

Experiencias sobre Circuitos Eléctricos en Serie Operados por Corriente Directa



Rodolfo Acevedo Chávez
María Eugenia Costas Basin
Pilar Ortega Bernal

**EXPERIENCIAS SOBRE CIRCUITOS
ELÉCTRICOS
EN SERIE OPERADOS POR CORRIENTE
DIRECTA**

**EXPERIENCIAS SOBRE CIRCUITOS
ELÉCTRICOS
EN SERIE OPERADOS POR CORRIENTE
DIRECTA**

Dr. Rodolfo Acevedo Chávez

Investigador Independiente

Dra. Maria Eugenia Costas Basin

Facultad de Química, UNAM

Dra. Pilar Ortega Bernal

Facultad de Química, UNAM.

2018

El presente libro ha sido creado a instancias de la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. Está apegado a lo dispuesto en el Acuerdo por el que se establecen los Lineamientos Generales para la Política de Acceso Abierto de la Universidad Nacional Autónoma de México, la Legislación Universitaria, la Ley Federal de Derechos de Autor y cualquier otro ordenamiento en materia de propiedad intelectual aplicable.

Este libro puede ser reproducido con fines no lucrativos, siempre y cuando no se mutile, se cite la fuente completa y su dirección electrónica del modo siguiente:

<https://www.rua.unam.mx/portal/recursos/ficha/78025>

Cualquier otro uso requiere permiso previo por escrito de los autores.

Contacto: Dra. María Eugenia Costas Basin.

maria_eugenia.costas@unam.mx

Primera Edición: 2018

Fecha de edición: 1 de agosto de 2018.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Ciudad Universitaria, 04510 México, D.F.
ISBN: 978-607-30-0506-7

RECONOCIMIENTOS

Los autores hacen un reconocimiento a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico, UNAM, por el financiamiento otorgado a través del proyecto PAPIME “Protocolos Experimentales sobre Circuitos Eléctricos” (PE101917), para la edición y publicación del proyecto académico docente que constituye la obra presente.

Esta publicación fue autorizada por el Comité Editorial de la Facultad de Química, UNAM.

A Renata, con el amor de siempre

PRESENTACIÓN

Se podría sugerir que una característica de toda cultura sería al menos tener un conocimiento elemental de los principios de operación de los circuitos eléctricos. Estos forman parte incesante de nuestra vida cotidiana. La inserción de éstos en la mentalidad y formación universitaria parecería ser algo tácito, dada la utilización de ellos, por ejemplo, en actividades múltiples de carácter experimental tanto en los laboratorios de enseñanza como de investigación científica.

En el caso particular y con el desarrollo de una serie de experimentos sobre electromagnetismo, se vio la pertinencia de diseñar y elaborar un programa experimental sobre tópicos básicos de electricidad y circuitos eléctricos.

La colección presente de experiencias (diseñadas, formuladas, realizadas y discutidas) concierne al estudio de algunas propiedades fundamentales de circuitos en serie, en particular aquellos operados por fuentes de corriente directa.

Se ha pensado que dicha serie sería fundamental para un estudio posterior tanto de circuitos en paralelo (corriente directa) como de circuitos de corriente alterna. Se considera que dichas series sientan las bases elementales necesarias para los experimentos sobre electromagnetismo, y sus aplicaciones tecnológicas.

Los autores

2018

CONTENIDO

I.	Introducción	...1
II.	Precisiones	...8
III.	Conducta experimental E-I (Primera parte)	...19
	Experimento 1. Circuito base ($\theta = \text{cte}$)	...20
	Experimento 2. Circuito base ($\theta \neq \text{cte}$)	...23
IV.	Conducta experimental I-R	...28
	Experimento 3. Circuito nuevo con un filamento metálico (resistencia eléctrica variable) ($\theta \neq \text{cte}$)	...29
V.	Conducta experimental E-I (Segunda parte)	...39
	Experimento 4. Circuito nuevo con un filamento metálico (resistor de filamento de Cu) ($\theta = \text{cte}$)	...40
	Experimento 5. Circuito nuevo con un filamento en bulbo (lámpara) ($\theta = \text{cte}$)	...44
	Experimento 6. Circuito nuevo con un filamento en bulbo (lámpara) ($\theta \neq \text{cte}$)	...49
	Experimento 7. Circuito nuevo con un bobinado metálico (Cu) ($\theta = \text{cte}$)	...52
	Experimento 8. Circuito nuevo con un bobinado metálico (Cu) ($\theta \neq \text{cte}$)	...56
	Experimento 9. Circuito nuevo con un filamento en bulbo (lámpara) ($\theta \neq \text{cte}$)	...61
	Experimento 10. Circuito nuevo con una resistencia metálica (parrilla) ($\theta \neq \text{cte}$)	...65
	Experimento 11. Circuito nuevo con un resistor no metálico (barra de carbono) ($\theta \neq \text{cte}$)	...69
	Experimento 12. Circuito nuevo con un resistor no metálico (barra de carbono) ($\theta = \text{cte}$)	...74
	Experimento 13. Circuito nuevo con un resistor no metálico (barra de carbono-HB) ($\theta \neq \text{cte}$)	...78

Experimento 14.	Circuito nuevo con un resistor no metálico (barra de carbono-2H) ($\theta \neq \text{cte}$)	...82
Experimento 15.	Circuito nuevo con resistores no metálicos: barras de carbono HB y 2H ($R \neq \text{cte}$, $\theta \neq \text{cte}$)	...87
Experimento 16.	Conducta experimental E-I ($R \cong \text{cte}$; $\theta \cong \text{cte}$) Barra de cobre	...96
Experimento 17.	Conducta experimental E-I ($R \neq \text{cte}$; $\theta \neq \text{cte}$; θ_{eq}) Fusible 2 A; 250 V	...100
Experimento 18.	Conducta experimental E-I ($R \neq \text{cte}$; $\theta \neq \text{cte}$; θ_{eq}) Fusible 5 A; 250 V	...104
Experimento 19.	Conducta experimental E-I ($R \neq \text{cte}$; $\theta \neq \text{cte}$; θ_{eq}) Fusible 10 A; 250 V	...109
Experimento 20.	Conducta experimental E-I ($R \neq \text{cte}$; $\theta \neq \text{cte}$; θ_{eq}) Fusibles: 2 A, 250 V; 5 A, 250 V; 10 A, 250 V	...114
Experimento 21.	Conducta experimental E-I ($R \sim \text{cte}$; $\theta \cong \text{cte}$; θ_{amb}) Fusible 10 A; 250 V	...122
Experimento 22.	Conducta experimental E-I ($R \cong \text{cte}$; $\theta \cong \text{cte}$; θ_{amb}) Lámpara incandescente ($\sim 3 \text{ V}$)	...127
Experimento 23.	Conducta experimental E-I ($R \sim \text{cte}$; $\theta \cong \text{cte}$; θ_{amb}) Reóstato ($R_{\text{máx}} = 25 \Omega$, $P = 3 \text{ W}$)	...131
VI.	Conducta experimental E-I y P-I (Tercera parte)	...136
Experimento 24.	Conducta experimental E-I ($R = \text{cte}$; $\theta = \text{cte}$; θ_{amb}) Resistor ($R = 1 \Omega$, $P = 2 \text{ W}$)	...137
Experimento 25.	Conducta experimental E-I ($R \cong \text{cte}$; $\theta \neq \text{cte}$; θ_{eq}) Resistor ($R = 1 \Omega$, $P = 2 \text{ W}$)	...143
Experimento 26.	Conducta experimental E-I ($R = \text{cte}$; $\theta = \text{cte}$; θ_{amb}) Resistor ($R = 5.6 \Omega$, $P = 2 \text{ W}$)	...149
Experimento 27.	Conducta experimental E-I ($R = \text{cte}$; $\theta = \text{cte}$) Resistor ($R = 1 \Omega$, $P = 5 \text{ W}$)	...156
Experimento 28.	Conducta experimental E-I ($R = \text{cte}$; $\theta = \text{cte}$) Resistor ($R = 1.2 \Omega$, $P = 10 \text{ W}$)	...163
Experimento 29.	Conducta experimental E-I ($R \neq \text{cte}$; $\theta = \text{cte}$) Foco $\sim 6 \text{ V}$ ($R \sim 5.1 \Omega$)	...173
Experimento 30.	Conducta experimental E-I ($R = \text{cte}$; $\theta = \text{cte}$ (θ_{amb})) Resistor ($R \sim 1 \Omega$, $P \sim 2 \text{ W}$)	...179
Experimento 31.	Conducta experimental E-I ($\theta \cong \text{cte}$; $R \neq \text{cte}$) Circuito en serie con $R = 1 \Omega/5 \text{ W}$; $R_2 = \text{foco} \sim 1 \Omega/6 \text{ V}$	...186

Experimento 32.	Conducta experimental E-I ($\theta \cong \text{cte}$; $R \neq \text{cte}$) Circuito en serie con dos elementos de resistencia: un resistor (5 W) y un foco (12 W)	...194
Experimento 33.	Conducta experimental E-I ($\theta \cong \text{cte}$; $R \cong \text{cte}$) Resistor ($R = \sim 1.2 \Omega$, $P = 10 \text{ W}$) y dos fuentes de poder acopladas	...200
VII. Bibliografía básica auxiliar		...207

I. INTRODUCCIÓN

I. Introducción

El funcionamiento de aparatos y equipo de uso cotidiano (licuadora, lavadora, refrigerador, plancha, etc.) así como equipos de computación, telefonía y alta tecnología, involucran todos en mayor o menor medida, circuitos eléctricos, desde los más simples hasta los más complejos. El estudio de los fenómenos electromagnéticos simples debería constituir una herramienta generalizada, puesto que ha constituido una fuente de desarrollo tecnológico invaluable.

Las pruebas médicas sobre el funcionamiento de diferentes partes del organismo humano incluyen el prefijo electro: electroencefalograma, electrocardiograma, electrorretinograma, electromiograma, etc.; ello se debe a que la comunicación entre el cerebro, la máquina más compleja y eficiente existente, y las otras partes de nuestro organismo ocurre a través de señales eléctricas. La neurona es la célula encargada de transmitir y procesar estas señales, que se lleva a cabo a través del movimiento de iones. El intercambio de iones intracelular ocurre por una diferencia de potencial eléctrico, de origen químico, entre ambos lados de la membrana celular. Debido a este hecho los modelos que se están desarrollando sobre el funcionamiento del cerebro, el corazón, la célula, etc., incluyen invariablemente circuitos eléctricos, puesto que las corrientes iónicas son cargas en movimiento a través de canales iónicos que ofrecen diferentes resistencias. En esta descripción muy simple se incluyen tres conceptos que son fundamentales en cualquier circuito eléctrico: diferencia de potencial eléctrico, cargas en movimiento (que se denominan corriente eléctrica) y resistencia.

Dado este panorama es inevitable que la mayoría de las personas tendrá en sus manos, en algún momento, un equipo o aparato que en su funcionamiento involucre circuitos eléctricos; con mayor razón los estudiantes de cualquier área de las ciencias e ingenierías, en algún momento de su aprendizaje o de su vida profesional tendrán que trabajar con equipos especializados que involucren para su funcionamiento circuitos eléctricos. Sería de esperar que cuando esto ocurra, el estudiante o profesionista tenga al menos una idea del funcionamiento básico de un circuito eléctrico.

Desde el punto de vista de la física, existen dos propiedades importantes de la materia, que son la masa y la carga; la masa es una propiedad muy fácil de entender puesto que forma parte de nosotros, de nuestro cuerpo, de todas las cosas con las que cotidianamente tratamos. Sin embargo la carga no es evidente, “no se ve” y muchas veces es necesario hacerla “aparecer” a través de lo que llamamos desbalance de carga (o cargar un cuerpo) para medirla. Las dos propiedades generan una “modificación o perturbación en el espacio” que en física se pueden “medir” a través de dos cantidades íntimamente ligadas pero que

son de diferente naturaleza matemática. En el caso de la carga eléctrica, nos referimos a: el campo eléctrico (de carácter vectorial), y la diferencia de potencial eléctrico (carácter escalar), en tanto que, para medir la masa, podemos usar, el campo gravitacional (carácter vectorial) y la diferencia de potencial gravitacional (carácter escalar). No abundaremos más en el caso de la masa, porque no es el tema de este escrito, pero es claro que nos estamos refiriendo a dos propiedades “comunes” de la materia, que intrínsecamente son diferentes, pero que estamos familiarizados con la determinación de la masa, pero no con la medición de la carga eléctrica.

En el caso eléctrico, basta tener una partícula que tenga carga y colocarla en algún lugar para que todo el espacio se vea modificado por la presencia de ella. Esta modificación depende directamente del tamaño de la carga e inversamente de la distancia a la que analicemos la carga. El campo eléctrico proporciona información puntual, o sea, cómo se ve modificado un sólo punto del espacio por la presencia de una carga; el potencial eléctrico nos permite comparar qué tan diferente se ve un punto de otro por la modificación generada por la carga, por eso en general se habla de diferencias de potencial eléctrico, y de que un punto está a mayor o menor potencial eléctrico que otro. Para determinar el vector de campo eléctrico $\vec{E}$ se necesita un sistema de referencia, por ejemplo cartesiano, para establecer la posición de la partícula y la posición del punto. Con esa información, adicionada al tamaño y signo de la carga se calcula el campo eléctrico con la ecuación siguiente:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r}$$

En donde r^2 corresponde a la magnitud al cuadrado del vector de la diferencia entre el vector de posición del punto y el vector de posición de la carga, $\hat{r}$ es el unitario correspondiente al vector de la diferencia, q es el valor de la carga y ϵ_0 el valor de la permitividad del vacío. En el sistema internacional de unidades el campo eléctrico se mide en newton sobre coulomb (N/C).

Como el campo eléctrico obedece el álgebra de vectores, podemos calcular el efecto de la presencia de más de una carga, usando el principio de superposición.

Para determinar la diferencia de potencial eléctrico, necesitamos dos puntos y una carga, así como un sistema de referencia para establecer sus posiciones respectivas; la diferencia de potencial eléctrico, ΔV , entre los puntos 1 y 2 se determina con la siguiente ecuación:

$$\Delta V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$$

En donde r_1 y r_2 corresponden, respectivamente, a la magnitud del vector de la diferencia entre el vector de posición de la carga y cada uno de los vectores de posición de los puntos; claramente en esta ecuación el resultado puede ser positivo, negativo o cero, lo cual nos permite decir cómo es el potencial entre el punto 1 y 2. En el sistema internacional de unidades, la diferencia de potencial eléctrico se mide en volt (V).

Para definir la función potencial eléctrico, se escoge el punto que se tomará como referencia, es decir, en qué valor la función potencial se hace cero; en el caso de partículas puntuales es relativamente simple ya que cuando la separación entre el punto y la carga tiende a infinito podemos localizar el cero, ello acostumbra escribirse de la siguiente forma:

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}, \text{ con } V_\infty = 0 \text{ V.}$$

Nuevamente podemos extender estos resultados y calcular la diferencia de potencial eléctrico que generan más de una carga entre dos puntos, ya que se comporta como un escalar y podemos sumar efectos usando álgebra de reales.

Con estas cantidades, campo eléctrico y diferencia de potencial eléctrico podemos evaluar las modificaciones en el espacio generado por la presencia de cargas eléctricas; matemáticamente no son independientes, dado que los campos eléctricos son conservativos y por eso podemos definir una función potencial eléctrico: la relación entre ellas es:

$$\vec{E} = -\nabla V$$

Es decir, el campo eléctrico está relacionado con menos el gradiente de la función potencial. Además

$$\Delta V = - \int_{r_1}^{r_2} \vec{E} \cdot d\vec{l},$$

La diferencia de potencial eléctrico es la integral de línea del campo eléctrico, en una trayectoria definida.

Una vez que podemos determinar campo eléctrico y diferencia de potencial eléctrico para conocer las modificaciones en el espacio por la presencia de cargas eléctricas, estamos en posibilidades de saber qué ocurre cuando ponemos otra carga en este espacio que ya está modificado por la presencia de cargas. En este caso hablamos de interacciones y podemos calcular la fuerza a que estará sometida una carga al ponerla en presencia de otras. El cálculo es relativamente simple, una vez que calculamos el campo eléctrico generado por una o un

conjunto de cargas en un punto: sea $\vec{E}(q_1, q_2, \dots, q_n, \vec{r}_p)$ el campo eléctrico generado por n cargas en un punto p, ahora pensemos qué pasa si en ese punto colocamos otra carga, Q, diferente de las que generaron el campo eléctrico y queremos calcular la fuerza a la que está sometida dicha carga; esto se hace con la siguiente ecuación:

$$\vec{F} = Q\vec{E}(q_1, q_2, \dots, q_n, \vec{r}_p)$$

Que corresponde a multiplicar el valor de la carga, Q, que colocamos en la posición del punto p, por el campo eléctrico que ya conocemos. Esta es una ecuación vectorial y corresponde al producto del escalar carga, Q, por el vector campo eléctrico y por consiguiente el resultado es un vector, que denominamos el vector fuerza eléctrica que actúa sobre la carga Q por efecto de la presencia de las n cargas q. Nótese que si la carga Q es negativa el vector fuerza eléctrica está en la misma línea del vector campo eléctrico pero apunta en la dirección contraria, y si la carga Q es positiva el vector de campo eléctrico y el vector fuerza eléctrica son perfectamente paralelos, están en la misma línea y apuntan al mismo lado.

¿Qué ocurre si pensamos en diferencias de potencial eléctrico? Si tenemos dos cargas, q_1 negativa y q_2 positiva, fijas cada una en una posición distinta, los puntos cercanos a la carga negativa estarán a menor potencial que los puntos cercanos a la carga positiva; si colocamos una tercera carga Q positiva en un punto intermedio entre las dos cargas q_1 y q_2 , ésta se moverá hacia regiones de menor potencial, acercándose a la carga negativa. Si ahora colocamos esa tercera carga Q negativa en un punto intermedio entre las dos cargas q_1 y q_2 , ésta se moverá hacia regiones de mayor potencial, acercándose a la carga positiva. Este hecho experimental coincide con la atracción entre cargas de signo opuesto y repulsión entre cargas del mismo signo. (También coincide con el hecho de propiciar que el arreglo de las cargas corresponda a una configuración de menor energía).

Con base en estos hechos, un mecanismo para propiciar el movimiento de cargas es generar una diferencia de potencial eléctrico. Para ello existen diferentes dispositivos que pueden ser mecanismos simples o aparatos elaborados, que muchas veces se denominan “fuentes” que generan dicha diferencia de potencial eléctrico. Ahora bien, si podemos distinguir un movimiento “ordenado” de cargas, (en los átomos los electrones se mueven todo el tiempo pero no de manera ordenada), y cuantificamos la cantidad de cargas que cruza una sección transversal de área de un material por unidad de tiempo, entonces, podemos definir la corriente eléctrica, I. Debemos tener cuidado en cuanto a que las cargas que se mueven por la acción de una diferencia de potencial eléctrico son cargas presentes en un material, (o en una disolución iónica o alguna otra sustancia en donde se pueden diferenciar cargas netas), la cantidad de carga “disponible” para

“moverla” y la dificultad que existe para que este movimiento se lleve a cabo, corresponde particularmente a una de las propiedades eléctricas de los materiales conocida como resistividad (ρ , se mide en ohm por metro); esta propiedad es de origen microscópico y está relacionada con la propiedad macroscópica que llamamos resistencia (R se mide en ohm), que depende de la resistividad y de la geometría particular de los dispositivos, l y A , hechos con esos materiales. La relación entre resistividad y resistencia es la siguiente:

$$R = \frac{\rho l}{A}$$

En donde R es la resistencia, A la sección transversal de área del conductor a través de la que se establece la corriente eléctrica (son las caras en las que se conecta la fuente), y l la longitud del conductor.

Conociendo esta propiedad de respuesta a estímulos eléctricos es como nos encontramos con la clasificación de materiales en: conductores perfectos (tienen resistividades cercanas a cero), conductores (resistividades del orden de $10^{-8} \Omega \text{m}$), semiconductores (resistividades del orden de $10^{-3} \Omega \text{m}$) y aislantes o dieléctricos (resistividades mayores a uno). Es importante resaltar que en general las propiedades de respuesta de cualquier material dependen fuertemente de la temperatura y los experimentos son los que nos dan información sobre dicho comportamiento, existen materiales que en ciertos intervalos de temperatura se comportan como conductores y a bajas temperaturas pueden presentar un comportamiento de conductor perfecto.

Una forma relativamente simple para caracterizar el comportamiento eléctrico de algunos materiales es trabajar con filamentos del material a estudiar y hacer uso de los llamados circuitos simples, esto es, una fuente que generará una diferencia de potencial eléctrico, conectada a un filamento en el que se establece una corriente eléctrica y a través de medidas de la diferencia de potencial eléctrico y de corriente eléctrica, determinar el tipo de comportamiento del material para una temperatura dada.

Es importante resaltar que si aplicamos la misma diferencia de potencial eléctrico entre los extremos de dos conductores geoméricamente similares, las corrientes eléctricas resultantes, en general, son muy diferentes. La característica del conductor que interviene aquí es su resistencia. De esta forma podemos determinar la resistencia entre dos puntos de un conductor aplicando una diferencia de potencial eléctrico, V , entre dichos puntos y midiendo la corriente eléctrica I que resulta. La resistencia eléctrica R es entonces,

$$R = V/I$$

Si la diferencia de potencial eléctrico V se expresa en volt y la corriente eléctrica I se expresa en ampere, la resistencia eléctrica R se expresará en volt/ampere, a lo que se le da el nombre de ohm, Ω .

Existen algunos materiales para los cuales la respuesta a la diferencia de potencial eléctrico es siempre una corriente eléctrica directamente proporcional a dicha diferencia de potencial eléctrico, en intervalos grandes de temperatura; esto se debe a que la resistividad no cambia apreciablemente en dicho intervalo de temperatura y por consiguiente, la resistencia eléctrica se considera constante, este tipo de materiales se denominan óhmicos, siempre y cuando se asegure que dicho comportamiento no se ve alterado si la diferencia de potencial eléctrico se incrementa o se disminuye y si se establece la corriente eléctrica en un sentido o en el opuesto, esto significa que el proceso sea reversible.

Es importante resaltar que existen muchos materiales en los que la corriente eléctrica no es directamente proporcional a la diferencia de potencial eléctrico a que se somete el conductor, es decir, no presentan un comportamiento óhmico y no puede asignarse un valor constante a la resistencia eléctrica del conductor, en general, esto se debe a que la resistividad cambia de forma continua con la temperatura.

Para algunos materiales el comportamiento de la resistividad como función de la temperatura puede aproximarse con una función lineal, en los conductores metálicos la resistividad aumenta cuando aumenta la temperatura, sin embargo, para cada caso sería necesario establecer el comportamiento de la resistividad del material como función de la temperatura. Uno de los modelos más utilizados en la literatura es el siguiente:

$$\rho = \rho_0 + \alpha(\theta - \theta_0)$$

Donde ρ_0 es la resistividad a la temperatura θ_0 y ρ la resistividad a la temperatura θ . El factor α se denomina coeficiente térmico de resistividad.

Como puede verse, la respuesta eléctrica de cada material puede ser muy compleja, de ahí la necesidad de conocer como una primera aproximación de estas respuestas el comportamiento de circuitos simples.

Debido a que en muchas aplicaciones se usa E para denotar la diferencia de potencial eléctrico, en los experimentos propuestos en este trabajo se usará E en lugar de ΔV ó V , para denotar dicha diferencia de potencial eléctrico.

II. PRECISIONES

II. Precisiones

A. SOBRE EL CARÁCTER DE LOS EXPERIMENTOS

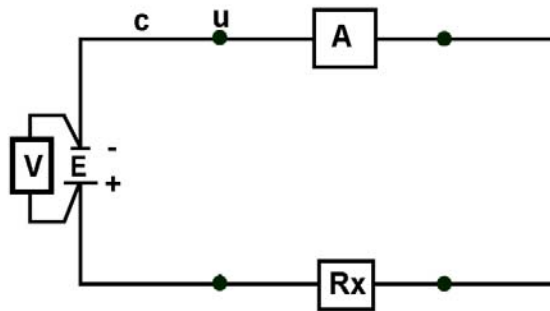
Los experimentos que constituyen esta colección, se basan en la conducta experimental $E - I$ de circuitos eléctricos en serie operados por C.D. Los circuitos presentan modalidades respecto a la naturaleza y propiedades de ciertos elementos de resistencia eléctrica. Los estudios $E - I$ permiten obtener a su vez propiedades tanto de los circuitos en su conjunto como de sectores de ellos. Para asegurar que las condiciones de reversibilidad que implica la definición de la resistencia eléctrica se cumplieran, los cambios de potencial eléctrico (y por tanto de intensidad de corriente eléctrica) fueron pequeños con relación al valor de E .

B. SOBRE LAS CONDICIONES DE TEMPERATURA

En la realización de dichos experimentos, se considera a la propiedad temperatura. En la medida de las posibilidades experimentales, esta propiedad fue mantenida constante en un conjunto de experimentos, y permitida variar (premeditadamente) en otros. La intención de ello es observar la influencia de dicha propiedad de estado sobre la conducta $E - I$ tanto de los circuitos como de sectores de ellos.

C. SOBRE EL EMPLEO DE UN CIRCUITO BASE

Para la realización de los experimentos, se establece la metodología de empleo de un circuito eléctrico base. Las propiedades básicas de este circuito (tanto a temperatura constante como variable) son el punto de partida para el análisis de los circuitos que consideran elementos nuevos de resistencia eléctrica. A lo largo de la colección, éstos últimos son denominados circuitos nuevos. La diferencia entre el circuito base y el circuito nuevo, es la presencia de elementos nuevos de resistencia eléctrica en este último. A continuación se muestra esquemáticamente un ejemplo de circuito nuevo.



Esquema general del circuito

En este circuito se tienen los significados siguientes:

E = fuente de poder (C.D.) con diferencia de potencial eléctrico variable.

V = multímetro (voltímetro) con resistencia interna y escala variables.

A = multímetro (amperímetro) de escala variable.

c = elemento conductor de corriente eléctrica.

u = unión física.

R_x = elemento de resistencia eléctrica en estudio.

Para dicho circuito, la resistencia eléctrica total (R_T) a ciertas condiciones de θ , es igual a:

$$R_T = R_{T(V+E)} + \sum_i R_{ci} + \sum_i R_{ui} + R_X + R_A$$

donde

$R_{T(V+E)}$ = Resistencia eléctrica interna del circuito: fuente de poder – voltímetro (circuito interno en paralelo).

$\sum_i R_{ci}$ = Resistencia eléctrica total de los conductores que integran el circuito (circuito en serie)

$\sum_i R_{ui}$ = Resistencia eléctrica total de las uniones que integran el circuito (circuito en serie)

R_X = Resistencia eléctrica del elemento R_x bajo estudio (circuito en serie)

R_A = Resistencia eléctrica interna del amperímetro A (circuito en serie)

En la colección de experimentos se supone (en la mayor medida técnica posible) que la diferencia entre R_T (circuito nuevo) y R_T (circuito base) sea debida solamente a la presencia física de R_x en el primero, para las mismas condiciones de temperatura en ambos circuitos.

D. SOBRE LOS INSTRUMENTOS

En la realización de los experimentos se emplearon los equipos e instrumentos siguientes:

I. Fuentes de CD/εvariable

Marca: Electro-Technic Products (USA)

Números de catálogo: 4999 y 5000

Intervalo: 0.0 – 12.0 V

Resolución: 0.1 V

$I_{\max} = 3.0$ A

Control: analógico

II. Multímetros

Marca: GW Instek

Modelos: GDM-8034

Números de serie: CJ820753 y CJ851049

Descripción: lecturas digitales

Calibración: sí (ver certificado de calibración en Apéndice de Precisiones)

III. Termómetro (inmersión parcial)

Marca: H-B Instrument Company

Parte No.: 20443

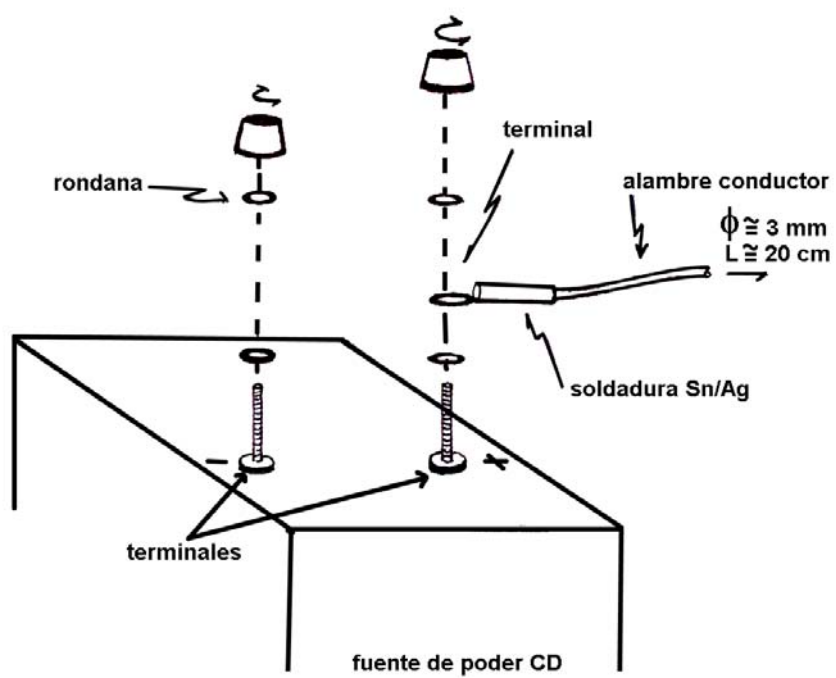
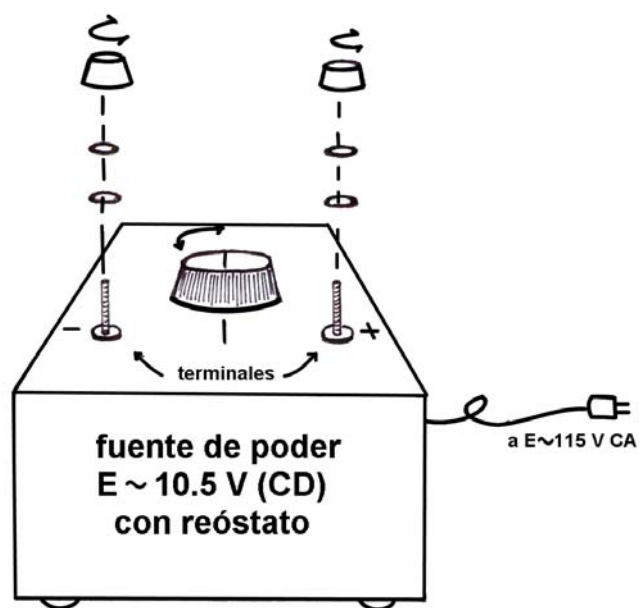
Número de serie: 1708

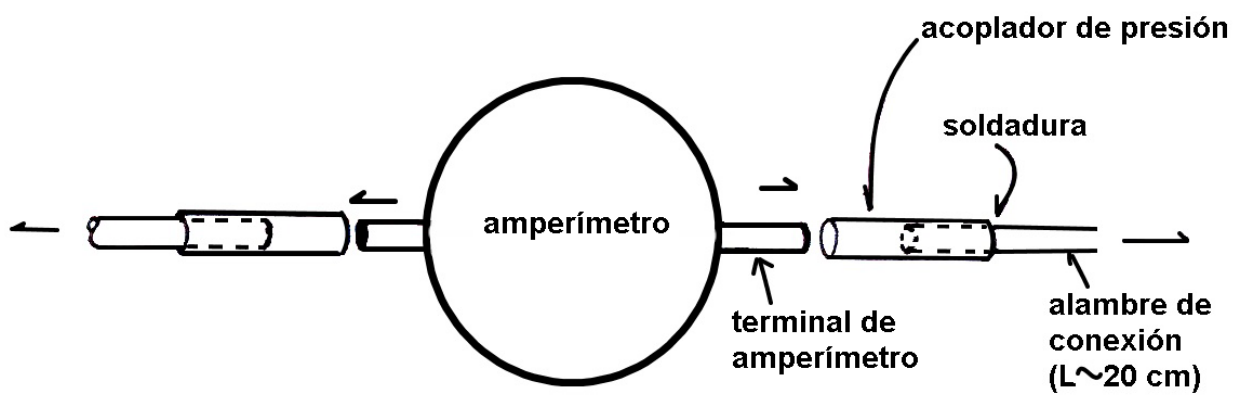
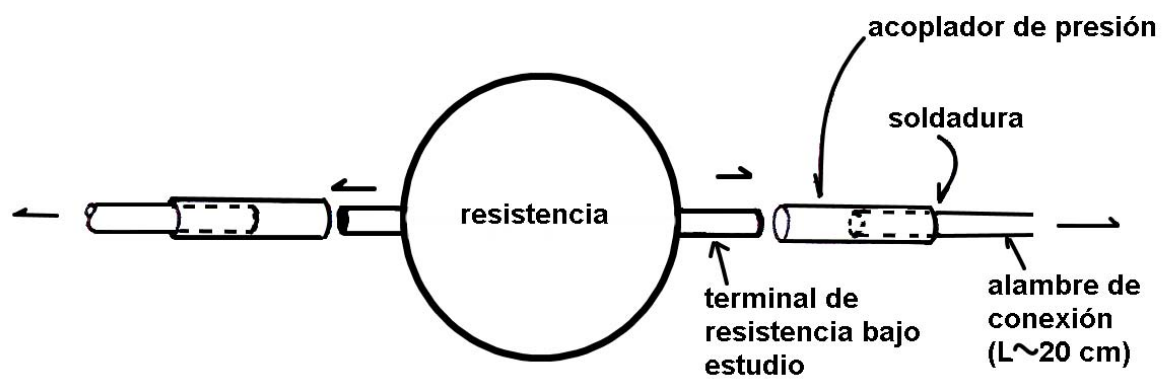
Intervalo: (-1.0°C)-(+101.0°C)

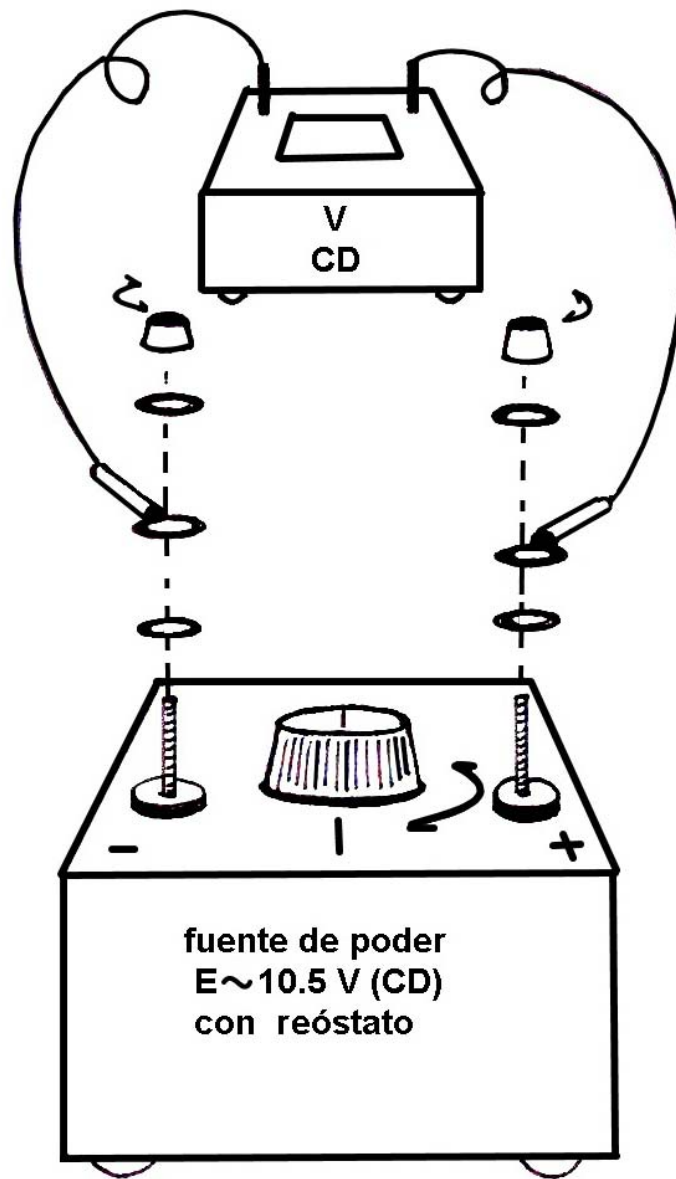
Calibración: sí (ver certificado de calibración en Apéndice de Precisiones)

E. SOBRE EL TIPO DE CONEXIONES PRACTICADAS

Otro de los aspectos básicos en los experimentos que se presentan, es el que atañe al control sistemático de las resistencias eléctricas derivadas de las conexiones de los elementos diferentes en el circuito base y en los circuitos nuevos. En los esquemas que siguen se ilustran las conexiones practicadas.







F. SOBRE OTROS ASPECTOS TÉCNICOS COMPLEMENTARIOS

Aunque en la colección de experimentos (y en particular en los esquemas correspondientes) se hace referencia a una fuente primaria de energía eléctrica (CA), con $V \sim 115V$, en ellos se protege la fuente de poder (CD) con un supresor de picos.

Los experimentos a temperatura constante son realizados a $\theta \cong 20^\circ C$; en ellos es necesaria la utilización de ventiladores sobre los sectores diferentes del circuito en estudio para mantener la constancia en la temperatura. En dichos estudios también y para cada par de valores $E - I$, se establece el cierre del circuito, se efectúa en forma instantánea y simultánea la lectura de E e I , y se abre inmediatamente el circuito para evitar el aumento en la temperatura.

En los experimentos a θ variable, el circuito es permitido a evolucionar térmicamente para cada valor de E e I . El equilibrio térmico respectivo es evaluado a través de la constancia de dicho par de valores.

G. SOBRE EL ANÁLISIS DE RESULTADOS

En los protocolos experimentales que constituyen esta colección, no se realizó un análisis estadístico riguroso de los resultados experimentales, ya que el objetivo primordial de los experimentos es la comprensión de los conceptos básicos de los circuitos eléctricos en serie. Sin embargo es pertinente aclarar que la precisión asociada a los instrumentos de medición es 0.01 A y 0.1 V, respectivamente.

En todos los experimentos, con la fuente conectada y encendida (así como también los instrumentos de medición), la lectura inicial de E e I fue 0.0 (valores estables). Este punto se tomó como una condición necesaria en el ajuste de los datos experimentales, y se refleja en las ecuaciones obtenidas en el procedimiento, las cuales no presentarán ordenadas al origen. Un análisis posterior reveló que los ajustes de los datos incluyendo la ordenada al origen, proporciona valores para dicha ordenada por debajo de la precisión del instrumento utilizado (<0.01), lo que refuerza el procedimiento descrito anteriormente.

Por otra parte, en las mediciones de E e I , se incluyó el símbolo ($\sim$) para especificar la aproximación a la siguiente cifra obtenida cuando el multímetro oscilaba entre dos valores consecutivos.

H. APÉNDICE

Made to Measure



CERTIFICATE OF TRACEABLE CALIBRATION

Manufacturer: GW Instek
Model: GDM-8034
Description: DIGITAL MULTIMETER
Serial Number: CJ820753
Temperature: $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$
Relative Humidity: Under 75 %
Calibration Date: 2009-03-17

*Date in Service:

****Next Calibration Date:**

*Denotes the date customer receives and initially powers on the unit

**Denotes the date of next calibration needed for the unit. Recommended calibration interval is 12 months after "Date in Service"

Both dates are to be filled in by customer.

This certifies that the above product was calibrated following Good Will instrument' calibration procedure, which is in compliance with the quality system of ISO 9001:2000.

Calibration Procedure:GWS-Q3-2S-010

GW Instek certifies the above product meets or exceeds its published specifications. Before the product being shipped out from the factory, it has been well calibrated using the calibration equipment traceable to the China National Accreditation Board For Laboratories (CNAL). This certificate shall not be reproduced, except in full, without the written approval of the calibration facility.

CALIBRATION EQUIPMENT USED:

Mfg./Model	Description	ID#	Due Date
Fluke / Fluke5520A	Calibrator	070124012	2010.01.09

Issued by:

Michael chen.

Manager:

Wen yin chan

ISO-9001 CERTIFIED MANUFACTURER

GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD. No.7-1, Jhongsing Road, Tucheng City, Taipei County, 116, Taiwan T (886) 2 2268-0180 F (886) 2 2268-0610 www.gwinstek.com.tw



CERTIFICATE OF TRACEABLE CALIBRATION

Manufacturer: GW Instek
 Model: GDM-8034
 Description: DIGITAL MULTIMETER
 Serial Number: CJ851049
 Temperature: $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$
 Relative Humidity: Under 75 %
 Calibration Date: 2009-05-25
 *Date in Service:
 **Next Calibration Date:

*Denotes the date customer receives and initially powers on the unit

**Denotes the date of next calibration needed for the unit. Recommended calibration interval is 12 months after "Date in Service". Both dates are to be filled in by customer.

This certifies that the above product was calibrated following Good Will instrument' calibration procedure, which is in compliance with the quality system of ISO 9001:2000.

Calibration Procedure: GWS-Q3-2S-010

GW Instek certifies the above product meets or exceeds its published specifications. Before the product being shipped out from the factory, it has been well calibrated using the calibration equipment traceable to the China National Accreditation Board For Laboratories (CNAL). This certificate shall not be reproduced, except in full, without the written approval of the calibration facility.

CALIBRATION EQUIPMENT USED:

Mfg./Model	Description	ID#	Due Date
Fluke / Fluke5520A	Calibrator	070124012	2010.01.09

Issued by:

Michael chen.

Manager:

Hengyin chen

ISO-9001 CERTIFIED MANUFACTURER



Thermometer

Calibration Report Traceable to NIST and DKD/PTB



Calibration Cert. # 2448.01

This laboratory is accredited in accordance with the recognized International Standard ISO/IEC 17025:2005 General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories. This laboratory also meets the requirements of ANSI/NCSL Z540-1-1994 and any additional program requirements in the field of calibration. This accreditation also demonstrates technical competence for a defined scope and the operation of a laboratory quality management system (refer to joint ISO-ILAC-IAF Communique dated 18 June 2005).

The instrument described below has been examined and tested in H-B Instrument Company's Calibration Laboratory using controlled constant temperature equipment and NIST and DKD/PTB Traceable Reference Thermometers in accordance with our calibration procedure LAB-20 which is based in part on NBS Monograph 150, ASTM Method E-77, 3.1.2, 3.1.3, 3.1.4, and 7.2 only, NIST Special publication 819, and the International Temperature Scale ITS-90. Calibration is traceable to NIST and DKD/PTB. For a discussion of accuracy obtainable with such thermometers, see NIST SP 250-23.

This instrument is in good working order and is suitable for calibration. The capillary of the thermometer has been examined under magnification and no discernable capillary irregularities were noted. Strains in the glass revealed by examination under a polarized lens, if any, were judged to be minimal and of no detriment to the function of the instrument.

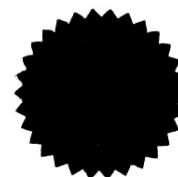
15-May-08

A. Daigger & Company

620 Lakeview Parkway
Vernon Hills IL 60061

Tel: Fax:
Reference No: 321636

Report No. 319810
Serial No 1708
Part No 20443
Distributor H-B Instrument Co.
Manufacturer H-B Instrument Company
Item Thermometer, Partial Immersion
Range -1/101°C, 76mm Imm., 610mm Length



N.I.S.T. Standard	Instrument Tested	Correction (ITS-90)*	Standard Serial No.	Traceability	Emer. Stem** Temperature
0.00° C	-0.01° C	0.01	5537C-01	CAL056136	20.0° C
10.00° C	9.99° C	0.01	5537C-01	CAL056136	20.0° C
20.00° C	19.91° C	0.09	5537C-01	CAL056136	22.0° C
30.00° C	29.88° C	0.12	5537C-01	CAL056136	24.0° C
40.00° C	39.97° C	0.03	5537C-01	CAL056136	24.0° C
50.00° C	50.05° C	-0.05	5537C-01	CAL056136	24.0° C
56.00° C	56.02° C	-0.02	5537C-01	CAL056136	24.0° C
60.00° C	60.00° C	0.00	5537C-01	CAL056136	24.0° C
70.00° C	69.94° C	0.06	5537C-01	CAL056136	24.0° C
80.00° C	79.99° C	0.01	5537C-01	CAL056136	24.0° C
90.00° C	90.03° C	-0.03	5537C-01	CAL056136	25.0° C
100.00° C	100.08° C	-0.08	5537C-01	CAL056136	25.0° C
Ambient Air Temperature: 23° C				Relative Humidity: 43%	

* Observed instrument readings should be increased by positive numbers or reduced by negative numbers indicated by a minus (-) sign.

** Emergent Stem Temperature relates to PARTIAL IMMERSION thermometers ONLY.

The expanded measurement uncertainties associated with our calibration system are $\pm 0.074^{\circ}\text{C}$ from -80 to -1°C , $\pm 0.041^{\circ}\text{C}$ at the ice point in melting ice bath $\pm 0.045^{\circ}\text{C}$ from 1 to 100°C , $\pm 0.051^{\circ}\text{C}$ from 101 to 200°C , $\pm 0.047^{\circ}\text{C}$ from 201 to 300°C , and $\pm 0.052^{\circ}\text{C}$ from 301 to 400°C . These uncertainties have been calculated using our Work Instruction WI-19 to 22 that utilizes methods found in NIST Technical Note 1297. The reported uncertainty represents an expanded uncertainty expressed at approximately the 95% confidence level using a coverage factor of $k=2$.

Calibrated By *Richard R. Thompson VP*
Checked By *Richard Jackson PM*

Page 1 of 1

H-B Instrument Company

102 West Seventh Avenue, Trappe, PA 19426-0770 USA
Telephone: (610) 489-5500 • Fax: (610) 489-9100
Email Address: cal@hbinstrument.com
Website Address: www.hbinstrument.com

Design Copyright ©HBI 2007 Form 0-592 Rev. 9

This Report of Test may not be reproduced without the express written permission of H-B Instrument Company

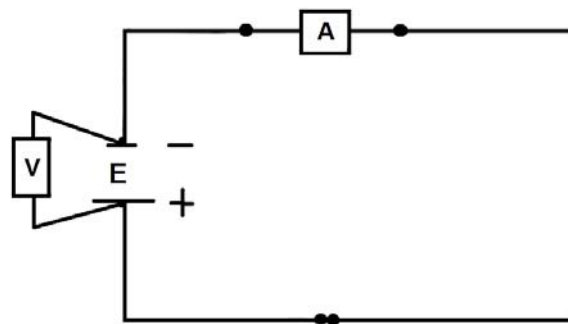
III. CONDUCTA EXPERIMENTAL E – I

(Primera parte)

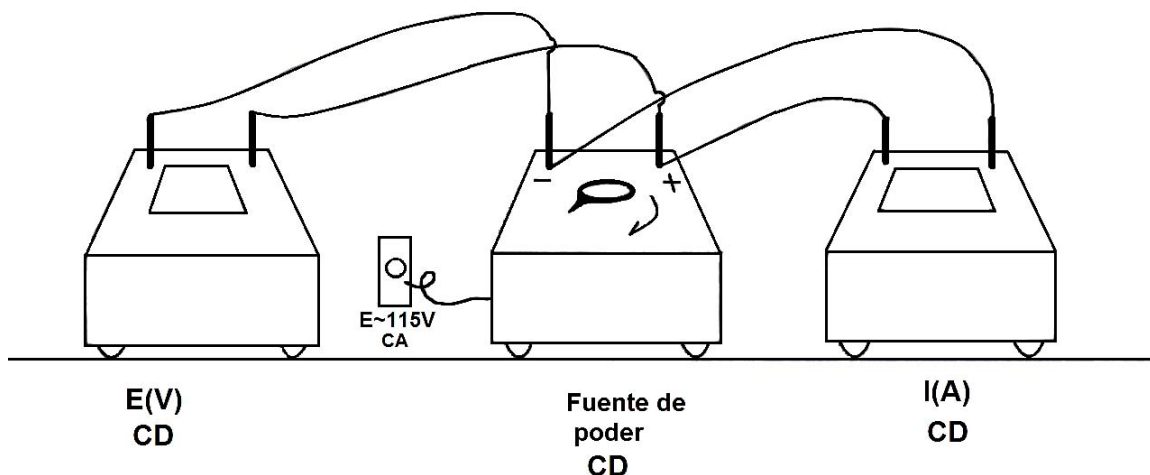
Experimento 1. Circuito base ($\theta = \text{cte}$)

Técnica

1. Construir el circuito base siguiente:



Esquema del circuito base



Circuito base

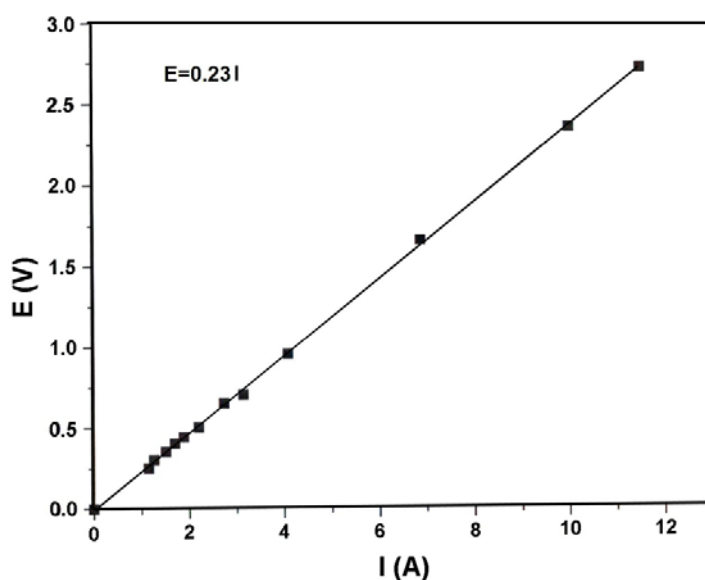
2. Establecer la ventilación sobre el circuito. Establecer el equilibrio térmico entre el circuito y la sala experimental ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$).
3. Cerrar el circuito y aplicar rápidamente el menor valor posible de diferencia de potencial eléctrico (E). Leer instantánea y simultáneamente los valores registrados en los multímetros para E e I . Abrir inmediatamente el circuito.
4. Repetir (3) para diferencias crecientes de potencial eléctrico. Constatar para cada par E - I la constancia en la temperatura del circuito.

Resultados y discusión

La tabla siguiente muestra los valores de E e I obtenidos a $\theta \cong 20^\circ\text{C}$ para el circuito base construido.

E(V)	I(A)
0.0	0.00
~0.25	1.15
0.3	1.26
~0.35	1.51
0.4	1.70
~0.45	1.88
0.5	2.20
~0.65	2.73
0.7	3.14
~0.95	4.08
~1.65	6.87
~2.35	10.00
2.7	11.50

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E-I ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) del circuito base.



La respuesta E-I del circuito es lineal ($E=RI$). Para el conjunto de condiciones experimentales exploradas, el circuito base aquí construido presenta una

resistencia eléctrica total $\cong 0.23\Omega$. Esta es la resistencia eléctrica base que se encontrará (a $\theta \cong 20^\circ\text{C}$) en todo el circuito nuevo que opere con elementos adicionales de resistencia eléctrica en serie. Así, para un circuito nuevo operando a $\theta \cong 20^\circ\text{C}$, la resistencia eléctrica total será igual a:

$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}, 0.23\Omega) + \Sigma R_i(\text{elementos nuevos})$$

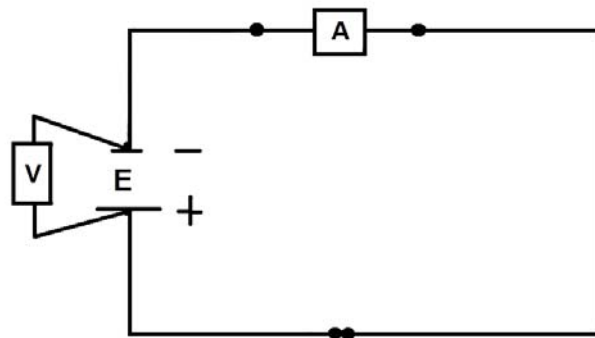
Para elementos R_i ($R_i > 0\Omega$) que sigan a $\theta \cong 20^\circ\text{C}$ la conducta $E=RI$, la gráfica experimental $E - I$ del circuito nuevo presentará una pendiente mayor ($R_T=0.23+\Sigma R_i$). En otras palabras, la diferencia de pendientes (a $\theta \cong 20^\circ\text{C}$) entre el circuito nuevo y el circuito base (0.23Ω) es igual a ΣR_i presentes en el primero.

Como colofón, en el experimento presente están implícitos conceptos y operaciones experimentales que en su conjunto posibilitan la exploración somera de ciertas propiedades de la materia, como lo es, en este caso, el estudio de la resistencia eléctrica a la conducción por parte de un circuito base en serie operado por CD y bajo condiciones isotérmicas ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$).

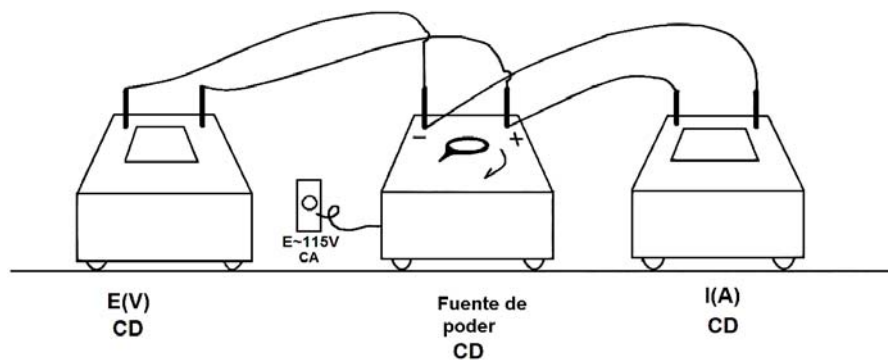
Experimento 2. Circuito base ($\theta \neq \text{cte}$)

Técnica

1. Construir el circuito base siguiente:



Esquema del circuito base



Circuito base

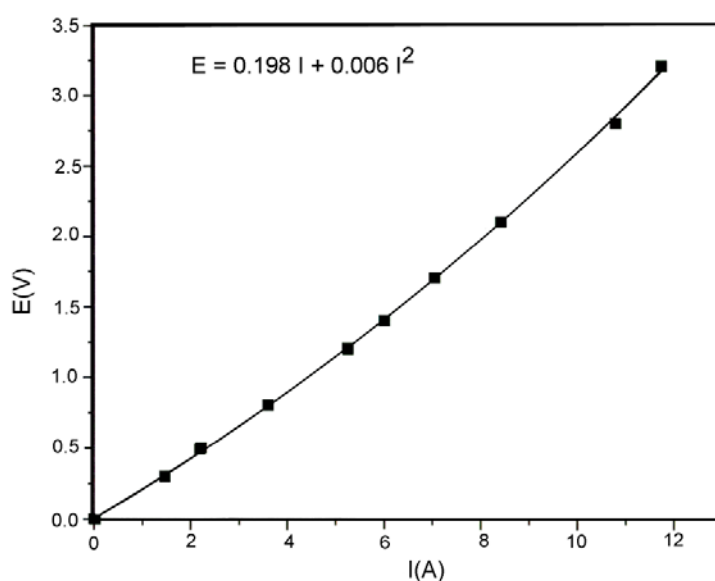
2. Cerrar el circuito y practicar la menor posible diferencia de potencial eléctrico (E). Permitir la estabilización de los valores de E e I . Tomar lectura de ellos y abrir el circuito.
3. Repetir (2) para diferencias crecientes de potencial eléctrico. Tener precaución de evitar el sobrecalentamiento excesivo del circuito en su conjunto.

Resultados y discusión

La tabla siguiente muestra los valores de E e I correspondientes a la operación del circuito base aquí construido, bajo inexistencia de restricciones de carácter térmico.

E(V)	I(A)
0.0	0.00
0.3	1.47
0.5	2.22
0.8	3.60
1.2	5.25
1.4	6.00
1.7	7.04
2.1	8.42
2.8	10.78
3.2	11.74

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I correspondiente a dicho circuito y condiciones de operación.



La respuesta E–I del circuito es no lineal. De hecho, se aproxima globalmente a la mostrada por un sistema el cual presenta un incremento en su resistencia eléctrica con el ascenso de E. La ecuación que aparece en la gráfica es la que describe la conducta E–I dentro del intervalo de condiciones exploradas aquí.

Para valores de E e I próximos a cero, el circuito base se aproxima a la conducta $E=RI$, y se puede despreciar el término cuadrático. Por tanto, el circuito presenta una resistencia eléctrica total aproximada a 0.2Ω . Este valor es cercano al obtenido para el mismo circuito operando a condiciones isotérmicas ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$). Dicha proximidad de valores permite sugerir que el circuito aquí estudiado opera esencialmente a $\theta = \text{cte}$ ($\sim 20^\circ\text{C}$) en dicho intervalo de condiciones experimentales ($E \rightarrow 0 \text{ V}$, $I \rightarrow 0 \text{ A}$).

¿Cómo relacionar la conducta $E - I$ aquí obtenida con la mostrada por un circuito nuevo (circuito base + ΣR_i) operando a las mismas condiciones térmicas?

Dado que el circuito nuevo también es un circuito en serie, se cumple entonces:

$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + \Sigma R_i (\text{elementos nuevos})$$

Aquí, las diferentes resistencias eléctricas son dependientes de las condiciones $E-I$ (recuérdese que $\theta \neq \text{cte}$). De esta forma en realidad lo que contiene la ecuación son por ejemplo, las funciones $E-I$ tanto del circuito nuevo como del circuito base, las cuales son obtenidas de los experimentos respectivos. La sustracción de las dos funciones arrojará la función $E-I$ de los elementos nuevos de resistencia eléctrica, operando bajo no restricciones de carácter térmico. Esta es la base metodológica para el estudio de circuitos nuevos operando a θ variable, así como de sus elementos adicionales de resistencia eléctrica.

En el experimento presente están implícitos conceptos y operaciones experimentales que en su conjunto posibilitan la exploración somera de ciertas propiedades de la materia, como lo es en este caso el estudio de la resistencia a la conducción eléctrica por parte de un circuito base en serie operado por corriente directa y bajo inexistencia de restricciones de carácter térmico.

El circuito base ha sido sometido a un conjunto de experimentos, referentes al análisis de la relación existente entre la diferencia de potencial eléctrico aplicada por la fuente de poder, y la intensidad de corriente eléctrica en el circuito.

A condiciones de $\theta = \text{cte} = \theta_{\text{ambiental}}$ para el circuito, la relación $E - I$ es lineal. La ecuación:

$$E(\text{V}) = (0.23\Omega)I(\text{A})$$

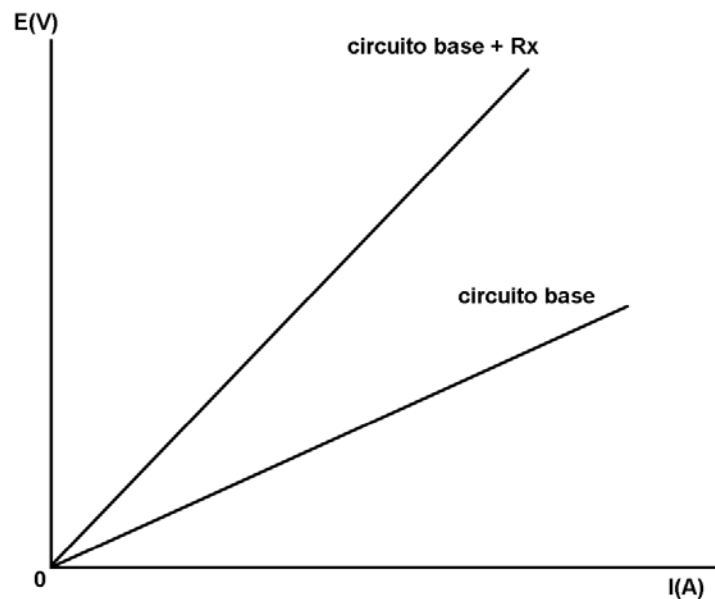
permite sugerir que la resistencia eléctrica total del circuito base es igual a 0.23Ω . Por otra parte, cuando el experimento se efectúa a la temperatura de equilibrio (es decir, cuando la velocidad de emisión de energía térmica es igual a la capacidad

de emisión de la misma por parte del circuito), la relación E–I es no lineal. La ecuación que describe dicha conducta es:

$$E(V)=aI+bI^2=0.198\left[\frac{V}{A}\right] I[A]+0.006\left[\frac{V}{A^2}\right] I^2[A^2]$$

Para dichas condiciones, la resistencia eléctrica total del circuito, de carácter global, es $\sim 0.2 \Omega$.

