Técnicas Experimentales I

Instrumentación Electrónica

Práctica 1:
Circuitos de Corriente Continua

Pedro Martínez Caamaño

1· Objetivos

En el día a día contemporáneo nos vemos rodeados del impulsor tecnológico moderno, la electrónica. Para este aspecto y la inercia del mundo, hay que confiar en la electricidad; pero más allá de dejarnos llevar por esta, tendremos que comprenderla. Así, de forma práctica, realizaremos un primer contacto con material básico del laboratorio de electrónica, verificaremos de forma experimental la ley de Ohm, nos familiarizaremos con las escalas y magnitudes, experimentaremos con las resistencias en serie y en paralelo y haremos tratamiento de datos.

Pese a ser estas nuestras primeras realizaciones en laboratorio, podremos generalizar los objetivos en:

- Uso del polímetro.
- Aplicación del código de colores e interpretación de este en las resistencias.
- Comprobación de la ley de Ohm y de las leyes básicas de asociación de resistencias.

Al ir realizando las mediciones, dependiendo de su categoría, las dividiremos en Medida de resistencias, Circuito en serie y Circuito en paralelo. En cada una haremos las correspondientes estimaciones directas, indirectas o teóricas, regresiones lineales, daremos los resultados y los procesaremos para luego discutirlos brevemente.

2· Material

Haremos uso del correspondiente material:

- Polímetro
- Placa base y cables de conexión
- Resistencias
- Fuente de alimentación de corriente continua

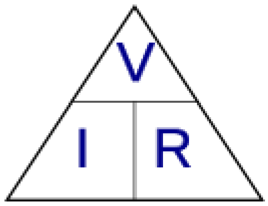
3· Fundamentos Teóricos

Los dos fundamentos físicos básicos con los que operaremos serán la ley de Ohm y la Asociación de resistencias eléctricas.

Ley de Ohm

Esta es una ley básica en el funcionamiento de circuitos eléctricos que relaciona la diferencia de Potencial (V, en Voltios (V)) con la Intensidad (I, en Amperios (A)) y la Resistencia Eléctrica (R, en Ohmios (Ω)) mediante la fórmula:

$$\boldsymbol{V = I \cdot R}$$

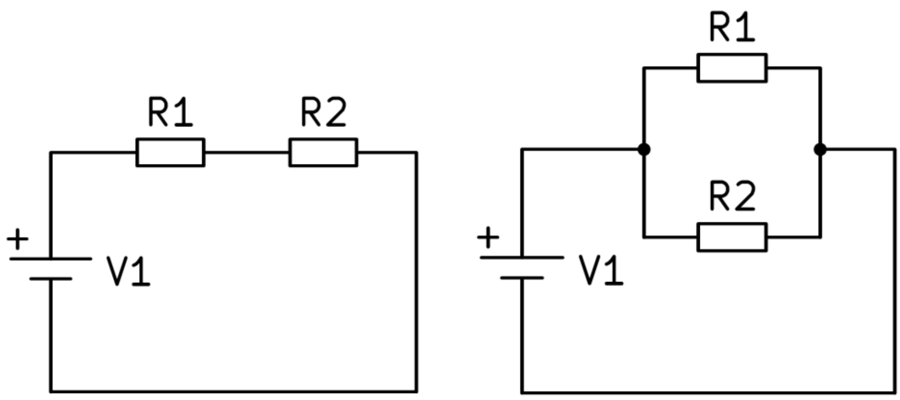


La ley fue enunciada por Georg Simon Ohm en 1827 y establece una relación directa de diferencia de potencial entre los extremos de un circuito eléctrico donde circula corriente con la resistencia de este y la intensidad sobre tal.

Por ello, al aplicar la relación $\frac{V}{I}$ esta debe permanecer constante, pudiendo evaluar de esta manera el valor de la resistencia: $\frac{V}{I} = cte. = R$; al haber en la recolección de datos, cierta incertidumbre sobre tales, deberemos operar bajo esta ecuación haciendo uso de la propagación de incertidumbres de medidas indirectas. Otra forma, con base de amplia cantidad de valores, es mediante representación gráfica de V frente a I, en la que, mediante regresión lineal obtendremos una recta cuya pendiente ha de ser la resistencia en cuestión: $\frac{\Delta V}{\Delta I} = R$

Asociación de resistencias eléctricas

Las resistencias, ya mencionadas, relacionan la intensidad con la tensión eléctrica de manera que, de forma no activa, disipan la energía del sistema en forma de calor. Ocurre y comprobaremos que al disponer varias resistencias en el mismo circuito de corriente continua (en estas prácticas entre una y dos, siendo siempre dos para las pruebas de asociación de resistencias) las propiedades generales de estas como conjunto varían si las disponemos en serie o en paralelo.



De izquierda a derecha: circuito con resistencias en serie y circuito con resistencias en paralelo.

