

Table of Contents

1 La llei d'Ohm.....	2
1.1 Relació entre tensió, corrent i resistència.....	2
1.2 La potència elèctrica.....	5
1.3 Resistències.....	8
1.4 Resistivitat, propietat física d'un material.....	12
1.5 No linealidad de la resistencia.....	14
1.6 El cableado del circuito.....	19
1.7 Soluciones.....	22

1 La llei d'Ohm

1.1 Relació entre tensió, corrent i resistència

En un circuit elèctric, els electrons lliures circulen pels conductors que formen el circuit. Aquest moviment continu d'electrons lliures a través dels conductors es denomina corrent (flux, intensitat) elèctrica.

La força que causa el moviment d'electrons, es diu tensió i es mesura en volts. La tensió indica l'energia potencial entre dos punts del circuit. Sense referència a dos punts concrets del circuit elèctric, el terme "tensió" manca de sentit.

Per a crear un flux d'electrons lliures, cal aportar-los energia. Aquesta càrrega d'energia dels electrons és necessària, perquè els materials conductors del circuit oposen una resistència al seu pas. Aquesta resistència és comparable a la resistència que una canonada, o una mànega, oposen al pas de l'aigua que transporta.

Igual que la tensió, la resistència es mesura entre dos punts del circuit.

Magnitud	Símbol	Unitat de mesura	Abreviació
Corrent (intensitat)	I	Amperes	A
Tensió	V o E o U	Volts	V
Resistència	R	Ohms	Ω

El voltatge és la mesura de l'energia potencial per unitat de càrrega que causa el flux d'electrons en el circuit. Abans de poder definir amb precisió el que és un "volt" convé entendre en un sentit més ampli el que és i com mesurar "l'energia potencial".

La unitat mètrica general per a l'energia de qualsevol tipus és el joule, que equival a la quantitat de treball realitzat per una força d'1 newton exercida sobre un objecte que és desplaçat 1 metre, estant orientats la força i la direcció del moviment (impuls) de l'objecte en el mateix sentit.

Definit en aquests termes científics, 1 volt equival a 1 joule d'energia potencial elèctrica per una determinada quantitat d'electrons (unitat de càrrega). Així, una pila de 9 volts allibera 9 joules d'energia per cada unitat de càrrega.

La primera relació, i potser la més important entre corrent, tensió i resistència es diu Llei d'Ohm, descoberta per Georg Simon Ohm i publicada en 1827. El principal descobriment d'Ohm va ser que la quantitat de corrent elèctric que travessa un conductor metàl·lic en un circuit és directament proporcional a la tensió i la resistència a temperatura constant.

Ohm va expressar el seu descobriment en forma d'una senzilla equació que descriu com s'interrelacionen el voltatge, el corrent i la resistència:

$$E = I \cdot R$$

E tensió en volts

I intensitat (corrent) en amperes

R resistència en ohms

Resum

- Si la resistència és constant, el valor del corrent està determinat per la tensió. Un augment de la tensió causa un augment del corrent.
- Si la tensió és constant, el valor del corrent està determinat per la resistència. Si la resistència augmenta, el corrent disminueix.
- Si la intensitat és constant, el valor de la tensió està determinat per la resistència. Per a superar una resistència major, la tensió que actua sobre els electrons, l'energia que reben, ha de ser major.

Exercici 1.1-1:

A una font d'alimentació de 3 V es connecta una resistència de $100 \, \Omega$

- a) Dibuixa un esquema del circuit.
- b) Calcula la intensitat.
- c) Calcula la potència en la resistència.

Exercici 1.1-2:

A una font d'alimentació de 5 V es connecten tres resistències en sèrie.

$R_1 = 100 \, \Omega$,

$R_2 = 200 \, \Omega$,

$R_3 = 300 \, \Omega$

- a) Dibuixa un esquema del circuit.
- b) Calcula la intensitat.
- c) Calcula la potència en les resistències.

1.2 La potència elèctrica

A més de la tensió i el corrent, existeix una altra magnitud característica en màquines elèctriques, la potència.

La potència és una mesura de la quantitat de treball que es pot realitzar en un temps determinat. Un exemple de treball és el d'aixecar un pes contra la força de la gravetat. Com més pesada sigui la càrrega i com més alt s'aixequi, més treball s'haurà realitzat. La potència és una mesura de la rapidesa amb la qual es realitza una unitat de treball. Com s'ha explicat anteriorment, la unitat del treball és el joule.

En els circuits elèctrics, la potència depèn tant de la tensió com del corrent. Es calcula multiplicant l'energia potencial (tensió) per la quantitat del flux d'electrons (corrent): $P = I \cdot E$

P potència en W

I corrent en A

E tensió en V

Ha d'entendre's que ni la tensió, ni el corrent, constitueixen per si mateixes la potència.

