En 1929 Robert J. Van de Graff aplicó este principio para diseñar y construir un generador electrostático; este tipo de generadores se utiliza ampliamente en las investigaciones de Física Nuclear. Este aparato se muestra esquematicamente en la figura 19. Obsérvese que está construido por una banda de transmisión que pasa por dos poleas, una de las cuales es accionada por un motor eléctrico que le genera rotación. La segunda polea se encuentra en el interior de una esfera metálica hueca, sostenida por un soporte aislante. La banda se carga en A por medio de una descarga entre el peine de agujas metálicas y una rejilla conectada a tierra. Las agujas normalmete se mantienen a un potencial positivo de aproximadamente 10,000 volts. La carga positiva se transfiere al electrodo de alto voltaje por medio de un segundo peine de agujas que se encuentra en B. Como el campo eléctrico dentro de un conductor hueco es despreciable, la carga positiva de la banda se trasfiere con facilidad, sin importar su potencial. En la práctica, es posible incrementar del electrodo de alto voltaje hasta que se presenta una descarga eléctrica a través del aire. Dado que la tensión de ruptura del aire es aproximadamente 3x106 V/m, una esfera de 1 metro de radio se puede llevar a un potencial máximo de 3x106 V. Puede aumentarse aún más el potencial si se incrementa el radio del conductor hueco y se coloca el sistema en un recipiente con gas a alta presión.

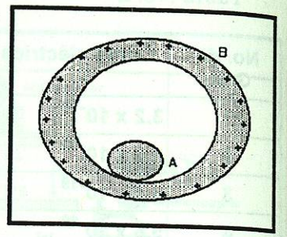


Fig No. 18. Cuando el cuerpo A electrizado y en el interior de B, se pone en contacto co este último toda la carga de A pasa a B.

Los generadores Van de Graff pueden producir diferencias de potencial tan altas como 20 millones de volts. Los protones acelerados a través de diferencias de potencial de este orden reciben energía suficiente como para iniciar reacciones nucleares entre ellos y diversos nucleos que sirven de blanco.

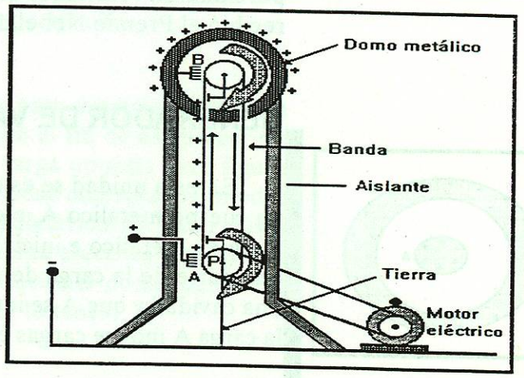


Fig No. 19. Generador de Van de Graff. La carga se deposita en el punto A en la banda giratoria y es transferida al conductor al conductor hueco en el punto B. Un motor eléctrico realiza el trabajo necesario para incrementar la energía potencial eléctrica.

CORRIENTE ELÉCTRICA.

Definiremos la corriente eléctrica como el flujo de electrones a través de un conductor. Es decir, que la corriente fluye cuando un conductor une dos puntos, uno de los cuales es más negativo que el otro o de regiones más negativas a regiones menos negativas (o positivas).

Los electrones seguirán fluyendo hasta que el número de electrones de cada región sean iguales (que ya no exista diferencia de electrones entre ellos).

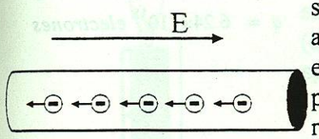


Fig No. No. 20. Flujo de electrones en sentido contrario al campo eléctrico.

Podemos comparar lo anterior, a lo que sucede cuando tenemos un sistema de vasos comunicantes en hidráulica. Si tenemos un recipiente con agua hasta el borde y otro recipiente vacío o con menos altura del líquido que el primero, los conectamos por medio de un tubo con una llave de paso en el punto medio, al abrir la llave de paso se generará una corriente de agua del recipiente con mayor altura de agua (mayor potencial) hacia el que no tiene o tiene menos. Esta corriente de agua se mantendrá hasta que la altura del nivel del agua sea el mismo. Si los dos recipientes son de las mismas dimensiones, esta corriente cesará hasta que los dos recipientes tengan la misma cantidad de agua.

