

2 Resistencia eléctrica

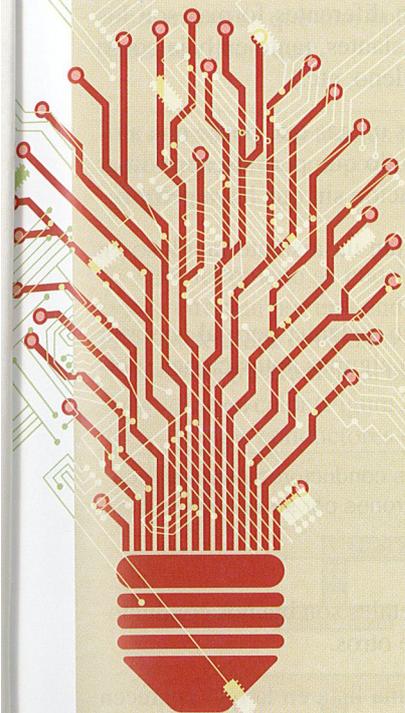
Contenidos

- 2.1. Conductores y aislantes
- 2.2. Resistencia eléctrica
- 2.3. Medida de la resistencia eléctrica
- 2.4. La ley de Ohm
- 2.5. Resistencia de un conductor
- 2.6. Conductancia y conductividad
- 2.7. Influencia de la temperatura sobre la resistividad
- 2.8. Resistencia de los aislantes
- 2.9. Rigidez dieléctrica
- 2.10. Manejo del polímetro

Objetivos

- Diferenciar entre aislante, buen conductor y mal conductor de la corriente eléctrica.
- Emplear el óhmetro de una forma adecuada.
- Aplicar la ley de Ohm para la resolución de problemas donde intervengan las magnitudes eléctricas: intensidad, tensión y resistencia.
- Relacionar la resistencia de un conductor con su longitud, sección y constitución.
- Calcular la resistencia eléctrica de un conductor.
- Relacionar la calidad de un aislante con su rigidez dieléctrica.
- Valorar la influencia de la temperatura sobre la resistencia de los materiales.

La resistencia eléctrica es una característica asociada a los materiales de uso común en electricidad. Conociendo el valor de la resistencia de un conductor o aislante podremos determinar, gracias a la ley de Ohm, su comportamiento en un circuito o instalación eléctrica. Por otro lado, se puede comprobar experimentalmente que la resistencia eléctrica de un material depende de sus dimensiones y de su naturaleza. También se puede comprobar que la resistencia tiende a elevarse con la temperatura.



2.1. Conductores y aislantes

Para el buen funcionamiento de un circuito eléctrico existen dos elementos básicos, los conductores y los aislantes. Unos tienen tanta importancia como los otros; mientras que los primeros permiten el paso de la corriente con una relativa facilidad, los segundos la bloquean.

Así, por ejemplo, un cable eléctrico, como los que hemos utilizado para las experiencias, está formado por un alambre metálico de cobre (el conductor) y por un recubrimiento de plástico (el aislante) que impide que la corriente se fugue hacia otros lugares no deseados, a la vez que evita fallos y descargas eléctricas indeseables (Figura 2.1).



Figura 2.1. Constitución de un cable eléctrico.

Los cuerpos aislantes de la electricidad se caracterizan por impedir el paso de la corriente eléctrica a través de ellos.

Este fenómeno se debe a que los electrones se encuentran ligados fuertemente a sus átomos y para arrancarlos es necesario aplicar mucha energía (someter al cuerpo a una elevada tensión).

Los cuerpos aislantes tienen tanta importancia como los conductores en el mundo de la industria de materiales eléctricos, ya que gracias a ellos podemos aislar de la electricidad unos cuerpos de otros. Son buenos aislantes: *el hexafluoruro de azufre (SF_6), las cámaras de vacío, porcelana, aceite mineral, caucho, barniz, vidrio, algodón, seda, papel, plástico, aire seco, etcétera.*

No todos los aislantes poseen el mismo poder de aislamiento; así, por ejemplo, son buenos aislantes el hexafluoruro de azufre, el vacío, los materiales plásticos, el vidrio y el aire seco, mientras que los textiles vegetales son poco aislantes. Más adelante estudiaremos cómo se puede medir el poder aislante de un material.

En la actualidad la tecnología de los aislantes es quizás más importante que la de los conductores, sobre todo si hablamos de los materiales que se utilizan para las redes de alta y media tensión. No hay que olvidar que con tensiones elevadas, del orden de 440 kV, 220 kV, etc., la electricidad se puede abrir paso con facilidad hasta por un aislante, pudiendo provocar accidentes, o simplemente hacer inviable el transporte a tensiones elevadas. En este campo se ha avanzado mucho en la fabricación de materiales con una alta capacidad de aislamiento.

Los plásticos elaborados en diferentes formas son los grandes protagonistas de los aislantes, tanto en baja como en media tensión (PVC, polietileno, etc.).

El hexafluoruro de azufre es un gas que posee una altísima capacidad de aislamiento, lo que permite aproximar las partes activas de una instalación sin que haya peligro.

Las cámaras de vacío resultan un aislante fabuloso en interruptores de media tensión.

La porcelana no es tan buen aislante, pero al soportar altas temperaturas es ideal para algunas aplicaciones (porlámparas, etc.).

A diferencia de los aislantes, los conductores permiten con facilidad el movimiento de electrones por su estructura molecular.

Prácticamente, todos los metales son buenos conductores, pero unos lo son mejor que otros.

A continuación se expone una lista en la que aparecen clasificados algunos materiales conductores. Comenzamos por los mejores y terminamos por los peores:

Plata, cobre, oro, aluminio, cinc, estaño, hierro, plomo, maillechort, mercurio, nícrón, carbón.

La plata es un excelente conductor de la electricidad, pero debido a su alto coste, se emplea solamente cuando sus propiedades sean particularmente interesantes, como en los contactos de apertura y cierre de circuitos.

El material más empleado es el cobre, que conduce casi tan bien como la plata, y su coste es muy inferior.

El aluminio se utiliza en las líneas de transporte, ya que su peso es menor que el del cobre.

Por otro lado, se fabrican materiales a base de aleaciones como el nícrón (níquel-cromo), el constantán (cobre-níquel), el ferroníquel (hierro-níquel), el maillechort (cobre-cinc-níquel) y otras muchas, que poseen la característica de ser mucho peor conductores que el cobre, lo que los hace útiles como materiales resistivos para la fabricación de resistencias (reostatos, elementos calefactores, etc.).

El carbón es bastante mal conductor, lo que lo hace ideal para la fabricación de pequeñas resistencias para circuitos electrónicos.

2.2. Resistencia eléctrica

La resistencia eléctrica como unidad de medida nos va a ayudar a diferenciar los cuerpos que son mejores conductores de los que son peores, de tal manera que podremos decir que un mal conductor posee mucha resistencia eléc-



trica, mientras que uno bueno tiene poca. De esta manera podemos decir que:

La resistencia eléctrica es la mayor o menor oposición que ofrecen los cuerpos conductores al paso de la corriente eléctrica.

Este fenómeno se podría explicar así: cuando los electrones circulan por un conductor, estos tienen que moverse a través de todos los átomos, produciéndose una especie de rozamiento (resistencia al movimiento de electrones) que se transforma en calor (Figura 2.2). Estos choques son menores en los buenos conductores que en los malos.

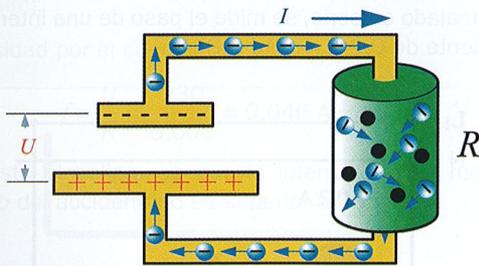


Figura 2.2. La resistencia se manifiesta como una oposición al movimiento de electrones.