- Resistencias en Serie. Dispuestas de forma contigua, cumple que, la intensidad es constante a lo largo de todas sus resistencias y la diferencia de potencial es la suma de la diferencia de potencial entre los terminales de cada resistencia, es decir que $V = V_1 + V_2$ Siendo V la resultante general en los extremos del conjunto de las dos resistencias y cada V indicada la diferencia de potencial entre los bornes de cada resistencia. Estos dos supuestos nos llevan a que las propiedades de resistencia se suman de forma continua: $R = \sum_i^n R_i$

- Resistencias en Paralelo. Unidas sus terminales a ambos extremos del circuito. La corriente total, al entrar por el nodo que conecta ambas resistencias, ha de dividirse, ocurre que la intensidad se reparte entre ambas resistencias a su paso $I = I_1 + I_2$ y el voltaje a través de cada resistencia es el mismo e igual al total del circuito. Entonces, en esta colocación, se da la siguiente relación como resistencia general de sus respectivas individuales: $\frac{1}{R} = \sum_i \frac{1}{R_i}$

4· Medida de Resistencias

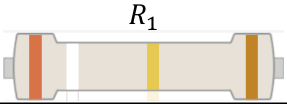
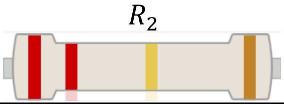
4.1· Código de Colores

Poseyendo las resistencias, podremos analizarlas mediante la tabla del código de colores dada por el fabricante para obtener sus valores esperados y correspondiente incertidumbre.

Colores	1ª Cifra	2ª Cifra	Multiplicador	Tolerancia
Negro		0	$\cdot\, 0$	
Marrón	1	1	$\cdot\, 10^1$	$\pm 1\%$
Rojo	2	2	$\cdot\, 10^2$	$\pm 2\%$
Naranja	3	3	$\cdot\, 10^3$	
Amarillo	4	4	$\cdot\, 10^4$	
Verde	5	5	$\cdot\, 10^5$	$\pm 0.5\%$
Azul	6	6	$\cdot\, 10^6$	
Violeta	7	7	$\cdot\, 10^7$	
Gris	8	8	$\cdot\, 10^8$	
Blanco	9	9	$\cdot\, 10^9$	
Oro			$\cdot\, 10^{-1}$	$\pm 5\%$
Plata			$\cdot\, 10^{-2}$	$\pm 10\%$
Sin color				$\pm 20\%$

Código de Colores de cuatro bandas.

Ahora aplicaremos la información de la tabla a nuestras dos resistencias, expresando los resultados con tres cifras significativas en sus magnitudes ya que dispondremos de esa precisión en las medidas directas y también es una decisión que tomaremos personalmente. Haremos las debidas aproximaciones.

Resistencia	Valor nominal (Ω)	Tolerancia	$R \pm s(R)$ (Ω)
R_1 	$3{,}90 \cdot 10^5$	$\pm 5\%$	$(3{,}90 \pm 0{,}20) \cdot 10^5$
R_2 	$2{,}20 \cdot 10^5$	$\pm 5\%$	$(2{,}20 \pm 0{,}11) \cdot 10^5$

Valores Teóricos de las resistencias.

4.2· Medida Directa

Con ayuda del polímetro, mediremos los valores de las resistencias anteriores colocando los bornes del multímetro en los extremos de cada resistencia. Debido a que no hemos podido acceder al manual de instrucciones del polímetro, desconocemos la incerteza asociada en medidas experimentales que suele ofrecer como dato el fabricante. De forma aproximada a esta, tomaremos como cifras significativas aquellas que puedan disponerse en la pantalla en las mediciones. Esto es algo que haremos en futuras mediciones de siguientes apartados y que afrontaremos de esta misma forma.

Resistencia	Lectura (Ω)	Resolución (Ω)	$R \pm s(R)$ (Ω)
R_1	$3{,}95 \cdot 10^5$	$\pm 10^3$	$(3{,}95 \pm 0{,}01) \cdot 10^5$
R_2	$2{,}18 \cdot 10^5$	$\pm 10^3$	$(2{,}18 \pm 0{,}01) \cdot 10^5$

Valores de las resistencias medidos con el polímetro.

4.3· Estimación Indirecta

4.3.1· Toma de medidas

Completaremos ahora, para la resistencia uno (R_1), diez medidas en las que valoraremos la intensidad del circuito con la resistencia (colocando el polímetro en serie en este, conectado a la corriente continua) según cierto voltaje (que seleccionaremos desde 1 a 10 V).