En el caso del agua, lo que hace que se genere la corriente de agua, es el mayor potencial de líquido en el primer recipiente (mayor altura de agua) y en el caso de la corriente eléctrica será el mayor potencial eléctrico que exista en uno de los extremos del conductor.

La fuerza que hace que esos electrones se muevan se le llama fuerza electromotriz (fem) o diferencia de potencial. Al dispositivo con la capacidad de mantener una diferencia de potencial o voltaje entre dos puntos se le llama fuente de fuerza electromotriz. Esta fem se mide en volts. Algunos de estos dispositivos convierten energía química en energía eléctrica, otros energía mecánica a energía eléctrica, otros de energía lumínica a eléctrica, etc.

En el caso del sistema hidráulico si queremos medir la cantidad de agua que circula por la tubería en determinado tiempo, lo podemos hacer en cualquier unidad de volumen por unidad de tiempo (gasto). Así la corriente eléctrica también se puede medir en un punto determinado, por el número de electrones que pasan por segundo. La fuerza electromotriz representa un voltaje o diferencia de potencial no una fuerza.

Anteriormente se definió el coulomb (C) como una unidad de carga (q), ahora definiremos la unidad de medida de la corriente eléctrica, el ampere. El ampere es el flujo de coulomb por segundo, sobre un punto determinado de la conexión eléctrica. Aclarando que los electrones circulan de una termi-

nal negativa a una positiva, pero históricamente se estableció que el sentido de la corriente es del polo positivo al negativo (teoría de los dos fluidos de Benjamín Franklin). Algebraicamente:

$$I = q/t$$

$$q = IT$$

donde:
q = carga en coulomb (C).
I = corriente en amperes(A).
t = tiempo en segundos (s).

La corriente eléctrica se trasmite por los conductores a una velocidad muy próxima a la velocidad de la luz (300,000 km/s), pero los electrones no se desplazan a dicha velocidad, sino con una velocidad promedio de 10 m/s) debido a que cada electrón obliga al siguiente a moverse en forma instantánea a través del conductor.

Ya se señaló lo que es la corriente eléctrica y lo que es una fuente de fem, ahora lo importante es ver como se va a aprovechar dicha corriente eléctrica. Si se conecta un dispositivo a una fuente de potencial eléctrico, por ejemplo, una lámpara, por medio de cables, tendremos que lograr una trayectoria cerrada de tal manera que los electrones fluyan o sean conducidos de la terminal negativa de la fuente a través de la lámpara y de regreso a la terminal positiva de dicha fuente. Los cables y la lámpara son la trayectoria por la que fluye la corriente eléctrica. A este cable se le llama conductor y a la trayectoria cerrada se le denomina circuito eléctrico.

FUENTES DE ELECTRICIDAD

Una de las fuentes más conocidas de tensión o potencial eléctrico son las baterías. Alessandro Volta, científico italiano, inventó la pila eléctrica más conocida en su honon como celda o pila voltáica. Volta descubrió que cuando dos elementos distintos se colocaban en un medio químico que actuaba sobre ellos, se establecía entre ambos un potencial eléctrico.

Se puede construir una buena pila, colocando una barrita de carbono (que puede retirarse de una pila seca vieja) y una lámina de zinc, en un recipiente de vidrio que contenga un ácido y agua (electrolito).

Si se verifica la polaridad de la barrita de carbono, se descubrirá que es positiva y la de zinc negativa. Si se conecta un cable entre estos elementos o electrodos (ánodo y cátodo) fluirá una corriente. En sí, la celda voltaica es un medio para transformar de energía química en eléctrica.

