

El campo eléctrico es constante y está dirigido como se muestra en la figura 14, si se coloca una carga positiva $q +$ en el interior de las placas, sobre ésta actuará una fuerza Eq dirigida hacia la derecha. Supóngase que la carga está inicialmente en el punto A de la figura. Si se quiere llevar al punto B, hay que aplicar una fuerza, $F = -Eq$ durante todo el recorrido, por consiguiente, se realiza un trabajo al llevar la carga de A a B. En consecuencia, se almacena energía en la carga: energía potencial eléctrica. Al colocar la carga en el punto B, podemos soltarla y recuperar la energía potencial en forma de energía cinética. La carga en B será atraída hacia A por la fuerza Eq que actúa sobre ella. Así pues, cuando soltamos la partícula en B, adquirirá una aceleración en dirección de A.

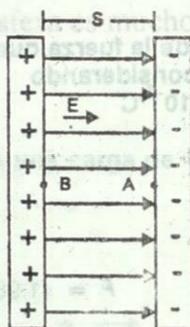


Fig. No. 14.

Placas paralelas con cargas opuestas.

Del mismo modo que se almacena energía potencial gravitacional en un objeto al levantarlo contra la acción de la gravedad, también se almacena energía potencial eléctrica en un objeto cargado al tirar de él, en contra del campo eléctrico que actúa sobre el objeto. La energía potencial gravitacional de un objeto en el punto B, en relación con el punto A, es el trabajo que debe realizarse contra la gravedad para moverlo de A a B. De manera análoga, en electricidad se define la energía potencial eléctrica de un objeto cargado en el punto B en relación con otro punto A:

La energía potencial eléctrica de una carga en el punto B en relación con el punto A es igual al trabajo efectuado contra las fuerzas eléctricas que se necesita para llevar la carga de A a B.

Al colocar la carga en B y soltarla, ésta se mueve hacia A, transformándose su energía potencial eléctrica almacenada en energía cinética. Si la carga fuera negativa, sería atraída por la placa positiva y repelida por la placa negativa. De tal forma que una partícula con carga negativa tiene más energía potencial eléctrica en A (placa negativa) que en el punto B (placa positiva).

10. DIFERENCIA DE POTENCIAL

Supongamos que llevamos una carga positiva q del punto A al punto B, en la figura 14. Para esto se requiere efectuar un trabajo. Definimos la diferencia de potencial (o voltaje) entre A y B como ese trabajo dividido entre la carga q . En otras palabras, la diferencia de potencial entre dos puntos es el trabajo que hay que hacer para mover una carga de prueba de $+1C$ de un punto a otro.

La diferencia de potencial entre el punto A y el punto B es el trabajo necesario para llevar una carga positiva de prueba de A a B, es decir, es el trabajo por unidad de carga positiva.

La unidad de diferencia de potencial (o voltaje) es la unidad de trabajo dividida entre la unidad de carga, que es joule entre coulomb, a esta unidad la llamamos volt (V).

$$1 \text{ volt (V)} = \frac{1 \text{ joule (J)}}{1 \text{ coulomb (C)}}$$

Se acostumbra a representar con V_{AB} a la diferencia de potencial entre los puntos A y B.

Vamos a calcular la diferencia de potencial entre los puntos A y B en la figura 14. Para mover la carga q positiva de A a B, hay que aplicar una fuerza constante F de magnitud Eq . Por lo tanto, el trabajo necesario para llevar la carga q de A a B es

Trabajo para mover $q = \text{fuerza} \times \text{distancia} = (Eq) s$

La diferencia de potencial entre A y B es el trabajo por unidad de carga, de tal forma que

$$V_{AB} = \frac{\text{Trabajo}}{\text{carga}}$$

$$V_{AB} = \frac{Eqs}{q}$$

$$V = Es \quad \text{En donde E es constante.}$$

En general, se tiene que

V_{AB} es el trabajo que debe efectuarse para llevar una unidad de carga positiva de A a B.