Ambos resultados son importantes, dado que el circuito base se empleará en el análisis de la conducta E–I cuando en dicho circuito se incorporen elementos de carga (R_x). Dependiendo de las condiciones de θ impuestas en los circuitos que presentan un elemento de carga, se obtendrán las conductas respectivas E–I. Para un circuito dado y dadas también ciertas condiciones de θ , la conducta E–I corresponderá al nuevo conjunto de los elementos de dicho circuito. Puesto que la diferencia entre el nuevo circuito y el circuito base, es precisamente el elemento R_x (aquí se desprecian las resistencias eléctricas adicionales: conductor-terminal de R_x), la diferencia entre las dos conductas: $(E-I)_{\text{circuito nuevo}}$ y $(E-I)_{\text{circuito base}}$, puede asociarse a la presencia de R_x . La figura siguiente ilustra lo comentado arriba:



De esta forma, la diferencia entre ambas funciones proporcionará la función E–I para el elemento R_x , a las condiciones correspondientes de temperatura. De dicha función resultante, se podrá evaluar el valor de la resistencia eléctrica del elemento R_x , para el conjunto explorado de condiciones experimentales.

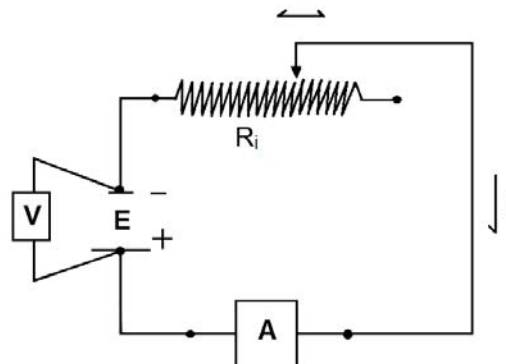
Por último, y para fines de aproximación tan solo, si la resistencia eléctrica total (estimada del diagrama E–I) del circuito con R_x es mucho mayor que la resistencia eléctrica total del circuito base, entonces la función E–I del primero reflejará esencialmente la conducta del elemento R_x .

IV. CONDUCTA EXPERIMENTAL I-R

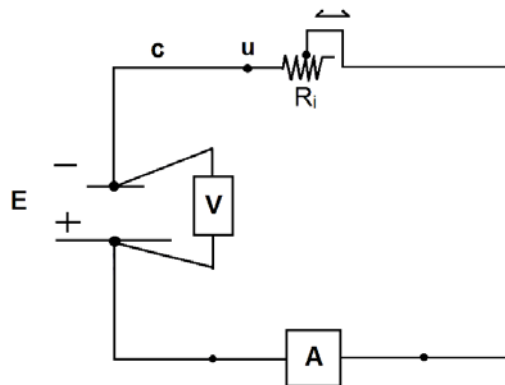
Experimento 3. Circuito nuevo con un filamento metálico (resistencia eléctrica variable) ($\theta \neq \text{cte}$)

Técnica

1. Construir el circuito nuevo siguiente:



Nota. Un dibujo técnico más detallado del circuito, es el siguiente:



Esquema general del circuito

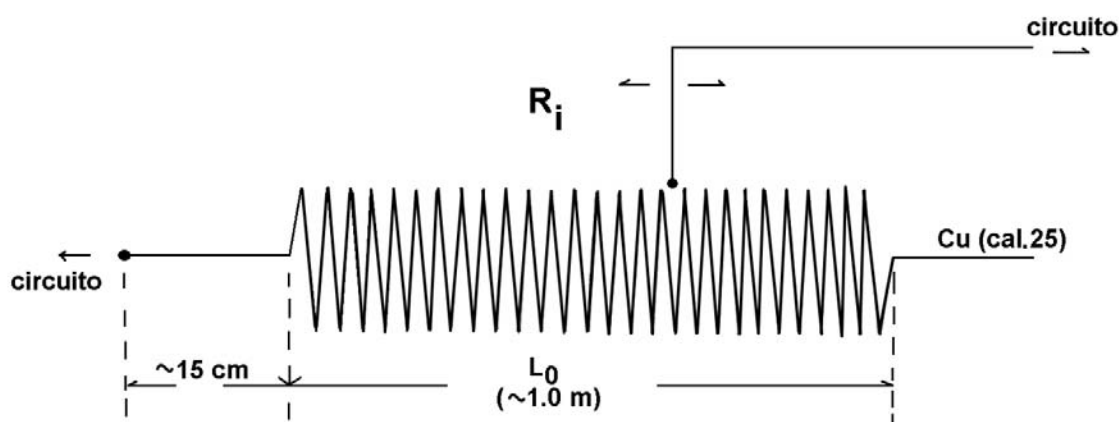
La resistencia eléctrica total (R_T) del circuito nuevo, es igual a:

$$R_T = R_{\text{circuito base}} + R_i$$

donde:

- i) $R_{\text{circuito base}} \cong 0.23\Omega$ ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$).
- ii) R_i = Resistencia eléctrica variable.

Un detalle de la resistencia eléctrica variable se ilustra a continuación:



2. Puesto que en el experimento presente se desea obtener la respuesta I-R para el circuito nuevo, el parámetro a establecer es la diferencia de potencial eléctrico (E). Establecer una diferencia moderada (en el experimento que aquí se discutirá, se empleó un valor ~ 2.9 V).

3. Colocar el contacto móvil de R_i en el extremo del bobinado (valor nominal, $1.0L_0$). Tomar la lectura estable de I. Verificar la constancia en el valor de E.

4. Repetir (3) para valores sucesivos menores de L_0 .

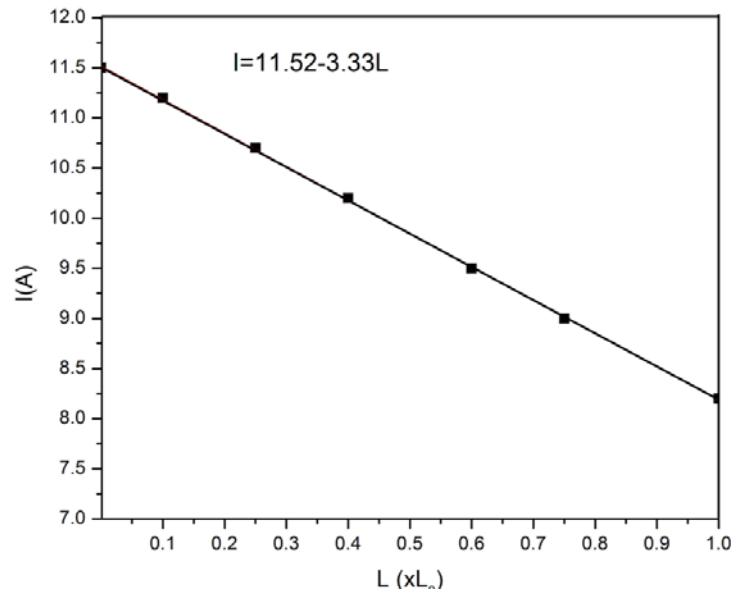
Resultados y discusión

La tabla siguiente ilustra los valores de xL_0 e I obtenidos del experimento propuesto.

L^a	I(A)
$1.00L_0$	8.2
$0.75 L_0$	9.0
$0.60L_0$	9.5
$0.40L_0$	10.2
$0.25 L_0$	10.7
$0.10 L_0$	11.2
$0.00L_0$	11.5

^aValores aproximados.

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental xL_0-I del circuito nuevo bajo estudio.



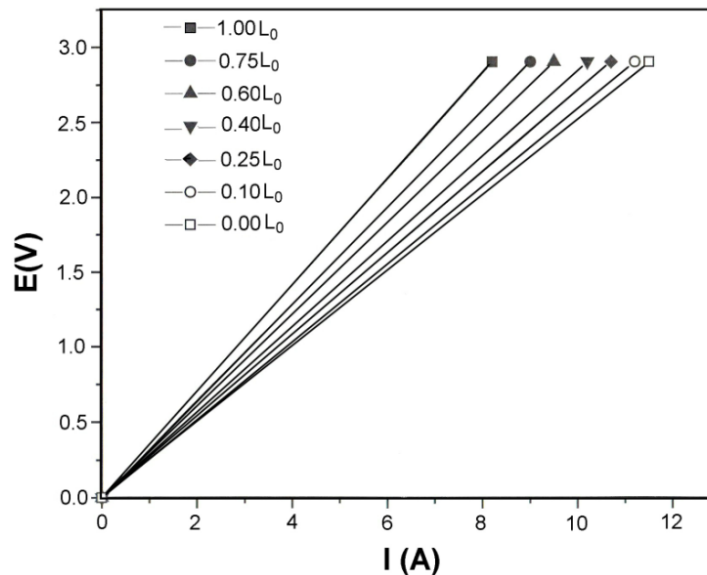
En el experimento presente, se mantuvo constante la diferencia de potencial eléctrico (~ 2.9 V), no así rigurosamente la temperatura del circuito nuevo. Aunque la θ de la sala experimental se mantuvo aproximadamente constante, las mediciones experimentales no contemplaron la verificación en la constancia de la temperatura del circuito en estudio.

La resistencia eléctrica total del circuito base es $\sim 0.23\Omega$. La inclusión de R_i en el circuito nuevo, hará variar la resistencia eléctrica total. Los cambios de R_i (en términos de xL_0) provocan cambios en los valores de I en el circuito nuevo. La gráfica anterior muestra la respuesta de I del circuito nuevo al variar la longitud del elemento R_i . Es de hacer notar el carácter lineal de la función (véase discusión final).

La pendiente de la función obtenida refleja la variación en la intensidad de la corriente eléctrica a través del circuito con el cambio de la longitud del filamento incluido en el mismo.

Sin embargo, dicha representación no permite evaluar el valor de R_i asociado a una I dada. Para lograrlo, se tendrían que obtener gráficas $E-I$ para las diferentes fracciones de $L_0(xL_0)$. La pendiente de cada una de dichas funciones (asumidas como lineales) representará el valor de R_T particular del circuito nuevo. Dado que se conoce R_T del circuito base, la diferencia $(R_T \text{ circuito nuevo})_{xL_0} - (R_T \text{ circuito base})$ permitirá evaluar R_i correspondiente a un valor dado de xL_0 .

La gráfica siguiente muestra la conducta $E-I$ calculada para el circuito nuevo (con la inclusión del elemento R_i) para cada fracción de L_0 (xL_0) de dicho elemento de resistencia eléctrica.



La pendiente (m_i) de cada recta, se asocia a la resistencia eléctrica total del circuito nuevo, para cada valor de resistencia eléctrica (en términos de xL_0) del elemento R_i incluido. Obsérvese que la pendiente disminuye con el descenso en el valor xL_0 (esto es, con el descenso en el valor de la resistencia eléctrica del elemento R_i).

La tabla siguiente muestra los valores de dichas pendientes.

L^a	$m(\Omega)$
$1.00L_0$	0.35
$0.75 L_0$	0.32
$0.60L_0$	0.30
$0.40L_0$	0.28
$0.25 L_0$	0.27
$0.10 L_0$	0.26
$0.00L_0$	0.23

^aValores aproximados.

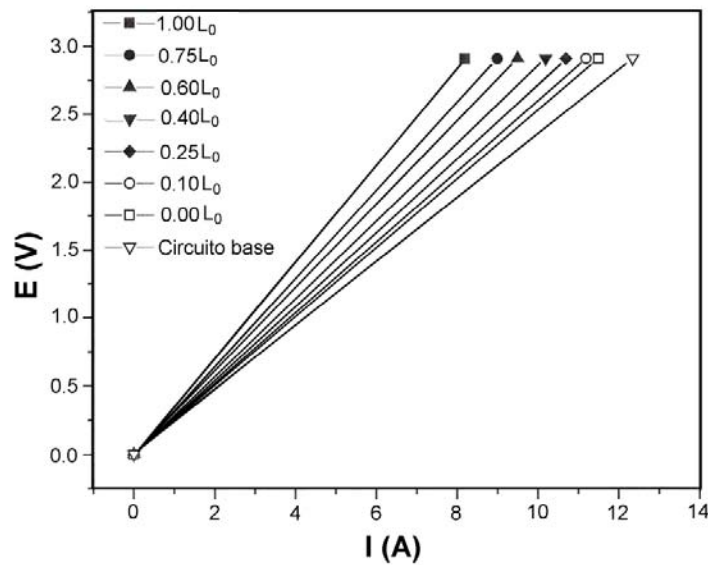
No obstante las consideraciones anteriores, queda por resolver la evaluación de la resistencia eléctrica para cada elemento (xL_0) de la resistencia eléctrica R_i incorporada en el circuito nuevo. Puesto que dicha resistencia eléctrica R_i está conectada en serie dentro del circuito nuevo, se cumple en cada caso (j) la igualdad:

$$R_T(j) \text{ circuito nuevo} = R_T \text{ circuito base} + R_j (\equiv xL_0) \text{ elemento de } R_i$$

Por tanto, para evaluar R_j (asociado a un valor dado de xL_0), se tiene:

$$R_j \text{ elemento de } R_i = R_T(j) \text{ circuito nuevo} - R_T \text{ circuito base}$$

La gráfica siguiente muestra la conducta E–I para el circuito base, así como para el circuito nuevo con cada elemento R_j (valor de xL_0). Obsérvese que todas las pendientes son del mismo orden de magnitud.



Obsérvese también que incluso para el caso de $xL_0 = 0.0$, la pendiente (R_j) es ligeramente mayor que la del circuito base. Lo anterior se asocia a la presencia del segmento extremo ($L \sim 15$ cm) de la resistencia eléctrica R_i , el cual se encuentra formando parte del circuito nuevo en todos los casos (valores de xL_0). Dicho segmento aporta una resistencia eléctrica al circuito nuevo, incluso cuando $xL_0 = 0.0$ (véase discusión final). La tabla siguiente muestra los valores aparentes (véase discusión final) de la pendiente m_T (resistencia eléctrica total) del circuito nuevo y para cada valor de R_j (valor de xL_0), así como la diferencia de ella con el valor de la pendiente m_0 (resistencia eléctrica total) del circuito base.

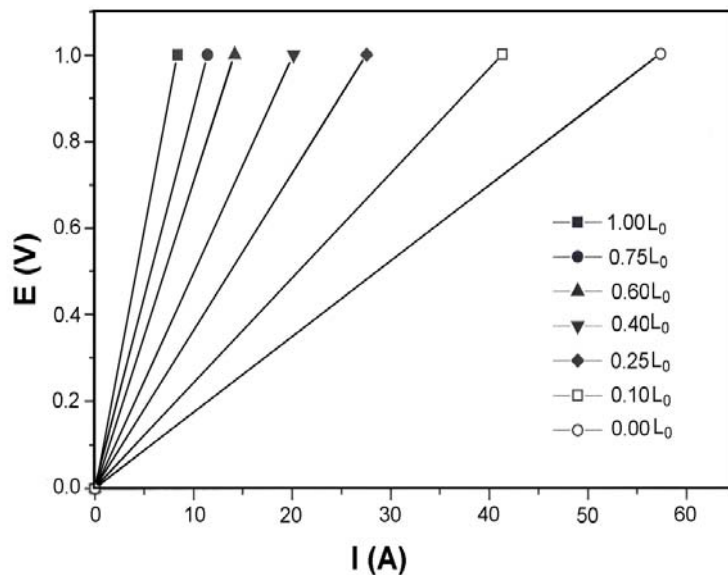
L	$m_T(\Omega)$	$m_T - m_0(\Omega)$
1.00 L_0	0.353	0.119
0.75 L_0	0.322	0.087
0.60 L_0	0.305	0.070
0.40 L_0	0.284	0.049
0.25 L_0	0.271	0.036
0.10 L_0	0.258	0.024
0.00 L_0	0.252	0.017

$$m_0 = 0.23\Omega \text{ } (\sim 20^\circ\text{C}) \quad (R \text{ total del circuito base})$$

Los valores de dicha diferencia ($m_{Tj} - m_0$) representan las resistencias eléctricas aparentes de cada uno de los elementos R_j (fracciones de L_0) a las condiciones experimentales. Así, por ejemplo, la resistencia eléctrica total R_i ($xL_0 = 1.0$) presenta una resistencia eléctrica aparente $\cong 0.12\Omega$; el segmento extremo ($L \sim 15\text{cm}$) remanente en el circuito neto presenta una resistencia eléctrica neta $\cong 0.017\Omega \cong 17\text{m}\Omega$. De hecho, el alambre de Cu (cal.25) presenta una resistencia eléctrica ($\sim 20^\circ\text{C}$) = $33\Omega/305\text{m}$ (valores de literatura).

Así también y respecto al elemento de resistencia eléctrica (R_i) incorporado en el circuito nuevo, su longitud operacional es $\sim 1.0\text{m}$; dicho conductor tendrá una resistencia eléctrica (derivada del valor $33\Omega/305\text{m}$) igual a 0.11Ω ; dicho valor es del mismo orden de magnitud al obtenido experimentalmente aquí ($\cong 0.12\Omega$), y que incluye la contribución de la resistencia eléctrica por parte del segmento extremo ($L \sim 15\text{cm}$); de aquí su carácter aparente (véase discusión final).

La gráfica siguiente muestra la conducta de $E-I$ para cada elemento R_j (valor de xL_0). Las pendientes respectivas se asocian a las resistencias eléctricas aparentes correspondientes. A este respecto, en toda la discusión anterior y en esta gráfica, se ha obviado la contribución del segmento extremo ($L \sim 15\text{cm}$, $R_j = 0.017\Omega$) a la resistencia eléctrica R_j ($m_{Tj} - m_0$).



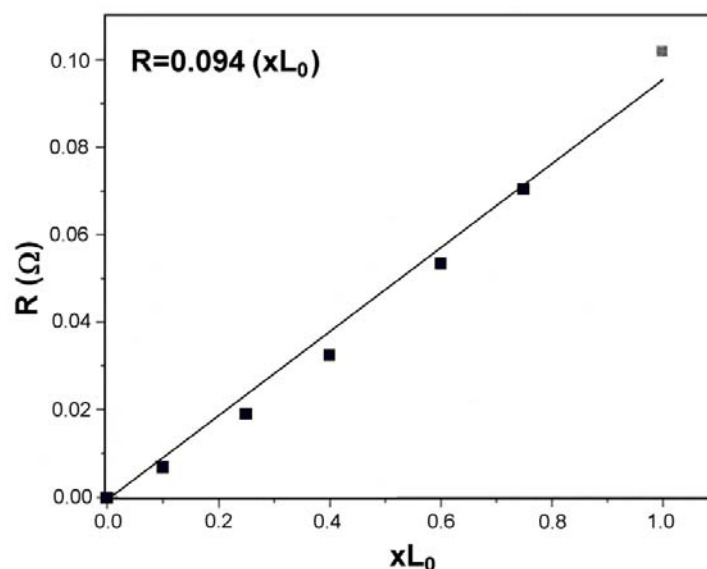
En relación a lo anterior, cabe hacer una precisión. Para todos los valores de xL_0 , se tienen las resistencias eléctricas aparentes R_j respectivas ($m_{Tj} - m_0$). A este respecto, en cada uno de dichos valores existe la contribución de la resistencia

eléctrica por parte del segmento extremo ($L \sim 15\text{cm}$) que forma parte del circuito nuevo en todos los casos explorados. De esta forma, cada valor de la diferencia ($m_{Tj}-m_0$) contiene (de aquí su carácter aparente) la contribución de la resistencia eléctrica de dicho segmento ($\sim 17\text{m}\Omega$).

Para obtener los valores corregidos de R_j (para cada valor de xL_0), se tendrá que realizar la sustracción respectiva. Así, para $xL_0=1.0$, la resistencia eléctrica corregida es igual a $0.118910\Omega - 0.01742\Omega = 0.10149\Omega$. Dicho valor es cercano al obtenido (de valores en literatura) para un segmento de Cu de cal.25 y $L=1.0\text{m}$ ($R \cong 0.11\Omega$). Realizando la misma operación para el resto de las resistencias eléctricas aparentes, se tienen las resistencias eléctricas corregidas, asociadas a los valores restantes de xL_0 . La tabla siguiente presenta los valores de las resistencias eléctricas corregidas en función de xL_0 .

$R(\Omega)$	xL_0
0.00000	0.00
0.00676	0.10
0.01886	0.25
0.03214	0.40
0.05309	0.60
0.07005	0.75
0.10149	1.00

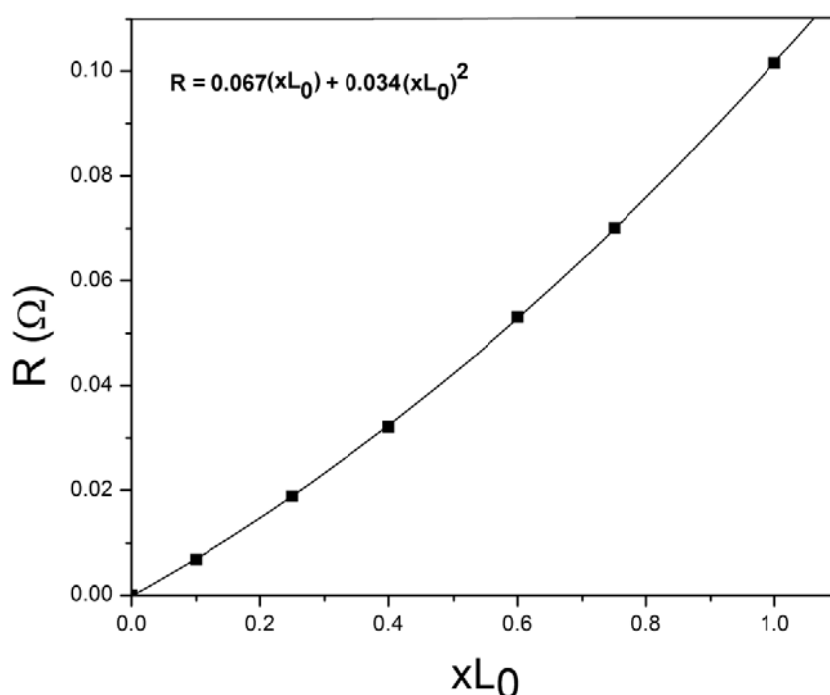
La gráfica siguiente presenta la relación entre dichas variables:



En forma por demás interesante, los valores experimentales no son descritos satisfactoriamente por una función lineal. Parecería ser que la conducta no lineal se asocia a la no constancia rigurosa de la temperatura del circuito nuevo bajo estudio, y preponderantemente, del filamento incluido en él.

No obstante lo anterior, una estimación (tan solo) de una resistencia eléctrica promedio del elemento R_i , sería tentadora aquí. De dicha gráfica, se extrae el valor de $\sim 0.095\Omega/1L_0$. Ello se traduciría en una resistencia eléctrica promedio de $\sim 29\Omega/305m$. Dicho valor se aproxima al reportado en la literatura, que es de $33\Omega/305m$ ($\theta \cong 20^\circ C$).

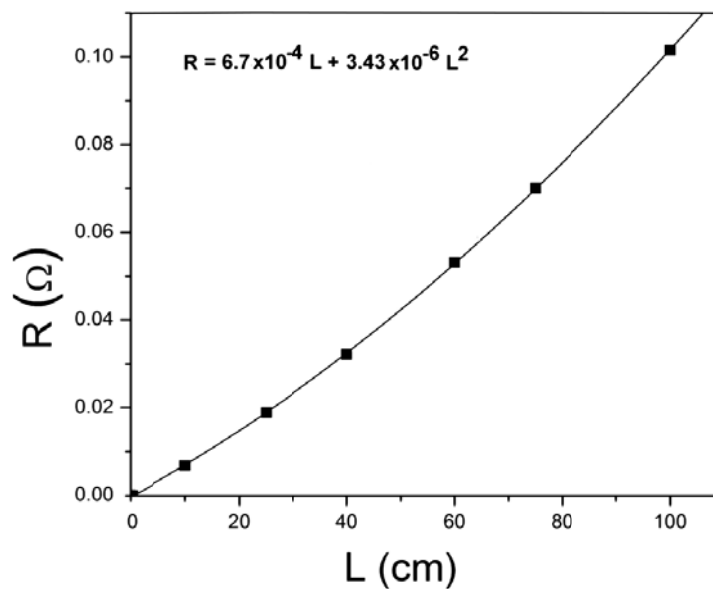
La gráfica siguiente muestra el resultado de una regresión no lineal. La función obtenida describe satisfactoriamente la conducta experimental $R-xL_0$ del filamento R_i . Cabe decir que la conducta se asocia a la mostrada por un filamento que presenta elevación de θ (y por tanto, incremento en su resistencia eléctrica). Lo anterior parece fortalecer la idea de la constancia no rigurosa en el valor de θ del filamento bajo estudio.



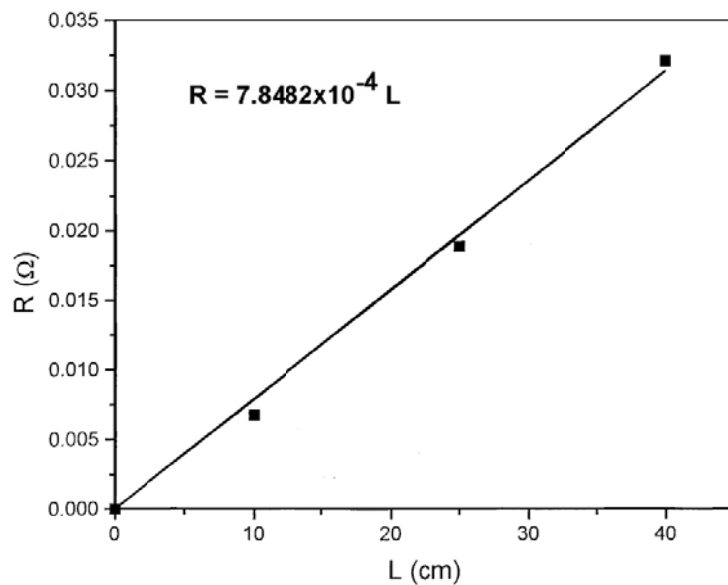
En relación a lo anterior, y dado que los valores de xL_0 se asocian íntimamente a la longitud del filamento ($L_T \sim 1.0m$), es posible construir una relación del tipo $R(\Omega)-L(cm)$. La tabla siguiente presenta los valores correspondientes:

R(Ω)	L(cm)
0.00000	0.0
0.00676	10.0
0.01886	25.0
0.03214	40.0
0.05309	60.0
0.07005	75.0
0.10149	100.0

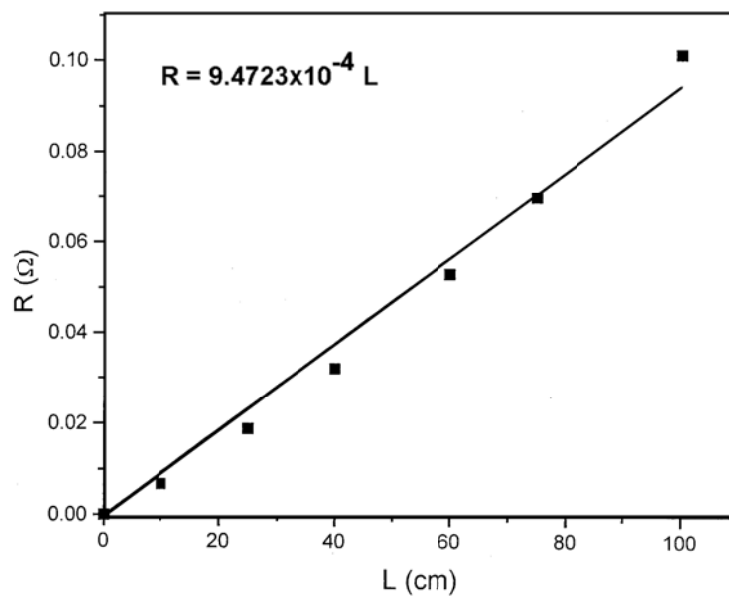
Así también, es deseable presentar dicha relación en forma gráfica. La gráfica siguiente presenta la relación existente entre R(Ω) y L(cm).



Dicha gráfica representa la descripción más realista del experimento realizado, así como de la conducta eléctrica del filamento bajo estudio. La no linealidad de la función R–L parece asociarse a un incremento en la θ del filamento con el incremento de L. Lo anterior parece tener soporte en la conducta R–L para valores pequeños de L, como se muestra en la gráfica siguiente.



Una representación de la conducta experimental R - L para el filamento en estudio, así como su diferencia respecto a una conducta lineal (a $\theta = \text{cte}$), se muestra en la figura siguiente.



Como colofón, en la experiencia presente están implícitos conceptos varios, así como aspectos operacionales diversos, que tienen que ver con el estudio experimental de algunas propiedades eléctricas de la materia, como es el caso del estudio de la resistencia eléctrica de un filamento metálico (de R variable) incluido en un circuito en serie.

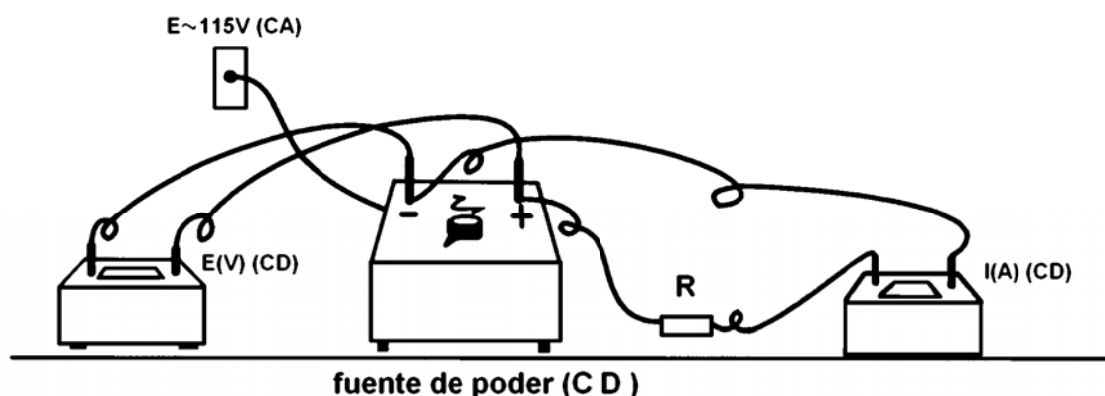
V. CONDUCTA EXPERIMENTAL E-I

(Segunda Parte)

Experimento 4. Circuito nuevo con un filamento metálico (resistor de filamento de Cu) ($\theta = \text{cte}$)

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota: En el experimento presente se emplea como elemento R a un filamento de Cu (cal.25, $L_T \sim 86\text{m}$). El experimento se realiza bajo restricciones térmicas ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) en el circuito.

2. Establecer la ventilación sobre el circuito eléctrico. Corroborar el equilibrio térmico entre el circuito y la θ de la sala experimental.
3. Cerrar el circuito y establecer rápidamente la diferencia mínima posible de E. Tomar lectura inmediata de E e I. Abrir inmediatamente el circuito.
4. Repetir (3) para valores mayores de E.

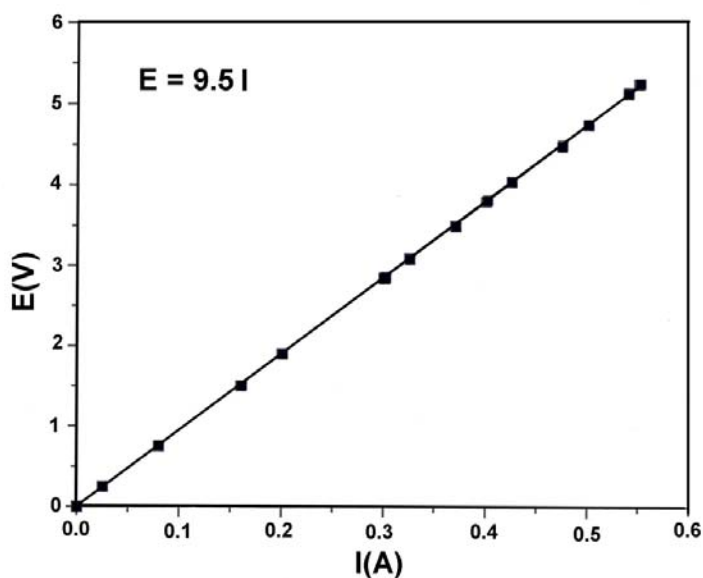
Resultados y discusión

La tabla siguiente muestra los valores experimentales de E e I para el circuito nuevo bajo estudio, a condiciones isotérmicas ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$).

E(V)	I(A)
0.0	0.00
~0.25	~0.025
~0.75	0.08
1.5	0.16
1.9	0.20
~2.85	0.30
3.1	~0.325
3.5	0.37
3.8	0.40

~4.05	~0.425
4.5	~0.475
~4.75	0.50
~5.15	0.54
~5.25	0.55

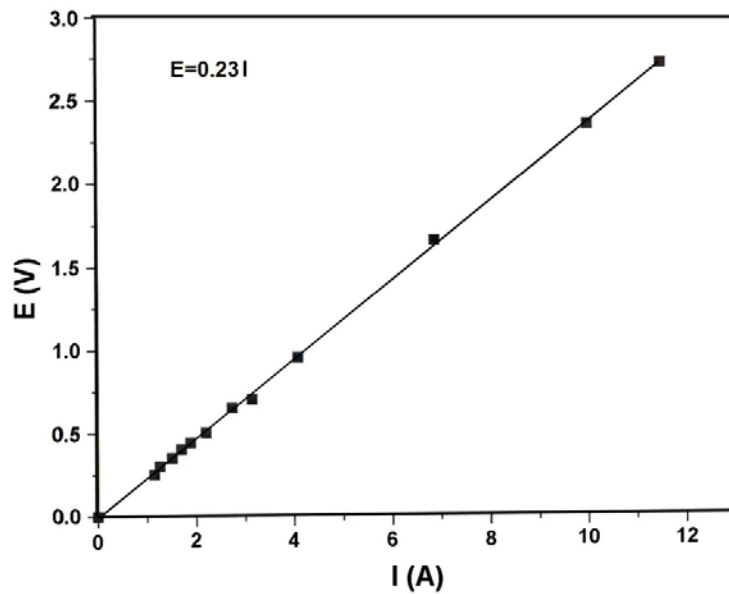
La gráfica siguiente muestra la conducta experimental E-I del circuito nuevo bajo estudio a $\theta \cong 20^{\circ}\text{C}$.



La gráfica anterior muestra la existencia de una relación lineal entre la diferencia de potencial eléctrico (E) aplicado en el circuito y la intensidad de la corriente eléctrica a través de él. La pendiente ($9.51 \frac{\text{Volt}}{\text{Volt}} = 9.51\Omega$) representa la resistencia

eléctrica total del circuito nuevo a $\theta \cong 20^{\circ}\text{C}$.

En relación a lo anterior, el circuito base presenta, a las mismas condiciones de temperatura, una resistencia eléctrica total igual a 0.23Ω (Experimento 1). Esto se muestra en la gráfica siguiente.

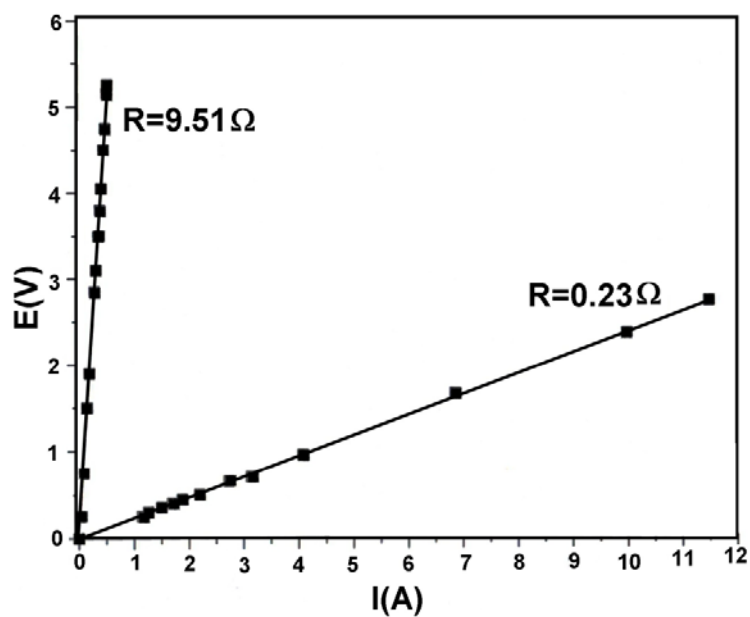


Así también, dado que el elemento (R) que ha sido incluido en el circuito nuevo está conectado en serie, se cumple entonces:

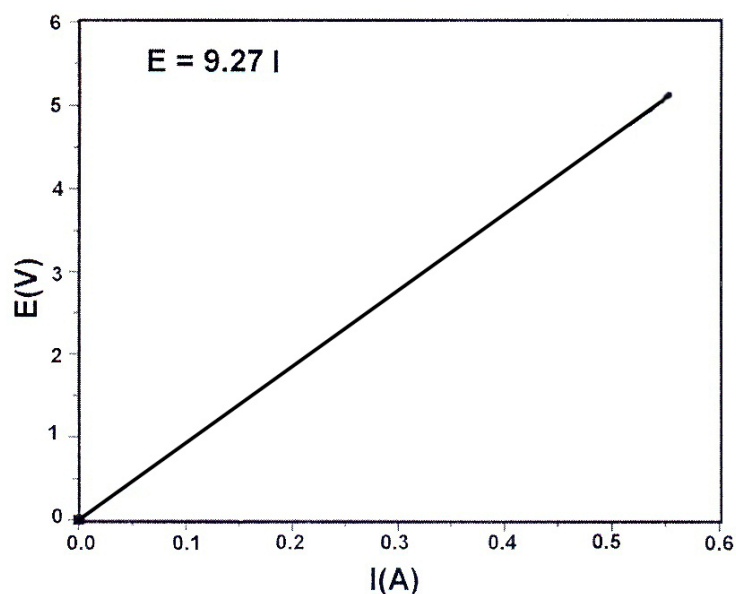
$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + (R)$$

$$\therefore (R) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

En consecuencia, para determinar el valor de la resistencia eléctrica del elemento R a $\theta \cong 20^\circ\text{C}$, se tiene que sustraer a la respuesta experimental E-I del circuito nuevo, la contribución de la respuesta E-I del circuito base a la misma temperatura. La gráfica siguiente muestra las respuestas E-I del circuito nuevo y del circuito base a $\theta \cong 20^\circ\text{C}$.



La gráfica siguiente muestra el resultado de la sustracción comentada arriba.



La pendiente de dicha recta (9.27Ω) representa la resistencia eléctrica del elemento R a $\theta \cong 20^\circ\text{C}$. A condiciones esencialmente isotérmicas, el elemento R cumple (dentro del conjunto de condiciones experimentales establecidas aquí) con la relación $E=RI$.

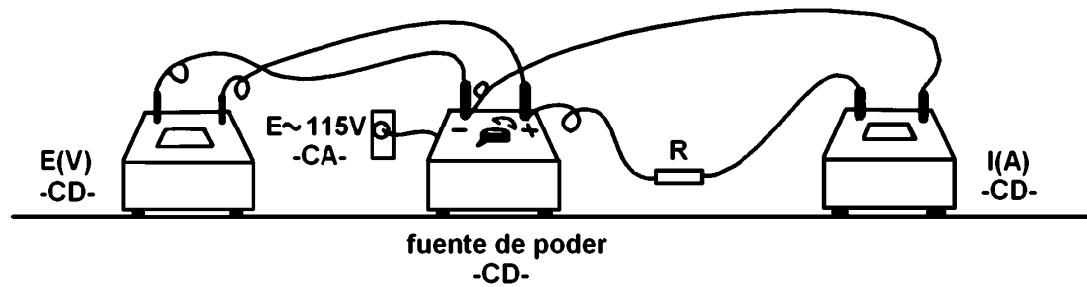
En el experimento presente se empleó un bobinado de Cu (cal.25, $L_T \sim 86\text{m}$). La resistencia eléctrica total (para dicho material) aquí obtenida es $\sim 9.3\Omega$. La resistencia eléctrica por unidad de longitud obtenida de valores reportados en la literatura es (a $\sim 20^\circ\text{C}$), $33\Omega/305\text{m}$, que corresponde a la obtenida aquí $9.3\Omega/86\text{m}$.

En la experiencia experimental presente están implícitos ciertos conceptos y operaciones experimentales que en su conjunto han contribuido al estudio experimental de ciertas propiedades de la materia, en este caso la resistencia a la conducción eléctrica por parte de un filamento metálico, a condiciones esencialmente isotérmicas.

Experimento 5. Circuito nuevo con un filamento en bulbo ($\theta = \text{cte}$)

Técnica

1.-Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota. En el experimento presente se emplea como elemento de resistencia eléctrica R a una lámpara con filamento ($\sim 6V$), base y extensión de cable. El experimento se realiza bajo restricciones térmicas ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) en el circuito.

2. Establecer la ventilación sobre el circuito. Establecer el equilibrio térmico entre el circuito y la sala experimental.
3. Cerrar el circuito y establecer rápidamente el valor mínimo de E , diferente de cero. Tomar inmediatamente lecturas de E e I y abrir rápidamente el circuito.
4. Repetir (3) para valores ascendentes de E .

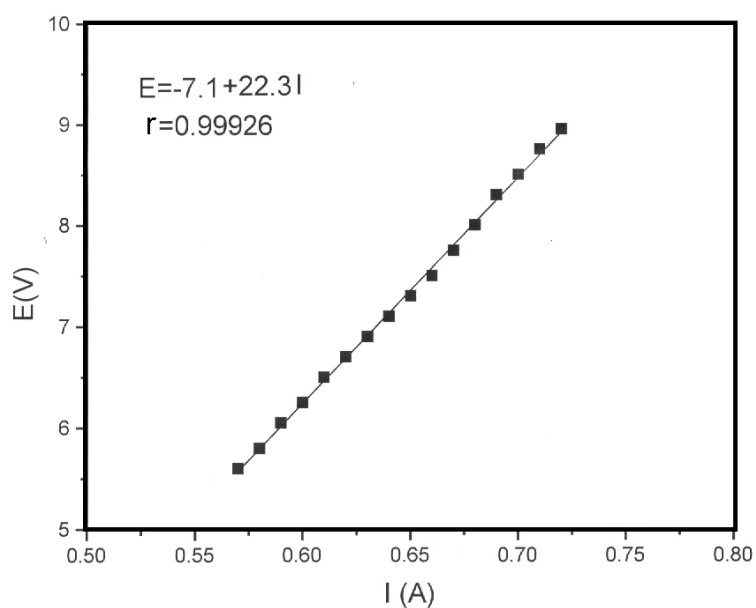
Resultados y discusión

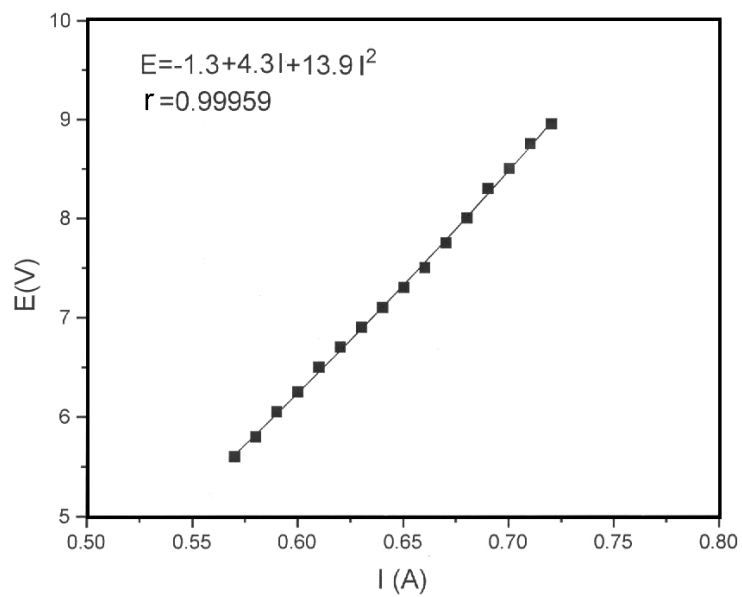
La tabla siguiente muestra los valores experimentales E - I para el circuito bajo estudio. En la tabla, se omite el par de valores $E = 0.0\text{ V}$, $I = 0.00\text{ A}$.

$E(\text{V})$	$I(\text{A})$
5.6	0.57
5.8	0.58
~ 6.05	0.59
~ 6.25	0.60
6.5	0.61
6.7	0.62
6.9	0.63
7.1	0.64
7.3	0.65
7.5	0.66

~7.75	0.67
8.0	0.68
8.3	0.69
8.5	0.70
~8.75	0.71
~8.95	0.72

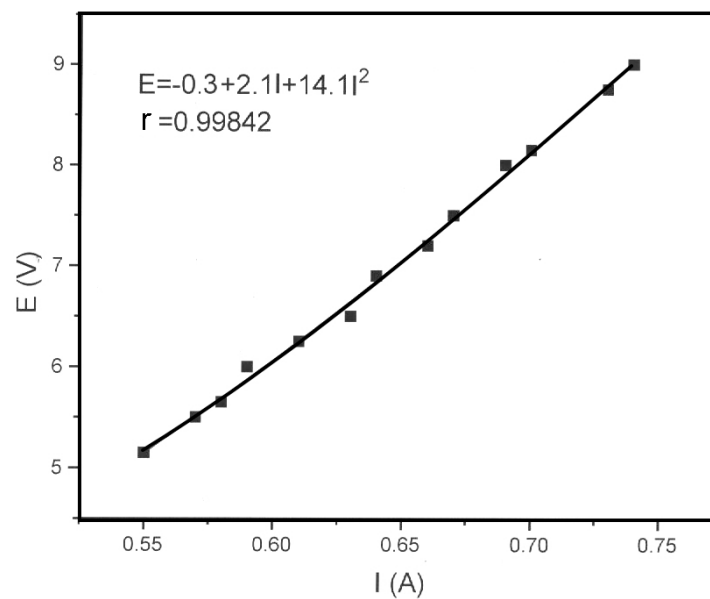
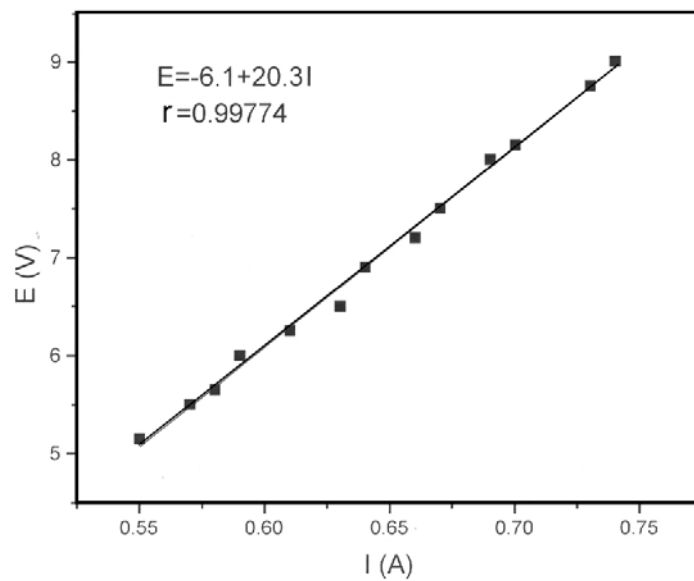
En forma por demás interesante, el inicio de la conducción de la corriente eléctrica a través del circuito en estudio, requiere una diferencia de potencial eléctrico ligeramente mayor a 5 V. Lo anterior pudiera sospecharse que se relaciona con la resistencia eléctrica elevada del elemento R incorporado en el circuito nuevo. Dentro del intervalo de condiciones experimentales abordadas y mediciones presentadas en la tabla anterior, la conducta E-I del circuito nuevo es esencialmente de carácter lineal. Sin embargo, realizamos el ajuste de una función lineal y una cuadrática para verificar la relación entre E e I. Lo anterior se ilustra en las dos gráficas siguientes (r es el coeficiente de correlación del ajuste a los datos experimentales).





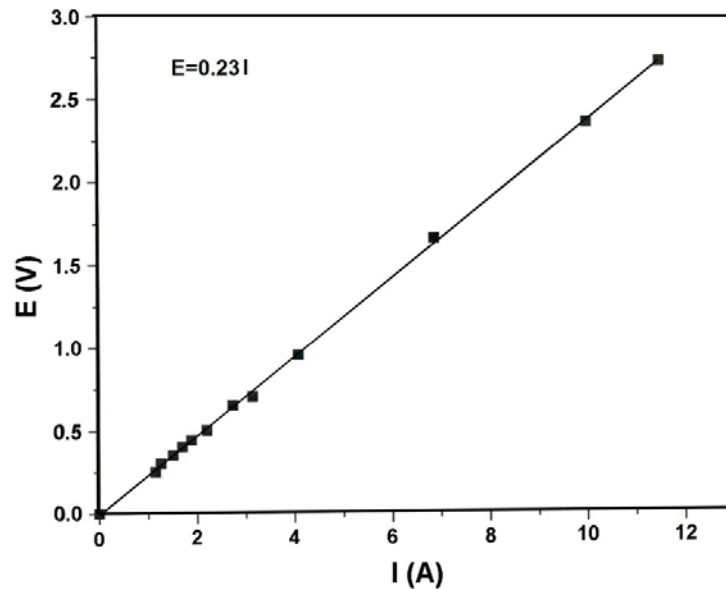
El experimento fue realizado una vez más. Los resultados se presentan en la tabla y las dos gráficas siguientes.

E(V)	I(A)
~5.15	0.55
5.5	0.57
~5.65	0.58
6.0	0.59
~6.25	0.61
6.5	0.63
6.9	0.64
7.2	0.66
7.5	0.67
8.0	0.69
~8.15	0.70
~8.75	0.73
9.0	0.74



Los resultados obtenidos en las dos versiones, son cercanos entre sí.

Para obtener el valor de la resistencia eléctrica del elemento R , se tendría que sustraer a la resistencia eléctrica total del circuito nuevo, la contribución de la resistencia eléctrica total del circuito base (0.23Ω) (Experimento 1).



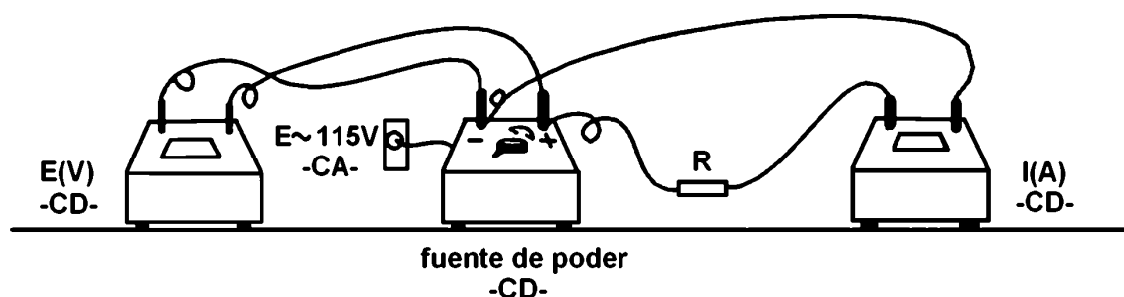
Dado que la resistencia eléctrica total del circuito nuevo es mucho mayor ($\sim 20\text{--}22\Omega$) a la del circuito base, la resistencia eléctrica del elemento R es esencialmente la mostrada por el circuito estudiado. Si se elige la primera versión experimental, $R \sim 22\Omega$. Se podría sugerir también que dentro del intervalo de condiciones experimentales exploradas y valores reportados, la conducta E – I del elemento R es de carácter lineal.

Por último, en la experiencia realizada están implícitos conceptos y operaciones experimentales que en su conjunto han posibilitado el estudio preliminar de ciertas propiedades de la materia, como es la resistencia a la conducción eléctrica por parte de un filamento (bulbo incandescente de uso automotriz), bajo condiciones esencialmente isotérmicas.

Experimento 6. Circuito nuevo con un filamento en bulbo (lámpara) ($\theta \neq \text{cte}$)

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota. En el experimento presente se emplea como elemento R a una lámpara de filamento ($\sim 6\text{V}$) con base y extensión de cable. El experimento se realiza sin restricciones térmicas en el circuito.

2. Cerrar el circuito y establecer el valor más pequeño posible de E, diferente de cero. Dejar estabilizar el valor de I. Tomar lectura de dicho valor.

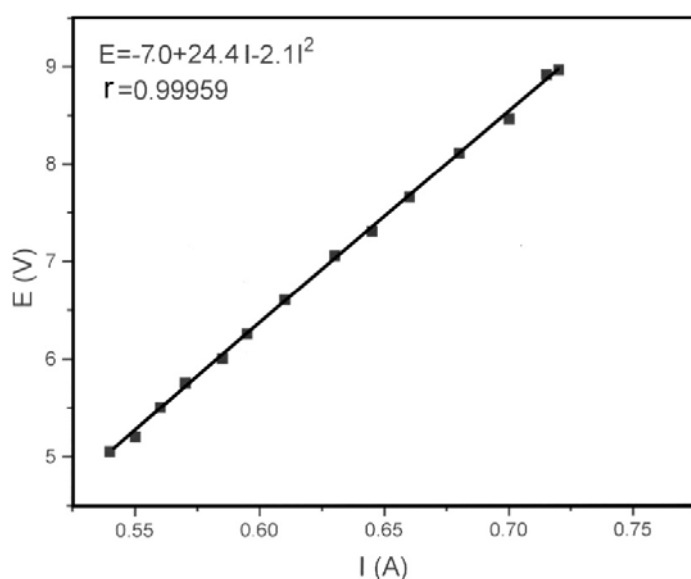
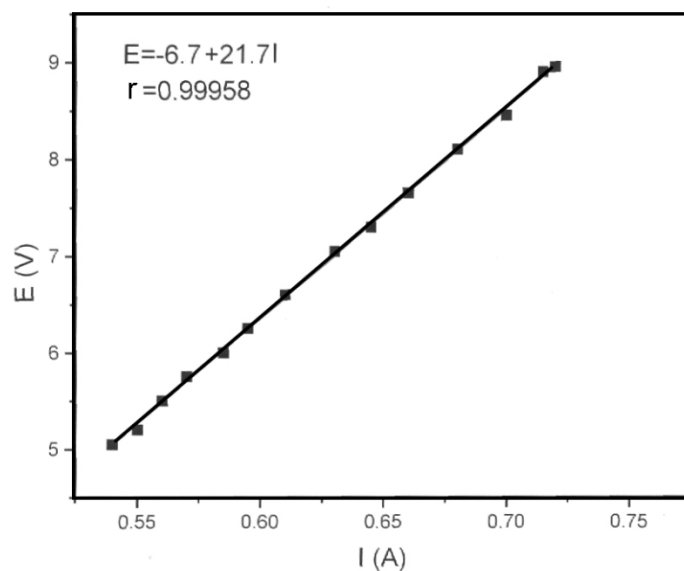
3. Repetir (2) para valores ascendentes de E.

Resultados y discusión

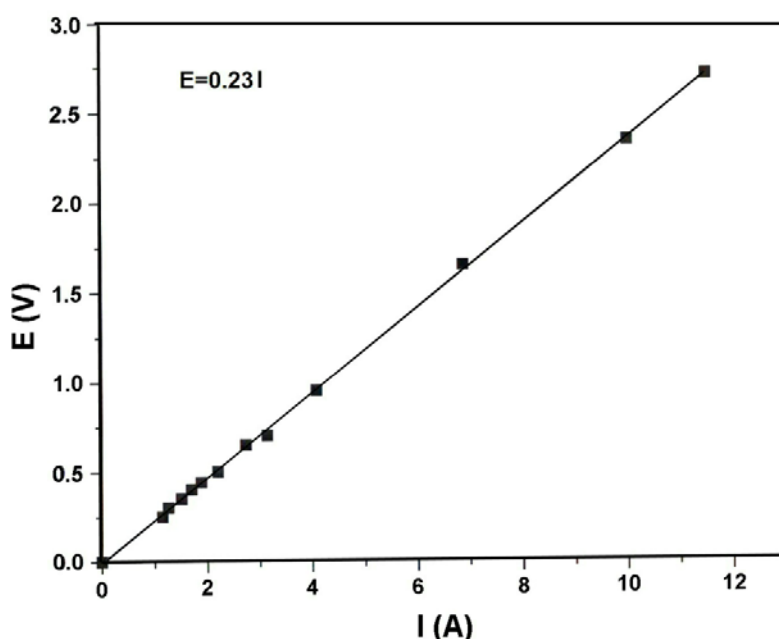
En el experimento presente no se establecieron restricciones de carácter térmico. La tabla siguiente presenta los valores experimentales de E e I para el circuito bajo estudio. En la tabla se omite el par de valores $E = 0.0\text{ V}$, $I = 0.00\text{ A}$.

E(V)	I(A)
~ 5.05	0.54
5.2	0.55
5.5	0.56
~ 5.75	0.57
6.0	~ 0.585
~ 6.25	~ 0.595
6.6	0.61
~ 7.05	0.63
7.3	~ 0.645
~ 7.65	0.66
8.1	0.68
~ 8.45	0.7
8.9	~ 0.715
~ 8.95	0.72

En forma interesante, el inicio de la conducción de la corriente eléctrica a través del circuito en estudio, requiere una diferencia de potencial eléctrico ligeramente mayor a 5 V. Lo anterior pudiera sospecharse que se relaciona con la resistencia eléctrica elevada del elemento R incorporado en el circuito nuevo. También, y no obstante que en la experiencia se permitió la evolución térmica del circuito (de tal manera que se favoreciera la igualdad entre la capacidad de generación de energía térmica y la velocidad de disipación de dicha energía), la conducta experimental E–I del circuito bajo estudio es esencialmente de carácter lineal. Sin embargo, realizamos el ajuste de una función lineal y una cuadrática para verificar la relación entre E e I. Lo anterior se ilustra en las dos gráficas siguientes (r es el coeficiente de correlación del ajuste a los datos experimentales).



Por otra parte y para obtener el valor de la resistencia eléctrica del elemento R, se tendría que sustraer a la resistencia eléctrica total del circuito en estudio, la contribución de la resistencia eléctrica del circuito base (0.23Ω ; Experimento 1). Dado que la resistencia eléctrica total del circuito nuevo (bajo estudio) es mucho mayor ($\sim 22\Omega$) a la del circuito base, la resistencia eléctrica del elemento R es esencialmente la del circuito en estudio. Se podrá sugerir también, que dentro del intervalo de condiciones experimentales abordadas y mediciones reportadas, la conducta experimental E-I del elemento R es de carácter lineal.



En la experiencia presente se obtiene una resistencia eléctrica del elemento R, cercana a 22Ω . Dicho valor es cercano al obtenido en el experimento análogo bajo condiciones isotérmicas. La similitud en dichos valores de resistencia eléctrica es de remarcar, puesto que se esperaría una resistencia eléctrica comparativamente mayor con el incremento en la temperatura del filamento. En el experimento presente el elemento R está constituido por un bulbo con filamento, su base y conexiones.

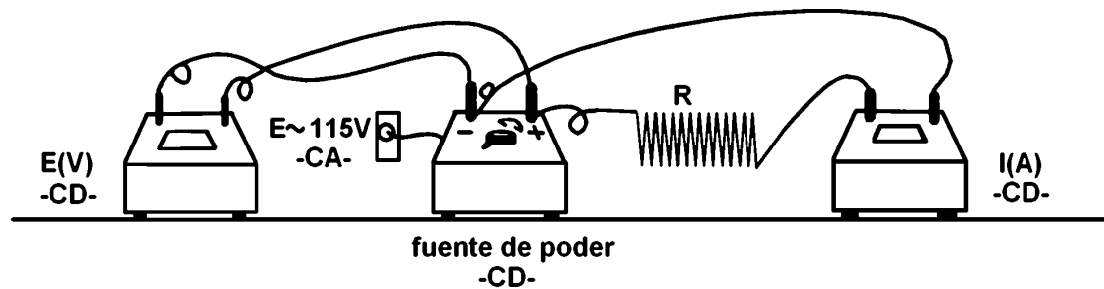
Una interpretación preliminar a los resultados obtenidos, es que parecería ser que la resistencia eléctrica del filamento de la lámpara no contribuye ostensiblemente a la resistencia eléctrica total del conjunto R. No se descarta una segunda: que el filamento es tipo óhmico.

Por último, en la experiencia presente están inmersos tanto conceptos como operaciones experimentales, que en su conjunto han posibilitado el estudio somero de ciertas propiedades de la materia, como es el caso del estudio preliminar sobre la resistencia a la conducción eléctrica que presenta un filamento metálico comercial bajo condiciones no restrictivas de carácter térmico.

Experimento 7. Circuito nuevo con un bobinado metálico (Cu) ($\theta = \text{cte}$)

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota. En el experimento presente se emplea como elemento R a un bobinado de filamento de Cu (cal.25, $L_T \cong 3.15\text{m}$). El experimento se realiza bajo restricciones térmicas ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) en el circuito.

2. Establecer la ventilación sobre el circuito. Establecer el equilibrio térmico entre el circuito y la sala experimental ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$).

3. Cerrar el circuito y establecer rápidamente la menor posible diferencia de potencial eléctrico (E). Tomar lectura inmediata de los valores correspondientes de E e I. Abrir rápidamente el circuito.

