

Un campo magnético de 1 tesla (T) ($1\text{N/A}\cdot\text{m}$) es un campo magnético muy fuerte, generado solo por electroimanes muy poderosos. Los campos magnéticos que encontramos en los laboratorios son mucho más pequeños que un tesla.

La Tierra se puede considerar como un enorme imán rodeado por un campo magnético, de ahí que un imán suspendido o una brújula, se orienten conforme a lo que establece la interacción entre los polos magnéticos. Como se puede observar en la figura 42, el polo magnético norte de la Tierra se encuentra en el hemisferio sur, ya que las líneas de campo emergen de él; y el polo magnético sur está localizado en el hemisferio norte, por ello las líneas de campo convergen a él. El campo magnético de la Tierra tiene una intensidad de aproximada de $5 \times 10^{-5}\text{ T}$.



Fig. No. 42.

Figura 41.-Representación de las líneas del campo magnético de la Tierra.

Ejemplo 19.

Una corriente de 5.0 A fluye por un alambre de 1.0 m de largo. El alambre está colocado perpendicularmente a un campo magnético uniforme. La fuerza sobre el alambre es de 0.2 N. ¿Cuál es la magnitud de la intensidad del campo magnético?

Datos:
 $F = 0.2\text{ N}$
 $I = 5.0\text{ A}$
 $L = 1.0\text{ m}$

Solución:
 $B = \frac{F}{IL} = \frac{0.2\text{ N}}{(5\text{ A})(1\text{ m})}$

$$B = 0.04 \frac{\text{N}}{\text{Am}} = 0.04\text{ T}$$

Ejemplo 20.

Un alambre de 10 centímetros de largo se coloca perpendicularmente a un campo magnético uniforme. El campo tiene una inducción de 0.060 teslas. La corriente en el alambre es de 4.0 amperes. Determina la magnitud de la fuerza.

Datos:
 $L = 1.0 \times 10^{-1}\text{ m}$
 $B = 6.0 \times 10^{-2}\text{ T}$
 $I = 4.0\text{ A}$

$$F = BIL$$

$$F = (6.0 \times 10^{-2}\text{ T})(4.0\text{ A})(1.0 \times 10^{-1}\text{ m})$$

$$F = 2.4 \times 10^{-2}\text{ N}$$

5. EL GALVANÓMETRO

El galvanómetro es un dispositivo que se utiliza para medir corrientes eléctricas pequeñas y es la base de los voltímetros y amperímetros.

Un galvanómetro consiste de una bobina pequeña colocada en un campo magnético intenso, producido por un imán permanente. La corriente que pasa por la bobina tiene direcciones opuestas a cada lado de la bobina (véase la figura 43). De acuerdo con la tercera regla de la mano izquierda, la fuerza a cada lado de la bobina tiene direcciones opuestas. Esta es la razón por la cual la bobina tiende a rotar.