Medida	$V \pm s(V)$ (V)	$I \pm s(I)$ (A)
1	$1{,}0 \pm 0{,}1$	$(2{,}6 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
2	$2{,}0 \pm 0{,}1$	$(5{,}2 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
3	$3{,}0 \pm 0{,}1$	$(7{,}8 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
4	$4{,}0 \pm 0{,}1$	$(10{,}2 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
5	$5{,}0 \pm 0{,}1$	$(12{,}8 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
6	$6{,}0 \pm 0{,}1$	$(15{,}3 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
7	$7{,}0 \pm 0{,}1$	$(17{,}9 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
8	$8{,}0 \pm 0{,}1$	$(20{,}5 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
9	$9{,}0 \pm 0{,}1$	$(23{,}0 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
10	$10{,}0 \pm 0{,}1$	$(25{,}5 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$

Intensidad y Tensión en medidas de circuito simple usando la resistencia R_1.

4.3.2· Regresión Lineal Simple

Si representamos gráficamente V frente a I, según la Ley de Ohm, deberíamos obtener una recta que pase por el origen de coordenadas con el valor de la resistencia como pendiente. De forma práctica, al tomar datos de un mundo imperfecto, no nos va a dar una recta perfecta, sino aproximada, y esta la conseguiremos mediante regresión lineal simple utilizando el método de los mínimos cuadrados con el cual minimizaremos el error general asociado al peso estadístico de los valores y encontraremos la recta que mejor se aproxime a los puntos representados. La recta que obtendremos será $V = I \cdot R + a$ tal que a será próxima a cero o al menos debería.

Para aplicar el método de mínimos cuadrados utilizaremos $\omega_i = \frac{1}{s^2(y_i)+b^2 \cdot s^2(x_i)}$ pero despreciaremos la incertidumbre de x (correspondiente a las medidas de intensidad) frente a la de y (que muestra las medidas de voltaje, con una diferencia de 6 órdenes de magnitud), por tanto $\omega_i = \frac{1}{s^2(y_i)}$ y como la incertidumbre en y (voltaje) es la misma ($\pm 0,1\ V$), llegamos a que $\omega_i = cte$. Así, utilizaremos esto en la función a minimizar, que quedará como $X^2 = \omega_i \cdot \sum_i^n (y_i - (\alpha + \beta \cdot x_i))^2$ tal que $y_i = V_i$, $x_i = I_i$, $\beta = R$ y $\alpha = 0$. Para este último, haremos una comprobación para así verificar que $V = I \cdot R + a$ pasa por el origen o al menos muy próximo a este, usaremos la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{(\sum_i V_i) \cdot (\sum_i I_i^2) - (\sum_i I_i) \cdot (\sum_i V_i \cdot I_i)}{n \cdot (\sum_i I_i^2) - (\sum_i I_i)^2}$$

$V\ (V)$	$I\ (A)$	$I^2\ (A)$	$V \cdot I\ (V \cdot A)$
1	$2,6 \cdot 10^{-6}$	$6,8 \cdot 10^{-12}$	$2,6 \cdot 10^{-6}$
2	$5,2 \cdot 10^{-6}$	$27,0 \cdot 10^{-12}$	$10,4 \cdot 10^{-6}$
3	$7,8 \cdot 10^{-6}$	$60,8 \cdot 10^{-12}$	$23,4 \cdot 10^{-6}$
4	$10,2 \cdot 10^{-6}$	$104,0 \cdot 10^{-12}$	$40,8 \cdot 10^{-6}$
5	$12,8 \cdot 10^{-6}$	$163,8 \cdot 10^{-12}$	$64 \cdot 10^{-6}$
6	$15,3 \cdot 10^{-6}$	$234,1 \cdot 10^{-12}$	$91,8 \cdot 10^{-6}$
7	$17,9 \cdot 10^{-6}$	$320,4 \cdot 10^{-12}$	$125,3 \cdot 10^{-6}$
8	$20,5 \cdot 10^{-6}$	$420,2 \cdot 10^{-12}$	$164 \cdot 10^{-6}$
9	$23,0 \cdot 10^{-6}$	$529,0 \cdot 10^{-12}$	$207 \cdot 10^{-6}$
10	$25,5 \cdot 10^{-6}$	$650,2 \cdot 10^{-12}$	$255 \cdot 10^{-6}$
$\sum V_i = 55$	$\sum I_i = 140,8 \cdot 10^{-6}$	$\sum I_i^2 = 2516,3 \cdot 10^{-12}$	$\sum V_i \cdot I_i = 984,3 \cdot 10^{-6}$

A lo que alfa se resolvería como $\alpha = -0,0361$, que es muy próxima a cero, por lo que podremos decir que la ecuación $V = R \cdot I$ se cumple con las características de recta con término independiente nulo; así que utilizaremos las ecuaciones correspondientes a tal para una regresión lineal simple sin término independiente:

$$R = \frac{\sum_i V_i \cdot I_i}{\sum_i I_i^2}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_i (V_i - R \cdot I_i)^2}{n-1}}$$