Si se conoce la diferencia de potencial o voltaje entre los puntos A y B, se requiere un trabajo para mover la carga q de A a B, el cual viene dado por

$$\text{Trabajo} = q V_{AB}$$

10.1 DIFERENCIA DE POTENCIAL ENTRE DOS PLACAS PARALELAS

Consideremos el campo eléctrico entre dos placas metálicas paralelas, con cargas opuestas, separadas una distancia fija, como se muestra en la figura 15. Una placa se carga positivamente, mientras que la otra se carga negativamente. El campo eléctrico que hay entre las placas es uniforme, excepto en los bordes de las placas, ver figura 15.

En un campo eléctrico uniforme, el trabajo necesario para mover una carga en una distancia s está dado por

$$W = Fs$$

el potencial, que es el trabajo por unidad de carga, está dado por

$$V = \frac{W}{q}$$

$$V = \frac{Fs}{q}$$

$$V = \left(\frac{F}{q}\right)s$$

como $E = \frac{F}{q}$ es la intensidad del campo eléctrico,

entonces:

$$V = Es$$

el campo eléctrico entre dos placas paralelas con cargas iguales y de signos opuestos, es prácticamente uniforme.

Ejemplo 6.

Si un protón se libera en el punto B de la figura, ¿Cuál es su rapidez con la que choca contra la placa A? Supóngase que el voltaje $V_{AB} = 45V$

Datos:

$$m = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg masa del protón}$$

$$q = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C carga del protón}$$

$$V_{AB} = 45V$$

como el protón tiene carga positiva, entonces, el punto B se encuentra a un mayor potencial que el punto A. Si el protón se suelta en B, éste se acelera hacia A, de tal forma que la energía potencial eléctrica del protón se transforma en energía cinética.

Como la energía potencial eléctrica en B es el trabajo hecho para mover la carga desde A, se tiene que: el cambio en su energía cinética = al trabajo hecho para mover la carga de A a B.

$$E_k - E_{k0} = W_{AB}$$

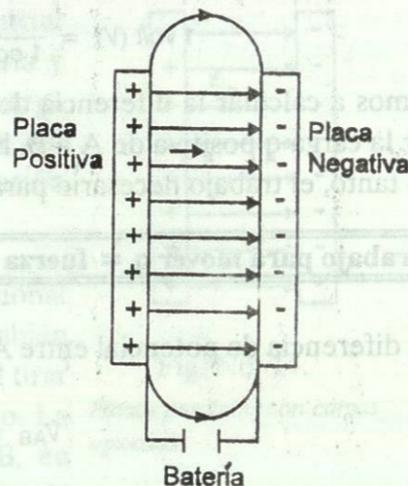
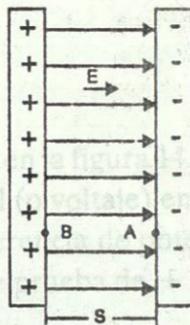


Fig. No. 15.

Campo eléctrico entre dos placas paralelas.



como el protón inicia su movimiento desde el reposo, entonces, la energía cinética inicial $E_{k0} = 0$, de tal forma que

$$E_k = V_{AB} q$$

$$\frac{1}{2} m v^2 = V_{AB} q$$

$$v^2 = \frac{2 V_{AB} q}{m}$$

$$v^2 = \frac{2(45 V)(1.6 \times 10^{-19} C)}{1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}}$$

$$v = 9.28 \frac{m}{s}$$

11. LA CORRIENTE ELÉCTRICA

Ahora se va a estudiar la electricidad en movimiento dentro de un material conductor. La parte de la Física encargada de estudiar la carga eléctrica en movimiento dentro de un conductor, se llama electrodinámica.