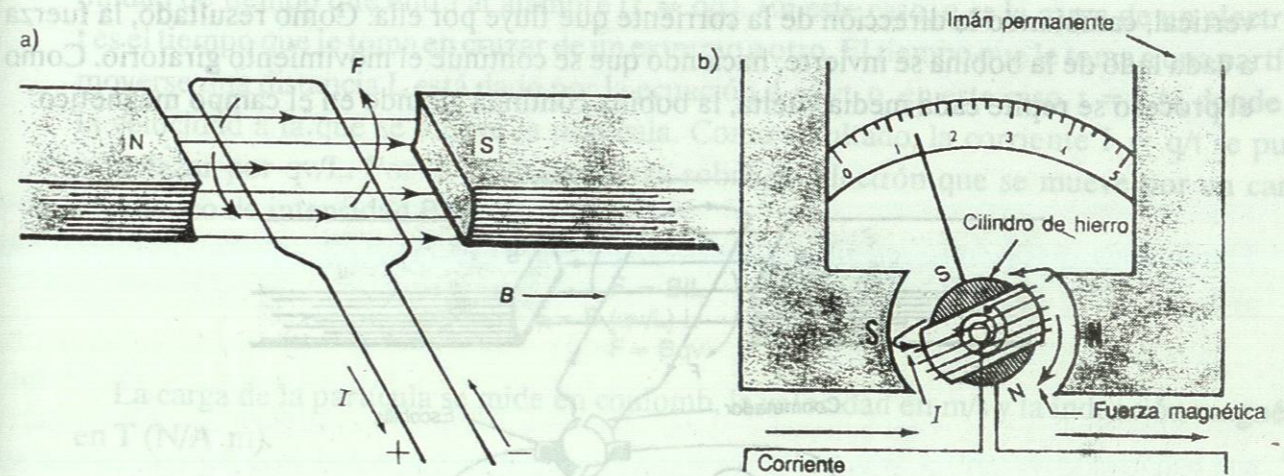


Fig. No. 43.

Si una vuelta de alambre se coloca en un campo magnético, tenderá a girar cuando fluye corriente por él.

La magnitud de la fuerza sobre la bobina depende de la corriente que pasa por ella. La figura 43 b muestra cómo se puede utilizar para medir la corriente.

La fuerza sobre la bobina es proporcional a la magnitud de la corriente. La bobina gira en contra de la acción restauradora de un pequeño resorte. La escala se calibra determinando cuánto gira la bobina cuando unas corrientes conocidas pasan por ella. La escala calibrada sirve para medir corrientes desconocidas.

6. EL MOTOR ELÉCTRICO

La bobina de un galvanómetro no puede girar más de 180° . En la figura 43, la fuerza que actúa sobre el lado derecho de la bobina la empuja hacia arriba. A la misma vez, la fuerza que actúa sobre el lado izquierdo empuja la bobina hacia abajo. La bobina gira hasta que alcanza una posición vertical; no girará más, ya que la fuerza que actúa sobre el lado derecho todavía empuja hacia arriba. La bobina no se puede mover hacia abajo, a través del campo. De igual

forma, la fuerza que actúa sobre el lado izquierdo sigue siendo hacia abajo, impidiendo que se mueva.

Para que una bobina pueda girar 360° en un campo magnético, la corriente que pasa por ella debe cambiar de dirección tan pronto llegue a su posición vertical. El cambio en la dirección de la corriente, mantiene girando a la bobina, ver figura 44. Para invertir la dirección de la corriente, se requiere un conmutador en forma de anillo partido en mitades. La corriente se pasa a la bobina a través de unos contactos de grafito, llamados escobillas que se deslizan sobre el conmutador. La forma del conmutador es tal que, al rotar, se hace contacto alternadamente con las dos escobillas. El contacto se cambia cada vez que la bobina llega a su posición vertical, cambiando la dirección de la corriente que fluye por ella. Como resultado, la fuerza a cada lado de la bobina se invierte, haciendo que se continúe el movimiento giratorio. Como el proceso se repite cada media vuelta, la bobina continúa girando en el campo magnético.

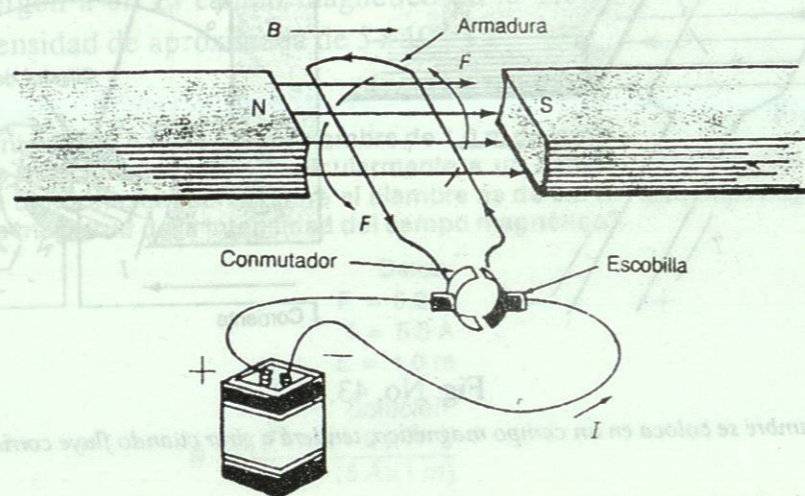


Fig. No. 44.

