

FE3-04. MEDIDA DE RESISTENCIAS CON EL PUENTE DE WHEATSTONE [*]

Introducción [1]

La precisión de la medida de una resistencia eléctrica usando un voltímetro y un amperímetro está limitada por las resistencias internas de esos instrumentos. Idealmente, se necesitan un voltímetro con resistencia interna infinita y un amperímetro con resistencia interna nula. En consecuencia, todas las medidas con estos instrumentos tienen un error instrumental que no se puede evitar.

Para la medida de resistencias se recurre entonces a “circuitos puente”, uno de los cuales es el Puente de Wheatstone, inventado por S. Christie en 1833 y perfeccionado y popularizado por C. Wheatstone en 1843.

Un circuito puente tipo Wheatstone [1]

Como se muestra en la Figura 1, una resistencia desconocida R_x y otras tres resistencias ajustables R_A , R_B y R_S forman un circuito llamado “puente”. Entre dos puntos del circuito, 2 y 4, se conecta un galvanómetro G (un medidor de corriente altamente sensible).

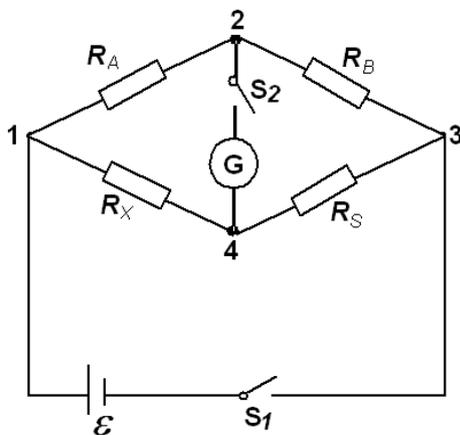


Figura 1. Diagrama de un puente de Wheatstone

Durante la operación, se ajusta la resistencia R_S hasta que la corriente que fluye sobre el galvanómetro, I_G , sea cero. A este proceso se lo llama “equilibrar el puente”. El galvanómetro G está conectado en esa rama precisamente para equilibrar el puente: cuando el puente está equilibrado, la corriente que pasa a través de las resistencias R_A y R_B es la misma, y la que pasa a través de R_S y R_x es la misma. Se tiene entonces la relación (verificarla):

$$R_x = \frac{R_A \cdot R_S}{R_B}$$

Como la exactitud de la medida depende crucialmente de la pequeñez de la corriente a través del medidor de corriente, se usa un galvanómetro altamente sensible. El

galvanómetro es entonces un instrumento muy delicado y puede ser dañado si circula excesiva corriente a través de él. Para prevenir, se conecta un “bypass” con una resistencia “shunt” para un ajuste grueso de modo que el puente esté casi equilibrado. Una vez que el puente está equilibrado con baja sensibilidad, puede lograrse el ajuste fino reduciendo gradualmente el valor de la resistencia shunt.

Sensibilidad de un puente de Wheatstone ^[2]

En el proceso de medida, el galvanómetro monitorea la corriente que pasa por la rama 2 - 4. Una vez alcanzado el equilibrio o balance de las dos ramas del circuito puente, un pequeño cambio de la resistencia R_S , descrito como δR_S , causará una deflexión del galvanómetro δI_G . La sensibilidad M del puente de Wheatstone se define como:

$$M = \frac{\delta I_G \cdot R_S}{\delta R_S}$$

Obviamente, cuanto mayor sea M , mayor será la incerteza en el valor de la resistencia R_S que equilibra el puente. En consecuencia, la magnitud M puede usarse para describir la sensibilidad de un puente de Wheatstone.

(Una expresión alternativa para M es

$$M \approx S_G \varepsilon \frac{R_A/R_B}{R_G(1 + R_A/R_B)^2}$$

donde R_G es la resistencia del galvanómetro, S_G es la sensibilidad del galvanómetro, ε es la tensión provista por la fuente de corriente continua).