Ejemplo No. 4.
Calcular el número de electrones que atraviesan por segundo una sección recta de un alambre por el que circula una corriente de 1 ampere de intensidad.

$$q = It$$

$$q = 1\,A \times 1\,s$$

$$q = \frac{1\,C}{s} \times 1\,s$$

$$q = 1\,C \times 6.24 \times 10^{18}\,\frac{elec}{C}\,s$$

$$q = 6.24 \times 10^{18}\,electrones$$

Ejemplo No. 6
Por un alambre fluye una corriente de 0.25 ampere, calcular el número de coulomb por segundo que fluyen a lo largo del alambre.

$$q = It$$

$$q = 0.25\,A \times 1\,s$$

$$q = 0.25\,\frac{C}{s} \times 1s$$

$$q = 0.25\,C$$

Si se usa ácido sulfúrido (H_2SO_4) y agua (H_2O) como electrolito, se produce una reacción qímica. El ácido sulfúrico se divide en iones poritivos (H_2) y en iones negativos (SO_4). Los iones negativos se desplazan hacia el electrodo del zinc y se combinan con él, produciendo sulfato de zinc ($ZnSO_4$) y los iones positivos van al electrodo del carbono.

Otra fuente de electricidad es la pila seca, que consiste en un recipiente de zinc que actúa como electrodo negativo. En su centro se encuentra una barra de carbono, que es el electrodo positivo. Alrededor de la barra de carbono existe una pasta de carbono molido, dióxido de manganeso (MnO_2) y sal de amoníaco. El dióxido de manganeso actúa como despolarizador y el carbono molido aumenta la efectividad de la pila seca al reducir su resistencia interna.

También como fuentes de voltaje tenemos la pila de mercurio y las pilas recargables de níquel y cadmio.

Además, es muy común las pilas simples llamadas baterías. En realidad una batería consiste de dos o más celdas (ya mencionadas) en un recipiente conectando dichas celdas entre sí.

Es importante saber y comprender la finalidad y los resultados de conectar las celdas en grupos.

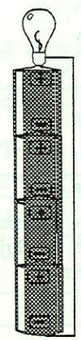


Fig. No. 21. Pilas en serie.

En una conexión serie de celdas, la terminal positiva de una celda se conecta a la negativa de otra celda y así sucesivamente hasta conectar todas las celdas que querramos. En este caso la tensión de salida será:

$$E_s = E_{cada\ celda} \times n$$

donde n es el número de celdas.

$$E_{Total} = (1.5\ V/celda) \times 4\ celdas$$

$$E_{total} = 6\ volts.$$

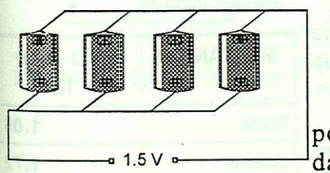


Fig. No. 22. Pilas en paralelo.

En la conexión en paralelo se unen todos los negativos y todos los positivos y se obtiene un voltaje de una de ellas, pero tienen mayor durabilidad.

Se tienen otras fuentes, tales como los acumuladores de los automóviles (celdas de plomo y ácido), las fotoceldas (transforma la luz en corriente eléctrica), los termopares (energía calorífica en corriente eléctrica) y el origen de la electricidad por medio de la distorsión mecánica de un cristal, efecto piezo-eléctrico. Y las fuentes más importantes, la transformación de energía mecánica en eléctrica por medio del dínamo y el generador.

CORRIENTE ALTERNA Y DIRECTA

Existen dos tipos de corriente eléctrica, continua o directa (cc) y alterna (ca). Si comparamos la corriente alterna con la corriente directa, ésta última fluye en una sola dirección en un circuito mientras que la primera invierte periódicamente su dirección de flujo.

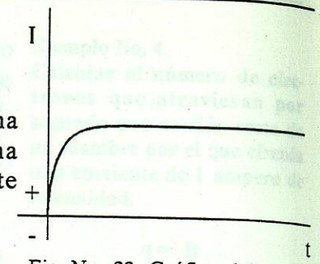


Fig. No. 23. Gráfica del comportamiento en el flujo de corriente directa.

