

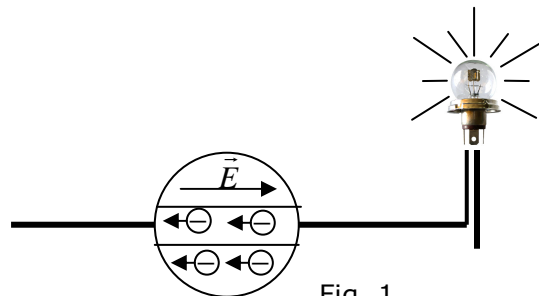
ELECTRICIDAD III

En este capítulo analizaremos fenómenos eléctricos relacionados con cargas en movimiento, es decir, principiaremos el estudio de la corriente y de los circuitos eléctricos. Esta parte recibe el nombre de Electrodinámica.

¿Qué es una corriente eléctrica?

Consideremos un alambre o conductor metálico en el cual se establece un campo eléctrico \vec{E} , según muestra la figura 1. Por ejemplo, este campo eléctrico se puede establecer, uniendo los extremos del conductor a los polos o terminales de una pila o batería, como veremos más adelante.

Sabemos que en el alambre existe un gran número de electrones libres. Tales electrones quedarán sujetos a la acción de una fuerza eléctrica debido al campo, y puesto que son libres, entrarán inmediatamente en movimiento. Como los electrones poseen carga negativa, su desplazamiento tendrá sentido contrario al del campo aplicado, como indica la figura 1. Por lo tanto, el establecer un campo eléctrico en un conductor metálico, produce un flujo de electrones en dicho conductor, fenómeno que se denomina *corriente eléctrica*.



En los conductores líquidos también se puede establecer una corriente eléctrica. Por ejemplo, consideremos, una solución de cloruro de sodio (NaCl) en agua. Como usted ya debe saber por un curso de química, la sal produce iones positivos (Na^+) y iones negativos (Cl^-), los cuales quedan libres y pueden desplazarse en el interior del líquido. Al establecer un campo eléctrico en la solución en la solución (esto se puede lograr introduciendo en ella dos placas metálicas conectadas a una batería), los iones positivos empiezan a desplazarse en el sentido del vector \vec{E} , y los iones negativos, en sentido contrario.

Por lo tanto, la corriente eléctrica en un conductor líquido está constituida por el movimiento de iones positivos y de iones negativos, que se desplazan en sentidos contrarios.

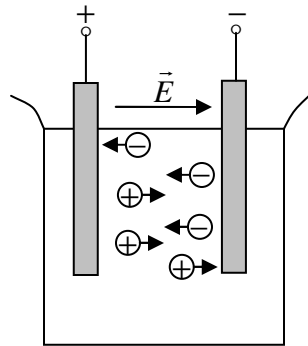


Fig. 2

Más aún, es posible también establecer corrientes eléctricas en los gases, como sucede en las lámparas de vapor de mercurio, o cuando una chispa eléctrica salta de un cuerpo a otro a través del aire. En estos casos, la corriente está constituida por el movimiento de iones positivos, negativos, y también de electrones libres.

Corriente eléctrica convencional

Supongamos una carga negativa que se desplaza con cierta velocidad y está dirigida, por ejemplo, hacia la izquierda. Se observa que este movimiento equivale al de una carga positiva, de igual valor, que se desplaza con la misma rapidez pero en sentido contrario.

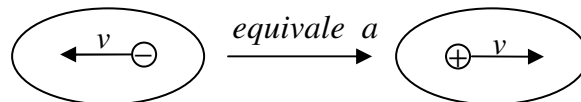


Fig. 3

Lo anterior, permite establecer la convención siguiente, que facilita el estudio de las corrientes y los circuitos eléctricos: *una carga negativa en movimiento siempre se deberá imaginar como una carga positiva que se mueve en sentido contrario*. Debido a esta convención, cuando consideremos una corriente eléctrica cualquiera, tendremos que sustituir las cargas negativas imaginarias que se mueven en sentido contrario. De modo que se puede suponer que cualquier corriente eléctrica está constituida únicamente por cargas positivas. Dicha corriente imaginaria, la cual equivale a la corriente real, se denomina corriente convencional.

Intensidad de corriente

Se denomina intensidad de corriente eléctrica a la carga eléctrica que pasa a través de una sección del conductor en un intervalo de tiempo, es decir:

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

En el S.I, la corriente se mide en $\frac{C}{s}$, unidad que se denomina ampere (A). Algunos submúltiplos son: miliampere = mA = 10^{-3} A y el microampere = μ A = 10^{-6} A.



Fig. 4

La corriente eléctrica en un conductor metálico consiste en un movimiento ordenado de portadores de carga, como se muestra en la figura 4.

Efectos de la corriente eléctrica

El paso de la corriente eléctrica a través de los conductores tiene diferentes efectos dependiendo de la naturaleza de los conductores y de la intensidad de la corriente.

Efecto fisiológico. Se produce al pasar corriente por organismos vivos. Dicha corriente actúa directamente sobre el sistema nervioso provocando contracciones nerviosas. Cuando esto ocurre se habla de un shock eléctrico.

Efecto térmico. También conocido como Efecto Joule es causado por los choques de los electrones libres contra los átomos de los conductores. Producto de estos choques los átomos incrementan su energía de vibración y el material se calienta. Este efecto se aprovecha en estufas, anafres, secadores de pelo, etc.

Efecto químico. Se manifiesta cuando ciertas reacciones químicas que ocurren cuando la corriente eléctrica atraviesa las soluciones electrolíticas. Se utiliza en el recubrimiento de metales (galvanoplastias) por ejemplo: niquelado, plateado, cromado, etc.

Efecto magnético: Se manifiesta a través del campo magnético que aparece en las cercanías de un conductor por el cual circula la corriente. Este efecto es quizás el más importante desde el punto de vista de la tecnología.

Ejemplo:

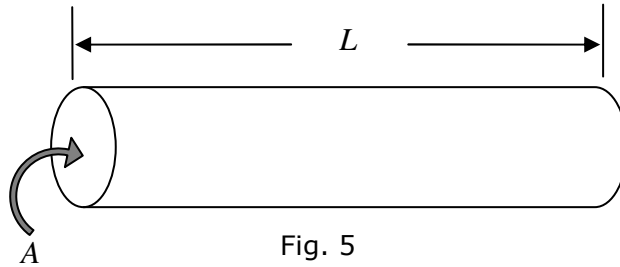
1. Una carga eléctrica de 120 Coulomb pasa uniformemente por la sección transversal de un hilo conductor durante un minuto. La intensidad de la corriente eléctrica que circula en ese conductor es

- A) (1/30)A
- B) (1/2) A
- C) 2 A
- D) 30 A
- E) 120 A

Resistencia de un material

El valor de la resistencia de un conductor, depende de su longitud y del área de su sección transversal.