Més aviat, la potència és la combinació de tensió i corrent. La tensió és el treball específic (o energia potencial) per unitat de càrrega, mentre que el corrent correspon al cabal de càrrega que circula pel conductor.

La tensió és anàloga al treball específic (J / m) realitzat en elevar una massa sobre la qual actua la força de gravetat. El corrent és anàleg a la velocitat (m/s) amb la qual es fa aquest treball. Junts, multiplicant voltatge per corrent, s'obté la potència.

Com en el cas del motor d'un tractor dièsel i el motor d'una motocicleta, un circuit amb alta tensió i baixa corrent pot estar dissipant la mateixa quantitat de potència que un circuit amb baixa tensió i alt corrent. Ni la tensió ni el corrent indiquen per si soles la potència d'un circuit.

En un circuit obert, en el qual hi ha tensió entre els terminals de la font i el corrent és zero, la potència dissipada és zero, per molt alta que sigui la tensió ($P = I \cdot E$ i $I = 0$). Sabem que qualsevol valor multiplicat per zero és zero. La potència dissipada en un circuit obert és zero. Un circuit obert equival a càrrega (motor, llum) desconnectada.

Si tinguéssim un curtcircuit construït amb un superconductor (de resistència zero), es podria mantenir un corrent sense voltatge, és a dir, voltatge zero. En aquest cas, tampoc es dissiparia energia. La potència dissipada en una espira superconductora ha de ser zero.

Un motor elèctric transforma energia elèctrica en energia mecànica. La potència elèctrica es mesura en W en tot el món, la mecànica no. Hi ha països en els quals la potència mecànica es mesura en cavalls de vapor (CV, HP). El factor de conversió de CV a W és el següent:

$$1 \text{ CV} = 745,7 \text{ W}$$

Resum

- La potència és la quantitat de treball que es realitza en un temps determinat.
- La potència mecànica s'expressa en diverses unitats.
- La potència elèctrica sempre s'expressa en W i pot calcular-se mitjançant la fórmula $P = I \cdot E$.
- Els cavalls de vapor (CV, HP) i els watts (W) són dues unitats diferents per a descriure la potència. 1 cavall de vapor equival a 745,7 watts.

Exercici 1.2-1:

En una resistència de $500\ \Omega$ es mesura un corrent de $0,1\ \text{A}$.

Calcula la tensió que cau en la resistència i la potència dissipada.

Exercici 1.2-2:

En una resistència de $500\ \Omega$ cau una tensió de $20\ \text{V}$.

Calcula el corrent que circula per la resistència i la potència dissipada.

1.3 Resistències

Atès que la relació entre voltatge, corrent i resistència en qualsevol circuit és proporcional, podem determinar qualsevol variable d'un circuit coneixent les altres dues. Potser la variable més fàcil d'ajustar en qualsevol circuit és la seva resistència. Això pot fer-se canviant el material, la grandària i la forma dels seus components conductors. Per exemple el gruix de l'un fil conductor i la seva longitud, determinen la seva resistència.

Els components anomenats resistències, es fabriquen amb un valor precís de resistència per a la seva inserció en un circuit. Solen estar fets de filferro metàl·lic o carboni, i estan dissenyats per a mantenir un valor de resistència estable en un ample ventall de condicions ambientals.

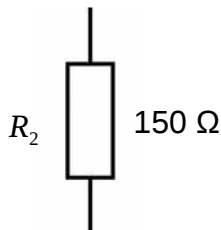
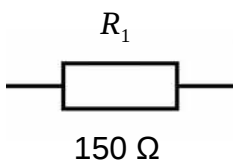
A diferència dels llums, no produeixen llum, però sí calor, ja que dissipen energia elèctrica en el seu interior. No obstant això, en un circuit electrònic, el propòsit d'una resistència no és produir calor utilitzable, sinó mantenir un valor determinat i constant de resistència elèctrica.

En els esquemes elèctrics, una resistència es representa amb un dels següents símbols:

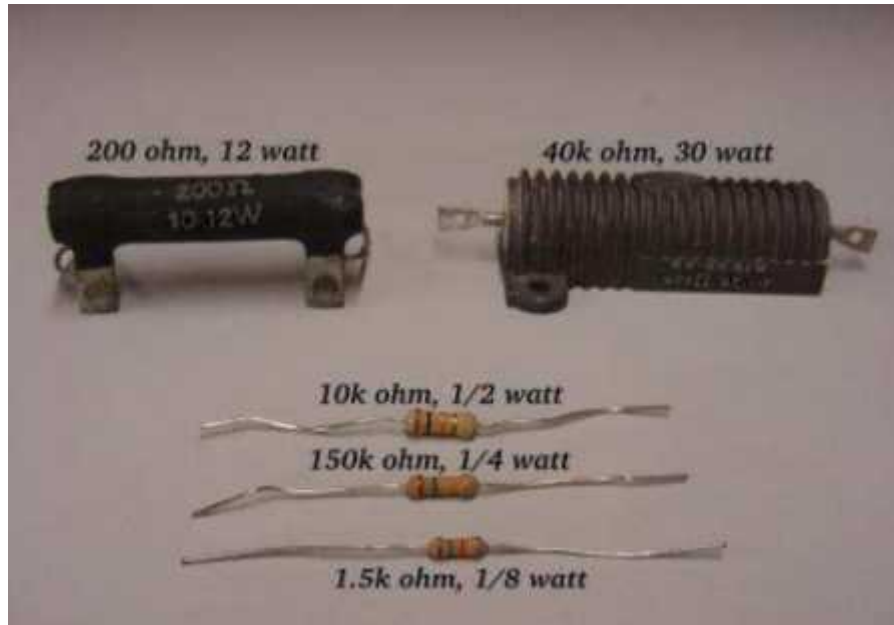


Els valors de les resistències en ohms solen indicar-se amb un número adjacent, i si hi ha diverses resistències en un circuit, s'identificaran amb R 1, R 2, R 3 , etc.

Les resistències poden representar-se horitzontal o verticalment.

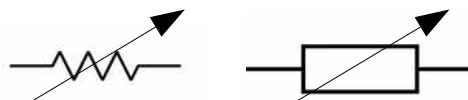


La següent imatge mostra diverses resistències.



Les resistències poden ser ajustables, en comptes de fixes. Una resistència ajustable es representa incloent una fletxa que creua el símbol de la resistència.

Resistències ajustables



De fet, un símbol de component dibuixat amb una fletxa diagonal travessant-lo, significa que aquest component té un valor variable en lloc de fix. Aquest símbol "modificador" (la fletxa diagonal) és una convenció electrònica estàndard.

Les resistències variables han de tenir algun medi físic d'ajust, ja sigui un eix giratori o una palanca que pugui moure's per a ajustar el valor de la resistència. La següent fotografia mostra uns components anomenats potenciòmetres, en els quals la resistència és ajustable:



Atès que les resistències dissipen energia tèrmica quan els corrents elèctrics que les travessen superen la "fricció" al seu pas, també es classifiquen segons de la quantitat d'energia tèrmica que són capaces de dissipar sense sobreescalfar-se ni sofrir danys.

Aquesta potència nominal s'especifica en watts (W). La majoria de les resistències que es troben en petits dispositius electrònics com a ràdios portàtils tenen una potència nominal de $\frac{1}{4}$ (0,25) watt o menys. La potència nominal de qualsevol resistència es pot estimar per la seva grandària física. En la primera fotografia s'aprecia com les potències nominals augmenten amb la grandària. A major grandària de la resistència, major és la seva capacitat per a dissipar potència. Observi's també com el valor de les resistències (en ohms), no té res a veure amb la grandària física.

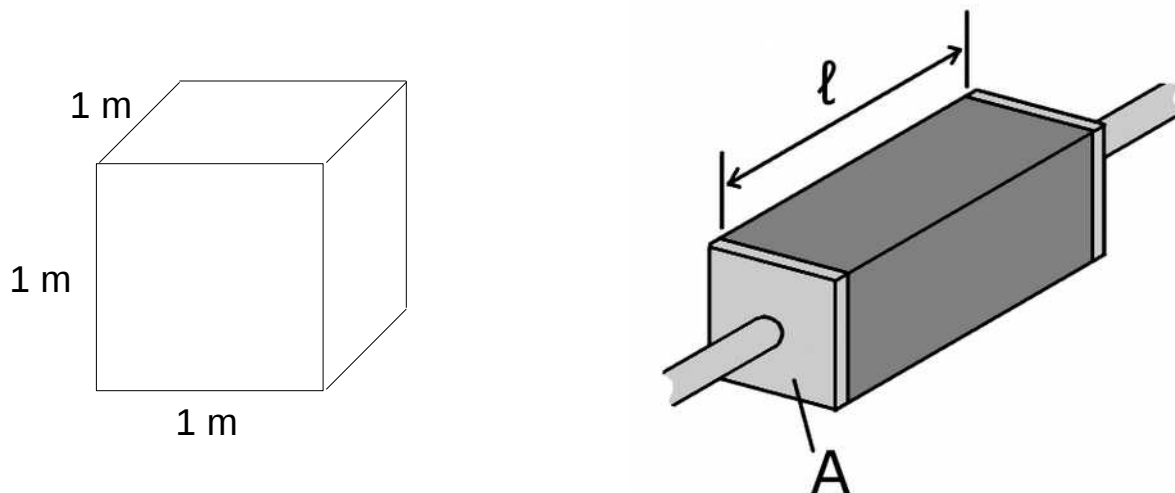
Resum

- Les resistències es fabriquen amb valors precisos per a ser utilitzades en els circuits elèctrics.
- Les resistències es classifiquen tant per la seva resistència (ohms) com per la seva capacitat de dissipar energia tèrmica (watts).
- El valor nominal en ohms d'una resistència, no pot determinar-se a partir de la seva grandària física. El que sí que pot determinar-se aproximadament per la seva grandària és la seva capacitat de dissipar potència. A major grandària, major potència podrà dissipar sense sofrir danys.
- Qualsevol dispositiu que aprofiti l'energia elèctrica es denomina càrrega. A vegades s'utilitza el símbol de la resistència en un diagrama elèctric per a designar una càrrega no específica.