La unidad de medida de la resistencia eléctrica (símbolo R) es el ohmio y se representa por la letra griega omega, Ω .

- 1 miliohmio = $1 \text{ m}\Omega = 0,001 \Omega$
- 1 kilohmio = $1 \text{ k}\Omega = 1.000 \Omega$
- 1 megaohmio = $1 \text{ M}\Omega = 1.000.000 \Omega$

Los símbolos más utilizados para la resistencia son los representados en la Figura 2.3.

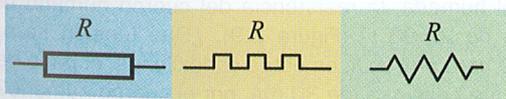


Figura 2.3. Símbolos esquemáticos de la resistencia eléctrica.

2.3. Medida de la resistencia eléctrica

El aparato que se utiliza para medir la resistencia eléctrica es el óhmetro.

Para medir el valor de una resistencia, bastará con conectar los extremos de esta a las puntas del óhmetro (Figura 2.4).

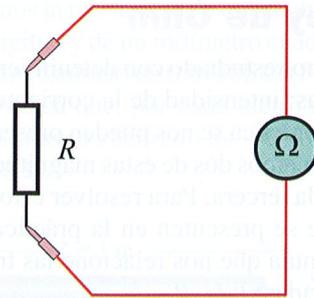


Figura 2.4. Medida de la resistencia con el óhmetro.

Existen muchos tipos de óhmetros, pero uno de los más conocidos y más utilizados para medir resistencias de una forma aproximada es el que incorpora el polímetro (Figura 2.5). El puente de Wheatstone es otro aparato de medida para medir resistencias que se utiliza cuando se quiere dar una mayor precisión en la medida.



Figura 2.5. El polímetro incorpora un óhmetro para la medida de resistencias.

Actividad experimental 2.1

Consigue un óhmetro (por ejemplo, el que se incluye en el polímetro) y mide la resistencia de varias lámparas y de cualquier otro aparato eléctrico que tengas a tu alcance.

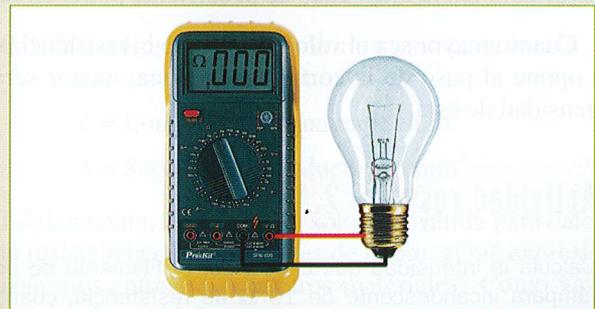


Figura 2.6.

2.4. La ley de Ohm

Hasta ahora hemos estudiado con detenimiento varias magnitudes eléctricas: intensidad de la corriente, tensión y resistencia. En la práctica se nos pueden presentar problemas en los que conozcamos dos de estas magnitudes y tengamos que determinar la tercera. Para resolver estos problemas, y otros tantos que se presenten en la práctica, es necesario aplicar una fórmula que nos relacione las tres magnitudes eléctricas conocidas: I , U , R .

El físico Ohm, basándose en un experimento, determinó que la intensidad de la corriente que recorre un circuito eléctrico es directamente proporcional a la tensión aplicada (a más tensión, más intensidad), e inversamente proporcional a la resistencia eléctrica (a más resistencia, menos intensidad).

$$I = \frac{U}{R}$$

Veamos cómo se puede explicar esta relación. Al conectar una resistencia a los bornes de una pila, aparece una corriente eléctrica que circula desde el polo negativo de la pila atravesando dicha resistencia, hasta el positivo (Figura 2.7). Recuerda que si existe corriente eléctrica es gracias a que el generador traslada las cargas del polo positivo al negativo, con lo que crea una diferencia de cargas, que nosotros llamamos tensión eléctrica.

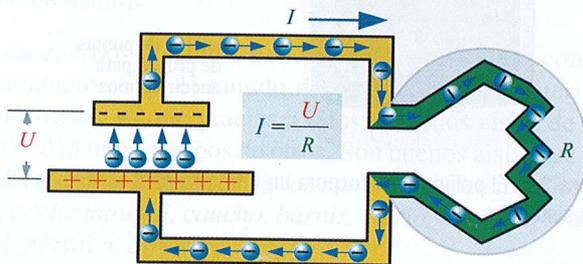


Figura 2.7.

Cuanto mayor es la tensión eléctrica, con mayor fuerza atraerá el polo positivo de la pila a los electrones que salen del negativo y atraviesan la resistencia, y por tanto, será mayor también la intensidad de la corriente por el circuito.

Cuanto mayor sea el valor óhmico de la resistencia que se opone al paso de la corriente eléctrica, menor será la intensidad de esta.

Actividad resuelta 2.1

Calcula la intensidad que circula por el filamento de una lámpara incandescente de 10Ω de resistencia, cuando está sometida a una tensión de 12 V .

Solución:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12}{10} = 1,2 \text{ A}$$

La ley de Ohm se puede ampliar despejando, en la fórmula, los valores de U y de R , con lo que se obtienen las siguientes expresiones:

$$I = U/R \quad U = RI \quad R = U/I$$

Actividad resuelta 2.2

Se quiere determinar la resistencia eléctrica del filamento de una lámpara incandescente. Para ello, se somete a la lámpara a una tensión de 230 V y, mediante un amperímetro intercalado en serie, se mide el paso de una intensidad de corriente de $0,2 \text{ A}$ (Figura 2.8).

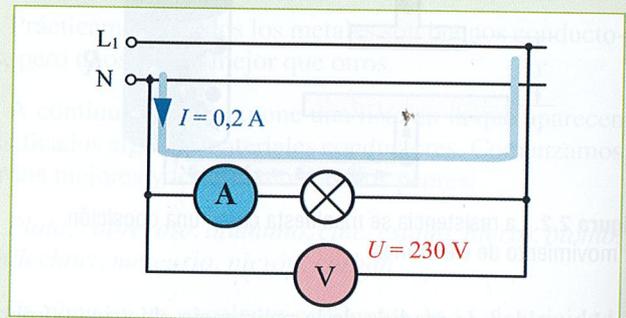


Figura 2.8.

Solución:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{230}{0,2} = 1.150 \Omega$$

Actividad resuelta 2.3

Es sabido que en condiciones desfavorables, es decir, con la piel húmeda, la resistencia del cuerpo humano es del orden de 2.500Ω (Figura 2.9). ¿Qué tensión será suficiente para provocar, en estas condiciones, el paso de una corriente peligrosa, de 30 mA , por el cuerpo humano?

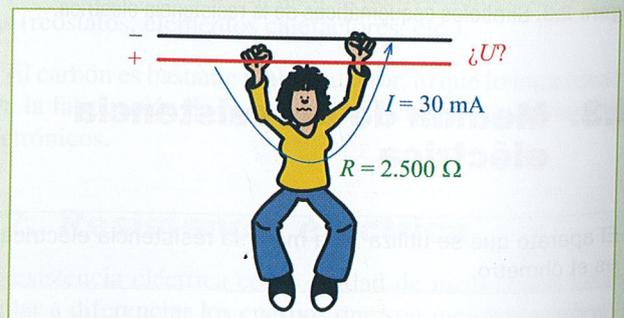


Figura 2.9.

**Solución:**

$$U = R \cdot I = 2.500 \cdot 0,03 = 75 \text{ V}$$

Actividad resuelta 2.4

Se sabe que una intensidad de corriente de 30 mA puede ocasionar la muerte por fibrilación cardíaca. La resistencia eléctrica del cuerpo humano suele ser, por término medio y en condiciones normales, del orden de 5.000 Ω . Si una persona, por accidente, se pone en contacto con una red de 230 V, ¿cuál será la corriente que atraviese su cuerpo? ¿Existe algún peligro de muerte?