Al realizar mediciones cuidadosas se observa que la resistencia R del conductor es directamente proporcional a su longitud L . Por otro lado, se observa también que la resistencia del conductor es inversamente proporcional al área A de su sección.



Vemos entonces que si quisiéramos tener un conductor de baja resistencia, entonces deberá ser de pequeña longitud y poseer una gran sección transversal (alambre grueso). Si introducimos una constante de proporcionalidad apropiada, podemos transformar la relación anterior en una igualdad. Esta constante (que se representa por la letra griega ρ), se denomina resistividad eléctrica. Por consiguiente,

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

La resistividad es una propiedad característica del material que constituye el conductor, es decir, cada sustancia posee un valor diferente de resistividad ρ . En la tabla se presentan los valores de resistividad eléctrica de algunas sustancias.

Resistividad eléctrica a la temperatura ambiente	
Material	ρ (Ohm x metro)
Aluminio	$2,6 \times 10^{-8}$
Cobre	$1,7 \times 10^{-8}$
Níquel - cromo	100×10^{-8}
Plomo	22×10^{-8}
Fierro	10×10^{-8}
Mercurio	94×10^{-8}
Plata	$1,5 \times 10^{-8}$
Tungsteno	$5,5 \times 10^{-8}$

Variación de la resistencia con la temperatura

En la mayor parte de los metales, la resistividad aumenta con la temperatura. Podemos entender esta correlación como sigue. A medida que la temperatura del material aumenta, los átomos que lo constituyen vibran con amplitud cada vez mayor. Así como es más difícil abrirse paso a través de una habitación donde hay mucha gente cuando las personas están en movimiento que cuando permanecen inmóviles, del mismo modo, los electrones encuentran más dificultad para pasar entre los átomos que se mueven con mayor amplitud. En la mayor parte de los metales, la resistividad aumenta de forma aproximadamente lineal con la temperatura en un intervalo de temperatura limitado, según la expresión

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha(t - t_0)]$$

donde ρ es la resistividad a cierta temperatura, t (en grados Celsius); ρ_0 es la resistividad a una temperatura de referencia, t_0 (que por lo común es de 20°C); y α es un parámetro conocido como **coeficiente de temperatura de la resistividad**. En la tabla siguiente se incluyen los coeficientes de temperatura de diversos materiales.

Puesto que la resistencia de un conductor con sección transversal uniforme es proporcional a la resistividad, de acuerdo con la ecuación ($R = \rho l/A$), la variación de la resistencia con la temperatura se puede escribir como

$$R = R_0 [1 + \alpha(t - t_0)]$$

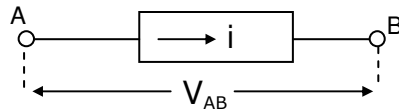
MATERIAL	$\alpha(^{\circ}C^{-1})$
Plata	$3,8 \times 10^{-3}$
Cobre	$3,9 \times 10^{-3}$
Oro	$3,4 \times 10^{-3}$
Aluminio	$3,9 \times 10^{-3}$
Tungsteno	$4,5 \times 10^{-3}$
Hierro	$5,0 \times 10^{-3}$
Platino	$3,92 \times 10^{-3}$
Plomo	$3,9 \times 10^{-3}$
Carbono	$-0,5 \times 10^{-3}$
Germanio	-48×10^{-3}
Silicio	-75×10^{-3}

Ejemplo:

2. Un cierto alambre conductor posee una resistencia eléctrica de 90 Ω a la temperatura ambiente. Sin cambiar su estructura, se estira hasta el doble de su longitud inicial, entonces su nueva resistencia a la misma temperatura es
- A) 90 Ω
 - B) 180 Ω
 - C) 270 Ω
 - D) 360 Ω
 - E) 45 Ω

LEY DE OHM

Considere el resistor de la figura 6 mantenido a temperatura constante, recorrido por una corriente eléctrica i cuando entre sus extremos es aplicada una diferencia de potencial V_{AB} .



Aumentando sucesivamente la diferencia de potencial a valores $V_1, V_2, V_3 \dots$ el resistor pasa a ser recorrido por corrientes de intensidades $i_1, i_2, i_3 \dots$.

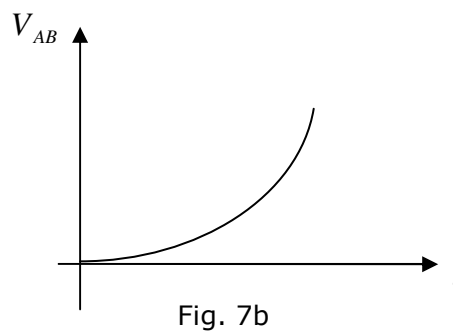
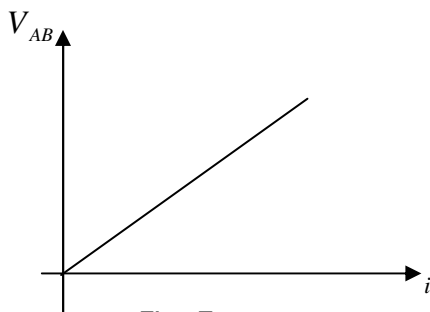
Ohm verificó experimentalmente que: "El cuociente entre la V_{AB} aplicada y la respectiva intensidad de corriente es una constante característica del resistor".

$$V_{AB} = R \cdot i$$

Este enunciado se conoce como la **ley de Ohm**, en honor a Georg Simon Ohm (1787-1854), quien fue el primero en llevar a cabo un estudio sistemático de la resistencia eléctrica.

Los conductores que cumplen con esta ley reciben el nombre de *conductores óhmicos*. No debemos olvidar que existen materiales que no obedecen a la ley de Ohm, es decir, al variar el voltaje que se aplica a un conductor determinado, hecho de un material de este tipo, se modifica el valor de la resistencia de dicho conductor (la resistividad del material se altera).

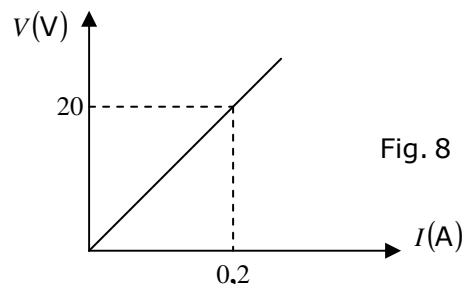
La ley de Ohm es una relación empírica válida sólo para ciertos materiales. Los materiales que obedecen la ley de Ohm y que, por tanto, tienen una resistencia constante en una amplia gama de voltajes, se califican como *óhmicos* (figura 7a). Los materiales que no obedecen la ley de Ohm son no *óhmico* (figura 7b). En nuestro curso, a menos que se diga lo contrario, trataremos únicamente de conductores que obedecen a la ley de Ohm.