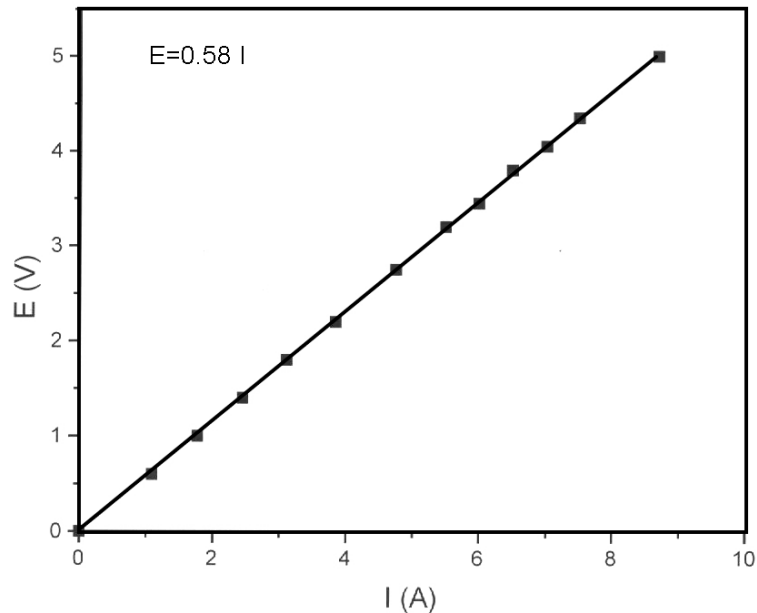
4. Repetir (3) para valores ascendentes de E.

Resultados y discusión

En el experimento presente se establecieron restricciones de carácter térmico para el circuito bajo estudio. La tabla siguiente presenta los valores experimentales ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) de E e I.

E(V)	I(A)
0.0	0.00
0.6	1.09
1.0	1.77
1.4	2.45
1.8	3.11
2.2	3.84
~2.75	4.75
3.2	5.50
~3.45	6.00
3.8	6.50
~4.05	7.01
~4.35	7.50
5.0	8.70

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del circuito nuevo bajo estudio. La conducta es lineal dentro del intervalo de condiciones exploradas. A las condiciones isotérmicas establecidas, la conducta $E=RI$ permite deducir un valor de $R = 0.58\Omega$ para el circuito nuevo.



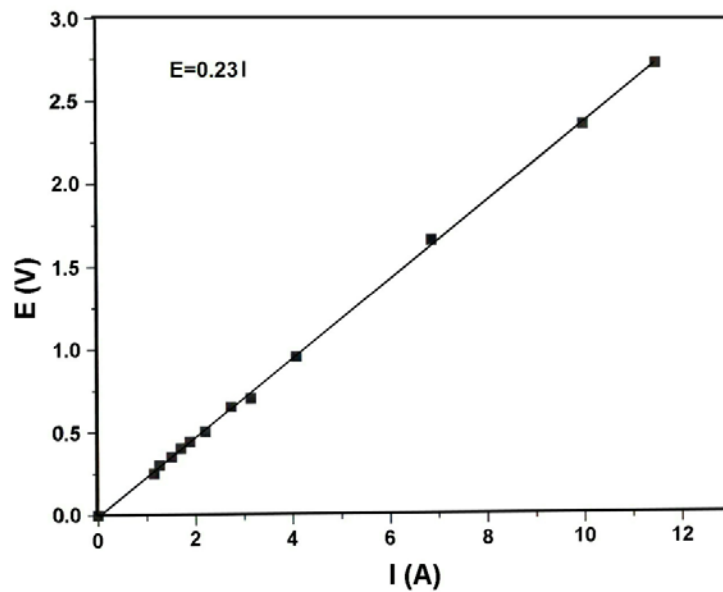
No obstante lo anterior, para poder evaluar el valor de la resistencia eléctrica del elemento R , se tiene que considerar que él está incluido en el circuito nuevo como elemento en serie. Por tanto, se cumple:

$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + R(\text{elemento nuevo})$$

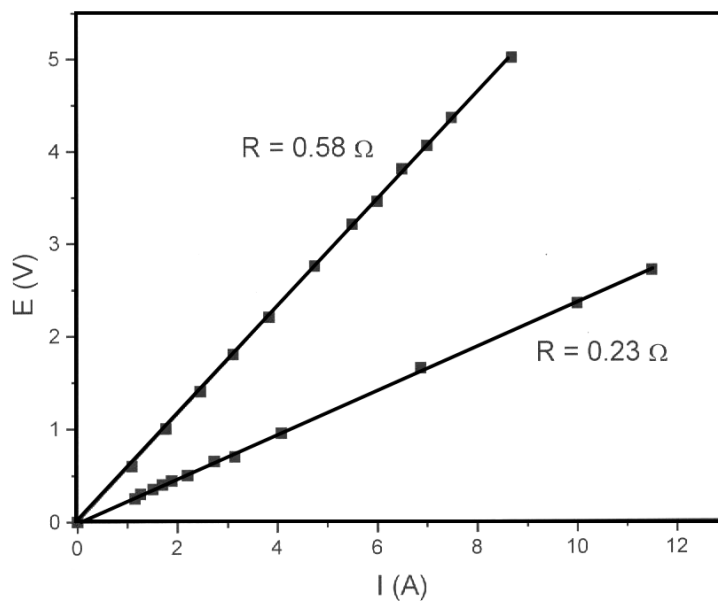
Por tanto:

$$R(\text{elemento nuevo}) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

La respuesta $E-I$ ($\theta = \text{cte}$) del circuito base se presenta en la gráfica siguiente. De la conducta $E=RI$ se tiene un valor de $R=0.23\Omega$ para dicho circuito (Experimento 1).

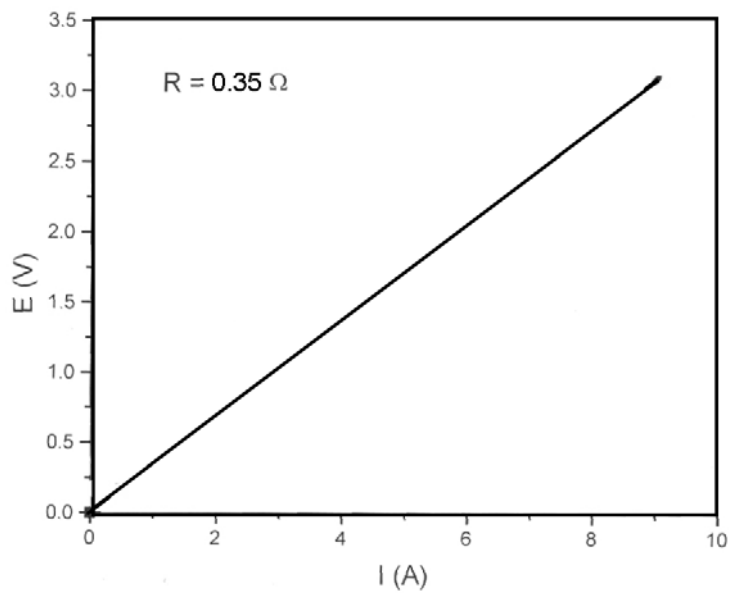


La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E-I para el circuito nuevo y el circuito base a $\theta = \text{cte}$ ($\cong 20^\circ\text{C}$).



Conocidas las resistencias eléctricas de ambos circuitos, es posible obtener el valor de la resistencia eléctrica del elemento R presente en el circuito nuevo. La resta de ambas funciones lineales arroja un valor de 0.35Ω .

La conducta experimental E-I del elemento R se presenta en la gráfica siguiente.



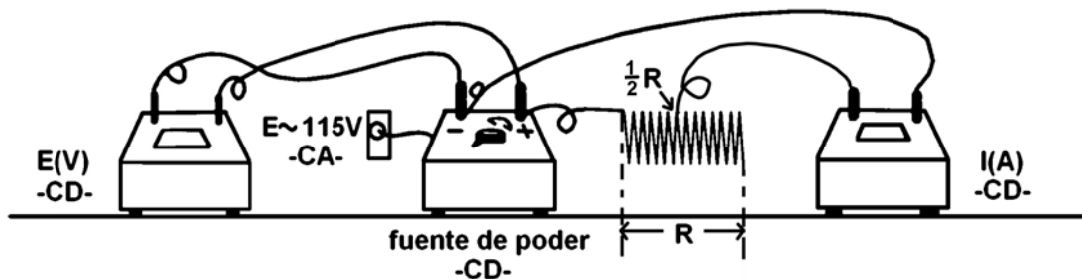
El valor experimental de la resistencia eléctrica ($\theta = \text{cte} \cong 20^\circ\text{C}$) del elemento R (alambre de Cu, calibre 25) corresponde a una longitud de 3.15 m. De esta forma, el valor por unidad de longitud es igual a $0.109 \Omega/\text{m}$. El valor homólogo reportado en la literatura (alambre de Cu, calibre 25, $\theta=21^\circ\text{C}$), es igual a $0.108 \Omega/\text{m}$.

En la experiencia presente están considerados conceptos y operaciones experimentales que en su conjunto posibilitan el análisis somero de ciertas propiedades de la materia, como es en este caso el estudio de la resistencia a la conducción eléctrica por parte de un bobinado metálico comercial bajo condiciones esencialmente isotérmicas.

Experimento 8. Circuito nuevo con un bobinado metálico (Cu) ($\theta \neq \text{cte}$)

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota. En el experimento presente se emplea como elemento R a un bobinado de filamento de Cu (cal.25, $L_{T(\text{operativa})} \sim 1.7 \text{ m}$). El experimento se realiza sin restricciones de carácter térmico en el circuito.

2. Cerrar el circuito y establecer la menor posible diferencia de potencial eléctrico (E). Permitir la estabilización del valor de I. Tomar las lecturas de E e I. Abrir el circuito.

3. Repetir (2) para valores ascendentes de E.

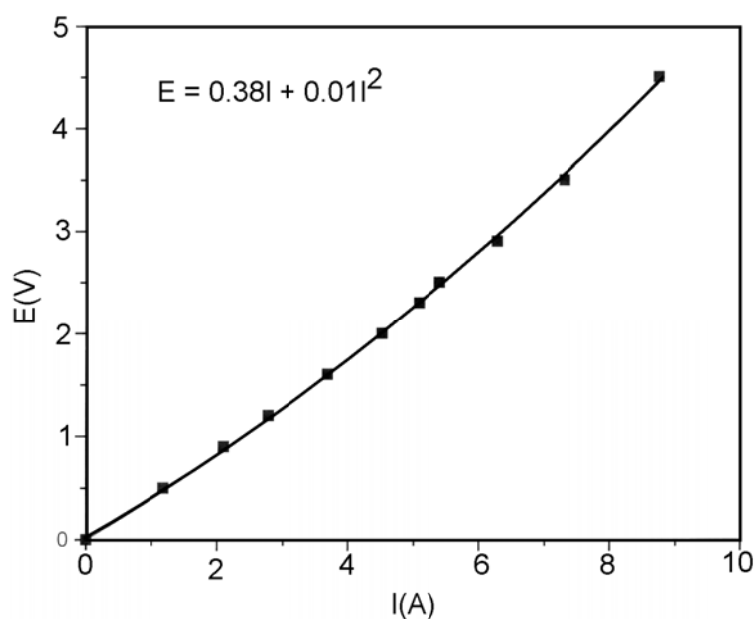
Resultados y discusión

La tabla siguiente presenta los valores experimentales de E e I para el circuito nuevo bajo estudio. Los valores corresponden a condiciones no restrictivas de carácter térmico para el circuito.

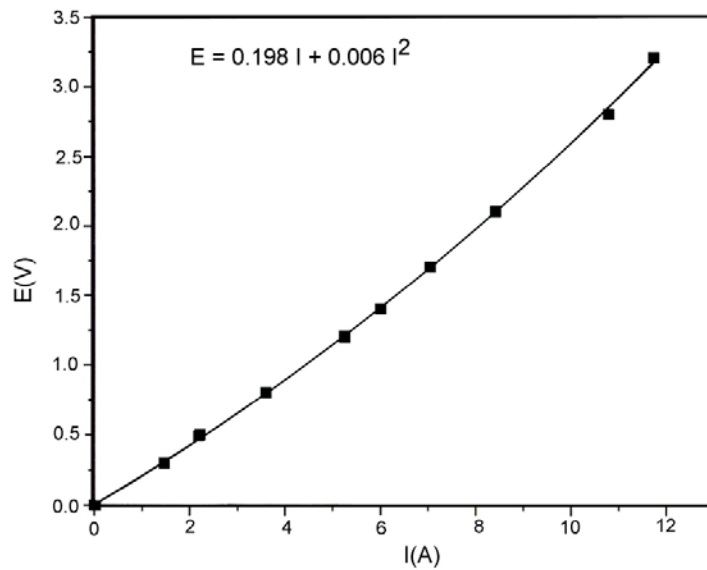
E(V)	I(A)
0.0	0.00
0.5	1.18
0.9	2.10
1.2	2.78
1.6	3.69
2.0	4.52
2.3	5.09
2.5	5.40
2.9	6.28
3.5	7.31
4.5	8.75

La gráfica siguiente ilustra la conductancia experimental E-I del circuito nuevo bajo estudio. La conductancia es no lineal, y es típica de un conductor que presenta un

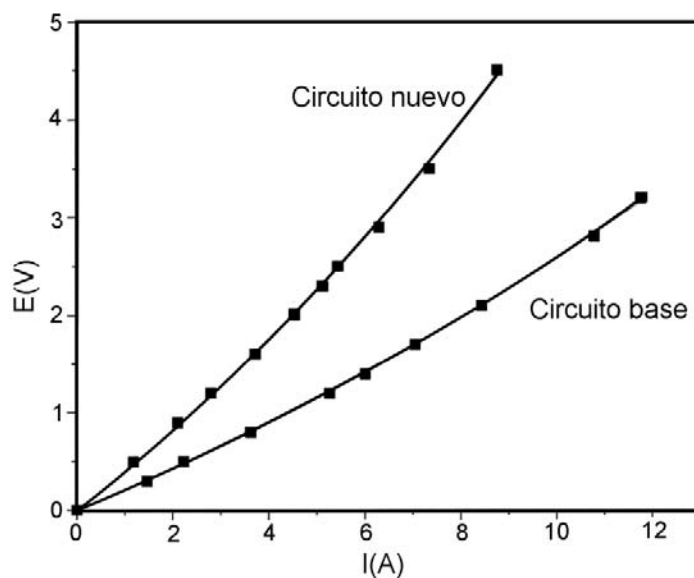
incremento en su resistencia eléctrica con el ascenso de temperatura. La respuesta experimental obtenida es concordante con las condiciones experimentales establecidas. En éstas, se permitió la evolución térmica del circuito, de tal forma que para cada valor de E se permitió la estabilización de la θ del circuito. La estabilización se siguió a través de la lectura correspondiente del valor de I .



No obstante la conductancia global E – I , en el intervalo experimental correspondiente a $E \rightarrow 0$ V e $I \rightarrow 0$ A, el circuito se aproxima a la conductancia $E = RI$. Para dicho intervalo de condiciones, la resistencia eléctrica total del circuito nuevo se aproxima a $\sim 0.38 \Omega$. La gráfica siguiente ilustra la conductancia experimental E – I del circuito base, bajo las mismas condiciones experimentales de θ acotadas previamente (Experimento 2). La conductancia global es no lineal.



Al igual que en el circuito nuevo, para valores de E e I próximos a cero, el circuito base se aproxima a la conducta $E = RI$. Para dichas condiciones, el circuito base presenta una resistencia eléctrica total que se aproxima a $\sim 0.2 \Omega$. La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental $E-I$ del circuito base y del circuito nuevo, bajo las mismas condiciones térmicas acotadas previamente. La diferencia entre ambas conductas se asocia a la presencia del elemento R en el circuito nuevo.



Para evaluar la resistencia eléctrica de dicho elemento, se parte de la base que se encuentra conectado en serie en el circuito nuevo. De esta forma se cumple:

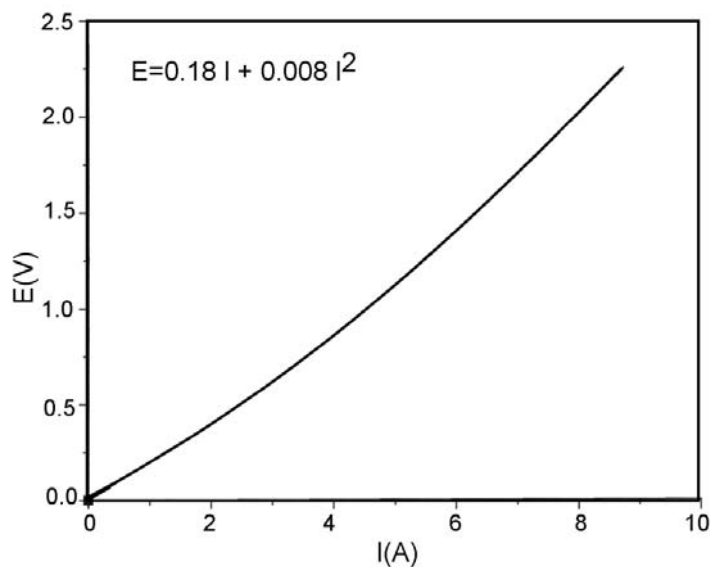
$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + R(\text{elemento nuevo})$$

Por tanto:

$$R(\text{elemento nuevo}) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

Por tanto, la sustracción anterior permitiría evaluar la conducta E–I del elemento R bajo estudio, así como la evaluación de su resistencia eléctrica dentro del intervalo de condiciones experimentales cubiertas.

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del elemento R, bajo las condiciones térmicas acotadas previamente.



Obsérvese que la conducta experimental es no lineal, y que obedece a la evolución térmica del elemento R (bobinado de Cu) con el incremento en los valores de E e I en el circuito. Solamente en la región de valores próximos a cero (tanto para E como para I), la conducta es razonablemente lineal ($E = RI$). Ello se debe a que bajo dichas condiciones, no existe una elevación significativa en la θ del bobinado. Para dicho intervalo de condiciones, el valor aproximado de la resistencia eléctrica ($\theta \cong \theta_{\text{ambiental}}$) del filamento R es 0.18Ω .

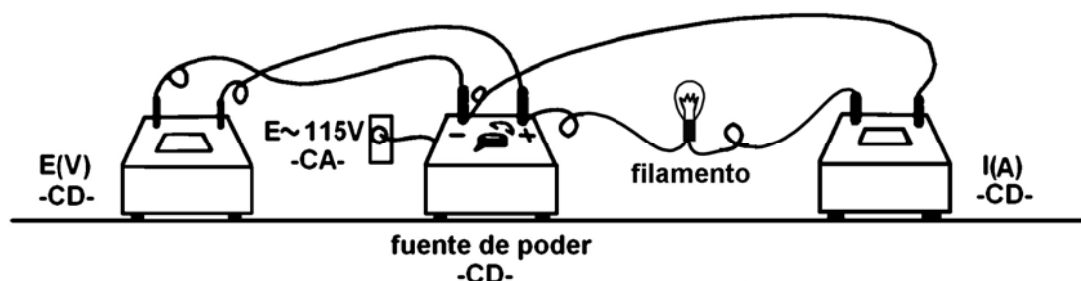
Si el segmento que representa R tiene una longitud (operativa) aproximada de 1.7 m, el valor de su resistencia eléctrica (a θ ambiental) es $\cong 0.106 \Omega/\text{m}$. Dicho valor es cercano al reportado en la literatura (alambre de Cu, calibre 25, $\theta \cong 21^\circ\text{C}$): $0.108 \Omega/\text{m}$. No obstante, a valores mayores de E e I , la pendiente se ve incrementada. Dicho incremento se asocia a su vez al incremento en la resistencia eléctrica del bobinado de Cu bajo estudio. Para los valores más elevados de E e I correspondientes al intervalo de condiciones experimentales cubiertas, la resistencia eléctrica del elemento R es $\sim 0.26 \Omega$ (evaluada a $I = 10.0\text{A}$), que representa un incremento en más de 44% respecto a la resistencia eléctrica mostrada a $\sim 20^\circ\text{C}$.

Por último, en la experiencia presente se encuentran entrettejidos conceptos y operaciones experimentales que en su conjunto posibilitan la exploración somera de ciertas propiedades de la materia, como es en este caso el estudio de la resistencia a la conducción eléctrica por parte de un conductor metálico bajo condiciones no restrictivas de carácter térmico.

Experimento 9. Circuito nuevo con un filamento en bulbo (lámpara) ($\theta \neq \text{cte}$)

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota. En el experimento presente se emplea como elemento R de estudio a una lámpara de filamento ($\sim 6 \text{ V}$) con base y extensiones de cable para conexión. El experimento se realiza bajo condiciones no restrictivas de carácter térmico para el circuito.

2. Cerrar el circuito y establecer la menor posible diferencia de potencial eléctrico (E). Permitir la estabilización del valor de I . Tomar las lecturas de E e I . Abrir el circuito.

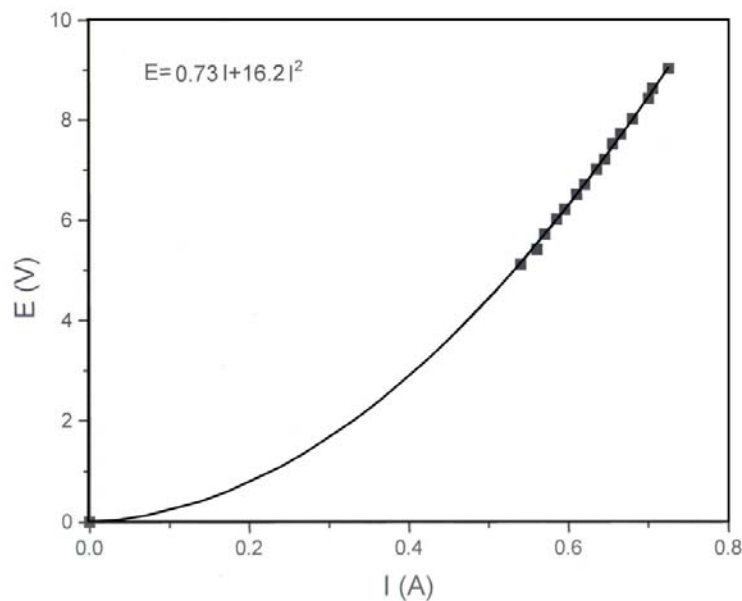
3. Repetir (2) para valores ascendentes de E .

Resultados y discusión

La tabla siguiente presenta los valores experimentales de E e I para el circuito nuevo bajo estudio. Los valores corresponden a condiciones no restrictivas de carácter térmico para el circuito eléctrico.

$E(\text{V})$	$I(\text{A})$
0.0	0.00
5.1	0.54
5.4	0.56
5.7	0.57
6.0	~ 0.585
6.2	~ 0.595
6.5	0.61
6.7	0.62
7.0	~ 0.635
7.2	~ 0.645
7.5	~ 0.655
7.7	~ 0.665
8.0	0.68
8.4	0.70
8.6	~ 0.705
9.0	~ 0.725

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del circuito nuevo bajo estudio. En el experimento, se permitió la evolución térmica del ensamble, de tal manera que para cada par de valores E–I se estableciera la constancia en la θ del circuito. La constancia en ésta se infirió a través de la constancia en el valor de I. De la gráfica se deduce una conducta E–I no lineal. Dicha conducta es típica de un sistema que presenta un incremento en su resistencia eléctrica con el ascenso de θ .



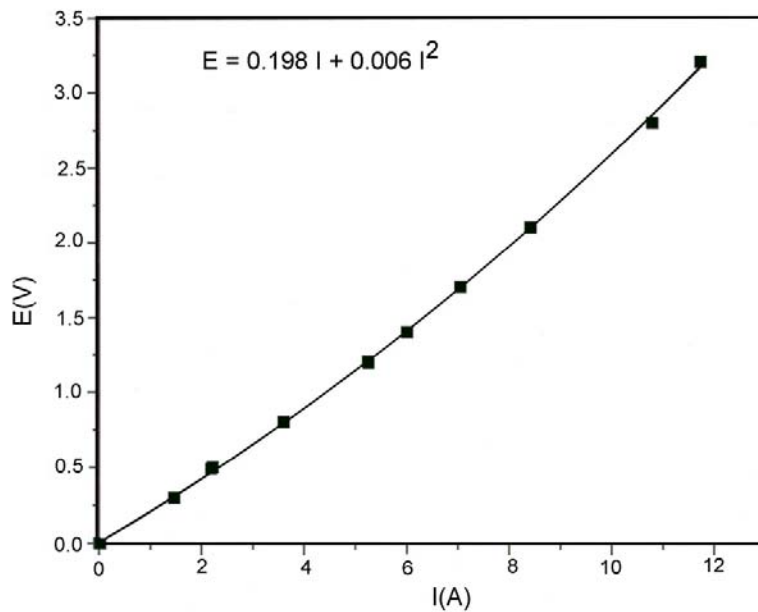
Sin embargo, para valores de E e I próximos a cero, el circuito sigue una conducta del tipo $E = RI$. Para dichas condiciones, la resistencia eléctrica total del circuito se aproxima a 0.73Ω .

No obstante el avance anterior, dicha gráfica no permite analizar con detalle la conducta E–I del sistema intercalado en serie en el circuito nuevo (esto es, el bulbo con filamento, su base y conexiones). A este respecto, dado que dicho sistema está conectado en serie en el circuito nuevo, se cumple:

$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + R(\text{elemento nuevo})$$

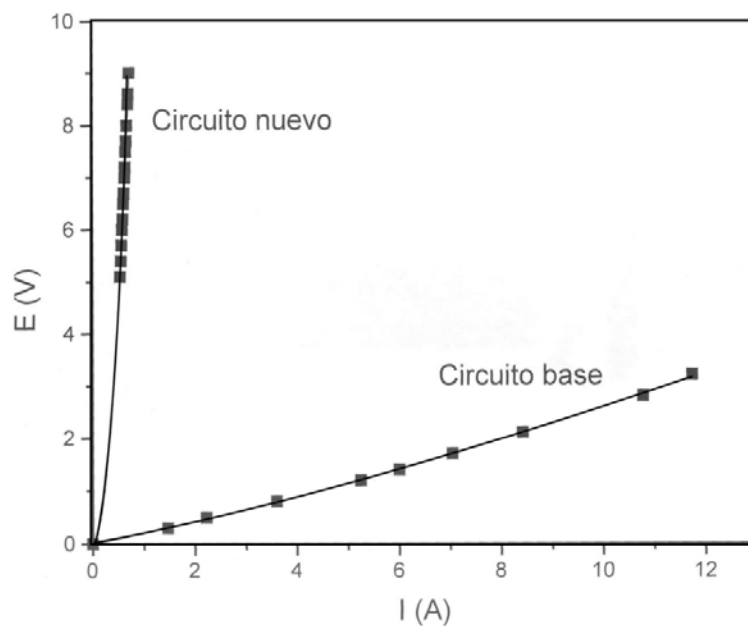
$$\therefore R(\text{elemento nuevo}) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

Por tanto, para evaluar la conducta E–I del sistema incorporado, se tiene que efectuar la sustracción de las dos funciones del segundo miembro de la ecuación. La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del circuito base bajo el mismo criterio de evolución térmica (Experimento 2).

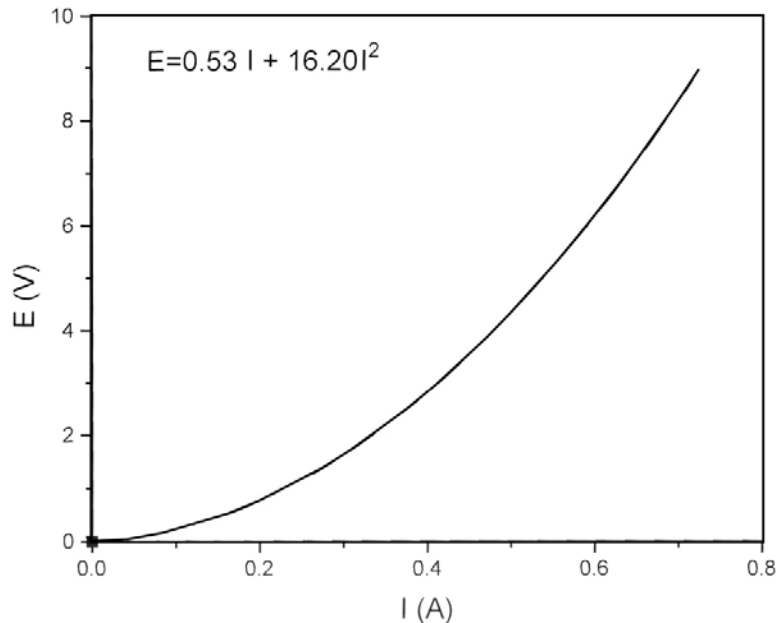


La conducta es no lineal y se identifica también con la mostrada por un sistema que presenta incremento en su resistencia eléctrica con el ascenso en los valores de E . Solamente en el límite $E \rightarrow 0$ V, $I \rightarrow 0$ A, el sistema (circuito base) se aproxima a la conducta $E = RI$. Para dichas condiciones, la resistencia eléctrica total del circuito base se aproxima a 0.20Ω .

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental $E-I$ del circuito nuevo y del circuito base, a las condiciones térmicas acotadas anteriormente.



La gráfica siguiente ilustra la función resultante para la conducta experimental E–I del sistema nuevo (bajo condiciones de evolución térmica).



Como se observa, la conducta es no lineal, y es típica de un filamento incandescente. El incremento sucesivo en la pendiente de la curva se asocia al incremento progresivo en la resistencia eléctrica del filamento. No obstante que el sistema incorporado está constituido por tres componentes (bulbo con filamento, base y conductores de conexión), se sugiere que la conducta E–I del sistema está pesada mayoritariamente por la conducta del filamento del bulbo.

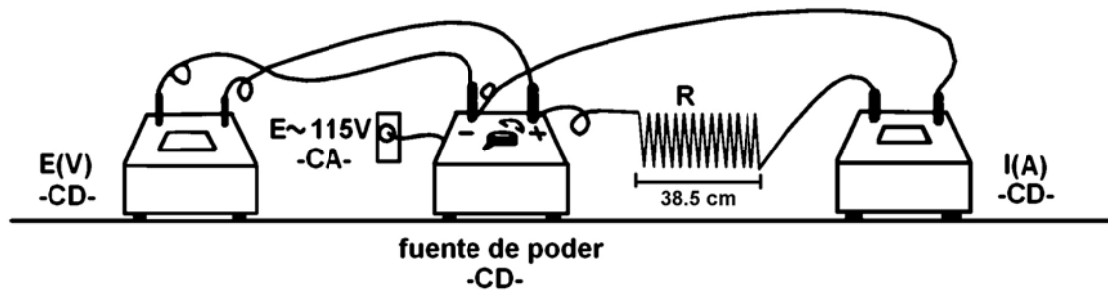
Al igual que los dos circuitos anteriores, para valores de E e I próximos a cero, el elemento R se aproxima a la conducta $E = RI$. Para dichas condiciones, la resistencia eléctrica se aproxima a 0.53Ω .

Por último, en la experiencia presente están considerados conceptos diversos y operaciones experimentales que en su conjunto posibilitan explorar someramente ciertas propiedades de la materia, en particular la resistencia a la conducción eléctrica por parte de un filamento conductor (bulbo comercial) bajo condiciones no isotérmicas.

Experimento 10. Circuito nuevo con un resistor metálico (parrilla) ($\theta \neq \text{cte}$)

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota. En el experimento presente se emplea como elemento R a un resistor eléctrico tipo doméstico. El experimento se realiza bajo condiciones no restrictivas de carácter térmico.

2. Cerrar el circuito y establecer la menor posible diferencia de potencial eléctrico (E). Permitir la estabilización del valor de I . Tomar las lecturas de E e I . Abrir el circuito.

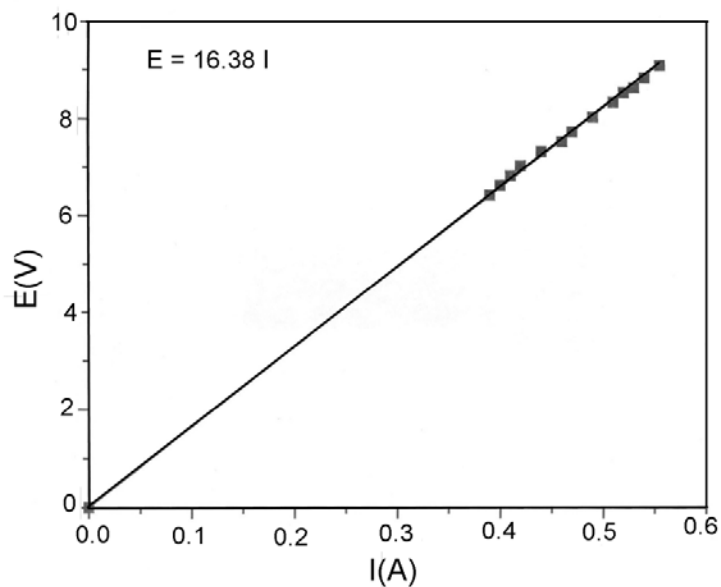
3. Repetir (2) para valores ascendentes de E .

Resultados y discusión

La tabla siguiente presenta los valores experimentales de E e I para el circuito nuevo bajo estudio. Los valores corresponden a condiciones no restrictivas de carácter térmico para el circuito eléctrico.

$E(V)$	$I(A)$
0.0	0.00
6.4	0.39
6.6	0.40
6.8	0.41
7.0	0.42
7.3	0.44
7.5	0.46
7.7	0.47
8.0	0.49
8.3	0.51
8.5	0.52
8.6	0.53
8.8	0.54
~ 9.05	~ 0.555

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del circuito nuevo bajo estudio. En dicho circuito, el elemento novedoso (respecto al circuito base) es un elemento de resistencia eléctrica de uso doméstico. No obstante que en el experimento se dejó evolucionar térmicamente al circuito, la conducta E–I es de carácter lineal. De esta forma, y dentro del intervalo de condiciones experimentales abordadas, el circuito nuevo cumple con la ecuación $E=RI$. La pendiente de la función lineal representa la resistencia eléctrica total del circuito nuevo. Ésta es igual a $\sim 16.38 \Omega$.



No obstante lo anterior, es importante también evaluar la resistencia eléctrica del elemento R incluido en el circuito nuevo. Dado que dicho elemento está en serie, se cumple:

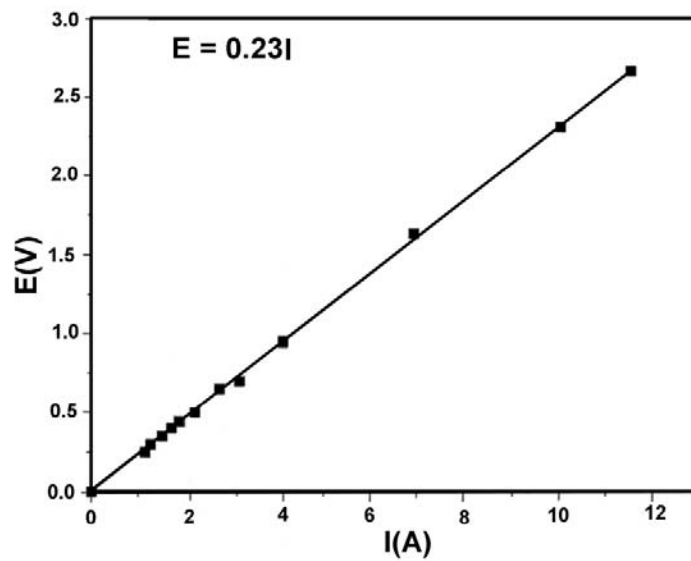
$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + R(\text{elemento nuevo})$$

Por tanto

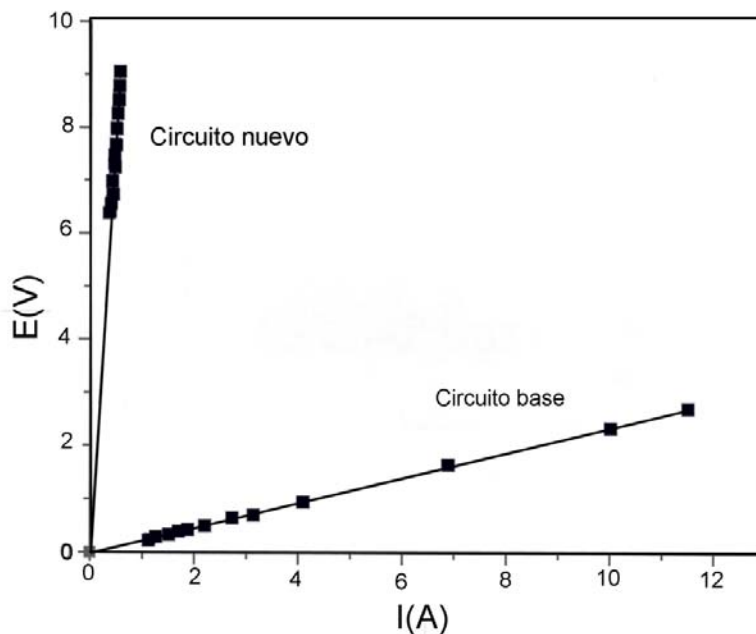
$$R(\text{elemento nuevo}) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

En consecuencia, para evaluar dicha resistencia eléctrica, es necesario practicar la sustracción de las dos funciones del segundo miembro de la ecuación última.

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del circuito base. Dicha conducta corresponde a condiciones experimentales de carácter isotérmico. Dicha función se postula a ser compatible con la correspondiente al circuito nuevo, dado que en este no se detectó un cambio significativo en la θ . Para el circuito base, la resistencia eléctrica total ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) es 0.23Ω (Experimento 1).



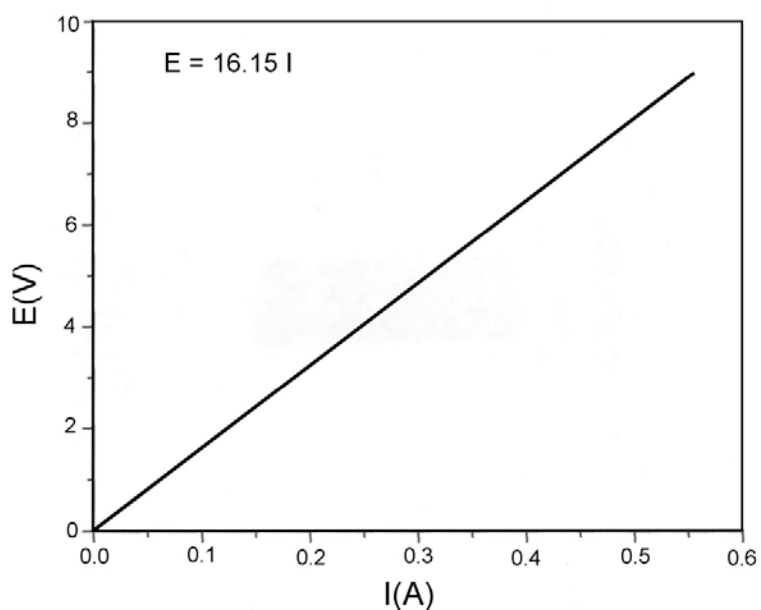
La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E-I tanto del circuito base como del circuito nuevo bajo estudio.



La diferencia de pendientes es igual a la diferencia de resistencias eléctricas totales entre ambos circuitos. La resistencia eléctrica comparativamente mayor del circuito nuevo, se asocia a la contribución de la resistencia eléctrica por parte del elemento R.

La sustracción de las dos funciones (circuito nuevo y circuito base) arroja la gráfica E-I siguiente. Dicha función corresponde al elemento R. Su resistencia eléctrica es igual a $16.15 \, \Omega$. Los resultados permiten también postular que dicho elemento

de resistencia eléctrica cumple con la ecuación $E = RI$ dentro del intervalo de condiciones exploradas aquí.

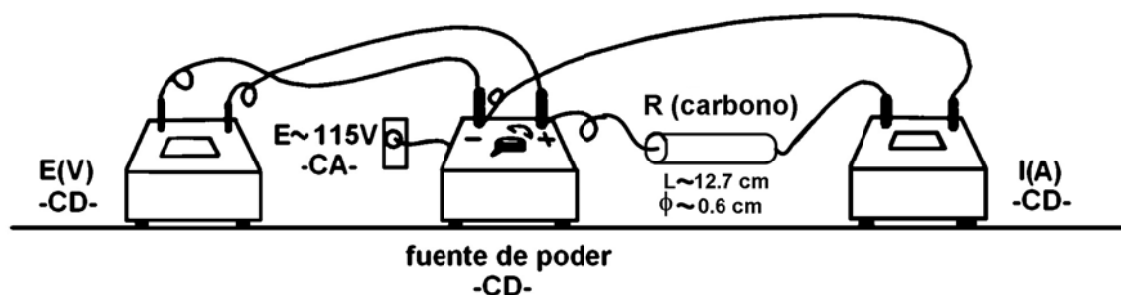


Por último, la experiencia presente conjunta conceptos y operaciones experimentales que posibilitan el estudio somero de ciertas propiedades de la materia, como lo es la resistencia a la conducción eléctrica por parte de un conductor metálico de uso doméstico convencional, bajo condiciones térmicas no restrictivas.

Experimento 11. Circuito nuevo con un resistor no metálico (barra de carbono) ($\theta \neq \text{cte}$)

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota. En el experimento presente se emplea como elemento R a una barra de carbono industrial ($\varnothing \sim 0.6 \text{ cm}$, $L_T \sim 12.7 \text{ cm}$). El experimento se realiza bajo condiciones térmicas no restrictivas para el circuito eléctrico.

2. Cerrar el circuito y establecer la menor posible diferencia de potencial eléctrico (E). Permitir la estabilización en el valor de I. Tomar registro de él. Abrir el circuito.
3. Repetir (2) para valores ascendentes de E.

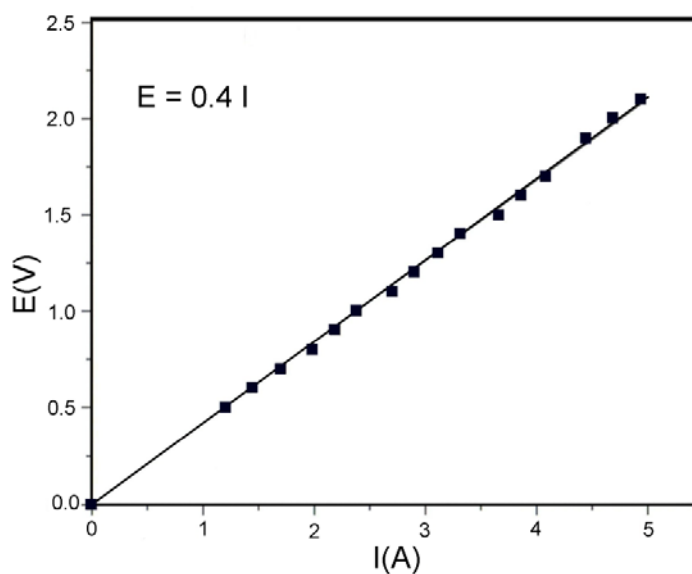
Resultados y discusión

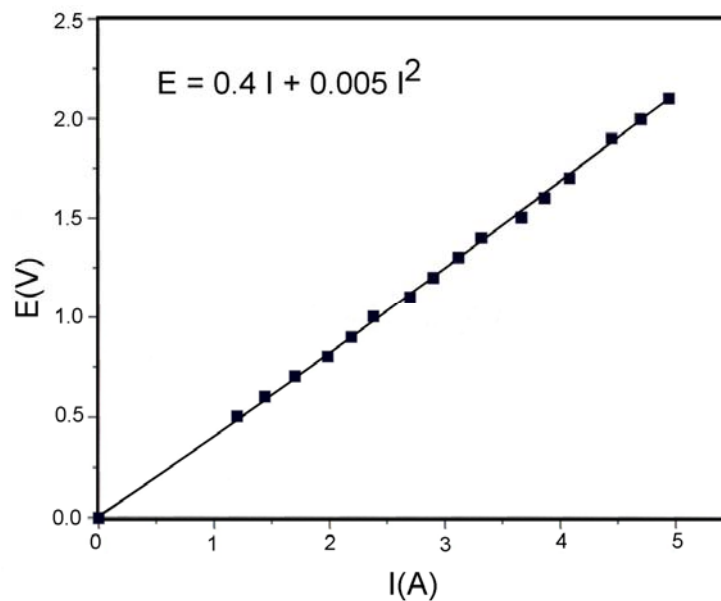
La tabla siguiente presenta los valores experimentales de E e I para el circuito nuevo bajo estudio. Los valores corresponden a condiciones térmicas no restrictivas en el circuito eléctrico.

E(V)	I(A)
0.0	0.00
0.5	1.20
0.6	1.44
0.7	1.70
0.8	1.98
0.9	2.19
1.0	2.38
1.1	2.70
1.2	2.90

1.3	~3.115
1.4	~3.315
1.5	3.66
1.6	3.86
1.7	4.08
1.9	4.44
2.0	4.69
2.1	4.94

La conducta experimental E–I del circuito bajo estudio se muestra en las dos gráficas siguientes, junto con las regresiones practicadas. De las dos regresiones realizadas, la correspondiente a la función cuadrática es más exitosa (analizando el coeficiente de correlación, para la lineal 0.9984, y para la cuadrática 0.9993) en la descripción de los datos experimentales. No obstante esto, ambas regresiones permiten estimar un valor global para la resistencia eléctrica total del circuito, éste es de $0.4 \, \Omega$ para el intervalo de condiciones exploradas.





En relación al experimento, es de hacer notar que en el curso de él se dejó evolucionar térmicamente al circuito. Los datos experimentales (y la función de ajuste tipo cuadrática) son concordantes con la existencia de un circuito que incrementa muy ligeramente su resistencia eléctrica con la elevación de temperatura.

No obstante los avances anteriores, es importante analizar también, la conducta de la resistencia eléctrica del elemento incluido en el circuito nuevo bajo estudio.

Dado que dicho elemento se encuentra conectado en serie, en todo momento se cumple:

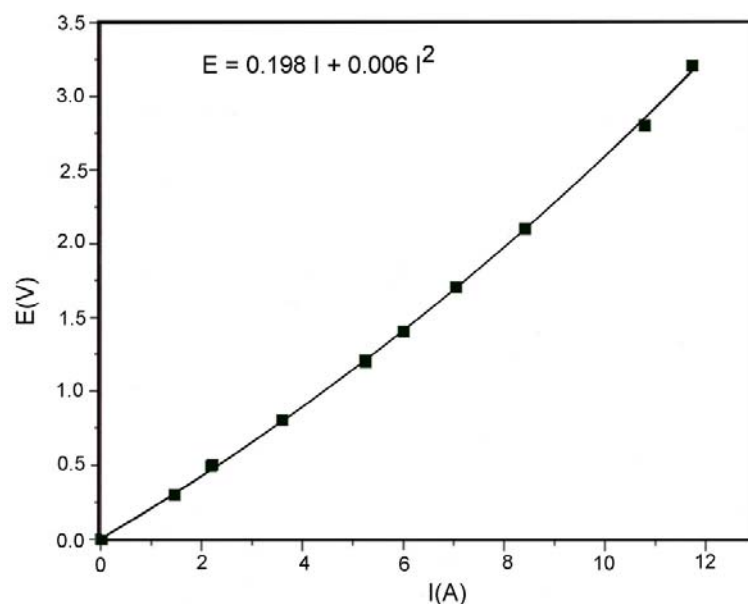
$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + R(\text{elemento nuevo})$$

Por tanto:

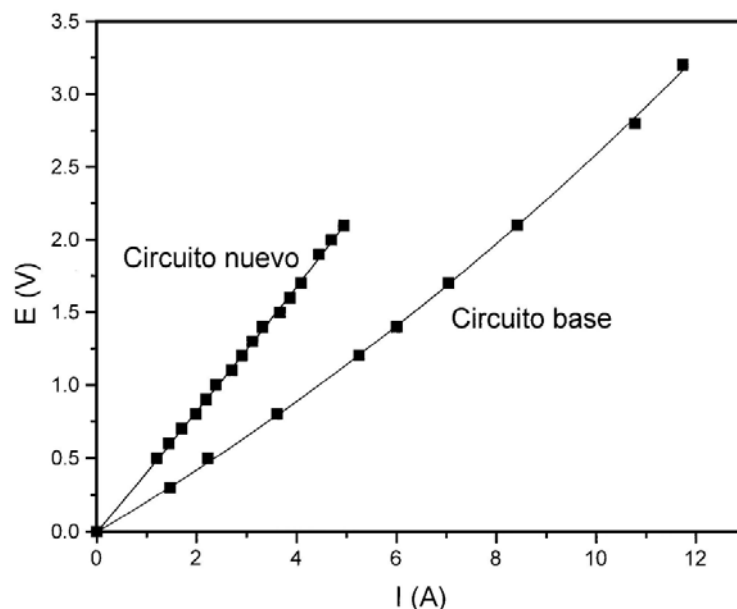
$$R(\text{elemento nuevo}) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

De esta forma, para evaluar la conducta E–I del elemento nuevo, es necesario sustraer las dos funciones del segundo miembro de la ecuación última.

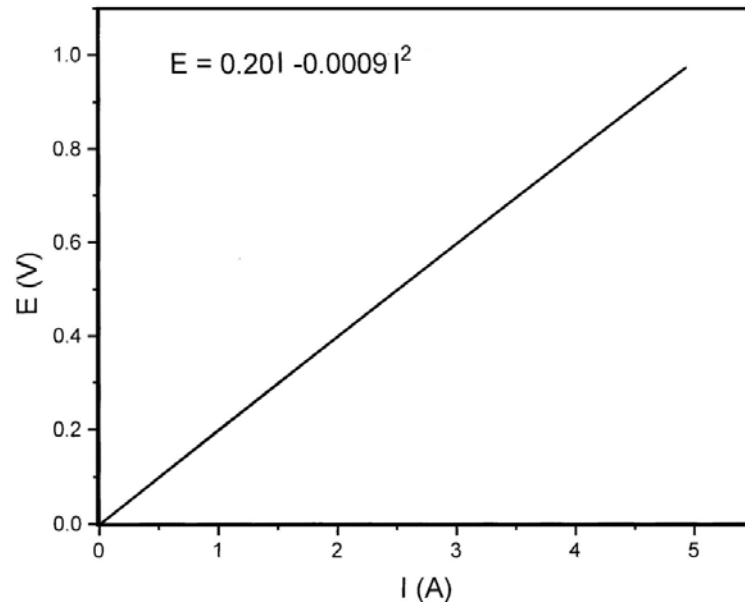
La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del circuito base (Experimento 2).



Bajo inexistencia de restricciones de carácter térmico, el circuito base presenta una respuesta experimental E – I no lineal. La respuesta global se identifica también con la mostrada por un sistema que incrementa su resistencia eléctrica con el ascenso en los valores de E . Sin embargo, para valores de E e I próximos a cero, el circuito base se aproxima a la conducta $E = RI$. Para dicho intervalo de condiciones, el circuito base presenta una resistencia eléctrica total aproximada de $0.2 \, \Omega$. La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E – I tanto del circuito base como del circuito nuevo, bajo condiciones homólogas de evolución térmica respectiva.



La gráfica siguiente presenta la conducta experimental E–I del elemento nuevo (barra de carbono tipo industrial). Aunque la función es de tipo cuadrática, el término de segundo orden presenta un coeficiente muy cercano a cero. Lo anterior permite considerar como valor aproximado de la resistencia eléctrica del elemento barra de carbono, el de 0.2 Ω .



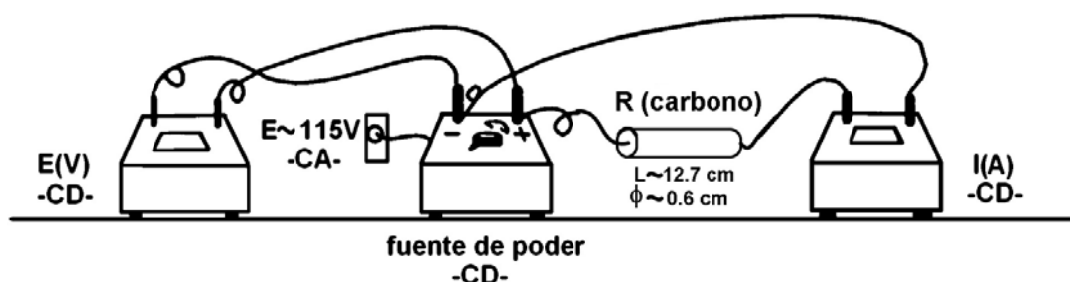
Para valores de E e I próximos a cero, la respuesta E–I de la barra de carbono se identifica con la conducta $E = RI$. Para dicho intervalo de condiciones, la resistencia eléctrica de dicho elemento es de 0.2 Ω .

Por último, en la experiencia presente están implícitos conceptos y operaciones experimentales que en su conjunto han posibilitado la exploración somera de ciertas propiedades de la materia, como lo es la resistencia a la conducción eléctrica por parte de una barra de carbono (tipo industrial), en condiciones no restrictivas de carácter térmico.

Experimento 12. Circuito nuevo con un resistor no metálico (barra de carbono) ($\theta = \text{cte}$)

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota. En el experimento presente se emplea como elemento R a una barra de carbono industrial ($\varnothing \sim 0.6 \text{ cm}$, $L_T \sim 12.7 \text{ cm}$). El experimento se realiza bajo restricciones térmicas para el circuito.

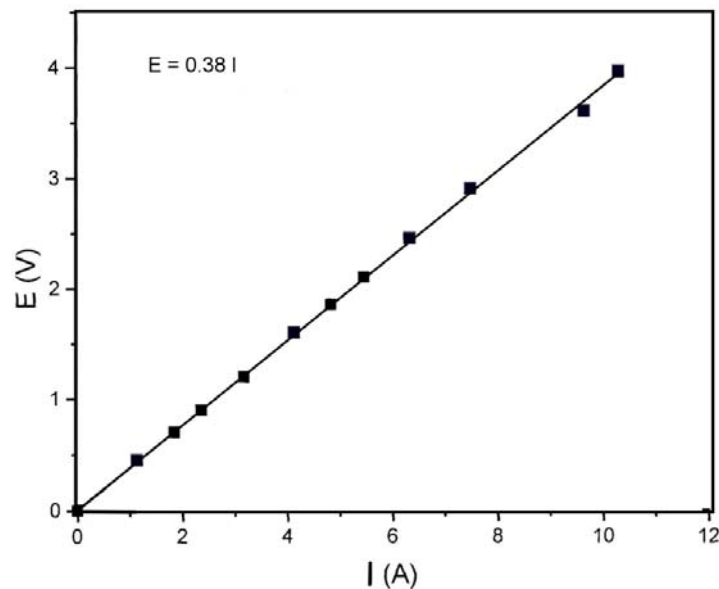
2. Establecer la ventilación sobre el circuito eléctrico. Establecer el equilibrio térmico entre el circuito y la sala experimental ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$).
3. Cerrar el circuito y establecer rápidamente la menor posible diferencia de potencial eléctrico (E). Leer en forma inmediata los valores respectivos de E e I. Abrir en forma inmediata el circuito eléctrico.
4. Repetir (3) para valores ascendentes de E.

Resultados y discusión

La tabla siguiente muestra los valores experimentales ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) de E e I para el circuito nuevo en estudio.

E(V)	I(A)
0.0	0.00
~0.45	1.13
0.7	1.84
0.9	2.35
1.2	3.17
1.6	4.13
~1.85	4.82
2.1	5.46
~2.45	6.32
2.9	7.48
3.6	9.64
~3.95	10.30

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del circuito bajo estudio en condiciones isotérmicas. La conducta experimental es descrita satisfactoriamente por una función lineal. De esta forma y a las condiciones experimentales impuestas, el circuito nuevo cumple la ecuación $E = RI$.



Para el intervalo de condiciones exploradas, la resistencia eléctrica total del circuito es 0.38Ω .

No obstante lo anterior, es importante también analizar la conducta experimental E–I del elemento incluido en el circuito nuevo (bajo estudio); puesto que dicho elemento (barra de carbono tipo industrial) se encuentra conectado en serie, se cumple:

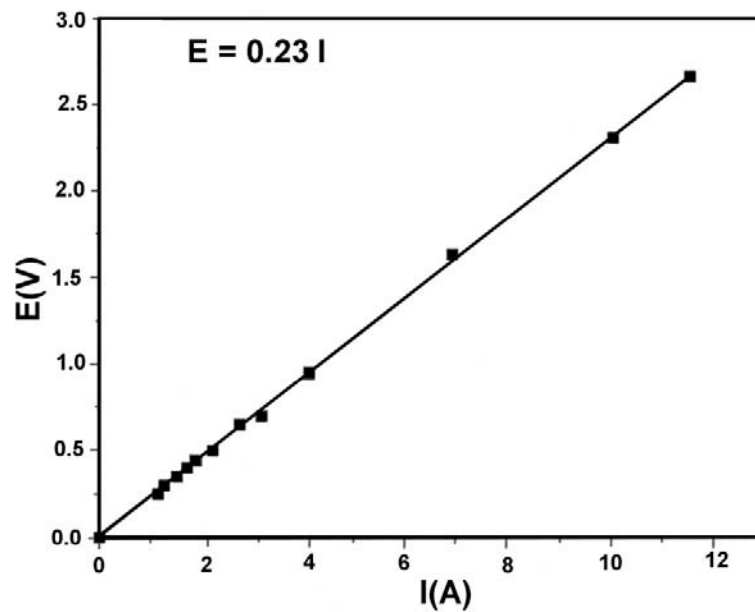
$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + R(\text{elemento nuevo})$$

Por tanto

$$R(\text{elemento nuevo}) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

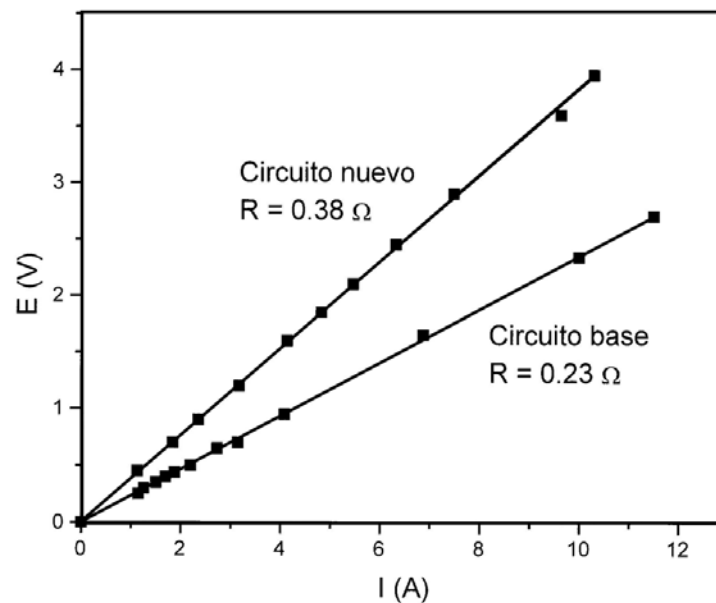
De esta forma, para evaluar la conducta E–I de la barra de carbono, es necesario realizar la sustracción de las dos funciones en esta última ecuación.

La gráfica siguiente presenta la conducta experimental E–I del circuito base, bajo condiciones homólogas de temperatura (Experimento 1).



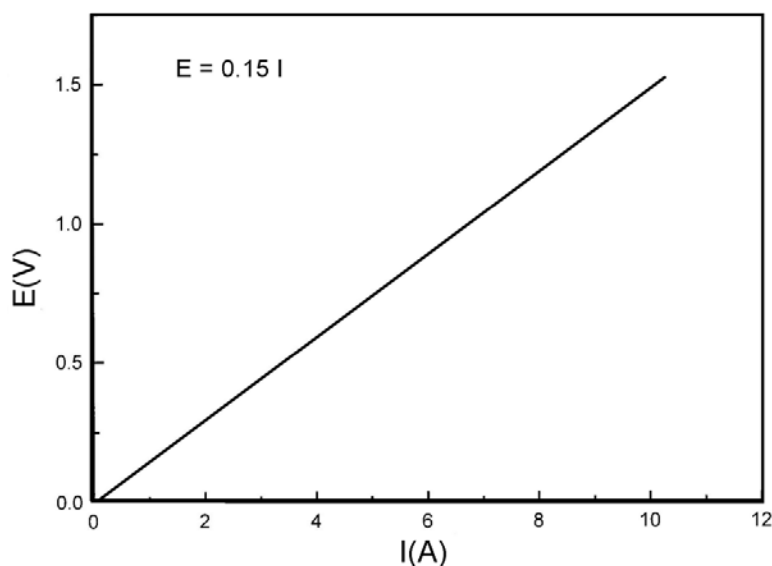
La respuesta experimental $E - I$ del circuito base es lineal ($E = RI$). Para el intervalo de condiciones exploradas, la resistencia eléctrica total del circuito base es 0.23Ω .

La gráfica siguiente presenta la conducta experimental $E-I$ tanto del circuito base como del circuito bajo estudio, ambos a temperatura constante ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$); la diferencia de pendientes es igual a la diferencia de resistencias eléctricas totales entre ambos circuitos.