En un motor eléctrico, el conmutador en forma de anillo partido en dos permite que el alambre gire 360° .

En la práctica, los motores eléctricos tienen varias bobinas giratorias. Ellas forman lo que se conoce como la armadura del motor. La fuerza total que actúa en la armadura es proporcional a $nBIL$, donde n es el número total de vueltas del alambre en la armadura y L es el largo del alambre, en una vuelta de la bobina que se cruza perpendicularmente al campo magnético. El campo magnético se puede producir por un imán permanente o por un electroimán llamado bobina de campo. La fuerza sobre la armadura y, por lo tanto, la rapidez con que gira el motor, se controla variando la corriente que pasa por él.

7. LA FUERZA SOBRE UNA PARTÍCULA CARGADA

La fuerza que ejerce un campo magnético sobre un alambre por el cual fluye corriente es el resultado de las fuerzas individuales ejercidas sobre los electrones que componen la corriente. Los electrones no tienen que estar confinados por un alambre, sino que pueden moverse en el espacio siempre y cuando se haya removido el aire, evitando las colisiones entre los electrones y las moléculas que están en el aire.

La fuerza producida por el campo magnético sobre un electrón se puede calcular comenzando con la fuerza sobre un alambre por el cual fluye una corriente ($F = BIL$). Considere un solo electrón que se mueve por un alambre de largo L . La corriente es igual a la carga por unidad de tiempo que entra al alambre ($I = q/t$). En este caso, q es la carga de un electrón y t es el tiempo que le toma en cruzar de un extremo a otro. El tiempo que le toma a una partícula moverse una distancia L está dado por la ecuación $d = vt$, o, en este caso, $t = L/v$, donde v es la velocidad a la que se mueve la partícula. Como resultado, la corriente $I = q/t$ se puede reemplazar por qv/L . Por lo tanto, la fuerza sobre un electrón que se mueve por un campo magnético de intensidad B es:

$$\begin{aligned} F &= BIL \\ F &= B(qv/L)L \\ F &= Bqv \end{aligned}$$

La carga de la partícula se mide en coulomb, la velocidad en m/s y la inducción magnética en T (N/A·m).

La dirección de la fuerza está dada por la tercera regla de la mano izquierda, con el pulgar apuntando en la dirección en que se mueve la partícula. La trayectoria de una partícula en un campo magnético es circular, ya que la fuerza siempre es perpendicular a su velocidad. El movimiento circular permite que las partículas cargadas puedan atraparse y mantenerse dentro de un campo magnético.

El tubo de un televisor, o tubo de rayos catódicos, utiliza un haz de electrones que se desvía por medio de campos magnéticos, para formar las

imágenes. Dentro del tubo, los electrones se liberan de los átomos en el electrodo negativo o cátodo, por la acción de un campo eléctrico. Otros campos eléctricos aceleran los electrones, los enfocan y forman un haz estrecho. Los campos magnéticos se utilizan para desviar el haz de electrones de izquierda a derecha y de arriba abajo, en la pantalla del tubo. La pantalla está recubierta con fósforo, que tiene la propiedad de brillar cada vez que los electrones lo impactan. Así se forma la imagen.

Ejemplo 21.

Un haz de electrones viaja a 3.0×10^6 m/s, a través de un campo magnético uniforme. La inducción del campo magnético es de 4.0×10^{-2} T.

El haz se dirige perpendicularmente hacia el campo magnético. ¿Cuál es la magnitud de la fuerza sobre cada electrón en el haz?

Datos:

$$v = 3.0 \times 10^6 \text{ m/s}$$

$$B = 4.0 \times 10^{-2} \text{ T}$$

$$q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Solución:

$$F = Bqv$$

$$F = (4.0 \times 10^{-2} \text{ T})(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(3.0 \times 10^6 \text{ m/s})$$

$$F = 1.9 \times 10^{-14} \text{ N}$$

8. LA INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Oersted descubrió que una corriente eléctrica produce un campo magnético. Michael Faraday estaba convencido de que un campo magnético produce una corriente eléctrica. Durante diez años, trató infructuosamente de producir una corriente eléctrica por medio de un campo magnético constante.