Solución:

Intensidad por el cuerpo:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{230}{5.000} = 0,046 \text{ A} = 46 \text{ mA}$$

Sí existe el peligro, ya que la intensidad que recorre el cuerpo del accidentado es superior a 30 mA.

Actividad propuesta 2.1

Resuelve los ejercicios planteados en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1.

Ejercicio	I	U	R
1.º	5 A	500 mV	?
2.º	20 A	?	5 Ω
3.º	30 mA	1 V	?
4.º	10 μ A	200 V	?
5.º	?	10 kV	15 k Ω
6.º	10 kA	?	600 m Ω

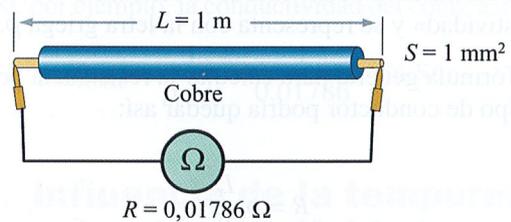


La solución a esta Actividad propuesta la puedes encontrar dentro del MATERIAL WEB elaborado para este texto.

2.5. Resistencia de un conductor

Como ya pudimos estudiar con anterioridad, la resistencia de los diferentes materiales depende fundamentalmente de su naturaleza. Por otro lado, las dimensiones de esos materiales también influyen de forma decisiva en su resistencia final. Esto tiene una especial importancia en los cálculos de la sección de conductores para instalaciones eléctricas, ya que una resistencia elevada en ellos provocaría su calentamiento y su probable deterioro.

Si midiésemos la resistencia de un conductor de cobre de un metro de longitud y de un milímetro cuadrado de sección, obtendríamos un resultado de 0,01786 Ω (Figura 2.10). Este resultado nos indica que, por cada metro de conductor de cobre de un milímetro cuadrado de sección, su resistencia será de 0,01786 Ω .

**Figura 2.10.** Medida de la resistividad del cobre.

Por otro lado es lógico pensar que, si la resistencia eléctrica es la dificultad que ofrece un conductor al paso de la corriente eléctrica, esta dificultad irá aumentando en función del camino que tenga que recorrer; es decir, a mayor longitud, mayor será la resistencia. Así, por ejemplo, si ahora midiésemos la resistencia de un conductor de 2 m de cobre de 1 mm², observaríamos que la resistencia ha aumentado al doble (0,03572 Ω).

La resistencia de un conductor aumenta con su longitud.

Si, por el contrario, se aumenta la sección del conductor, los electrones tendrán más libertad para moverse y, por tanto, la resistencia será menor. Así, por ejemplo, si midiésemos la resistencia de un conductor de 1 m de cobre de 2 mm² daría como resultado un valor óhmico de la mitad (0,00893 Ω).

La resistencia de un conductor disminuye con su sección.

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones, la expresión matemática necesaria para determinar la resistencia de un conductor de cobre (R_{cu}) podría quedar así:

$$R_{cu} = 0,01786 \frac{L}{S}$$

0,01786 = Resistencia en ohmios por cada metro de conductor de 1 mm² a 20 °C.

L = Longitud del conductor en m.

S = Sección del conductor en mm².

Lógicamente, esta fórmula solo será válida para calcular la resistencia de conductores de cobre. ¿Qué expresión utilizaremos entonces para otros materiales? Como ya se dijo, existen materiales que son mejores conductores que otros; así, por ejemplo, el aluminio es peor conductor que el

2. RESISTENCIA ELÉCTRICA

cobre. De tal forma que, si midiésemos ahora la resistencia de un conductor de aluminio de un metro de longitud y de un milímetro cuadrado de sección, obtendríamos un resultado igual a $0,02857 \Omega$.

Está claro que cada material tendrá un determinado valor de resistencia por cada metro y milímetro cuadrado de sección del mismo. A este valor se lo denomina «coeficiente de resistividad» y se representa con la letra griega ρ .

La fórmula general para calcular la resistencia de cualquier tipo de conductor podría quedar así:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

ρ = Coeficiente de resistividad ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$).

L = Longitud del conductor (m).

S = Sección del conductor (mm^2).

R = Resistencia del conductor (Ω).

En la Tabla 2.2 se expone una lista con el coeficiente de resistividad, a 20°C de temperatura, de los materiales más utilizados.

Tabla 2.2. Resistividad de conductores y aislantes a 20°C

Material	$\rho_{20^\circ} (\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$	Material	$\rho_{20^\circ} (\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$
Plata	0,016	Isabelín	0,5
Cobre	0,01786	Constantán	0,5
Bronce	0,018..0,056	Resistina	0,5
Oro	0,023	Kruppina	0,85
Aluminio	0,02857	Mercurio	0,96
Magnesio	0,045	Cromoníquel	1,1
Grafito	0,046	Bismuto	1,2
Tungsteno	0,055	Pizarra	10^{12}
Wolframio	0,055	Celuloide	10^{14}
Cinc	0,063	Tela endurecida	10^{14}
Latón	0,07..0,09	Esteatita	10^{18}
Níquel	0,08..0,11	Ámbar	10^{20}
Hierro	0,10..0,15	Baquelita	10^{20}
Estaño	0,11	Caucho	10^{20}
Platino	0,11..0,14	Mica	10^{20}
Plomo	0,21	PVC	10^{20}
Maillechort	0,3	Vidrio	10^{20}
Orocromo	0,33	Metacrilato	10^{21}
Niquelina	0,43	Poliestireno	10^{21}
Manganina	0,43	Polipropileno	10^{21}

Material	$\rho_{20^\circ} (\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$	Material	$\rho_{20^\circ} (\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$
Novoconstantán	0,45	Parafina pura	10^{22}
Reotan	0,47	Cuarzo	$4 \cdot 10^{23}$

Actividad resuelta 2.5

¿Qué resistencia tendrá un conductor de cobre de 20 m de longitud y 1 mm^2 de sección?

Solución:

$$R = \rho \frac{L}{S} = 0,01786 \frac{20}{1} = 0,357 \Omega$$

Actividad resuelta 2.6

¿Y un conductor de aluminio de las mismas dimensiones?

Solución:

$$R = \dots = 0,571 \Omega$$

Actividad resuelta 2.7

¿Qué sección poseerá un conductor de constantán de 12 m de longitud, si se ha medido una resistencia entre sus terminales de 6Ω ?

Solución:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

despejando:

$$S = \rho \frac{L}{R} = 0,5 \frac{12}{6} = 1 \text{ mm}^2$$

Actividad resuelta 2.8

Se desea medir la longitud de una bobina de cobre. Para no tener que desenrollar el conductor, se mide con un óhmetro conectado a los extremos de la bobina una resistencia de 1Ω . Mediante un calibre medimos un diámetro de $0,5 \text{ mm}$ (Figura 2.11).

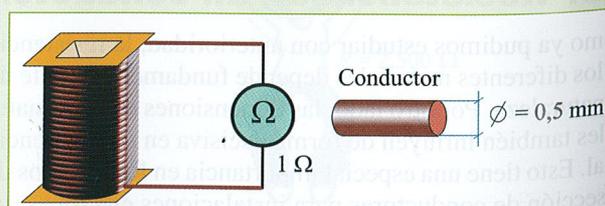


Figura 2.11.

**Solución:**

Como la sección es circular:

$$S = \pi r^2 = 3,1416 \cdot 0,25^2 = 0,2 \text{ mm}^2$$

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

despejando:

$$L = \frac{R \cdot S}{\rho} = \frac{1 \cdot 0,2}{0,01786} = 11,2 \text{ m}$$

$$\gamma = \frac{1}{\rho}$$

γ = Conductividad (S/m).

ρ = Resistividad ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$).