Como los protones están fuertemente unidos al núcleo del átomo, son los electrones los que en realidad tienen la libertad para moverse. Por ello, se puede decir que la corriente eléctrica se origina, por el movimiento o flujo de electrones a través de un conductor, el cual se produce debido a que existe una diferencia de potencial y los electrones circulan de una terminal negativa a una positiva. De manera convencional se dice que el sentido de la corriente es del polo positivo al negativo.

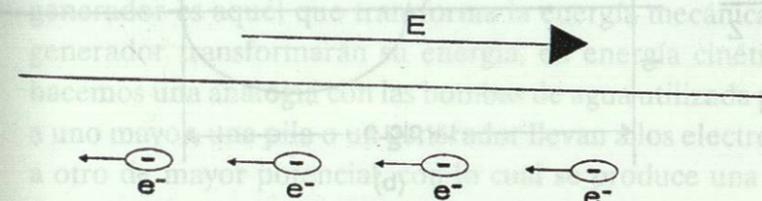


Fig. No. 16.

Flujo de electrones en sentido contrario al campo eléctrico.

Cuando dos cuerpos cargados con diferente potencial se conectan mediante un alambre conductor, las cargas se mueven de un punto de potencial eléctrico más alto al más bajo, lo cual genera una corriente eléctrica, que cesará cuando el voltaje sea igual en todos los puntos. Si se lograra mantener en forma constante la diferencia de potencial entre los cuerpos electrificados, el flujo de electrones sería continuo.

La corriente eléctrica se transmite por los conductores a una velocidad próxima a la de la luz: 300,000 Km/s. Sin embargo, los electrones no se desplazan a esta velocidad, en general, su velocidad promedio es de 10 cm/s. Esto se debe a que cada electrón obliga al siguiente a moverse en forma instantánea, a través del material conductor.

El flujo de electrones se presenta en los metales, en los líquidos llamados electrolitos y en los gases. En el primer caso se debe a la facilidad que tienen los electrones más alejados del núcleo de separarse de sus órbitas cuando se les somete a la influencia de campos eléctricos, con los cuales se convierten en electrones libres, dando origen a un flujo continuo de electrones de átomo en átomo. Los electrolitos son soluciones capaces de conducir la corriente eléctrica. Tal es el caso de las bases, ácidos y sales que al ser diluïdos en agua, se disocian en sus iones correspondientes. La mayoría de los gases conducen la electricidad cuando por algún medio se les ioniza.

Existen dos clases de corriente eléctrica: la continua (cc) y la alterna (ca). La corriente continua o directa se genera cuando el campo eléctrico permanece constante, esto provoca que los electrones se muevan siempre en el mismo sentido, es decir, de negativo a positivo. La corriente alterna se origina cuando el campo eléctrico cambia alternadamente de sentido, por lo que los electrones oscilan a uno y otro lado del conductor, así, el polo positivo cambia negativo y viceversa. Cuando el electrón cambia de sentido, efectúa un cambio de signo en la corriente eléctrica (ver figura 17). Dos cambios consecutivos de signo constituyen un ciclo. El número de ciclos por segundo, conocida como frecuencia, es en general de 60 ciclos/segundo.