Ejemplo:

3. Al realizar un experimento en laboratorio, un estudiante somete un resistor a diversas tensiones eléctricas V y, para cada caso, midió la corriente eléctrica I . Con esos datos hizo el siguiente gráfico de V en función de I . La resistencia eléctrica de este resistor es

- A) $0,1 \Omega$
- B) $0,01 \Omega$
- C) 1Ω
- D) 10Ω
- E) 100Ω



Conexión de resistores (o resistencias)

Resistores conectados en serie

Muchas veces, en los circuitos eléctricos se observan resistencias conectadas una después de la otra, como se muestra en la figura 9. Cuando esto sucede, decimos que tales elementos están *conectados en serie*. Por ejemplo, los foquitos que emplean para adornar los árboles de Navidad, generalmente se hallan conectados de esta manera

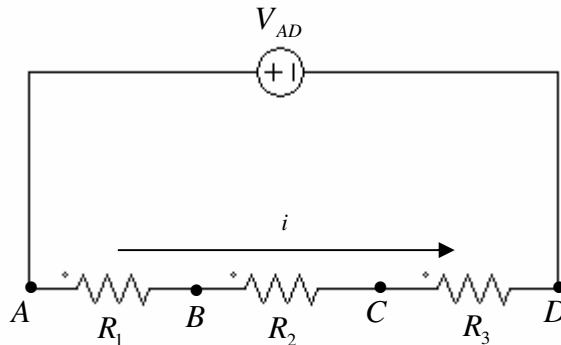


Fig. 9

Si entre los extremos A y D del agrupamiento que se muestra en la figura 9, se aplicará una diferencia de potencial, por los resistores de esta conexión pasaría una corriente eléctrica. La intensidad i de esta corriente, tendría el mismo valor en cualquier sección del circuito y, por lo tanto, las resistencias R_1 , R_2 y R_3 serían recorridas por la misma corriente (esto es cierto aunque R_1 , R_2 y R_3 tengan diferente valor).

Al designar por V_{AB} , V_{BC} y V_{CD} los voltajes en R_1 , R_2 y R_3 , respectivamente, es fácil observar, por la figura, que

$$V_{AB} + V_{BC} + V_{CD} = V_{AD}$$

Como el valor de i es igual en los tres resistores, podemos escribir:

$$V_{AB} = R_1 \cdot i$$

$$V_{BC} = R_2 \cdot i$$

$$V_{CD} = R_3 \cdot i$$

Entonces es posible concluir fácilmente que en la resistencia de mayor valor se observará la mayor *caída de potencial*.

La **resistencia equivalente** es la suma de las resistencias individuales

$$R_{EQ} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n = \sum_{k=1}^n R_k$$

Resistores conectados en paralelo

Las resistencias eléctricas también se pueden conectar en un circuito, en la forma mostrada en la figura 10. En este tipo de agrupamiento decimos que los elementos están *conectados en paralelo*. Los faros de un automóvil y las lámparas de una casa son un ejemplo de resistencia conectadas en paralelo.

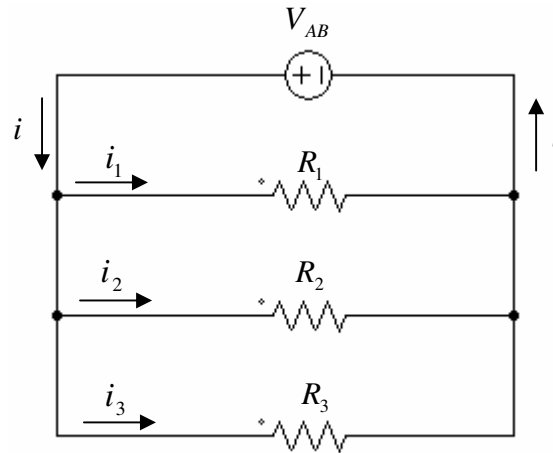


Fig. 10

Por la figura 10 vemos que los resistores R_1 , R_2 y R_3 están conectados, cada uno, a los mismos puntos. De manera que la misma diferencia de potencial V_{AB} estará aplicada a cada una de estas resistencias. Por ejemplo, si el voltaje V_{AB} proporcionado por la batería de la figura 10, vale 12 V, tenemos que tanto R_1 como R_2 y R_3 se encuentran sometidas a este voltaje. Observemos que la corriente total i proporcionada por la batería, se distribuye entre resistencias, pasando una corriente i_1 por R_1 , una i_2 en R_2 y una i_3 en R_3 . Es claro que $i_1 + i_2 + i_3 = i$, y además (recordando la relación $i = V_{AB}/R$), tenemos que

$$i_1 = \frac{V_{AB}}{R_1} \quad i_2 = \frac{V_{AB}}{R_2} \quad i_3 = \frac{V_{AB}}{R_3}$$

La **resistencia equivalente** es tal, que su valor recíproco es la suma de los valores recíprocos de las resistencias individuales.

$$\frac{1}{R_{EQ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}$$

Ejemplo:

4. Tres resistores idénticos tienen resistencias eléctricas constantes e iguales a R . Dos de ellos, asociados en paralelo, son conectados en serie con el tercero. La resistencia eléctrica equivalente de esa asociación es igual a

- A) $R/2$
- B) $2R/3$
- C) R
- D) $3R/2$
- E) $2R$

POTENCIA Y ENERGÍA ELÉCTRICA

Recordando que la diferencia de potencial V entre dos puntos es $V = W/q$ y que la potencia es $P = W/t$, la cual representa el trabajo en la unidad de tiempo o energía eléctrica en la unidad de tiempo, esta podrá ser escrita como

$$P = \frac{qV}{t}$$

Como q/t es la corriente eléctrica i , la expresión anterior puede ser escrita como:

$$P = V \cdot i$$

Por otro lado, usando la ley de Ohm, se encuentra,

$$P = i^2 \cdot R = \frac{V^2}{R}$$

Cuando un coulomb pasa a través de un conductor, consume una energía igual a la diferencia de potencial aplicada. La pregunta es, ¿qué le pasa a esta energía? Si no hay un motor o algún otro aprovechamiento de la energía, ésta se convierte en calor. Aunque el calentamiento de un conductor es a veces indeseable, tiene aplicaciones útiles siendo la más importante, las parrillas, radiadores, planchas, estufas eléctricas; las ampollitas, cuyo filamento eleva tanto su temperatura que su incandescencia es tal que sirve para el alumbrado, etc.

Ejemplo:

5. Si la tensión de un resistor óhmico se duplica, la potencia usada por el resistor
- A) se duplica.
 - B) se cuadruplica.
 - C) decrece a la mitad.
 - D) decrece a la cuarta parte.
 - E) sigue igual porque es óhmico.

Instrumentos eléctricos de medición

Al trabajar con circuitos eléctricos en el laboratorio suele ser necesario conocer los valores de las diversas magnitudes relacionadas con tales circuitos. A continuación analizamos la manera en que podemos medir, usando los instrumentos adecuados, dos cantidades importantes de un circuito eléctrico cualquiera: intensidad de corriente y tensión (o diferencia de potencial).