Así, por ejemplo, la conductividad del cobre a 20 °C es:

$$\gamma_{\text{cobre}} = \frac{1}{\rho_{\text{cobre}}} = \frac{1}{0,01786} = 56 \text{ S/m}$$

Actividad propuesta 2.2

Resuelve los ejercicios planteados en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3.

Ejercicio	R (Ω)	L (m)	S (mm^2)	ρ
1.º	?	50	4	Cinc
2.º	5	?	0,5	Maillechort
3.º	2	5	?	Aluminio
4.º	0,01	?	0,25	Oro
5.º	10	2	0,1	?



La solución a esta Actividad propuesta la puedes encontrar dentro del MATERIAL WEB elaborado para este texto.

2.6. Conductancia y conductividad

Otra forma de expresar que un material es mejor conductor que otro es a través del concepto de conductancia, que nos indica la facilidad que presentan los conductores al paso de la corriente eléctrica. Esta magnitud es inversa a la resistencia y su unidad es el **siemens (S)**.

$$G = \frac{1}{R}$$

G = Conductancia (S).

R = Resistencia (Ω).

La conductividad de un conductor nos indica la facilidad que ofrece este al paso de la corriente eléctrica. Es decir, es la inversa de la resistividad y su unidad es el **siemens/metro (S/m)**.

2.7. Influencia de la temperatura sobre la resistividad

Actividad experimental 2.2

Consigue una lámpara de linterna y mide con el óhmetro su resistencia en frío. Seguidamente, conecta la lámpara a una pila, y mediante un amperímetro y un voltímetro determina los valores de I y de U (Figura 2.12). Con ellos determina el valor de la resistencia óhmica del filamento en caliente, aplicando la ley de Ohm. Compara los resultados obtenidos. ¿Obtuviste los mismos resultados en los dos casos?

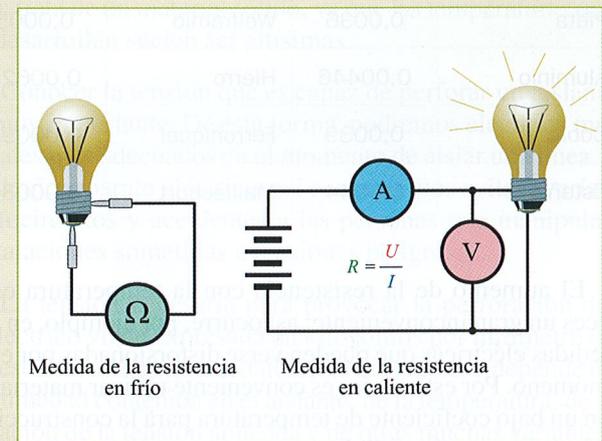


Figura 2.12.

Seguro que no. Al medir la resistencia con el óhmetro, la lámpara está apagada y, por tanto, el filamento se encuentra frío, es decir, a la temperatura ambiente. Por otro lado, cuando se aplica la ley de Ohm para calcular la resistencia, se hace con los datos correspondientes al estado de encendido de la lámpara. Hay que tener en cuenta que, en ese estado, el filamento se encuentra a una temperatura de unos 2.000 °C. Y es que la resistencia eléctrica se eleva sustancialmente en casi todos los conductores al elevarse su temperatura; de aquí que en una lámpara incandescente la resistencia en frío sea muy inferior a cuando está caliente.

2. RESISTENCIA ELÉCTRICA

Por lo general, la resistencia aumenta con la temperatura en los conductores metálicos. Este aumento depende del incremento de la temperatura y de la materia de que esté constituido dicho conductor.

$$R_{t^{\circ}} = R_0 (1 + \alpha \cdot \Delta t^{\circ})$$

$R_{t^{\circ}}$ = Resistencia en caliente.

R_0 = Resistencia a 20 °C.

α = Coeficiente de temperatura a 20 °C.

Δt° = Elevación de temperatura en °C.

Con esta expresión se puede calcular la resistencia a una temperatura dada ($R_{t^{\circ}}$), conociendo la temperatura de la resistencia en frío (R_0), la elevación de la temperatura (Δt°) y el coeficiente de temperatura (α), que será diferente para cada material. En la Tabla 2.4 se dan los coeficientes de temperatura de los materiales más utilizados.

Tabla 2.4. Coeficiente de temperatura a 20 °C de las resistencias

Material	α	Material	α
Oro	0,0035	Constantán	0,0001
Plata	0,0036	Wolframio	0,0005
Aluminio	0,00446	Hierro	0,00625
Cobre	0,0039	Ferroníquel	0,00093
Estaño	0,0044	Maillechort	0,00036

El aumento de la resistencia con la temperatura es a veces un gran inconveniente; así ocurre, por ejemplo, en las medidas eléctricas que pueden verse distorsionadas por este fenómeno. Por esta razón, es conveniente utilizar materiales con un bajo coeficiente de temperatura para la construcción de los aparatos de medida.

En otros casos, este aumento de resistencia con la temperatura puede ser beneficioso; como, por ejemplo, para medir temperaturas por medio de resistencias que poseen un alto coeficiente de temperatura (termómetros electrónicos).

De una forma especial, existen materiales en los cuales se reduce la resistencia al aumentar su temperatura. En estos casos se dice que poseen un coeficiente de temperatura negativo. En general, los materiales semiconductores pertenecen a este grupo. En especial, existen resistencias construidas con semiconductores especialmente diseñadas para reducir su resistencia cuando aumenta la temperatura, como las NTC.

Actividad resuelta 2.9

Medimos la resistencia de una fase de un bobinado de cobre de un motor antes de haber funcionado (a la temperatura de 20 °C) y obtenemos un resultado de 4 Ω . Determina la resistencia que alcanzará cuando esté en funcionamiento a una temperatura de 75 °C.

Solución:

$$R_{t^{\circ}} = R_0 (1 + \alpha \Delta t^{\circ})$$
$$R_{75^{\circ}\text{C}} = 4 \cdot (1 + 0,0039 \cdot 55) = 4,86 \Omega$$

Actividad resuelta 2.10

¿Cuál será el aumento de temperatura que experimenta una lámpara incandescente con filamento de wolframio si al medir su resistencia a temperatura ambiente (20 °C) obtuvimos un resultado de 358 Ω , habiéndose calculado una resistencia en caliente de 807 Ω ?

Solución:

De la expresión original despejamos el incremento de temperatura:

$$\Delta t^{\circ} = \left(\frac{R_{t^{\circ}}}{R_0} - 1 \right) / \alpha = \left(\frac{807}{358} - 1 \right) / 0,0005 = 2.508^{\circ}\text{C}$$

Actividad resuelta 2.11

Determina la corriente que aparecerá en la lámpara incandescente de la Actividad resuelta 2.10 al conectarla a 230 V y en los siguientes casos:

- nada más conectarla;
- una vez encendida.

Solución:

- Nada más conectar la lámpara el filamento se encuentra a 20 °C y su resistencia es de 358 Ω .

$$I = \frac{U}{R_{20^{\circ}\text{C}}} = \frac{230}{358} = 0,64 \text{ A}$$

- Al aumentar la temperatura hasta los 2.528 °C, la resistencia aumenta su valor hasta 807 Ω , produciéndose una disminución y estabilización de la corriente.

$$I = \frac{U}{R_{2.528^{\circ}\text{C}}} = \frac{230}{807} = 0,29 \text{ A}$$



Como se ha podido comprobar en la tabla de coeficientes de temperatura, existen aleaciones, como el constantán, que apenas varían con la temperatura, lo que las hace ideales para la fabricación de resistencias en las que sea importante la estabilidad de su valor óhmico con los cambios de temperatura.

Los aislantes tienen una característica muy especial: su resistencia disminuye con la temperatura.