Incerteza de un puente de Wheatstone ^[2]

En la práctica, se ajusta la resistencia R_S hasta que el flujo de corriente a través del galvanómetro sea cero. De aquí que la incerteza del circuito puente dependa de este proceso. Generalmente el límite de resolución de un instrumento de medida de aguja se define como un décimo de la mínima división de la escala del instrumento (esto es, el mínimo cambio que puede ser detectado por el ojo). Si un cambio de δR_S induce que la aguja del galvanómetro se mueva en una mínima división de su posición de equilibrio, la incerteza de medida $u_{PUENTE}(R_S)$ introducida por el puente puede escribirse como

$$u_{PUENTE}(R_S) = \frac{1}{10} \delta R_S$$

Puente de hilo ^[2]

Las resistencias R_A y R_B pueden sustituirse por un único hilo conductor homogéneo, de sección constante (s) y longitud total l (en los modelos sencillos, $l=1$ metro y en modelos de uso didáctico, $l=2$ metros). El punto (nodo) 2 está determinado por un contacto móvil (cursor) que se desplaza sobre el hilo. Por las características del hilo conductor, se tiene que

$$R_A = \rho l_A/s \quad , R_B = \rho l_B/s \quad \text{por lo tanto: } R_A/R_B = l_A/l_B$$

Y la condición del equilibrio del puente de hilo resulta:

$$R_x = \frac{l_A \cdot R_S}{l_B}$$

Aquí R_S es una caja de resistencias estándar calibradas.

Guía para realizar el experimento ^[2]

- 1- Se arma el circuito de la Figura 2 reemplazando las resistencias R_A y R_B por el puente de hilo.

Nota técnica: La corriente del circuito está limitada por los valores máximos permitidos por el puente de hilo y la caja de resistencias R_S . La elección de la tensión de la fuente de alimentación deberá hacerse a partir de un análisis de estos valores. En ningún caso la tensión de la fuente podrá superar los 2.5 Volts.

2- Medida de R_x (dos resistencias en serie que suman alrededor de 1 k Ω) para diferentes valores de R_A/R_B .

- a. Fijar R_A y R_B de acuerdo a los valores de R_A/R_B dados en la Tabla 1.
- b. Ajustar R_S hasta que i_G sea cero. El galvanómetro estará siempre conectado en serie a un pulsador (!).
- c. Determinar R_x para diferentes valores de R_A/R_B .
- d. La cantidad R'_S es la resistencia medida cuando i_G es $2\mu A$ (microamperes), la mínima división de la escala del galvanómetro. (Verificar este valor según el galvanómetro que se use).
- e. Completar la tabla y encontrar para qué valor de R_A/R_B la sensibilidad del puente de Wheatstone es máxima.

Tabla 1. Datos para resistencia $R_x \approx 1 \text{ k}\Omega$

R_A/R_B	l_A (cm)	$R_S(\Omega)$	$R'_S(\Omega)$	$\delta R_S/\delta i_G$	M	$R_x(\Omega)$
20						
10						
5						
1						
1/5						
1/10						
1/20						

3- Medida de la componente más pequeña de R_x ($\approx 100 \Omega$) para diferentes valores de R_A/R_B .

- f. Repetir el procedimiento 2.

