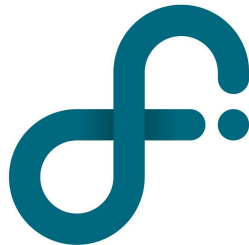


UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA



LABORATORIO 3

---

TITULO

---

*Autores:*  
ANDREU, Gonzalo  
MALPARTIDA, Bryan  
PUGLIESE, Facundo

FECHA

## 1. Resumen

## 2. Introducción

El siguiente informe detalla los experimentos llevados a cabo para comprobar empíricamente dos de las herramientas fundamentales a la hora de resolver un circuito eléctrico: la ley de Ohm y el teorema de Thevenin. Además, comprobar empíricamente la ley de Joule, que determina la potencia disipada por una resistencia, y la eficacia de la misma.

La ley de Ohm dice que si una fuente  $\varepsilon$  y una resistencia  $R$  están conectados en serie, la diferencia de potencial entre las terminales  $A$  y  $B$  (en los extremos de este circuito respectivamente) es  $V_{AB} = \varepsilon - iR$ , donde  $i$  es la corriente eléctrica generada por la fuente que pasa por la resistencia. En particular, si el circuito es cerrado se tiene  $V_{AB} = 0$  obteniendo entonces:

$$i = \frac{\varepsilon}{R} \quad (1)$$

Por otro lado, el teorema de Thevenin enuncia que si se desea conocer el comportamiento de un circuito en una sola rama el resto del circuito puede reemplazarse por una rama que consiste de una resistencia equivalente  $R_{th}$  y una fuente equivalente  $\varepsilon_{th}$ .

La resistencia  $R_{th}$  se calcula cortando el circuito y resolviendo el sistema de resistencias que se obtiene. Mientras que la fuente equivalente  $\varepsilon_{th}$  se obtiene calculando la diferencia de potencial entre  $A$  y  $B$  a circuito abierto utilizando las corrientes previamente calculadas mediante, por ejemplo, el método de ramas.

Para el sistema utilizado (detallado mas adelante) se tiene:

$$R_{th} = \frac{rR}{2r + R} \quad (2)$$

$$\varepsilon_{th} = \frac{2\varepsilon r}{2r + R} \quad (3)$$

Por ultimo, para poder calcular la potencia disipada por una resistencia  $R$ , la ley de Joule determina la siguiente ecuación:

$$P = i^2 R \quad (4)$$

Donde la  $i$  es la corriente que pasa por la resistencia.

De esta forma, si se coloca una resistencia de carga  $R_v$  que pueda variar en paralelo con una resistencia de un circuito, y calculando su respectivo equivalente de Thevenin, se puede obtener la potencia disipada por  $R_v$  como:

$$P_{R_v} = \frac{\varepsilon_{th}^2 R_v}{(R_v + R_{th})^2} \quad (5)$$

Una curva acampanada cuyo máximo debería encontrarse en  $R_{max} = R_{th}$ .

Sin embargo, maxima disipación no implica máxima eficiencia. Por lo tanto, se define la eficacia como el cociente entre la potencia disipada por una resistencia  $R$  y la potencia entregada por una fuente  $\varepsilon$ :

$$E = \frac{P_R}{P_\varepsilon} \quad (6)$$

Por lo tanto, si se quiere conocer la eficacia de una resistencia  $R$  se puede calcular su equivalente de Thevenin para obtener la relación:

$$E = \frac{\varepsilon_{th}}{\varepsilon} \frac{1}{1 + \frac{R_{th}}{R}} \quad (7)$$

### 3. Desarrollo experimental

#### 3.1. Ley de Ohm

Como se ha dicho, una de las leyes básicas de los circuitos en general es la Ley de Ohm (1). Es por esto que la primer parte del trabajo se desarrolló en torno a su comprobación empírica para circuitos de corriente continua. El montaje del sistema fue simple, consistiendo en una Fuente de Alimentación Programable de 3 canales, un multímetro digital y una resistencia variable por décadas. La Fuente de Alimentación actuó como una fuente de voltaje constante, que se conectó en serie con el multímetro y la resistencia variable. Esto permitió generar un circuito de una única malla que consiste en una resistencia y una fuente de voltaje constante (Ver Fig 1).