Cuando se disminuye mucho la temperatura de los conductores metálicos (cerca de los $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$) se puede llegar a alcanzar la *superconductividad*, es decir, ausencia absoluta de resistencia eléctrica. El paso de la corriente eléctrica por un superconductor no provoca ningún tipo de pérdida calorífica. Hoy en día se están consiguiendo grandes avances en la fabricación de materiales superconductores a temperaturas mucho más elevadas (en torno a los 150 grados bajo cero).

Actividad propuesta 2.3

Resuelve los ejercicios planteados en la Tabla 2.5.

R_t = Resistencia en caliente.

R_0 = Resistencia a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

α = Coeficiente de temperatura a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Δt° = Elevación de temperatura en $^{\circ}\text{C}$.

Tabla 2.5.

Ejercicio	R_t (Ω)	R_0 (Ω)	α	Δt° ($^{\circ}\text{C}$)
1.º	?	30	Plata	100
2.º	1.000	?	Aluminio	50
3.º	50	49	?	200
4.º	200	199	Cobre	?



La solución a esta Actividad propuesta la puedes encontrar dentro del MATERIAL WEB elaborado para este texto.

2.8. Resistencia de los aislantes

Ya explicamos que los materiales aislantes o dieléctricos tienen tanta importancia en las aplicaciones prácticas de la electricidad como los conductores. Gracias a los aislantes es posible separar las partes activas de una instalación con las inactivas, con lo que se consiguen instalaciones eléctricas seguras para las personas que las utilizan.

Lo mismo que existen materiales que son mejores conductores que otros, también existen materiales con mayor capacidad de aislamiento que otros. De tal forma que, cuanto mayor es la resistividad de un aislante, mayor es su capacidad de aislamiento.

Dar una cifra exacta de la resistividad de cada uno de los aislantes es un poco complicado, ya que este valor se suele ver reducido por el grado de humedad y por la elevación de la temperatura.

Así, por ejemplo, el agua pura posee una resistividad aproximada de $10\text{ M}\Omega \cdot \text{m}^2/\text{m}$, y la porcelana $10^{11}\text{ M}\Omega \cdot \text{m}^2/\text{m}$.

2.9. Rigidez dieléctrica

Otra forma de medir la calidad de aislamiento de un material es conociendo su rigidez dieléctrica.

La rigidez dieléctrica de un material es la tensión que es capaz de perforarlo (corriente eléctrica que se establece por el aislante).

Eso quiere decir que los materiales aislantes no son perfectos, ya que pueden ser atravesados por una corriente si se eleva suficientemente la tensión.

Así, por ejemplo, en una tormenta eléctrica, la fuerte tensión entre la nube y la tierra es capaz de perforar un buen aislante: el aire.

Cuando un aislante es perforado por la corriente, la chispa que lo atraviesa suele provocar su destrucción, sobre todo si se trata de un material sólido, ya que las temperaturas que se desarrollan suelen ser altísimas.

Conocer la tensión que es capaz de perforar un aislante es muy importante. De esta forma, podremos elegir los materiales más adecuados en el momento de aislar una línea, o cualquier aparato eléctrico; así conseguimos evitar averías, cortocircuitos y accidentes a las personas que manipulan instalaciones sometidas a tensiones peligrosas.

La tensión necesaria para provocar la perforación del dieléctrico viene expresada en kilovoltios por milímetro de espesor del aislante. Este dato no es constante, y depende de la humedad contenida en el aislante, de la temperatura, de la duración de la tensión aplicada y de otras muchas variables.

Así, por ejemplo, la rigidez dieléctrica de los siguientes elementos es la que se indica:

Agua	12,0 kV/mm
Papel	16,0 kV/mm
Aceite mineral	4,0 kV/mm
Cloruro de polivinilo	50,0 kV/mm
Aire seco	3,1 kV/mm
Polietileno	16,0 kV/mm

Cuando se selecciona un conductor eléctrico, aparte de la sección que resulte ser la más adecuada, es muy importante tener en cuenta la tensión de servicio de la instalación

donde va a trabajar. En el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión se indican las tensiones que deberán soportar los aislantes de los conductores eléctricos con un margen de seguridad. Siguiendo estas recomendaciones se fabrican, por ejemplo, conductores de 500 V, 750 V y 1.000 V para baja tensión.

Los materiales aislantes que se utilizan para conseguir estas tensiones de aislamiento en conductores para instalaciones eléctricas de baja tensión pueden ser:

- Policloruro de vinilo (PVC).
- Polietileno reticulado (XLPE).
- Etileno propileno (EPR).

2.10. Manejo del polímetro

Antes de pasar a realizar las actividades de comprobación práctica, vamos a dar unas instrucciones básicas para el buen uso del aparato de medida que vamos a utilizar.

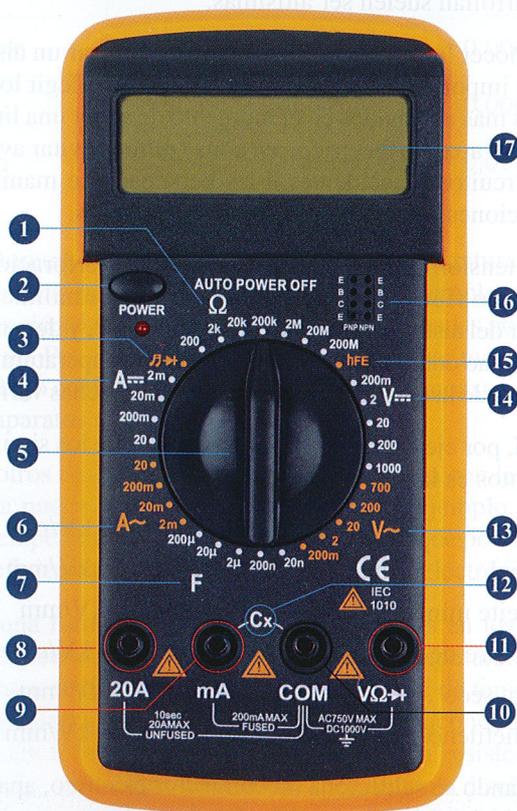
El polímetro o multímetro es un aparato de medida portátil que se utiliza para medir diferentes magnitudes eléctricas, como, por ejemplo, tensión e intensidad de corriente en C.C. y C.A., resistencia, capacidad, prueba de continuidad, prueba de diodos y transistores.

Existen multitud de modelos comerciales de multímetros con diferentes prestaciones y características, aunque su manejo es muy similar; en el momento que se adquiere una cierta práctica en el uso de uno de ellos, prácticamente ya se sabe manejar todos. En la Figura 2.13 se muestra, como ejemplo, la disposición de un polímetro portátil con la identificación de sus diferentes partes.

El polímetro dispone de dos puntas de prueba de diferente color para la realización de las medidas. La punta negra (terminal negativo) (terminal común), siempre debe estar conectada en el borne (10). La punta de prueba roja se conectará en los bornes (8), (9), (11) según la magnitud a medir.

2.10.1. Medida de tensión

Antes de comenzar con la medida se debe conocer si la corriente es continua (14) o alterna (13). Además es importante seleccionar un rango de medida que esté dentro de la medida esperada. Así, por ejemplo, si vamos a medir la tensión en algunas partes del circuito de una placa electrónica que esté alimentada a 12 V, pondremos el selector para medidas en C.C. (14) y comenzaremos con un rango de medida de 20 V; si el resultado de la medida es muy bajo, giraremos el selector hacia el rango 2 V o 200 mV, hasta obtener una lectura en la pantalla lo más precisa posible.