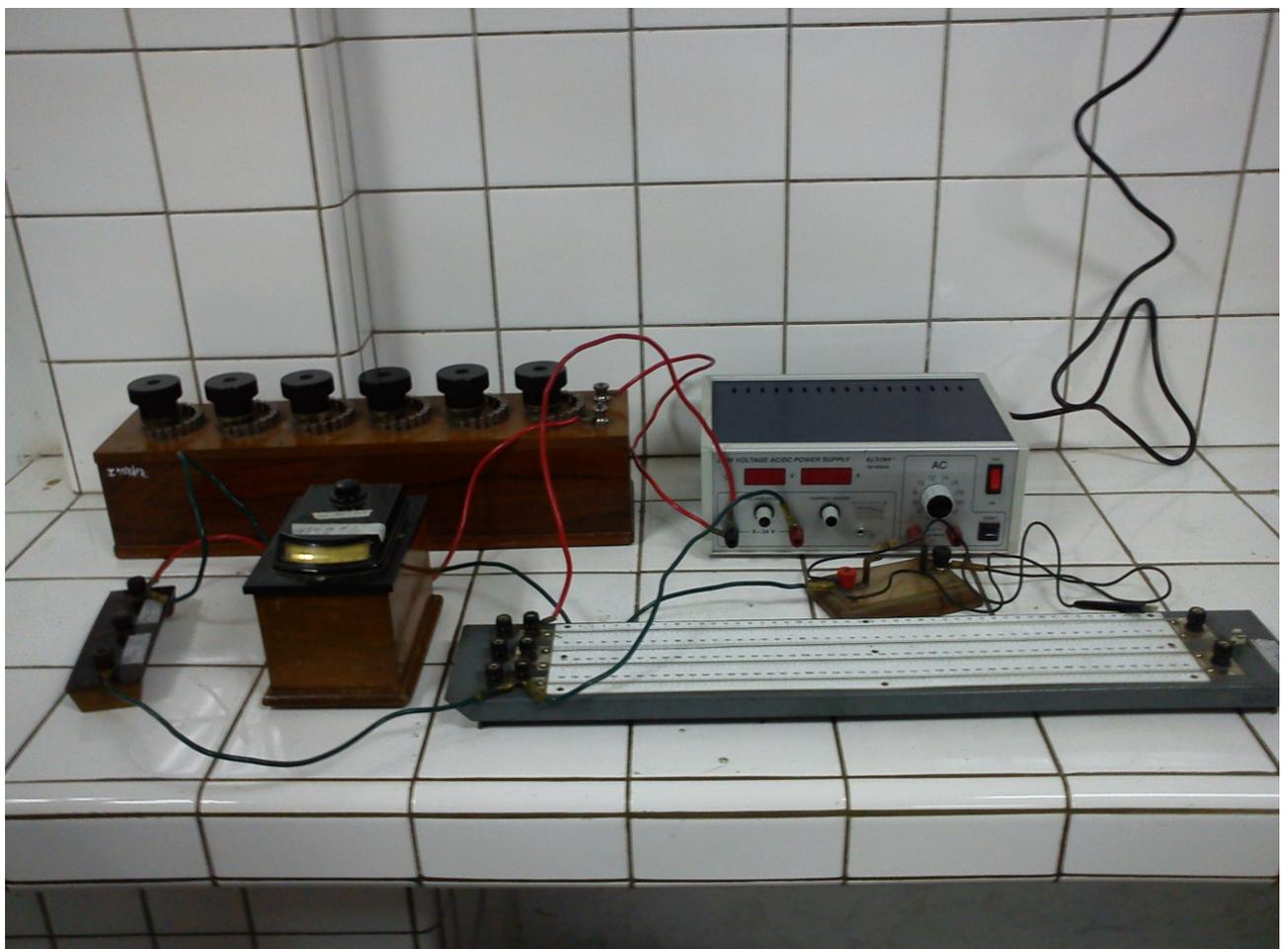
Tabla 2. Datos para resistencia $R_x \approx 100 \Omega$

R_A/R_B	l_A (cm)	$R_S(\Omega)$	$R'_S(\Omega)$	$\delta R_S/\delta i_G$	M	$R_X(\Omega)$
20						
10						
5						
1						
1/5						
1/10						
1/20						

Bibliografía.

- [*] Manuscrito preparado por J.L.Alessandrini (2013).
- [1] "Física". R.A. Serway. McGraw-Hill (1997), 4a. Edición. Cap. 28.1, 817 (Circuitos de corriente continua. Puente de Wheatstone).
- [2] "Trabajos Prácticos de Física". J.S. Fernandez y E.E. Galloni (1951), 330-336

Anexo. Fotografía del dispositivo experimental



Puente de Wheatstone