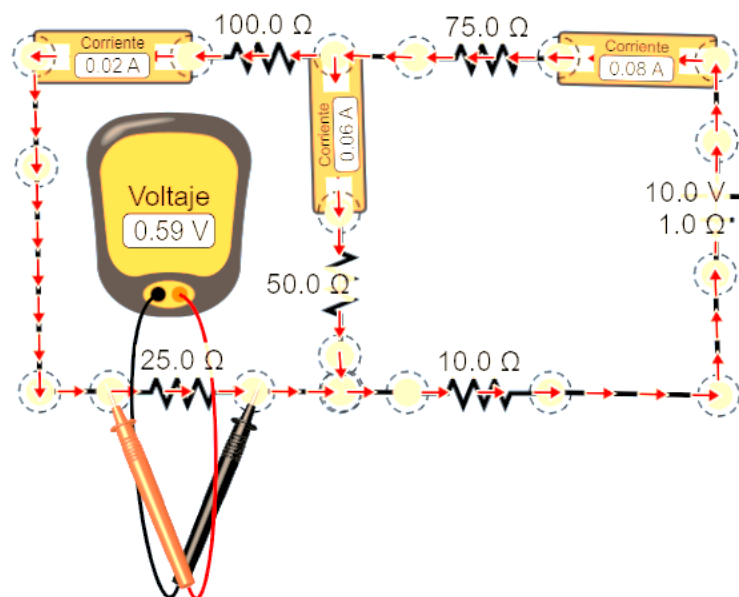


Figura 4: Circuito eléctrico con la fuente de 5,0 V apagada.

Para finalizar, se realizaron los cálculos necesarios para evaluar dos aspectos muy relevantes de este tema. Primero comprobar que la magnitud de las corrientes que entran y salen de un nodo (Ley de Nodos de Kirchhoff) es equivalente. Segundo, verificar que el principio de superposición se cumple.

Para llevar control de los datos, estos fueron anotados en tablas que se muestran más adelante. Además, se utilizaron las ecuaciones teóricas y los datos experimentales obtenidos para realizar los cálculos. Es importante realizar la toma de datos y los procedimientos con mucha precaución y varias veces para así obtener resultados confiables y más precisos. Al ser un trabajo realizado bajo una simulación, las mediciones se realizaron una vez debido a que cada valor medido siempre es el mismo.

3. Resultados y discusión

3.1. Datos obtenidos experimentalmente

Al realizar la toma de datos mediante los métodos especificados anteriormente, se obtuvieron los valores que se muestran en los cuadros 2, 3 y 4. Estos corresponden a los datos iniciales obtenidos directamente en la medición de la tensión y corriente para los circuitos eléctricos utilizados en el experimento.

Cuadro 2: Mediciones de voltaje y corriente de un circuito eléctrico con dos fuentes de tensión.

| Component | Valor Teorico | Voltaje ($\pm 0,01$)V | Corriente ($\pm 0,001$)A |
|-----------|---------------|-------------------------|----------------------------|
| Batería 1 | 5 V | 4,99 | 0,008 |
| Batería 2 | 10 V | 9,93 | 0,070 |
| R1 | 100 Ω | 0,84 | 0,008 |
| R2 | 75 Ω | 5,28 | 0,070 |
| R3 | 50 Ω | 3,94 | 0,080 |
| R4 | 25 Ω | 0,21 | 0,008 |
| R5 | 10 Ω | 0,70 | 0,070 |

El cuadro 2 muestra la contribución total de las dos fuentes de tensión en el circuito.

Al calcular de forma experimental la contribución de cada fuente independiente por separado se obtuvieron los resultados mostrados en los cuadros 3 y 4.