1. Medidas de resistencia (óhmetro).
2. Interruptor de encendido.
3. Medidas de continuidad y comprobación de diodos.
4. Medidas de intensidad (amperímetro) en C.C.
5. Selector rotativo para fijar la magnitud a medir y su campo de medida.
6. Medidas de intensidad (amperímetro) en C.A.
7. Medidas de capacidad para condensadores (capacímetro).
8. Borne de conexión para medida de intensidades hasta 20 A (punta de prueba roja).
9. Borne de conexión para medida de intensidades en el rango de mA (punta de prueba roja).
10. Borne de conexión común para medida de tensiones, intensidades y resistencias (punta de prueba negra).
11. Borne de conexión para medida de tensiones y resistencias (punta de prueba roja).
12. Bornes de conexión para medida de capacidad de condensadores.
13. Medida de tensión (voltímetro) en C.A.
14. Medida de tensión (voltímetro) en C.C.
15. Medida de la ganancia de un transistor.
16. Base para la conexión y comprobación de transistores.
17. Pantalla digital.

Figura 2.13. Identificación de las partes de un polímetro.



Es importante resaltar que si, al realizar la medida de tensión, nos equivocamos con la conexión de la punta roja y la conectamos al borne de medida de corriente (8) o (9), se puede producir un cortocircuito, que dañe el aparato si el fusible interno no lo corta de forma rápida.

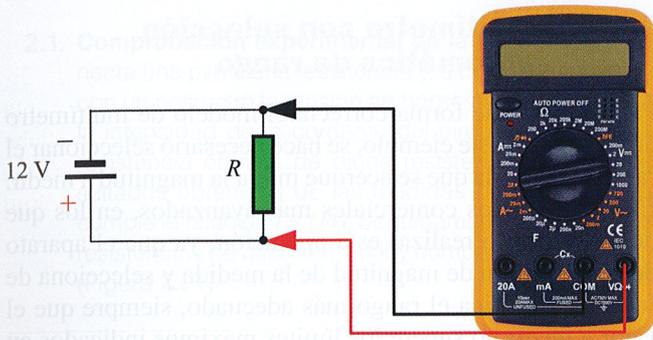


Figura 2.14. Medida de tensión en un circuito C.C.

2.10.2. Medida de intensidad de corriente

Al igual que con las medidas de tensión, antes de realizar la medida se debe saber el tipo de corriente a medir, (4) para C.C. y (6) para C.A. Aquí sí que es muy importante seleccionar el rango adecuado a la medida a realizar, ya que en caso contrario se pueden producir daños internos en el aparato. Así, por ejemplo, si fuésemos a medir la intensidad de corriente por un receptor de mucha potencia, como un motor, o un calefactor, habría que colocar la punta de prueba roja en el borne (8) de 20 A. Para medidas normales en el rango de mA, conectaremos dicha punta de prueba en el borne (9).

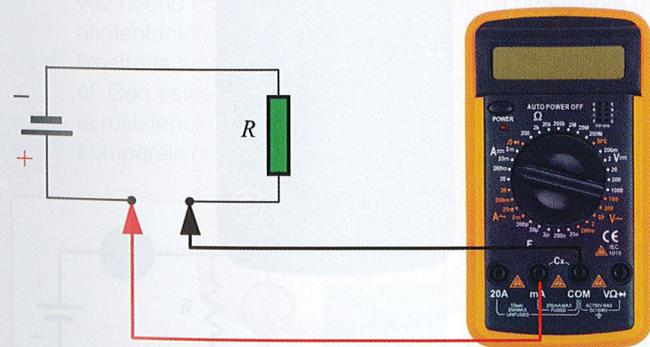


Figura 2.15. Medida de intensidad en un circuito C.C.

2.10.3. Medida de resistencia

Para medir el valor óhmico de una resistencia moveremos el selector (1) hasta situarlo en un rango que se ajuste lo más posible a su valor, obteniendo así una lectura en la pantalla lo más precisa posible.

Todos los aparatos de medida arrojan un cierto error en el resultado obtenidos de su lectura, es lo que se conoce como

precisión. Para obtener una medida precisa en resistencias de bajo valor, se debe restar la resistencia que oponen los cables de prueba al resultado obtenido. La resistencia de dichos cables suele estar en torno a 0,5 ohmios.

Como medida de precaución, las resistencias a medir no deben estar alimentadas por ninguna fuente de tensión, ya que en caso contrario se obtendría una lectura falsa y los circuitos internos del polímetro podrían ser dañados.

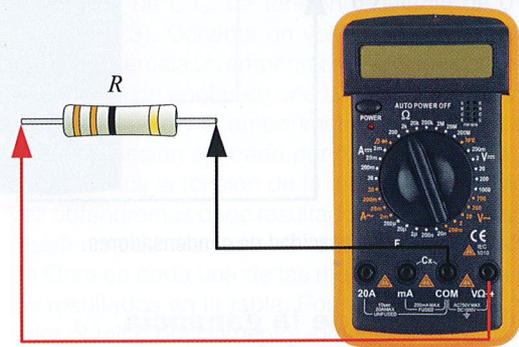


Figura 2.16. Medida de resistencias.

2.10.4. Medida de continuidad y diodos

En las medidas de continuidad, cuando la resistencia del circuito es muy baja el aparato emite un pitido.

Cuando se conecta un diodo semiconductor con la punta roja (11) en el ánodo y la negra (10) en el cátodo, la pantalla nos muestra la tensión de polarización del diodo (suele encontrarse en torno a 0,5 V), en cuyo caso nos indica que su estado es correcto.

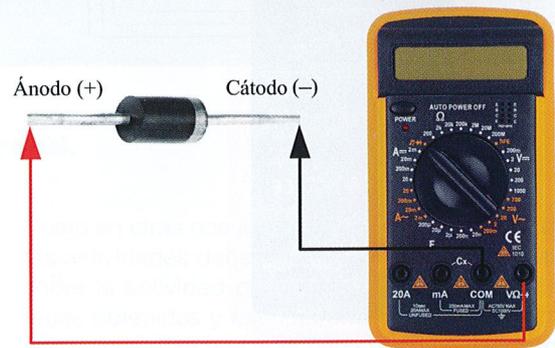


Figura 2.17. Comprobación de diodos.

2.10.5. Medida de capacidad de un condensador

Para medir la capacidad de un condensador moveremos el selector (7) hasta situarlo en un rango de medida adecuado, bien en microfaradios (μF) para condensadores de más capacidad, o en nanofaradios (nF) para los de menos.

Para evitar posibles daños al multímetro o errores en la medida, el condensador debe de estar descargado y desconectado

2. RESISTENCIA ELÉCTRICA

de toda fuente de tensión. Para comprobar esta posible circunstancia, antes de realizar la medida, comprueba la tensión de C.C. entre sus terminales.

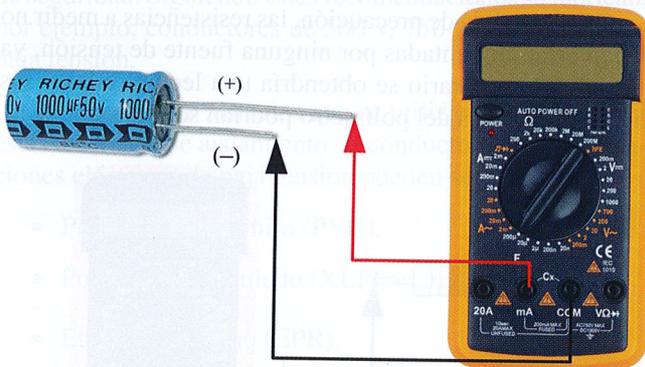


Figura 2.18. Medida de capacidad de condensadores.

2.10.6. Medida de la ganancia de un transistor

Para medir este parámetro hay que conectar los terminales del transistor a la base de conexión (16) y situar el selector en h_{FE} (15). Para conseguir la lectura de la ganancia en la pantalla habrá que hacer coincidir los tres terminales del transistor (Base, Emisor, Colector) con los correspondientes de la base de conexión, según sea del tipo PNP o NPN.