En la corriente directa, el voltaje de la fuente no cambia de polaridad y en la corriente alterna, cambia periódicamente entre positiva y negativa. En la gráfica se ilustra lo anterior. Comenzando en cero, el voltaje aumenta al máximo en la dirección positiva y vuelve a cero; a continuación sigue bajando, en la parte negativa del diagrama y vuelve otra vez a cero.

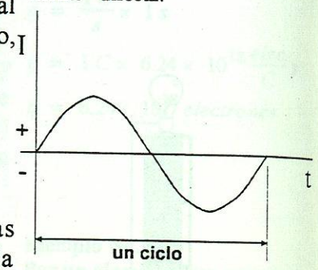


Fig. No. 24. Gráfica del comportamiento del flujo de corriente alterna.

RESISTENCIA ELÉCTRICA

No existen los conductores perfectos a las temperaturas ordinarias. Todas las sustancias, inclusive el cobre y otros metales, presentan cierta resistencia u oposición al flujo de electrones. Dicha resistencia real depende de 4 factores.

a) La naturaleza del material usado como conductor.

b) La temperatura.

c) La longitud del conductor.

d) Su área transversal.

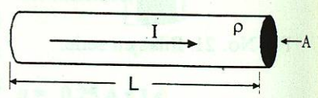


Fig. No. 25.

En sí, la resistencia de los materiales varía considerablemente. El mejor conductor de corriente conocido es la plata, pero son más comunes en su uso el cobre y el alumnio.

Tabla No. 4. Resistividades de algunos metales.

SUSTANCIA	$\rho\ (\Omega - m) \times 10^{-8}$
Plata	1.05
Cobre	1.72
Oro	2.2
Aluminio	3.2
Tungsteno	5.5
Níquel	7.0
Platino	11.0
Hierro	15.0
Mercurio	94.1
Bismuto	119.0

Los factores que afectan la resistencia de un material, se pueden relacionar en la siguiente ecuación(Fig. No. 25):

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

donde:
R = resistencia en ohms (Ω)
ρ = resistencia específica o resistividad a la temperatura dada (ohm-m).
L = longitud del conductor (m).
A = área de la sección transversal (m^2).

Ejemplo No. 6
Un alambre fino de platino de 0.4 milímetros de diámetro y 200 centímetros de largo, se usa como elemento sensible de un termómetro de resistencia eléctrica. Calcular su resistencia.
Datos:
d = 0.4 mm = 4×10^{-4} m
L = 200 cm = 2 m
ρ = $11 \times 10^{-8}\ \Omega$-m

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

$$A = \pi \frac{d^2}{4}$$

$$A = \frac{3.14\,(4 \times 10^{-4})^2}{4}$$

$$A = 1.256 \times 10^{-7}\ m^2$$

$$R = \frac{11 \times 10^{-8}\ \Omega - m\ (2m)}{1.256 \times 10^{-7}\ m^2}$$

$$R = 1.75\ \Omega$$

CIRCUITO ELÉCTRICO

Un circuito cerrado en el que existe un movimiento de cargas, desde un elemento que hace la función de bombear (fuente) las cargas a través de un conductor, pasar por un dispositivo que convierte la energía eléctrica en otro tipo de energía (cinética (motor), lumínica (foco), térmica (calentador), etc.), para luego regresar al sistema de bombeo, se le denomina *circuito eléctrico*.

Las cargas (electrones) que fluyen a través de cualquier aparato que convierte la energía, pierden energía potencial eléctrica. Se dice que el aparato o elemento que reduce la energía potencial de las cargas, se dice que posee una *resistencia* (Fig. No. 26).

Se sabe que las cargas no pueden ser creadas o destruidas, sólo separadas, es decir, la cantidad total de carga (número total de electrones y iones positivos), no cambia en el circuito. Si fluye un coulomb en un segundo en un generador, al conectar un motor, también fluirá un coulomb en un segundo. En suma, la carga y la energía se conservan.