Cuadro 3: Mediciones de voltaje y corriente de un circuito eléctrico con la fuente de 10,0 V apagada.

| Component | Valor Teorico | Voltaje ($\pm 0,01$)V | Corriente ($\pm 0,001$)A |
|-----------|---------------|-------------------------|----------------------------|
| Batería 1 | 5 V | 4,97 | 0,030 |
| R1 | 100 Ω | 3,17 | 0,030 |
| R2 | 75 Ω | 0,88 | 0,012 |
| R3 | 50 Ω | 1,00 | 0,020 |
| R4 | 25 Ω | 0,79 | 0,030 |
| R5 | 10 Ω | 0,12 | 0,012 |

Cuadro 4: Mediciones de voltaje y corriente de un circuito eléctrico con la fuente de 5,0 V apagada.

| Componente | Valor Teórico | Voltaje ($\pm 0,01$)V | Corriente ($\pm 0,001$)A |
|------------|---------------|-------------------------|----------------------------|
| Batería 2 | 10 V | 9,92 | 0,080 |
| R1 | 100 Ω | 2,35 | 0,020 |
| R2 | 75 Ω | 6,16 | 0,080 |
| R3 | 50 Ω | 2,93 | 0,060 |
| R4 | 25 Ω | 0,59 | 0,020 |
| R5 | 10 Ω | 0,82 | 0,080 |

Una vez obtenidos los datos, con el fin de corroborar el Teorema de Superposición, se halló la contribución total al sumar algebraicamente todas las contribuciones debidas a las fuentes independientes (Cuadro 5).

Cuadro 5: Comprobación experimental del Teorema de Superposición.

| Componente | Valor Teórico | Voltaje ($\pm 0,01$)V | Corriente ($\pm 0,001$)A |
|------------|---------------|-------------------------|----------------------------|
| Batería 1 | 5 V | 4,97 | 0,010 |
| Batería 2 | 10 V | 9,92 | 0,068 |
| R1 | 100 Ω | 0,82 | 0,010 |
| R2 | 75 Ω | 5,28 | 0,068 |
| R3 | 50 Ω | 3,93 | 0,080 |
| R4 | 25 Ω | 0,20 | 0,010 |
| R5 | 10 Ω | 0,70 | 0,068 |

Además, en el cuadro 6 se muestran los valores de tensión y corriente teórica correspondiente a cada elemento del circuito. La obtención de estos datos se muestra en el apéndice 5.1.

Cuadro 6: Comprobación teórica del Teorema de Superposición.

| Componente | Valor Teórico | Voltaje (V) | Corriente (A) |
|------------|---------------|-------------|---------------|
| Batería 1 | 5 V | 5 | 0,008 |
| Batería 2 | 10 V | 10 | 0,071 |
| R1 | 100 Ω | 0,83 | 0,008 |
| R2 | 75 Ω | 5,35 | 0,071 |
| R3 | 50 Ω | 3,96 | 0,08 |
| R4 | 25 Ω | 0,2 | 0,008 |
| R5 | 10 Ω | 0,713 | 0,071 |

Al aplicar la Ley de Nodos de Kirchhoff de forma teórica y experimental mediante mediciones, y al obtener las corrientes que entran y salen de los nodos del circuito, se puede apreciar que los valores son muy aproximados.

El cálculo teórico de las corrientes se muestra en el apéndice 5.2. Al tomar la corriente I_1 como la corriente que pasa por $R = 100 \Omega$ y $R = 25 \Omega$, I_2 como la corriente a través de $R = 75 \Omega$ y $R = 10 \Omega$ y por último I_3 como la corriente en $R = 50 \Omega$ se obtiene los resultados del siguiente cuadro (cuadro 7).

Además, se muestra el porcentaje de error, el cual indica resultados confiables(5.3). Este error se debe más que todo a la resistencia interna en las fuentes de tensión.

Cuadro 7: Resultados de la aplicación de la Ley de Nodos de Kirchhoff.

| | I experimental ($\pm 0,001$)A | I teórica (A) | Porcentaje de error (%) |
|-------|---------------------------------|---------------|-------------------------|
| I_1 | 0,008 | 0,0077 | 4 |
| I_2 | 0,070 | 0,077 | 9 |
| I_3 | 0,080 | 0,0846 | 5 |

4. Conclusiones

1. Se comprobó experimentalmente la validez del teorema de superposición en un circuito lineal compuesto por resistencias y fuentes de tensión.
2. Se demostró experimentalmente la validez de la ley de nodos de Kirchhoff en un circuito lineal compuesto por resistencias y fuentes de tensión.
3. En el cálculo de las corrientes experimentales en el circuito se obtuvo un porcentaje de error menor a 10 en todos los casos (I_1 con 4 %, I_2 con 9 % e I_3 con 5 %).