La resistencia eléctrica comparativamente mayor del circuito nuevo obedece a la contribución de la resistencia eléctrica por parte del elemento R (barra de carbono tipo industrial).

La gráfica siguiente presenta la conducta experimental E–I a condiciones isotérmicas del elemento de resistencia eléctrica (barra de carbono tipo industrial).



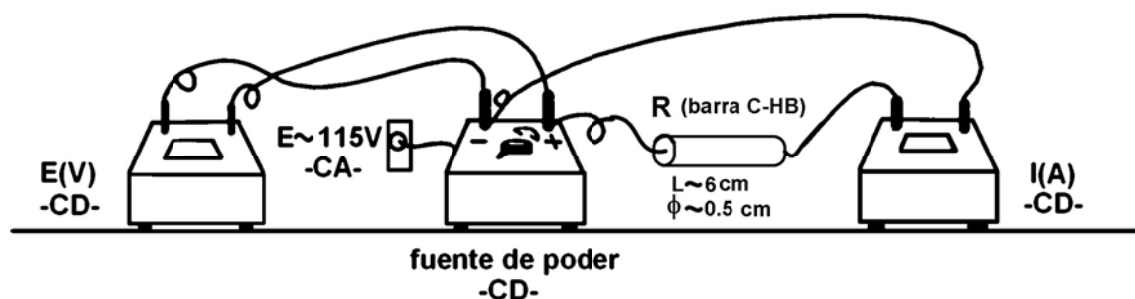
La conducta experimental sigue la ecuación $E = RI$, para un valor de $R = 0.15 \Omega$. Este valor es ligeramente menor al obtenido ($R = 0.2 \Omega$) en estudios experimentales $E - I$ análogos, bajo inexistencia de control de θ (Experimento 11).

Por último, en la experiencia presente están incluidos conceptos y operaciones experimentales que en su conjunto posibilitan explorar someramente algunas propiedades de la materia, como lo es en este caso la resistencia a la conducción eléctrica por parte de una barra de carbono (tipo industrial), bajo condiciones isotérmicas.

Experimento 13. Circuito nuevo con un resistor no metálico (barra de carbono-HB ($\theta \neq \text{cte}$))

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota. En el experimento presente se emplea como elemento R a una barra de carbono (tipo HB). El experimento se realiza sin restricciones térmicas para el circuito.

2. Cerrar el circuito y establecer la menor posible diferencia de potencial eléctrico menor posible (E). Permitir la estabilización del valor I. Tomar registro de él. Abrir el circuito.
3. Repetir (2) para valores ascendentes de E.

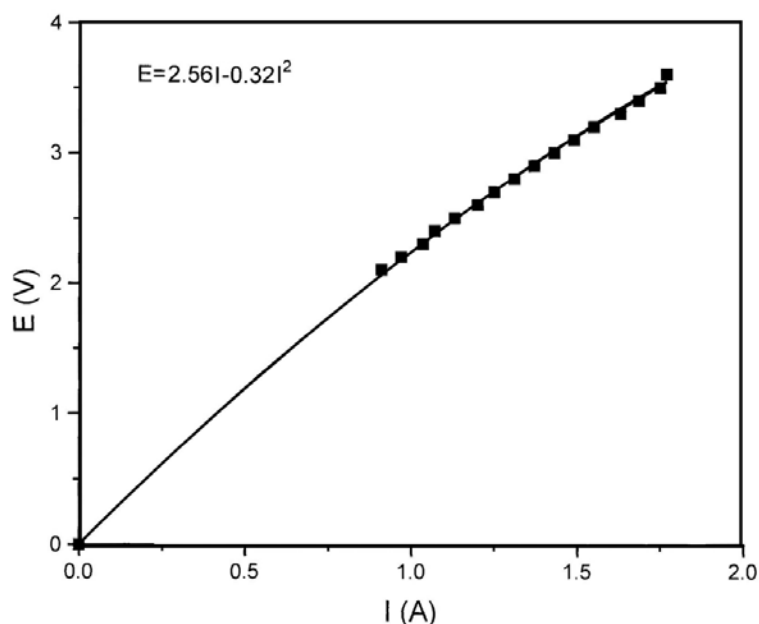
Resultados y discusión

La tabla siguiente presenta los valores experimentales de E e I para el circuito nuevo bajo estudio. Los valores corresponden a condiciones térmicas no restrictivas en el circuito.

E(V)	I(A)
0.0	0.00
2.1	0.91
2.2	0.97
2.3	~1.035
2.4	1.07
2.5	1.13
2.6	1.20
2.7	1.25
2.8	1.31
2.9	1.37
3.0	1.43

3.1	1.49
3.2	1.55
3.3	1.63
3.4	~1.685
3.5	1.75
3.6	1.77

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del circuito nuevo bajo estudio.



Bajo no restricciones de carácter térmico, la conducta E–I es descrita satisfactoriamente por una función cuadrática. Los parámetros de ésta permiten inferir que la conducta del circuito corresponde a un sistema que presenta un descenso moderado de su resistencia eléctrica con el incremento en su temperatura. Para valores de E e I próximos a cero, el circuito sigue la conducta $E = RI$. Bajo dichas condiciones, la resistencia eléctrica total del circuito es cercana a 2.6 Ω . No obstante este dato, es importante analizar también la conducta experimental E–I del elemento nuevo en el circuito.

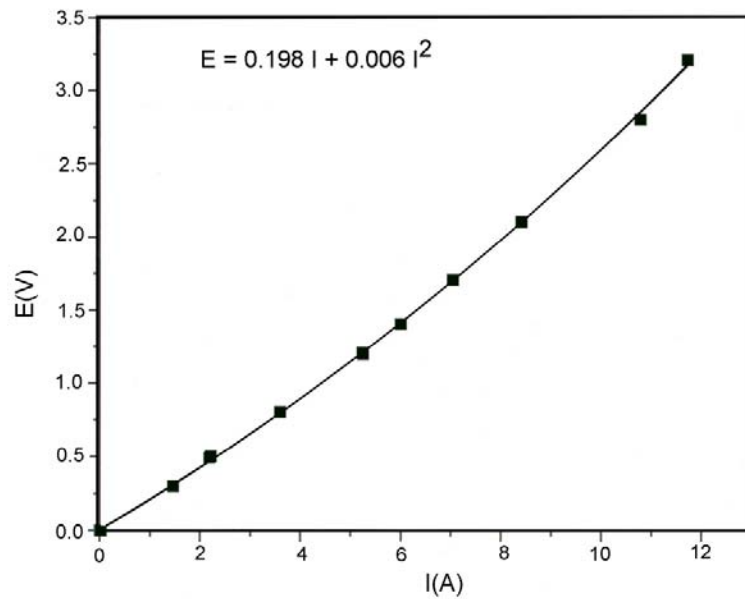
Dado que dicho elemento se encuentra conectado en serie en el circuito nuevo (bajo estudio), se cumple:

$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + R(\text{elemento nuevo})$$

Por tanto:

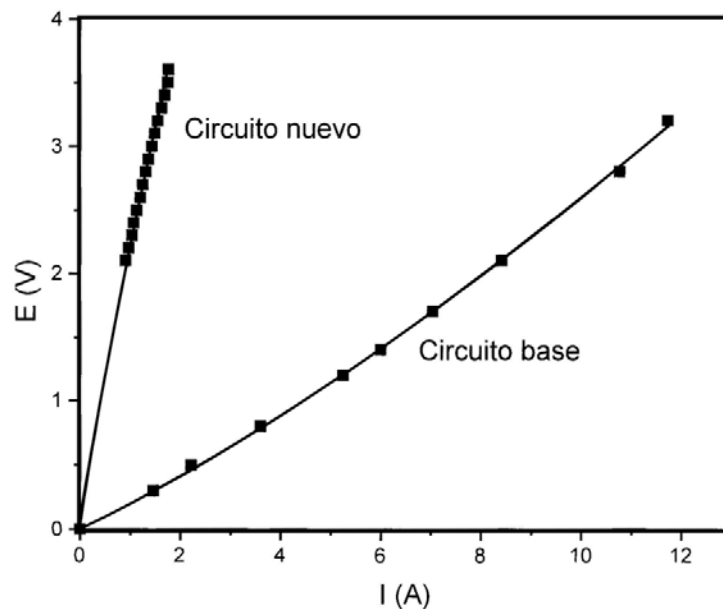
$$R(\text{elemento nuevo}) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

De esta forma, para evaluar la conducta experimental $E - I$ del elemento barra de carbono, se requiere realizar la sustracción de las dos funciones del segundo miembro de la ecuación última. La gráfica siguiente presenta la conducta experimental E–I del circuito base, bajo condiciones no restrictivas de temperatura (Experimento 2).

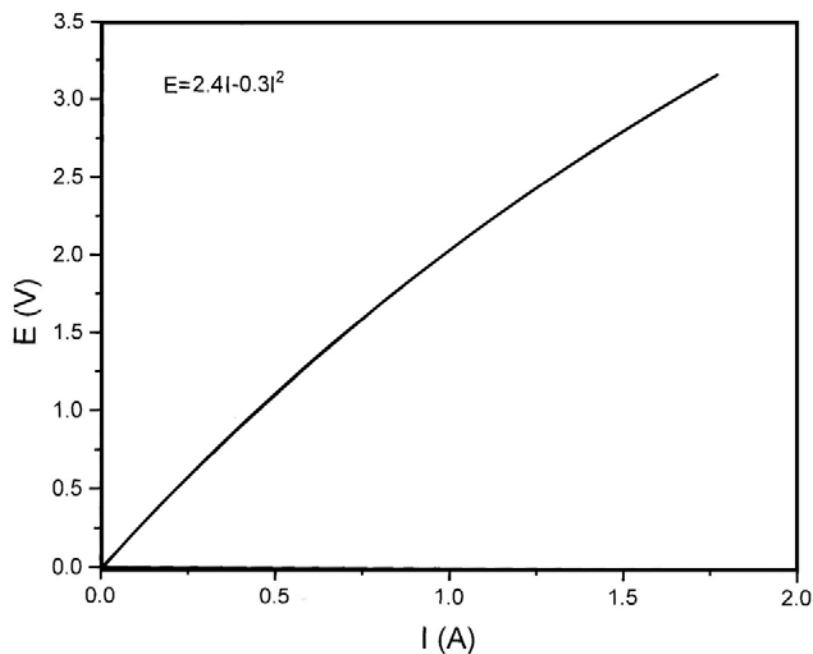


Bajo dichas condiciones, la respuesta E – I es no lineal, y se identifica con la mostrada por un sistema que presenta incremento en su resistencia eléctrica con el ascenso en los valores de E . Sin embargo, para valores de E e I próximos a cero, el circuito cumple la conducta $E = RI$. Bajo estas condiciones, la resistencia eléctrica total del circuito base es cercana a 0.2Ω .

La gráfica siguiente presenta la conducta experimental E – I (bajo condiciones no restrictivas de carácter térmico) tanto del circuito base como del circuito nuevo (bajo estudio).



La gráfica siguiente presenta la conducta experimental E–I (bajo condiciones no restrictivas de carácter térmico) del elemento de resistencia eléctrica barra de carbono. La conducta corresponde a una función cuadrática.



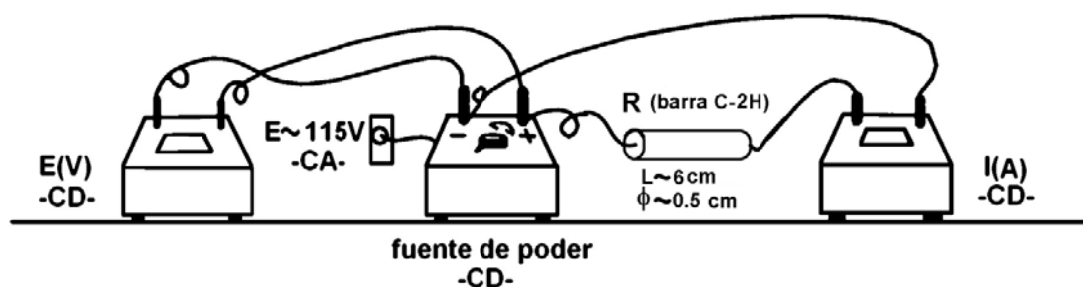
La conducta del elemento bajo estudio es concordante con la mostrada por un elemento de resistencia eléctrica el cual presenta un descenso en su resistencia a la conducción eléctrica con el incremento en su temperatura. Para valores de E e I cercanos a cero, la barra de carbono comercial sigue la conducta $E = RI$. Bajo dichas condiciones, la resistencia eléctrica de la barra de carbono es cercana a 2.4Ω .

Por último, la experiencia presente representa un ensamble de conceptos y operaciones experimentales que en su conjunto posibilitan explorar someramente algunas propiedades de la materia, como lo es en este caso la resistencia a la conducción eléctrica por parte de una barra de carbono comercial, bajo condiciones no restrictivas de carácter térmico.

Experimento 14. Circuito nuevo con un resistor no metálico (barra de carbono-2H) ($\theta \neq \text{cte}$)

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente.



Nota. En el experimento presente se emplea como elemento R a una barra comercial de carbono (tipo 2H). El experimento se efectúa bajo inexistencia de restricciones térmicas en el circuito.

2. Cerrar el circuito y establecer la menor posible diferencia de potencial eléctrico (E). Permitir la estabilización en el valor respectivo de I. Tomar registro de él. Abrir el circuito.
3. Repetir (2) para valores ascendentes de E.

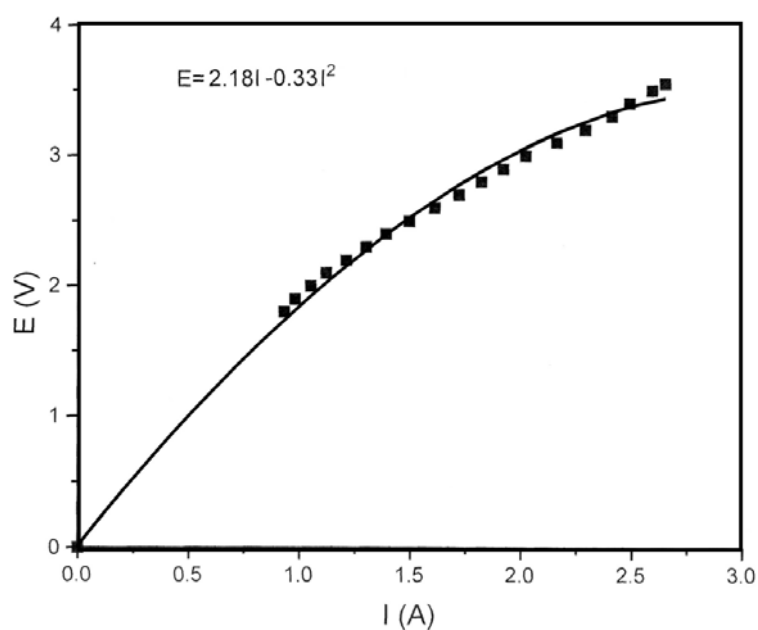
Resultados y discusión

La tabla siguiente presenta los valores experimentales de E e I para el circuito nuevo bajo estudio. Los valores son correspondientes a la inexistencia de restricciones térmicas en el circuito.

E(V)	I(A)
0.0	0.00
1.8	0.93
1.9	0.98
2.0	1.05
2.1	1.12
2.2	1.21
2.3	1.30
2.4	1.39
2.5	~1.495
2.6	1.61

2.7	1.72
2.8	1.82
2.9	1.92
3.0	2.02
3.1	2.16
3.2	2.29
3.3	2.41
3.4	2.49
3.5	2.59
~3.55	2.65

La gráfica siguiente muestra la conducta experimental E–I del circuito nuevo bajo estudio. La conducta corresponde a condiciones no restrictivas de carácter térmico. La conducta general se asocia a un sistema que muestra un descenso en su resistencia eléctrica con el incremento de su temperatura. Para valores de E e I próximos a cero, el circuito cumple con la ecuación $E = RI$, en donde $R = 2.18 \, \Omega$. No obstante este avance, es importante también evaluar la conducta experimental E–I del elemento nuevo incluido en el circuito bajo estudio, es decir, de la barra comercial de carbono.



Dado que dicho elemento de resistencia eléctrica se encuentra conectado en serie, se cumple por tanto:

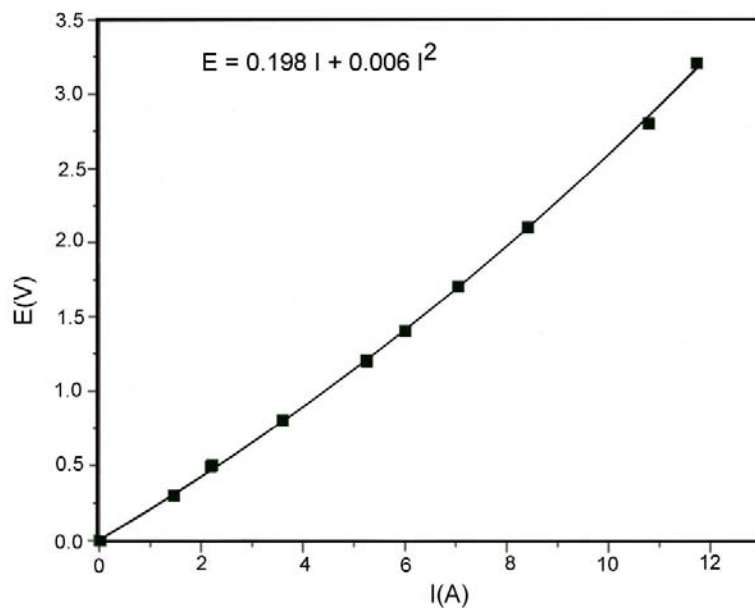
$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + R(\text{elemento nuevo})$$

Por tanto:

$$R(\text{elemento nuevo}) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

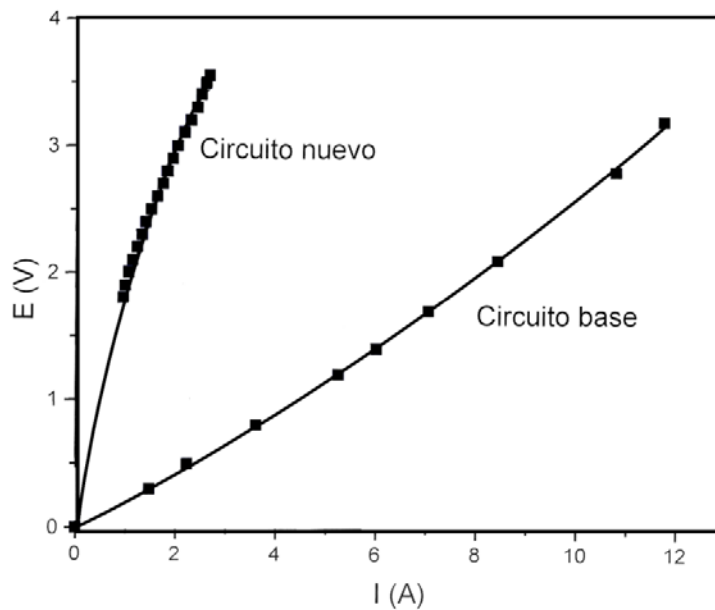
En consecuencia, para evaluar la conducta E–I del elemento nuevo (barra de carbono), se requiere realizar la sustracción de las dos funciones del segundo miembro de la ecuación última.

La gráfica siguiente muestra la conducta experimental E–I del circuito base bajo condiciones no restrictivas de temperatura (Experimento 2).

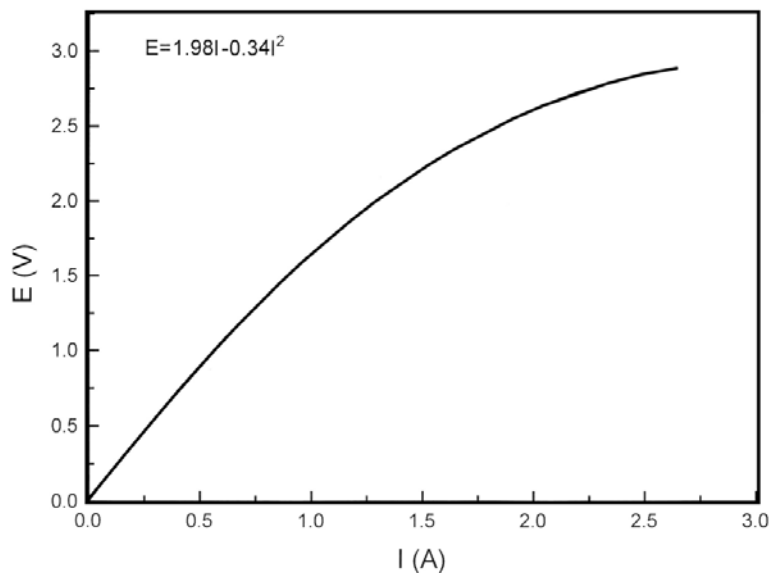


La conducta general obedece a un sistema que muestra un incremento en su resistencia eléctrica con el ascenso de su temperatura. Para valores de E e I cercanos a cero, el circuito cumple con la ecuación $E = RI$, siendo $R \cong 0.2 \Omega$.

La gráfica siguiente muestra la conducta experimental E–I tanto del circuito base como del circuito bajo estudio, ambos bajo condiciones no restrictivas de temperatura.



La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del elemento de resistencia eléctrica barra de carbono incluido en el circuito nuevo. La conducta corresponde también a condiciones no restrictivas de carácter térmico. La conducta general corresponde a un sistema que presenta un descenso en su resistencia eléctrica con el incremento de su temperatura.



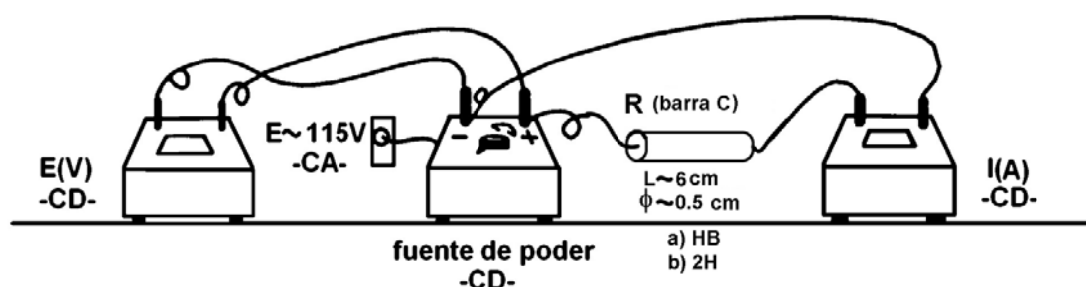
Para valores de E e I próximos a cero, el elemento sigue la ecuación $E = RI$, siendo $R = 1.98 \, \Omega$. Este valor es menor al obtenido ($R = 2.4 \, \Omega$) en estudios experimentales homólogos empleando como elemento R a una barra comercial de carbono tipo HB (Experimento 13).

Por último, en la experiencia presente están implícitos conceptos y operaciones experimentales que en su conjunto posibilitan explorar someramente algunas propiedades de la materia, como lo es en este caso la resistencia a la conducción eléctrica por parte de una barra de carbono tipo comercial, bajo condiciones no restrictivas de carácter térmico.

Experimento 15. Circuito nuevo con resistores no metálicos: barras de carbono HB y 2H. ($\theta \neq \text{cte}$)

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota. En el experimento presente se emplea respectivamente como elemento R, a una barra comercial de carbono (tipo HB) y a una barra comercial de carbono (tipo 2H). Para cada caso se emplean condiciones térmicas no restrictivas.

2. Para cada circuito eléctrico con el elemento R, cerrar el circuito y establecer la menor posible diferencia de potencial eléctrico (E). Permitir la estabilización del valor correspondiente de I. Tomar registro de E e I. Abrir el circuito.
3. Repetir (2) para valores ascendentes de E.

Resultados y discusión

1. Circuito nuevo con el elemento R barra comercial de carbono (tipo HB)

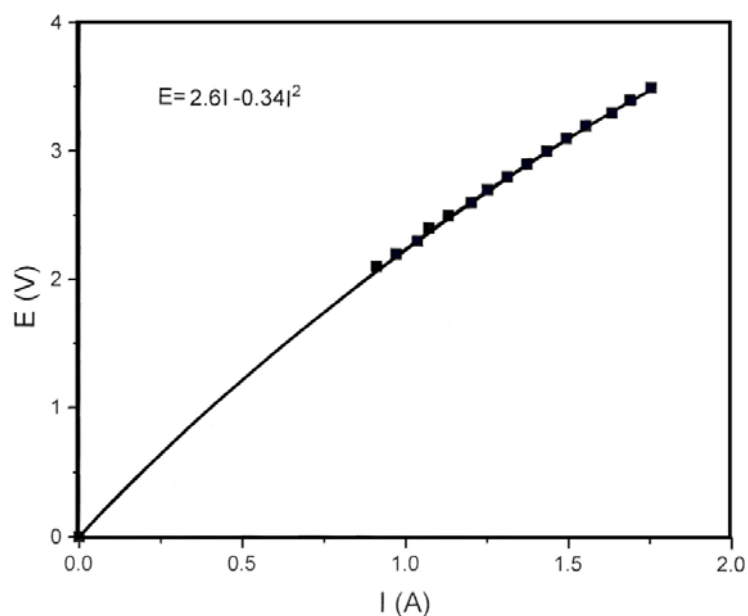
La tabla siguiente presenta los valores experimentales de E e I correspondientes al circuito nuevo bajo estudio. Los valores corresponden a condiciones térmicas no restrictivas en el circuito.

a) HB

E(V)	I(A)
0.0	0.00
2.1	0.91
2.2	0.97
2.3	~1.035
2.4	1.07
2.5	1.13
2.6	1.20
2.7	1.25
2.8	1.31

2.9	1.37
3.0	1.43
3.1	1.49
3.2	1.55
3.3	1.63
3.4	~1.685
3.5	1.75

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I (bajo inexistencia de restricciones de carácter térmico) del circuito nuevo bajo estudio. La respuesta general del circuito es no lineal, y se asocia a un sistema que presenta un descenso en su resistencia eléctrica con el incremento de su temperatura.



Para valores de E e I cercanos a cero, el circuito cumple con la ecuación $E = RI$, siendo la resistencia eléctrica total 2.6Ω .

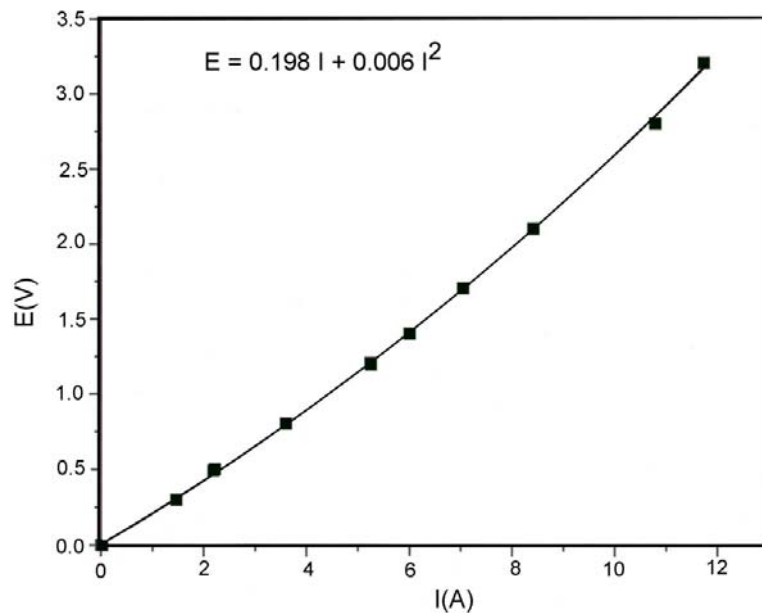
No obstante este avance, es importante también evaluar la conducta E–I del elemento nuevo presente en el circuito bajo estudio, es decir, del elemento de resistencia eléctrica barra de carbono (HB). Dado que dicho elemento está conectado en serie, se cumple entonces:

$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + R(\text{barra de carbono})$$

Por tanto:

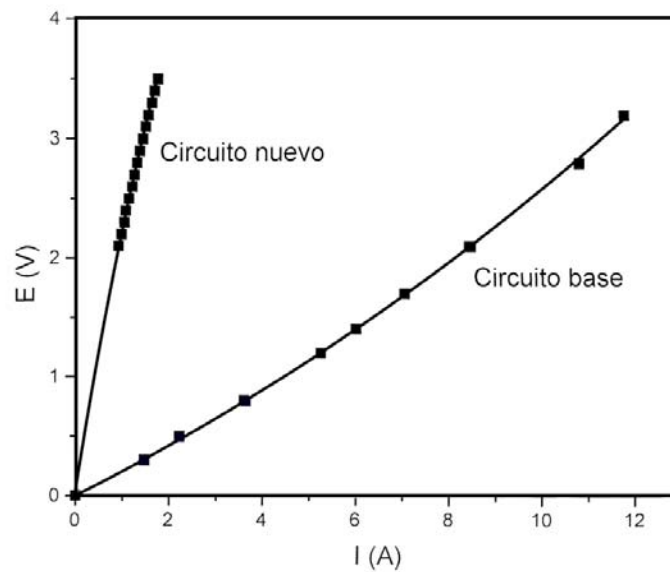
$$R(\text{barra de carbono}) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

De esta forma, para evaluar la conductancia E-I de la barra de carbono, es necesario realizar la sustracción de las dos funciones que aparecen en el segundo miembro de la ecuación anterior. A este respecto, la gráfica siguiente ilustra la conductancia experimental E-I del circuito base, bajo inexistencia de restricciones de carácter térmico (Experimento 2).

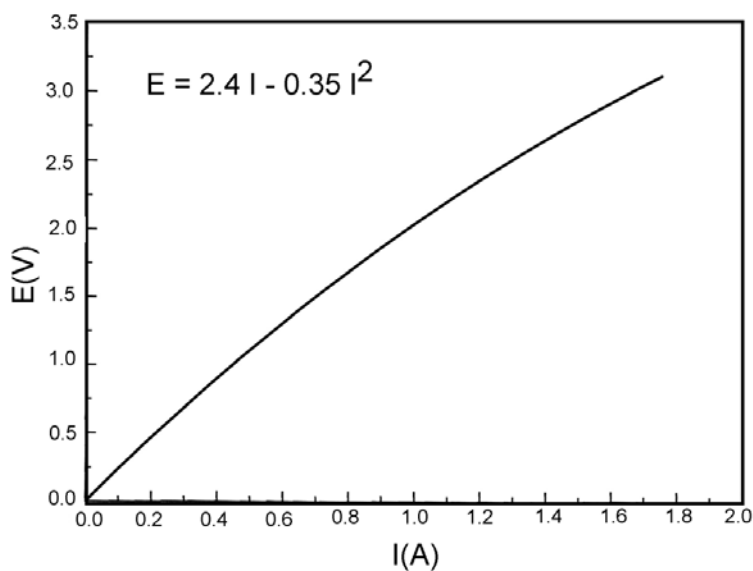


La respuesta general es de tipo no lineal, y se asocia a un sistema que presenta incremento en su resistencia eléctrica con el ascenso de su temperatura. Para valores de E e I cercanos a cero, el circuito cumple con la ecuación $E = RI$, siendo la resistencia eléctrica total del circuito $\cong 0.2 \Omega$.

La gráfica siguiente ilustra la conductancia experimental E-I tanto del circuito base como del circuito bajo estudio, ambos bajo condiciones no restrictivas de carácter térmico.



La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E-I del elemento de resistencia eléctrica barra de carbono (HB) bajo inexistencia de restricciones de carácter térmico. La respuesta general es de tipo no lineal, y se asocia a la mostrada por un elemento que presenta un descenso en su resistencia eléctrica con el ascenso de su temperatura. Para valores de E e I próximos a cero, el elemento sigue la ecuación $E = RI$, siendo la resistencia eléctrica de dicho elemento 2.4Ω .



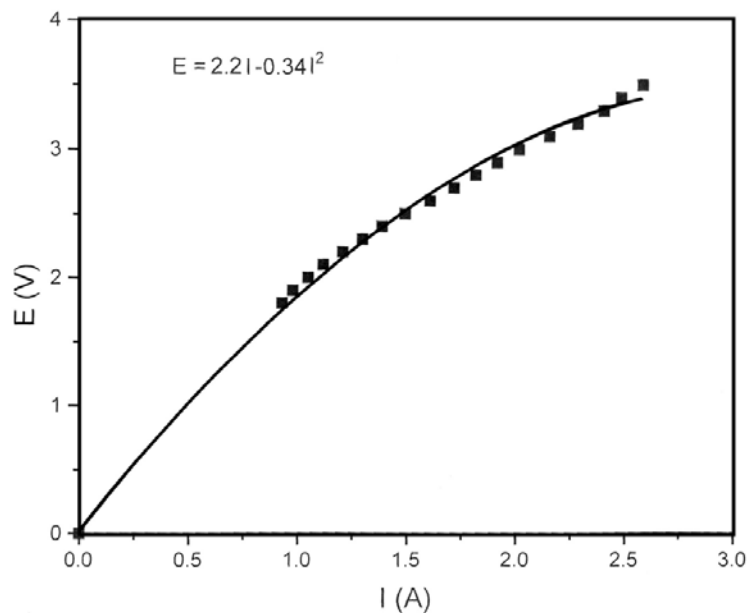
2. Circuito nuevo con el elemento R barra comercial de carbono (tipo 2H)

La tabla siguiente presenta los valores experimentales de E e I para el circuito nuevo bajo estudio. Los datos son correspondientes a condiciones térmicas no restrictivas en el circuito.

b) 2H.

E(V)	I(A)
0.0	0.00
1.8	0.93
1.9	0.98
2.0	1.05
2.1	1.12
2.2	1.21
2.3	1.30
2.4	1.39
2.5	~1.495
2.6	1.61
2.7	1.72
2.8	1.82
2.9	1.92
3.0	2.02
3.1	2.16
3.2	2.29
3.3	2.41
3.4	2.49
3.5	2.59

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E-I del circuito nuevo bajo estudio, bajo condiciones no restrictivas de carácter térmico.



La respuesta general del circuito es de tipo no lineal, y se asocia a un sistema que muestra un descenso en su resistencia eléctrica con el incremento de su temperatura. Para valores de E e I próximos a cero, el circuito sigue la ecuación $E = RI$. Para dicho intervalo de condiciones, la resistencia eléctrica total del circuito es 2.2Ω . No obstante dicho avance, es importante también evaluar la respuesta experimental $E-I$ del elemento nuevo de resistencia eléctrica incluido en dicho circuito, y que es la barra de carbono (2H). Dado que dicho elemento de resistencia eléctrica se encuentra conectado en serie, se cumple:

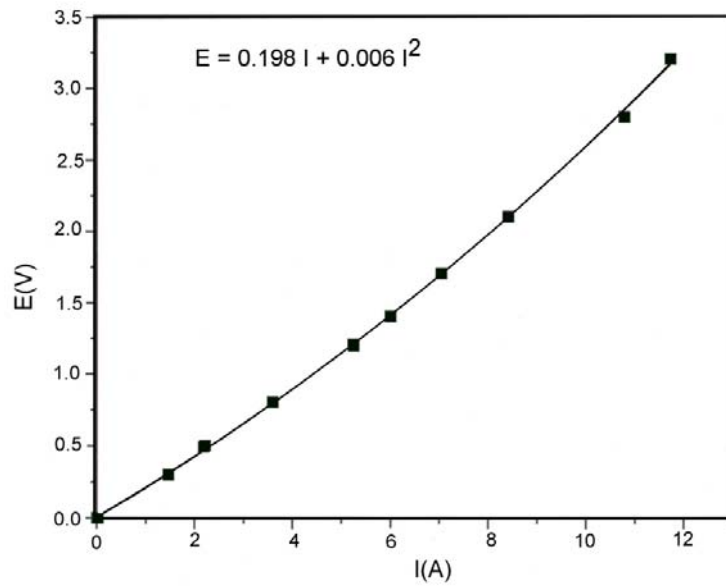
$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + R(\text{barra de carbono (2H)})$$

Por tanto:

$$R(\text{barra de carbono(2H)}) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

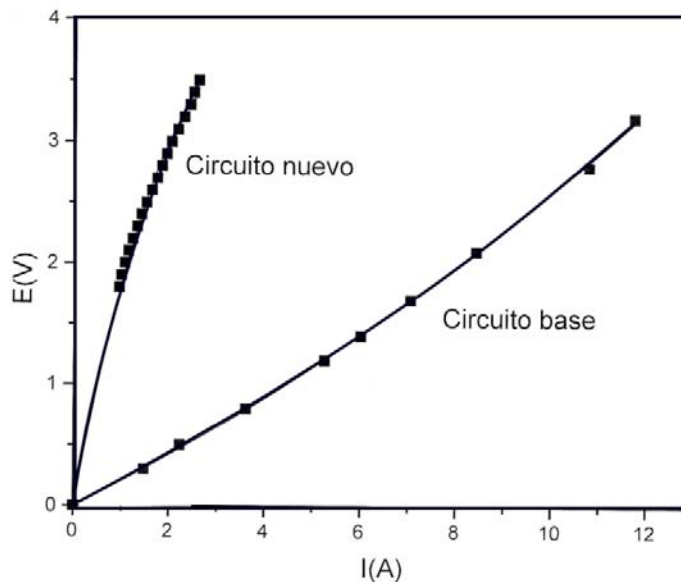
Por lo tanto, para evaluar la respuesta $E-I$ de la barra de carbono (2H), es necesario realizar la sustracción de las dos funciones que aparecen en el segundo miembro de la ecuación anterior.

A este respecto, la gráfica siguiente ilustra la conducta experimental $E-I$ del circuito base, bajo condiciones homólogas (no restrictivas de carácter térmico). (Experimento 2).



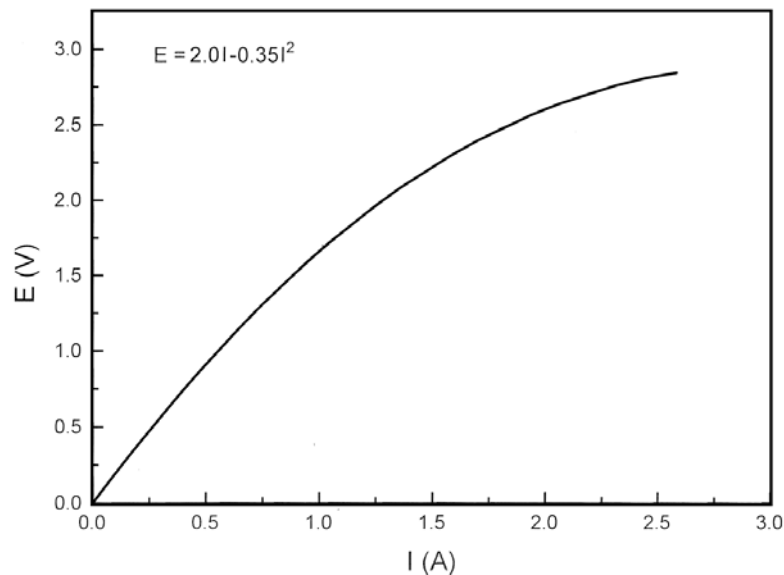
La respuesta general E – I es de tipo no lineal, y se asocia a la de un sistema el cual presenta un incremento en su resistencia eléctrica con el ascenso de su temperatura. Para valores de E e I próximos a cero, el sistema sigue la ecuación $E = RI$. Para dicho intervalo de condiciones, el sistema (circuito base) presenta una resistencia eléctrica total $\cong 0.2 \Omega$.

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E – I tanto del circuito base como del circuito nuevo bajo estudio.



Ambas respuestas corresponden a condiciones homólogas (no restrictivas de carácter térmico).

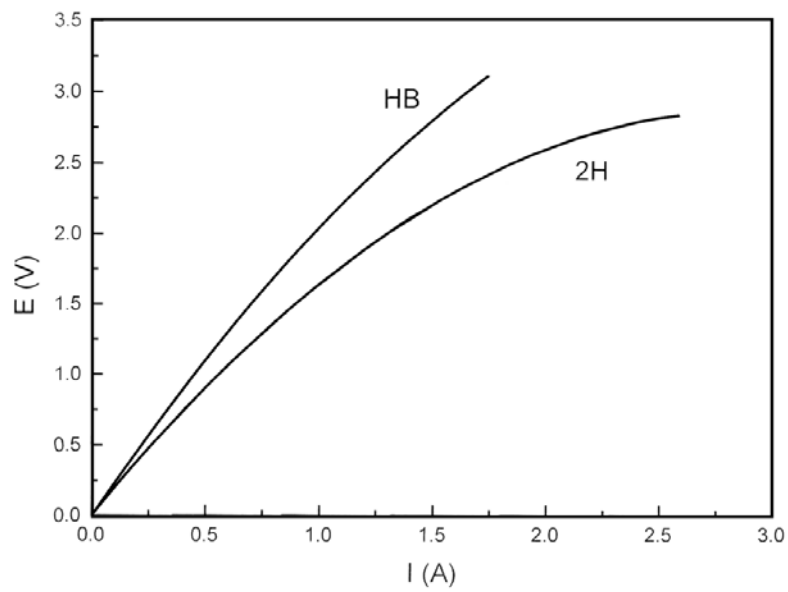
La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del elemento de resistencia eléctrica barra de carbono (2H) bajo condiciones no restrictivas de carácter térmico.



La respuesta general E–I es de tipo no lineal, y se asocia a la de un elemento que presenta un descenso en su resistencia eléctrica con el ascenso de su temperatura. No obstante lo anterior, para valores de E e I próximos a cero, la respuesta E–I del elemento sigue la ecuación $E = RI$.

Para dicho intervalo de condiciones, el elemento de resistencia (barra de carbono (2H)) presenta una resistencia eléctrica $\cong 2.0 \Omega$.

La gráfica siguiente muestra la conducta experimental E–I tanto del elemento de resistencia eléctrica barra de carbono (HB) como del elemento de resistencia eléctrica barra de carbono (2H). Ambas conductas corresponden a condiciones homólogas no restrictivas de carácter térmico. De la gráfica resalta el que ambos elementos muestran una conducta que se asocia a un descenso en la resistencia eléctrica respectiva con el incremento de temperatura. El efecto es más acusado para la barra de carbono (2H). Así también, dicho elemento presenta una resistencia eléctrica comparativamente menor a del elemento HB.

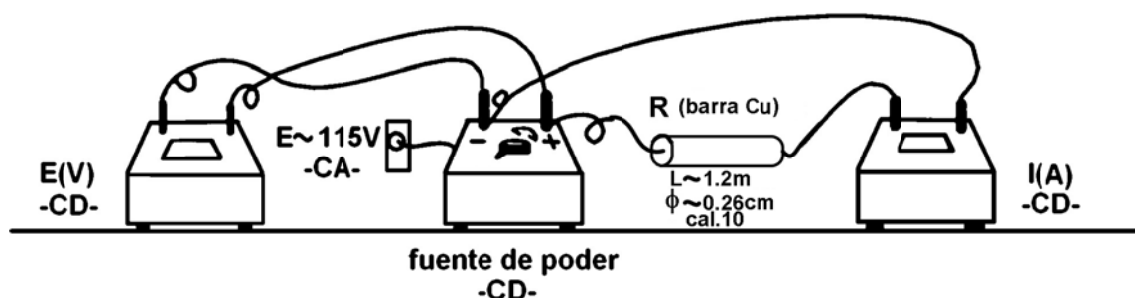


Por último, en la experiencia presente están involucrados conceptos y operaciones experimentales que en su conjunto posibilitan la exploración somera de ciertas propiedades de la materia, como lo es en este caso, el estudio de la resistencia eléctrica de dos barras comerciales de carbono y de composición diferente, bajo condiciones no restrictivas de carácter térmico.

Experimento 16. Conducta experimental E-I ($R \cong \text{cte}$; $\theta \cong \text{cte}$) Barra de cobre

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota. En el experimento presente se emplea como elemento R a una barra metálica de cobre ($\varnothing \sim 0.26 \text{ cm}$, $L_T \sim 1.2 \text{ m}$). El experimento se realiza bajo restricciones térmicas ($\theta \cong \theta_{\text{amb}}$) para el circuito.

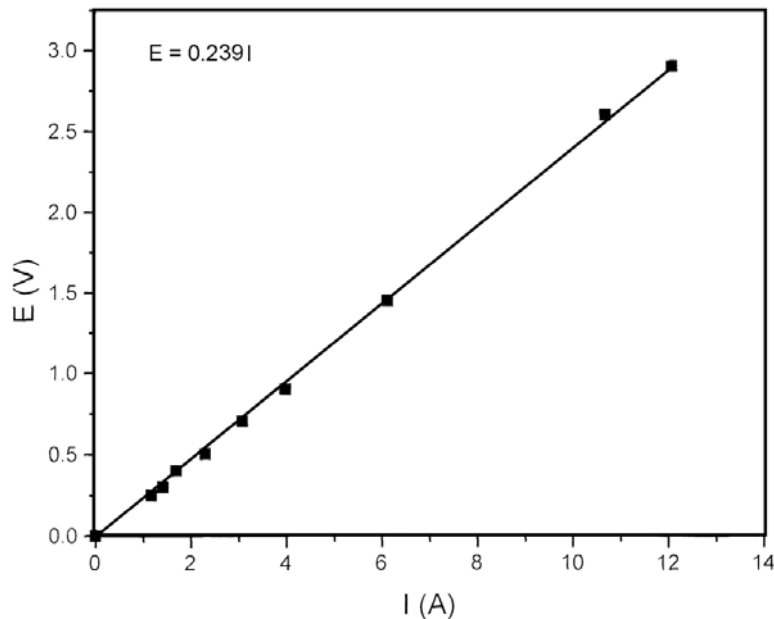
2. Establecer la ventilación sobre el circuito eléctrico. Establecer el equilibrio térmico entre el circuito y la sala experimental ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$).
3. Cerrar el circuito y establecer rápidamente la menor posible diferencia de potencial eléctrico (E). Tomar lectura inmediata de los valores correspondientes de E e I. Abrir en forma inmediata el circuito.
4. Repetir (3) para valores ascendentes de E.

Resultados y discusión

La tabla siguiente presenta los valores experimentales ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) de E e I correspondientes al circuito nuevo bajo estudio.

E(V)	I(A)
0.0	0.00
~0.25	1.17
0.3	1.41
0.4	1.69
0.5	2.30
0.7	3.07
0.9	3.98
~1.45	6.12
2.6	10.69
2.9	12.09

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del circuito nuevo bajo estudio a condiciones isotérmicas. La respuesta del circuito es de carácter lineal ($E = RI$), presentando una resistencia eléctrica total de $0.239 \, \Omega$. No obstante lo anterior, es importante también evaluar la conducta experimental del elemento nuevo incluido en dicho circuito. Esto es, evaluar la conducta del elemento de resistencia eléctrica barra de cobre.



Dado que dicho elemento se encuentra conectado en serie, se cumple por tanto:

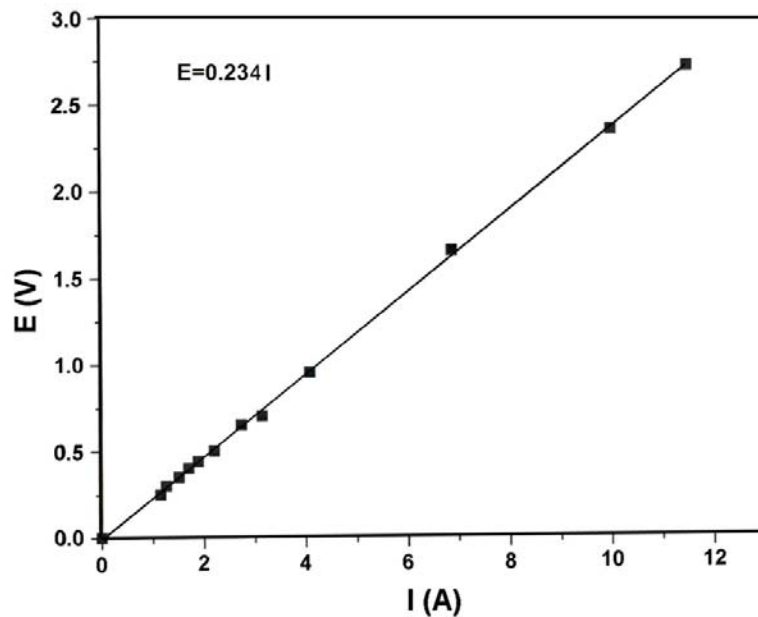
$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + R(\text{elemento de cobre})$$

Por tanto:

$$R(\text{elemento de cobre}) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

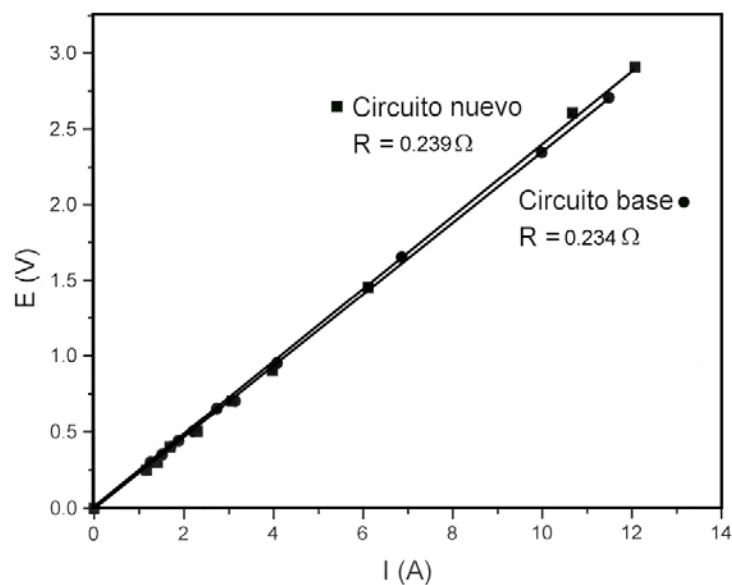
De esta forma, para evaluar la conducta experimental E–I de la barra de cobre, es necesario realizar la sustracción de las dos funciones del segundo miembro de la ecuación anterior.

La gráfica siguiente muestra la conducta experimental (a condiciones isotérmicas) del tipo E–I para el circuito base (Experimento 1).

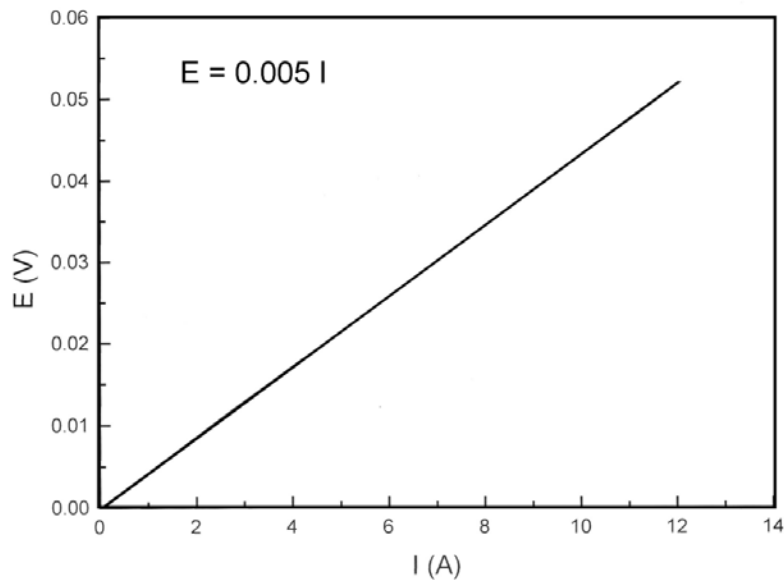


La respuesta del circuito base también es de carácter lineal ($E = RI$), siendo su resistencia eléctrica total $0.234 \, \Omega$.

La gráfica siguiente muestra la conducta experimental $E-I$ tanto del circuito base como del circuito nuevo. Ambas conductas corresponden a condiciones isotérmicas. La diferencia entre ambas pendientes (valores de resistencia eléctrica) se asocia a la presencia del elemento de cobre en el circuito nuevo, y por tanto a la contribución de su resistencia eléctrica a la resistencia eléctrica total de dicho circuito.



La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del elemento de resistencia eléctrica barra de cobre. Dicha conducta corresponde también a condiciones isotérmicas. La respuesta de dicho elemento es de carácter lineal ($E = RI$), siendo su resistencia eléctrica ($\sim 20^{\circ}\text{C}$) igual a $\sim 0.005\ \Omega$ ($5\ \text{m}\Omega$).



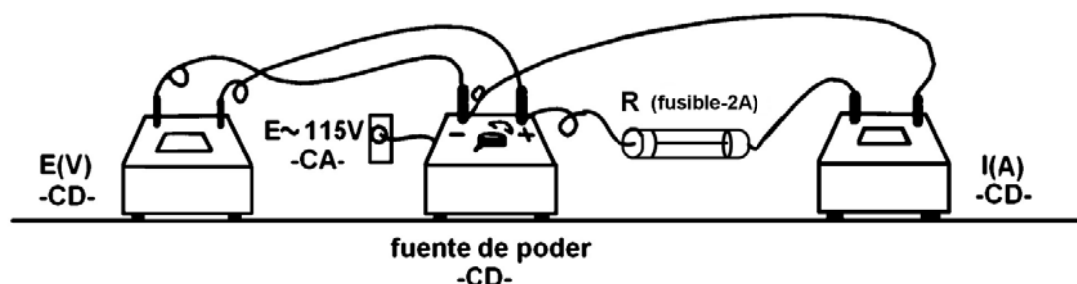
Respecto a dicho valor experimental de resistencia eléctrica, éste se asocia a un elemento de longitud 1.2 m. De esta forma, la resistencia eléctrica unitaria ($\sim 20^{\circ}\text{C}$) que aquí se obtiene para la barra de cobre (alambre calibre 10) es $0.0041\ \Omega\ \text{m}^{-1}$. Este valor es cercano al reportado en la literatura (21°C , alambre de cobre calibre 10), que es $0.00334\ \Omega\ \text{m}^{-1}$.

Por último, en la experiencia presente están implícitos conceptos y operaciones experimentales que en su conjunto posibilitan la exploración somera de algunas propiedades de la materia, como lo es en este caso el estudio de la resistencia a la conducción eléctrica por parte de una barra de cobre, bajo condiciones isotérmicas.

Experimento 17. Conducta experimental E-I ($R \neq \text{cte}$; $\theta \neq \text{cte}$; θ_{eq}) Fusible 2A; 250 V

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota. En el experimento presente se emplea como elemento R a un fusible de filamento de valor nominal 2 A, 250 V. El experimento se efectúa sin restricciones térmicas para el circuito.

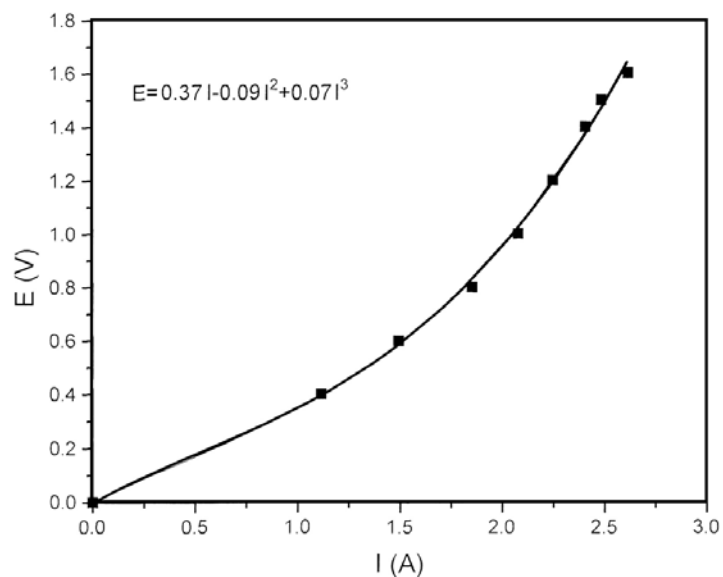
2. Cerrar el circuito y establecer la menor posible diferencia de potencial eléctrico (E). Permitir la estabilización del valor correspondiente de I. Tomar lectura de E e I. Abrir el circuito.
3. Repetir (2) para valores ascendentes de E.

Resultados y discusión

La tabla siguiente presenta los valores experimentales de E e I para el circuito nuevo bajo estudio. Los datos corresponden a inexistencia de restricciones térmicas en el circuito.

E(V)	I(A)
0.0	0.00
0.4	~1.115
0.6	~1.495
0.8	~1.855
1.0	2.08
1.2	2.25
1.4	2.41
1.5	2.49
1.6	2.62

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del circuito nuevo bajo estudio. Dicha conducta corresponde a inexistencia de restricciones de carácter térmico. La conducta obtenida es no lineal, y se identifica con la mostrada por un sistema que presenta incremento en su resistencia eléctrica con el ascenso de su temperatura. Sin embargo, en la región de valores de E e I próximos a cero, la conducta es lineal ($E = RI$). Para dicho intervalo de condiciones experimentales, el valor aproximado de la resistencia eléctrica total del circuito nuevo es $\sim 0.37 \, \Omega$.



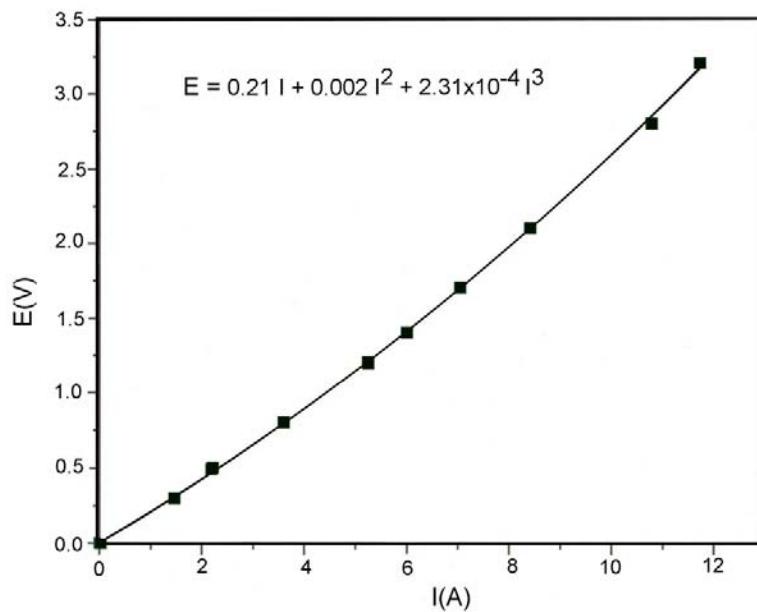
No obstante dicho avance, es importante también evaluar la conducta E–I del elemento nuevo incorporado en el circuito, y que es un fusible de valor nominal 2 A, 250 V. Dado que dicho elemento de resistencia eléctrica se encuentra conectado en serie, se cumple:

$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + R(\text{fusible})$$

Por tanto:

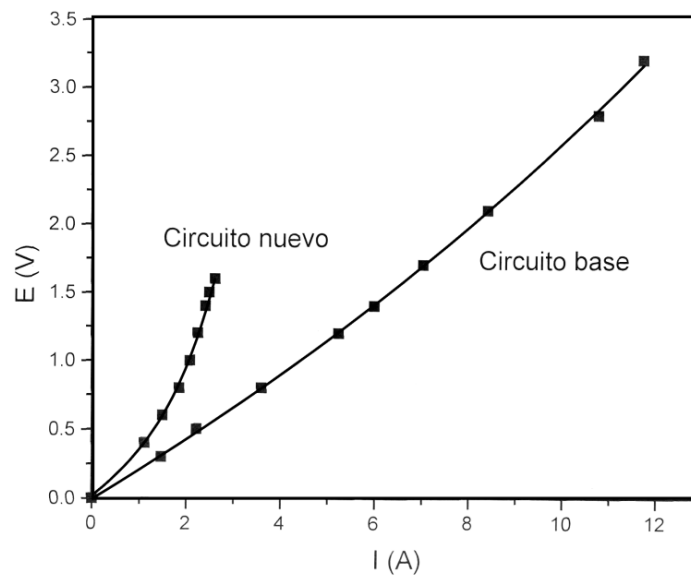
$$R(\text{fusible}) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

De esta forma, para evaluar la respuesta E–I de dicho elemento, es necesario realizar la sustracción de las dos funciones que aparecen en el segundo miembro de la ecuación última. En relación a lo anterior, a los datos experimentales del circuito base (Experimento 2) se ajustó una ecuación cúbica para efectuar la diferencia con el circuito nuevo. La gráfica siguiente ilustra este ajuste:

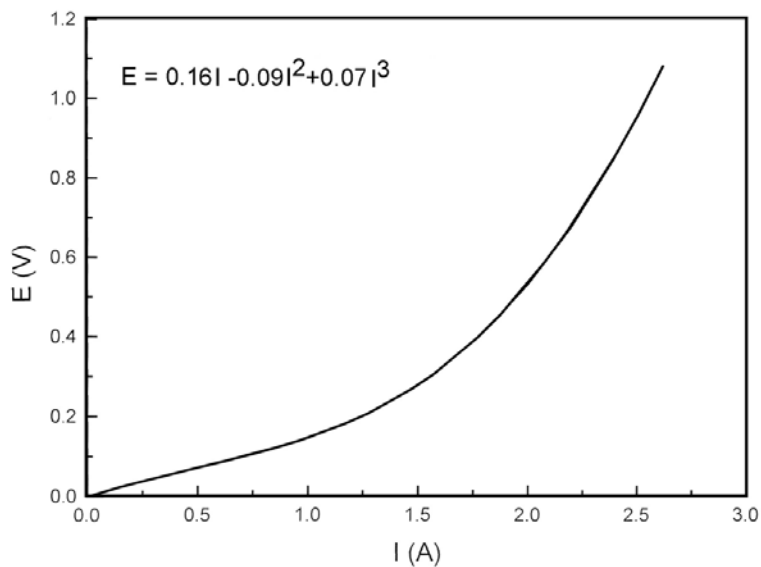


La respuesta experimental $E-I$ es también no lineal, y se identifica con la mostrada por un sistema el cual presenta un incremento en su resistencia eléctrica con el ascenso de su temperatura. Al igual que el sistema anterior, para valores de E e I próximos a cero, el circuito base sigue la ecuación $E = RI$. Para dicho intervalo de condiciones, el valor aproximado de su resistencia eléctrica total es 0.21Ω .