1.4 Resistivitat, propietat física d'un material

Els materials tenen una propietat física anomenada resistivitat ρ , que indica la resistència en ohms per metre lineal del material, considerant una secció de 1 m^2 .

Un objecte d'1 m de llarg amb una secció de 1 m^2 , es pot representar com un cub d'1 m x 1 m x 1m.



La siguiente tabla muestra los valores de resistividad para diversos materiales.

Material	Resistividad (en 20 °C-25 °C) ($\Omega\cdot\text{m}$).
Grafeno ⁸	$1,00 \times 10^{-8}$
Plata ⁸	$1,59 \times 10^{-8}$
Cobre ⁹	$1,71 \times 10^{-8}$
Oro ¹⁰	$2,35 \times 10^{-8}$
Aluminio ¹¹	$2,82 \times 10^{-8}$
Wolframio ¹²	$5,65 \times 10^{-8}$
Níquel ¹³	$6,40 \times 10^{-8}$
Hierro ¹⁴	$8,90 \times 10^{-8}$
Platino ¹⁵	$10,60 \times 10^{-8}$
Estaño ¹⁶	$11,50 \times 10^{-8}$
Acero inoxidable 301 ¹⁷	$72,00 \times 10^{-8}$
Grafito ¹⁸	$60,00 \times 10^{-8}$

<https://es.wikipedia.org/wiki/Resistividad>

La resistencia de un conductor depende de su longitud y su sección.

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

R resistencia en Ω

ρ resistividad en $\Omega \cdot m$

l longitud del conductor

A sección del conductor en m^2

Por ejemplo, un conductor de plata de 10 m de largo y 1 mm^2 de sección, presentará una resistencia de

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{1,59 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m \cdot 10 \text{ m}}{10^{-6} m^2} = 1,59 \cdot 10^{-1} \Omega = 0,159 \Omega$$

Ejercicio 1.4-1

Calcula la resistencia de un conductor de aluminio de 5 m de largo y 2 mm^2 de sección.

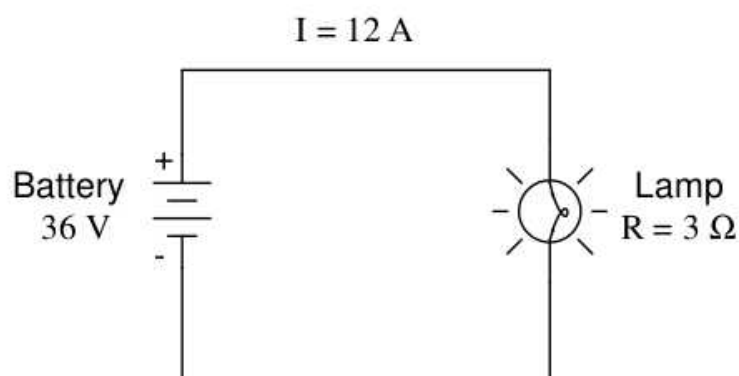
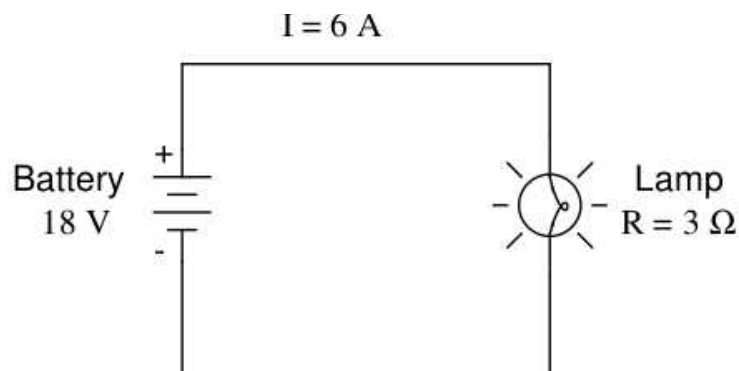
1.5 No linealidad de la resistencia

La ley de Ohm es una herramienta matemática sencilla y poderosa que nos ayuda a analizar los circuitos eléctricos, pero tiene sus limitaciones y debemos conocerlas para aplicarla correctamente a los circuitos reales.