Sin embargo, en 1831 encontró que un campo magnético variable podía generar una corriente eléctrica. Un maestro norteamericano, Joseph Henry, hizo el mismo descubrimiento casi a la misma vez. Las aplicaciones de este descubrimiento incluyen los generadores eléctricos y los transformadores, que permiten el uso generalizado de la electricidad en nuestra sociedad.

8.1 EL DESCUBRIMIENTO DE FARADAY

Faraday hizo experimentos en los cuales movía un alambre por un campo magnético. Encontró que cuando un alambre se mueve a través de un campo magnético, se induce una corriente en el alambre. La figura 44 ilustra uno de los experimentos de Faraday. Un alambre que forma parte de un circuito cerrado se coloca en un campo magnético. Cuando el alambre se mueve a través del campo, el medidor indica que hay una corriente en el alambre. Si el alambre se mueve hacia arriba, la corriente tiene una dirección. Si se mueve hacia abajo, la corriente tiene la dirección opuesta. Si el alambre se deja quieto o si se mueve paralelo al campo, no se induce la corriente en el alambre. La corriente eléctrica se induce en el alambre sólo si éste se mueve cortando las líneas de campo.

Para que se produzca una corriente, un conductor se debe mover a través de un campo magnético o debe moverse el campo alrededor del conductor. En ambos casos, el movimiento relativo entre el alambre y el campo magnético es responsable de que se genere la corriente. Este proceso de generación de corriente se llama **inducción electromagnética**.

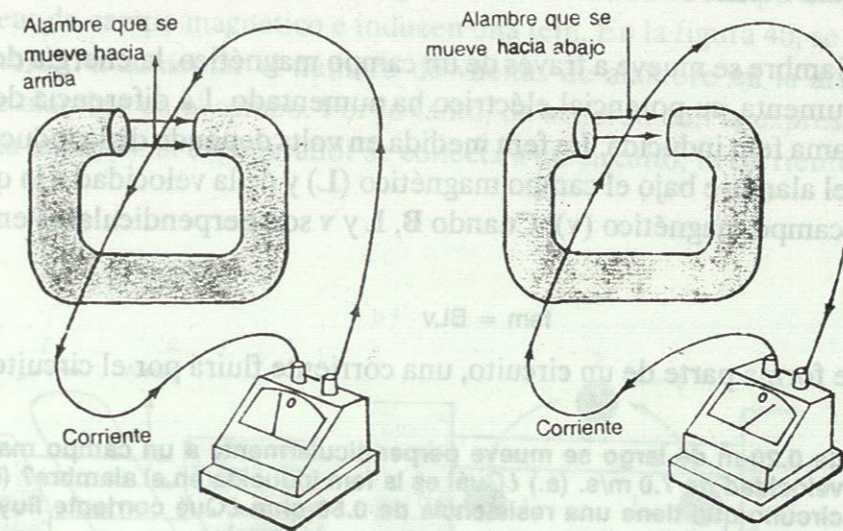


Fig. No. 45.

Cuando un alambre se mueve por un campo magnético, una corriente eléctrica fluye por el alambre, pero sólo cuando el alambre se mantiene en movimiento. La dirección de la corriente de electrones depende de la dirección en que el alambre se mueve por el campo.

Si un alambre se mueve por un campo magnético, a un ángulo distinto de 90° con respecto al campo, sólo la componente de la velocidad perpendicular al campo generará corriente.

La fuerza que actúa sobre los electrones libres en el alambre, mientras el alambre se mueve por un campo magnético, es perpendicular a la dirección en que se mueve el alambre y la dirección del campo. Para determinar la dirección de la corriente de electrones en un conductor, se utiliza la regla de la mano izquierda descrita anteriormente. Coloca la mano de forma que el dedo pulgar apunte en la dirección en que se mueve el alambre y los demás dedos en la dirección del campo magnético. La palma de la mano apuntará en la dirección de la fuerza que actúa sobre los electrones, ver figura 46.