La energía transportada por una corriente eléctrica depende de la carga transferida y de la diferencia de potencial a través de la cual se meuve.

$$E = qV$$

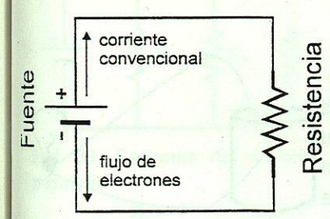


Fig. No. 26. Circuito eléctrico.

Donde q es medida en coluomb, la relación de flujo de carga o corriente eléctrica, se mide en coulomb por segundo, la cual recibe el nombre de amper (A) en honor de André-Marie Ampère (1775-1836).

$$1\ C/s = 1\ A$$

La circulación del fluido se establece cuando existe una diferencia de potencial o de voltaje entre dos puntos y además, existe un conductor entre esos dos puntos.

SIMBOLOGÍA EN LOS CIRCUITOS ELÉCTRICOS

Probablemente alguna vez hayas visto un diagrama eléctrico de un radio, televisor, estéreo o video casetera; puede parecer algo muy complicado pero está formado de partes fundamentales como resistencias, diodos, transitores, etc., cada una con su símbolo correspondiente.

Como son muchas las componentes eléctricas y electrónicas usadas en la actualidad, sólo representaremos a continuación algunas de ellas con su respectivo símbolo esquemático.

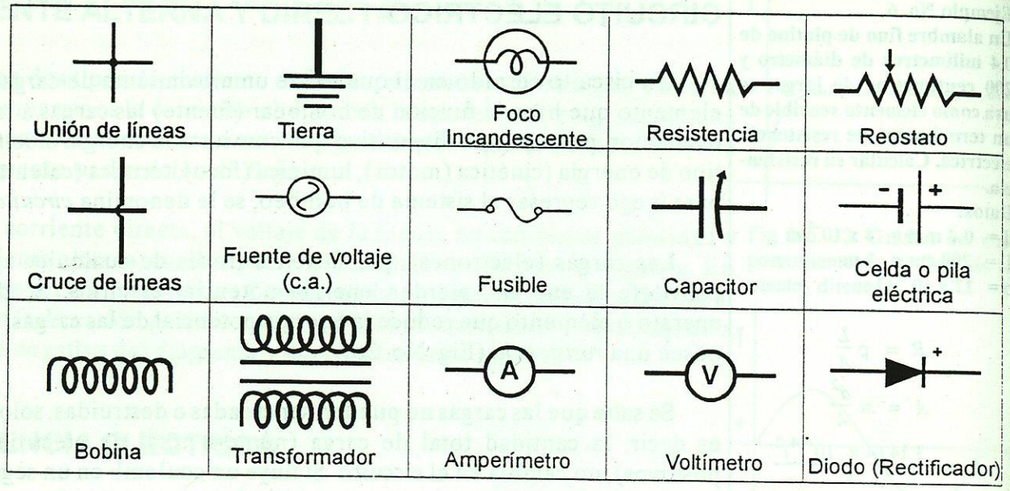


Fig. No. 27. Símbolos de algunos elementos eléctricos.

FORMAS BÁSICAS DE LOS CIRCUITOS

Cualquier circuito eléctrico puede describirse en palabras, pero a medida que este se va haciendo más complejo, también se hace más compleja su expresión oral. Por ello es más frecuente desarrollar un diagrama de un ciercuito eléctrico manejando símbolos, ya establecidos como patrones, para los elementos de un circuito. Al diagrama completo se le da el nombre de *esquema del circuito.*

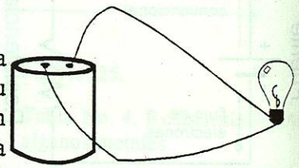


Fig. No. 28. Circuito simple de fuente y resistencia.

La primera y más sencilla de las formas de un circuito eléctrico consta de una fuente, un elemento resistivo y alambres de conexión, como se observa en la figura No. 28 (se puede agregar un dispositivo de control, en este caso un interruptor). A esta forma se le denomina **circuito simple**. En la figura No. 29 tenemos el circuito en **forma esquemática**.