Medición de corriente

Cualquier instrumento que indique la presencia de corriente en un circuito se denomina galvanómetro. Si la escala de este aparato se gradúa de manera que indique la intensidad de la corriente que pasa, el instrumento recibe el nombre de amperímetro. La figura 11 muestra cómo se representan en forma esquemática los amperímetros en los diagramas de circuitos eléctricos.



Fig. 11

Existen amperímetros destinados a medir corrientes de intensidad alta. En este caso, la escala del instrumento está graduada en amperes. Existen otros amperímetros más sensibles que pueden medir corrientes de intensidad baja, y por lo tanto, su escala está graduada en amperes. Existen otros amperímetros más sensibles que pueden medir corrientes de intensidad baja, y por lo tanto, su escala está graduada en miliamperes ($1\text{mA} = 10^{-3}\text{ A}$), o bien, en microamperes ($1\ \mu\text{A} = 10^{-6}\text{ A}$). Por ello, estos aparatos suelen ser denominados, respectivamente, miliamperímetros y microamperímetros.

Por ejemplo, cuando deseamos medir la corriente que pasa, por una resistencia determinada, debemos conectar el amperímetro al circuito, en serie al resistor, y por lo tanto, toda la corriente que pasa por este elemento pasará a través del medidor. En estas condiciones, la aguja se desplazará a lo largo de la escala, indicando directamente el valor de la corriente.

En el interior de un amperímetro existen elementos conductores que deben ser recorridos por la corriente eléctrica para que el instrumento indique su intensidad. Tales elementos presentan cierta resistencia eléctrica, que se denomina *resistencia interna* del amperímetro.

Medición de tensión

La medida de la diferencia de potencial entre dos puntos se realiza mediante instrumentos denominados *voltímetros*. La figura 12 muestra la forma en que este aparato se representa en los diagramas de circuitos eléctricos.



Fig. 12

Por ejemplo, si deseamos medir la diferencia de potencial que existe, entre los extremos de una resistencia, hay que conectar un voltímetro en la manera mostrada en la figura 13. Como vemos, el medidor de tensión debe conectarse en paralelo con la resistencia. De manera que parte de la corriente que llega al punto A se desvía, pasando por el voltímetro, lo cual hace que la aguja se desplace a lo largo de la escala del instrumento e indique directamente el valor del voltaje V_{AB} .

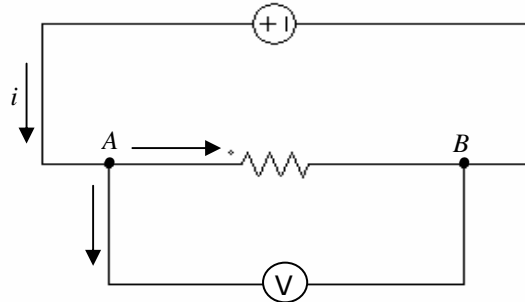


Fig. 13

Al igual que un amperímetro, un voltímetro también posee *resistencia interna*. Es deseable que la corriente que se desvía al voltímetro sea la menor posible, para que la perturbación causada en el circuito por la introducción del aparato, resulte despreciable. Como sabemos, esta corriente será tanto menor cuanto mayor sea la resistencia del voltímetro. Por este motivo, este aparato debe fabricarse de manera que su resistencia interna sea la *mayor posible*.

Ejemplo:

6. En el circuito de la figura 14, la fem de la fuente es 4,5 V. ¿Cuáles son las indicaciones del amperímetro y del voltímetro?

- A) 50 mA; 1,5 V
- B) 50 mA; 3,0 V
- C) 0,5 mA; 1,5 V
- D) 0,5 mA; 3,0 V
- E) 15 mA; 4,5 V

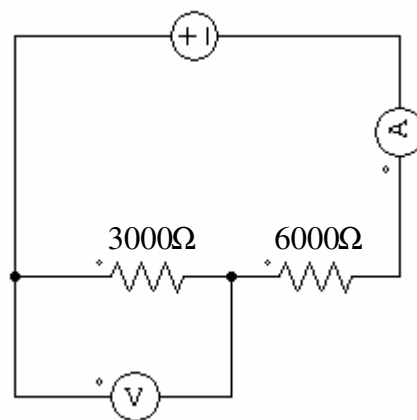


Fig. 14

El capacitor

Un capacitor está formado por dos conductores, muy cercanos entre sí, que transportan cargas iguales y opuestas.

El capacitor más sencillo es el de placas plano - paralelas, ilustrado en la figura 15. Se puede comprobar que existe una diferencia de potencial entre dichas placas si se conecta a ellas una batería, como lo muestra la figura 15. Los electrones se transfieren de la placa A a la placa B, produciendo una carga igual y opuesta sobre las placas. La capacitancia de este aparato se define como sigue:

La capacitancia entre dos conductores que tienen cargas iguales y opuestas es la razón de la magnitud de la carga sobre cualquier conductor a la diferencia de potencial resultante entre los dos conductores.

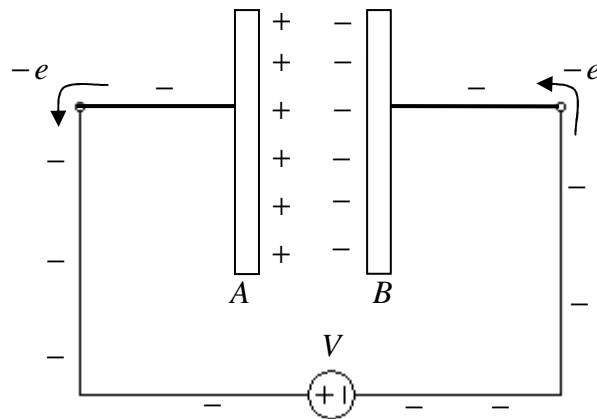


Fig. 15

La ecuación para la capacitancia (o capacidad) de un capacitor es la misma que la ecuación, para un conductor individual, excepto que en este caso el símbolo V se aplica a la diferencia de potencial y el símbolo Q se refiere que está presente en cualquiera de los conductores.

$$C = \frac{Q}{V}$$
$$1F = \frac{1C}{1V}$$

En vista de la enorme magnitud del Coulomb como unidad de carga, el Farad (o Faradio) es una unidad de capacitancia demasiado grande para las aplicaciones prácticas. Por ese motivo, con frecuencia se usan los siguientes submúltiplos:

$$1 \text{ microfarad } (\mu F) = 10^{-6} F$$

$$1 \text{ picofarad } (pF) = 10^{-12} F$$

No es raro encontrar capacitancias de sólo unos cuantos picofarad en algunas aplicaciones de comunicación eléctrica.