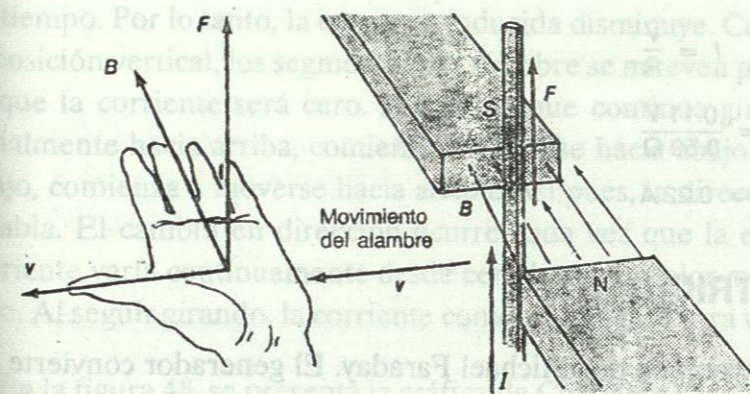


Fig. No. 46.

- La regla de la mano izquierda se puede utilizar para determinar la dirección de la corriente inducida en un conductor.

8.2 LA FUERZA ELECTROMOTRIZ INDUCIDA

Cuando un alambre se mueve a través de un campo magnético, la energía de los electrones en el alambre aumenta, su potencial eléctrico ha aumentado. La diferencia de potencial que se produce se llama fem inducida. La fem medida en volts depende de la inducción magnética (B), del largo del alambre bajo el campo magnético (L) y de la velocidad a la que se mueve el alambre por el campo magnético (v). Cuando B , L y v son perpendiculares entre sí, tenemos que

$$fem = BLv$$

Si el alambre forma parte de un circuito, una corriente fluirá por el circuito.

Ejemplo 22.

Un alambre de 0.20 m de largo se mueve perpendicularmente a un campo magnético de $8.0 \times 10^{-2} \text{ T}$, a una velocidad de 7.0 m/s. (a.) ¿Cuál es la fem inducida en el alambre? (b.) El alambre es parte de un circuito que tiene una resistencia de 0.50 ohm ¿Qué corriente fluye en el circuito? (Recuerda que $1 \text{ T} = 1 \text{ N/A} \cdot \text{m}$.)

Datos:

$$L = 0.20 \text{ m}$$

$$B = 8.0 \times 10^{-2} \text{ T}$$

$$v = 7.0 \text{ m/s}$$

$$R = 0.50 \Omega$$

a) La fem viene dada por

$$fem = BLv$$

$$fem = (8.0 \times 10^{-2} \text{ T})(0.20 \text{ m})(7.0 \text{ m/s})$$

$$fem = (8.0 \times 10^{-2} \text{ N/A} \cdot \text{m})(0.20 \text{ m})(7.0 \text{ m/s})$$

$$fem = 0.11 \frac{(\text{N})(\text{m})(\text{m})}{\frac{\text{C} \cdot \text{m}}{\text{s}}(\text{s})}$$

$$fem = 0.11 \frac{\text{Nm}}{\text{C}} = 0.11 \frac{\text{J}}{\text{C}}$$

$$fem = 0.11 \text{ V}$$

b)

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

$$I = \frac{0.11 \text{ V}}{0.50 \Omega}$$

$$I = 0.22 \text{ A}$$

9. EL GENERADOR DE ELECTRICIDAD

El generador de electricidad fue inventado por Michael Faraday. El generador convierte la energía mecánica en energía eléctrica. En esencia, un generador de electricidad consiste de una serie de bobinas colocadas en un campo magnético fuerte. Todas las bobinas forman una armadura, similar a la de un motor eléctrico.

Las bobinas se colocan de forma que puedan girar libremente en el campo magnético. Al girar, cruzan las líneas de campo magnético e inducen una fem. En la figura 46, se ilustra una sola vuelta de alambre. Al aumentar el número de vueltas de alambre en la armadura, se aumenta el largo de alambre en el campo. Por lo tanto, de acuerdo con la expresión $fem = BLv$, la fem aumenta también. Si el generador se conecta a un circuito, la corriente fluirá por él.