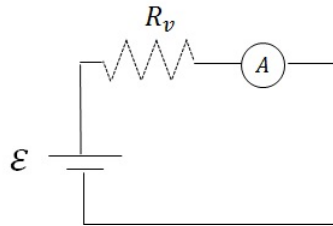


Figura 1: Circuito de malla única utilizado para la experiencia

La resistencia del multímetro utilizado en su función de amperímetro era  $R_A = (11,8 \pm 0,4)\Omega$ , la cual debió sumarse a la resistencia variable  $R_v$  (pues están en serie) a la hora de calcular la resistencia total del circuito. La resistencia interna de la Fuente se asumió despreciable. Para empezar, se fijó la resistencia variable  $R_v = (500 \pm 5)\Omega$  y se fue variando el voltaje de entrada  $\varepsilon$ , registrándose la corriente  $I$  resultante para cada valor de  $\varepsilon$ . Posteriormente, utilizando el mismo circuito se planteó analizar la relación entre  $I$  y  $R$  fijando el voltaje de la fuente a  $\varepsilon = (15,0 \pm 0,1)V$  y variando la resistencia total  $R = R_v + R_A$  a través de  $R_v$ .

#### 3.2. Equivalente de Thevenin y Ley de Joule

Terminado lo anterior, se propuso montar otro circuito con dos mallas con el primer objetivo de medir sus corrientes de rama y compararlas con el resultado teórico esperado. Se utilizaron dos resistencias  $R = (1000,0 \pm 0,5)\Omega$  y una resistencia  $r = (100,00 \pm 0,05)\Omega$ , mientras que la fuente de voltaje  $\varepsilon = (5,00 \pm 0,05)V$  fue generada nuevamente por la Fuente de Alimentación Programable, unidos por cables como se ve en el circuito de la Fig 2.

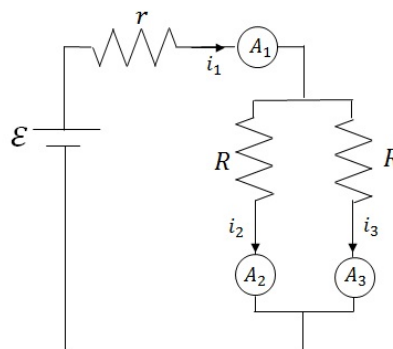


Figura 2: Circuito de dos mallas utilizado para la experiencia, los  $A_i$  representan los lugares donde se ubicó el multímetro

Inicialmente, se utilizaron las leyes de Kirchhoff y se resolvió el circuito mediante el método de ramas para obtener el valor de las corrientes  $i_1$ ,  $i_2$  e  $i_3$  en base a los parámetros.

Luego se ubicó el multímetro en las posiciones  $A_1$ ,  $A_2$  y  $A_3$  (Ver Fig 2) para medir las corrientes  $i_1$ ,  $i_2$  e  $i_3$  respectivamente, considerando despreciable la resistencia interna del multímetro.

Posteriormente, se buscó calcular el equivalente de Thevenin en forma teórica a través de los parámetros  $R$ ,  $r$  del circuito y  $\varepsilon$  usando (2) y (3) para obtener la resistencia y la fuente equivalente vista desde las terminales A y B, entre las cuales se conectará una resistencia de carga  $R_q$  (ver Fig 3).

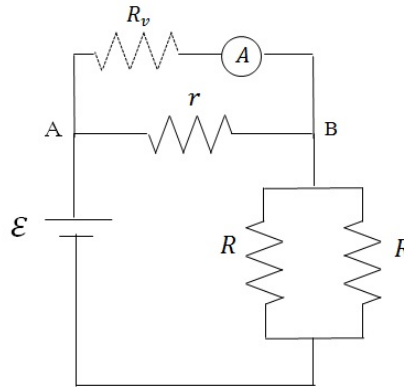


Figura 3: Circuito de dos mallas con la resistencia de carga acoplada

Conectando el multímetro en paralelo en las terminales A y B se midió la diferencia de potencial  $\Delta V_{AB}$  y la resistencia  $R_{AB}$  entre ambas terminales.