Para la mayoría de los conductores, la resistencia es una propiedad bastante estable, que no se ve afectada por la tensión o la corriente. Por esta razón, podemos considerar la resistencia de muchos componentes del circuito como una constante, independiente de tensión y corriente.

Por ejemplo, en circuito con una lámpara de $3\ \Omega$, calculamos la corriente a través de el circuito dividiendo la tensión por la resistencia ($I=E/R$). Con una batería de 18 voltios, la corriente de nuestro circuito será de 6 amperios. Duplicando el voltaje de la batería a 36 voltios, la corriente se duplica a 12 amperios.

Todo esto tiene sentido, siempre y cuando la lámpara siga proporcionando exactamente la misma cantidad de fricción (resistencia) al flujo de electrones a través de ella: $3\ \Omega$.



Sin embargo, la realidad no siempre es tan sencilla. En una lámpara incandescente, que mediante la corriente eléctrica calienta un fino filamento metálico hasta que brilla al rojo vivo, la resistencia del conductor cambia con la temperatura. De hecho, la resistencia del filamento aumentará drásticamente a medida que se calienta desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de funcionamiento.

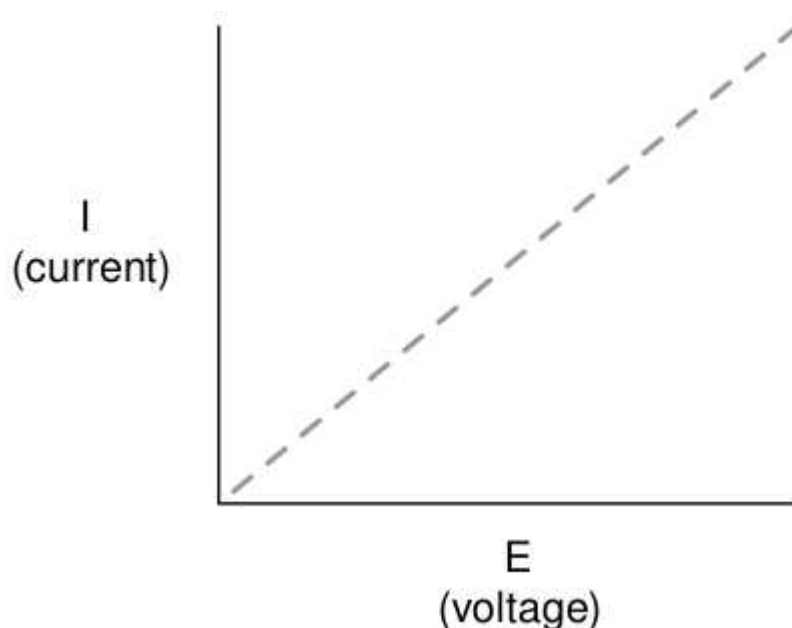
Si aumentáramos la tensión de alimentación en un circuito con una lámpara real, el aumento de corriente resultante provocaría un aumento de la temperatura del filamento, lo que a su vez aumentaría su resistencia, impidiendo así nuevos aumentos de corriente sin que aumente la tensión. Esto significa que la tensión y la corriente no siguen la ecuación simple " $I=E/R$ " (suponiendo que R es igual a $3\ \Omega$) porque la resistencia del filamento de una lámpara incandescente no es igual a $3\ \Omega$.

La resistencia del filamento de una lámpara incandescente no permanece constante para diferentes corrientes.

El fenómeno de la variación de la resistencia con las variaciones de temperatura es común a casi todos los metales, de los que están hechos la mayoría de los cables conductores. Generalmente estos cambios son lo suficientemente pequeños como para ignorarlos. Sin embargo, en los filamentos de lámparas incandescentes, el aumento de resistencia es bastante grande.

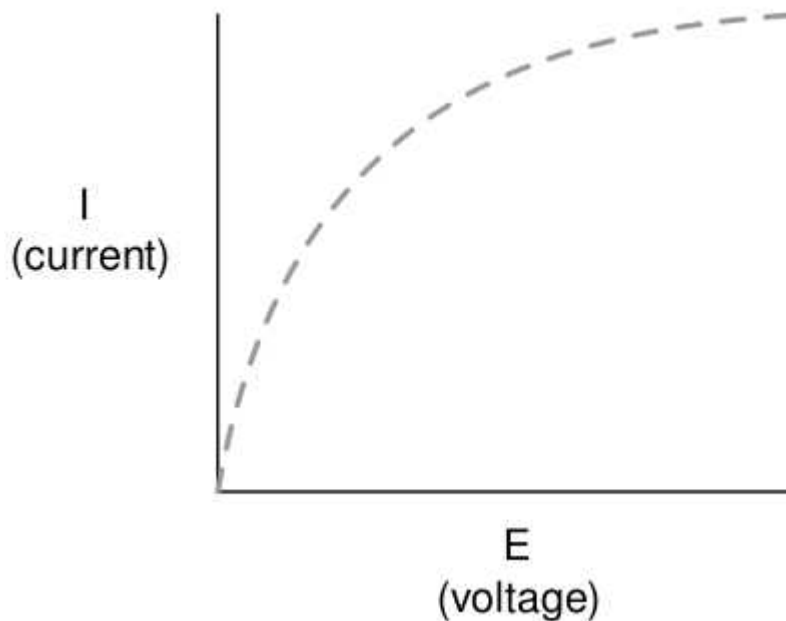
Éste es sólo un ejemplo de "no linealidad" en los circuitos eléctricos. No es el único ejemplo.