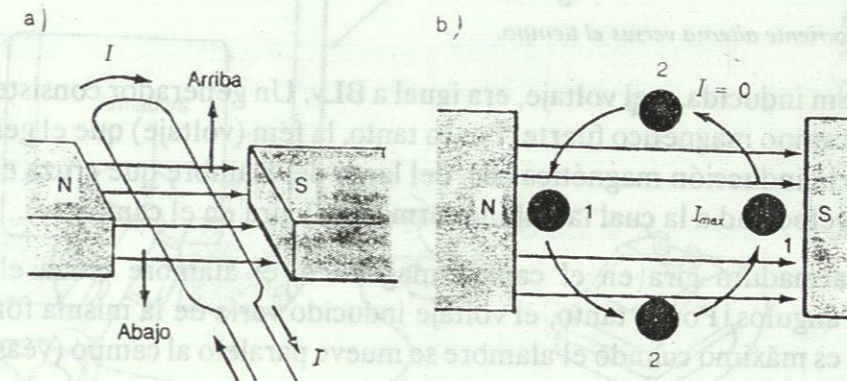


Fig. No. 47.

La corriente eléctrica se genera en el alambre mientras éste gira (a). La sección transversal (b) muestra la posición del alambre cuando la corriente inducida es máxima (1) y cuando es cero (2).

En la figura 47, observa que, de acuerdo con la regla de la mano izquierda, la corriente inducida en los dos lados de la vuelta del alambre, tiene direcciones opuestas. De esta forma, hay una corriente inducida en toda la vuelta del alambre. Cuando el alambre está en la posición horizontal, los dos segmentos cruzan el campo perpendicular al alambre. En esta posición la corriente inducida será la máxima. A medida que la vuelta del alambre se mueve desde la posición horizontal hasta la vertical, cruza menos líneas de campo magnético en una unidad de tiempo. Por lo tanto, la corriente inducida disminuye. Cuando la vuelta de alambre está en la posición vertical, los segmentos del alambre se mueven paralelos a las líneas de campo, por lo que la corriente será cero. A medida que continúa girando, el segmento que se movía inicialmente hacia arriba, comienza a moverse hacia abajo. El segmento que se movía hacia abajo, comienza a moverse hacia arriba. Así pues, la dirección de la corriente en el alambre cambia. El cambio en dirección ocurre cada vez que la espira de alambre gira a 180° . La corriente varía continuamente desde cero hasta un valor máximo, para luego disminuir hasta cero. Al seguir girando, la corriente comenzará a fluir otra vez, pero en la dirección contraria.

En la figura 48, se presenta la gráfica de Corriente versus Tiempo, que tiene la forma de la función seno.

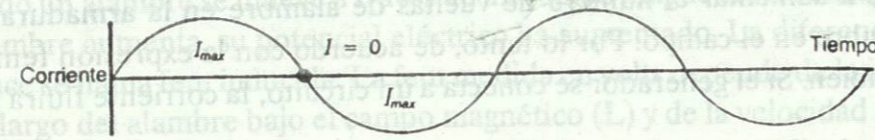


Fig. No. 48.

Figura 47.- Gráfica de la corriente alterna versus el tiempo.

Como ya se vió, la fem inducida, o el voltaje, era igual a BLv . Un generador consiste de una bobina que gira en un campo magnético fuerte. Por lo tanto, la fem (voltaje) que el generador desarrolla depende de la inducción magnética (B), del largo del alambre que cruza el campo magnético (L) y de la velocidad a la cual la bobina (armadura) gira en el campo (v).

A medida que la armadura gira en el campo magnético, el alambre cruza el campo magnético, a distintos ángulos. Por lo tanto, el voltaje inducido varía de la misma forma que la corriente. El voltaje es máximo cuando el alambre se mueve paralelo al campo (véase figura 49).

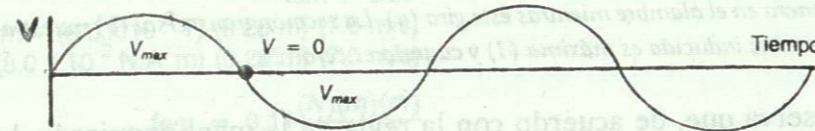


Fig. No. 49.