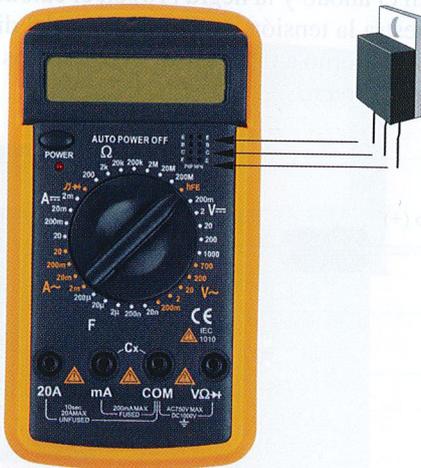


Figura 2.19. Comprobación de transistores.

Si la ganancia obtenida es de un valor aceptable (en torno a unos cientos), nos indicará que el transistor se encuentra en buen estado. Además, nos puede ayudar a identificar el tipo de transistor y la disposición de sus terminales, en caso de su desconocimiento.

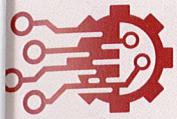
2.10.7. Multímetro con selección automática de rango

Para manejar de forma correcta el modelo de multímetro utilizado para este ejemplo, se hace necesario seleccionar el rango de medida que se acerque más a la magnitud a medir. Existen modelos comerciales más avanzados, en los que no es necesario realizar esta operación, ya que el aparato detecta el orden de magnitud de la medida y selecciona de forma automática el rango más adecuado, siempre que el valor a medir no supere los límites máximos indicados en las especificaciones.

En estos modelos basta con seleccionar la magnitud a medir y el tipo de corriente, y aunque el rango se seleccione de forma automática, también ofrecen la posibilidad de su selección manual.



Figura 2.20. Multímetro con selección automática de rango.



Comprobación práctica en el laboratorio

2.1. Comprobación experimental de la ley de Ohm. Conecta una pila a una resistencia y, a continuación, mide con un polímetro la tensión en bornes de la resistencia, la intensidad de la corriente del circuito, así como la resistencia óhmica de dicha resistencia. Con los resultados obtenidos de las medidas comprueba si se cumple la relación $I = U/R$. Seguidamente conecta otras resistencias de diferente valor y compara los resultados (Figura 2.21).

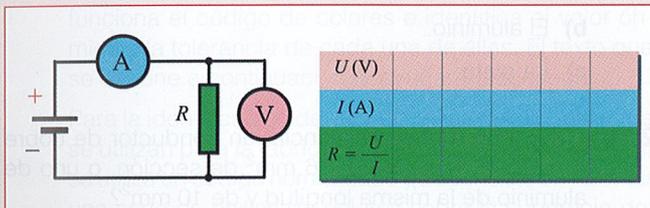


Figura 2.21.

2.2. Relación entre las dimensiones de un conductor y su resistencia. Consigue un trozo de hilo resistivo de resistividad conocida de un metro o más de longitud (nicrón, constantán, etc.). Mide su longitud con una cinta métrica y su diámetro con un calibre o pie de rey. Seguidamente calcula su sección en mm^2 y el valor teórico de su resistencia teniendo en cuenta su resistividad. Una vez hecho esto conecta el trozo de hilo a una fuente de alimentación o a una pila de unos 4 V y mide con un polímetro la tensión aplicada y la intensidad que fluye por él. Con estos datos, y aplicando la ley de Ohm, calcula la resistencia óhmica obtenida de forma experimental y compárala con la obtenida de forma teórica (Figura 2.22).

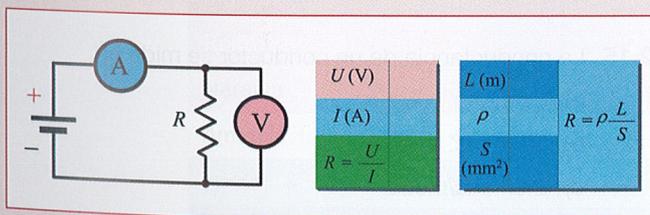


Figura 2.22.

2.3. Influencia de la temperatura en la resistencia. Conecta una lámpara de unos 12 V a una fuente de alimentación de C.C. de tensión regulable de 0 a 12 V (Figura 2.23). Conecta un voltímetro a la salida de la fuente e intercala un amperímetro en serie con la lámpara. Se trata de anotar en una tabla los datos obtenidos en el voltímetro y el amperímetro según se va aumentando la tensión aplicada por la fuente de 1 a 12 V. Si aumentamos la tensión de la fuente en un voltio, cada vez obtendremos doce resultados. Calcula el valor de la resistencia del filamento de la lámpara aplicando la ley de Ohm en cada una de las medidas tomadas y anota los resultados en la tabla. Podrás comprobar cómo el valor óhmico del filamento aumenta según aumenta la temperatura del filamento. Por último, lleva los valores a una gráfica y obtén la relación entre U e I . ¿Es lineal esta relación?

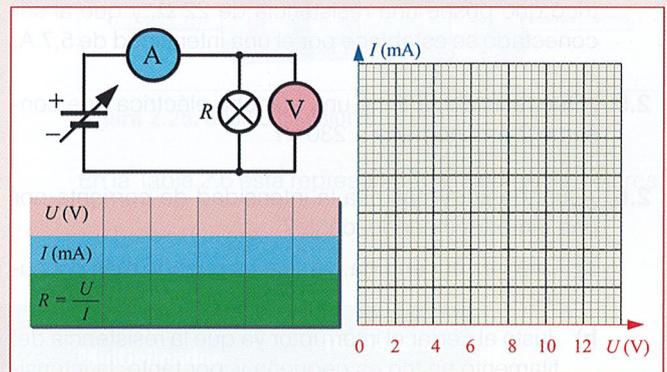


Figura 2.23.

Como en otras ocasiones, al finalizar cada una de estas actividades deberás elaborar un informe-memoria sobre la actividad desarrollada, indicando los resultados obtenidos y estructurándolos en los apartados necesarios para una adecuada documentación de las mismas (descripción del proceso seguido, medios utilizados, esquemas y planos utilizados, cálculos, medidas, etc.).

Actividades de comprobación

- 2.1.** Para medir la resistencia eléctrica:
- Se conectan los dos terminales del óhmetro con los de la resistencia que se va a medir.
 - Se conecta la resistencia al circuito para posteriormente realizar la medida con el óhmetro.
 - Se utiliza un resistómetro.
- 2.2.** ¿Cuál es la cualidad por la que se diferencian los buenos conductores de los malos?
- Intensidad óhmica.
 - Resistencia eléctrica.
 - Tensión resistiva.
- 2.3.** Se dispone de una linterna que funciona con una pila de 1,5 V; la lamparita tiene una resistencia de 50 Ω . Calcula la intensidad del circuito.
- 2.4.** Calcula la tensión de funcionamiento de un horno eléctrico que posee una resistencia de 22 Ω , y que al ser conectado se establece por él una intensidad de 5,7 A.
- 2.5.** ¿Qué resistencia tiene una plancha eléctrica que consume 2 A conectada a 230 V?
- 2.6.** ¿Cuándo será más alta la intensidad de corriente por una lámpara incandescente?
- Una vez encendida, ya que es cuando más consume.
 - Justo al cerrar el interruptor ya que la resistencia del filamento en frío es pequeña y, por tanto, la intensidad de la corriente será más elevada.
 - La intensidad de la corriente es la misma en todo momento.
- 2.7.** ¿Cuál es la sustancia que más se aproximaría al super aislante?
- El vacío, ya que al no existir en él materia no hay electrones que se puedan poner en movimiento.
 - El aire.
 - Los plásticos sintéticos.
- 2.8.** Se quiere determinar la longitud de un carrete de hilo de cobre esmaltado de 0,25 mm de diámetro. Para ello, se mide con un óhmetro su resistencia, y se obtiene un resultado de 34,6 Ω .
- 2.9.** ¿Qué característica se utiliza habitualmente para medir el poder de aislamiento de un material?
- El grosor del aislante.
 - La rigidez dieléctrica.
 - La intensidad máxima que soporta.
- 2.10.** ¿Qué material es necesario utilizar para conseguir que un metro de conductor de 0,5 mm² posea una resistencia de 56 m Ω ?
- El cobre.
 - El aluminio.
 - La plata.
- 2.11.** ¿Qué tendrá más resistencia, un conductor de cobre de 100 m de longitud y 6 mm² de sección, o uno de aluminio de la misma longitud y de 10 mm²?
- Conductor de cobre.
 - Conductor de aluminio.
 - Aproximadamente igual.
- 2.12.** ¿Cuál será la sección de un conductor de cinc de 5 metros, si posee una resistencia de 1 Ω ?
- 2.13.** La resistencia a 20 °C de una bobina de cobre es de 5 Ω . Calcula la resistencia de esa bobina a 80 °C.
- 2.14.** Una resistencia ha aumentado 1,05 Ω al incrementar su temperatura de 20 °C a t °C. Determina la resistencia final y la temperatura que alcanzó, si su coeficiente de temperatura es de 0,004 y la resistencia a 20 °C es de 65 Ω .
- 2.15.** La conductancia de un conductor se mide en
- Ohmios.
 - Siemens.
 - Siemens/metro.
- 2.16.** La conductividad de un conductor es una magnitud eléctrica que se presenta por el símbolo:
- G.
 - ρ .
 - γ .