Una función "lineal" en matemáticas es aquella que sigue una línea recta cuando se representa en un gráfico. La versión simplificada del circuito de la lámpara con una resistencia de filamento constante de $3\ \Omega$ se representaría con un gráfico como éste:



El trazado rectilíneo de la corriente sobre la tensión indica que la resistencia es un valor constante (invariable) para una amplia gama de tensiones y corrientes. En una situación "ideal", éste es el caso. Las resistencias, que se fabrican para proporcionar un valor definido y estable de resistencia, se aproximan mucho al gráfico anterior. Un matemático llamaría a su comportamiento "lineal".

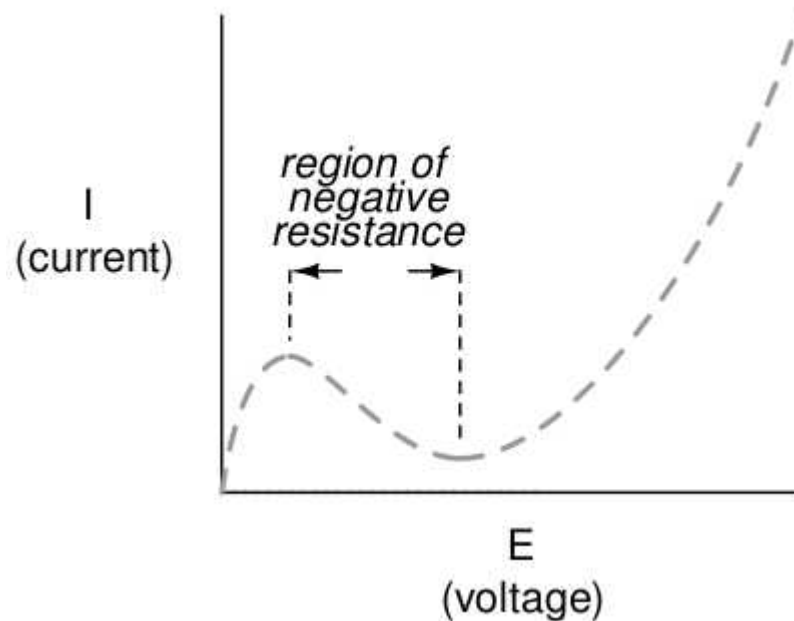
Haciendo un análisis más realista de un circuito de lámpara, sin embargo, con diferentes tensión de la batería el gráfico resultante sería parecido al siguiente:



El gráfico ya no es una línea recta. Su pendiente es pronunciada en el lado izquierdo, pero va disminuyendo a medida que aumenta la tensión.

Intentando aplicar la Ley de Ohm para hallar la resistencia de la lámpara con los valores de tensión y la corriente, se obtienen valores diferentes. La resistencia no es lineal, sino que aumenta al aumentar la corriente y la tensión. La no linealidad está causada la alta temperatura del filamento de la lámpara.

Otros componentes eléctricos presentan curvas de corriente/tensión aún más extrañas que ésta. Algunos dispositivos experimentan una disminución de la corriente a medida que aumenta la tensión aplicada. Este fenómeno se conoce como resistencia negativa, ya que la pendiente de la relación corriente/tensión es negativa (desciende en lugar de aumentar a medida que avanza de izquierda a derecha).



En particular, los tubos de electrones (valvulas) de alto vacío, conocidos como tetrodos, y los diodos semiconductores conocidos como Esaki (diodos túnel) presentan una resistencia negativa para determinados rangos de voltaje. La ley de Ohm no es útil para analizar el comportamiento de componentes como éstos, en los que la resistencia varía con la tensión y la corriente.

Se ha sugerido que la "Ley de Ohm" debería perder su estatus de "ley" por no ser universal. Sería más exacto decir que la ecuación ($R=E/I$) es una definición de resistencia, aplicable a una determinada clase de materiales en determinadas condiciones.

Sin embargo, en los ejemplos y ejercicios de estos apuntes, se supondrá que las resistencias son constantes a menos que se especifique lo contrario.

Es importante recordar que en los ejemplos y ejercicios se está simplificando la realidad, sustituyendola por ecuaciones sencillas. La realidad no es matemática, sin embargo las matemáticas ayudan a describir la realidad.