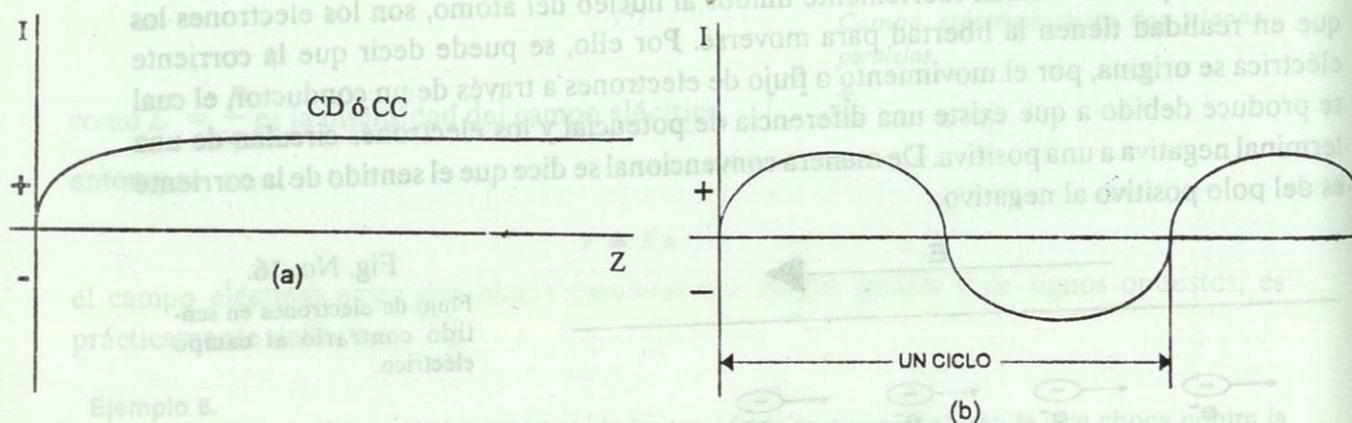


Fig. No. 17.

Representación gráfica de la corriente eléctrica (I) a) corriente continua o directa; b) corriente alterna

11.1 INTENSIDAD DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA

La intensidad de la corriente eléctrica es la cantidad de carga eléctrica que pasa por una sección transversal determinada de un material conductor en un segundo, es decir

$$I = \frac{q}{t}$$

I: Intensidad de la corriente eléctrica en C/s
 q: carga eléctrica que pasa por una sección determinada en un conductor, dada en coulomb (C) ∴ tiempo que tarda en pasar la carga eléctrica q en segundos (s)

La unidad de corriente eléctrica usada en el Sistema Internacional (S.I.) para medir la corriente eléctrica es el ampere (A), el cual equivale al paso de una carga de 1 coulomb (C) a través de una sección de un conductor en un segundo.

$$1 \text{ ampere} = \frac{1 \text{ coulomb}}{1 \text{ segundo}}$$

$$1 \text{ A} = 1 \frac{\text{C}}{\text{s}} \quad \text{Se acostumbra a utilizar el miliampere} = 10^{-3} \text{ A}$$

ya que el ampere es una unidad muy grande.

Ejemplo 7.

Determinar la intensidad de la corriente eléctrica en un conductor cuando circulan 86 coulomb por una sección del mismo en 1 hora. De el resultado en amperes y en miliamperes.

Datos:

$$q = 86 \text{ C}$$

$$t = 1 \text{ h} = 3,600 \text{ s}$$

$$I = \frac{q}{t}$$

$$I = \frac{86 \text{ C}}{3600 \text{ s}}$$

$$I = 0.0238 \text{ A} = 23.8 \text{ mA}$$



Como ya lo señalamos, la corriente eléctrica se origina por el movimiento o flujo de electrones a través de un conductor, debido a la existencia de una diferencia de potencial. Si se desea que una corriente eléctrica fluya continuamente por un conductor, debe existir un suministro constante de electrones.

Para obtener un suministro continuo de electrones se utilizan las pilas y los generadores eléctricos. Una pila es un dispositivo que transforma la energía química en eléctrica, y un generador es aquél que transforma la energía mecánica en eléctrica, es decir, una pila o un generador transformarán su energía, en energía cinética o potencial de los electrones. Si hacemos una analogía con las bombas de agua utilizada para elevar el agua de un nivel menor a uno mayor, una pila o un generador llevan a los electrones de un punto de menor potencial a otro de mayor potencial, con lo cual se produce una diferencia de potencial permanente entre los electrones que se encuentran en cada extremo de sus terminales. Esta diferencia de potencial impulsa la corriente eléctrica a través del conductor.