Gráfica de la variación del voltaje inducido versus el tiempo.

9.1 EL GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA

Para que un generador opere, hace falta una fuente externa que haga que la armadura gire una cantidad de veces en un segundo en el campo magnético. Normalmente, la frecuencia a la que se hace girar la armadura es de 60 Hz. La corriente cambia de dirección, o alterna, 120 veces en un segundo.

En la figura 50, una corriente alterna se transmite desde la armadura hasta un circuito. Las escobillas que se deslizan sobre los contactos en forma de anillo permiten que la armadura gire libremente y que la corriente pase al circuito. A medida que la armadura gira, la corriente alterna varía entre un valor máximo y cero. Como la variación en la corriente ocurre rápidamente, la intensidad de la luz que genera la bombilla aparenta ser constante.

La potencia que produce un generador es el producto de la corriente y el voltaje. La potencia es siempre positiva, ya que I y V son ambos positivos o negativos, simultáneamente. Sin embargo, como I y V pueden ser cero, la potencia producida por una corriente alterna es menor que la producida por una corriente directa con la misma I_{\max} y V_{\max} . De hecho, $P_{CA} = (1/2) P_{CD}$.

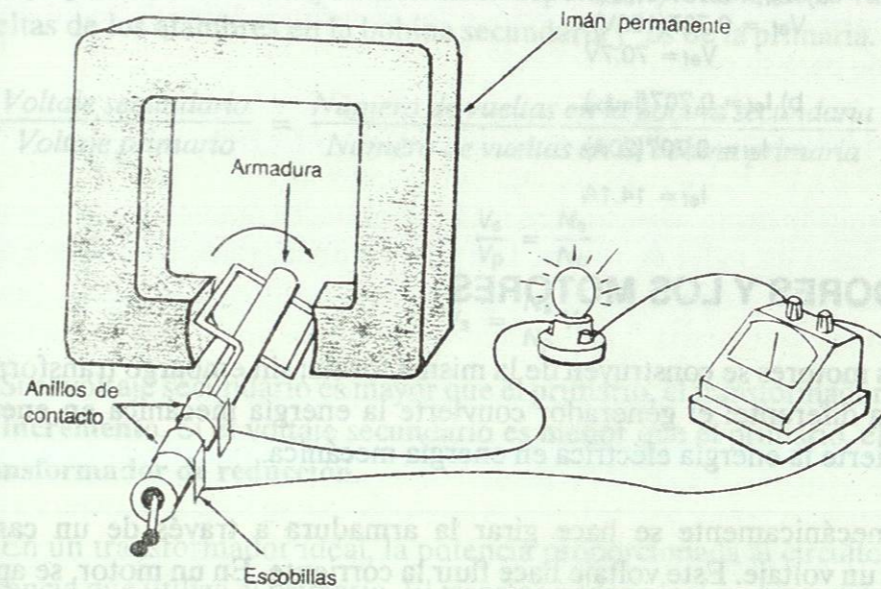


Fig. No. 50.

Un generador de corriente alterna transmite la corriente a un circuito externo por medio de unas escobillas y unos contactos forma de anillo.

Como las corrientes y los voltajes alternos cambian al pasar el tiempo, comúnmente se describen sus variables asociadas en términos de la corriente y el voltaje efectivo. Recuerde que $P = I^2 R$. Por lo tanto, la potencia se puede expresar en términos de la corriente efectiva: $P_{CA} = I_{ef}^2 R$.

$$P_{CA} = \frac{1}{2} P_{CD}$$

$$I_{ef}^2 R = \frac{1}{2} (I_{\max}^2 R)$$

De igual forma,

$$I_{ef} = \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)} (I_{\max})$$

$$I_{ef} = 0.707 I_{\max}$$

El voltaje de 110 V que tenemos disponible en las casas, es el valor del voltaje efectivo y no del voltaje máximo.

Ejemplo 23.

Un generador de corriente alterna desarrolla un voltaje máximo de 1.00×10^2 V y suministra a un