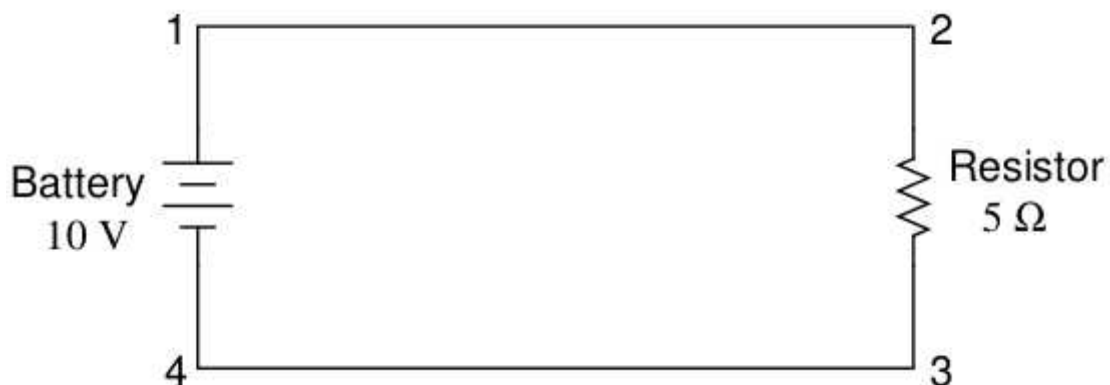
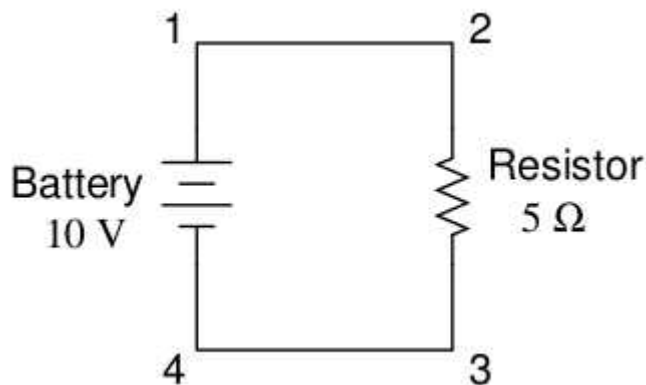
Resumen

- La resistencia de la mayoría de los materiales conductores es estable en una amplia gama de condiciones, pero existen excepciones .
- Cualquier función que pueda representarse en un gráfico como una línea recta se denomina función lineal.
- En circuitos con resistencias constantes, el gráfico de la corriente en función de la tensión es lineal ($I=E/R$).
- En circuitos en los que la resistencia varía con los cambios de tensión o corriente, el gráfico de la corriente en función de la tensión no es lineal ($I=E/R$) → línea curva.
- La resistencia negativa es aquella en la que la corriente que atraviesa un componente disminuye al aumentar la tensión aplicada a través de él. Algunos tubos de electrones y diodos semiconductores presentan una resistencia negativa en un determinado rango de tensiones.

1.6 El cableado del circuito

Hasta ahora, hemos estado analizando circuitos con una batería y una sola resistencia, sin tener en cuenta los cables de conexión entre batería y resistencia.

¿Importa la longitud de los cables o la "forma" del circuito?



Normalmente se desprecia la resistencia de los cables que conectan los componentes de un circuito, por lo que la única resistencia que se considera es la de los componentes electrónicos o máquinas presentes en el circuito.

En realidad, los cables conductores utilizados para la conexión de los componentes tienen resistencia (¡y las fuentes de alimentación también!), pero no se considera.

El motivo por el que se desprecian las resistencias del cableado de conexión es que debe ser mucho menor al de los componentes del circuito. Si no lo fuera, no debería despreciarse su resistencia.

Esto sucede por ejemplo en el cableado utilizado para transportar la energía eléctrica, donde incluso una resistencia muy pequeña del conductor puede provocar caídas de tensión significativas debido a los altos valores de corriente.

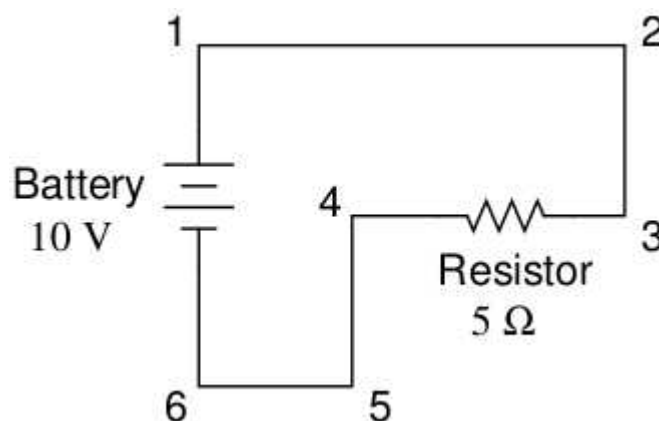
Si la resistencia del cable de conexión es muy pequeña o nula, se considera que los puntos conectados de un circuito son eléctricamente comunes. Es decir, los puntos 1 y 2 de los circuitos anteriores pueden estar físicamente unidos o alejados. Su distancia no influye en la medición del voltaje o de la resistencia entre ellos. Lo mismo ocurre con los puntos 3 y 4. Es como si los extremos de la resistencia se conectaran directamente a los terminales de la batería. Es útil saber que se pueden dibujar el esquema de un circuito con líneas de cualquier longitud y también a la hora de realizar el cableado, se puede elegir la longitud de cable más apropiada para el lugar del montaje, sin que ello afecte de forma apreciable al funcionamiento del circuito.