Un dispositivo con la capacidad de mantener una diferencia de potencial o voltaje entre dos puntos se llama fuente de fuerza electromotriz (fem). Una fuente de fem es un dispositivo que convierte la energía química, mecánica u otras formas de energía en la energía eléctrica necesaria para mantener un flujo continuo de carga eléctrica. Por tanto la fuerza electromotriz aplicada en un circuito eléctrico es igual a la energía suministrada para que la unidad de carga recorra el circuito completo.

$$fem = \frac{W}{q}$$

Donde fem nos representa la fuerza electromotriz en volts y W el trabajo en joules, realizado para que la carga q recorra todo el circuito. La fuerza electromotriz representa un voltaje o diferencia de potencial y no una fuerza. Por ejemplo, un acumulador de 12 V realiza un trabajo de 12 J para mover una carga eléctrica de 1 C del extremo del circuito de menor potencial al de mayor potencial. Una corriente sostenida requiere de un circuito completo y de una fuente de voltaje. Mediante alambres conductores se completa un circuito eléctrico, ver figura 18.

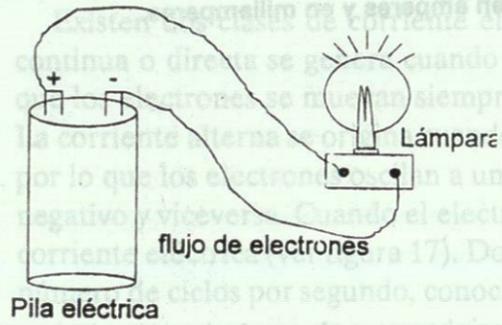


Fig. No. 18.

Circuito eléctrico formado por una fuente de voltaje, un alambre conductor y una lámpara.

Una batería es un agrupamiento de dos o más pilas unidas en serie o en paralelo. Por ejemplo, tres pilas secas de 1.5 V se pueden agrupar en serie, en donde se une el polo positivo de una con el polo negativo de la otra y así sucesivamente, de acuerdo con el voltaje que se desea obtener, ver figura 19

La conexión de pilas en paralelo se obtiene al unir, por una parte, todos los polos positivos y por el otro, todos los polos negativos, ver figura 20

En las figuras anteriores se observa que para medir una corriente eléctrica se utiliza el amperímetro, el cual se conecta en serie y para medir el voltaje se utiliza el voltímetro, el cual se conecta en paralelo.

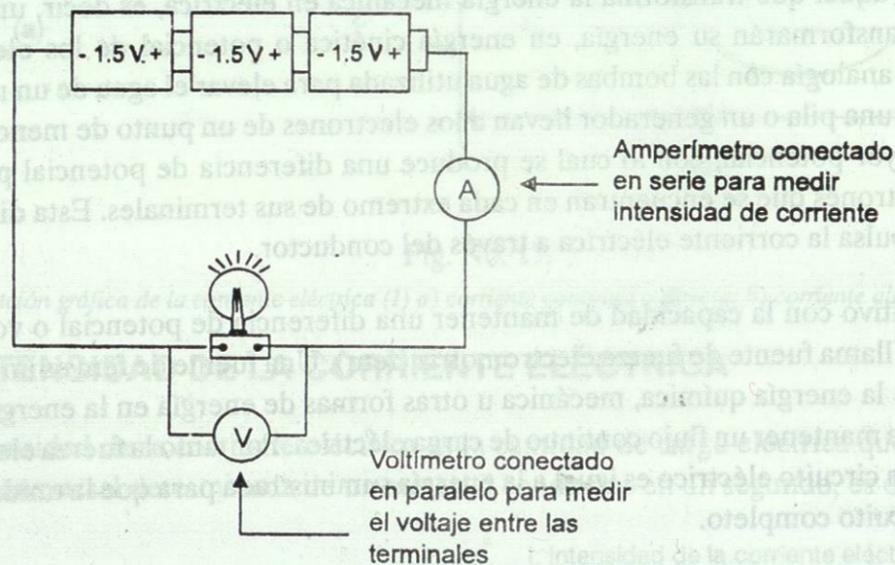


Fig. No. 19.