Actividades de ampliación



Con el fin de conseguir una mayor profundización en la materia, se han incluido los enunciados de una serie de «**actividades de evaluación propuestas de ampliación (2)**» para esta unidad que podrás encontrar dentro del MATERIAL WEB elaborado para este texto. Selecciona alguna de estas actividades y encuentra su solución.

2.1. Código de colores para resistencias. Consigue en el laboratorio de electrónica unas cuantas resistencias de las que se utilizan en los circuitos electrónicos y que vienen marcadas con anillos de color. Averigua cómo funciona el código de colores e identifica el valor óhmico y la tolerancia de cada una de ellas. El texto que se expone a continuación te ayudará a conseguirlo.

Para la identificación de las pequeñas resistencias que se utilizan para la fabricación de circuitos electrónicos, se utiliza un código normalizado que consiste en inscribir una serie de anillos de colores sobre la superficie del cuerpo de la resistencia. Mediante este código de colores es posible averiguar de un vistazo el valor óhmico de la resistencia y su tolerancia (Figura 2.24).

Las resistencias suelen presentarse con tres anillos de diferentes colores y un cuarto un poco más separado de estos. Los tres primeros anillos que vamos a denominar A, B y C dan la clave del valor óhmico y el cuarto indica la tolerancia (Figura 2.25).



Figura 2.24. Las resistencias poseen una serie de anillos de color que nos indican el valor óhmico.

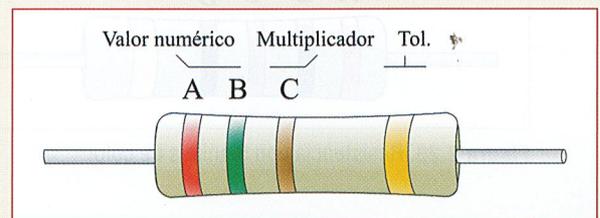


Figura 2.25. Código de colores.

En la Tabla 2.6 está representado el código de colores.

Tabla 2.6. Código de colores para resistencias

Color	A 1. ^a cifra	B 2. ^a cifra	C Multiplicador	Tolerancia
Negro	0	0	x1	
Marrón	1	1	x10	± 1 %
Rojo	2	2	x100	± 2 %
Naranja	3	3	x1.000	
Amarillo	4	4	x10.000	
Verde	5	5	x100.000	± 0,5 %
Azul	6	6	x1.000.000	
Violeta	7	7	x10.000.000	± 0,1 %
Gris	8	8	x100.000.000	
Blanco	9	9	x1.000.000.000	
Oro	—	—	x0,1	± 5 %
Plata	—	—	x0,01	± 10 %
Sin color	—	—	—	± 20 %

2. RESISTENCIA ELÉCTRICA

Así, por ejemplo, si deseamos averiguar el valor óhmico y la tolerancia de una resistencia que aparece con los colores: Rojo - Azul - Naranja - Plata, deberemos proceder de la siguiente forma:

Situamos las cifras que van asociadas a los colores en el orden que aparecen inscritos los mismos:

A	B	C	Tol.
Rojo	Azul	Naranja	Plata
(2)	(6)	(x1.000)	(±10 %)
$26 \cdot 1.000 = 26.000 \Omega = 26 \text{ k}\Omega \pm 10 \%$			

El código de colores puede incluir 4, 5 y hasta 6 anillos de color.

En el caso de 5 anillos, los tres primeros (A, B, C) dan el valor numérico, el cuarto (D) el multiplicador y el quinto (E) la tolerancia (Figura 2.26).

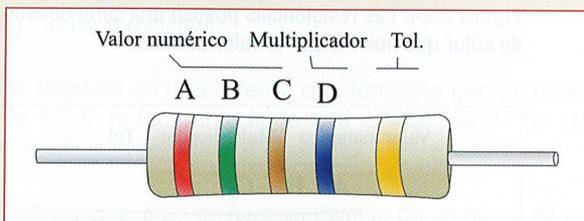


Figura 2.26. Resistencia con 5 anillos de color.

2.2. Identificación de resistencias para montaje superficial (SMD). Consigue en el laboratorio unas cuantas resistencias para montaje superficial (SMD). Investiga qué tipo de códigos de identificación utilizan y averigua el valor óhmico de cada una de ellas. El texto que se expone seguidamente te ayudará a conseguirlo.

La tendencia a reducir cada vez más el tamaño de los circuitos electrónicos, ha llevado a la industria a producir resistencias de pequeño tamaño conocidas por el nombre de SMD o para montaje superficial (Figura 2.27). La característica principal de estos componentes es que se conectan directamente a la superficie del circuito impreso a través de soldadura sin necesidad de realizar taladros en la placa. Los componentes SMD hacen posible un alto grado de automatización en la construcción de circuitos.

El tamaño de estas resistencias puede llegar a ser menor que 1 mm, por lo que no queda suficiente espacio para imprimir las bandas de colores, por lo que para su identificación se utiliza un código alfanumérico de tres o cuatro dígitos (Figura 2.28).

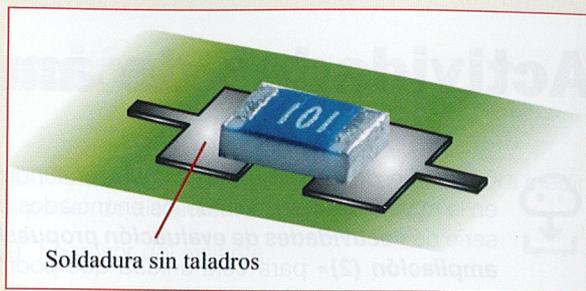


Figura 2.27. Montaje de resistencia SMD.



Figura 2.28. Marcado alfanumérico de resistencias SMD.

Tabla 2.7. Ejemplos de resistencias SMD con tres dígitos

	1. ^a Cifra = 1. ^{er} : número 2. ^a Cifra = 2. ^o : número 3. ^a Cifra = Multiplicador	1.500 Ω
	1. ^a Cifra = 1. ^{er} : número La «R» indica la coma decimal 3. ^a Cifra = 2. ^o : número	1,8 Ω
	La «R» indica «0» 2. ^a Cifra = 2. ^o : número 3. ^a Cifra = 3. ^{er} : número	0,33 Ω

Para tolerancias más bajas, como por ejemplo el 1 %, se utilizan códigos con 4 dígitos, en los que las tres primeras cifras indican los tres primeros dígitos del valor, y el cuarto dígito indica el multiplicador.