Una vez hecho esto, fue posible conectar una resistencia de carga  $R_v$  representada por una resistencia variable por décadas en serie con el multímetro en modo amperímetro. El objetivo fue medir la corriente  $I$  para distintos valores de  $R_v$  y en base a ambas magnitudes calcular la potencia  $P$  disipada por  $R_q$  a través de (4) buscando relevar la curva acampanada  $P(R_v)$ .

## 4. Resultados

### 4.1. Ley de Ohm

Los resultados de la primer medición con la resistencia  $R$  constante pueden verse en la **Figura 4**, cuyo ajuste lineal arroja una pendiente  $m_1 = (1,979,10^{-3} \pm 5,10^{-6})\Omega^{-1}$  y una ordenada  $b_1 = (-0,23 \pm 0,03)mA$  muy cercana a cero con un  $R$ -square = 0,99995, que asegura la bondad del ajuste. Siguiendo (1), se esperaría que la pendiente  $m_1 = (1,979,10^{-3} \pm 5,10^{-6})\Omega^{-1}$  fuera igual a  $\frac{1}{R}$  con  $R = (512 \pm 5)\Omega$ . Efectivamente, resulta  $\frac{1}{m_1} = (505,3 \pm 1,3)\Omega$ , el cual se acerca mucho a  $R = (512 \pm 5)\Omega$ .

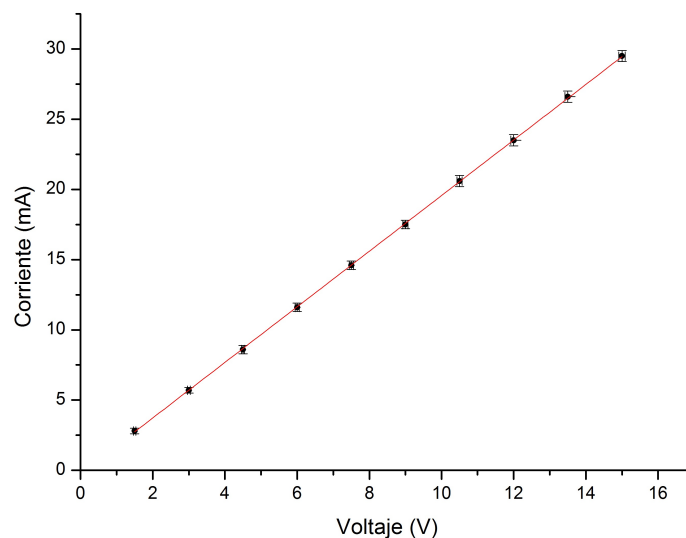


Figura 4: Relacion entre Voltaje ( $\varepsilon$ ) y Corriente ( $I$ )

Luego, con las mediciones correspondientes a un voltaje constante, se decidió realizar un gráfico que relacionara las corrientes medidas con el inverso de las resistencias seleccionadas, de esa forma,

si se cumple la ley de Ohm, debería haber una correspondencia lineal entre esos pares de valores. Como se puede ver en la **Figura ??** se confirma lo esperado, ya que una vez realizado un ajuste lineal, nos arroja un  $R - square = 0,99958$ . Cabe destacar, que para resistencias suficientemente altas, las corrientes resultantes deberían estar por debajo del límite de resolución de cualquier instrumento de medición; por lo cual, es consistente que el ajuste nos arroje una intersección con el eje de ordenadas muy cercano al 0. Efectivamente el valor obtenido es de  $b = (-0,001 \pm 0,002)$