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental $E-I$ tanto del circuito base como del circuito nuevo, ambos a condiciones de no restricción de carácter térmico.



La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del elemento nuevo de resistencia eléctrica (fusible). La conducta corresponde también a inexistencia de restricciones de carácter térmico. La respuesta es no lineal, y se asocia a la mostrada por un sistema el cual presenta incremento en su resistencia eléctrica con el ascenso de temperatura. Al igual que los dos sistemas anteriores, el elemento de resistencia eléctrica cumple la ecuación $E = RI$, en la región de valores próximos a cero para E e I. En dicha región, el valor aproximado de su resistencia eléctrica es 0.16Ω .



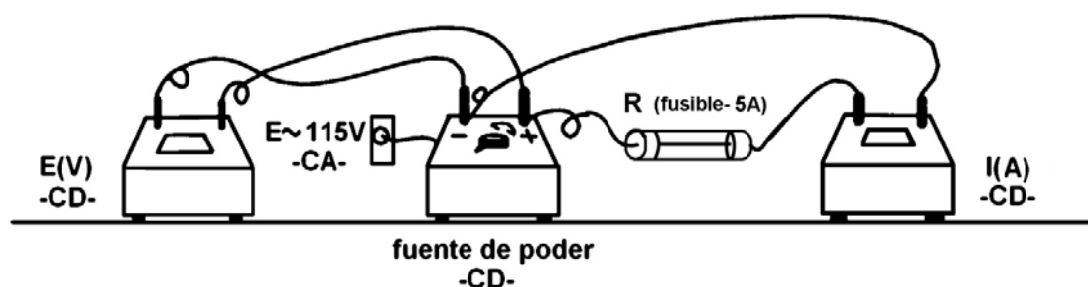
De esta forma y para el circuito nuevo bajo estudio, el elemento incluido (fusible 2 A, 250 V) aporta menos del 50% al valor de la resistencia eléctrica total.

Como se desprende de la experiencia presente, en ésta están implícitos conceptos y operaciones experimentales que en su conjunto posibilitan la exploración somera de ciertas propiedades de la materia, como lo es en este caso el estudio de la resistencia a la conducción eléctrica por parte de un elemento (fusible), bajo inexistencia de restricciones de carácter térmico.

Experimento 18. Conducta experimental E-I ($R \neq \text{cte}$; $\theta \neq \text{cte}$; θ_{eq}) Fusible 5A; 250 V

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota.- En el experimento presente se emplea como elemento R a un fusible de listón de valor nominal 5 A, 250 V. El experimento se desarrolla sin restricciones térmicas en el circuito.

2. Cerrar el circuito y establecer la menor posible diferencia de potencial eléctrico (E). Permitir la estabilización del valor correspondiente de I. Tomar lectura de E e I. Abrir el circuito.
3. Repetir (2) para valores ascendentes de E.

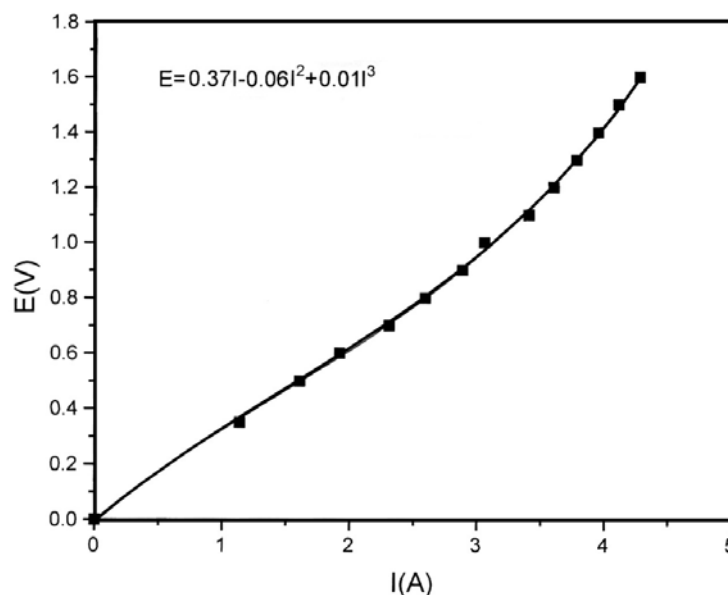
Resultados y discusión

La tabla siguiente presenta los valores experimentales de E e I para el circuito nuevo en estudio. Los datos corresponden a inexistencia de restricciones térmicas en el circuito.

E(V)	I(A)
0.0	0.00
~0.35	~1.135
0.5	1.61
0.6	1.92
0.7	2.31
0.8	~2.595
0.9	~2.885
1.0	3.06
1.1	~3.405
1.2	3.60
1.3	3.78

1.4	3.95
1.5	4.11
1.6	4.28

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del circuito nuevo bajo estudio. La conducta corresponde a condiciones no restrictivas de carácter térmico. De la gráfica resalta una conducta tipo no lineal. Este tipo de conducta se identifica a su vez con la mostrada por un sistema que se caracteriza por presentar un incremento en su resistencia eléctrica con el ascenso de temperatura. Sin embargo, en la región de E e I próximos a cero, el sistema sigue una conducta tipo $E = RI$. Para dicho intervalo de condiciones, el sistema presenta un valor aproximado a $0.37 \, \Omega$ de resistencia eléctrica total.



No obstante este avance, es importante también evaluar la conducta experimental E–I del elemento nuevo incluido en el circuito bajo estudio, y que es un fusible de valor nominal 5 A, 250 V.

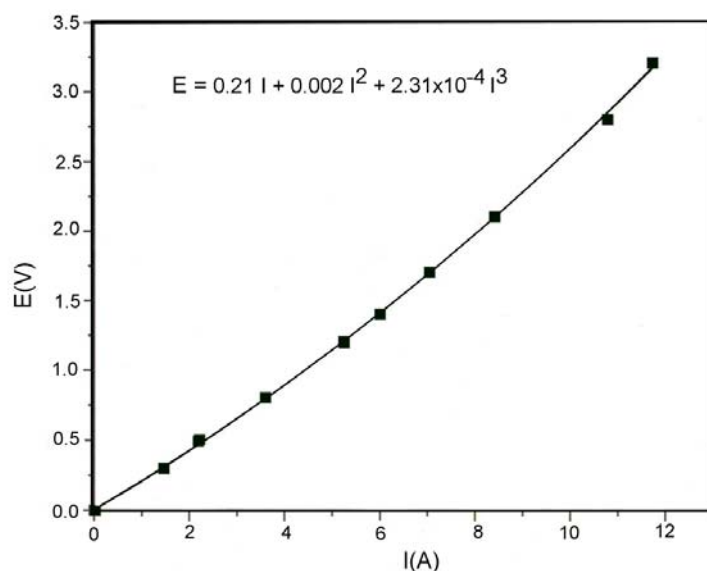
Dado que dicho elemento de resistencia eléctrica está conectado en serie, se cumple:

$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + R(\text{fusible})$$

Por tanto:

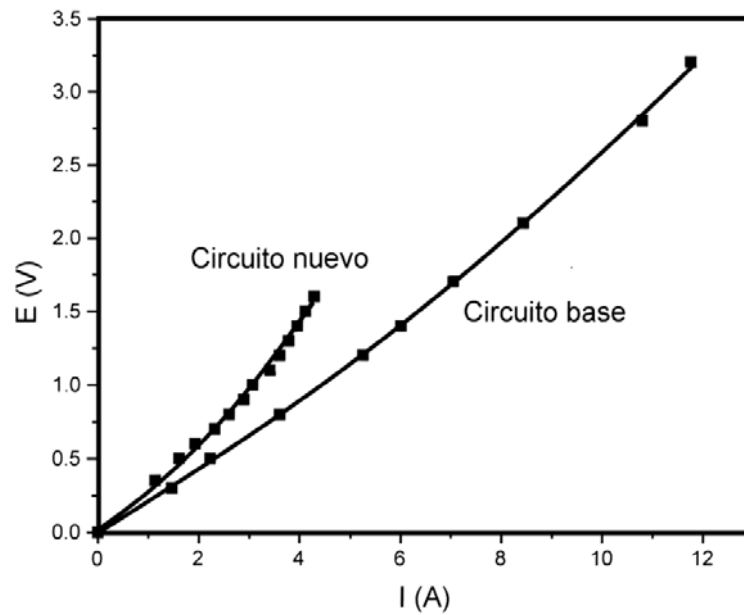
$$R(\text{fusible}) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

En consecuencia, para evaluar la conducta E–I del elemento anterior, es requisito realizar la sustracción de las dos funciones que aparecen en el segundo miembro de la ecuación última. En relación a este punto, la gráfica siguiente presenta la conducta experimental E–I del circuito base bajo condiciones no restrictivas de carácter térmico (Experimento 2).

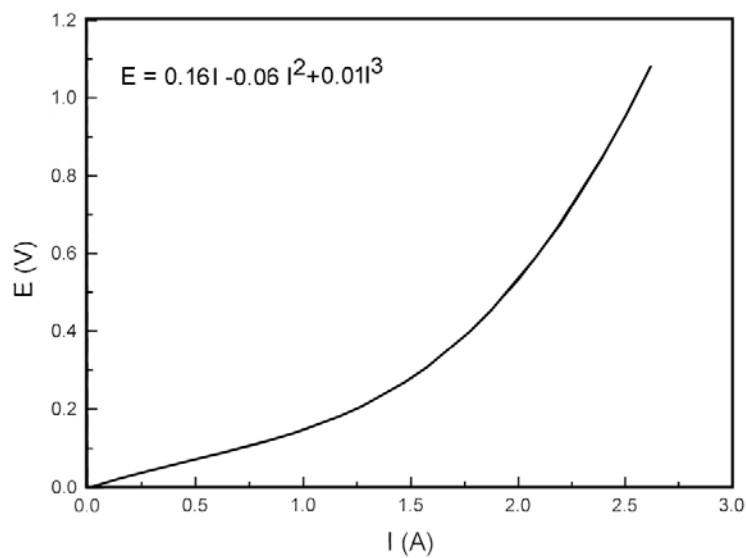


El sistema presenta una conducta no lineal. Ésta se identifica también con la presentada por elementos que se caracterizan por mostrar un incremento de resistencia eléctrica con el ascenso de temperatura. Sin embargo, para valores de E e I próximos a cero, el sistema (circuito base) sigue una conducta tipo $E = RI$. Para dichas condiciones, el valor aproximado de la resistencia eléctrica total en dicho circuito, es $0.21 \, \Omega$.

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I tanto del circuito base como del circuito nuevo bajo estudio, ambos a condiciones no restrictivas de carácter térmico.



La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E – I del elemento de resistencia eléctrica (fusible 5 A, 250 V). La conducta corresponde a condiciones no restrictivas de carácter térmico. La conducta es del tipo no lineal, y se identifica también con la mostrada por elementos cuya resistencia eléctrica se incrementa con el ascenso en el valor de temperatura. Para valores de E e I próximos a cero, el elemento sigue la ecuación $E=RI$. Para dichas condiciones, el valor aproximado de su resistencia a la conducción eléctrica es 0.16Ω .

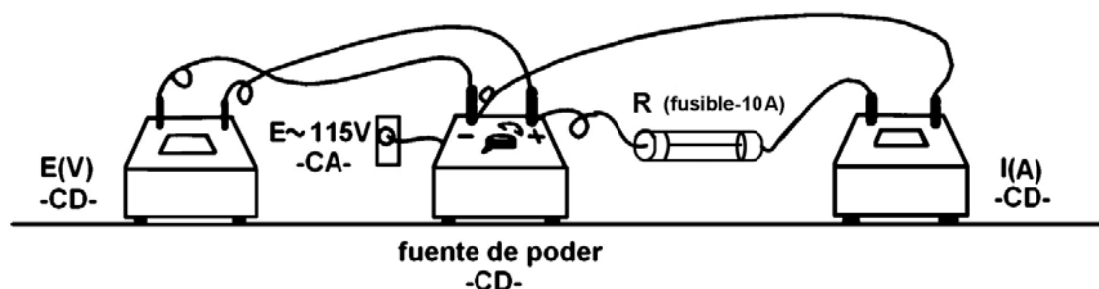


Como se puede observar, en la experiencia presente están implícitos conceptos y operaciones experimentales que en su conjunto posibilitan explorar someramente ciertas propiedades de la materia, como lo es en este caso el estudio de la resistencia a la conducción eléctrica por parte de un elemento –fusible–, bajo condiciones no restrictivas de carácter térmico.

Experimento 19. Conducta experimental E-I ($R \neq \text{cte}$; $\theta \neq \text{cte}$; θ_{eq}) Fusible 10A; 250 V

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota. En el experimento presente se emplea como elemento R a un fusible de listón de valor nominal 10 A, 250 V. El experimento se realiza bajo inexistencia de restricciones térmicas en el circuito.

2. Cerrar el circuito y establecer la menor posible diferencia de potencial eléctrico (E). Permitir la estabilización del valor correspondiente de I. Tomar registro de los valores de E e I. Abrir el circuito.

3. Repetir (2) para valores ascendentes de E.

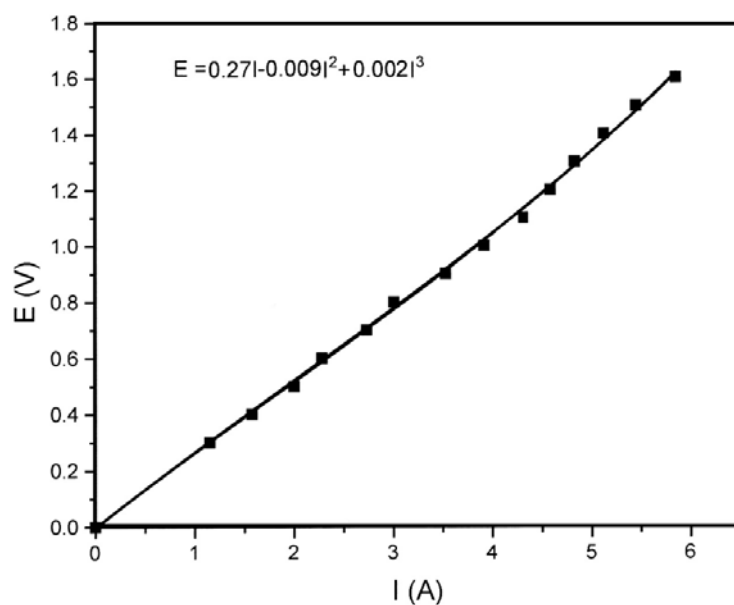
Resultados y discusión

La tabla siguiente presenta los valores experimentales de E e I para el circuito nuevo bajo estudio. En el experimento no se establecieron restricciones térmicas al circuito eléctrico.

E(V)	I(A)
0.0	0.00
0.3	1.15
0.4	~1.575
0.5	~1.995
0.6	2.28
0.7	2.73
0.8	~3.005
0.9	~3.525
1.0	~3.915
1.1	~4.305

1.2	4.58
1.3	~4.825
1.4	5.12
1.5	5.45
1.6	5.85

Como se observa en la gráfica siguiente, la conducta es moderadamente no lineal, y se asocia en términos generales a la mostrada por un sistema que presenta un incremento modesto en su resistencia eléctrica con el ascenso de temperatura. De las regresiones practicadas, la que describe relativamente mejor la conducta experimental es la correspondiente a una función tipo cúbica. Para valores de E e I próximos a cero, el sistema (circuito nuevo) se aproxima a una conducta tipo $E = RI$. Para dicho intervalo de condiciones experimentales, el circuito presenta un valor aproximado a 0.27Ω de resistencia eléctrica total, en la gráfica de la función cúbica.



No obstante dicho avance, es importante también evaluar la conducta experimental $E-I$ del elemento de resistencia eléctrica (fusible) incluido en el circuito nuevo. Dado que dicho elemento está conectado en serie, se cumple entonces:

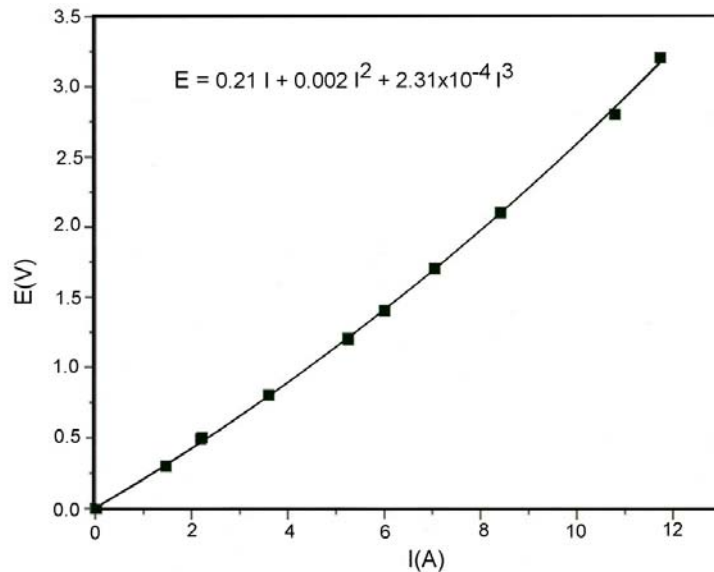
$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + R(\text{fusible})$$

Por tanto:

$$R(\text{fusible}) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

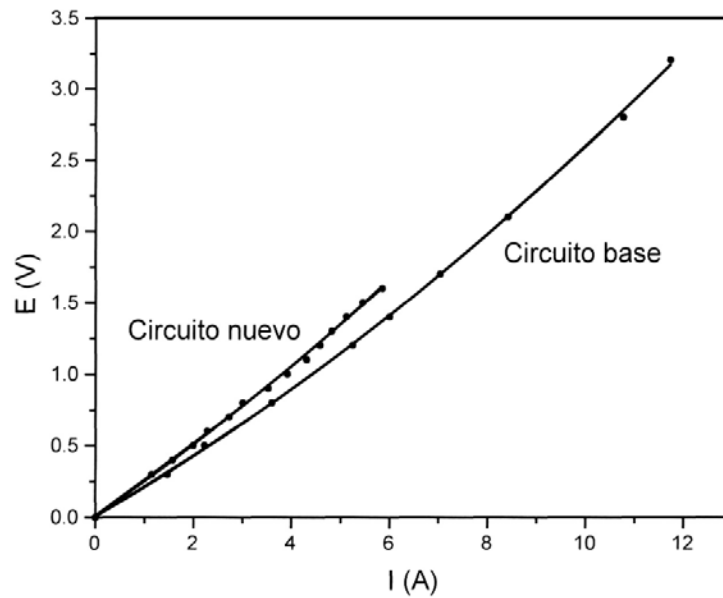
De esta forma, para evaluar la respuesta E–I del fusible, será necesario practicar la sustracción de las dos funciones que aparecen en el segundo miembro de la ecuación última.

A este respecto, la gráfica siguiente muestra la conducta experimental E–I (bajo condiciones homólogas de carácter térmico) del circuito base (Experimento 2), con el ajuste de una ecuación cúbica:

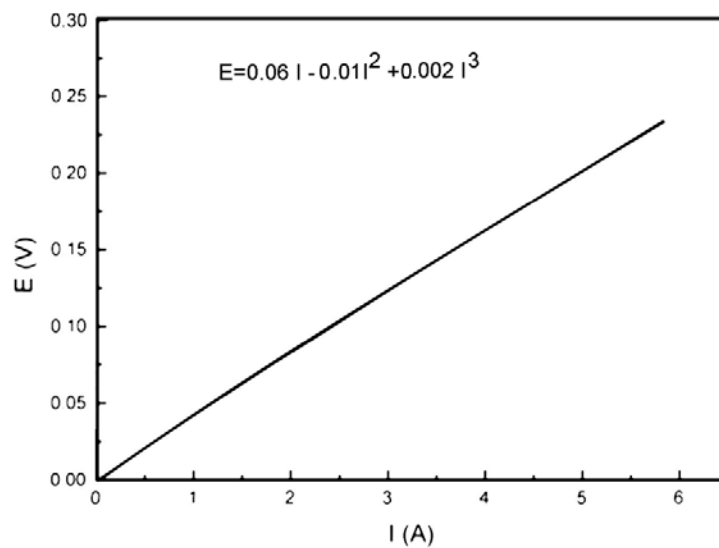


Dicha conducta es del tipo no lineal y se asocia también a la mostrada por sistemas que presentan incremento en su resistencia eléctrica con el ascenso de temperatura. No obstante, para valores de E e I próximos a cero, dicho circuito se aproxima a la conducta $E = RI$. Para dicho intervalo de condiciones experimentales, el valor de la resistencia eléctrica total para el circuito base, es $\sim 0.21 \Omega$.

La gráfica siguiente presenta la conducta experimental E–I tanto del circuito base como del circuito nuevo bajo estudio. Ambas respuestas corresponden a la no existencia de restricciones de carácter térmico.



La gráfica siguiente presenta la conducta experimental E – I del elemento de resistencia eléctrica, fusible 10 A, 250 V. La ecuación asociada a dicha conducta es tipo cúbica. De acuerdo a ésta y en el límite $E \rightarrow 0$ V e $I \rightarrow 0$ A, el valor aproximado de la resistencia eléctrica de dicho fusible, es 0.06Ω . Nótese que el coeficiente del término de segundo orden, aunque muy cercano a cero, es negativo, lo cual es incongruente con la física descrita anteriormente. Una aproximación más realista a la conducta E – I de dicho elemento de resistencia eléctrica, es la mostrada en la gráfica siguiente, en donde se ha asumido la existencia de una conducta tipo lineal.

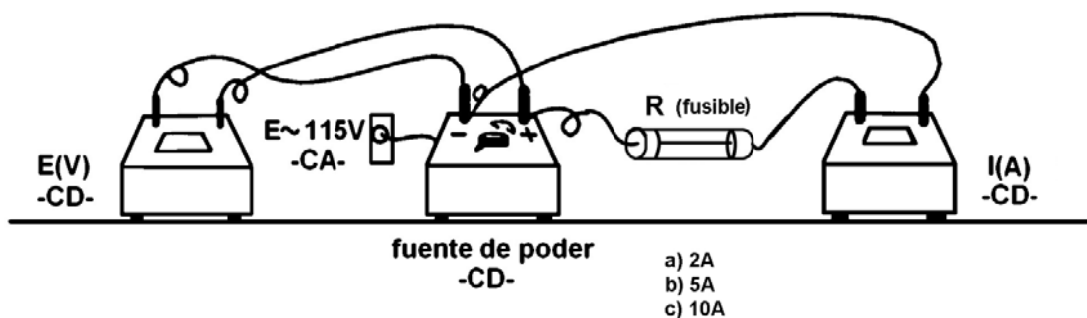


Como se puede observar, en la experiencia presente están implícitos conceptos y operaciones experimentales que en su conjunto posibilitan explorar someramente ciertas propiedades de la materia, como lo es en este caso el estudio de la resistencia a la conducción eléctrica por parte de un elemento denominado fusible, bajo condiciones no restrictivas de carácter térmico.

Experimento 20. Conducta experimental E-I ($R \neq \text{cte}$; $\theta \neq \text{cte}$; θ_{eq}) Fusibles: 2 A, 250 V; 5 A, 250 V; 10A, 250 V

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota. En el experimento presente se emplean respectivamente como elemento R a fusibles de filamento y listón de valores nominales: 2 A/250 V, 5 A/250 V y 10 A/250 V.

El experimento en su conjunto es realizado sin restricciones térmicas en el circuito respectivo.

2. Para cada caso, cerrar el circuito y establecer la menor posible diferencia de potencial eléctrico (E). Permitir la estabilización del valor correspondiente de I. Tomar registro de los valores respectivos de E e I. Abrir el circuito.

3. Repetir (2) para valores ascendentes de E.

Resultados y discusión

Las tablas siguientes presentan los valores correspondientes de E e I para los circuitos nuevos en estudio. Los valores corresponden a inexistencia de restricciones térmicas en cada circuito.

Circuito A: 2 A

E(V)	I(A)
0.0	0.00
0.4	~1.115
0.6	~1.495
0.8	~1.855

1.0	2.08
1.2	2.25
1.4	2.41
1.5	2.49
1.6	2.62

Circuito B: 5 A

E(V)	I(A)
0.0	0.00
~0.35	~1.135
0.5	1.61
0.6	1.92
0.7	2.31
0.8	~2.595
0.9	~2.885
1.0	3.06
1.1	~3.405
1.2	3.60
1.3	3.78
1.4	3.95
1.5	4.11
1.6	4.28

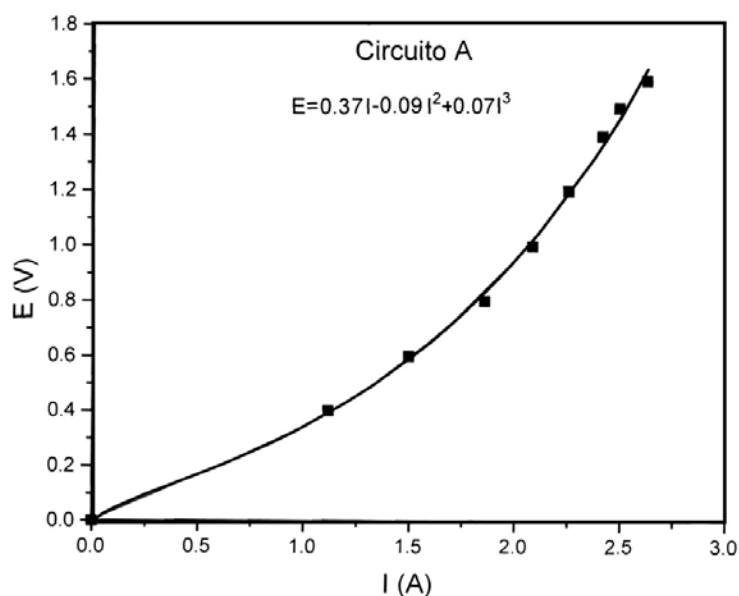
Circuito C: 10 A

E(V)	I(A)
0.0	0.00
0.3	1.15
0.4	~1.575
0.5	~1.995
0.6	2.28
0.7	2.73
0.8	~3.005
0.9	~3.525
1.0	~3.915
1.1	~4.305
1.2	4.58
1.3	~4.825
1.4	5.12
1.5	5.45
1.6	5.85

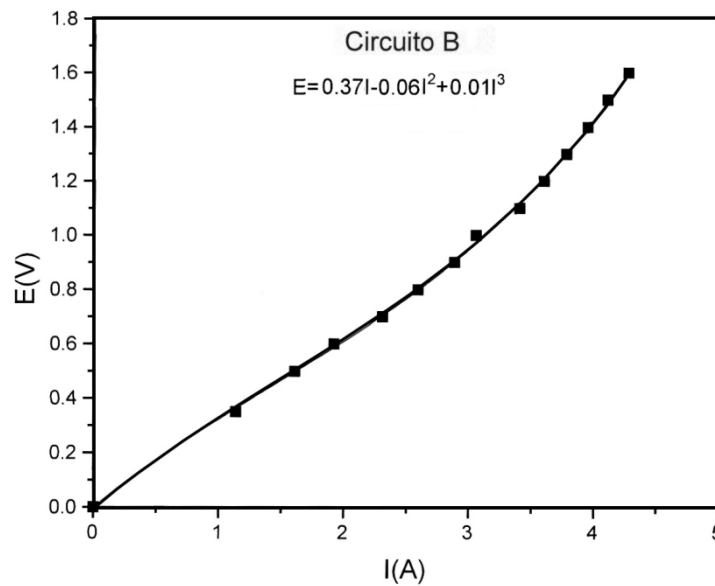
La gráfica siguiente ilustran la conducta experimental E–I (bajo inexistencia de restricciones térmicas) del circuito nuevo A, el cual presenta como elemento

novedoso de resistencia eléctrica a un fusible de valor nominal 2A, 250 V. La conducta E–I es de tipo no lineal, y se identifica con la mostrada por un sistema el cual presenta un incremento de resistencia eléctrica con la elevación de temperatura.

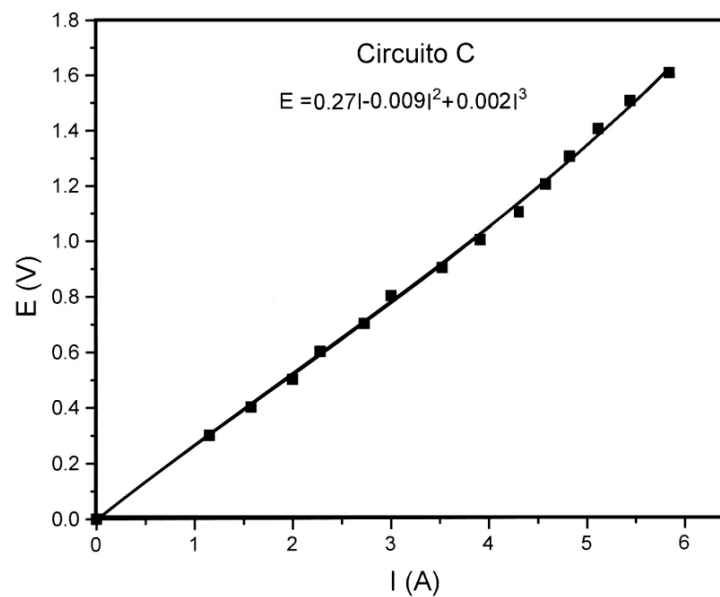
El mejor ajuste de los datos experimentales se realiza con una función tipo cúbica. Para valores de E e I próximos a cero, el circuito A sigue la ecuación $E = RI$. Para dicho intervalo de condiciones, el valor aproximado de la resistencia eléctrica total del circuito A es 0.37 Ω .



La gráfica siguiente muestra la conducta experimental E–I (bajo condiciones homólogas de carácter térmico) del circuito nuevo B, el cual presenta como elemento novedoso de resistencia eléctrica a un fusible de valor nominal 5 A, 250 V. La respuesta E–I es también de tipo no lineal. El circuito B presenta, aunque en menor medida, una conducta que se identifica con la mostrada por un sistema en el cual se tiene un incremento de resistencia eléctrica con el ascenso de temperatura. El ajuste más satisfactorio de los datos experimentales se obtiene con una función tipo cúbica. Para valores de E e I próximos a cero, el circuito B se aproxima a la conducta $E = RI$. Para dicho intervalo de condiciones experimentales, el circuito B presenta un valor promedio aproximado a 0.37 Ω de resistencia eléctrica total.



La gráfica siguiente muestra la conducta experimental E–I (bajo condiciones homólogas de carácter térmico) del circuito nuevo C, en el cual el elemento novedoso de resistencia eléctrica es un fusible de valor nominal 10 A, 250 V. La conducta E–I es también de tipo no lineal, y se identifica (aunque en menor grado respecto a los circuitos A y B) con la mostrada por un elemento de resistencia eléctrica el cual ve incrementada a ésta con el ascenso de temperatura. Sin embargo, para valores de E e I próximos a cero, el circuito C se aproxima a la conducta $E = RI$. Para dicho intervalo de condiciones, el valor promedio aproximado de su resistencia eléctrica total a la conducción eléctrica, es 0.27 Ω .



De los datos obtenidos hasta el momento, resalta la similitud del valor de la resistencia eléctrica entre los circuitos A (2 A) y B (5 A), y el descenso en este valor para el circuito C (10 A), con el ascenso en el valor nominal de intensidad de corriente máxima de trabajo de los fusibles incluidos respectivamente en dichos circuitos.

A este respecto, el valor de intensidad de corriente máxima de trabajo de un fusible, está asociado a su resistencia eléctrica: Valores ascendentes de intensidad de corriente máxima de trabajo están asociados a valores descendentes de resistencia eléctrica.

En principio, la relación que se debe considerar entre dichas variables en la fabricación de dichos elementos, es la inversa proporcional: $R = \frac{cte}{I_{m\acute{a}x}}$.

Esta tendencia descendente en el valor de R total del circuito con el ascenso en el valor de $I_{m\acute{a}x}$ de operación del fusible, se traduce también en una tendencia descendente del carácter no lineal de la respuesta E–I. Elementos de resistencia eléctrica con valores descendentes de R, muestran una tendencia creciente hacia una conducta del tipo $E = RI$. Esto se observa claramente en las gráficas anteriores.

No obstante los avances logrados, también es importante evaluar la conducta experimental E–I del elemento novedoso de resistencia eléctrica incluido respectivamente en cada circuito, es decir, de los fusibles 2 A, 5 A y 10 A ($E_{m\acute{a}x} = 250$ V). Dado que dichos elementos se encuentran conectados respectivamente en serie en cada circuito, se cumple entonces:

$$R_T(\text{circuito nuevo}_{(i)}) = R_T(\text{circuito base}) + R(\text{fusible}_{(i)})$$

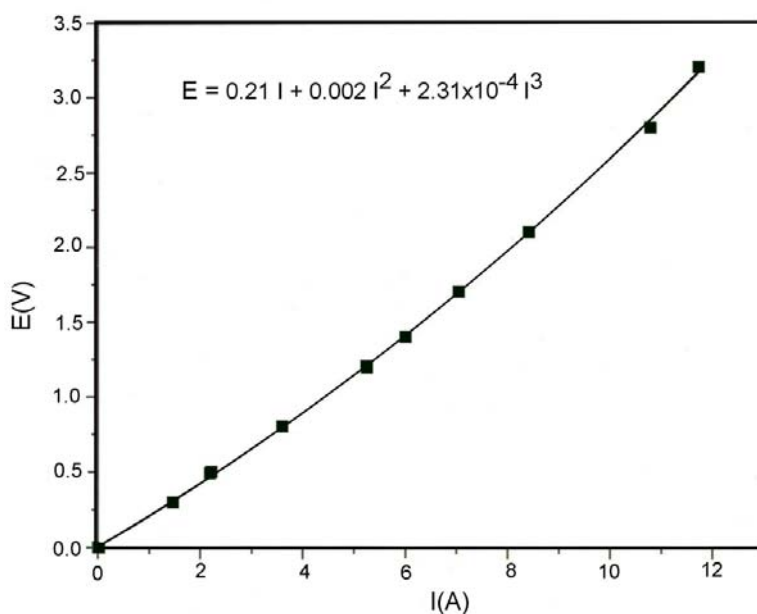
Por tanto:

$$R(\text{fusible}_{(i)}) = R_T(\text{circuito nuevo}_{(i)}) - R_T(\text{circuito base})$$

De esta forma, para poder evaluar la conducta E–I de cada fusible, se requiere realizar la sustracción respectiva de las dos funciones que aparecen en el segundo miembro de la ecuación última.

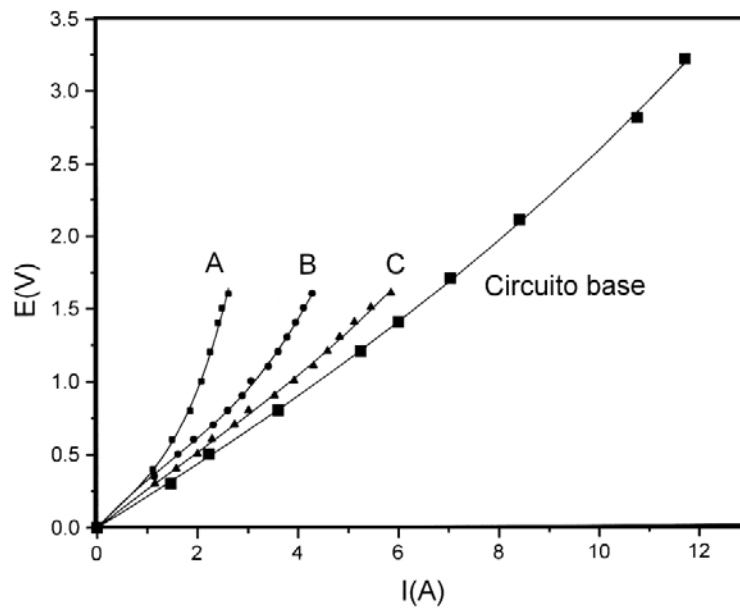
La gráfica siguiente muestra la conducta experimental E–I (bajo inexistencia de restricciones de carácter térmico) del circuito base. La respuesta E–I es de tipo no lineal, y se identifica también, con la mostrada por un sistema el cual presenta un incremento en su resistencia eléctrica con el ascenso de temperatura (datos del Experimento 2), obtenido del ajuste de los datos a una ecuación cúbica.

Al igual que los circuitos A, B y C, el circuito base sigue una conducta tipo $E=RI$ para valores de E e I próximos a cero. Para dicho intervalo de condiciones, el valor promedio aproximado de su resistencia eléctrica total, es 0.21Ω .

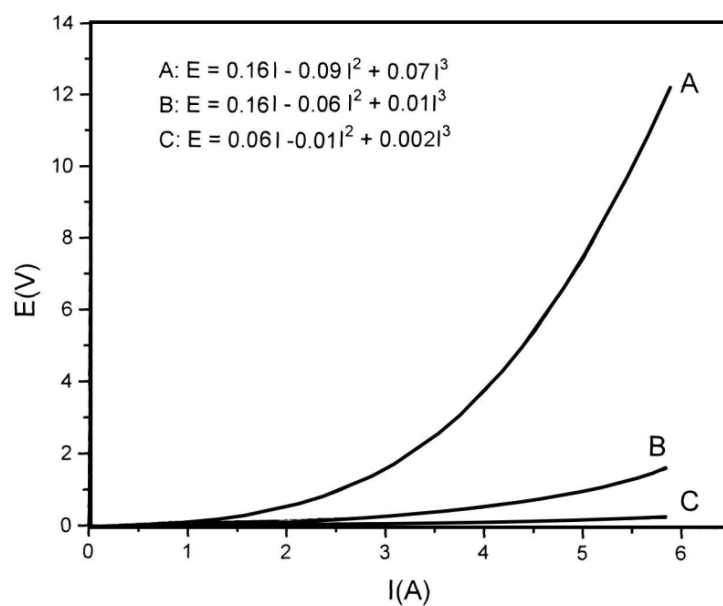


La gráfica siguiente presenta la conducta experimental $E-I$ (bajo inexistencia de restricciones de carácter térmico) de los circuitos nuevos A, B y C, así como del circuito base. Obsérvese que con el ascenso en el valor nominal de intensidad de corriente máxima de trabajo de los fusibles en A, B y C, se presenta un descenso global en la resistencia eléctrica total de dichos circuitos.

En dicha gráfica aparecen los ajustes practicados con las funciones tipo cúbicas acotadas anteriormente.



La gráfica siguiente muestra la conductancia experimental $E-I$ (bajo inexistencia de restricciones térmicas) de los elementos de resistencia eléctrica: fusibles 2 A, 5 A y 10 A ($E_{\max} = 250$ V). La conductancia $E-I$ muestra un ascenso en el carácter no lineal con el ascenso en el valor de la resistencia eléctrica. Dicha tendencia es concordante con la mostrada por filamentos incandescentes de resistencia eléctrica ascendente. Las ecuaciones cúbicas describen la conductancia acotada arriba. Si se consideran los valores aproximados de 0.37Ω (circuito A), 0.37Ω (circuito B) y 0.27Ω (circuito C), así como el de 0.21Ω (circuito base) para valores de E e I próximos a cero, entonces, los valores aproximados de resistencia eléctrica para dichos fusible (en dicho intervalo de condiciones) son respectivamente: 0.16Ω (fusible 2 A), 0.16Ω (fusible 5 A) y 0.06Ω (fusible 10 A).

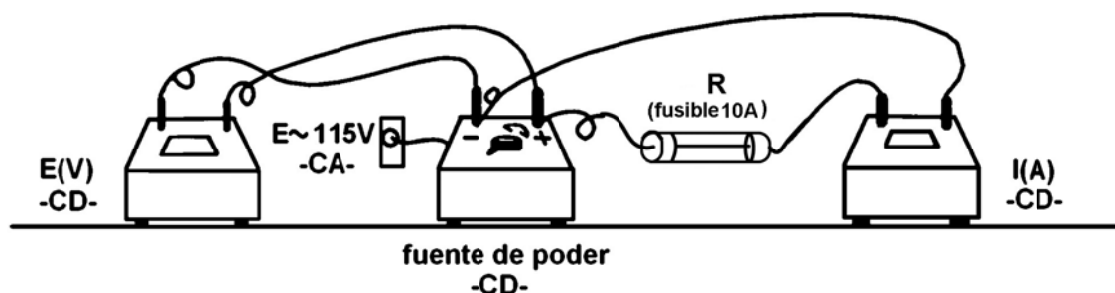


Como se desprende de la experiencia presente, en ella están implícitos conceptos y operaciones experimentales que en su conjunto posibilitan explorar someramente ciertas propiedades de la materia, como lo es en este caso el estudio de la resistencia a la conducción eléctrica por parte de elementos de resistencia eléctrica denominados fusibles, bajo inexistencia de restricciones de carácter térmico.

Experimento 21. Conducta experimental E-I ($R \cong \text{cte}$; $\theta \cong \text{cte}$; θ_{amb}) Fusible 10 A; 250 V

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota. En el experimento presente se emplea como elemento R a un fusible de listón de valor nominal 10 A, 250 V.

El experimento se realiza bajo restricciones térmicas en el circuito ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$).

2. Establecer la ventilación sobre el circuito. Establecer el equilibrio térmico entre el circuito y la sala experimental ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$).
3. Cerrar el circuito y establecer rápidamente la menor posible diferencia de potencial eléctrico (E). Tomar lectura inmediata del valor de E y de I. Abrir rápidamente el circuito.
4. Repetir (3) para valores ascendentes de E.

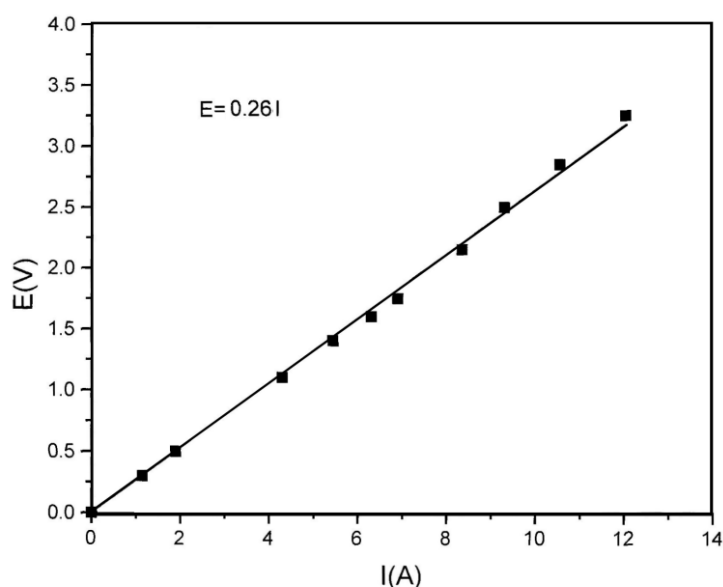
Resultados y discusión

La tabla siguiente presenta los valores experimentales de E e I correspondientes al circuito nuevo en estudio ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$).

E(V)	I(A)
0.0	0.00
0.3	1.15
0.5	1.90
1.1	4.30
1.4	5.44
1.6	6.31
~1.75	6.90

~2.15	8.35
2.5	9.31
~2.85	10.55
~3.25	12.04

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I (a condiciones isotérmicas) del circuito nuevo bajo estudio, el cual presenta como elemento novedoso de resistencia eléctrica a un fusible de valor nominal 10 A, 250 V.



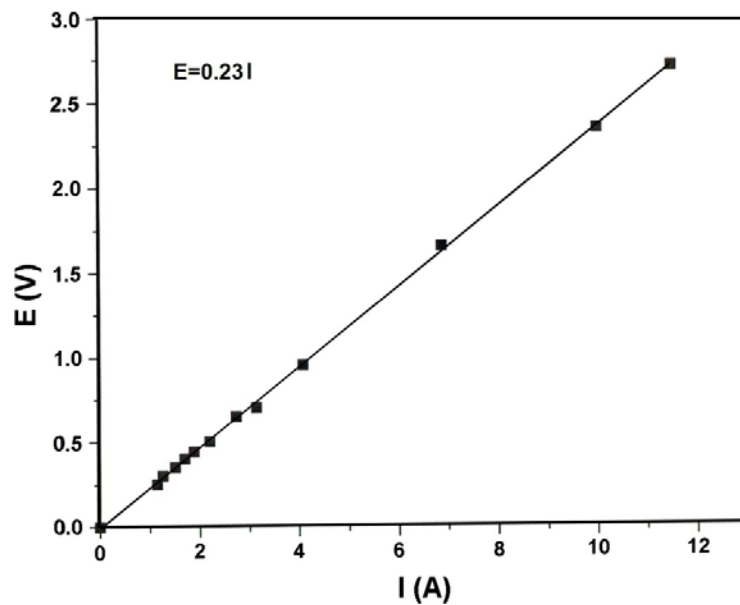
La respuesta experimental del circuito es muy cercana a la lineal ($E = RI$). Para el intervalo de condiciones experimentales cubiertas, la resistencia eléctrica total a la conducción eléctrica por parte de dicho circuito, es 0.26 Ω . No obstante dicho avance, es importante también evaluar la conducta E–I del fusible. Dado que este elemento se encuentra conectado en serie en el circuito bajo estudio, se cumple entonces:

$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + R(\text{fusible})$$

Por tanto:

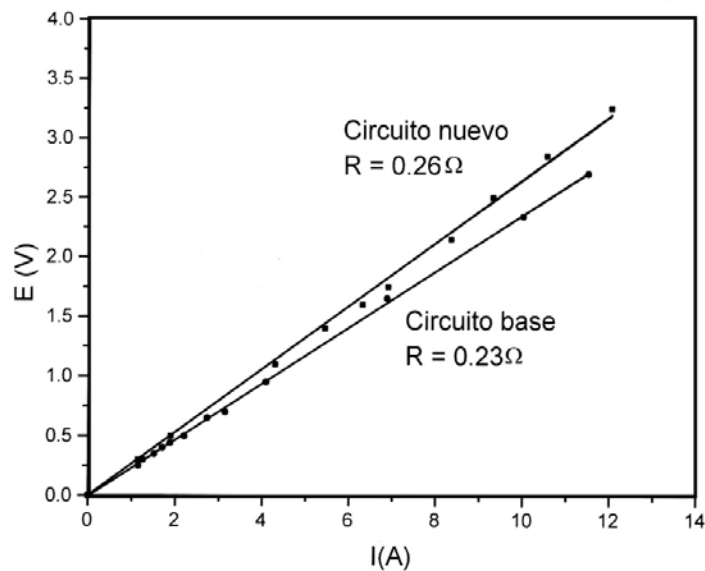
$$R(\text{fusible}) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

De esta forma, para evaluar la respuesta E–I del fusible, es necesario realizar la sustracción de las dos funciones que aparecen en el segundo miembro de la ecuación última. A este respecto, la gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del circuito base bajo condiciones isotérmicas (Experimento 1).



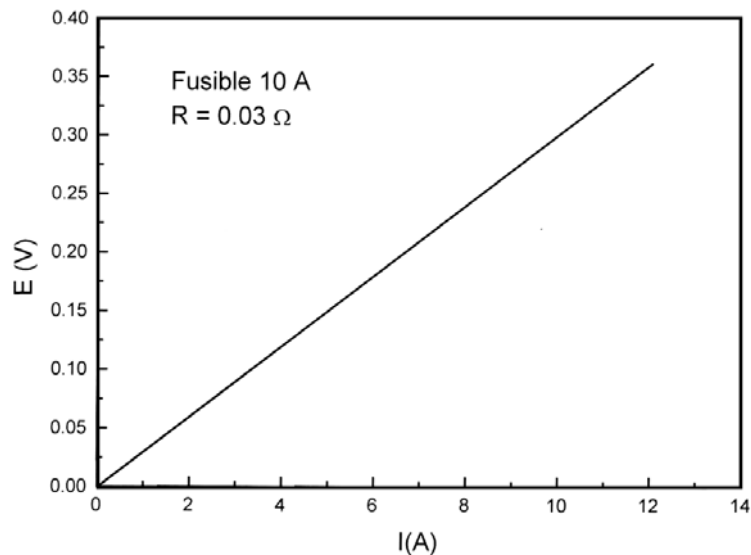
La conducta experimental es lineal ($E = RI$). Para el intervalo de condiciones exploradas, la resistencia eléctrica total del circuito base, es 0.23Ω .

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental $E-I$ (a condiciones isotérmicas) tanto del circuito base como del circuito nuevo bajo estudio.



La diferencia de pendientes es la diferencia de las resistencias eléctricas totales. La resistencia eléctrica comparativamente mayor del circuito nuevo obedece a la contribución de la resistencia eléctrica por parte del elemento fusible (10 A, 250 V).

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E – I (a condiciones isotérmicas) del elemento de resistencia eléctrica fusible 10 A, 250 V. Dentro del intervalo de condiciones experimentales cubiertas, la respuesta es lineal ($E = RI$). Para dicho intervalo, la resistencia eléctrica de dicho elemento, es $\sim 0.03 \Omega$.



Respecto a dicho elemento de resistencia eléctrica, cabe hacerse el comentario siguiente. Los valores nominales del fusible se asocian a las condiciones máximas (a régimen permanente) de operación, sin deterioro físico de dicho elemento. Así por ejemplo, una intensidad de corriente eléctrica mayor a 10 A bajo régimen permanente, ocasiona la ruptura (por elevación de temperatura y en consecuencia, por fusión del listón) del fusible. A este respecto, el hecho de que en el experimento se hayan podido establecer valores de I mayores a 10 A sin deterioro del filamento, obedece a las condiciones experimentales establecidas, esto es, cierre del circuito, lecturas instantáneas de E e I y apertura inmediata del circuito.

Así también y respecto a los resultados aquí obtenidos, el valor aproximado de la resistencia eléctrica ($R \sim 0.03 \Omega$ en el límite $E \rightarrow 0 \text{ V}$ e $I \rightarrow 0 \text{ A}$) para el fusible, es cercano al obtenido ($\sim 0.06 \Omega$) en estudios análogos bajo inexistencia de restricciones de carácter térmico. Esto es congruente con la física del experimento a dichas condiciones, puesto que para tales valores de E e I no se esperaría una variación significativa tanto en la temperatura del circuito total, como del fusible.

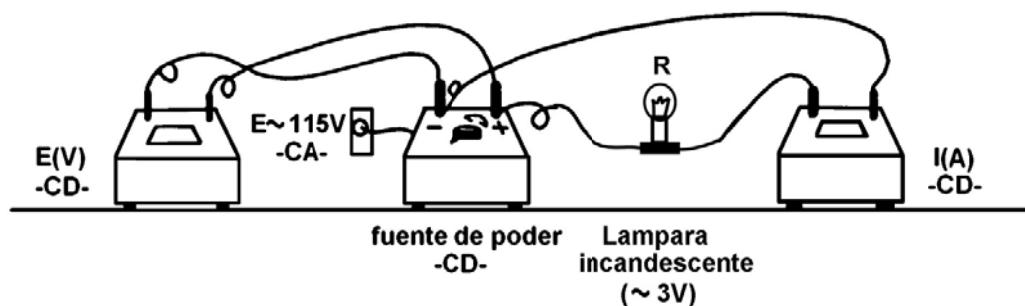
Así también es de destacar que a $\theta \cong \text{cte}$, la conducta E – I del fusible es comparativamente más apegada a $E = RI$, respecto a la mostrada por dicho fusible bajo inexistencia de restricciones térmicas.

Como se desprende de la experiencia presente, en la realización de ésta están implícitos conceptos y operaciones experimentales que en su conjunto posibilitan la exploración somera de ciertas propiedades de la materia, como lo es en este caso el estudio de la resistencia a la conducción eléctrica por parte de un elemento denominado fusible, a condiciones isotérmicas.

Experimento 22. Conducta experimental E-I ($R \cong \text{cte}$; $\theta \cong \text{cte}$; $\theta \text{ amb}$) Lámpara incandescente ($\sim 3 \text{ V}$)

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota. En el experimento presente se emplea como elemento R a una lámpara de filamento ($\sim 3 \text{ V}$) con base.

El experimento se realiza bajo restricciones térmicas en el circuito.

2. Establecer la ventilación sobre el circuito. Establecer el equilibrio térmico entre el circuito y la sala experimental ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$).
3. Cerrar el circuito y establecer rápidamente la menor posible diferencia de potencial eléctrico (E). Tomar lectura inmediata de E e I . Abrir rápidamente el circuito.
4. Repetir (3) para valores ascendentes de E .

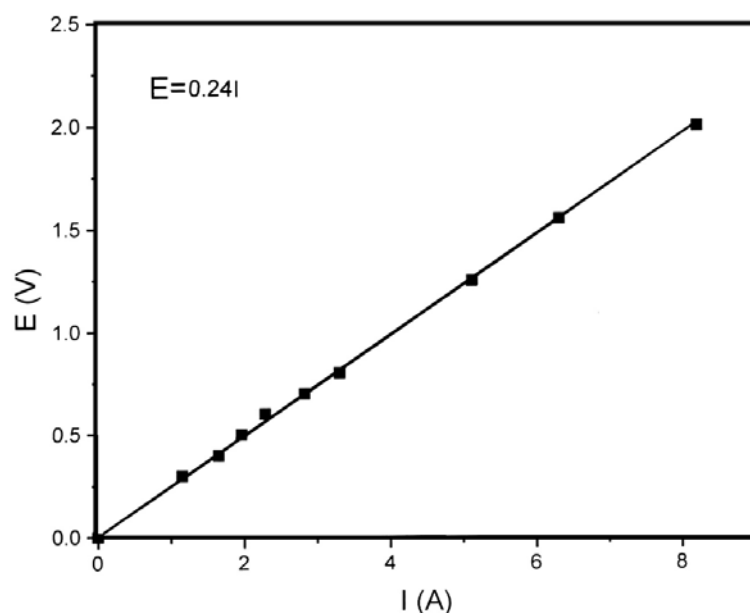
Resultados y discusión

La tabla siguiente presenta los valores experimentales de E e I ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) correspondientes al circuito nuevo bajo estudio.

$E(V)$	$I(A)$
0.0	0.00
0.3	1.15
0.4	1.65
0.5	1.96
0.6	2.28
0.7	2.82
0.8	3.30
~ 1.25	5.12

~1.55	6.31
2.0	8.21

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del circuito nuevo bajo estudio, y que contiene como elemento novedoso de resistencia eléctrica a una lámpara de filamento (valor nominal ~ 3 V) con base.



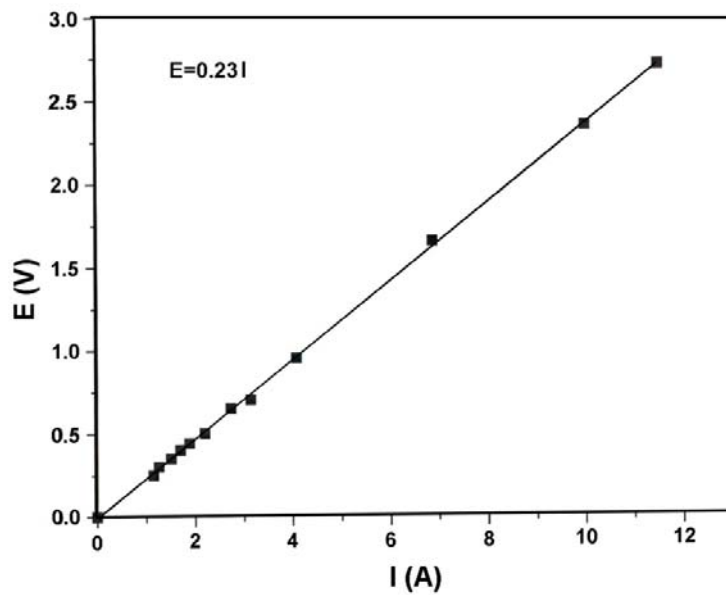
La respuesta corresponde a condiciones isotérmicas. La respuesta E–I es de tipo lineal ($E = RI$). Dentro del intervalo de condiciones experimentales exploradas, el circuito nuevo presenta una resistencia eléctrica total igual a ~ 0.24 Ω . No obstante dicho avance, es importante también evaluar la conducta experimental E–I del elemento nuevo. Dado que éste se encuentra conectado en serie, se cumple la igualdad:

$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + R(\text{lámpara/base})$$

Por tanto:

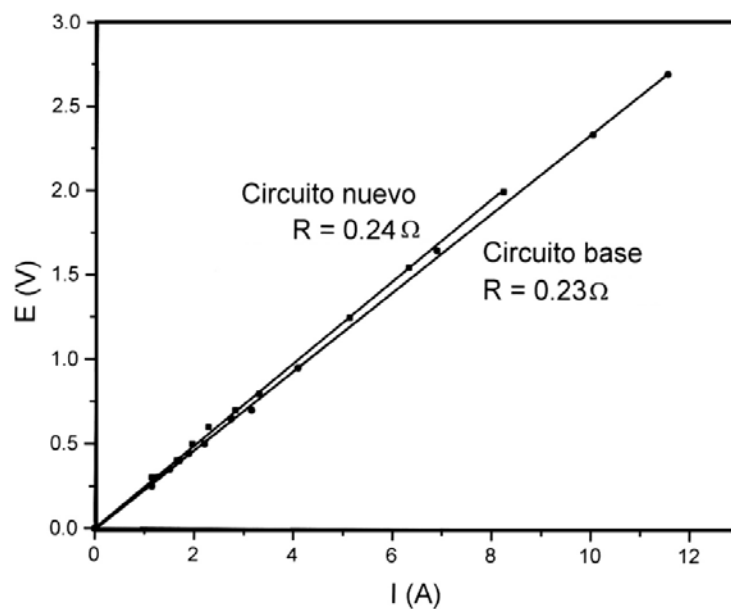
$$R(\text{lámpara/base}) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

De esta forma, para evaluar la conducta experimental E–I del ensamble lámpara-base, es necesario realizar la sustracción de las dos funciones que aparecen en el segundo miembro de la ecuación última. En relación a este punto, la gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del circuito base a condiciones isotérmicas (Experimento 1).



La respuesta E–I del circuito base es también de carácter lineal ($E = RI$). Para el intervalo de condiciones exploradas, el circuito base presenta una resistencia eléctrica total igual a 0.23Ω .

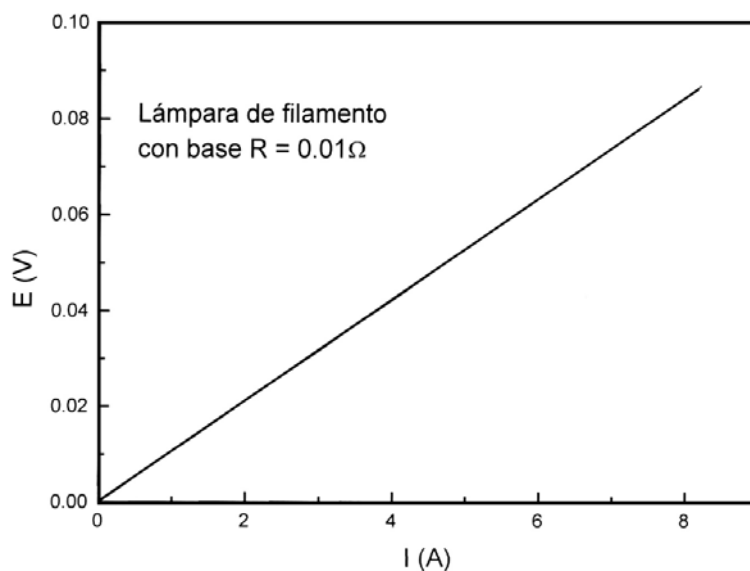
La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I tanto del circuito base como del circuito nuevo bajo estudio, ambos a condiciones isotérmicas ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$).



La diferencia de pendientes es la diferencia de resistencias eléctricas totales entre ambos circuitos. La pendiente comparativamente mayor del circuito nuevo,

obedece a la contribución de la resistencia eléctrica por parte del conjunto lámpara-base.