FIGURA 19 Conexiones de pilas en serie: $V_T = V_1 + V_2 + V_3 = 4.5V$

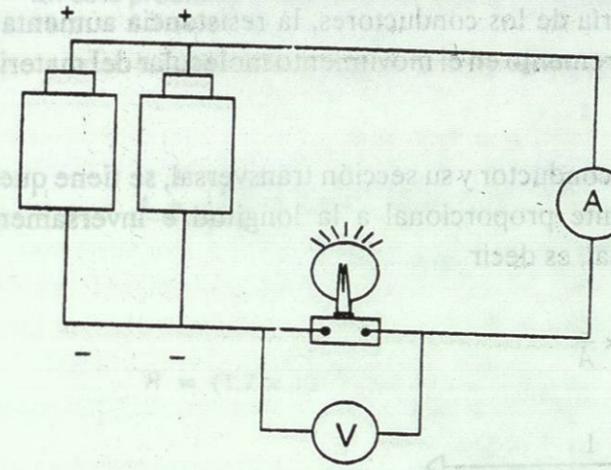


Fig. No. 20.

Conexiones de pilas en paralelo. El voltaje total es igual a 1.5 V, como si fuera una sola pila, pero aumenta el valor de la intensidad de la corriente a medida que se conectan más pilas.

12. RESISTENCIA ELÉCTRICA

Todos los materiales presentan cierta oposición al flujo de electrones o corriente eléctrica, aunque unos obstruyen la circulación más que otros. De tal forma que la resistencia eléctrica es la oposición que presenta un conductor al paso de la corriente eléctrica.

Como ya se dejó en claro, la corriente circula con relativa facilidad en los metales, por ello se utilizan en la construcción de circuitos y en la conducción de la energía eléctrica. Los alambres conductores que forman parte de los circuitos están forrados por un aislante, como el hule o algún recubrimiento plástico, a fin de evitar algún contacto accidental con otro conductor y que la corriente pase de un alambre a otro.

Los factores que influyen en la resistencia eléctrica de un material conductor son:

La naturaleza del conductor. Si tomamos alambres de la misma longitud y sección transversal, como por ejemplo, plata, cobre, aluminio y hierro, se puede verificar que la plata tiene una menor resistencia y que el hierro tiene una mayor resistencia.

La longitud del material. A mayor longitud mayor resistencia. Si se duplica su longitud, su resistencia también se duplica. Si la longitud disminuye, la resistencia también disminuye.

Su sección o área transversal. Si la sección o área transversal del material conductor se duplica, la resistencia del material se reduce a la mitad. Si la sección transversal disminuye, la resistencia del material aumenta.

La temperatura. En el caso de la mayoría de los conductores, la resistencia aumenta al elevar la temperatura. Esto se debe a un incremento en el movimiento molecular del material, lo cual dificulta el flujo de electrones.

Considerando la longitud de un alambre conductor y su sección transversal, se tiene que la resistencia (R) del material es directamente proporcional a la longitud e inversamente proporcional al área de su sección transversal, es decir

$$R \propto \frac{L}{A}$$

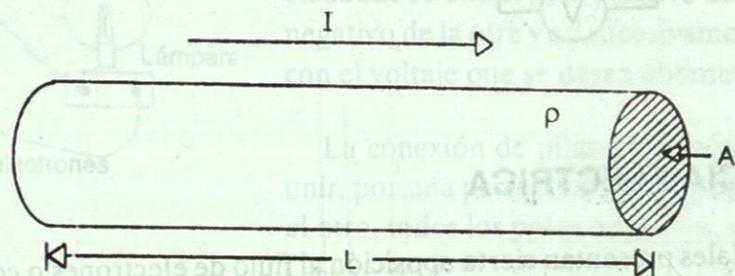


Fig. No. 21.