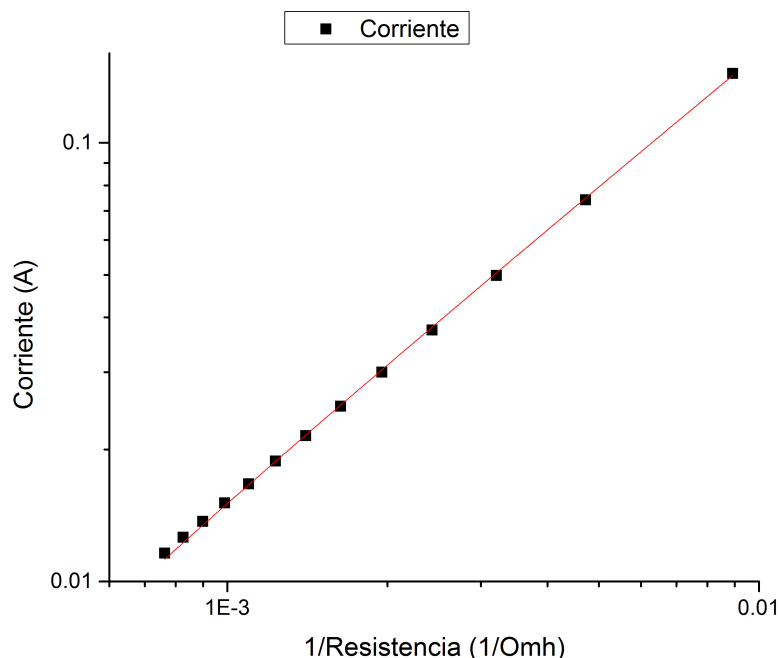


Figura 5: Relacion entre el inverso de Resistencia ( $1/R$ ) y Corriente ( $I$ )

Adicionalmente, según la ecuación (1) se esperaría que la pendiente de esta recta fuera el voltaje de entrada. En este caso resulta ser ligeramente superior con un valor  $m = (16,1 \pm 0,1)V$

#### 4.2. Equivalente de Thevenin y Ley de Joule

De las mediciones y cálculos hechos de las corrientes  $A_1$ ,  $A_2$  y  $A_3$  puede verse, en la **Tabla 1**, que los valores obtenidos con ambos métodos coinciden dentro del error.

Corriente	Valor	
	Teórico (mA)	Medido (mA)
$i_1$	$8,33 \pm 0,09$	$8,3 \pm 0,3$
$i_2$	$4,17 \pm 0,05$	$4,2 \pm 0,2$
$i_3$	$4,17 \pm 0,05$	$4,1 \pm 0,2$

Tabla 1: Valores obtenidos de las corrientes mediante cálculo (teórico) y medición directa

Luego, a través del cálculo del equivalente de Thevenin se obtuvieron los parámetros equivalentes  $\varepsilon_{th} = (0,83 \pm 0,08)V$  y  $R_{th} = (83,3 \pm 0,7)\Omega$ . Cabe aclarar que en este cálculo no intervinieron las corrientes previamente calculadas, si no que se utilizó directamente su dependencia con los parámetros del circuito. Alternativamente, mediante medición directa se obtuvo  $\Delta\varepsilon_{AB} = (0,84 \pm 0,06)V$  y  $R_{th} = (83,4 \pm 0,6)\Omega$ , valores que resultan indistinguibles dentro del error de los anteriormente calculados.

De los datos obtenidos se obtiene el gráfico de **Figura 6** donde se puede observar que el comportamiento de la potencia entregada por el circuito está dentro de los parámetros esperados. Luego, reali-

zando un ajuste, se obtiene una resistencia máxima  $R_{max} = (78,5 \pm 0,8)\Omega$  y un voltaje  $\varepsilon = (0,74 \pm 0,01)V$  ambos muy cercanos a los valores de Thevenin calculados anteriormente.