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental $E-I$ ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) de dicho conjunto (lámpara-base) de resistencia eléctrica.



La conducta es también de tipo lineal ($E = RI$). Para el intervalo de condiciones exploradas, el conjunto lámpara-base presenta una resistencia eléctrica total igual a $\sim 0.01 \Omega$.

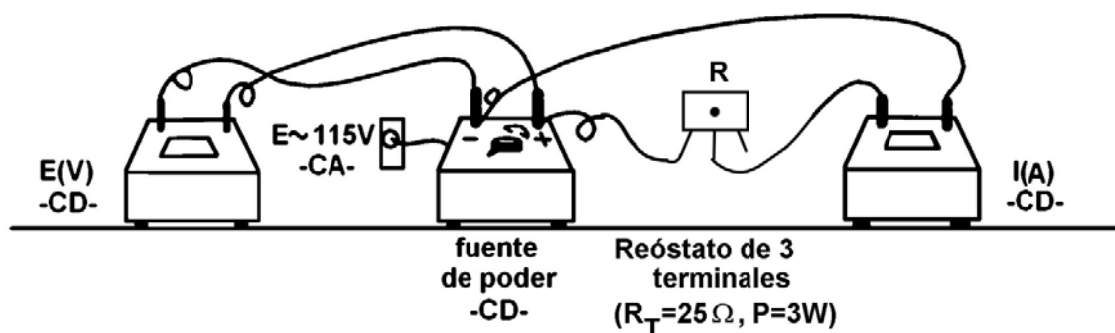
De esta forma el conjunto lámpara-base representa aproximadamente el 4.3% de la resistencia eléctrica total del circuito nuevo bajo estudio, a $\theta \sim 20^\circ\text{C}$.

Como se desprende de la realización de la experiencia presente, en ella están implícitos tanto conceptos como operaciones experimentales que en su conjunto posibilitan la exploración de ciertas propiedades de la materia, como lo es en este caso el estudio de la resistencia a la conducción eléctrica (a condiciones de $\theta = \text{cte}$) por parte de una lámpara de filamento y su base.

Experimento 23. Conducta experimental E-I ($R \cong \text{cte}$; $\theta \cong \text{cte}$; θ_{amb}) Reóstato ($R_{\text{máx}} = 25 \Omega$, $P = 3 \text{ W}$)

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota.- En el experimento presente se emplea como elemento R a un resistor variable de tres terminales ($R_{\text{máx}} = 25 \Omega$, $P = 3 \text{ W}$). En el experimento se emplea $R \sim 4 \Omega$.

El experimento se realiza bajo restricciones térmicas ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) en el circuito.

2. Establecer la ventilación sobre el circuito. Establecer el equilibrio térmico entre el circuito y la sala experimental ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$).

3. Cerrar el circuito y establecer rápidamente la menor posible diferencia de potencial eléctrico (E). Tomar lectura inmediata de E e I. Abrir rápidamente el circuito.

4. Repetir (3) para valores ascendentes de E.

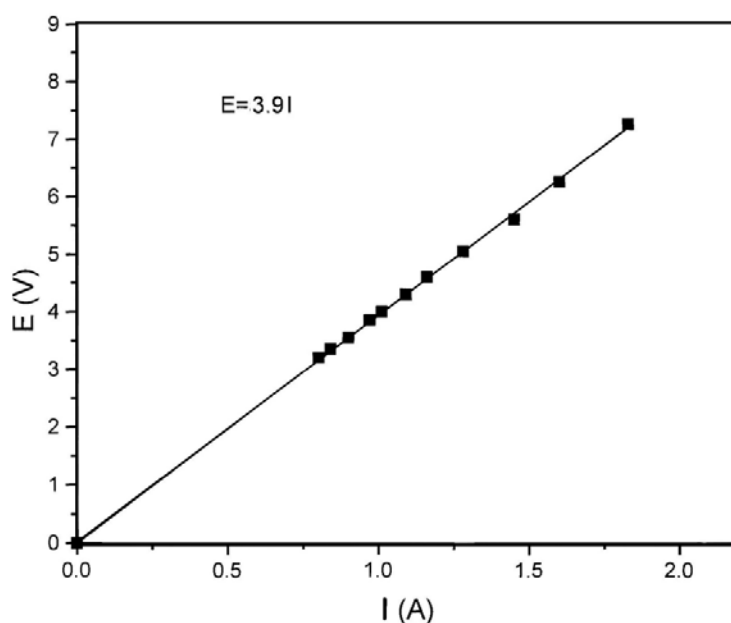
Resultados y discusión

La tabla siguiente presenta los valores experimentales de E e I ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) para el circuito nuevo en estudio.

E(V)	I(A)
0.0	0.00
3.2	0.80
~3.35	0.84

~3.55	0.90
~3.85	0.97
4.0	1.01
4.3	1.09
4.6	1.16
~5.05	1.28
5.6	1.45
~6.25	1.60
~7.25	1.83

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I (a condiciones isotérmicas, $\theta \sim 20^{\circ}\text{C}$) del circuito nuevo bajo estudio, el cual contiene como elemento novedoso de resistencia eléctrica, a un reóstato de tres terminales con valor nominal $R_{\text{máx}} = 25 \, \Omega$, $P = 3 \, \text{W}$. La posición elegida para el experimento fue $\sim 4 \, \Omega$.



La respuesta experimental del circuito nuevo es lineal ($E = RI$). Para el intervalo de condiciones exploradas, el circuito nuevo presenta una resistencia eléctrica total de $3.9 \, \Omega$.

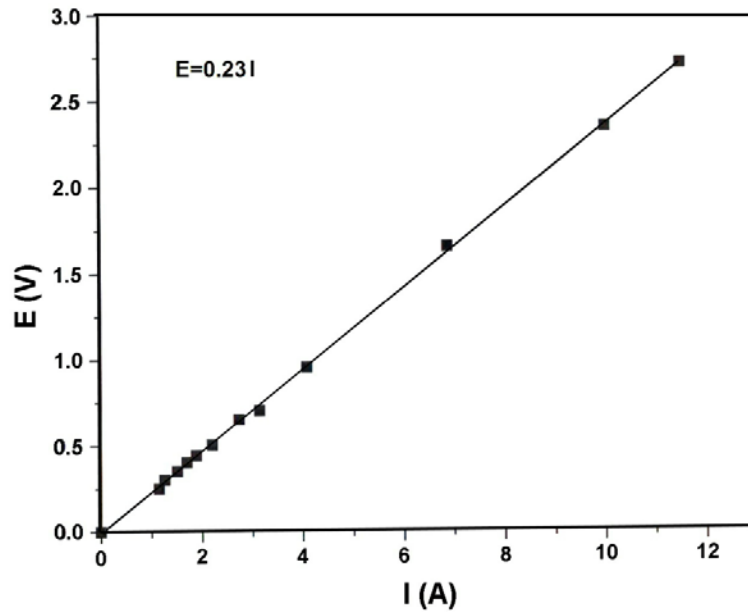
Sin embargo, es importante también evaluar la conducta experimental E–I del reóstato. Puesto que éste se encuentra conectado en serie, se cumple la igualdad:

$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + R(\text{reóstato})$$

Por tanto:

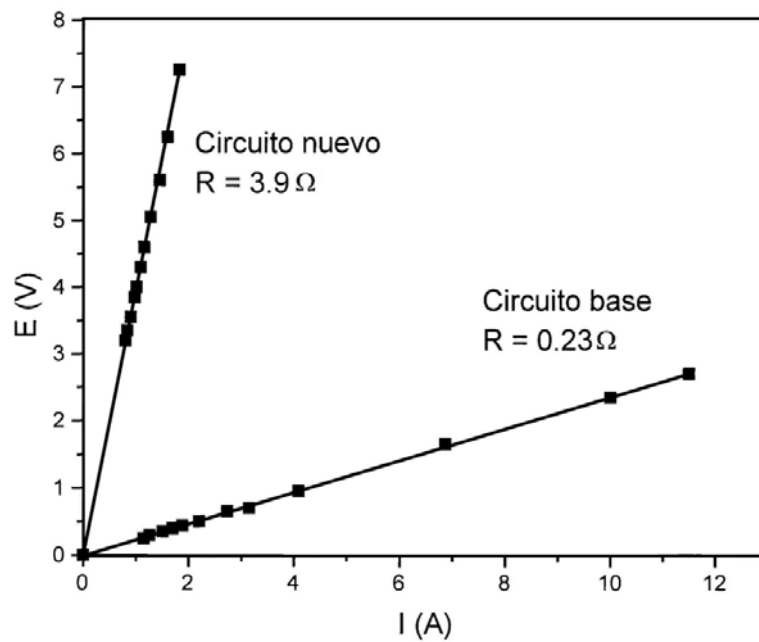
$$R(\text{reóstato}) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

De esta forma, para evaluar la conducta experimental E–I del reóstato, es necesario realizar la sustracción de las dos funciones que aparecen en el segundo miembro de la ecuación última. En este punto, la gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del circuito base a condiciones isotérmicas ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$ (Experimento 1)).



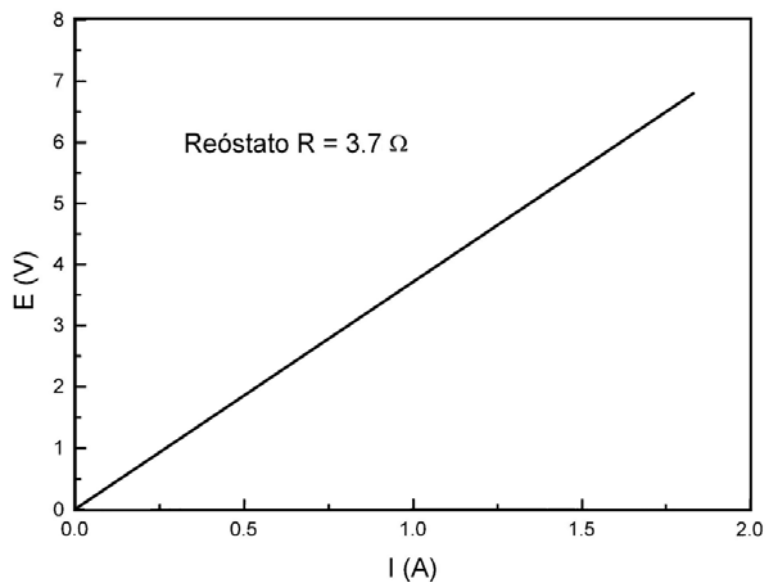
La respuesta es también de carácter lineal ($E = RI$). Para el intervalo de condiciones exploradas, la resistencia eléctrica total del circuito base es $0.23 \, \Omega$.

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I tanto del circuito base como del circuito nuevo bajo estudio, ambos a condiciones de $\theta = \text{cte}$.



La diferencia de pendientes es la diferencia de resistencias eléctricas totales entre ambos circuitos. Dicha diferencia se debe a la contribución de la resistencia eléctrica por parte del reóstato, a la resistencia eléctrica total del circuito nuevo.

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental $E-I$ del reóstato a condiciones isotérmicas ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$). La conducta es lineal ($E = RI$).



Dentro del intervalo de condiciones experimentales exploradas, su resistencia eléctrica es 3.7Ω .

En relación al punto anterior, es importante aclarar que la potencia nominal del reóstato está asociada por ejemplo, al valor de la intensidad máxima de corriente (I) de operación. Puesto que el reóstato cumple la ecuación $E = RI$, cumple también por lo tanto con la ecuación $P = EI = I^2R$.

Así, para $P = 3 \text{ W}$ y $R = 25 \text{ } \Omega$, se tiene que $I = (3/25)^{1/2} \cong 0.35 \text{ A}$.

Dicho valor es el máximo de I que puede tolerar el reóstato a $R = 25 \text{ } \Omega$, bajo operación a régimen permanente, sin sufrir daño o deterioro.

Asumiendo una $P = 3 \text{ W}$ y un valor de $R = 3.7 \text{ } \Omega$, el valor máximo de I asociado a dichos valores es igual a 0.9 A .

El hecho de que en el experimento realizado se haya rebasado dicho límite de I sin deterioro del reóstato, obedece a las condiciones de operación y de mediciones practicadas (cierre del circuito, lectura instantánea de E e I y apertura inmediata del circuito en estudio).

Como se desprende del experimento presente, en éste están considerados conceptos y operaciones experimentales que en su conjunto posibilitan la exploración de ciertas propiedades de la materia, como lo es en este caso el estudio de la resistencia a la conducción eléctrica (a condiciones isotérmicas) por parte de un elemento denominado reóstato a un valor fijo de R .

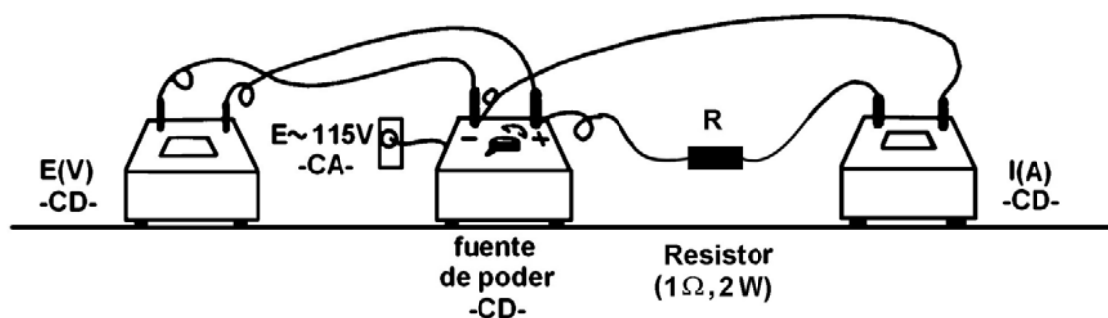
VI. CONDUCTA EXPERIMENTAL E-I y P-I

(Tercera parte)

Experimento 24. Conducta experimental E-I ($R = \text{cte}$; $\theta = \text{cte}$; θ_{amb}) Resistor ($R = 1 \Omega$, $P = 2 \text{ W}$)

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota. En el experimento presente se emplea como elemento R a un resistor tipo cerámico de valor nominal $1 \Omega / 2 \text{ W}$.

El experimento se realiza bajo restricciones térmicas ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) del circuito.

2. Establecer la ventilación sobre el circuito. Establecer el equilibrio térmico entre el circuito y la sala experimental ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$).

3. Cerrar el circuito y establecer rápidamente la menor posible diferencia de potencial eléctrico (E). Tomar lectura inmediata de E e I. Abrir rápidamente el circuito.

4. Repetir (3) para valores ascendentes de E.

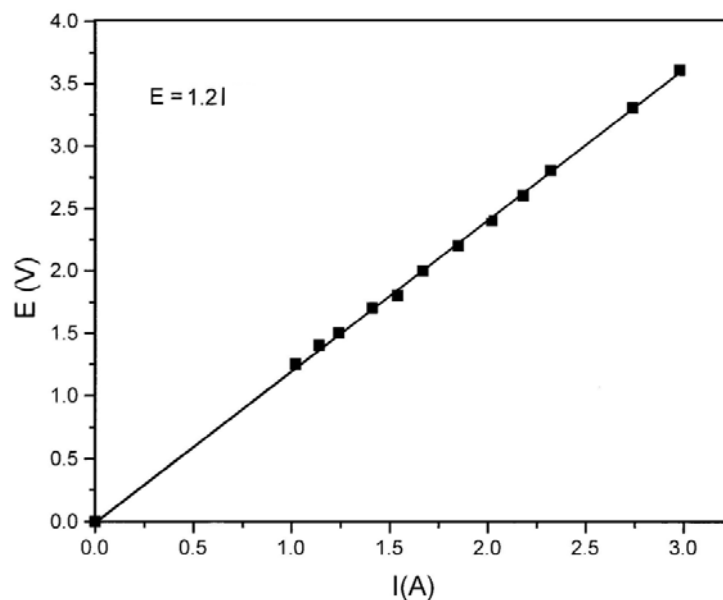
Resultados y discusión

La tabla siguiente presenta los valores experimentales de E e I ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) para el circuito nuevo en estudio.

E(V)	I(A)
0.0	0.00
~1.25	1.02
1.4	1.14
1.5	1.24
1.7	1.41
1.8	1.54
2.0	1.67

2.2	1.85
2.4	2.02
2.6	2.18
2.8	2.32
3.3	2.74
3.6	2.98

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental (bajo condiciones isotérmicas, $\theta \cong 20^\circ\text{C}$) del tipo E–I correspondiente al circuito nuevo bajo estudio, y que incluye como elemento novedoso a un elemento de resistencia eléctrica denominado resistor, de valor nominal $1\ \Omega/2\ \text{W}$. La conducta es del tipo lineal ($E = RI$). Para el intervalo de condiciones experimentales cubiertas, la resistencia eléctrica total del circuito es $\sim 1.2\ \Omega$.



No obstante este avance, es importante también evaluar la conducta E–I del resistor.

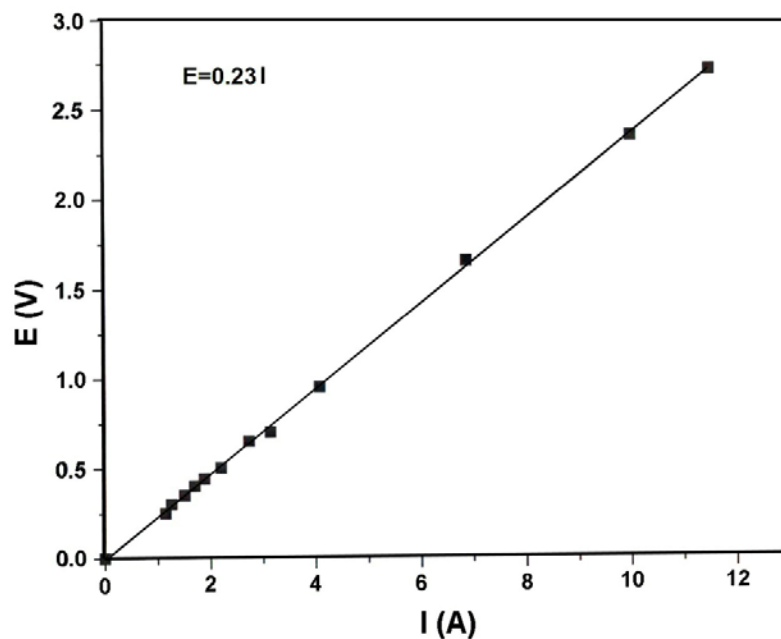
Dado que éste se encuentra conectado en serie, se cumple por tanto:

$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + R(\text{resistor})$$

Por tanto:

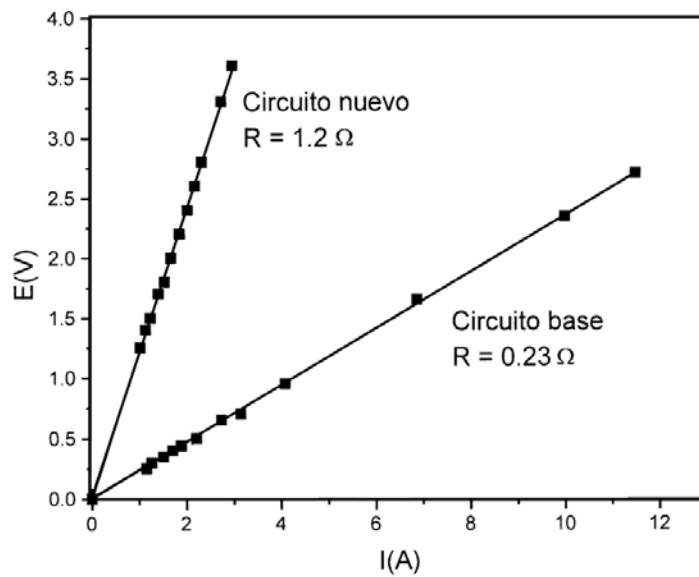
$$R(\text{resistor}) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

De esta forma, para evaluar la conductancia $E-I$ del resistor, es necesario realizar la sustracción de las dos funciones que aparecen en el segundo miembro de la ecuación última. A este respecto, la gráfica siguiente ilustra la conductancia experimental $E-I$ del circuito base a condiciones isotérmicas ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) (Experimento 1).

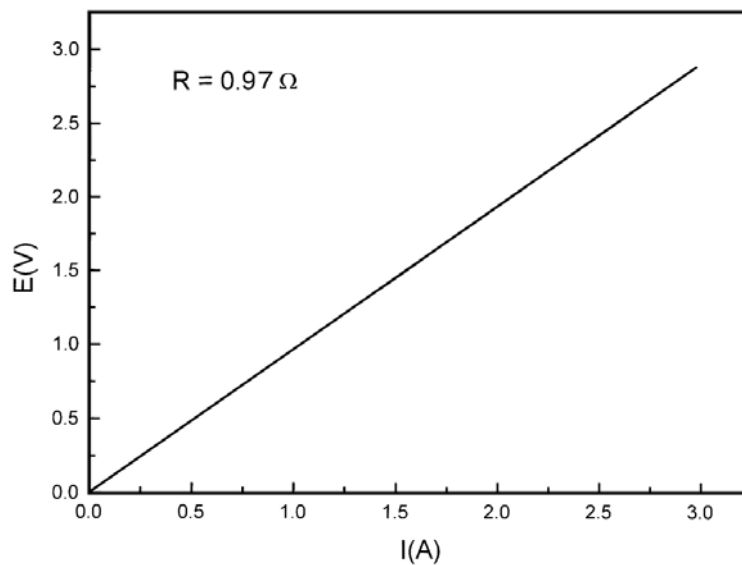


La conductancia es también de tipo lineal ($E = RI$). Para el intervalo de condiciones experimentales cubiertas, la resistencia eléctrica total del circuito base es 0.23Ω .

La gráfica siguiente ilustra la conductancia experimental $E-I$ (a condiciones isotérmicas, $\theta \cong 20^\circ\text{C}$) tanto del circuito base como del circuito nuevo bajo estudio. La diferencia de pendientes es la diferencia de resistencias eléctricas totales. La resistencia eléctrica comparativamente mayor del circuito nuevo bajo estudio, obedece a la contribución de la resistencia eléctrica por parte del resistor.



La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental $E-I$ ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) del resistor empleado en el experimento presente. La conducta es del tipo lineal ($E = RI$). Para el intervalo de condiciones exploradas, la resistencia eléctrica de dicho elemento es $\sim 0.97 \, \Omega$. Dicho valor es cercano al nominal ($1 \, \Omega$) de dicho elemento.



Un aspecto que pudiera ser de interés en el estudio presente, es evaluar la potencia empleada por el elemento resistor.

La potencia (P) empleada por un elemento de carga (esto es, un sistema que emplea y por tanto consume energía eléctrica en un circuito) es igual a:

$$P = EI \quad (a)$$

Si dicho sistema cumple con la ecuación $E = RI$, entonces,

$$P = I^2 R \quad (b)$$

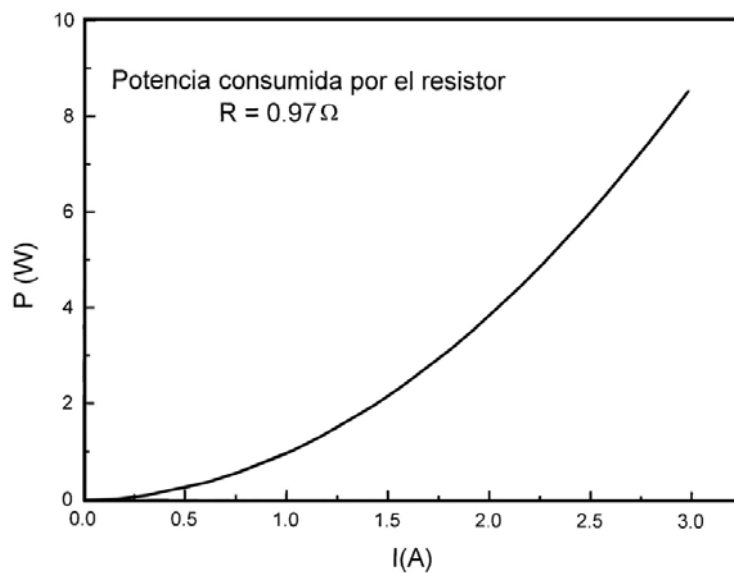
Por tanto, la potencia empleada (energía eléctrica consumida por cada unidad de tiempo) por dicho elemento de carga, será dependiente de su resistencia eléctrica (bajo las condiciones de operación) y del valor cuadrático de la intensidad de corriente eléctrica por sus circuitos internos.

En el estudio presente, se ha evaluado el valor de R para el resistor ($R \cong 0.97 \, \Omega$). Para valores diferentes de I , se tendrá entonces valores diferentes de P . La gráfica siguiente ilustra la variación de la potencia empleada (en watts, W) por el resistor con respecto a I (A).

El mismo análisis y procedimiento es extensible al circuito base.

También y respecto a este punto, una propiedad de los circuitos en serie, es que la suma de las potencias de los elementos de resistencia eléctrica, es igual a la potencia total del circuito.

Por tanto, para un valor dado de E experimental, es posible conocer tanto las potencias del resistor y del circuito base, como la potencia total del circuito nuevo.



Por último, cabe hacerse un comentario respecto a la potencia nominal (2 W) del resistor.

Este valor está asociado al valor máximo de I que tolera el resistor (bajo condiciones permanentes de operación) sin sufrir daño o deterioro. En este caso, $P = 2 \text{ W} = I^2 (0.97 \, \Omega)$ por lo tanto $I \cong 1.4 \text{ A}$.

Esta es la I máxima para dicho elemento.

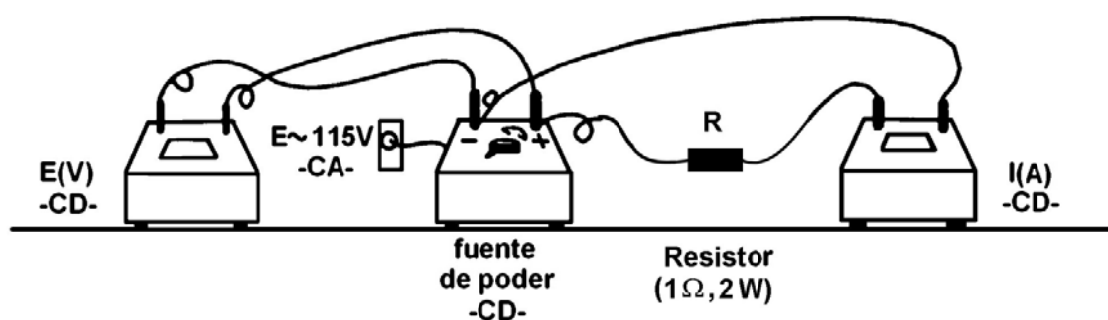
En el experimento presente se rebasó dicho valor de I . El hecho de que no haya sufrido daño, obedece a las condiciones establecidas de operación y de medición experimental instantánea (esto es, cierre del circuito, lectura instantánea y simultánea de E e I y apertura inmediata del circuito).

Como colofón, en la realización de la experiencia presente están implícitos tanto conceptos como operaciones experimentales que en su conjunto posibilitan el análisis somero de ciertas propiedades de la materia, como lo es en este caso el estudio de la resistencia eléctrica (bajo condiciones isotérmicas) por parte de un dispositivo denominado resistor tipo cerámico.

Experimento 25. Conducta experimental E-I ($R \cong \text{cte}$; $\theta \neq \text{cte}$; θ_{eq}) Resistor ($R = 1 \Omega$, $P = 2 \text{ W}$)

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota.- En el experimento presente se emplea como elemento R a un resistor tipo cerámico de valor nominal $1 \Omega / 2 \text{ W}$.

El experimento se realiza bajo inexistencia de restricciones térmicas en el circuito.

2. Establecer la menor posible diferencia de potencial eléctrico (E). Permitir la estabilización en el valor correspondiente de I. En la estabilización, emplear el tiempo menor posible. Tomar registro de E y de I. Abrir el circuito.

3. Repetir (2) para valores ascendentes de E.

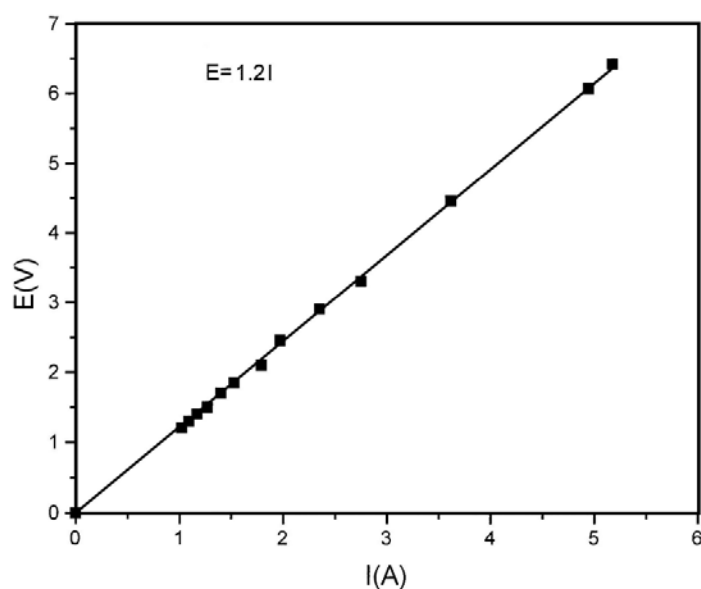
Resultados y discusión.

La tabla siguiente presenta los valores experimentales de E e I para el circuito nuevo en estudio. Los datos corresponden a la inexistencia de restricciones térmicas en el circuito.

E(V)	I(A)
0.0	0.00
1.2	1.02
1.3	1.09
1.4	1.17
1.5	1.27
1.7	1.40
~1.85	1.53
2.1	1.79
~2.45	1.97

2.9	2.35
3.3	2.75
~4.45	3.62
~6.05	4.95
6.4	5.18

La gráfica siguiente ilustra la conductancia experimental E–I del circuito nuevo bajo estudio. La conductancia corresponde a condiciones no restrictivas de carácter térmico. El elemento novedoso en dicho circuito, es un elemento de resistencia eléctrica denominado resistor (valor nominal 1 $\Omega/2$ W). La conductancia experimental es tipo lineal ($E = RI$). Para el intervalo de condiciones experimentales cubiertas, la resistencia eléctrica total del circuito es ~1.22 Ω . No obstante este resultado, es importante también evaluar la conductancia experimental E–I del elemento resistor.



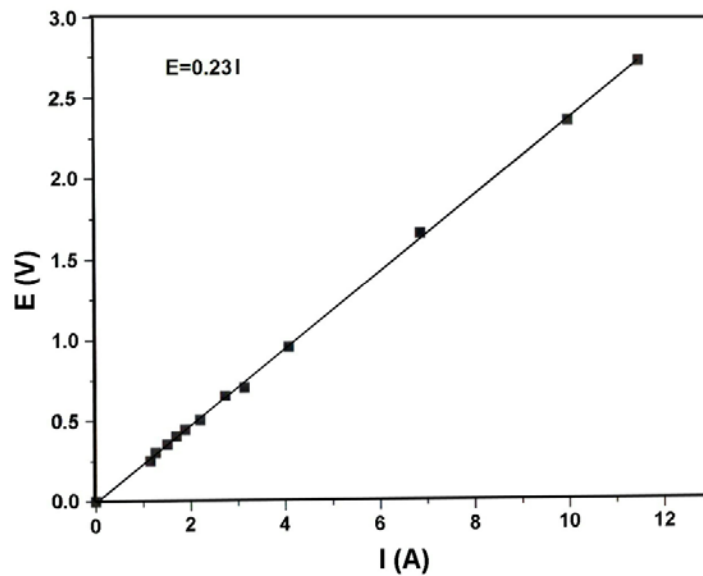
Dado que éste se encuentra conectado en serie en el circuito nuevo, se cumple entonces:

$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + R(\text{resistor})$$

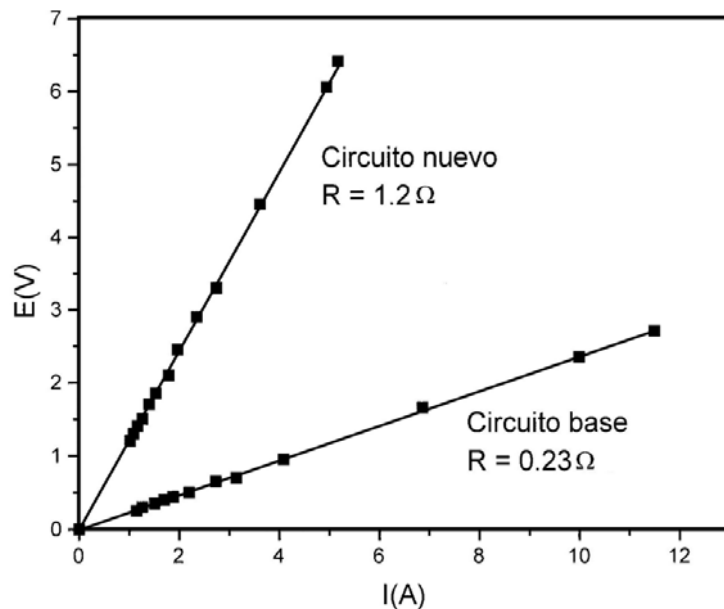
Por tanto:

$$R(\text{resistor}) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

De esta forma, para evaluar la conducta E–I del resistor, se requiere realizar la sustracción que indica la última ecuación. A este respecto, la gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del circuito base (Experimento 1).



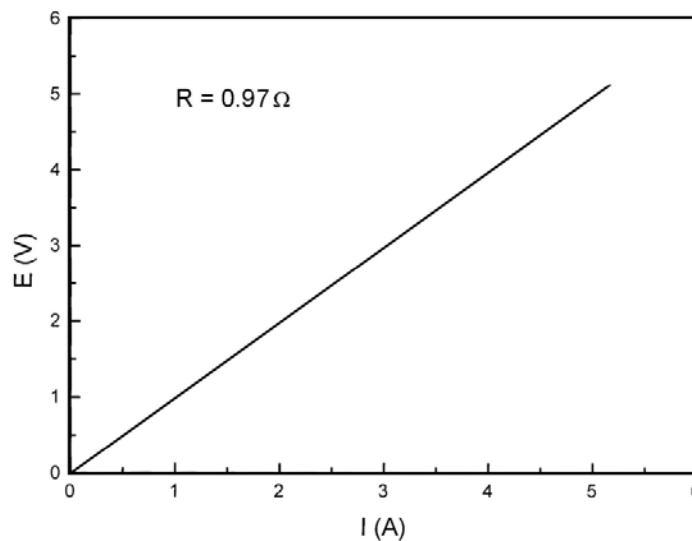
La conducta también es tipo lineal ($E = RI$). Para el intervalo de condiciones experimentales cubiertas, la resistencia eléctrica total de dicho circuito es 0.23Ω . La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I tanto del circuito base como del circuito nuevo bajo estudio.



La diferencia de pendientes es la diferencia de resistencias eléctricas totales entre ambos circuitos. La resistencia eléctrica comparativamente mayor del circuito nuevo, es debida a la contribución de la resistencia eléctrica por parte del elemento resistor.

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del elemento resistor.

Para el intervalo de condiciones estudiadas, la respuesta es lineal ($E = RI$). Para dicho intervalo, la resistencia eléctrica del resistor es $\sim 0.97 \, \Omega$, sin restricciones térmicas.



Dicho valor es prácticamente el mismo que el obtenido cuando $\theta \cong \text{cte}$.

Un aspecto más de este estudio, concierne al análisis de la conducta de la potencia del elemento resistor. A este respecto, la potencia empleada por un elemento de carga (esto es, un elemento de resistencia eléctrica conectado en un circuito) representa la energía consumida por cada unidad de tiempo, para el desempeño de la función de dicho elemento. A su vez, dicha potencia (P) es igual a:

$$P = EI \quad (a)$$

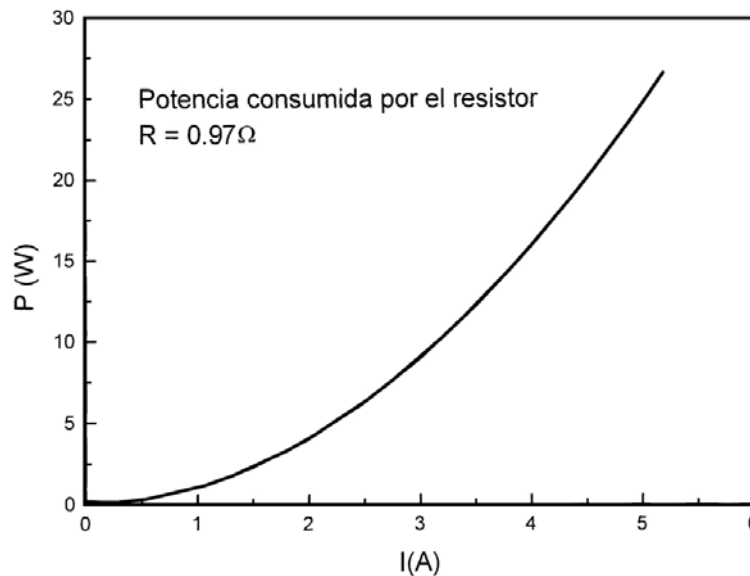
Si dicho elemento de carga cumple a su vez con la ecuación $E = RI$, entonces:

$$P = I^2 R \quad (b)$$

Se observa que P depende de R y de $(I)^2$.

Así para un valor de R, P tomará valores diferentes en función de I.

En el experimento presente se evaluó la resistencia eléctrica del resistor ($R \cong 0.97 \Omega$). La gráfica siguiente muestra la relación P–I para dicho elemento de resistencia eléctrica.



Así por ejemplo, para un valor de I cercano a 5 A, la potencia empleada por el resistor es prácticamente igual a la de un foco con filamento y $P = 25$ W, operando óptimamente.

El mismo análisis y procedimiento sería extensible al circuito base.

También y en relación a lo anterior, una propiedad de los circuitos en serie, es que la suma de las potencias de los elementos de resistencia eléctrica en un circuito, es igual a la potencia total del circuito.

De esta forma, para un valor dado de E , es posible evaluar tanto las potencias del resistor como la del circuito base, y conocer así también la potencia total empleada por el circuito nuevo bajo estudio en dichas condiciones.

Por último, cabe hacerse un comentario respecto al valor nominal de la potencia del resistor. Dicho valor está asociado al valor de I máxima que tolerará el resistor bajo trabajo permanente, sin sufrir daño ó deterioro físico por elevación excesiva de temperatura.

Para $P = 2$ W y $R = 0.97 \Omega$, el valor de I es igual a:

$$P = I^2 R; I = \sqrt{\frac{P}{R}} \cong 1.4 \text{ A}$$

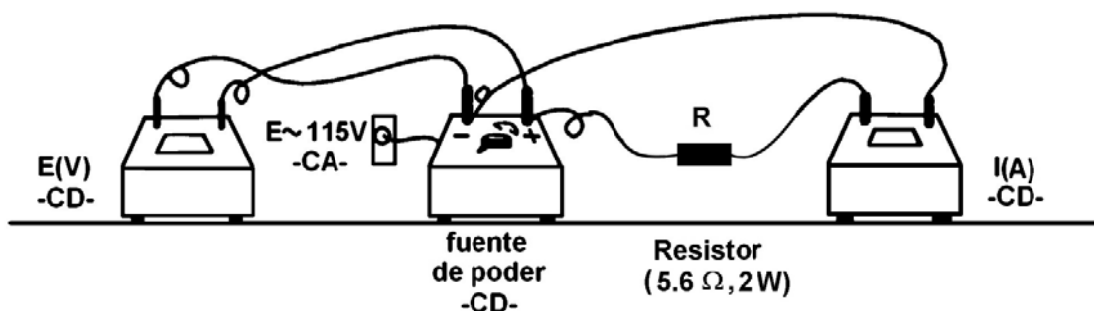
Este sería el valor de I máxima que toleraría el resistor. En el experimento presente se rebasó dicho valor. El hecho de que no haya existido daño en el resistor, obedece al tiempo restringido de operación del circuito en cada medición de E e I .

Como colofón, en el experimento presente están implícitos tanto conceptos como operaciones experimentales que en su conjunto posibilitan el análisis somero de ciertas propiedades de la materia, como lo es en este caso el comportamiento de la resistencia eléctrica a la conducción eléctrica por parte de un dispositivo denominado resistor tipo cerámico, bajo inexistencia de restricciones de carácter térmico.

Experimento 26. Conducta experimental E–I ($R = \text{cte}$; $\theta = \text{cte}$; θ_{amb}) Resistor
($R = 5.6 \, \Omega$, $P = 2 \, \text{W}$)

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota. En el experimento presente se emplea como elemento R a un resistor tipo cerámico de valor nominal $5.6 \, \Omega / 2 \, \text{W}$.

El experimento se realiza bajo restricciones térmicas ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) en el circuito.

2. Establecer la ventilación sobre el circuito. Establecer el equilibrio térmico entre el circuito y la sala experimental ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$).

3. Cerrar el circuito y establecer rápidamente la menor posible diferencia de potencial eléctrico (E). Tomar registro inmediato de E y de I. Abrir rápidamente el circuito.

4. Repetir (3) para valores ascendentes de E.

Resultados y discusión

La tabla siguiente presenta los valores experimentales de E e I ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) correspondientes al circuito nuevo en estudio.

E(V)	I(A)
0.0	0.00
3.9	0.69
~4.15	0.73
4.4	0.77
4.6	0.80

4.8	0.84
5.2	0.90
~5.45	0.95
5.8	1.02
6.5	1.13
6.8	1.19
7.5	1.32
8.2	1.44
8.6	1.52

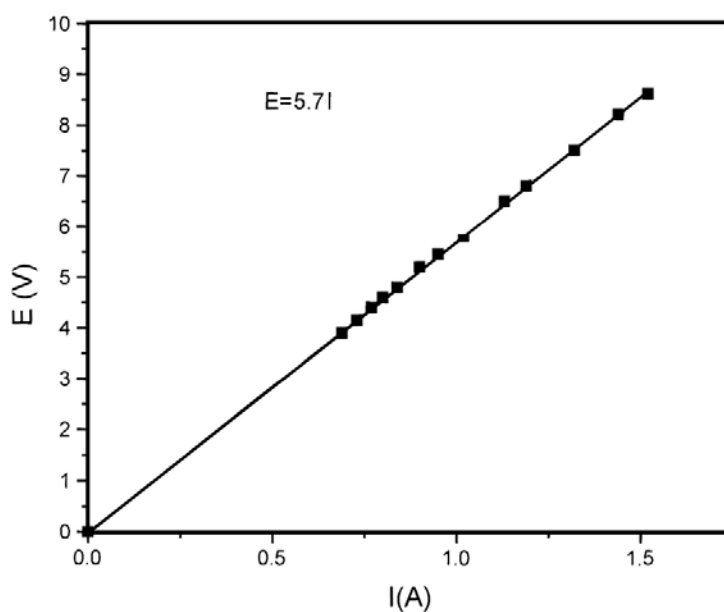
La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E-I (a condiciones isotérmicas $\theta \cong 20^{\circ}\text{C}$) del circuito nuevo bajo estudio, y que contiene como elemento novedoso a un resistor de valor nominal $5.6 \Omega/2 \text{ W}$. La respuesta es lineal ($E = RI$). Para el intervalo de condiciones experimentales exploradas, el circuito nuevo presenta una resistencia eléctrica total a la conducción eléctrica, de 5.7Ω . Sin embargo y no obstante este avance, es importante también evaluar la conducta experimental E-I del resistor.

Dado que dicho elemento se encuentra conectado en serie, se cumple:

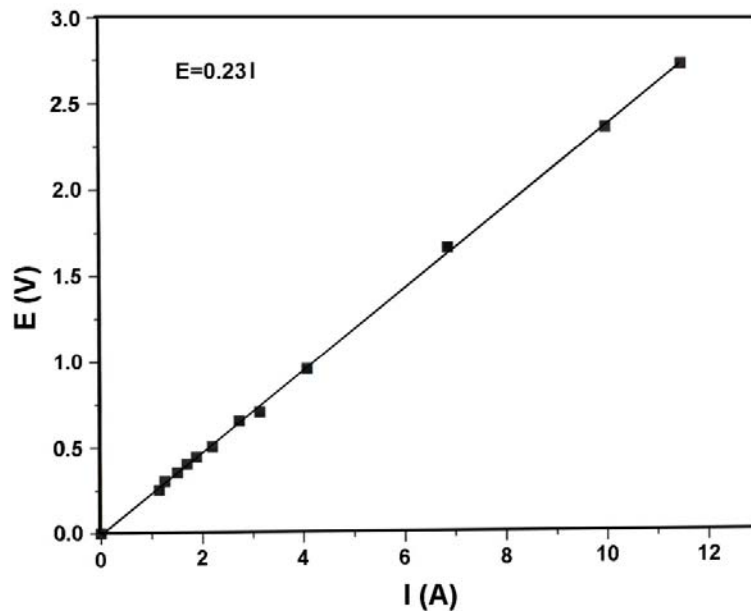
$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + R(\text{resistor})$$

Por tanto:

$$R(\text{resistor}) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

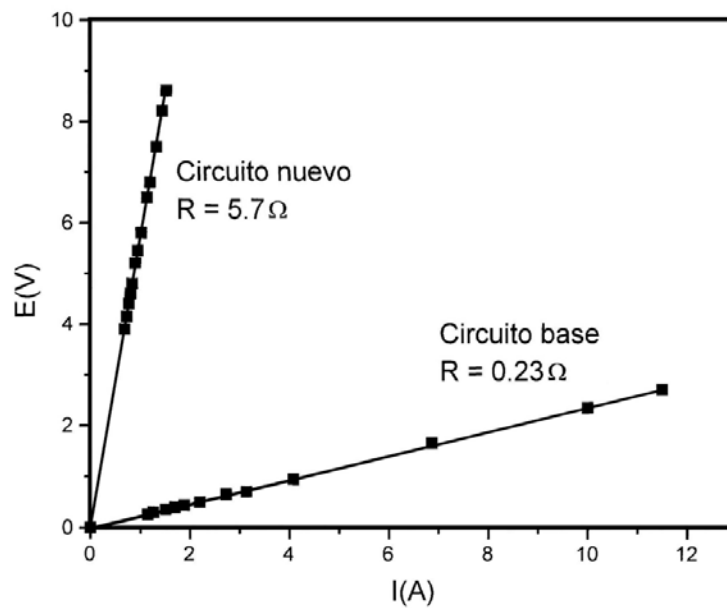


De esta forma, para evaluar la conducta E – I del resistor, es necesario realizar la sustracción de las dos funciones del segundo miembro de la ecuación última. A este respecto, la gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E – I (a condiciones isotérmicas, $\theta \cong 20^\circ\text{C}$) del circuito base (Experimento 1).



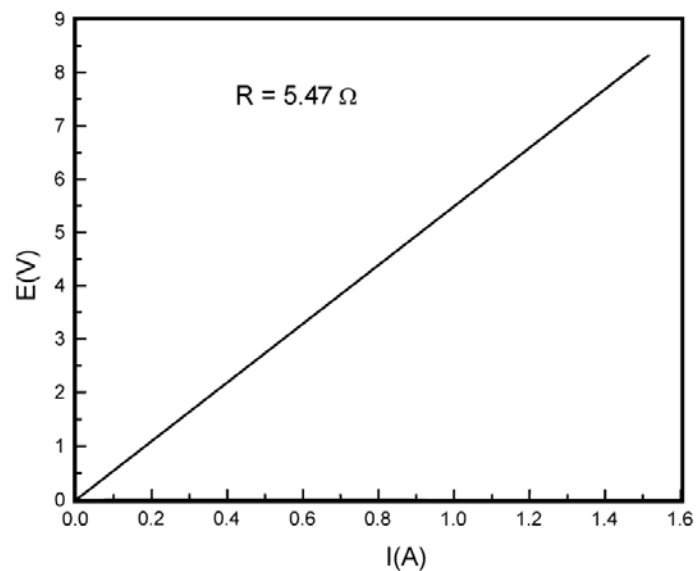
La conducta es lineal ($E = RI$). Para el intervalo de condiciones exploradas, el circuito base presenta una resistencia eléctrica total a la conducción eléctrica, igual a $0.23\ \Omega$.

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E – I (a condiciones isotérmicas, $\theta \cong 20^\circ\text{C}$) tanto del circuito base como del circuito nuevo bajo estudio.



La diferencia de pendientes es la diferencia de resistencias eléctricas totales ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) entre ambos circuitos.

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E-I (condiciones isotérmicas, $\theta \cong 20^\circ\text{C}$) del resistor bajo estudio.



La conducta experimental E-I del resistor es de carácter lineal ($E = RI$). Para el intervalo de condiciones experimentales cubiertas, el resistor presenta una

resistencia eléctrica igual a 5.47Ω . Dicho valor es cercano al valor nominal comercial (5.6Ω) de dicho elemento.

Otro aspecto importante del estudio presente, consiste en evaluar la conducta de la potencia del resistor. En este punto, la potencia (P) empleada (o consumida) por todo elemento de carga (de resistencia eléctrica) en un circuito eléctrico, es igual al producto EI :

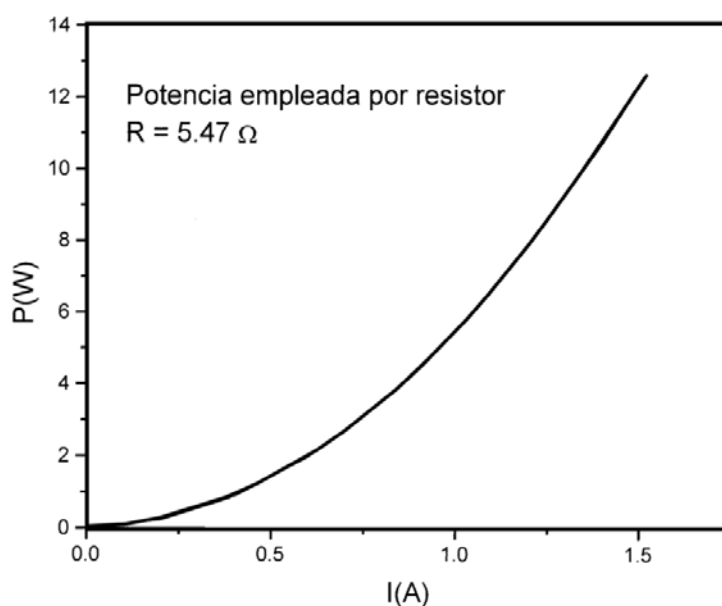
$$P = EI \quad (a)$$

Si además, dicho elemento cumple la ecuación $E = RI$, entonces:

$$P = I^2 R \quad (b)$$

De esta forma, la potencia (Energía eléctrica consumida por cada unidad de tiempo) es directamente proporcional a R , así como a $(I)^2$.

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental $P-I$ del resistor ($R = 5.47 \Omega$) a $\theta \cong 20^\circ\text{C}$.

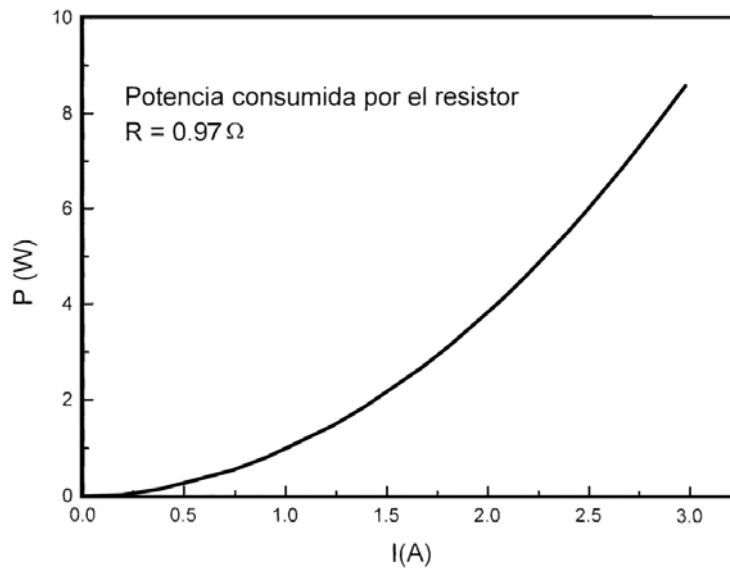


Para efectos de comparación, la gráfica siguiente ilustra la conducta experimental $P-I$ (a $\theta \cong 20^\circ\text{C}$) de un resistor $R \cong 0.97 \Omega/2 \text{ W}$ (Experimento 25).

De las dos gráficas se desprende por ejemplo, que para un valor de $I = 1.5 \text{ A}$, la razón de potencias:

$$\frac{P_{(R \cong 5.47 \Omega)}}{P_{(R \cong 0.97 \Omega)}} \cong \frac{12.3 \text{ W}}{2.16 \text{ W}} \cong 5.7$$

es igual a su vez a la razón de las resistencias eléctricas respectivas.



El mismo análisis que se ha hecho aquí para el resistor, es extensible al circuito base.

Así por ejemplo, para un valor dado de I, la suma de las potencias del resistor y del circuito base, es igual a su vez a la potencia total del circuito nuevo. Lo anterior es una propiedad más de los circuitos en serie.

Por último, cabe hacer un comentario respecto a la potencia nominal del resistor empleado en el circuito bajo estudio.

A este respecto, el valor de la potencia de un elemento de resistencia eléctrica está asociado al valor máximo de I que soportaría el elemento sin sufrir daño bajo operación ininterrumpida. Para el resistor estudiado ($R \cong 5.47 \Omega$, $P = 2 \text{ W}$), se tiene que:

$$P = I^2 R; I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

Por tanto

$$I \cong \sqrt{\frac{2\text{W}}{5.47\Omega}} \cong \sqrt{0.3656} \cong 0.6 \text{ A}$$

Esta sería la I máxima de operación ininterrumpida del resistor sin sufrir daño. A este respecto y para un resistor con $R \cong 0.97 \Omega$ y $P = 2 \text{ W}$, la I máxima sería igual a:

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} \cong \sqrt{\frac{2W}{0.97\Omega}} \cong \sqrt{2.062} = 1.4A$$

Por lo tanto $I_{\text{máx}} \cong 1.4 \text{ A}$.

Se desprende que para dos resistores de la misma potencia, P , pero presentando respectivamente valores de R ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) de 0.97 y 5.47Ω , la primera toleraría valores mayores de I ($\sim 1.4 \text{ A}$) respecto al de resistencia eléctrica mayor ($\sim 0.6 \text{ A}$).

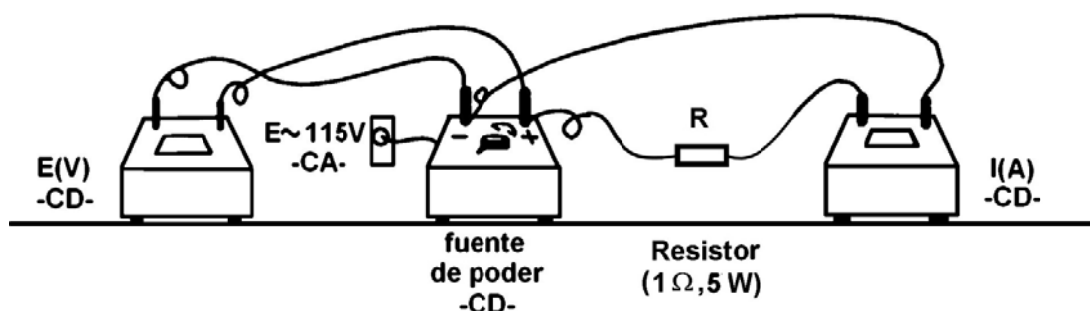
El hecho de que en el experimento presente se haya rebasado dicho valor ($\sim 0.6 \text{ A}$) sin dañar el resistor, obedece a las condiciones de operación y de medición experimental practicadas (esto es, cierre del circuito, lectura instantánea y simultánea de E e I y apertura inmediata del circuito).

Como colofón, en el experimento presente están implícitos conceptos y operaciones experimentales que en su conjunto posibilitan el análisis somero de ciertas propiedades de la materia, como lo es en este caso el estudio de la resistencia a la conducción eléctrica por parte de un resistor tipo cerámico, bajo condiciones isotérmicas.

Experimento 27. Conducta experimental E-I ($R = \text{cte}$; $\theta = \text{cte}$) Resistor ($R = 1 \Omega$, $P = 5 \text{ W}$)

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota. En el experimento presente se emplea como elemento R a un resistor tipo cerámico de valor nominal $1 \Omega / 5 \text{ W}$.

El experimento se realiza bajo restricciones térmicas ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) en el circuito.

2. Establecer la ventilación sobre el circuito. Establecer el equilibrio térmico entre el circuito y la sala experimental ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$).

3. Cerrar el circuito y establecer rápidamente la menor posible diferencia de potencial eléctrico (E). Tomar registro inmediato de E y de I. Abrir rápidamente el circuito.

4. Repetir (3) para valores ascendentes de E.

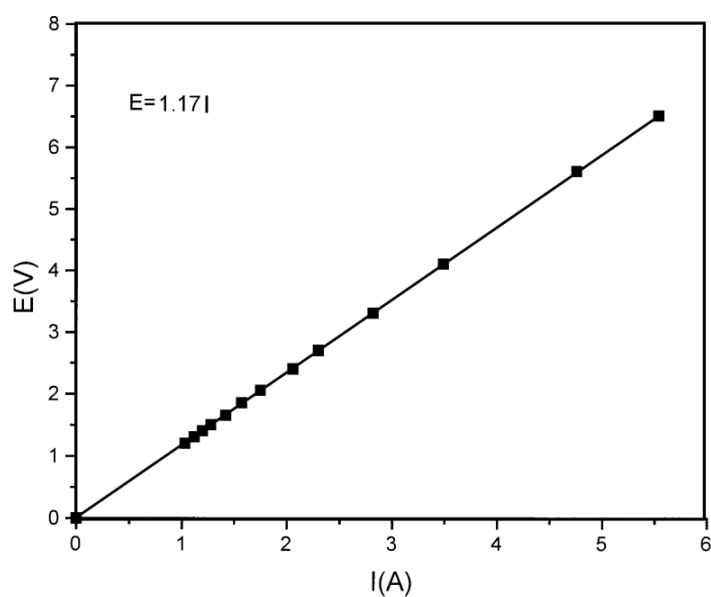
Resultados y discusión

La tabla siguiente presenta los valores experimentales de E e I ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) correspondientes al circuito nuevo en estudio.

E(V)	I(A)
0.0	0.00
1.2	1.03
1.3	1.12
1.4	1.20
1.5	1.28

~1.65	1.42
~1.85	1.57
~2.05	1.75
2.4	2.06
2.7	2.30
3.3	2.82
4.1	3.49
5.6	4.76
6.5	5.54

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I (a condiciones isotérmicas, $\theta \cong 20^{\circ}\text{C}$) del circuito nuevo bajo estudio, y que presenta a un resistor de valor nominal $1\ \Omega/5\ \text{W}$. La conducta es tipo lineal ($E = RI$). Para el intervalo de condiciones exploradas, el circuito nuevo presenta una resistencia eléctrica total a la conducción eléctrica, igual a $1.17\ \Omega$.



No obstante este avance, es importante también evaluar la conducta experimental E–I del resistor. Dado que éste se encuentra conectado en serie, se cumple por tanto:

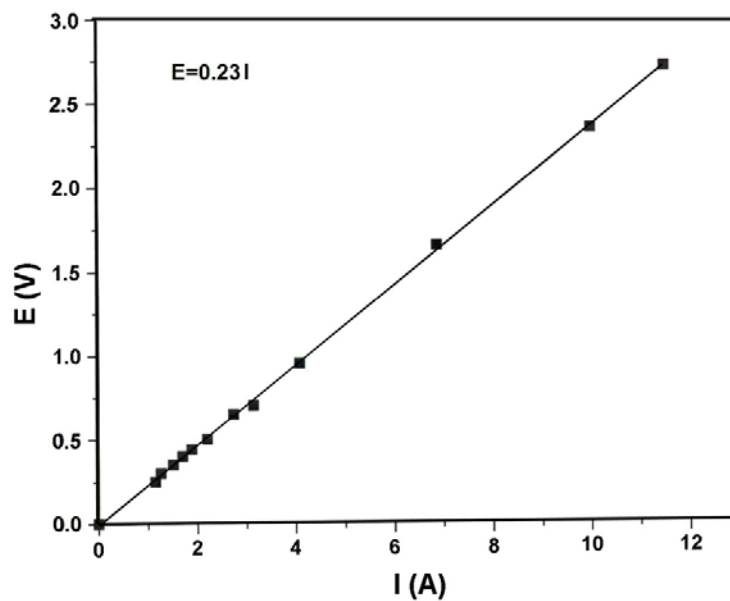
$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + R(\text{resistor})$$

Por tanto:

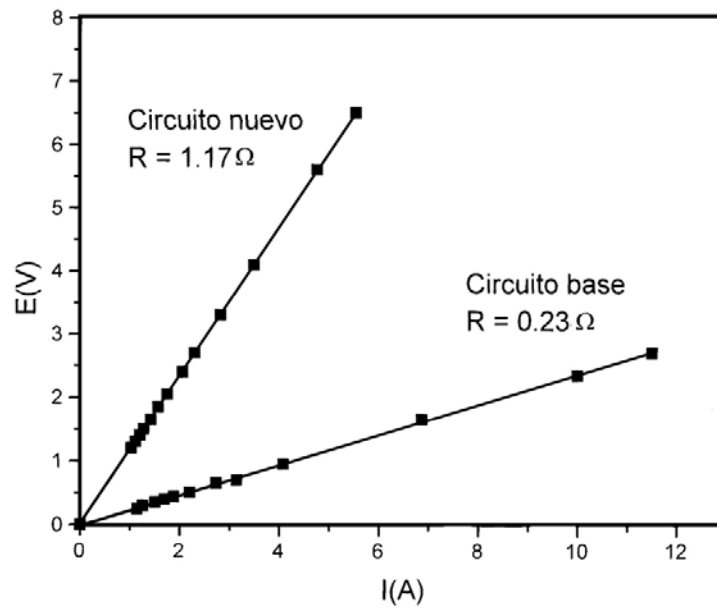
$$R(\text{resistor}) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

De esta forma, para evaluar la conductancia experimental $E-I$ del resistor, es necesario realizar la sustracción de las dos funciones del segundo miembro de la ecuación última. A este respecto, la gráfica siguiente muestra la conductancia experimental $E-I$ (a condiciones isotérmicas, $\theta \cong 20^\circ\text{C}$) del circuito base.