FIGURA 21.- Los materiales conductores presentan resistencia a la corriente eléctrica.

Por otra parte, se tiene que los materiales ofrecen una resistencia variable a las corrientes eléctricas a consecuencia de su composición. La dependencia de la resistencia respecto a su material y a su temperatura se caracteriza por la resistividad ρ , de tal forma que

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

La unidad empleada para medir la resistencia eléctrica es el ohm (Ω) en honor al físico alemán George Simon Ohm, la cual se define como la resistencia opuesta a una corriente continua de electrones por una columna de mercurio a 0°C de 1 mm^2 de sección transversal y 106.3 centímetros de largo.

Las unidades de la resistividad, según la ecuación anterior son:

$$\rho = \frac{R [\Omega] A [m^2]}{L [m]}$$

En la siguiente tabla se dan algunos valores del coeficiente de resistividad, a la temperatura de 20°C .

Material	Resistividad ρ ($\Omega \cdot m$) $\times 10^{-8}$
Aluminio	2.8
Cobre	1.7
Oro	2.4
Hierro	10
Níquel	7.8
Platino	10
Plata	1.6
Tungsteno	5.6

Ejemplo 8.

Un alambre de cobre tiene una longitud de 10 m y una sección transversal cuyo diámetro es de 0.25 cm. ¿Cuál será su resistencia?

En este problema consideramos que la resistividad del cobre, a su temperatura ambiente (20°C), es $\rho = 1.7 \times 10^{-8} \text{ m}$.

como $d = 0.25 \text{ cm} = 0.0025 \text{ m} = 2.5 \times 10^{-3} \text{ m}$, el área de la sección transversal es:

$$A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

$$A = \left(\frac{\pi d^2}{4}\right) = \frac{(3.14)(2.5 \times 10^{-3} \text{ m})^2}{4}$$

$$A = 4.90 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

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

$$R = (1.7 \times 10^{-8} \Omega\text{m}) \frac{(10 \text{ m})}{4.90 \times 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$R = 3.46 \times 10^{-2} \Omega$$

$$R = 0.0346 \Omega$$

13. LEY DE OHM

George S. Ohm observó que si se aumenta la diferencia de potencial o voltaje en un circuito, aumenta la intensidad de la corriente eléctrica; también comprobó que al aumentar la resistencia del conductor, disminuye la intensidad de la corriente eléctrica. Con base en estas observaciones enunció la ley que lleva su nombre (Ley de Ohm): la intensidad de la corriente eléctrica que pasa por un conductor en un circuito es directamente proporcional a la diferencia de potencial o voltaje aplicado a sus extremos e inversamente proporcional a la resistencia del conductor. Matemáticamente esta ley se expresa de la siguiente manera:

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{o} \quad V = IR$$

Si se despeja la resistencia R, se tiene que

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

con base en esta ecuación, se puede definir la resistencia eléctrica de la siguiente manera: la resistencia de un conductor es de 1 ohm (Ω) si existe una corriente de 1 ampere, cuando se mantiene un voltaje de 1 volt, a través de la resistencia, es decir

$$1 \text{ ohm } [\Omega] = \frac{1 \text{ volt } [V]}{1 \text{ ampere } [A]}$$

Un circuito eléctrico es un sistema en el cual la corriente fluye por conductor en una trayectoria completa, debido a una diferencia de potencial o voltaje, ver figura 22.

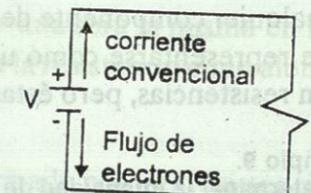


Fig. No. 22.

Representación gráfica de un circuito eléctrico. El símbolo representa a la fuente de voltaje y la resistencia del circuito.