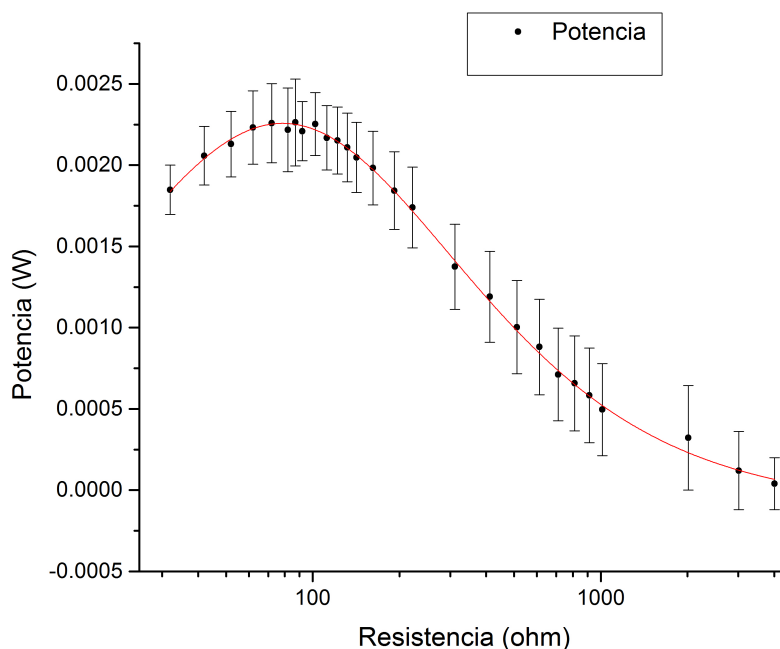


Figura 6: Relacion entre la potencia disipada y el valor de la resistencia de carga

Finalmente, se calculo la eficacia con la cual se traspasaba la potencia de nuestro circuito sobre la carga. En el grafico de la **Figura 7** se ve que hay una tendencia creciente pero que en los ultimos puntos se empieza a dispersar. Esto puede deberse a que al trabajar con resistencias tan altas, las corrientes medidas quedan muy cerca del umbral de resolution del multímetro, por lo cual ya las fluctuaciones propias del instrumento provocan incertezas muy altas.

Desestimando los puntos en cuyos calculos contenian corrientes con incertezas comparables con sus mediciones, el ajuste realizado utilizando (7) arroja como uno de sus parametros, la resistencia equivalente del circuito  $R_{max} = (77,8 \pm 0,8)\Omega$  que es consistente con los resultados y mediciones anteriores.

## 5. Conclusiones

## 6. Referencias

[1] Frank S. Crawford, *Berkeley physics course 3: Ondas*, 1994, Editorial Reverte S.A.

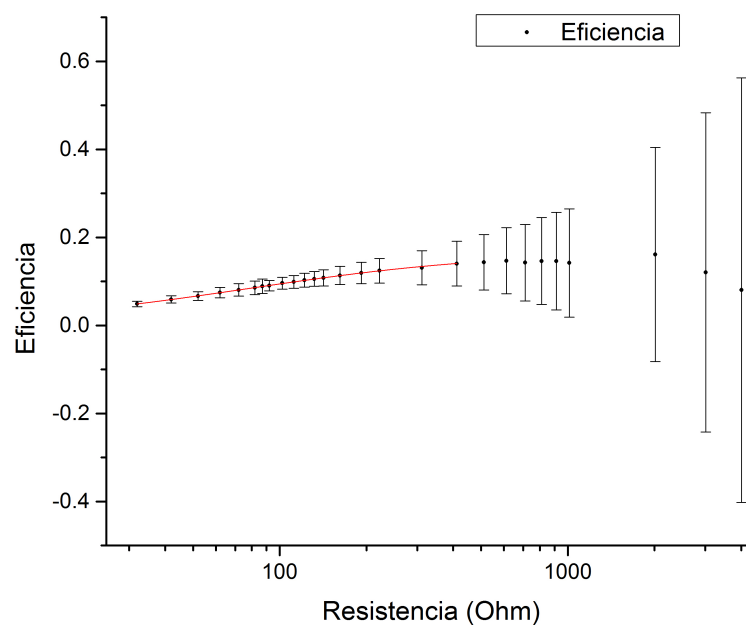


Figura 7: Relación entre la eficacia de la entrega de potencia y el valor de la resistencia de carga