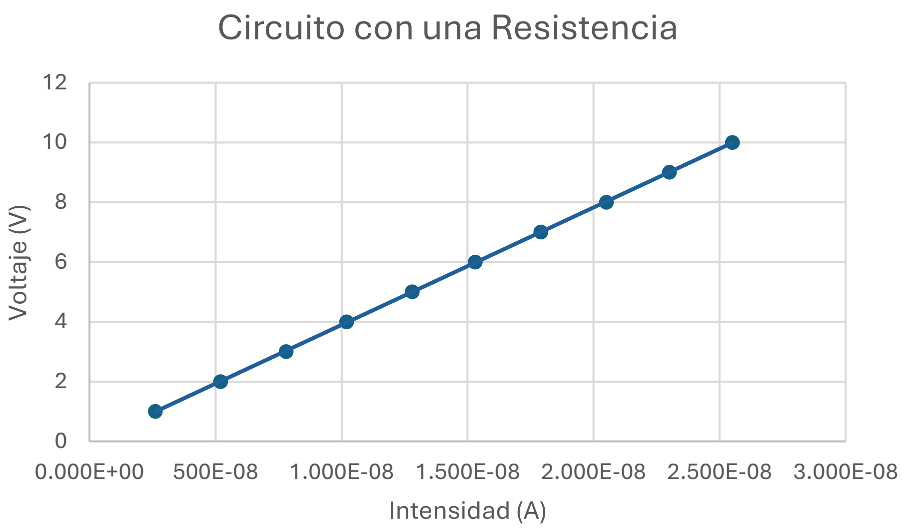
$$s(R) = \frac{s}{\sqrt{\sum_i I_i^2}}$$

$$r = \frac{\sum_i V_i \cdot I_i}{\sqrt{(\sum_i I_i^2) \cdot (\sum_i V_i^2)}}$$

A esto, formaremos una tabla de valores para calcular estos valores, en realidad será la misma tabla que arriba, pero añadiendo dos columnas que faltan:

$V\ (V)$	$I\ (A)$	$V^2\ (V)$	$I^2\ (A)$	$V \cdot I\ (V \cdot A)$	$(V - R \cdot I)^2$
1	$2{,}6 \cdot 10^{-6}$	1	$6{,}8 \cdot 10^{-12}$	$2{,}6 \cdot 10^{-6}$	$2{,}76 \cdot 10^{-4}$
2	$5{,}2 \cdot 10^{-6}$	4	$27{,}0 \cdot 10^{-12}$	$10{,}4 \cdot 10^{-6}$	$1{,}10 \cdot 10^{-3}$
3	$7{,}8 \cdot 10^{-6}$	9	$60{,}8 \cdot 10^{-12}$	$23{,}4 \cdot 10^{-6}$	$2{,}48 \cdot 10^{-3}$
4	$10{,}2 \cdot 10^{-6}$	16	$104{,}0 \cdot 10^{-12}$	$40{,}8 \cdot 10^{-6}$	$1{,}39 \cdot 10^{-4}$
5	$12{,}8 \cdot 10^{-6}$	25	$163{,}8 \cdot 10^{-12}$	$64 \cdot 10^{-6}$	$2{,}30 \cdot 10^{-5}$
6	$15{,}3 \cdot 10^{-6}$	36	$234{,}1 \cdot 10^{-12}$	$91{,}8 \cdot 10^{-6}$	$3{,}13 \cdot 10^{-4}$
7	$17{,}9 \cdot 10^{-6}$	49	$320{,}4 \cdot 10^{-12}$	$125{,}3 \cdot 10^{-6}$	$1{,}21 \cdot 10^{-6}$
8	$20{,}5 \cdot 10^{-6}$	64	$420{,}2 \cdot 10^{-12}$	$164 \cdot 10^{-6}$	$2{,}40 \cdot 10^{-4}$
9	$23{,}0 \cdot 10^{-6}$	81	$529{,}0 \cdot 10^{-12}$	$207 \cdot 10^{-6}$	$4{,}90 \cdot 10^{-5}$
10	$25{,}5 \cdot 10^{-6}$	100	$650{,}2 \cdot 10^{-12}$	$255 \cdot 10^{-6}$	$8{,}70 \cdot 10^{-4}$
$\sum V_i = 55$	$\sum I_i = 140{,}8 \cdot 10^{-6}$	$\sum V_i^2 = 385$	$\sum I_i^2 = 2516{,}3 \cdot 10^{-12}$	$\sum V_i \cdot I_i = 984{,}3 \cdot 10^{-6}$	$\sum (V - R \cdot I)^2 = 5{,}49 \cdot 10^{-3}$

Aplicando las fórmulas y usando los redondeos y cifras significativas necesarios, nos queda un valor de resistencia de: $(391{,}02 \pm 0{,}49) \cdot 10^3\ \Omega$ con un coeficiente de regresión lineal de $r \approx 0{,}9996881417 \ldots$



4.4· Resultados

Hemos obtenido los siguientes resultados por diversos métodos:

Resistencia	Código de Colores (Ω)	Medida Directa (Ω)	Estimación Indirecta (Ω)
R_1	$(3{,}90 \pm 0{,}20) \cdot 10^5$	$(3{,}95 \pm 0{,}01) \cdot 10^5$	$(391{,}02 \pm 0{,}49) \cdot 10^3$
R_2	$(2{,}20 \pm 0{,}11) \cdot 10^5$	$(2{,}18 \pm 0{,}01) \cdot 10^5$	

Para la resistencia dos, hay un rango entre las incertidumbres de ambos métodos donde coincide (2,19) por lo que podemos juzgarlo como valor confiable.