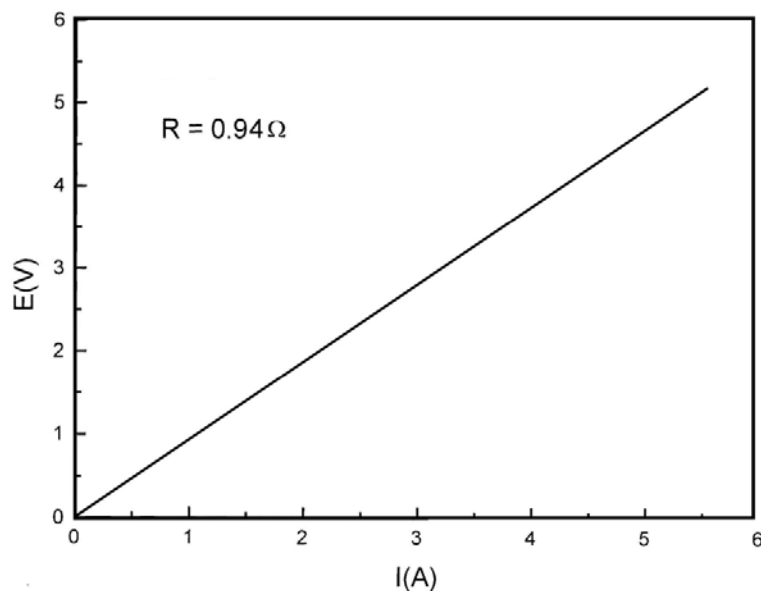
La conductancia es también de tipo lineal ($E = RI$). Para el intervalo de condiciones exploradas, la resistencia eléctrica total a la conducción eléctrica es $0.23 \, \Omega$ (Experimento 1).



La gráfica siguiente ilustra la conductancia experimental $E-I$ (a condiciones isotérmicas, $\theta \cong 20^\circ\text{C}$) tanto del circuito base como del circuito nuevo bajo estudio. La diferencia de pendientes es la diferencia de resistencias eléctricas totales entre ambos circuitos. La resistencia eléctrica comparativamente mayor del circuito nuevo es debida a la contribución de la resistencia eléctrica por parte del resistor.



La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I (a condiciones isotérmicas, $\theta \cong 20^{\circ}\text{C}$) del resistor. La respuesta es lineal ($E = RI$). Para el intervalo de condiciones exploradas, el elemento presenta una resistencia eléctrica a la conducción eléctrica, igual a 0.94Ω . Dicho valor es cercano al valor nominal comercial (1Ω).



Un aspecto que pudiera ser de interés en el estudio presente, es el concerniente al análisis de la conducta de la potencia (P) empleada (energía eléctrica consumida por cada unidad de tiempo) por el elemento resistor.

Para todo elemento de carga (elemento de resistencia eléctrica) en un circuito, la potencia es igual al producto EI :

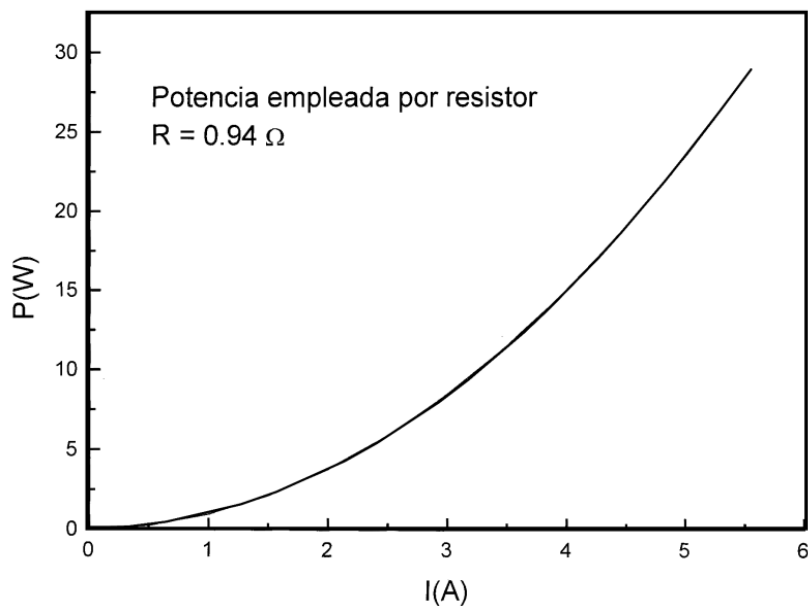
$$P = EI \quad (a)$$

Si además, dicho elemento sigue la ecuación $E = RI$, entonces:

$$P = I^2 R \quad (b)$$

De esta forma, la potencia es directamente proporcional tanto a R como a $(I)^2$.

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental $P-I$ del resistor ($R = 0.94 \, \Omega$).



De la gráfica se puede observar por ejemplo, que para un valor de $I \cong 5 \, A$, la potencia empleada (ó consumida) por dicho elemento, es prácticamente equivalente a la de un foco con filamento ($P \cong 25 \, W$) operando óptimamente.

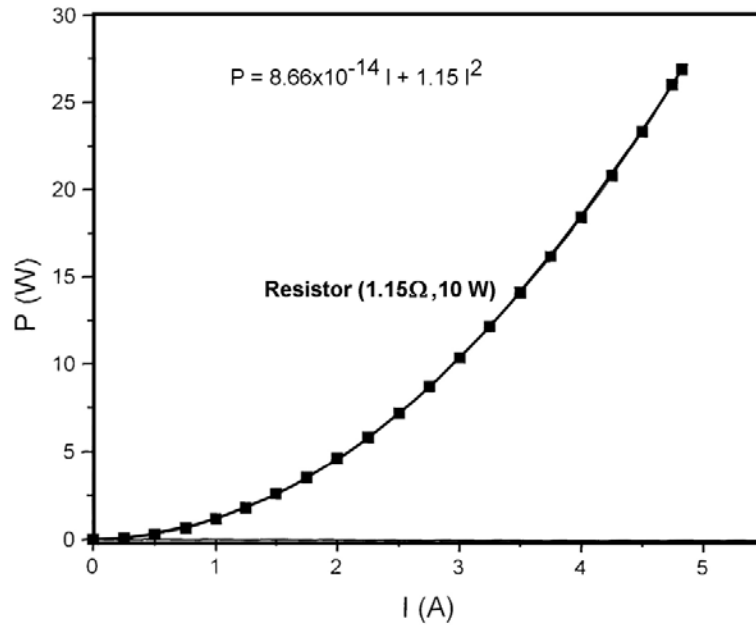
Para fines comparativos solamente, la gráfica siguiente muestra la conducta experimental $P-I$ de un elemento resistor, con $R \cong 1.15 \, \Omega / 10 \, W$ (Experimento 28).

De las dos gráficas se puede observar que por ejemplo, para $I = 4 \, A$, la razón de las potencias:

$$\frac{P_{(R=1.15\Omega)}}{P_{(R=0.94\Omega)}} \cong \frac{18.40 \, W}{15.04 \, W} \cong 1.22$$

es igual a su vez a la razón de las resistencia eléctricas respectivas:

$$\frac{1.15 \Omega}{0.94 \Omega} \cong 1.22$$



El análisis realizado para el resistor, es extensible al circuito base. De esta forma por ejemplo, para un valor dado de I , la suma de las potencias del circuito base y del resistor, es igual a su vez a la potencia total del circuito. Ésta es otra de las propiedades de los circuitos en serie.

En relación al tema anterior, cabe hacerse un comentario respecto a la potencia nominal del resistor. Dicho valor está asociado al de I máxima que puede tolerar el elemento sin sufrir daño bajo operación permanente. Así, para $R = 0.94 \Omega$, el valor máximo de I es igual a:

$$I^2 = \frac{P}{R}; I = \sqrt{\frac{P}{R}} \cong \sqrt{\frac{5 \text{ W}}{0.94 \Omega}}$$

Por tanto

$$I \cong \sqrt{5.32} \cong 2.3 \text{ A}$$

El hecho de que en el experimento se haya rebasado dicho valor sin dañar el resistor, obedece a las condiciones de operación y medición practicadas (esto es, cierre del circuito, lectura instantánea y simultánea de E e I y apertura inmediata del circuito).

También y en relación a este punto, es interesante analizar las condiciones físicas de operación de un resistor bajo cambios en su potencia nominal.

Tomemos por caso un resistor cuya $R = 0.97 \, \Omega$ ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) y $P = 2 \, \text{W}$ (Experimento 25). Para dicho resistor, la $I_{\text{máx}}$ es igual a:

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} \cong \sqrt{\frac{2\text{W}}{0.97\Omega}} \cong \sqrt{2.062} \, \text{A}$$

Por lo tanto $I_{\text{máx}} \cong 1.4 \, \text{A}$.

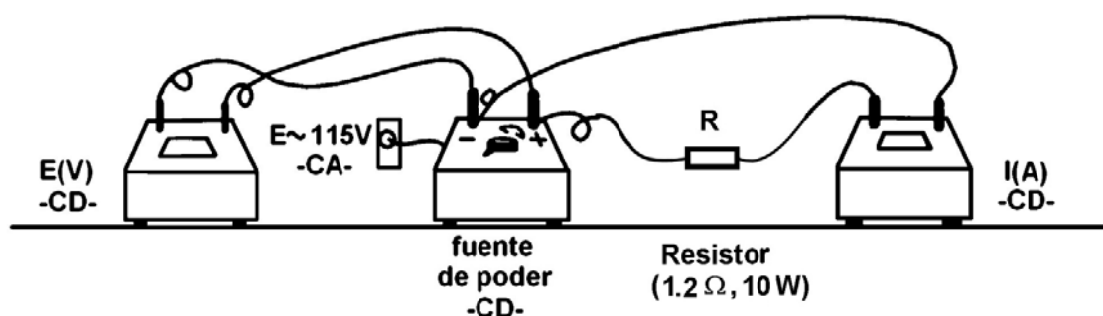
Vemos por tanto que para dos resistores con una resistencia eléctrica ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) muy similar ($0.94 \, \Omega$; $0.97 \, \Omega$), pero con potencias nominales respectivas de $5 \, \text{W}$ y $2 \, \text{W}$, el primero tolera valores mayores de I máxima para operar ininterrumpidamente sin sufrir daño físico.

Como colofón, en la experiencia presente están implícitos conceptos y operaciones que en su conjunto posibilitan la exploración somera de ciertas propiedades de la materia, como lo es en este caso el estudio de la resistencia a la conducción eléctrica (bajo condiciones isotérmicas) por parte de un dispositivo denominado resistor tipo cerámico.

Experimento 28. Conducta experimental E-I ($R = \text{cte}$; $\theta = \text{cte}$) Resistor ($R = 1.2 \, \Omega$, $P = 10 \, \text{W}$)

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota. En el experimento presente se emplea como elemento R a un resistor tipo cerámico de valor nominal $1.2 \, \Omega / 10 \, \text{W}$.

El experimento se realiza bajo restricciones térmicas ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) en el circuito.

2. Establecer la ventilación sobre el circuito. Establecer el equilibrio térmico entre el circuito y la sala experimental ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$).
3. Cerrar el circuito y establecer rápidamente la menor posible diferencia de potencial eléctrico (E). Tomar registro inmediato de E y de I. Abrir rápidamente el circuito.
4. Repetir (3) para valores ascendentes de E.

Resultados y discusión

La tabla siguiente presenta los valores experimentales de E e I ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) correspondientes al circuito nuevo en estudio.

E(V)	I(A)
0.0	0.00
~1.45	~1.035
1.5	~1.095
1.6	1.16
1.7	1.24

~1.75	1.28
1.9	1.37
2.1	1.53
~2.45	1.76
~2.85	2.06
3.2	2.30
~3.85	2.76
4.7	3.37
6.5	4.68
6.7	4.83

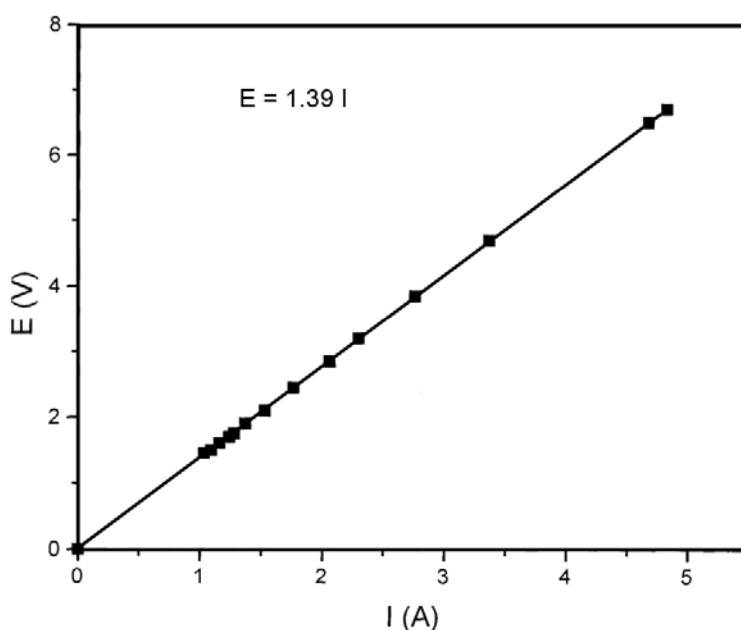
La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del circuito nuevo bajo estudio, a condiciones isotérmicas. La respuesta E–I es de carácter lineal, es decir, el circuito sigue la ecuación $E = RI$. Para el intervalo de condiciones exploradas, el circuito nuevo presenta una resistencia eléctrica total = 1.39Ω .

No obstante lo anterior, es importante también evaluar la conducta E–I del elemento nuevo incorporado en dicho circuito, y que es un resistor de valor nominal 1.2Ω , 10 W. Dado que dicho elemento de resistencia eléctrica (y carga) está conectado en serie en el circuito nuevo bajo estudio, se cumple:

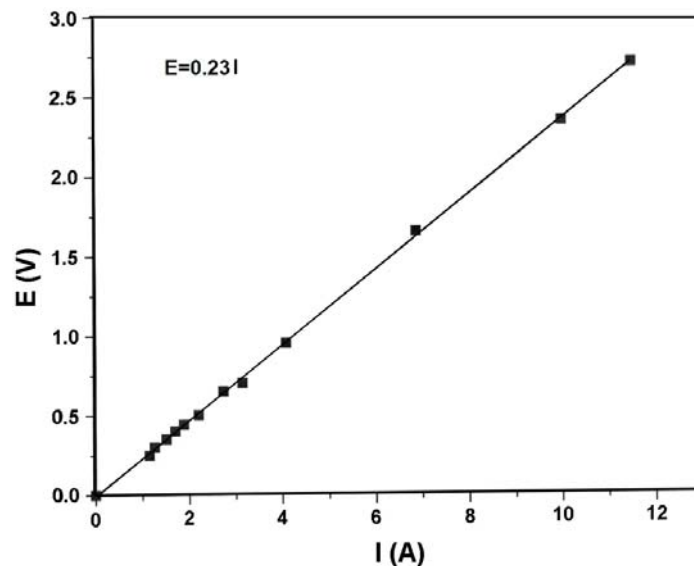
$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + R(\text{resistor})$$

Por tanto:

$$R(\text{resistor}) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

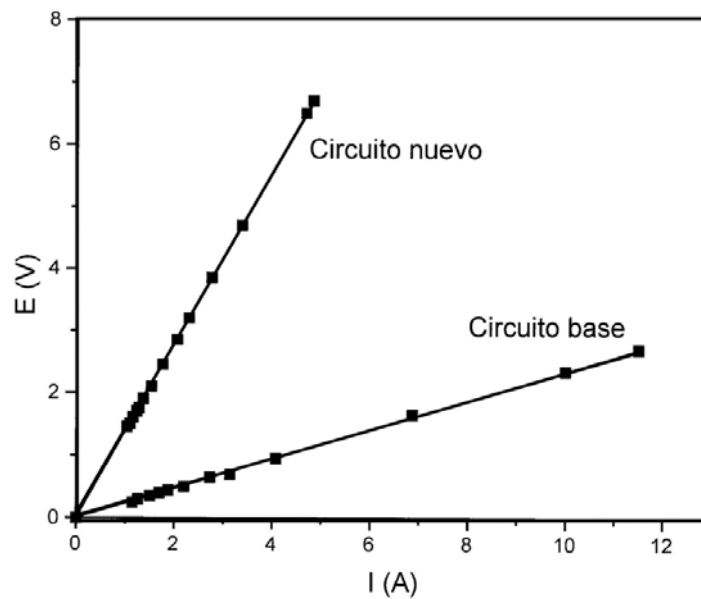


De esta forma, para evaluar la conductancia $E-I$ del resistor, es necesario realizar la sustracción de las dos funciones que aparecen en el segundo miembro de la ecuación última. En relación a este punto, la gráfica siguiente ilustra la conductancia experimental $E-I$ (bajo condiciones homólogas isotérmicas) del circuito base (Experimento 1).



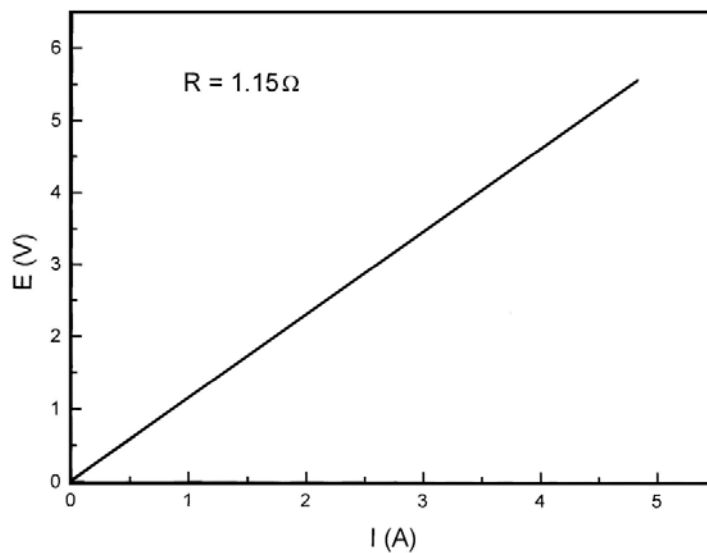
Para dicho circuito, la respuesta $E-I$ también es de carácter lineal ($E = RI$). Para el intervalo de condiciones exploradas, el circuito base presenta una resistencia eléctrica total = 0.23Ω .

La gráfica siguiente presenta la conductancia experimental $E-I$ tanto del circuito base como del circuito nuevo bajo estudio. Ambas conductancias corresponden a condiciones isotérmicas homólogas. La diferencia entre las pendientes de ambas respuestas $E-I$, obedece a la contribución de la resistencia eléctrica por parte del resistor, a la resistencia eléctrica total del circuito nuevo bajo estudio.



La gráfica siguiente presenta la conducta experimental E – I (a condiciones isotérmicas) del elemento resistor (valor nominal 1.2Ω , 10 W). La respuesta es de carácter lineal ($E = RI$).

Para el intervalo de condiciones experimentales cubiertas, la resistencia eléctrica de dicho elemento a la conducción eléctrica es $= 1.15 \Omega$.



Un aspecto pedagógico en el estudio presente, es evaluar también la conducta de la potencia eléctrica de los segmentos que componen el circuito bajo estudio, es decir, la conducta de la potencia eléctrica del circuito base, del elemento nuevo (resistor), así como del circuito nuevo en su totalidad. A este respecto la operación

de todo circuito eléctrico, no superconductor, implica consumo de energía eléctrica; el consumo referido a una unidad de tiempo se asocia a la potencia eléctrica de dicho circuito, correspondiente a determinadas condiciones de operación. La potencia eléctrica (P) es igual al producto EI:

$$P = EI$$

Si: E es la diferencia de potencial eléctrico (en volt) e I es la intensidad de corriente eléctrica (en ampere).

Entonces:

P = potencia eléctrica en watts (joule/s).

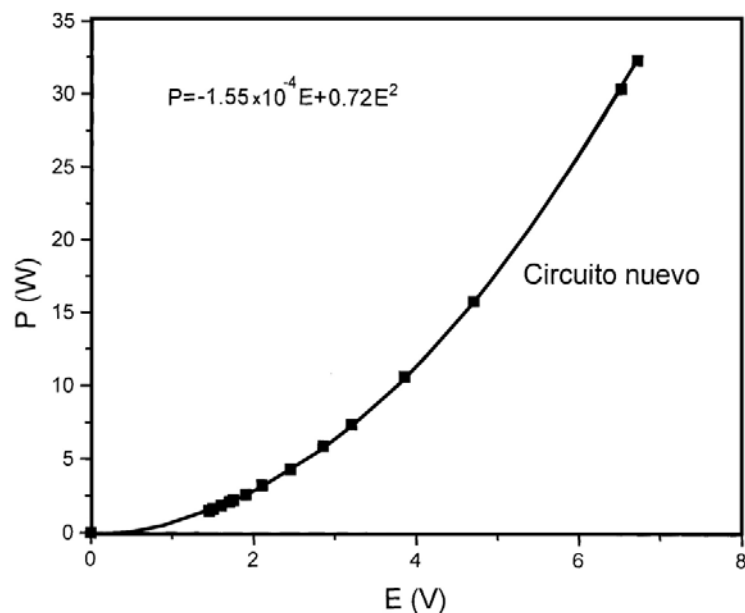
Por otra parte, para un sistema que cumple la ecuación $E = RI$, se tiene también que la potencia eléctrica de dicho sistema es igual a:

$$P = EI = (RI)(I) = I^2R$$

Estas últimas expresiones permitirán evaluar dicha potencia.

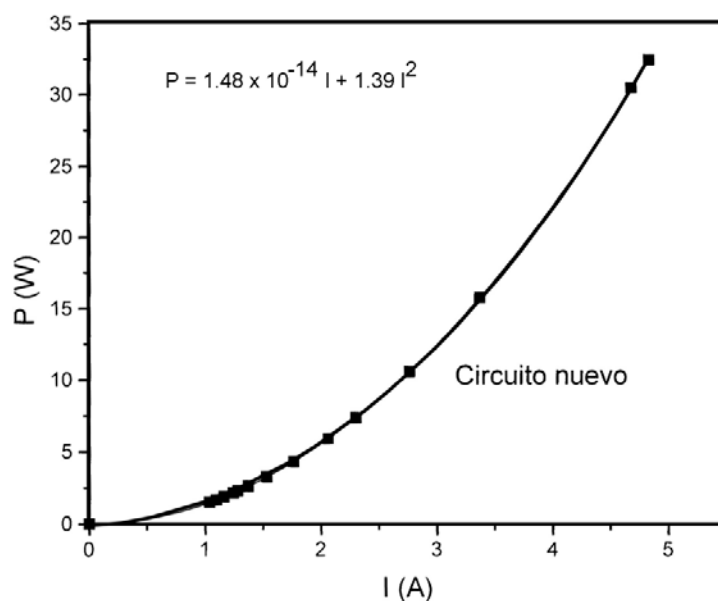
La gráfica siguiente muestra la conducta experimental de la potencia eléctrica (P) del circuito nuevo bajo estudio, en función de la diferencia de potencial eléctrico E aplicado, usando los valores de P obtenidos como el producto (EI).

Se observa un incremento de P con el ascenso en los valores de E.

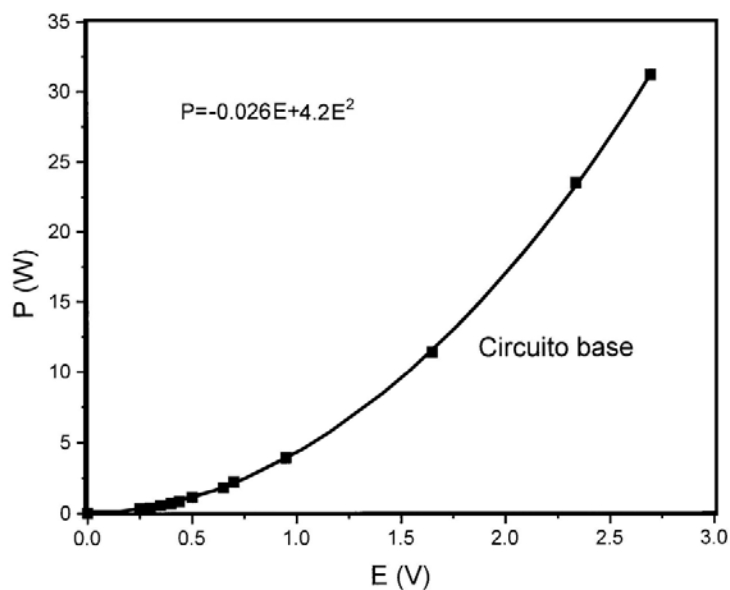


Otra forma de evaluar dicha potencia eléctrica, es a través de la expresión $P = EI = (RI)(I) = I^2R$. La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental de P en función de I para dicho circuito. La conducta de P aquí obtenida es equivalente a la mostrada en la gráfica P – E .

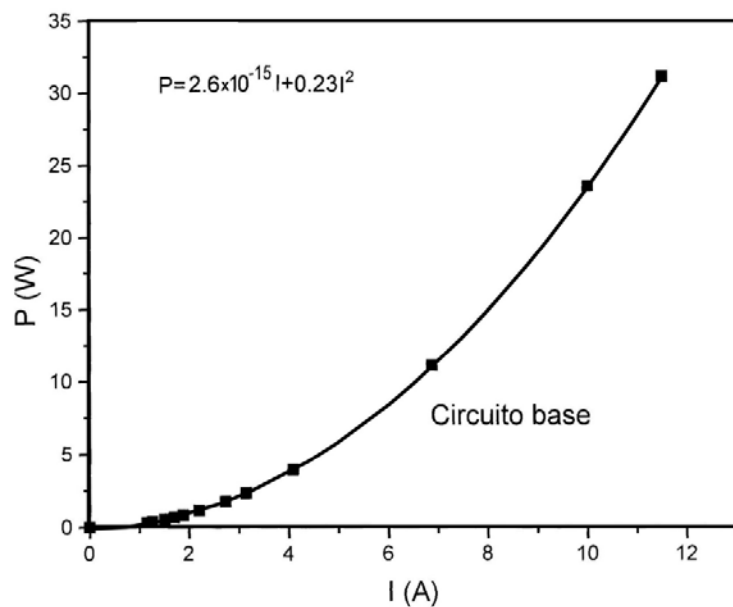
De lo anterior podemos extraer el valor de la potencia eléctrica del circuito nuevo, bajo condiciones específicas de operación de éste (véase discusión final).



Siguiendo un procedimiento análogo para el circuito base (Experimento 1), es posible obtener también la conducta de P en función de E ó en función de I . La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental P – E del circuito base.



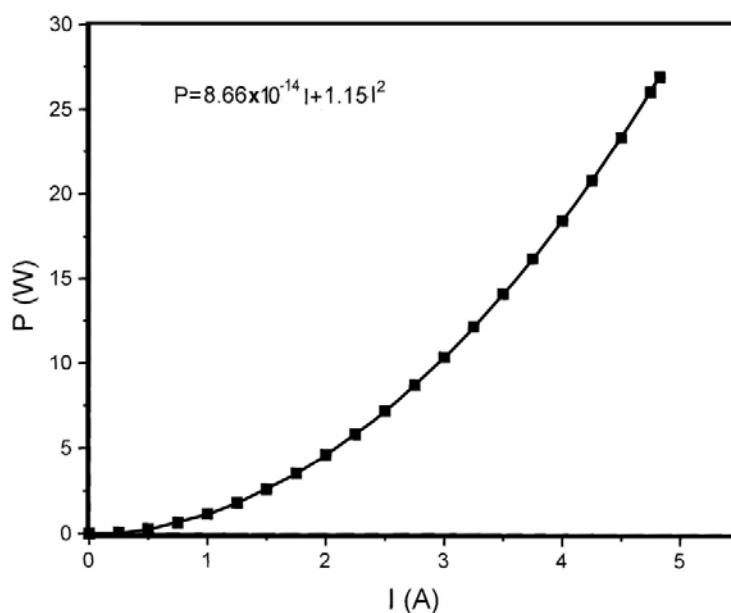
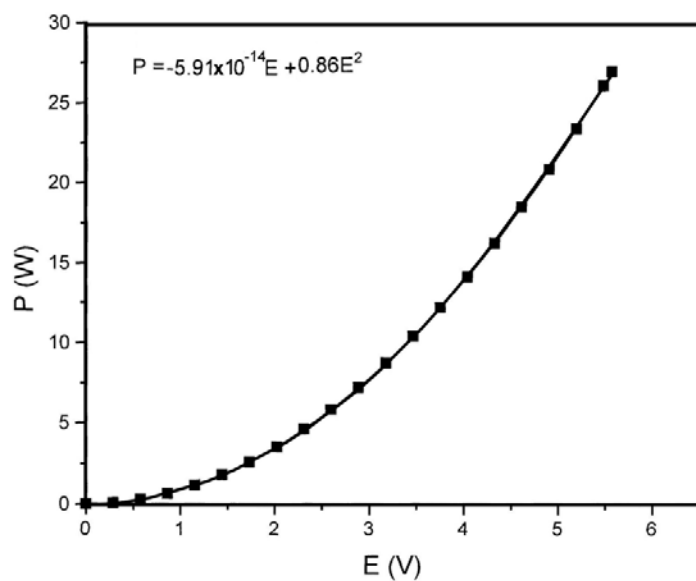
La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental P – I del mismo circuito. Los valores de P son iguales entre ambas representaciones. Así también, es posible evaluar los valores de P para condiciones particulares de operación (véase discusión final).



De la misma forma, es posible obtener la potencia eléctrica correspondiente al elemento resistor. Las dos gráficas siguientes muestran respectivamente la conducta experimental P – E y la conducta experimental P – I . Ambas representaciones arrojan valores de P para un par dado E – I . De esta forma, para

dicho par, es posible conocer el valor correspondiente de P . De las dos gráficas citadas se puede observar que para valores de $E \cong 3.4 \text{ V}$ e $I \cong 3 \text{ A}$, el elemento resistor está en el límite de su capacidad de trabajo permanente sin sufrir daño.

Aquí, la potencia de un elemento resistor dado está asociada al valor máximo de I (a través de él) sin provocar daño, bajo condiciones permanentes de trabajo. Como ejemplo, tomemos los casos siguientes:



Sea: $R = 1\Omega$ y a) $P = 1\text{ W}$; b) $P = 5\text{ W}$.

$$\text{a) } P = I^2 R; I^2 = \frac{P}{R}; I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

Por lo tanto

$$I_{\text{máx}} \cong 1\text{ A.}$$

$$\text{b) } P = I^2 R; I^2 = \frac{P}{R}; I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

Por lo tanto

$$I_{\text{máx}} \cong 2.2\text{ A.}$$

Para el resistor aquí estudiado:

$$R \cong 1.15\Omega, P = 10\text{ W.}$$

Por lo tanto

$$I_{\text{máx}} = \sqrt{\frac{10\text{ W}}{1.15\Omega}} \cong \sqrt{8.69} \cong 2.95\text{ A.}$$

O también:

$$P = EI$$

Por lo tanto

$$E_{\text{máx}} = \frac{P}{I} \cong \frac{10\text{ W}}{2.95\text{ A}} \cong 3.39\text{ V.}$$

El hecho de que en el estudio presente se haya rebasado la potencia del elemento resistor sin causar su deterioro, se debe a las condiciones de operación experimental practicadas (es decir, lecturas realizadas bajo operación instantánea del circuito).

Como parte de este estudio, es interesante analizar también, dado por ejemplo un valor de I experimental, cuál es el valor de P tanto para el circuito base como para el elemento resistor, y cómo es dicha suma respecto a la P obtenida en forma independiente para el circuito total (circuito nuevo).

Dado que en el circuito en serie el valor de I es el mismo para todos los segmentos del circuito, y dado que dichos segmentos siguen la ecuación $E = RI$, entonces se puede evaluar P_i como el producto $I^2 R_i$.

Como ejemplo, tomemos para I el valor de 3 A. Por tanto:

- a) La potencia eléctrica para el circuito nuevo es igual a:

$$P = I^2 R = (9A^2)(1.39\Omega) = 12.5 W$$

- b) La potencia eléctrica para el circuito base es igual a:

$$P = I^2 R = (9A^2)(0.23\Omega) = 2.1 W$$

- c) La potencia eléctrica para el elemento resistor es igual a:

$$P = I^2 R = (9A^2)(1.15\Omega) = 10.4 W$$

Se observa que:

$$\sum (P_{\text{circuito base}} + P_{\text{resistor}})_I = (P_{\text{circuito nuevo}})_I$$

Es decir:

$$(\sum P_i)_I = (P_{\text{total del circuito}})_I.$$

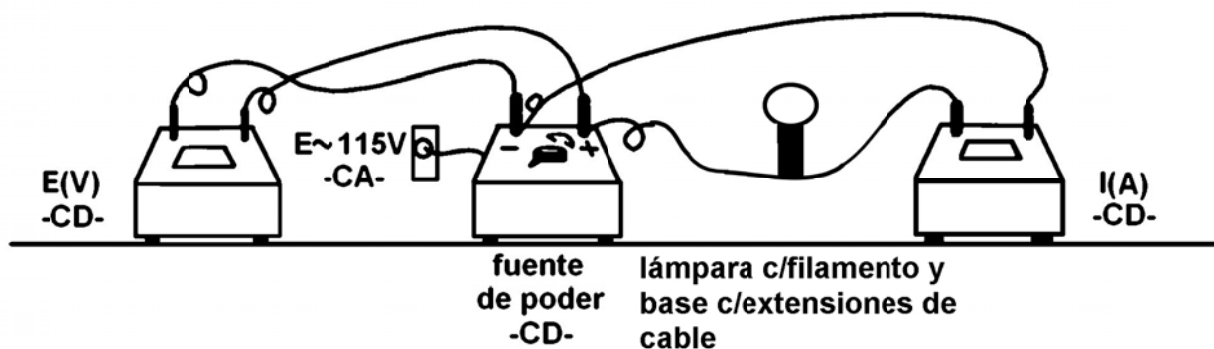
Esta es otra propiedad de los circuitos en serie.

Por último, en la experiencia presente están considerados conceptos y operaciones experimentales que en su conjunto posibilitan la exploración somera de ciertas propiedades de la materia, como es en este caso el estudio de la resistencia a la conducción eléctrica de los segmentos de un circuito eléctrico, así como de la potencia de ellos asociada a condiciones diversas de operación.

Experimento 29. Conducta experimental E-I ($R \neq \text{cte}$; $\theta = \text{cte}$) Lámpara $\sim 6 \text{ V}$ ($R \sim 5.1 \Omega$)

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota. En el experimento presente se emplea como elemento R a una lámpara de filamento ($\sim 6 \text{ V}$) con base y conexiones de cable.

El experimento se realiza bajo restricciones térmicas ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) en el circuito.

2. Establecer la ventilación sobre el circuito. Establecer el equilibrio térmico entre el circuito y la sala experimental ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$).

3. Cerrar el circuito y establecer rápidamente la menor posible diferencia de potencial eléctrico (E). Tomar registro inmediato de E y de I. Abrir rápidamente el circuito.

4. Repetir (3) para valores ascendentes de E.

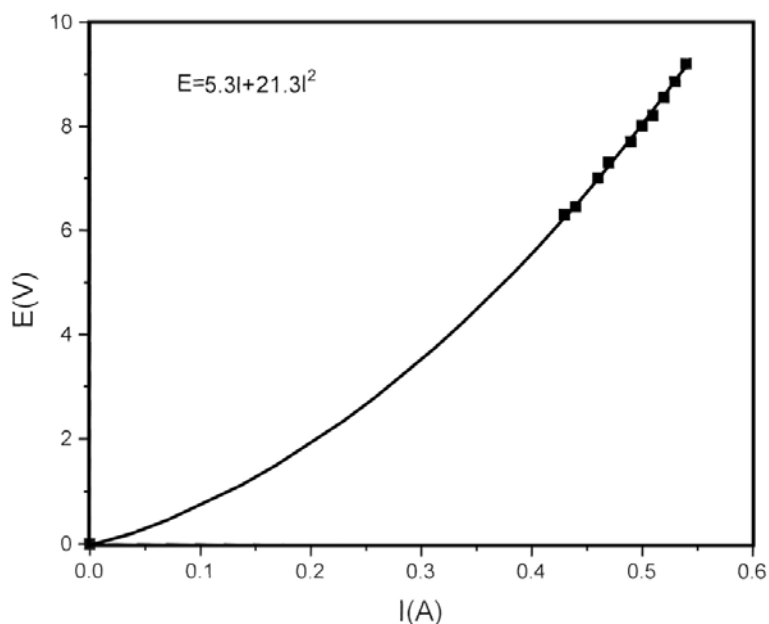
Resultados y discusión

La tabla siguiente presenta los valores experimentales de E e I ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) correspondientes al circuito nuevo en estudio.

E(V)	I(A)
0.0	0.00
6.3	0.43
~ 6.45	0.44

7.0	0.46
7.3	0.47
7.7	0.49
8.0	0.50
8.2	0.51
~8.55	0.52
~8.85	0.53
9.2	0.54

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del circuito nuevo bajo estudio, y que contiene como elemento eléctrico nuevo una lámpara con filamento y base con extensiones. No obstante que el experimento fue realizado bajo la intención de mantener constante tanto la temperatura del circuito base, como la del elemento nuevo de resistencia eléctrica, la conducta obtenida permite sugerir que en realidad dicha condición no fue cumplida cabalmente. La conducta global del circuito corresponde a la de un sistema el cual presenta un incremento en su resistencia eléctrica con el ascenso de E. No obstante lo anterior, para valores de E e I próximos a cero, el sistema (circuito nuevo) sigue la conducta $E = RI$. Para dicho intervalo de condiciones, el sistema presenta una resistencia eléctrica total a la conducción eléctrica, aproximada a $5.3 \, \Omega$.



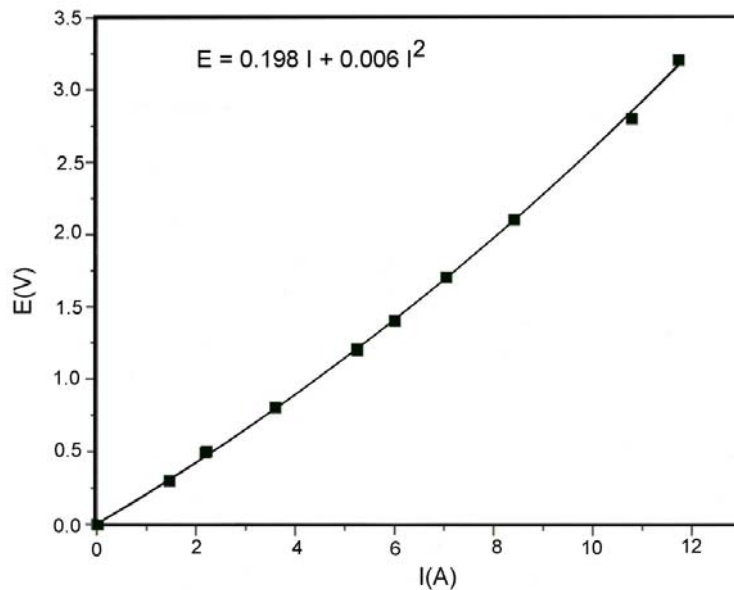
No obstante dicho avance, también es importante evaluar la conducta experimental E–I del elemento nuevo de resistencia eléctrica presente en el circuito (esto es, la conducta de la lámpara con base y extensiones). Dado que dicho elemento se encuentra conectado en serie, se cumple:

$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + R(\text{lámpara con base y extensiones})$$

Por tanto:

$$R(\text{lámpara con base y extensiones}) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

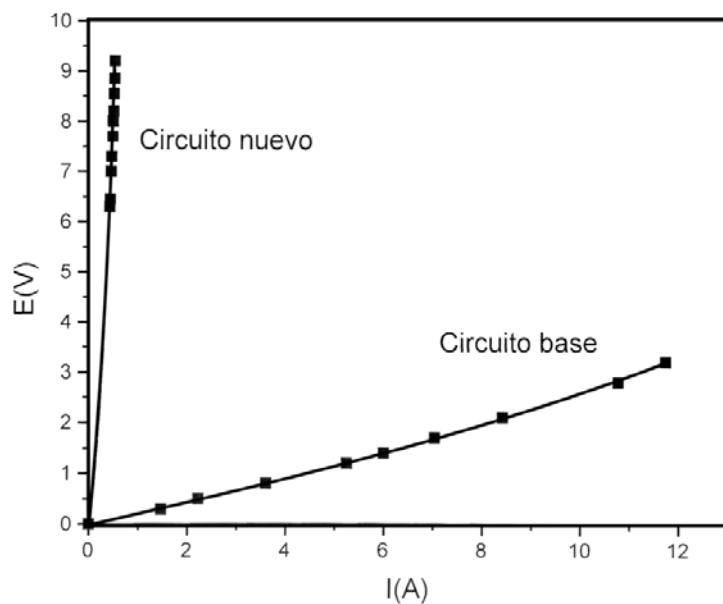
De esta forma, para evaluar dicha conducta, es necesario realizar la sustracción de las dos funciones del segundo miembro de la ecuación última. Sobre este punto, la gráfica siguiente muestra la conducta experimental E–I del circuito base bajo inexistencia de restricciones de carácter térmico (Experimento 2).



La respuesta del circuito base es no lineal, y se identifica también con la mostrada por un sistema el cual presenta incremento en su resistencia eléctrica con el ascenso de E.

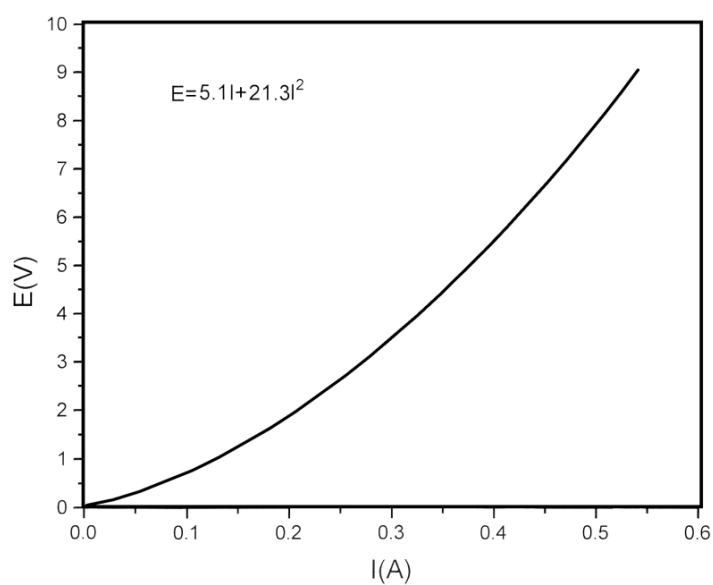
Al igual que el circuito nuevo, el circuito base se aproxima a la conducta $E = IR$ en el límite $E \rightarrow 0 \text{ V}$, $I \rightarrow 0 \text{ A}$. Para dicho intervalo de condiciones, la resistencia eléctrica total del circuito base es $\sim 0.2 \Omega$.

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I tanto del circuito base como del circuito nuevo, bajo condiciones no isotérmicas.



La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E – I del elemento R . La conducta es no lineal, y se identifica también con la mostrada por un sistema el cual presenta un incremento en su resistencia eléctrica con el ascenso de E . En relación a la conducta global E – I obtenida para el elemento R , se sugiere que ésta está dominada preponderantemente por el filamento de la lámpara, que es el que contribuye en medida mayor a la resistencia eléctrica total del circuito.

Sin embargo en el límite $E \rightarrow 0$ V, $I \rightarrow 0$ A, el sistema se aproxima a la conducta $E = IR$. Para dicho intervalo de condiciones, la lámpara con base y extensiones presenta una resistencia eléctrica aproximada a 5.1Ω .



Un aspecto que pudiera ser de interés en el estudio presente, es el que concierne al análisis de la conducta de la potencia del elemento nuevo R incorporado en el circuito bajo estudio. A este respecto todo elemento de resistencia eléctrica en un circuito, transforma energía eléctrica en energía térmica. La potencia (P) de dicho elemento (energía eléctrica consumida por cada unidad de tiempo) se establece como el producto EI:

$$P = EI \quad (a)$$

Si además, dicho elemento cumple con la ecuación $E = RI$, entonces:

$$P = I^2 R \quad (b)$$

La ecuación (a) es útil particularmente para el sistema estudiado aquí. Se desprende de ella que P es directamente proporcional tanto a E como a I.

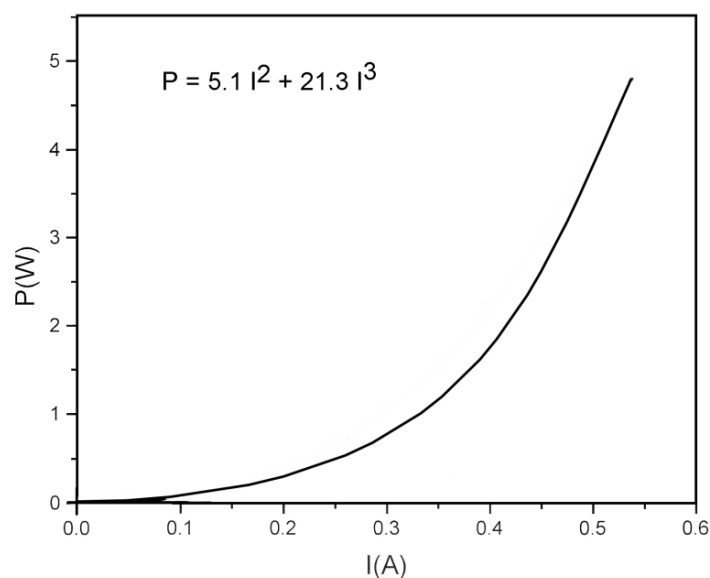
En relación al sistema lámpara con base y extensiones, la conducta E-I corresponde a la función:

$$E = aI + bI^2 \quad (c)$$

Relacionando (a) y (c) se tiene

$$EI = P = aI^2 + bI^3 \quad (d)$$

Esta función permite evaluar la conducta de P frente a I para el conjunto R. La gráfica siguiente muestra dicha relación.



De la gráfica se desprende por ejemplo, que para un valor de $I = 0.5 \text{ A}$, la potencia eléctrica del sistema R es 3.96 W . Este valor significa que dicho sistema disipará (bajo dichas condiciones) 3.96 J como energía térmica en cada segundo de operación.

Para el mismo valor de I , el circuito base presenta una potencia ($P = EI$) igual a 0.05 W . El circuito base generaría 0.05 J como energía térmica por cada segundo de operación bajo dichas condiciones.

Así también y para $I = 0.5 \text{ A}$, el circuito nuevo (circuito base + lámpara con base y extensiones) presenta por su parte una potencia ($P = EI$) igual a 4.01 W . Dicho circuito disiparía 4.01 J como energía térmica por cada segundo de operación.

Se observa que para dicho valor de I , la suma de las potencias del circuito base y del conjunto R, es igual a su vez a la potencia eléctrica total del circuito nuevo. Esto se cumple para cualquier valor de I . De hecho, lo anterior es una propiedad más de los circuitos en serie. Dicha propiedad se expresa en la forma siguiente:

$$(\sum P_i)_I = (P_{total \text{ del circuito}})_I.$$

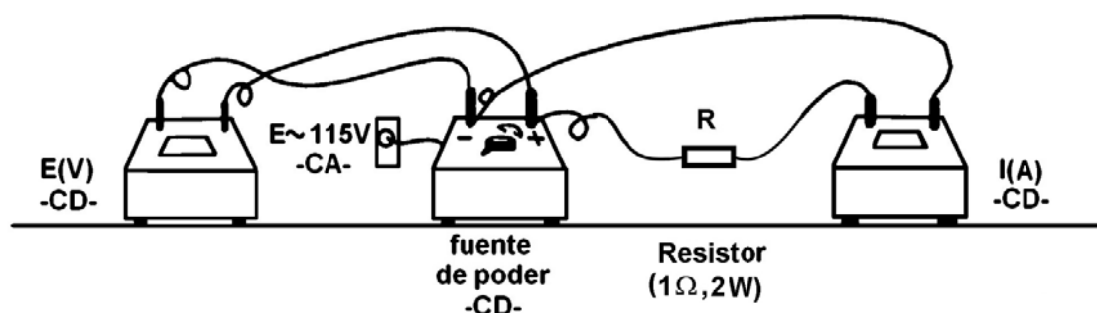
En relación también a este tema y para el ejemplo aquí abordado, la potencia empleada por el sistema R representa el 98.75% de la potencia total del circuito nuevo. El circuito base emplea una potencia la cual representa el 1.25% . Dichos valores representan también los porcentajes respectivos de energía térmica disipada por cada una de las dos partes y por cada unidad de tiempo de operación del circuito nuevo bajo dichas condiciones.

Como colofón, en el experimento presente están implícitos conceptos y operaciones experimentales que en su conjunto posibilitan la exploración somera de ciertas propiedades de la materia, como lo es en este caso el estudio de la resistencia a la conducción eléctrica por parte de un sistema lámpara de filamento-base-extensiones.

Experimento 30. Conducta experimental E-I ($R = \text{cte}$; $\theta = \text{cte}$ (θ_{amb})) Resistor ($\sim 1 \Omega$, $\sim 2 \text{ W}$)

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota. En el experimento presente se emplea como elemento R a un resistor tipo cerámico de valor nominal $1 \Omega/2 \text{ W}$.

El experimento se realiza bajo restricciones térmicas ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) en el circuito.

2. Establecer la ventilación sobre el circuito. Establecer el equilibrio térmico entre el circuito y la sala experimental ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$).
3. Cerrar el circuito y establecer rápidamente la menor posible diferencia de potencial eléctrico (E). Tomar registro inmediato de E y de I. Abrir rápidamente el circuito.
4. Repetir (3) para valores ascendentes de E.

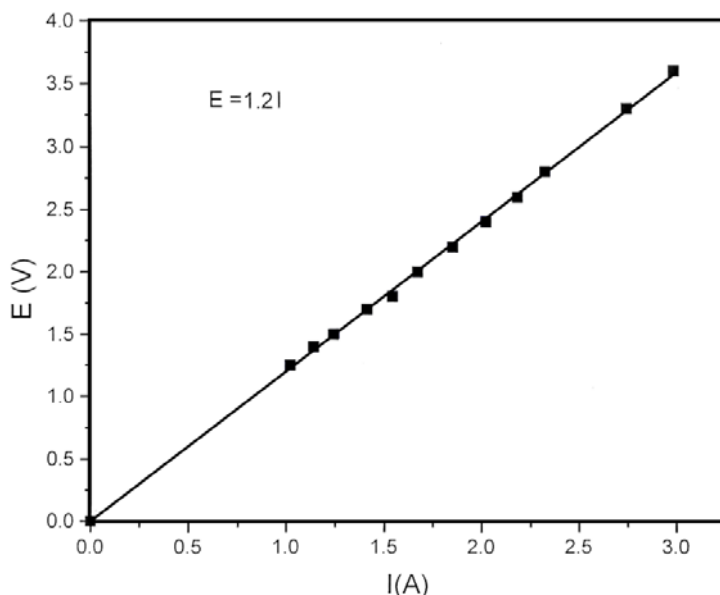
Resultados y discusión

La tabla siguiente presenta los valores experimentales de E e I ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) correspondientes al circuito nuevo en estudio.

E(V)	I(A)
0.0	0.00
~ 1.25	1.02
1.4	1.14
1.5	1.24
1.7	1.41

1.8	1.54
2.0	1.67
2.2	1.85
2.4	2.02
2.6	2.18
2.8	2.32
3.3	2.74
3.6	2.98

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I (a condiciones isotérmicas, $\theta \cong 20^{\circ}\text{C}$) del circuito nuevo bajo estudio, y que presenta a un resistor de valor nominal $1\ \Omega/2\ \text{W}$. La respuesta del circuito es lineal ($E = RI$). Para el intervalo de condiciones experimentales cubiertas, el circuito eléctrico presenta una resistencia eléctrica total igual a $1.2\ \Omega$.



No obstante este avance, también es importante evaluar la conducta experimental E–I del resistor. Dado que dicho elemento se encuentra conectado en serie, se cumple:

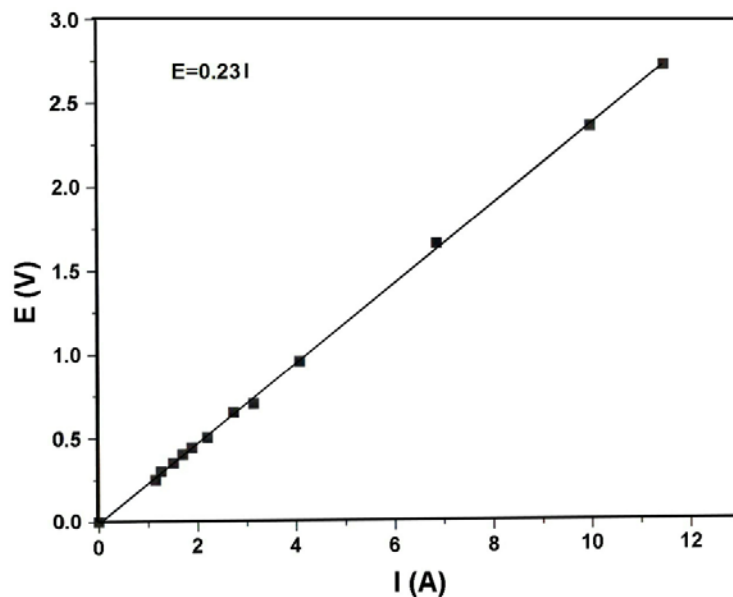
$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + R(\text{resistor})$$

Por tanto:

$$R(\text{resistor}) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

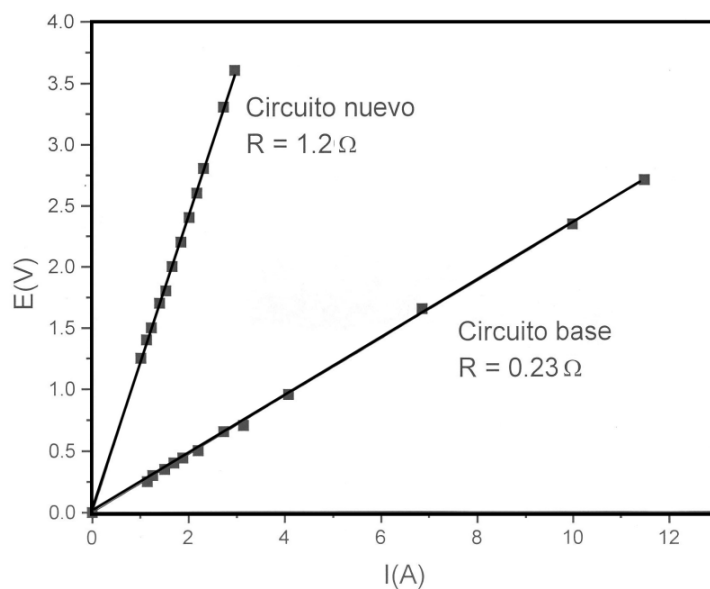
De esta forma, para evaluar dicha conducta, es necesario realizar la sustracción de las dos funciones del segundo miembro de la ecuación última. En relación a lo

anterior, la gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del circuito base a $\theta \cong 20^{\circ}\text{C}$ (Experimento 1).



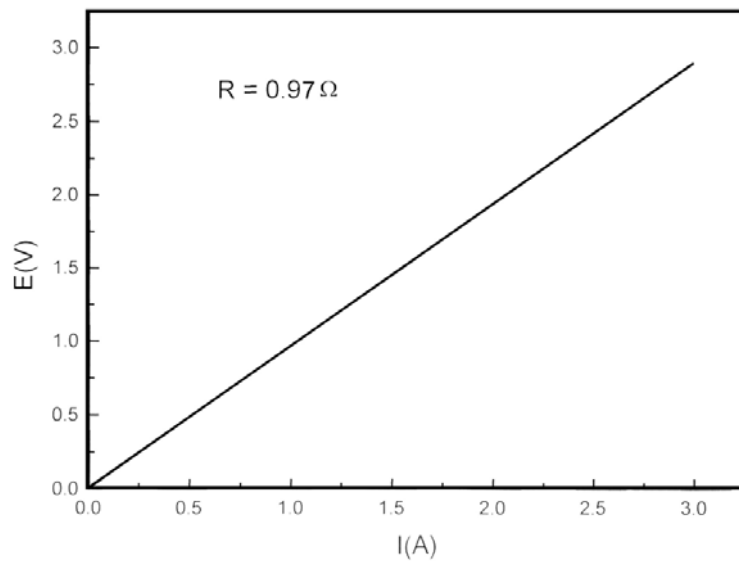
La respuesta también es lineal ($E = IR$). Para el intervalo de condiciones exploradas, el circuito base presenta una resistencia eléctrica total igual a $0.23\ \Omega$.

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I tanto del circuito base como del circuito nuevo bajo estudio. Ambas conductas corresponden a $\theta \cong 20^{\circ}\text{C}$.



La diferencia de pendientes es la diferencia de resistencias eléctricas totales entre ambos circuitos. La resistencia eléctrica comparativamente mayor del circuito nuevo es debida a la contribución de la resistencia eléctrica por parte del resistor.

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental $E-I$ ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) del resistor. La respuesta de dicho elemento es lineal ($E = IR$). Para el intervalo experimental cubierto, el elemento presenta una resistencia eléctrica igual a $0.97\ \Omega$. Dicho valor es cercano al nominal comercial ($1\ \Omega$) de dicho elemento.



En relación también a este experimento, un aspecto que pudiera ser de interés es el que concierne al análisis de la conducta del proceso denominado “caída” de potencial eléctrico en un circuito, proceso ocasionado por todo elemento de resistencia eléctrica. Así, en un circuito en serie que presenta i elementos de resistencia eléctrica (cualquiera que sea su naturaleza), cada elemento i provocará (a un valor dado de I) una “caída” (diferencia) de potencial eléctrico, ΔE_i , caracterizado por el valor de I y por el valor de la resistencia eléctrica de dicho elemento:

$$(\Delta E_i)_I = I R_i$$

La suma de todos los $(\Delta E_i)_I$ es igual a la $(\Delta E_{\text{total}})_I$, es decir, a la diferencia de potencial eléctrico entre las terminales de la fuente de poder, asociada a dicho valor de I . Esta igualdad es una propiedad más de los circuitos en serie, la cual se puede expresar también en la forma:

$$\left(\sum \Delta E_i \right)_I = (\Delta E_T)_I$$

En relación al circuito bajo estudio, éste se compone esquemáticamente de dos bloques: el circuito base y el resistor. Cada bloque presenta un valor de R (a $\theta \cong 20^\circ\text{C}$). Si se asume que cada bloque equivale a un elemento de resistencia eléctrica, entonces se tiene:

$$(\Delta E_1 + \Delta E_2)_I = (\Delta E_T)_I$$

Así también:

$$(IR_1 + IR_2)_I = (IR_T)_I$$

Ó:

$$I(R_1 + R_2) = IR_T$$

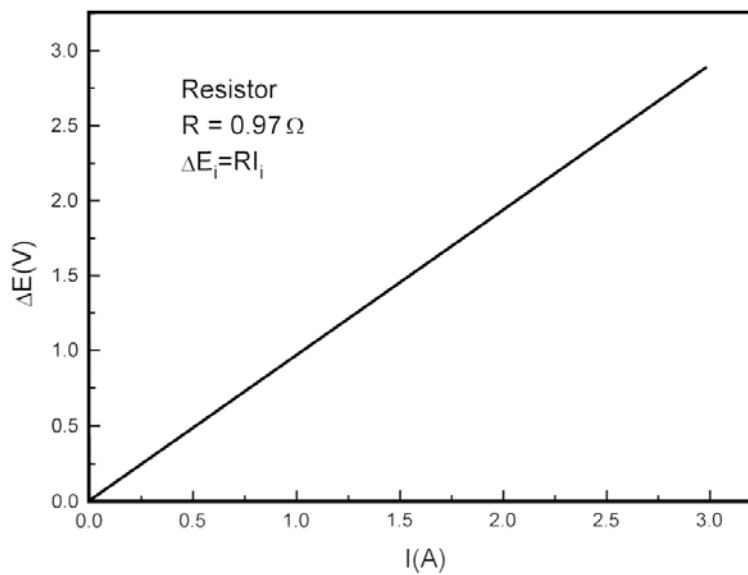
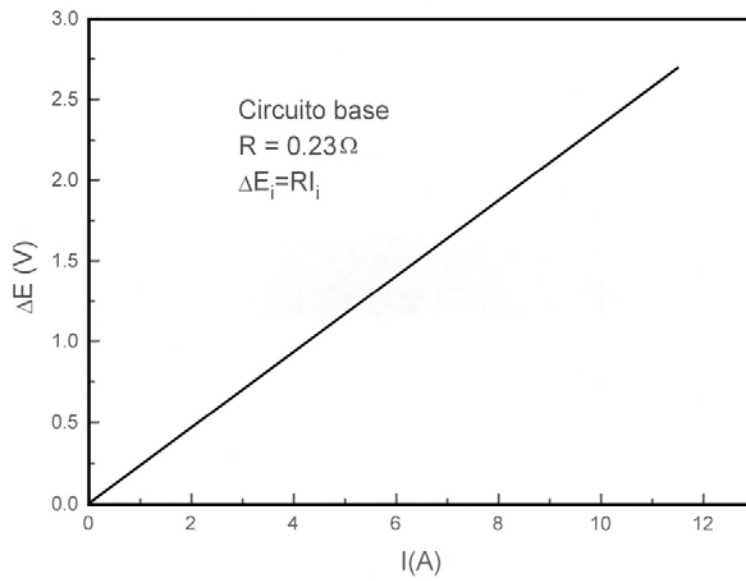
Dicha ecuación no sólo refleja una condición primaria de todo circuito en serie, como es que $\sum R_i = R_T$. También contiene la condición comentada anteriormente, en la modalidad $(\Delta E)_i - I$. Esto se ve más claramente a continuación.