5. Apéndice

5.1. Comprobación teórica del Teorema de Superposición.

Se apoyó de la Ley de Ohm

$$V = IR \quad (7)$$

Contribución de la fuente de 5,0 V: Se simplifica el circuito para facilitar los cálculos.

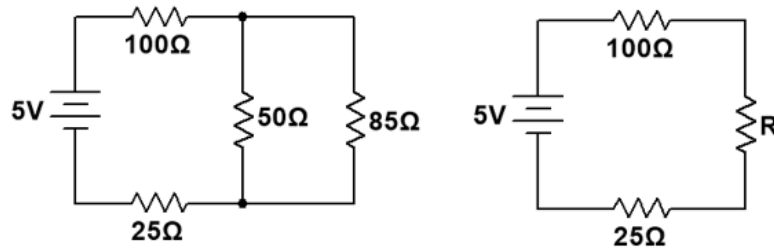


Figura 5: Simplificación del circuito con la fuente de 10,0 V apagada.

Donde

$$R = \frac{85 \times 50}{85 + 50} = \frac{850}{27} \Omega$$

Tensión en R=50 Ω:

$$V(50 \Omega) = 5 \left(\frac{\frac{850}{27}}{\frac{850}{27} + 100 + 25} \right) = 1,00 V$$

Corriente en R=50 Ω:

$$I(50 \Omega) = \frac{1,00}{50} = 0,02 A$$

Corriente suministrada por la batería:

$$I_{total-5V} = \frac{5}{\frac{850}{27} + 100 + 25} = 0,032 A$$

Tensión en R=100 Ω y R=25 Ω:

$$V(100 \Omega) = 0,032 \times 100 = 3,2 V$$

$$V(25 \Omega) = 0,032 \times 25 = 0,8 V$$

Tensión en $R=75\ \Omega$ y $R=10\ \Omega$:

$$V(75\ \Omega) = 1,00 \times \frac{75}{75 + 10} = 0,88\ V$$

$$V(10\ \Omega) = 1,00 \times \frac{10}{75 + 10} = 0,117\ V$$

Corriente en $R=75\ \Omega$ y $R=10\ \Omega$:

$$I(75\ \Omega) = \frac{0,88}{75} = 0,0012\ A$$

$$I(10\ \Omega) = \frac{0,117}{10} = 0,0012\ A$$

Contribución de la fuente de 5,0 V: Se simplifica el circuito para facilitar los cálculos.

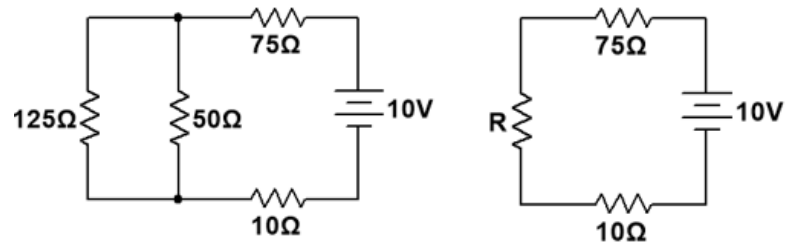


Figura 6: Simplificación del circuito con la fuente de 5,0 V apagada.

Donde

$$R = \frac{125 \times 50}{125 + 50} = \frac{250}{7}$$

Tensión en $R=50\ \Omega$:

$$V(50\ \Omega) = 10 \left(\frac{\frac{250}{7}}{\frac{250}{7} + 75 + 10} \right) = 2,96\ V$$

Corriente en $R=50\ \Omega$:

$$I(50\ \Omega) = \frac{2,96}{50} = 0,06\ A$$

Corriente suministrada por la batería:

$$I_{total-10V} = \frac{10}{\frac{250}{7} + 75 + 10} = 0,083\ A$$

Tensión en $R=75 \Omega$ y $R=10 \Omega$:

$$V(75 \Omega) = 0,083 \times 75 = 6,23 \text{ V}$$

$$V(10 \Omega) = 0,083 \times 10 = 0,83 \text{ V}$$

Tensión en $R=100 \Omega$ y $R=25 \Omega$:

$$V(100 \Omega) = 2,96 \times \frac{100}{100 + 25} = 2,37 \text{ V}$$

$$V(25 \Omega) = 2,96 \times \frac{25}{100 + 25} = 0,6 \text{ V}$$

Corriente en $R=100 \Omega$ y $R=25 \Omega$:

$$I(100 \Omega) = \frac{2,37}{100} = 0,024 \text{ A}$$

$$I(25 \Omega) = \frac{0,6}{25} = 0,024 \text{ A}$$

Contribución total de cada fuente en el circuito mediante el Teorema de Superposición:
Corriente en $R=50 \Omega$:

$$I(50 \Omega) = 0,02 + 0,06 = 0,08 \text{ A}$$

Corriente en $R=100 \Omega$ y $R=25 \Omega$:

$$I(100 \Omega) = I(25 \Omega) = 0,032 - 0,024 = 0,008 \text{ A}$$

Corriente en $R=75 \Omega$ y $R=10 \Omega$:

$$I(75 \Omega) = I(10 \Omega) = 0,083 - 0,012 = 0,071 \text{ A}$$

Tensión en $R=50 \Omega$:

$$V(50) = 2,96 + 1,00 = 3,96 \text{ V}$$

Tensión en $R=100 \Omega$:

$$V(100) = 3,2 - 2,37 = 0,83$$

Tensión en $R=75 \Omega$:

$$V(75) = 6,23 - 0,88 = 5,35 \text{ V}$$

Tensión en $R=25 \Omega$:

$$V(25) = 0,8 - 0,6 = 0,2 \text{ V}$$

Tensión en $R=10 \Omega$:

$$V(10) = 0,83 - 0,117 = 0,713 \text{ V}$$

Cuadro 8: Resultados teóricos al aplicar el Teorema de Superposición.

| Componente | Valor Teórico | Voltaje ($\pm 0,01$)V | Corriente ($\pm 0,001$)A |
|------------|---------------|-------------------------|----------------------------|
| Batería 1 | 5 V | 4,97 | 0,010 |
| Batería 2 | 10 V | 9,92 | 0,068 |
| R1 | 100 Ω | 0,82 | 0,010 |
| R2 | 75 Ω | 5,28 | 0,068 |
| R3 | 50 Ω | 3,93 | 0,080 |
| R4 | 25 Ω | 0,20 | 0,010 |
| R5 | 10 Ω | 0,70 | 0,068 |

5.2. Aplicación Teórica de la Ley de Nodos de Kirchhoff.

Se analiza el circuito en el nodo A y se aplica la Ley de Nodos de Kirchhoff para encontrar las corrientes teóricas que entran y salen del nodo.

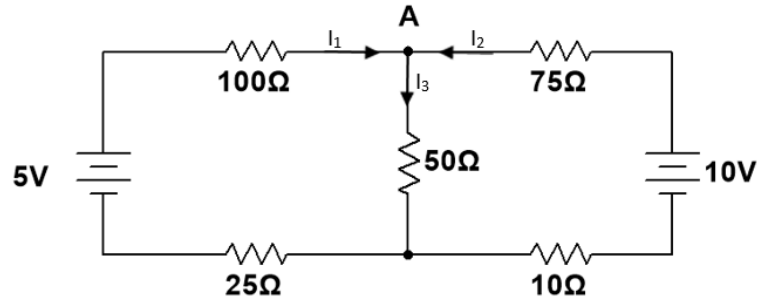


Figura 7: Aplicación de la Ley de Nodos de Kirchhoff en el nodo A del circuito utilizado en el experimento.

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (8)$$

$$\frac{5 - V_A}{100} + \frac{10 - V_A}{75} = \frac{V_A}{50}$$

$$V_A = 4,23 \text{ V}$$

$$I_1 = 0,0077 \text{ A}$$

$$I_2 = 0,077 \text{ A}$$

$$I_3 = 0,0846 \text{ A}$$

5.3. Cálculo del porcentaje de error

$$\%_{Error} = \frac{|Teórico - Experimental|}{Teórico} \cdot 100 \quad (9)$$

Referencias

- Hayt, William Hart, Jack E Kemmerly y Steven M Durbin (2012). *Análisis de circuitos en ingeniería*. McGraw Hill.
- Young, Hugh D y Roger A Sears Freedman (2013). *Zemansky Física universitaria con física moderna. Vol. 2. Décimo tercera edición Ed.*