En cambio, con la primera resistencia, pese a poder aproximar (sobre todo con el uso del código de colores y con estimación indirecta), no hay pleno consenso de intersección confiable. Para llegar a esto se puede deber a la baja precisión de los valores de voltaje que indicaba la fuente de alimentación. Sería más eficiente haber utilizado el polímetro para verificar con más cifras significativas estos datos. De todas formas, podemos considerarlo un valor bueno como aproximación.

5· Circuito en Serie

5.1· Estimación teórica y medida directa

Situaremos ahora el ya mencionado circuito en serie (véase esquema en la página III) con las resistencias, también ya usadas, R_1 y R_2.

En este tipo de circuitos resulta que el conjunto de resistencias da lugar a una resistencia general ficticia con valor de suma de sus partes (este principio ya se mencionó en las páginas III y IV). Por ello, comenzaremos con el cálculo de este, pero detectando su incertidumbre mediante propagación de incertidumbres.

El valor teórico se obtiene sumando las resistencias según estipula el código de colores, por lo que $R = R_1 + R_2 = 6{,}1 \cdot 10^5\ \Omega$ y su incertidumbre calculada con el método de mínimos cuadrados aproximada a dos cifras significativas: $s(R) = \sqrt{s(R_1)^2 + s(R_2)^2} = 0{,}23 \cdot 10^5\ \Omega$

Por medida directa con polímetro, encontraríamos como resultado con la incertidumbre del multímetro que $R + s(R) = (0{,}615 \pm 0{,}001) \cdot 10^6\ \Omega$

Estimación Teórica (Ω)	Medida Directa (Ω)
$(6{,}10 \pm 0{,}23) \cdot 10^5$	$(6{,}15 \pm 0{,}01) \cdot 10^5$

5.2· Estimación indirecta

5.2.1· Toma de medidas

Realizaremos diez medidas buscando un voltaje lineal desde 1 a 10 V en los que haremos tomas de la diferencia de tensión de la resistencia general y las resistencias individuales por sus bornes en circuito en serie, además de la intensidad, que recordaré, es constante en todo el circuito. Estas medidas las haremos alternando la presencia del polímetro en el circuito de en serie a en paralelo según midamos intensidad o tensión.

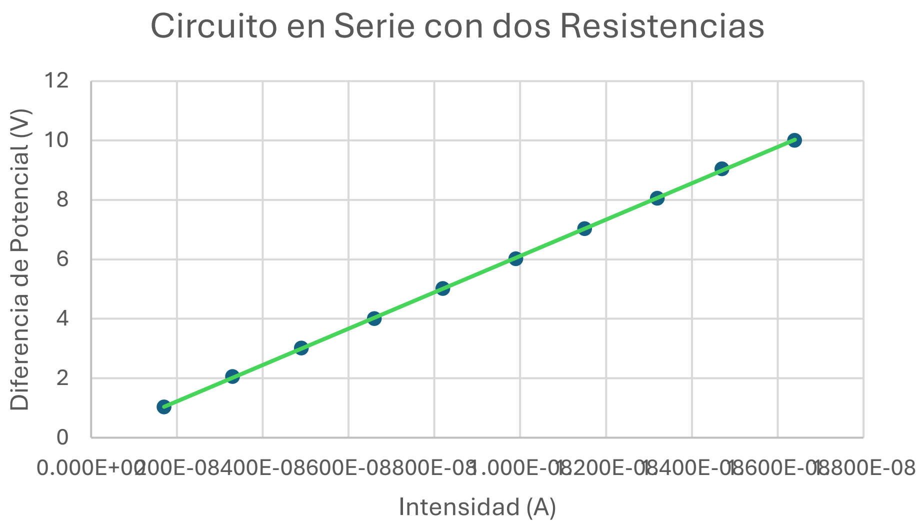
Medida	$V \pm s(V)(V)$	$V_1 \pm s(V_1)\ (V)$	$V_2 \pm s(V_2)\ (V)$	$I \pm s(I)\ (A)$
1	$1{,}032 \pm 0{,}001$	$0{,}656 \pm 0{,}001$	$0{,}364 \pm 0{,}001$	$(1{,}7 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
2	$2{,}05 \pm 0{,}01$	$1{,}305 \pm 0{,}001$	$0{,}724 \pm 0{,}001$	$(3{,}3 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
3	$3{,}01 \pm 0{,}01$	$1{,}911 \pm 0{,}001$	$1{,}059 \pm 0{,}001$	$(4{,}9 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
4	$4{,}00 \pm 0{,}01$	$2{,}54 \pm 0{,}01$	$1{,}409 \pm 0{,}001$	$(6{,}6 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
5	$5{,}02 \pm 0{,}01$	$3{,}18 \pm 0{,}01$	$1{,}765 \pm 0{,}001$	$(8{,}2 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
6	$6{,}02 \pm 0{,}01$	$3{,}82 \pm 0{,}01$	$2{,}11 \pm 0{,}01$	$(9{,}9 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
7	$7{,}03 \pm 0{,}01$	$4{,}46 \pm 0{,}01$	$2{,}47 \pm 0{,}01$	$(11{,}5 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
8	$8{,}06 \pm 0{,}01$	$5{,}12 \pm 0{,}01$	$2{,}83 \pm 0{,}01$	$(13{,}2 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
9	$9{,}05 \pm 0{,}01$	$5{,}74 \pm 0{,}01$	$3{,}18 \pm 0{,}01$	$(14{,}7 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
10	$10{,}01 \pm 0{,}01$	$6{,}35 \pm 0{,}01$	$3{,}52 \pm 0{,}01$	$(16{,}4 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$