La segunda forma consiste en una fuente de dos o más elementos resistivos conectados uno seguido de otro (Figura No. 30), que se conoce como **circuito serie**. en la figura No. 31 tenemos el circuito en forma esquemática.

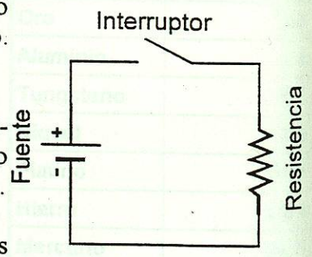


Fig. No. 29. Esquema de un circuito simple.

La tercera forma de circuito consta de dos o más resistores conectados directamente a una fuente o un punto (Fig. No. 32), al que se le denomina

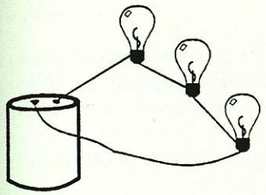


Fig. No. 30. Circuito serie.

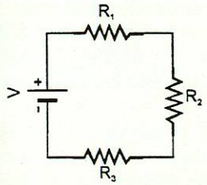


Fig. No. 31. Esquema del circuito serie.

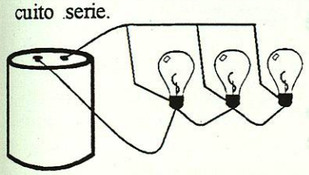


Fig. No. 32. Circuito paralelo.

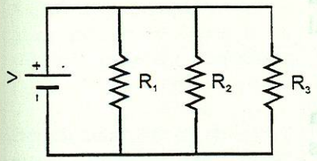
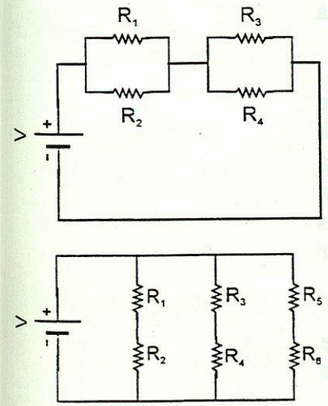


Fig. 33. Esquema del circuito paralelo.



Figs. Nos. 34 y 35. Esquemas de circuitos mixtos.

circuito paralelo. En la figura No. 33 tenemos el circuito en forma esquemática.

La cuarta forma consta de dos o más grupos de resistores conectados en serie como en la figura No 34. o dos o más ramas en serie conectados en paralelo entre sí, como se ve en la figura No. 35. este tipo de conexiones se les llama **circuito mixto**. Estas son dos de las muchas combinacioines complejas que se pueden construir en los circuitos mixtos.

SIMPLIFICACIÓN DE UN CIRCUITO

Si tenemos un circuito con dos o más cargas que estén conectadas en cualquiera de las formas: serie, paralelo o mixto, lo podemos simplificar, es decir, lo podemos reducir a un circuito simple como el mostrado en la figura No. 29. Pero tenemos que calcular la resistencia equivalente.

1o. Para un circuito serie se suman el total de resistencias que estén conectadas.

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \ldots + R_n$$

2o. Para un circuito paralelo, el inverso de la resistencia equivalente es igual a la suma de los inversos de todas las resistencias conectadas en paralelo.

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n}$$

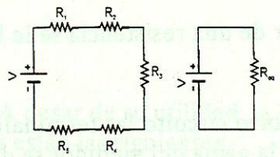


Fig. No. 36. Simplificación de un circuito serie.

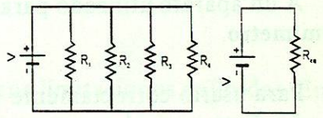


Fig. No. 37. Simplificación de un circuito paralelo.

3o. Para un circuito mixto, tenemos que analizar detenidamente el diagrama y utilizar la solución del circuito serie y el circuito paralelo, hasta reducir al circuito simple. como estos circuitos son muy variados, también las soluciones son muy variadas.