La capacidad de un condensador de placas plano- paralelas, en función de la distancia (d) que separa las placas y el área (A) de las placas, está dada por:

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

Se observa que la capacidad del condensador aumentará cuanto más grande sea el área A de las placas y más chica sea la distancia d que separa las placas. ϵ_0 es una constante llamada permisividad del espacio libre, cuyo valor es:

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} [C^2/ N \cdot m^2]$$

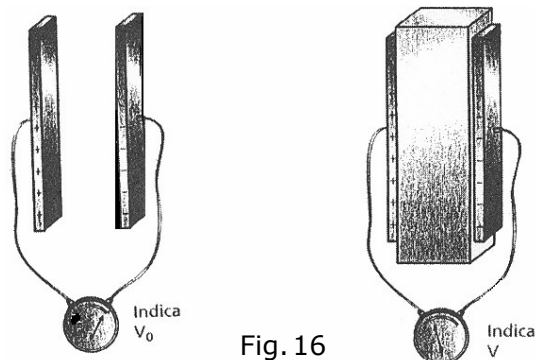
Capacitores con dieléctricos

Desde el punto de vista atómico los materiales aislantes tienen como característica que sus electrones están firmemente ligados a sus átomos y no tienen libertad de moverse hacia otros átomos del material; de ahí el nombre de **dieléctricos**.

Para examinar las propiedades de los dieléctricos, imaginaremos el siguiente experimento. Supongamos que a un condensador cargado, con una diferencia de potencial V_0 entre sus placas, lo rellenamos con un material aislante. El nuevo dispositivo cumple con todas las propiedades que definen a un condensador y, en consecuencia, satisface la relación:

$$C = \frac{Q}{V}$$

Si medimos la diferencia de potencial que hay entre sus placas (la batería ya no está conectada) encontramos *que la diferencia de potencial cambió de V_0 (sin dieléctrico) a V_1 (con dieléctrico)*. Notablemente, *cualquiera sea el material aislante que se introduzca, encontraremos siempre que $V_1 < V_0$* (ver figura 16). Más aún, si retiramos el dieléctrico la diferencia de potencial vuelve a ser V_0 .



¿A qué puede atribuirse esta disminución de la diferencia de potencial que se produce al introducir un dieléctrico? ¿Cambió la carga, la capacidad o ambas? Debido a que el voltaje vuelve a ser el mismo al quitar el aislante, se deduce que la cantidad de carga permanece constante en todo el experimento, con o sin material entre sus placas.

Podemos concluir entonces que lo que varía al introducir un material aislante es la capacidad del condensador. Es decir, *el nuevo condensador tiene una nueva capacidad C_1 , mayor que la capacidad que tiene "con vacío" C_0* , dada por:

$$C_1/C_0 = (Q/V_1) / (Q / V_0) = V_0 / V_1 = \kappa$$

La constante κ , que es la letra griega *kappa*, recibe el nombre de **constante dieléctrica**. Se puede escribir la nueva expresión de la capacitancia como:

$$C = \kappa \cdot \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

Al parecer, este resultado indica que se podría alcanzar una capacitancia muy grande reduciendo la distancia (d) entre las placas. En la práctica, el valor mínimo de d está limitado por la descarga eléctrica que puede producirse a través del material dieléctrico que separa las placas. Para cualquier separación de placas dada, existe un campo eléctrico máximo que se puede producir en el dieléctrico antes de que ocurra una descarga disruptiva en el mismo y comience a conducir. Este campo eléctrico máximo se conoce como la **resistencia dieléctrica**, y su valor en el caso del aire es de alrededor de $3 \cdot 10^6$ V/m.

La constante dieléctrica depende de cada material y su valor más bajo corresponde al vacío, que cumple con $\kappa = 1$. En la Tabla se dan las constantes dieléctricas de algunos materiales característicos.

Material	Constante dieléctrica (κ)
Vacío	1
Aire seco	1,00059
Étanol	1,0061
Teflón	2,1
Benceno	3,1
Nylon	3,4
Vidrio Pyrex	5,6
Titanato de estroncio	250

Ejemplo:

7. Se tiene condensador plano cargado y conectado a una batería, con aire como dieléctrico. Cuando se alejan las placas de este condensador es correcto afirmar que
- A) la energía almacenada aumenta.
 - B) el voltaje del condensador aumenta.
 - C) la capacidad del condensador disminuye.
 - D) el voltaje del condensador disminuye.
 - E) Ninguna de las anteriores.

Combinaciones de capacitores

Conexión en paralelo

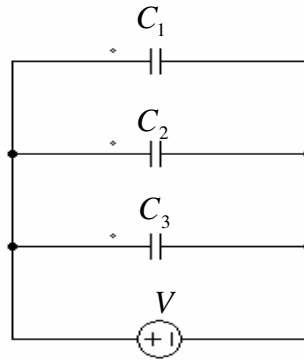


Fig. 17

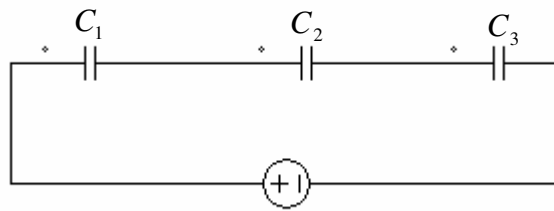
Consideremos la capacitancia del conjunto, es decir, la capacitancia equivalente, C_{EQ} , de un condensador único que sustituya al conjunto. Evidentemente, el voltaje en las armaduras de este capacitor sería igual a V , y para que pueda sustituir al conjunto, la carga Q en sus placas deberá ser igual a la suma de las cargas existentes en cada capacitor de la conexión. Entonces:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Pero, como $C_{EQ} = Q/V$, vemos que

$$C_{EQ}V = C_1V + C_2V + C_3V \Rightarrow C_{EQ} = C_1 + C_2 + C_3$$

Conexión en serie



V Fig. 18

Consideremos la capacitancia del conjunto, es decir, la capacitancia equivalente, C_{EQ} , de un condensador único que sustituya al conjunto. La diferencia de potencial en la capacitancia equivalente, es igual a la suma de los voltajes en cada uno de los capacitores. Entonces

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

como la carga en las armaduras de cada condensador es la misma, tenemos que:

$$\frac{Q}{C_{EQ}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} \Rightarrow \frac{1}{C_{EQ}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

Energía de un capacitor cargado

Considere un capacitor que estaba descargado inicialmente. Cuando una fuente de diferencia de potencial se conecta al capacitor, la diferencia de potencial entre las placas se incrementa en la medida que se transfiere carga. A medida que se acumula más y más carga en el capacitor, se vuelve cada vez más difícil transferir una carga adicional. Supongamos ahora que se representa como Q la carga total transferida y la diferencia de potencial final como V . La diferencia de potencial promedio a través de la cual se mueve la carga se expresa de este modo:

$$V_{\text{promedio}} = \frac{V_{\text{final}} + V_{\text{inicial}}}{2} = \frac{V + 0}{2} = \frac{1}{2}V$$

Puesto que la carga total transferida es Q , el trabajo total (W) realizado en contra de las fuerzas eléctricas es igual al producto de Q por la diferencia de potencial promedio V_{promedio} . Por lo tanto,

$$W = Q\left(\frac{1}{2}V\right) = \frac{1}{2}QV$$

Este trabajo es equivalente a la energía potencial electrostática de un capacitor cargado. Si partimos de la definición de la capacitancia ($Q=CV$), esta energía potencial se puede escribir de diversas maneras:

$$E = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{Q^2}{2C}$$

Cuando C se expresa en Farad, V en Volt y Q en Coulomb, la energía potencial estará expresada en Joule. Estas ecuaciones se aplican por igual a todos los capacitores independientemente de cómo estén contruidos.