Intensidad y Tensión en medidas de circuito en serie usando las resistencias R_1 y R_2 .

5.2.2· Regresión Lineal Simple

La incógnita ahora es el valor de la resistencia conjunta, que comprobaremos de forma indirecta mediante regresión lineal simple. Esta vez nos ahorraremos el proceso de mostrar los cálculos pues el procedimiento es exactamente el mismo al realizado en el apartado 4.3.2.

Nos da que R vale $(611{,}67 \pm 0{,}92) \cdot 10^3\ \Omega$



Tras aplicar una de las ecuaciones asociadas a los circuitos en serie, confirmaremos que $V = V_1 + V_2$ haciendo una tabla (con todos los valores el Voltios):

V	$s(V)$	V_1	$s(V_1)$	V_2	$s(V_2)$	$\sum_i V_i$	$\sum_i s(V_i)$
1,032	0,001	0,656	0,001	0,364	0,001	1,02	0,01
2,05	0,01	1,305	0,001	0,724	0,001	2,029	0,001
3,01	0,01	1,911	0,001	1,059	0,001	2,97	0,01
4,00	0,01	2,54	0,01	1,409	0,001	3,949	0,010
5,02	0,01	3,18	0,01	1,765	0,001	4,945	0,010
6,02	0,01	3,82	0,01	2,11	0,01	5,93	0,01
7,03	0,01	4,46	0,01	2,47	0,01	6,93	0,01
8,06	0,01	5,12	0,01	2,83	0,01	7,95	0,01
9,05	0,01	5,74	0,01	3,18	0,01	8,92	0,01
10,01	0,01	6,35	0,01	3,52	0,01	9,87	0,01

Realizadas las aproximaciones, vemos que la ecuación a comprobar se aproxima, pero no es equivalente. A simple vista podríamos pensar en fallos numéricos o al realizar el experimento. No digo que no puedan darse estos, pero quizás se deba a no tener en cuenta todas las variables como es la de la resistencia material de los filamentos de cobre que usamos como conductores. Por ende, estos valores (así como en los obtenidos por regresión lineal, no se deben tomar con tanta relevancia como los más directos.

5.3· Resultados

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Resistencia	Estimación Teórica (Ω)	Medida Directa (Ω)	Estimación Indirecta (Ω)
$R = R_1 + R_2$	$(6{,}10 \pm 0{,}23) \cdot 10^5$	$(6{,}15 \pm 0{,}01) \cdot 10^5$	$(611{,}67 \pm 0{,}92) \cdot 10^3\ \Omega$

Los valores son más consistentes esta vez pues muestran una clara comprobación de la regla de la resistencia compuesta. Para justificar los errores, cabe decir que en estos cálculos no se tiene en cuenta la resistencia de los hilos conductores que conforman el circuito como son los cables de cobre, que transforman cierta proporción de esta corriente en calor.

6· Circuito en Paralelo

6.1· Estimación teórica y medida directa

Estructuraremos ahora un circuito con las dos resistencias en paralelo (véase figura de la página III) en la que, acorde a lo especificado sobre las características de los circuitos en paralelo en la página IV, deberían cumplirse las siguientes condiciones, y es lo que comprobaremos: $I = I_1 + I_2$, $\frac{1}{R} = \sum_i \frac{1}{R_i}$ y una diferencia de tensión a ambos lados (tanto bornes de cada resistencia como nodos de unión) igual y constante.