Para cada elemento de resistencia eléctrica en el circuito bajo estudio (R_1 , circuito base; R_2 , resistor):

$$(\Delta E_1)_I = R_1 I$$

$$(\Delta E_2)_I = R_2 I$$

Estas igualdades corresponden exactamente a las gráficas $E-I$ tanto del circuito base como del resistor, presentadas anteriormente. Las dos gráficas siguientes muestran la conducta $(\Delta E)_i - I$ para ambos elementos de resistencia eléctrica, a $\theta \cong 20^\circ\text{C}$.



Analizamos un ejemplo. Así, para $I = 2.0\text{ A}$,

a) $\Delta E_1 = (0.23\Omega)(2\text{A}) = 0.46\text{ V}$.

Esta es la diferencia (“caída”) de potencial eléctrico a través del circuito base.

b) $\Delta E_2 = (0.97\Omega)(2\text{A}) = 1.94\text{ V}$.

Esta es la diferencia (“caída”) de potencial eléctrico a través del resistor.

La diferencia (“caída”) de potencial eléctrico total en el circuito nuevo = $\Delta E_1 + \Delta E_2 = 2.4\text{ V}$.

Si se consulta la gráfica $E-I$ ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) del circuito nuevo bajo estudio (la cual es equivalente a la gráfica $\Delta E-I$ para el mismo circuito), se deduce que para $I = 2.0\text{ A}$, la $\Delta E_T = (1.2\Omega)(2\text{A}) = 2.4\text{ V}$.

Dicho valor es tanto la diferencia (“caída”) de potencial eléctrico en el circuito nuevo asociada a dicho valor de I , como la diferencia de potencial eléctrico entre las terminales de la fuente de poder conectada a dicho circuito, asociada también al valor de I acotado anteriormente.

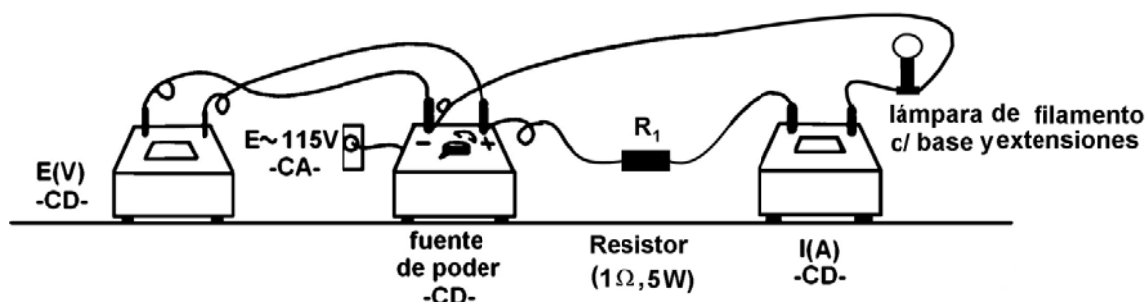
Así, y para $I = 2.0\text{ A}$, el elemento resistor provoca una “caída” de potencial eléctrico equivalente al $\sim 80.5\%$ del total en el circuito. El circuito base aporta el $\sim 19.5\%$. Un análisis sobre este punto permite establecer que dichos porcentajes son independientes de I (para el intervalo de condiciones experimentales aquí exploradas).

Como colofón, en el experimento presente están implícitos conceptos y operaciones experimentales que en su conjunto posibilitan la exploración somera de ciertas propiedades de la materia, como lo es en este caso el estudio de la resistencia a la conducción eléctrica por parte de un dispositivo denominado resistor tipo cerámico.

Experimento 31. Conducta experimental $E-I$ ($\theta \cong \text{cte}$; $R \neq \text{cte}$) Circuito en serie con $R = 1 \Omega/5 \text{ W}$; $R_2 = \text{lámpara } \sim 1 \Omega/6\text{V}$

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota. En el experimento presente se emplean respectivamente como elementos R_1 y R_2 a un resistor tipo cerámico (de valor nominal $1 \Omega/5 \text{ W}$) y a una lámpara de filamento ($\sim 6\text{V}$) con base y extensiones de cable.

El experimento se realiza bajo restricciones térmicas ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) en el circuito.

2. Establecer la ventilación sobre el circuito. Establecer el equilibrio térmico entre el circuito y la sala experimental ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$).

3. Cerrar el circuito y establecer rápidamente la diferencia menor posible de potencial eléctrico (E). Tomar registro inmediato de E y de I . Abrir rápidamente el circuito.

4. Repetir (3) para valores ascendentes de E .

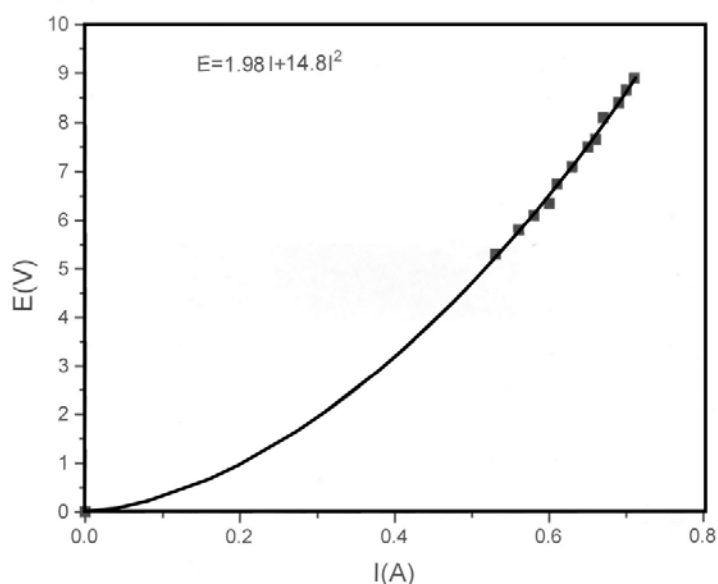
Resultados y discusión

La tabla siguiente presenta los valores experimentales de E e I ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) correspondientes al circuito nuevo en estudio.

$E(\text{V})$	$I(\text{A})$
0.0	0.00
5.3	0.53
5.8	0.56

6.1	0.58
~6.35	0.60
~6.75	0.61
7.1	0.63
7.5	0.65
~7.65	0.66
8.1	0.67
8.4	0.69
~8.65	0.70
8.9	0.71

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del circuito nuevo bajo estudio, y que contiene como elementos nuevos de resistencia eléctrica, a un resistor de valor nominal 1 Ω /5 W (R_1) y a una lámpara de filamento con base y extensiones (R_2). Las condiciones de operación fueron isotérmicas ($\sim 20^\circ\text{C}$) para el circuito nuevo en su conjunto. No obstante, la respuesta global del circuito es no lineal, y se identifica con la mostrada por un sistema que presenta incremento en su resistencia eléctrica con el ascenso de E. Tal pareciera que dicha conducta obedece a la incandescencia momentánea (cada vez mayor con el ascenso de E) del filamento de la lámpara en el momento de efectuar la medición respectiva de E e I. Por la conducta global observada, parecería que el elemento R_2 es el que contribuye en medida mayor a la conducta global del circuito bajo estudio.



No obstante lo anterior, en el límite $E \rightarrow 0 \text{ V}$, $I \rightarrow 0 \text{ A}$, el circuito sigue la conducta $E = RI$. Para dicho intervalo de condiciones experimentales, el circuito presenta una resistencia eléctrica total aproximada a 2.0 Ω . No obstante este avance, es

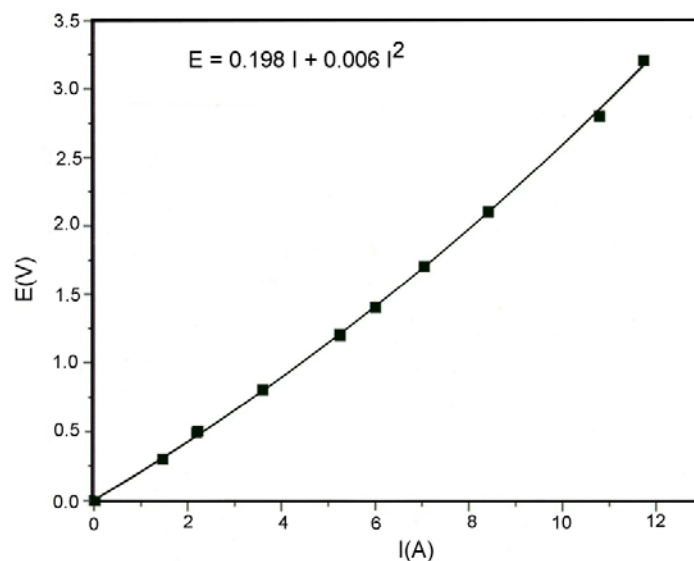
importante también evaluar la conductancia experimental $E-I$ de los elementos R_1 y R_2 . Dado que ellos se encuentran conectados en serie, se cumple entonces:

$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + (R_1 + R_2)$$

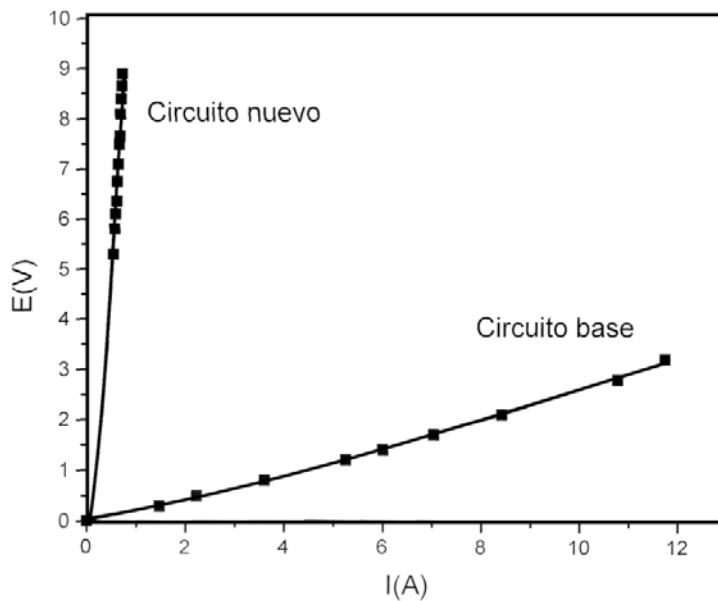
Por tanto:

$$(R_1 + R_2) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

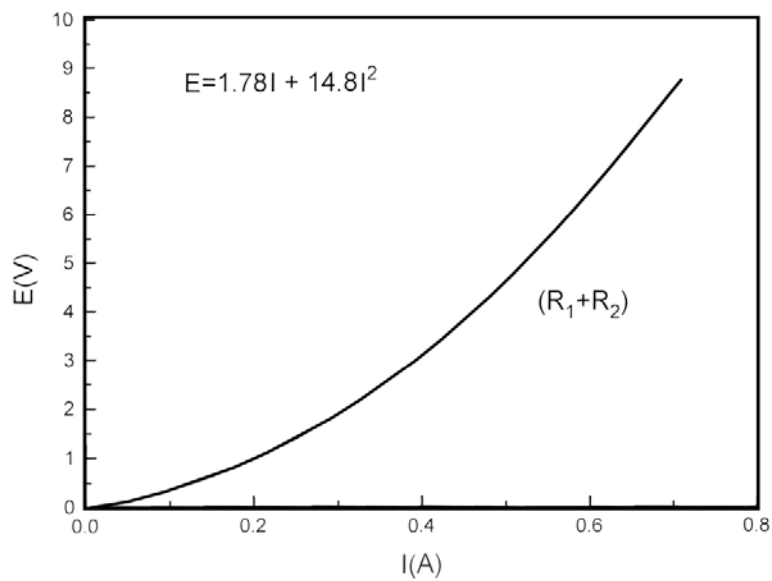
De esta forma, para evaluar la conductancia $E-I$ de los elementos R_1 y R_2 , es necesario realizar la sustracción de las dos funciones del segundo miembro de la ecuación última. A este respecto, la gráfica siguiente ilustra la conductancia experimental $E-I$ del circuito base a condiciones no isotérmicas. La conductancia es no lineal, y se identifica en cierta medida con la mostrada por un elemento de resistencia R el cual presenta incremento de ella con el ascenso en los valores de E . Sin embargo, en el intervalo de valores de $E-I$ próximos a cero, el circuito sigue la conductancia $E = RI$. Para dichas condiciones, la resistencia eléctrica total del circuito base se aproxima a $\sim 0.2 \, \Omega$ (Experimento 2).



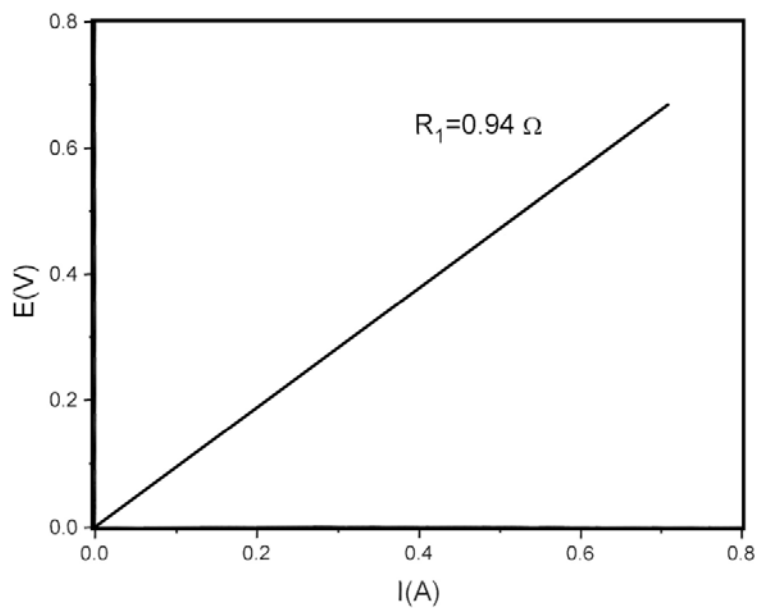
La gráfica siguiente ilustra la conductancia experimental $E-I$ tanto del circuito base como del circuito nuevo bajo estudio. Obsérvese que el intervalo de valores de I en el cual se hace la sustracción de las dos funciones (acotadas anteriormente), es cercano a cero. Dentro de dicho intervalo, la función $E-I$ del circuito base es esencialmente lineal, lo cual la hace prácticamente equivalente a la obtenida a condiciones isotérmicas ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$).



La sustracción de las dos funciones da por resultado la función que se ilustra en la gráfica siguiente (se realiza una aproximación, realizando la sustracción de una función cuadrática y una lineal) . La respuesta del conjunto ($R_1 + R_2$) es no lineal y se identifica también con la mostrada por un sistema el cual presenta un incremento en su resistencia eléctrica con el ascenso de E . La conducta global del conjunto ($R_1 + R_2$) parece estar dominada mayoritariamente por el elemento R_2 , y en particular por la incandescencia momentánea del filamento en el momento de las lecturas $E-I$. Sin embargo en el intervalo de valores de E e I próximos a cero, la respuesta es tipo lineal ($E = RI$). Para dicho intervalo, la resistencia eléctrica del conjunto ($R_1 + R_2$) es cercana a $\sim 1.8 \Omega$. En este punto de avance en el estudio, se tiene ya conocimiento también de la conducta $E-I$ del resistor (R_1). Dadas las características de construcción de él, y dadas también las condiciones de operación del circuito nuevo, el elemento R_1 opera a condiciones esencialmente isotérmicas ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$).

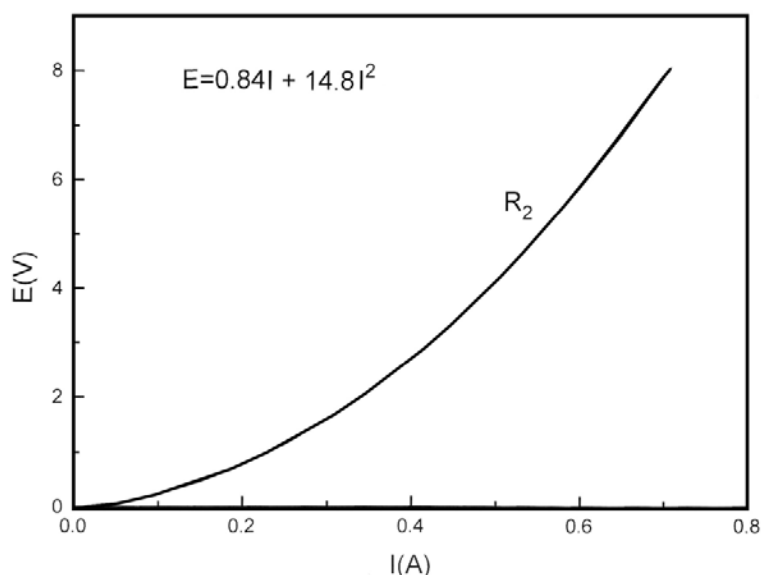


En experimentos previos se ha evaluado la resistencia eléctrica $R_1 (\cong 0.94 \Omega)$. La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental $E-I$ del elemento R_1 . La respuesta es lineal ($E = RI$) (Experimento 27).



La sustracción de las funciones correspondientes al conjunto $(R_1 + R_2)$ y a R_1 , da por resultado la función $E-I$ que se ilustra en la gráfica siguiente. Esta función corresponde a la conducta $E-I$ del elemento R_2 (lámpara de filamento con base y extensiones). La conducta es no lineal y se identifica con la mostrada por un

filamento que presenta incandescencia con el ascenso de I . Sin embargo y para valores de E e I próximos a cero, la respuesta de R_2 es lineal ($E = RI$). Para dicho intervalo de condiciones, la resistencia eléctrica de R_2 es próxima a $0.84 \, \Omega$. La suma de los valores para $R_1 (\cong 0.94 \, \Omega)$ y $R_2 (\cong 0.84 \, \Omega)$ es concordante con el valor obtenido previamente ($\sim 1.78 \, \Omega$) para el conjunto ($R_1 + R_2$).



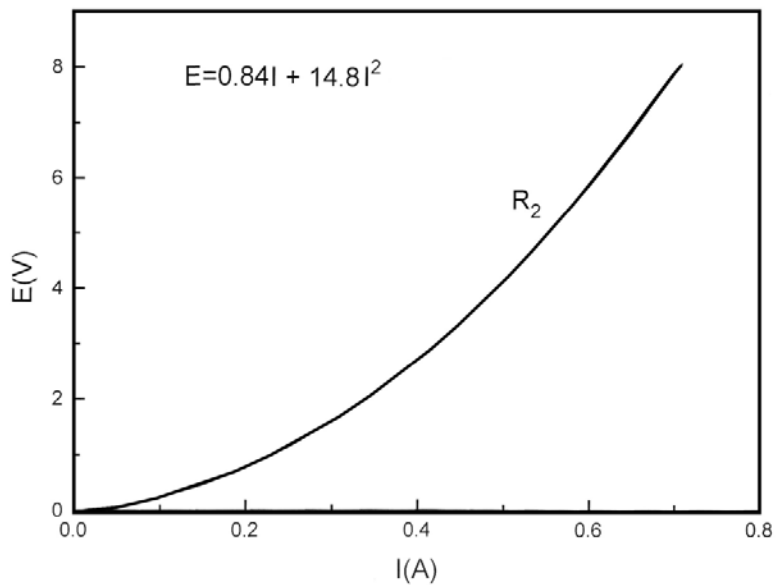
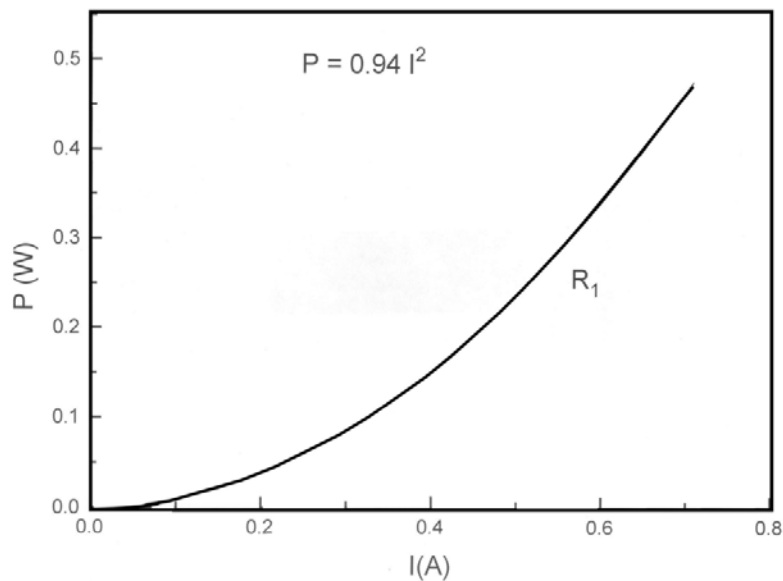
Otro aspecto que pudiera ser de interés en el estudio presente, concierne al análisis de la conducta de la potencia eléctrica del circuito, así como de sus componentes. A este respecto la potencia (P) empleada (energía eléctrica consumida por cada unidad de tiempo) por todo elemento de un circuito eléctrico, es establecida como el producto EI :

$$P = EI \quad (a)$$

Si además el elemento sigue la conducta $E = RI$, entonces:

$$P = I^2R \quad (b)$$

De esta forma, es posible evaluar la P_i de un elemento, dados E e I , o bien R e I . Las dos gráficas siguientes ilustran la conducta experimental P – I de los elementos R_1 y R_2 . Así por ejemplo y para un valor de $I = 0.5 \, \text{A}$, $P(R_1) = 0.24 \, \text{W}$ y $P(R_2) = 2.06 \, \text{W}$. Dichos valores de P_i significan por ejemplo, que R_1 disiparía 0.24 joules como energía térmica en cada segundo de operación a $I = 0.5 \, \text{A}$; R_2 disiparía 2.06 joules como energía térmica en cada segundo de operación a $I = 0.5 \, \text{A}$.



Para el mismo valor de $I = 0.5$ A, la P del circuito base ($P = EI$) es igual a 0.05 W. Dicho circuito disiparía 0.05 joules como energía térmica por cada segundo de operación a $I = 0.5$ A. La suma de las tres P_i anteriores arroja 2.35 W. Dicho valor debe ser igual a la potencia total (a $I = 0.5$ A) del circuito nuevo. De la gráfica y función $E - I$ para dicho circuito, se obtiene $P_T = 2.35$ W.

Así, la propiedad $(\sum P_i)_I = (P_T)_I$ es otra más de los circuitos en serie. El significado físico para P_T es análogo: el circuito nuevo (circuito base + R_1 + R_2) disiparía 0.49 J como energía térmica en cada segundo de operación a $I = 0.5$ A.

¿Cuál es la contribución en porcentaje, de cada componente del circuito nuevo a la energía térmica total disipada? He aquí los valores:

- a) Circuito base = 2.13%
- b) R1 = 10.21%
- c) R2 = 87.66%

$$\Sigma \%_i = 100.00\%$$

Por último, un punto que merece la atención aquí es el referente a la potencia nominal de R_1 . Dicho valor está asociado al valor máximo de I con el cual puede operar dicho elemento (en forma permanente) sin sufrir daño físico por elevación excesiva de θ . Así, para R_1 :

$$P = 5W = I^2 R$$

Por lo tanto:

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{5W}{0.94\Omega}} = \sqrt{5.319}$$

Por consiguiente, $I \cong 2.3 \text{ A}$.

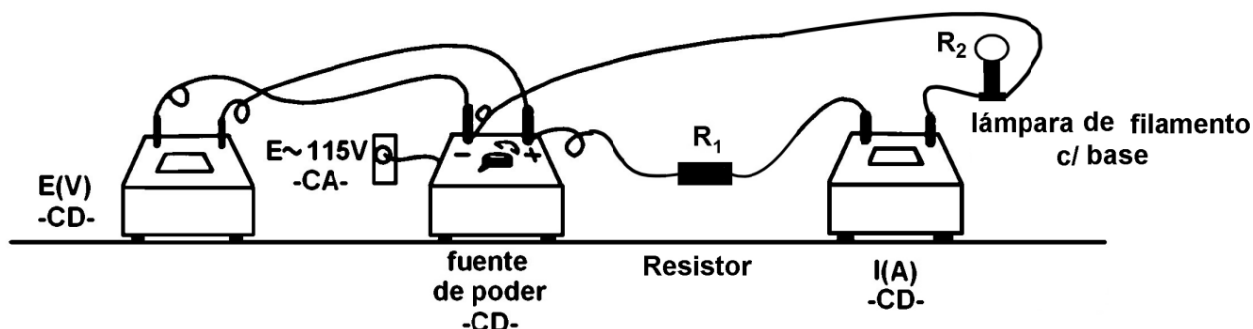
Este es el valor máximo de I que puede tolerar R_1 sin sufrir daño. Los valores de I en el experimento presente no rebasaron dicho límite máximo, no poniendo en riesgo a dicho elemento de resistencia eléctrica.

Como colofón, en el experimento presente están implícitos conceptos y operaciones experimentales que en su conjunto posibilitan la exploración somera de ciertas propiedades de la materia, como lo es en este caso el estudio de la resistencia a la conducción eléctrica por parte de dos componentes conectados en serie en un circuito eléctrico.

Experimento 32. Conducta experimental $E-I$ ($\theta \cong \text{cte}$; $R \neq \text{cte}$) Circuito en serie con dos elementos de resistencia: un resistor (5 W) y una lámpara (12 W)

Técnica

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota. En el experimento presente se emplean respectivamente como elementos R_1 y R_2 a un resistor tipo cerámico y a una lámpara de filamento con base (tipo automotriz).

El experimento se realiza bajo restricciones térmicas ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) en el circuito.

2. Establecer la ventilación sobre el circuito. Establecer el equilibrio térmico entre el circuito y la sala experimental ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$).
3. Cerrar el circuito y establecer rápidamente la menor posible diferencia de potencial eléctrico (E). Tomar registro inmediato de E e I . Abrir rápidamente el circuito.
4. Repetir (3) para valores ascendentes de E .

Resultados y discusión

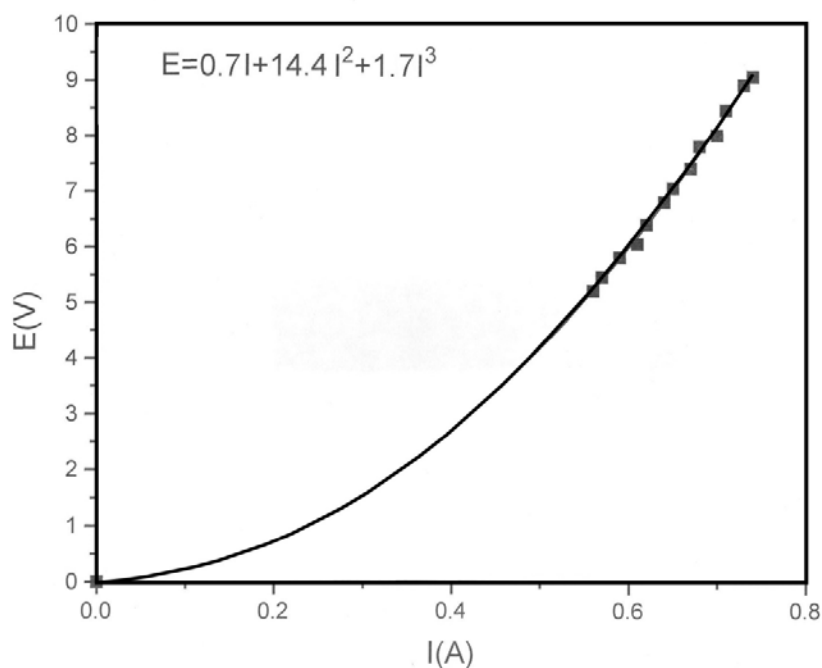
La tabla siguiente presenta los valores experimentales de E e I ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) correspondientes al circuito nuevo en estudio.

$E(\text{V})$	$I(\text{A})$
0.0	0.00
5.2	0.56

~5.45	0.57
5.8	0.59
~6.05	0.61
6.4	0.62
6.8	0.64
~7.05	0.65
7.4	0.67
7.8	0.68
8.0	0.70
~8.45	0.71
8.9	0.73
~9.05	0.74

La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del circuito nuevo bajo estudio, y que contiene como elementos nuevos de resistencia eléctrica en serie, a un resistor R_1 (potencia nominal 5 W) y a una lámpara de filamento con base R_2 (potencia nominal 12 W). El experimento fue realizado bajo condiciones globales isotérmicas ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$). No obstante lo anterior, la respuesta del sistema es no lineal.

De hecho, la conducta global se identifica con la mostrada por un sistema que presenta incremento en su resistencia eléctrica con el ascenso de E. Para valores de E e I próximos a cero, el circuito sigue la conducta $E = RI$. Para dicho intervalo de condiciones, la resistencia eléctrica total estimada para dicho circuito, es 0.7Ω .



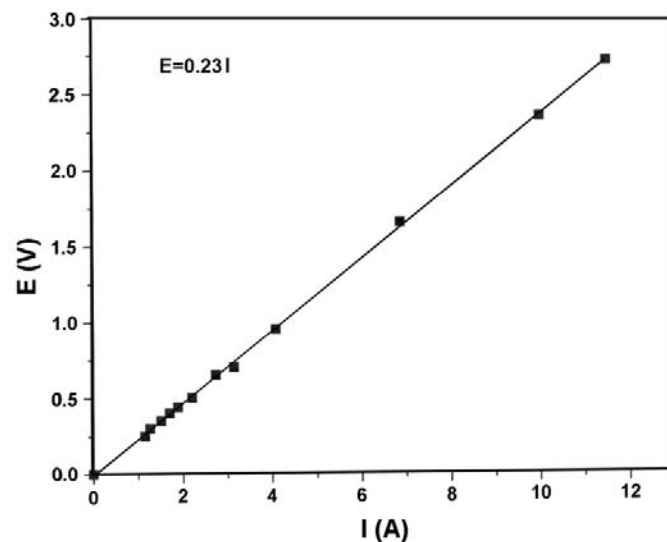
Otro punto de interés en el experimento presente, es el evaluar la conductancia experimental $E-I$ de los dos elementos adicionales de resistencia eléctrica ($R_1 + R_2$). Dado que dichos elementos se encuentran conectados en serie, se cumple la condición:

$$R_T(\text{circuito nuevo}) = R_T(\text{circuito base}) + (R_1 + R_2)$$

Por tanto:

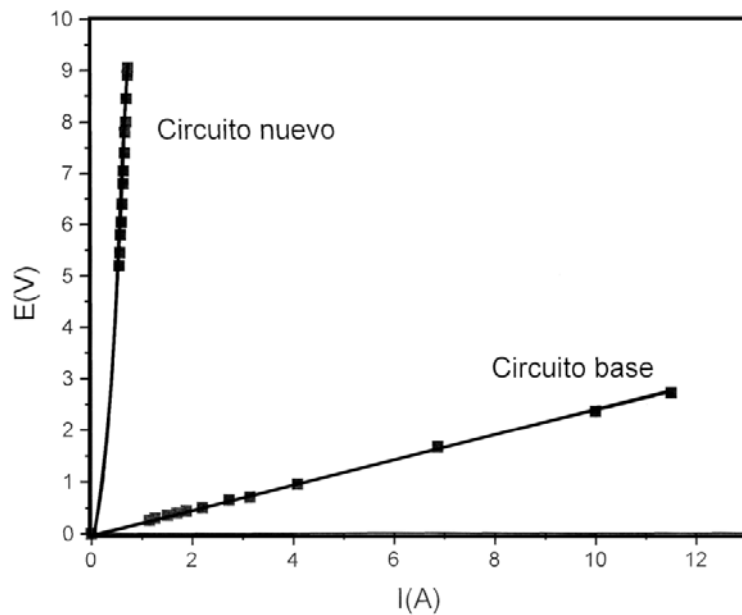
$$(R_1 + R_2) = R_T(\text{circuito nuevo}) - R_T(\text{circuito base})$$

De esta forma, para evaluar la conductancia experimental $E-I$ del conjunto ($R_1 + R_2$), es necesario realizar la sustracción de las dos funciones del segundo miembro de la ecuación última. A este respecto, la gráfica siguiente ilustra la conductancia experimental $E-I$ del circuito base a condiciones isotérmicas ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) (Experimento 1).

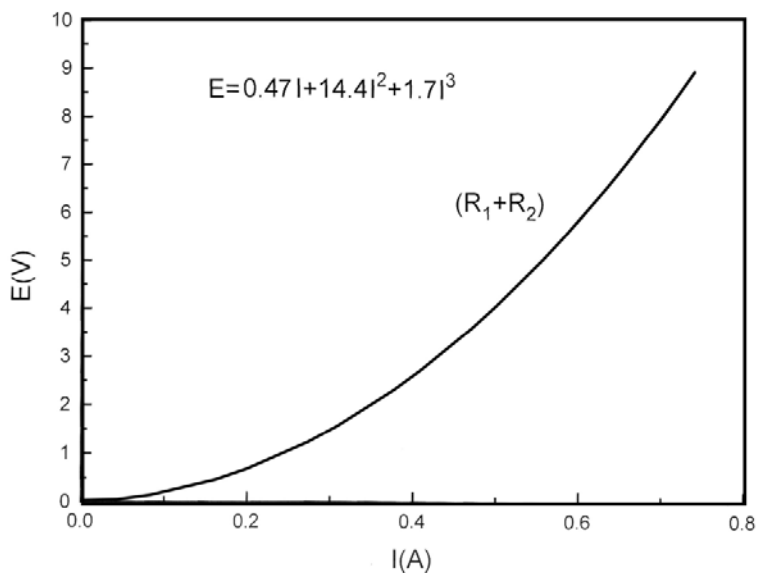


La respuesta del circuito base es lineal ($E = RI$). Para el intervalo de condiciones experimentales exploradas, el circuito presenta una resistencia eléctrica total igual a 0.23Ω .

La gráfica siguiente ilustra la conductancia experimental $E-I$ tanto del circuito base como del circuito nuevo. La sustracción de las dos funciones permite obtener la función $E-I$ ($R_1 + R_2$) (se realiza una aproximación, realizando la sustracción de una función cuadrática y una lineal).



La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I del conjunto ($R_1 + R_2$). Como se observa la conducta global es no lineal, y se identifica con la mostrada por un sistema el cual presenta un incremento de R con el ascenso en los valores de E. Sin embargo y para valores de E e I próximos a cero, el sistema ($R_1 + R_2$) se aproxima a la conducta $E = RI$. Para dicho intervalo de condiciones, la resistencia eléctrica total del conjunto ($R_1 + R_2$) es $\sim 0.47 \Omega$.



Un aspecto más en el experimento presente y que pudiera ser de interés, es el que concierne al análisis de la conducta de la potencia eléctrica (energía eléctrica

consumida por cada unidad de tiempo) del circuito eléctrico, así como la de sus componentes en bloques.

A este respecto la potencia eléctrica (P) de todo elemento constituyente de un circuito, se establece como el producto EI :

$$P = EI \quad (a)$$

Si además el elemento cumple con la condición $E = RI$, entonces:

$$P = I^2R \quad (b)$$

Tanto el circuito nuevo, como el circuito base y el conjunto ($R_1 + R_2$) cumplen la ecuación (b) en el intervalo de valores de E e I próximos a cero. Analicemos la conducta de las P_i en dicho intervalo. Tomemos como ejemplo, un valor de $I = 0.05 \text{ A}$.

Para dicho valor de I , las potencias asociadas, son:

a) Circuito base:

$$P_{cb} = I^2R \cong (0.05\text{A})^2(0.23\Omega) \cong 5.75 \times 10^{-4} \text{ W}.$$

b) ($R_1 + R_2$):

$$P_{(R_1 + R_2)} = I^2R \cong (0.05\text{A})^2(0.47\Omega) \cong 11.75 \times 10^{-4} \text{ W}.$$

c) Circuito nuevo:

$$P_{CN} = I^2R \cong (0.05\text{A})^2(0.7\Omega) \cong 17.5 \times 10^{-4} \text{ W}.$$

Se observa que $(\sum P_i)_I = (P_T)_I$. Esta es una característica más de los circuitos en serie.

A dicho valor de I , el circuito base disiparía $5.75 \times 10^{-4} \text{ J}$ como energía térmica en cada segundo de operación; ($R_1 + R_2$) disiparía $11.75 \times 10^{-4} \text{ J}$ por cada segundo; el circuito total (circuito nuevo) disiparía $17.5 \times 10^{-4} \text{ J}$ por cada segundo.

La contribución en porcentaje, de cada sección al total de la energía térmica disipada (a $I = 0.05 \text{ A}$), es:

a) Circuito base $\cong 32.86\%$

b) ($R_1 + R_2$) $\cong 67.14\%$

¿Qué sucede con las P_i a otros valores de I ?

Tomemos por caso $I = 0.5$ A, en donde tanto el circuito nuevo como $(R_1 + R_2)$ no siguen la conducta $E = RI$. Para dichas condiciones, se tiene:

a) Circuito base:

$$\text{i) } E \cong (0.23\Omega)(0.5\text{A}) \cong 0.115 \text{ V.}$$

$$\text{ii) } P = EI \cong (0.115\text{V})(0.5\text{A}) \cong 0.06 \text{ W.}$$

b) $(R_1 + R_2)$:

$$\text{i) } E \cong (0.47\Omega)(0.5\text{A}) + (14.4\Omega)(0.25\text{A}) + (1.7\Omega)(0.125\text{A})$$

$$E \cong (0.235 + 3.602 + 0.211)\text{V}$$

$$E \cong 4.05 \text{ V}$$

$$\text{ii) } P = EI \cong (4.05\text{V})(0.5\text{A}) \cong 2.02 \text{ W.}$$

c) Circuito nuevo:

$$\text{i) } E \cong (0.7\Omega)(0.5\text{A}) + (14.4\Omega)(0.25\text{A}) + (1.7\Omega)(0.125\text{A})$$

$$E \cong (0.35 + 3.602 + 0.211)\text{V}$$

$$E \cong 4.16 \text{ V.}$$

$$\text{ii) } P = EI \cong (4.16\text{V})(0.5\text{A}) \cong 2.08 \text{ W.}$$

Se cumple también la condición:

$$\left(\sum P_i\right)_I = (P_T)_I$$

Ahora, a $I = 0.5$ A, el circuito base disiparía 0.06 J como energía térmica por cada segundo de operación del circuito; el conjunto $(R_1 + R_2)$ disiparía 2.02 J por cada segundo; el circuito total (circuito nuevo) disiparía 2.08 J por cada segundo. Los porcentajes de contribución a la disipación térmica para $I = 0.5$ A, son:

$$\text{a) Circuito base} \cong 2.885\%.$$

$$\text{b) } (R_1 + R_2) \cong 97.115\%.$$

De los resultados obtenidos se observa un cambio drástico en las contribuciones de dichas secciones a la disipación térmica del circuito total (circuito nuevo). En otras palabras, con el ascenso en los valores de E , el conjunto $(R_1 + R_2)$ participa en mayor medida a la disipación térmica del circuito.

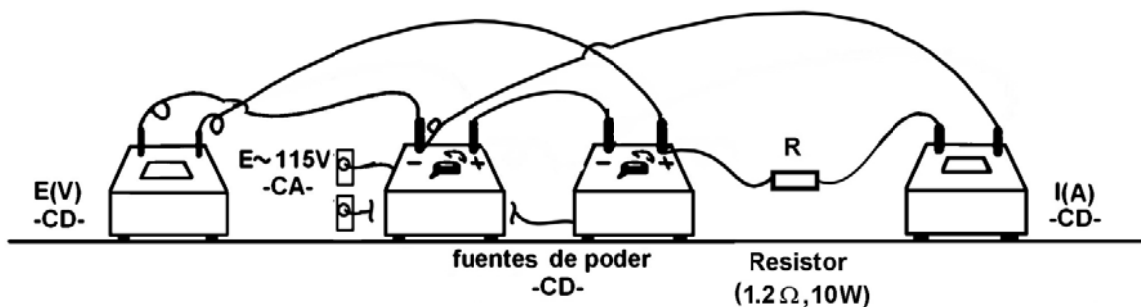
Como colofón, en el experimento presente están implícitos conceptos y operaciones experimentales que en su conjunto posibilitan la exploración somera de ciertas propiedades de la materia, como lo es en este caso el estudio de la resistencia a la conducción eléctrica por parte de un conjunto de elementos resistivos conectados en serie en un circuito eléctrico.

Experimento 33. Conducta experimental $E-I$ ($\theta \cong \text{cte}$; $R \cong \text{cte}$) Resistor (1.2Ω , 10 W) y dos fuentes de poder acopladas

Técnica

En este experimento el circuito base consta de dos fuentes de CD acopladas en serie. El circuito nuevo en estudio, está constituido por dicho circuito base y un resistor adicional. Por tanto, la técnica que se describe abajo deberá practicarse tanto al circuito base (sin resistor) como al circuito nuevo (con resistor). El esquema y técnica siguientes corresponden al circuito nuevo. Lo mismo deberá hacerse para el circuito base.

1. Construir el circuito eléctrico siguiente:



Nota. En el experimento presente se emplean dos fuentes de poder de CD acopladas en serie. Como elemento R un resistor tipo cerámico de valor nominal $1.2 \Omega/10 \text{ W}$. El experimento se realiza bajo restricciones térmicas ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) en el circuito.

2. Establecer la ventilación sobre el circuito. Establecer el equilibrio térmico entre el circuito y la sala experimental ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$).
3. Cerrar el circuito y establecer en forma inmediata la diferencia menor posible de potencial eléctrico (E). Tomar registro inmediato de E e I. Abrir rápidamente el circuito.
4. Repetir (3) para valores ascendentes de E.

Resultados y discusión

Las dos tablas siguientes presentan los valores experimentales de E e I ($\theta \cong 20^\circ\text{C}$) correspondientes al circuito base y al circuito nuevo en estudio.

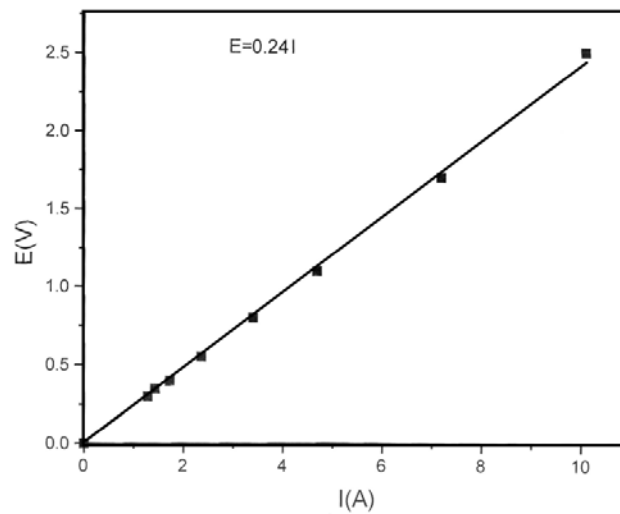
a) Circuito base

E(V)	I(A)
0.0	0.00
0.3	1.28
~0.35	1.43
0.4	1.70
~0.55	2.36
0.8	3.40
1.1	4.69
1.7	7.19
2.5	10.09

b) Circuito nuevo

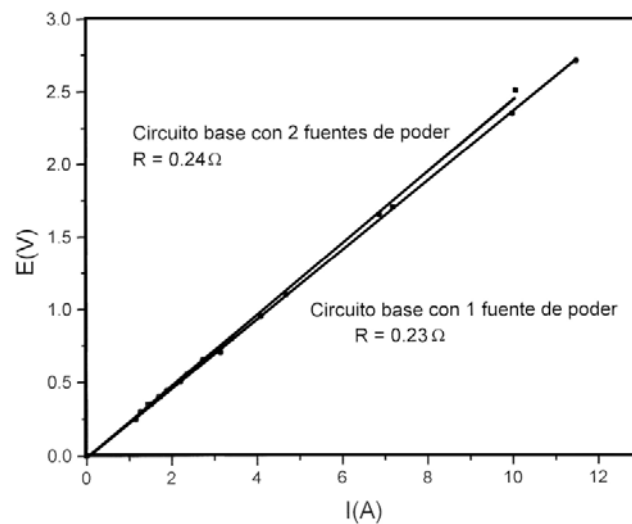
E(V)	I(A)
0.0	0.00
1.5	1.13
1.8	1.29
2.0	1.42
2.3	1.63
2.6	1.87
3.2	2.37
4.0	2.92
5.0	3.61
7.4	5.23

La gráfica siguiente ilustra la conductancia experimental $E-I$ (a condiciones isotérmicas, $\theta \cong 20^{\circ}\text{C}$) del circuito base empleado en el experimento presente. La conductancia es lineal ($E = RI$). Para el intervalo de condiciones experimentales exploradas, dicho circuito presenta una resistencia eléctrica total igual a 0.24Ω .

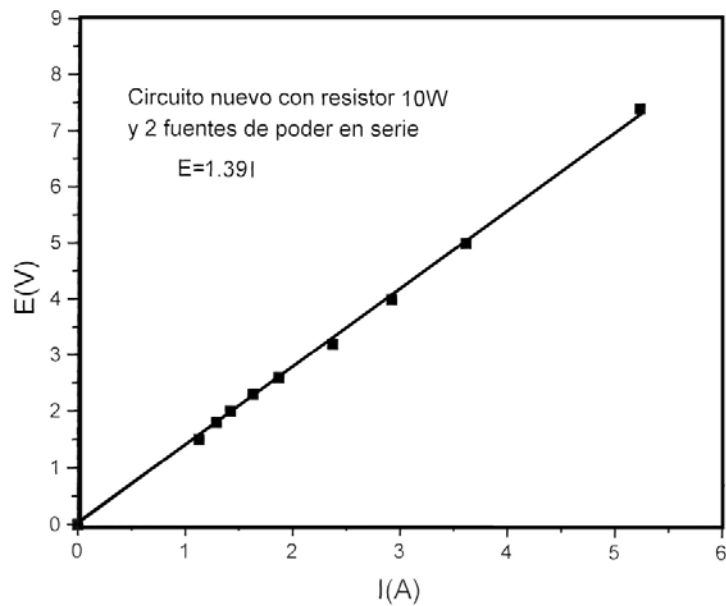


Para efectos de comparación, la gráfica siguiente muestra la conducta experimental $E-I$ (a condiciones isotérmicas, $\theta \cong 20^\circ\text{C}$), tanto del circuito base (Experimento 1) con una fuente de poder como del circuito base con dos fuentes de poder.

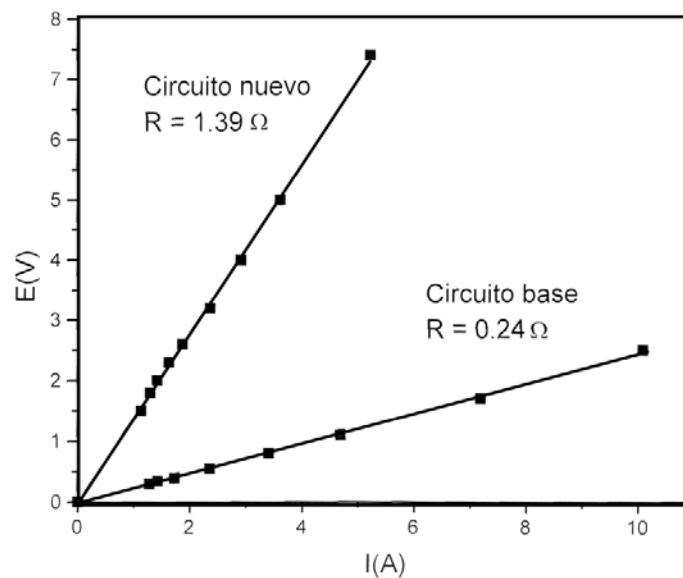
La diferencia de pendientes es igual a la diferencia de resistencias eléctricas totales entre ambos circuitos. La diferencia entre ambos valores es de $\sim 0.01 \Omega$.



La gráfica siguiente muestra la conducta experimental $E-I$ (a condiciones isotérmicas, $\theta \cong 20^\circ\text{C}$) del circuito nuevo bajo estudio, y que presenta a un resistor de valor nominal $1.2 \Omega/10 \text{ W}$. La respuesta es lineal ($E = RI$). Para el intervalo de condiciones experimentales exploradas, el circuito nuevo presenta una resistencia eléctrica total igual a $\sim 1.39 \Omega$.



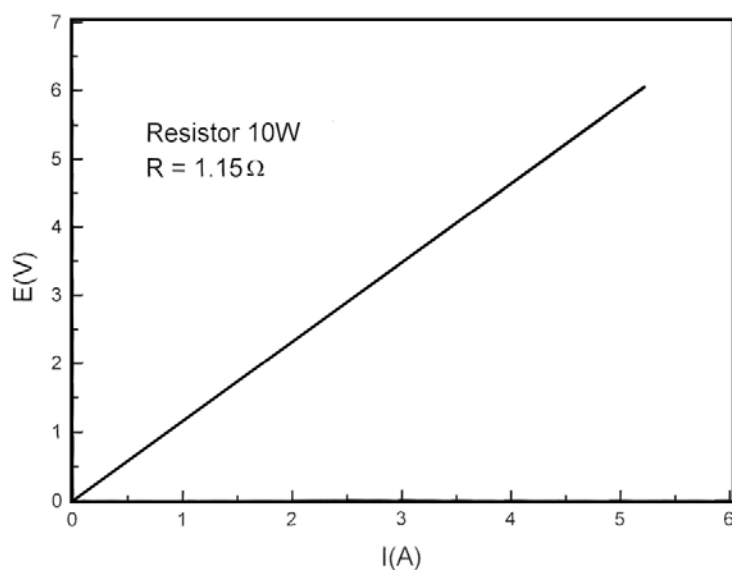
La gráfica siguiente muestra la conducta experimental E–I (a condiciones isotérmicas, $\theta \cong 20^{\circ}\text{C}$) tanto del circuito base como del circuito nuevo bajo estudio. La diferencia de pendientes es igual a la diferencia de resistencias eléctricas totales entre ambos circuitos. La resistencia eléctrica comparativamente mayor del circuito nuevo, es debida a la contribución de la resistencia eléctrica por parte del resistor.



La gráfica siguiente ilustra la conducta experimental E–I (a condiciones isotérmicas, $\theta \cong 20^{\circ}\text{C}$) del resistor. La respuesta de dicho elemento es lineal ($E =$

RI). Para el intervalo de condiciones experimentales cubiertas, la resistencia eléctrica de dicho elemento es igual a $\sim 1.15 \Omega$. Dicho valor es cercano al nominal convencional (1.2Ω).

El valor de la resistencia eléctrica del resistor ($R \cong 1.15 \Omega$) se ha obtenido también en estudios experimentales análogos empleando solamente una fuente de poder en el circuito (Experimento 28).



Un aspecto que pudiera ser de interés en el estudio presente, es el que concierne al análisis de la conducta de la potencia eléctrica (energía eléctrica consumida por cada unidad de tiempo) del resistor. Para todo elemento de carga (esto es, de resistencia eléctrica) en un circuito, la potencia (P) de dicho elemento es igual al producto EI :

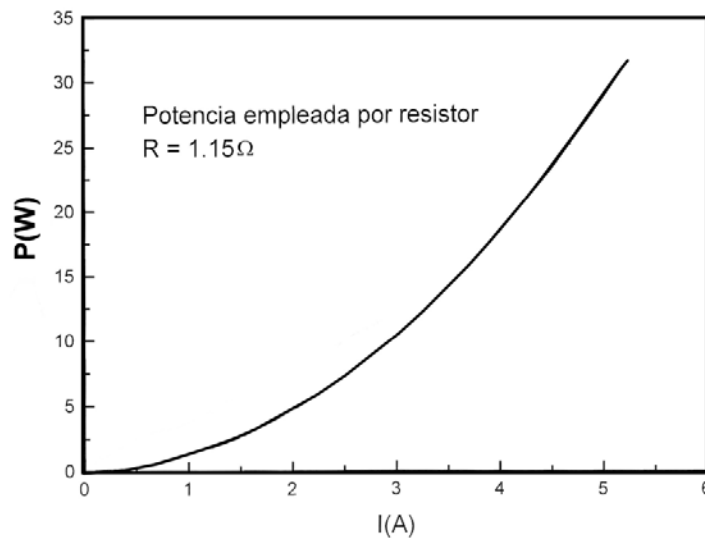
$$P = EI \quad (a)$$

Si además, dicho elemento cumple con la ecuación $E = RI$, entonces:

$$P = I^2 R \quad (b)$$

De (b) se deduce que P varía directamente proporcional tanto a R como a $(I)^2$.

La gráfica siguiente ilustra la conducta $P-I$ del resistor en estudio.



De la gráfica se puede observar que por ejemplo, para un valor de $I = 4.7$ A, la potencia empleada por el resistor es prácticamente equivalente a la de una lámpara de filamento y $P = 25$ W operando óptimamente. En relación a este tema, la energía eléctrica consumida por cada unidad de tiempo por todo elemento de resistencia eléctrica que opera en un circuito, se transforma en energía térmica (efecto Joule). De esta forma y por ejemplo para $I = 4.7$ A, el resistor disiparía 25.4 joules como energía térmica en cada segundo de operación, lo cual como se verá, rebasa la capacidad de operación permanente de dicho elemento sin sufrir deterioro.

También en relación a este tema, el análisis aquí hecho para el resistor es extensible al caso del circuito base. Por tanto para un valor dado de I , la suma de las potencias del resistor y del circuito base, es igual a la potencia total del circuito nuevo bajo estudio. Tomemos el valor de $I = 4.7$ A. Para el circuito base, la potencia empleada es 5.3 W. De esta forma la potencia total del circuito (para un valor de $I = 4.7$ A) es ~ 30.7 W.

La propiedad anterior $(\sum P_i)_I = (P_{T \text{ circuito}})_I$ es una característica más de los circuitos en serie, puesto que la potencia eléctrica empleada por el circuito nuevo para $I = 4.7$ A, es obtenida también (e igual a ~ 30.7 W) a partir de dicho valor de I y de la resistencia eléctrica total ($\sim 1.39 \Omega$).

Bajo dichas condiciones, el resistor emplearía aproximadamente el 82.7% de la potencia total del circuito.

Así también, disiparía ese mismo porcentaje como energía térmica por cada unidad de tiempo.

Como punto final a este tema, vale la pena hacer un comentario referente a la potencia nominal del resistor aquí estudiado. Dicho valor está asociado al valor máximo de I que puede tolerar el resistor sin sufrir daño físico o deterioro bajo operación permanente. Así para $P = 10 \text{ W}$, el valor asociado de I es igual a:

$$I^2 = \frac{P}{R}; I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

Por lo tanto

$$I \cong \sqrt{\frac{10 \text{ W}}{1.15 \Omega}} \cong \sqrt{8.69} \cong 2.95 \text{ A}.$$

Éste es el valor máximo de I que el resistor puede tolerar para operar permanentemente sin sufrir daño. Bajo dichas condiciones, el resistor disiparía 10 joules como energía térmica por cada segundo de operación. Para dicho valor de I , la potencia del circuito base es $\sim 2.10 \text{ W}$; dicho circuito disiparía ~ 2.1 joules como energía térmica en cada segundo de operación. La potencia total del circuito nuevo (para $I = 2.95 \text{ A}$) es $\sim 12.1 \text{ W}$. Para dicho valor de potencia total, la del resistor ($P = 10.0 \text{ W}$) equivale aproximadamente al 82.7%, la del circuito base representa aproximadamente el 17.3%.

El hecho de que los porcentajes de contribución a la potencia total no dependan de los valores de I (para el intervalo experimental aquí explorado), obedece a que todos los elementos (circuito base y resistor) del circuito total, así como éste, siguen la conducta $E = RI$.

Por último, el hecho de que en el experimento se hayan podido tener valores de I mayores que 2.95 A sin provocar daño en el circuito, obedece a las condiciones experimentales de operación y de medición practicadas (esto es, cierre del circuito, lectura instantánea y simultánea de E e I , y apertura inmediata del circuito).

Como colofón, en la experiencia presente están implícitos conceptos y operaciones experimentales que en su conjunto posibilitan la exploración somera de ciertas propiedades de la materia, como lo es en este caso el estudio de la resistencia a la conducción eléctrica (bajo condiciones isotérmicas) por parte de un dispositivo denominado resistor cerámico, conectado en serie en un circuito operado por dos fuentes de poder acopladas.

VII. BIBLIOGRAFÍA BÁSICA AUXILIAR

VII. Bibliografía básica auxiliar

- C. L. Dower. Electrical Engineering. McGraw-Hill Book Company. Inc. U.S.A. 1955.
- M. F. Gran. Elementos de Física. Minerva Books, Ltd. U.S.A. 1963.
- L.L. Cantú. Electricidad y Magnetismo para Estudiantes de Ciencias e Ingeniería. Limusa. México. 1981.
- R. Eisberg y L. Lerner. Física, Fundamentos y Aplicaciones vol. II. McGraw-Hill. México. 1981.
- J. P. McKelvey y H. Grotch. Física. Harla, S. A. de C. V. México. 1981.
- B. Alvarenga Álvarez y A. M. Ribeiro Da Luz. Física General. Ed. Harla, S.A. de C.V. México. 1983.
- R. Feynman, R. B. Leighton y M. Sands. Física. Addison-Wesley Iberoamericana, U.S.A. 1987.
- E. Hecht. Física en Perspectiva. Addison-Wesley Iberoamericana, U.S.A. 1987.
- E. M. Purcell. Electricidad y Magnetismo. Revertè. España. 1988.
- R. Boylestad y L. Nashelsky. Electricidad, Electrónica y Electromagnetismo. Trillas, S. A. de C. V. México. 1993.
- P. G. Hewitt. Física Conceptual. Addison-Wesley Iberoamericana, U.S.A. 1995.
- G. A. Jaramillo Morales y A. A. Alvarado Castellanos. Electricidad y Magnetismo. Trillas, S.A. de C.V. México. 1997.
- H. G. Riveros Rotgé. Electricidad y Magnetismo. Trillas, S.A. de C.V. México. 1998.
- S. M. Lea y J. R. Burke. Física. International Thomson Editores. México. 1999.
- H. Mileaf. Electricidad. Ed. Limusa, S.A. de C.V. México. 1999.
- P. A. Tipler. Física para la ciencia y la tecnología. Revertè. México. 1999.
- V. M. González C. Física Fundamental. Ed. Progreso, S.A. de C.V. México. 2000.
- R. L. Boylestad. Introducción al análisis de circuitos. Pearson Educación, México, 2004.
- F. W. Sears, M. W. Zemansky, H. D. Young y R. A. Freedman. Física Universitaria vol. II. Pearson Addison-Wesley. México. 2004.
- R. Serway y J. Jewett. Física II. International Thomson Editores. México. 2004.
- R. Resnick, D. Halliday y K. S. Krane. Física. Grupo Editorial Patria. México. 2008.
- H.D. Young y R.A. Freedman. Física Universitaria. 12ª. Ed. Addison-Wesley (Pearson Educación de México, S.A. de C.V.) México. 2009.