Ejemplo:

8. Si en un condensador cargado sus placas se separan al doble de la distancia original, y manteniendo el condensador conectado a una batería. La energía eléctrica almacenada en este nuevo condensador sería
- A) el doble de la original.
 - B) igual a la original.
 - C) la mitad de la original.
 - D) la cuarta parte de la original.
 - E) la octava parte de la original.

Circuito RC

Considere el circuito ilustrado en la figura 19, que contiene sólo un capacitor y un resistor. Cuando el interruptor se mueve a S_1 , el capacitor empieza a cargarse rápidamente mediante la corriente i . Sin embargo, a medida que aumenta la diferencia de potencial Q/C entre las placas del capacitor, la rapidez de flujo de carga al capacitor disminuye. En cualquier instante, la caída iR a través del resistor debe ser igual que la diferencia de potencial entre voltaje V_0 de las terminales de la batería y la fuerza contra electromotriz del capacitor. Simbólicamente

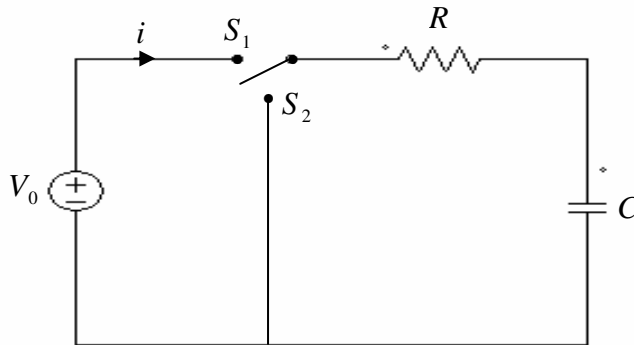


Fig. 19

$$V_0 - \frac{Q}{C} = iR$$

donde i = corriente instantánea.

Q = carga instantánea en el capacitor.

Con la utilización de herramientas de cálculo diferencial e integral, se puede deducir que la carga instantánea del capacitor es:

$$Q(t) = C \cdot V_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

y la corriente instantánea se obtiene por medio de

$$i(t) = \frac{V_0}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

Inicialmente, la carga Q es cero, y la corriente i es máxima. Por lo tanto, en el tiempo $t=0$.

$$Q = 0 \quad \text{e} \quad i = \frac{V_0}{R}$$

Las ecuaciones para calcular la carga y la corriente instantánea, se simplifican en el instante particular en que $t = RC$. Este tiempo, generalmente representado por τ , se llama constante de tiempo del circuito.

$$\tau = RC$$

En la figura 20 se muestra el comportamiento gráfico del proceso de carga del condensador en el tiempo.

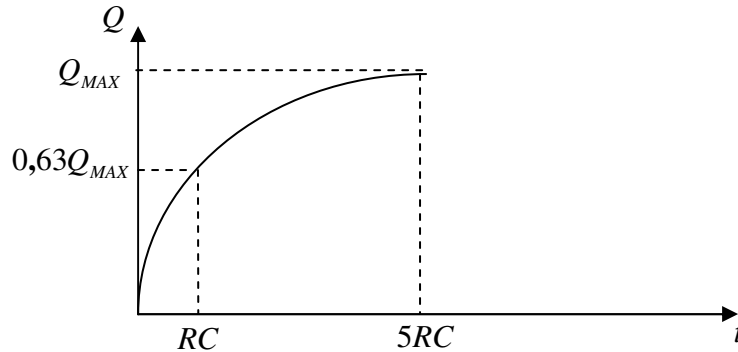


Fig. 20

La carga en un capacitor se elevará al 63 por ciento de su valor máximo después de cargarse por un periodo de una constante de tiempo.

La figura 21 muestra en comportamiento la corriente en el circuito durante la carga del capacitor, la cual se aproxima a cero mientras aumenta la carga de éste.

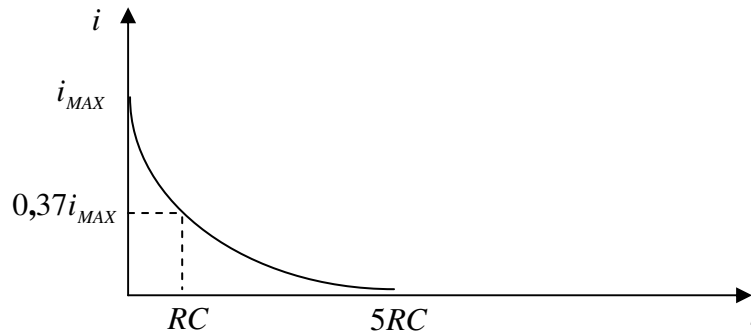


Fig. 21

La corriente suministrada a un capacitor disminuirá al 37 por ciento de su valor inicial después de cargarse por un periodo de una constante de tiempo.

Nota: Por razones prácticas, un capacitor se considera totalmente cargado después de un periodo de tiempo igual a cinco veces la constante de tiempo ($5RC$). Si el interruptor de la figura 19 ha permanecido en la posición S_1 durante este lapso de tiempo, por lo menos, se puede suponer que el capacitor ha quedado cargado al máximo CV_0 . Si se mueve el interruptor a la posición S_2 , la fuente de voltaje queda desconectada del circuito y se dispone de un camino o trayectoria para la descarga.

PROBLEMAS DE SELECCIÓN MÚLTIPLE

1. La diferencia de potencial entre los extremos de una asociación en serie de dos resistores de resistencias 10Ω y 100Ω es de 220 V . En esa situación, la diferencia de potencial entre los extremos del resistor de 10Ω es

- A) 2 V
- B) 20 V
- C) 110 V
- D) 200 V
- E) 220 V

2. El valor de la resistencia eléctrica de un conductor óhmico NO varía, si cambiamos solamente

- A) el material de que está hecho.
- B) su longitud.
- C) la tensión a que está sometido.
- D) el área de su sección transversal.
- E) su temperatura.