Estas ecuaciones se encuentran primero deduciendo que la intensidad se reparte a lo largo de su camino por las resistencias que se encuentren en paralelo, por ello se puede especificar que $I = \sum_i I_i$. Aplicando la ley de Ohm nos quedaría que $\frac{V}{R} = \sum_i \frac{V_i}{R_i}$ pero para que la intensidad se reparta por el circuito, el voltaje ha de ser constante, así, nos queda que $\frac{1}{R} = \sum_i \frac{1}{R_i}$.

Comenzaremos, tras los cálculos, midiendo la resistencia de forma directa con el polímetro como ya hemos hecho en apartados anteriores. También tendremos que medir intensidades introduciendo el polímetro al circuito como elemento en serie, y para el voltaje, en paralelo.

Con la estimación teórica, usaremos la fórmula $R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$ y obtendremos de valor de R (utilizando la información relacionada con el código de colores), $1{,}406 \cdot 10^5\ \Omega$ y la correspondiente incertidumbre siguiendo:

$$s(R) = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial R_1}\right)^2 \cdot s(R_1)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial R_2}\right)^2 \cdot s(R_2)^2} = \sqrt{\frac{R_2^4}{(R_1+R_2)^4} \cdot s(R_1)^2 + \frac{R_1^4}{(R_1+R_2)^4} \cdot s(R_2)^2} \approx 5194$$

De forma directa hemos medido: $(140{,}8 \pm 0{,}1) \cdot 10^3\ \Omega$

Completamos pues la tabla:

Estimación Teórica (Ω)	Medida Directa (Ω)
$(140{,}6 \pm 5{,}2) \cdot 10^3$	$(140{,}8 \pm 0{,}1) \cdot 10^3$

6.2· Estimación indirecta

6.2.1· Toma de medidas

Haremos diez medidas con voltajes distintos y evaluaremos la intensidad general del circuito y la que circula por cada resistencia. Cabe mencionar que, al realizar estas mediciones, hemos utilizado otra estrategia de toma de datos para ahorrar tiempo (pues en el punto 5 la tarea se hizo monótona y lenta), que consiste en poner el polímetro en posición de medir un elemento e ir tomando notas y cambiando el voltaje, así con cada uno de los tres componentes. Antes manteníamos el voltaje y cambiábamos los elementos a medir, ahora mantenemos el elemento a medir y cambiamos el voltaje. Esto, sin embargo, puede tener repercusiones ya que hemos aprendido que el voltaje indicado en la pantalla de la fuente de alimentación es, en muchas ocasiones, considerablemente distinto al medido por el polímetro (más preciso). Por eso, antes de realizar los cálculos y la regresión lineal, cabe tener eso en cuenta pues pueden ser los peores valores generales de toda la práctica. Dicho esto, escribimos los valores en tabla:

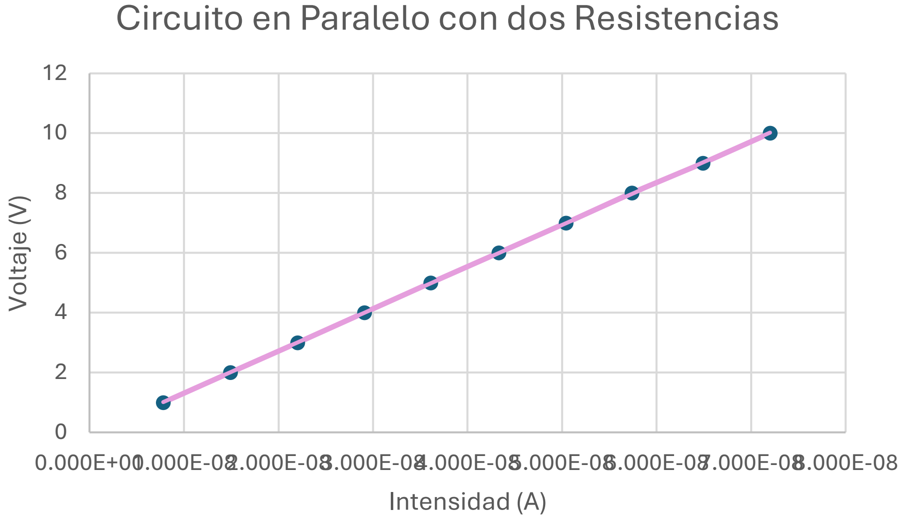
Medida	$V \pm s(V)(V)$	$I_1 \pm s(I_1)(A)$	$I_2 \pm s(I_2)(A)$	$I \pm s(I)(A)$
1	$1{,}0 \pm 0{,}1$	$(2{,}6 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$	$(5{,}1 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$	$(7{,}8 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
2	$2{,}0 \pm 0{,}1$	$(5{,}2 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$	$(9{,}4 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$	$(14{,}9 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
3	$3{,}0 \pm 0{,}1$	$(7{,}8 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$	$(14{,}1 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$	$(22{,}0 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
4	$4{,}0 \pm 0{,}1$	$(10{,}3 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$	$(18{,}5 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$	$(29{,}1 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
5	$5{,}0 \pm 0{,}1$	$(12{,}9 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$	$(23{,}2 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$	$(36{,}1 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
6	$6{,}0 \pm 0{,}1$	$(15{,}4 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$	$(27{,}8 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$	$(43{,}3 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
7	$7{,}0 \pm 0{,}1$	$(18{,}0 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$	$(32{,}3 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$	$(50{,}4 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
8	$8{,}0 \pm 0{,}1$	$(20{,}6 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$	$(37{,}1 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$	$(57{,}4 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
9	$9{,}0 \pm 0{,}1$	$(23{,}0 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$	$(41{,}7 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$	$(64{,}9 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$
10	$10{,}0 \pm 0{,}1$	$(25{,}5 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$	$(46{,}3 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$	$(72{,}0 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-6}$