Lo único importante es que los componentes se conecten entre sí en la misma secuencia.

También significa que las mediciones de tensión entre conjuntos de puntos "eléctricamente comunes" será la misma. Es decir, la tensión entre los puntos 1 y 4 (directamente a través de la batería) será igual que la tensión entre los puntos 2 y 3 (directamente a través de la resistencia).

Ejercicio

En el siguiente circuito ¿qué puntos son comunes entre sí (se mide una tensión de 0 V entre ellos)?



Dado que los puntos eléctricamente comunes están conectados entre sí por un cable (de resistencia nula), no hay una caída de tensión significativa entre ellos, independientemente de la cantidad de corriente conducida. Por lo tanto, la tensión entre puntos comunes, debería ser (prácticamente) cero.

Saber que los puntos eléctricamente comunes tienen una caída de tensión cero entre ellos es útil para la resolución de averías. Midiendo la tensión entre puntos de un circuito que son supuestamente comunes entre sí, el resultado debería ser cero. Si el voltímetro marca una tensión considerable entre esos dos puntos, se deduce que hay un problema, por ejemplo una interrupción del circuito.

Se supone que los cables de conexión de un circuito tienen resistencia cero, a menos que se indique lo contrario.

Resumen

- Los cables de un circuito pueden acortarse o alargarse sin que ello afecte a su funcionamiento. Lo que importa es que los componentes se conecten entre sí siguiendo la secuencia del esquema.
- Los puntos conectados por un cable, con resistencia despreciable, se consideran eléctricamente comunes.
- Los puntos eléctricamente comunes, con resistencia cero entre ellos, tendrán una tensión cero entre ellos, independientemente de la magnitud de la corriente (idealmente).
- Las lecturas de tensión o resistencia tomadas entre conjuntos de puntos eléctricamente comunes serán iguales.
- Estas reglas son validas en condiciones ideales, en las que se supone que los cables de conexión poseen una resistencia cero. En realidad no es así, pero las resistencias de los cables deben ser lo suficientemente bajas para que puedan despreciarse.

1.7 Soluciones

Ejercicio 1.1-1:

A una fuente de alimentación de 3 V se conecta una resistencia de $100\ \Omega$

- a) Dibuja un esquema del circuito.
- b) Calcula la intensidad.
- c) Calcula la potencia en la resistencia.

Ejercicio 1.1-2:

A una fuente de alimentación de 5 V se conectan tres resistencias en serie.

$R_1 = 100\ \Omega$,

$R_2 = 200\ \Omega$,

$R_3 = 300\ \Omega$

- a) Dibuja un esquema del circuito.
- b) Calcula la intensidad.
- c) Calcula la potencia en las resistencias.

Ejercicio 1.2-1:

En una resistencia de $500 \, \Omega$ se mide una corriente de $0,1 \, A$.

Calcula la tensión que cae en la resistencia y la potencia disipada.

$$P = I \cdot V$$

$$V = I \cdot R = 0,1 \, A \cdot 500 \, \Omega = 50 \, V \quad \rightarrow \quad P = I^2 \cdot R = (0,1)^2 \cdot 500 \, \Omega = 5 \, W$$

Ejercicio 1.2-2:

En una resistencia de $500 \, \Omega$ cae una tensión de $20 \, V$.

Calcula la corriente que circula por la resistencia y la potencia disipada.

$$P = I \cdot V$$

$$I = \frac{V}{R} = 20 \frac{V}{500 \, \Omega} = 0,04 \, A \quad \rightarrow \quad P = V \cdot I = \frac{(20 \, V)^2}{500 \, \Omega} = 0,8 \, W$$

Ejercicio 1.4-1

Calcula la resistencia de un conductor de aluminio de 5 m de largo y 2 mm^2 de sección.

Estos apuntes son una adaptación de “Lessons in electric circuits volume 1 DC” , del autor Tony R. Kuphaldt.

Traducción y adaptación Paulino Posada

Traducción realizada con la versión gratuita del traductor www.DeepL.com/Translator