3. El valor de la resistencia equivalente del circuito representado a continuación es

- A) $8 R$
- B) $7 R$
- C) $6 R$
- D) $5 R$
- E) $4 R$

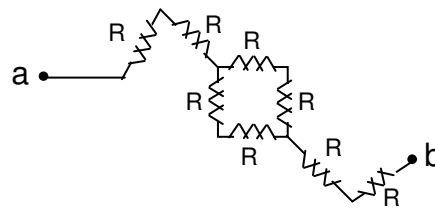


Fig. 22

4. La resistencia equivalente del siguiente conjunto es

- A) 4Ω
- B) $2,1 \Omega$
- C) $3,6 \Omega$
- D) $1,6 \Omega$
- E) $1,2 \Omega$

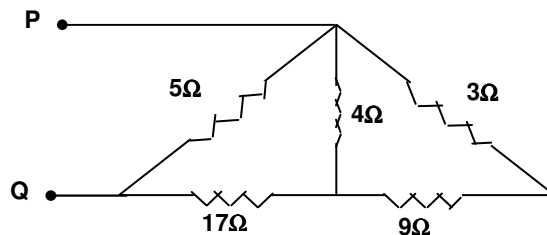


Fig. 23

5. Un conjunto de resistencias en paralelo es reemplazado por su resistencia equivalente. Entonces:

- I) La resistencia equivalente es menor que la mayor de las resistencias parciales.
- II) La resistencia equivalente es menor que la mayor y mayor que la menor de las resistencias parciales.
- III) La resistencia equivalente es menor que la menor de las resistencias parciales.

Es o son correcta(s):

- A) Sólo I y III
- B) Sólo II y III
- C) Sólo III
- D) Todas
- E) Ninguna

6. La resistencia equivalente entre los puntos A y B del circuito de la figura 24 es

- A) 17Ω
- B) 1Ω
- C) 5Ω
- D) $70 / 17\Omega$
- E) 6Ω

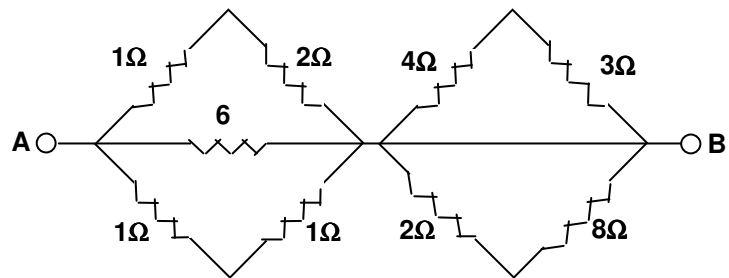


Fig. 24

7. Los resistores del diagrama adjunto son óhmicos y cada uno es de resistencia R . ¿Cuál es el valor de la resistencia equivalente del conjunto?

- A) $6R$
- B) $3R$
- C) $\frac{3}{2}R$
- D) $\frac{3}{4}R$
- E) $\frac{1}{2}R$

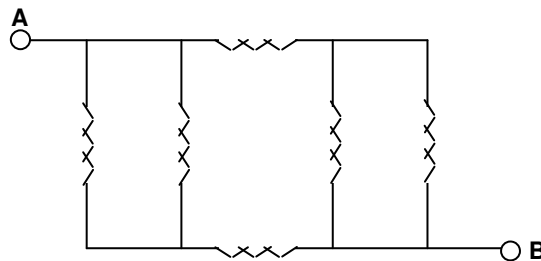
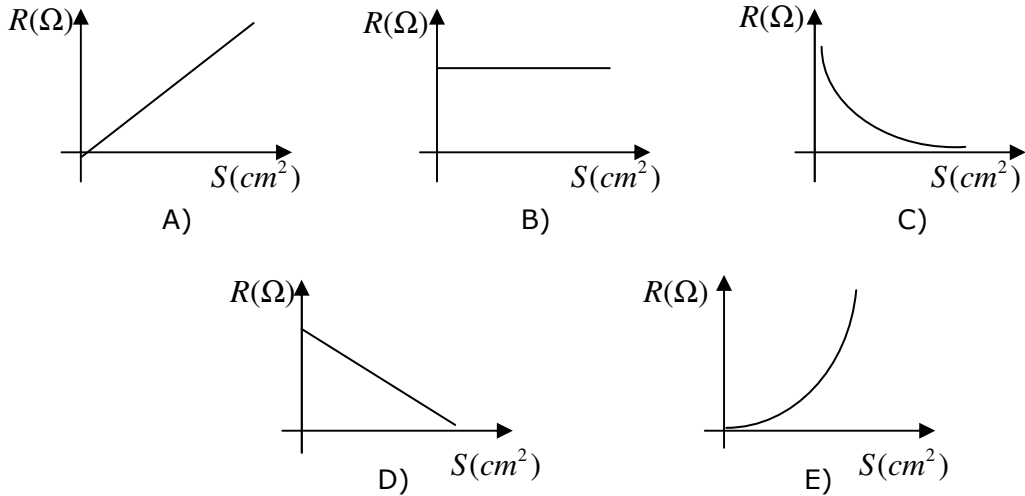


Fig. 25

8. De los gráficos siguientes puede representar la resistencia (R) en función de la sección transversal (S) de un hilo conductor óhmico de longitud constante:



9. En el circuito adjunto todas las resistencias son del mismo valor. Si el interruptor S está abierto, la resistencia que queda sometida a mayor diferencia de potencial es

- A) R_1
 B) R_2
 C) R_3
 D) R_4
 E) R_5

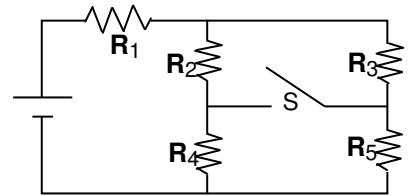


Fig. 26

10. Considere el siguiente circuito formado por cuatro resistencias, un generador, un interruptor y un amperímetro ideal. Cuando el interruptor está abierto, el amperímetro indica 1 A. Entonces, cuando se cierra el interruptor

- A) Las 3 siguientes son verdaderas.
 B) La resistencia del circuito aumenta en 50%.
 C) La indicación del amperímetro aumenta en 50%.
 D) Las resistencias quedan conectadas en paralelo.
 E) Las 3 anteriores son falsas.

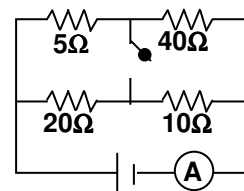


Fig. 27

11. Si la intensidad de corriente en la resistencia de 7Ω es 24 A, podemos afirmar que la intensidad de corriente en la resistencia de 12Ω será

- A) 4 A
- B) 6 A
- C) 12 A
- D) 18 A
- E) 24 A

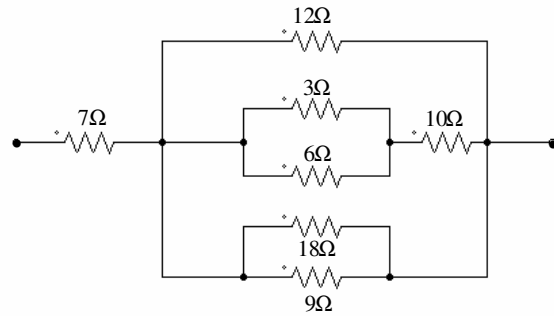


Fig. 28

12. En el circuito de la figura, $R_1 = R_2 = R_3$ y los amperímetros son ideales. Entonces, es correcto afirmar que, si V es constante;

- I) R_1 y R_3 están conectadas en paralelo.
- II) Medida de $A_1 =$ medida de A_2 .
- III) $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