Intensidad y Tensión en medidas de circuito en paralelo usando las resistencias R_1 y R_2 .

6.2.2· Regresión Lineal Simple

Mediante regresión simple calcularemos R y su respectiva incerteza, representaremos V frente a I y para finalizar con las medidas del circuito en paralelo, observaremos si se cumplen las condiciones de suma de Intensidades.

Nos ahorraremos el extenso proceso de obtención de valores por regresión simple y así, obtenemos el siguiente resultado $R = (139{,}0 \pm 0{,}3) \cdot 10^3\ \Omega$



Ahora buscaremos confirmar la relación de intensidad de los circuitos en paralelo, $I = I_1 + I_2$

$I\ (10^{-6})$	$s(I)\ (10^{-6})$	$I_1\ (10^{-6})$	$s(I_1)(10^{-6})$	$I_2\ (10^{-6})$	$s(I_2)\ (10^{-6})$	$\sum_i I\ (10^{-6})$	$\sum_i s(I_i)\ (10^{-6})$
7,8	0,1	2,6	0,1	5,1	0,1	7,7	0,1
14,9	0,1	5,2	0,1	9,4	0,1	14,6	0,1
22,0	0,1	7,8	0,1	14,1	0,1	21,9	0,1
29,1	0,1	10,3	0,1	18,5	0,1	28,8	0,1
36,1	0,1	12,9	0,1	23,2	0,1	36,1	0,1
43,3	0,1	15,4	0,1	27,8	0,1	43,2	0,1
50,4	0,1	18,0	0,1	32,3	0,1	50,3	0,1
57,4	0,1	20,6	0,1	37,1	0,1	57,7	0,1
64,9	0,1	23,0	0,1	41,7	0,1	64,7	0,1
72,0	0,1	25,5	0,1	46,3	0,1	71,8	0,1

Los valores que medimos esta vez son más adecuados a la fórmula pese a tener una pequeña desvarianza promedio. De misma manera, la intensidad de la fuente de alimentación permaneció siempre constante. Puede deberse al propio polímetro, a ligeros cambios al alternar voltajes o a las características físicas del circuito, pese a que el estar en paralelo no debería afectar a la intensidad ni cambios de esta.

6.3· Resultados

Como síntesis, podríamos reordenar los datos obtenidos tal que tengamos:

Resistencia	Estimación Teórica (Ω)	Medida Directa (Ω)	Estimación Indirecta (Ω)
$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$	$(140{,}6 \pm 5{,}2) \cdot 10^3$	$(140{,}8 \pm 0{,}1) \cdot 10^3$	$(139{,}0 \pm 0{,}3) \cdot 10^3\ \Omega$

Esta vez, todas las medidas intersecan en mismas regiones, podríamos decir que el valor real se encuentra con mayor probabilidad en esta región. Parece que los obstáculos intrínsecos de la esencia del circuito no alteraron demasiado los resultados.

7· Conclusión

En esta práctica hemos hecho primer contacto con el hogar del empirismo: el laboratorio, donde nos hemos iniciado en los procedimientos básicos de laboratorio y nos hemos desvirgado ante el polímetro.

También hemos realizados nuestros primeros cálculos de tratamiento de datos, así como de generación de rectas por regresión lineal. Los datos obtenidos también parecen bastante buenos y razonables pese a no haber nosotros generado de momento una perspectiva ni intuición en ese aspecto, que queda en mera y valiosa iniciación. También hemos obtenido el poder tener una forma más angular de sentir y percibir las magnitudes relacionadas con la ley de Ohm, entre las cuales antes no teníamos una idea muy asentada sobre el "mucho" y el "poco"

8· Bibliografía

-Presentación sobre Análisis de Incertidumbres:

https://cv.usc.es/pluginfile.php/2390439/mod_resource/content/1/an%C3%A1lisis%20incertidumbres.pdf

-Artículo con contexto y bases históricas de la Ley de Ohm:

https://en.wikipedia.org/wiki/Ohm%27s_law

-Código de colores:

https://masterplc.com/calculadora/codigo-de-colores-de-resistencias/