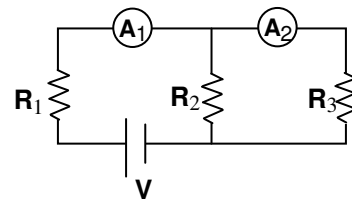


Fig. 29

Es (son) falsa(s):

- A) Sólo I y II
- B) Sólo II y III
- C) Sólo I y III
- D) Todas
- E) Ninguna

13. En el circuito esquematizado abajo, la diferencia de potencial entre los terminales de la batería es de 12 V.

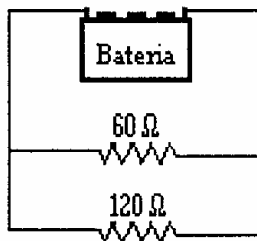


Fig. 30

La corriente eléctrica que fluye por el resistor de resistencia igual a 60Ω es

- A) 0,1 A
- B) 0,2 A
- C) 2,5 A
- D) 5,0 A
- E) 15,0 A

14. Dos ampolletas L_1 (100 W, 100V) y L_2 (100 W, 200V) se conectan en serie a una diferencia de potencial de 300 V. Entonces, es correcto afirmar que

- A) L_1 y L_2 brillaran con intensidad menor que lo normal
- B) L_1 brillará menos que lo normal y L_2 brillará normalmente
- C) L_1 brillará menos que lo normal y L_2 brillará más que lo normal, pudiendo "quemarse"
- D) L_1 brillará más que lo normal y L_2 brillará menos que lo normal.
- E) L_1 y L_2 brillarán normalmente.

15. Una plancha eléctrica fue diseñada para trabajar a 110 V y disipar una potencia de 440 W. Para poder ser usada con 220 V es necesario conectarla con un resistor en serie. Cuyo valor debe ser

- A) igual que la original.
- B) doble de la original.
- C) triple de la original.
- D) mitad de la original.
- E) cuarta parte de la original.

16. Usted enciende un circuito de 2 ampolletas conectados en paralelo una de 100 w y otra de 60 w. La primera brilla más que la segunda, porque

- I) su resistencia es menor.
- II) el voltaje es mayor que en la segunda.
- III) la intensidad de la corriente que circula por la primera es mayor que la correspondiente a la Segunda.

Es (son) correcta(s):

- A) Sólo I y II
- B) Sólo II y III
- C) Sólo I
- D) Sólo I y III
- E) Sólo III

17. Un condensador plano, cargado con dieléctrico aire se encuentra desconectado de la batería. Al introducir entre sus placas un dieléctrico de constante K.

- I) La carga de sus placas aumenta.
- II) El voltaje entre sus placas disminuye.
- III) La capacidad del condensador disminuye.

Es (son) verdadera(s):

- A) Sólo I
- B) Sólo II
- C) Sólo III
- D) Sólo I y III
- E) Todas

18. Se tiene un condensador plano, cargado y desconectado de la batería. Suponga que su carga es Q_0 , su Voltaje V_0 y su capacidad C_0 . Al separar las placas hasta que la distancia entre ellas sea el doble de la original, su nueva carga será

- A) $2 Q_0$
- B) Q_0
- C) $1/2 Q_0$
- D) $1/4 Q_0$
- E) $1/8 Q_0$

19. Se tiene un condensador plano conectado a los bornes de una batería. Suponga que su voltaje es V_0 , su carga es Q_0 y su capacidad es C_0 . Si se mantiene el condensador conectado a la batería con las placas al doble de la distancia original, el voltaje del nuevo condensador será:

- A) $4 V_0$
- B) $2 V_0$
- C) V_0
- D) $1/2 V_0$
- E) $1/4 V_0$

20. En un circuito RC, cuando el condensador se comienza a cargar

- I) la corriente en la resistencia es cero.
- II) el voltaje en el condensador es cero.
- III) el tiempo de carga depende del valor de la resistencia y el condensador.

De las proposiciones anteriores, es (son) verdadera (s)

- A) Sólo I
- B) Sólo II
- C) Sólo I y III
- D) Sólo II y III
- E) I, II y III

Solución ejemplo 1

La intensidad de corriente eléctrica es la cantidad de carga por unidad de tiempo, que pasa por un conductor.

$$I = \frac{120}{60} = 2A$$

La alternativa correcta es C

Solución ejemplo 2

La resistencia es directamente proporcional al largo del conductor, por lo tanto, la resistencia se duplica.

La alternativa correcta es B

Solución ejemplo 3

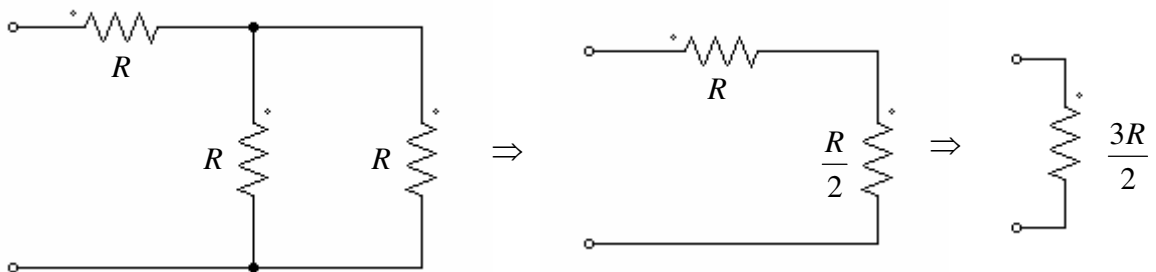
Recordando la ley de Ohm ($V = R \cdot i$), la resistencia equivale a la pendiente de la recta.

$$R = \frac{V}{i} = \frac{20}{0,2} = 100\Omega$$

La alternativa correcta es E

Solución ejemplo 4

El circuito a analizar es el siguiente



La alternativa correcta es D

Solución ejemplo 5

Al duplicar la tensión, también se duplica la corriente, por lo tanto, la potencia eléctrica se cuadruplica.

La alternativa correcta es B

Solución ejemplo 6

Las resistencias están conectadas en serie, por lo tanto la intensidad detectada por el amperímetro es:

$$I = \frac{4,5}{9000} = 0,5mA$$

Luego la medida del voltímetro es:

$$V = 3000 \cdot 0,5 \times 10^{-3} = 1,5Volt$$

La alternativa correcta es C

Solución ejemplo 7

Basta tener en cuenta la expresión $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$, para deducir que la capacidad de un condensador cargado, disminuye cuando separamos sus placas.

La alternativa correcta es C

Solución ejemplo 8

Al separar sus placas al doble, su capacidad disminuye a la mitad. Como la energía almacenada en un condensador es $E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2$, implica que esta disminuye a la mitad.

La alternativa correcta es C

DSIFM26

Puedes complementar los contenidos de esta guía visitando nuestra web.
<http://pedrovaldivia.cl/>