un trabajo útil, más trabajo debe efectuar la fuente de energía externa para hacer girar la bobina. De esta manera, la fuente de energía que alimenta al generador suministra la energía que usa la corriente del generador para realizar trabajo útil. Un motor diesel o una cascada son ejemplos de fuentes externas de energía. En cursos más avanzados se ven más detalladamente todas las características y el funcionamiento de los generadores.

D.8.- MOTORES ELÉCTRICOS

Un motor eléctrico es un dispositivo que convierte energía eléctrica en energía mecánica. en la figura D.13 se presenta el diagrama esquemático de un motor sencillo. Una fuente de fem(una batería en este caso) envía una corriente por la espira de alambra, una parte de la cual está en el campo magnético creado por un imán permanente. Este campo magnético externo hace que la espira experimente un momento de torsión que hace girar la espira sobre su eje. De esta manera, la energía suministrada por la batería a la espira hace que ésta gire y lleve a cabo un trabajo externo por medio de una polea en su eje. Cuanto más trabajo realice el motor, más difícil es girarlo y por ende la batería debe suministrar mayor energía. En cursos más avanzados se ven más detalladamente todas las características y el funcionamiento de los motores.

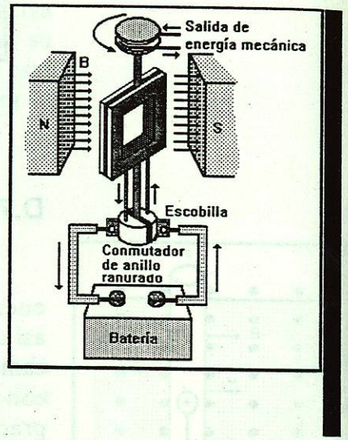

Fig D.13.- Motor sencillo de cc. Con el anillo colector en la posición ilustrada, ¿en qué dirección debe girar el motor ?

D.9.- TRANSFORMADORES

Una de las aplicaciones más importantes de la inducción magnética se presenta en el transformador, un dispositivo que cambia(transforma) un voltaje en *ca* a otro voltaje en *ca*. Por ejemplo, en un televisor típico, un transformador cambia el voltaje en *ca* de entrada, de 120 V, a los 15000 V necesarios para operar el cinescopio. Otro ejemplo es un timbre común, que requiere un voltaje de unos 9 V ; se usa un transformador para obtener este voltaje de los 120 V del voltaje doméstico. Los transformadores no pueden usarse para cambiar voltajes en *cc* porque su operación depende del cambio constante de un flujo.

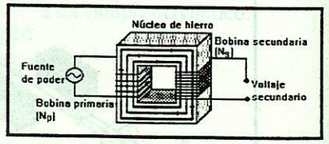

Fig D.14.- Transformador de subida con núcleo de hierro.

En la figura D.14 se presenta un transformador típico. El transformador consiste en un núcleo de hierro sobre el cual se enrollan dos bobinas, la primaria (con Np espiras) y al secundaria(con Ns espiras). La bobina primaria se conecta a la fuente de potencia de *ca* y la corriente alterna en esta bobina establece un campo magnético cambiante en el núcleo de hierro. Como las líneas de flujo tienden a seguir el hierro, forman un círculo por la

bobina secundaria en la forma indicada. De esta manera, el flujo F en las bobinas primaria y secundaria es el mismo.

El flujo cambiante en la bobina secundaria origina una fem inducida en la misma bobina :

$$\textbf{fem de la bobina secundaria} = -N_s \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

la resistencia de las bobinas es insignificante en la mayoría de los transformadores, de manera que el principal factor limitante de la corriente es la fuerza contraelectromotriz que la bobina primaria induce en sí misma. En otras palabras, la fem inducida de la bobina primaria es igual al voltaje de la fuente de potencia. Por tanto, se puede escribir

$$\text{fem de la bobina primaria} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

donde Φ es el mismo flujo que pasa por la bobina secundaria.

$$\frac{\textit{fem de la bobina secundaria}}{\textit{fem de la bobina primaria}} = \frac{N_s}{N_p}$$

Obteniendo el cociente entre estas dos fems inducidas, se tiene

Ésta es la *ecuación del transformador*, que indica la relación entre la fem de la bobina secundaria y la fem de la bobina primaria. La relación entre las dos es la misma que existe entre el número de espiras en las bobinas. Un transformador que aumenta la fem de entrada(Ns Np) se denomina *transformador elevador* y uno que la reduce(Np Ns) se llama *transformador reductor*. Debemos tener cuidado en notar que los transformadores usan voltajes en *ca*, no *cc*.

Si el circuito secundario no está cerrado, la corriente en él debe ser cero. por consiguiente, no hay pérdida de potencia en la bobina secundaria cuando no se usa. Este hecho permite que la compañía de energía eléctrica mantenga transformadores en las líneas que cruzan la ciudad aunque nadie use la electricidad que proveen. Los transformadores en sí consumen muy poca energía.

Sin embargo, si se extrae corriente de la bobina secundaria, por ejemplo, para operar un calentador eléctrico, el calentador consume energía. Esta energía debe alimentarse a la bobina primaria del transformador para que pueda suministrarse a la bobina secundaria. En estas condiciones, la pérdida de potencia en la bobina secundaria hace que la primaria actúe como si tuviera una resistencia.

Una de las aplicaciones más importantes de los transformadores tiene que ver con la transmisión de potencia. Varias compañías de energía eléctrica suministran la potencia eléctricas a ciudades que están a 100 km o más de los generadores, algo que representa un problema. Supongamos que cada habitante de una ciudad de 100000 habitantes usa 150 W de potencia, el equivalente a uno o dos focos encendidos por persona. La potencia que se consume es (150)(100000)W y a un voltaje de 120 V(el voltaje doméstico usual) se tiene

$$P_{tot} = VI$$
$$(159\ W)(100{,}000) = (120\ V)(I)$$
$$I = 125{,}000\ A$$

Un alambre ordinario de uso doméstico sólo puede transportar de manera segura unos 20 A sin sobrecalentarse, de manera que la compañía de energía eléctrica necesitaría unos 6500 de estos alambres para transmitir la energía a la ciudad con este nivel de corriente. Aunque no es imposible, el simple costo del cobre sería tremendo. Las compañías de energía eléctrica superan este problema al notar que la cantidad importante para determinar la potencia es *VI*, no sólo *I*. En el ejemplo anterior, si V es 100000 V, se tendría

$$(150\ W)(1000{,}000) = (100{,}000\ V)(I)$$
$$I = 150\ A$$

Como se puede ver, la corriente requerida es mucho menor en este caso. La transmisión de alto voltaje, baja corriente, también tiene otra consecuencia importante : las pérdidas por calentamiento en los alambres de transmisión se reducen notablemente. Recordemos que estas pérdidas de potencia dependen del *cuadrado* de la corriente(I2R), por lo que la reducción de la corriente en un factor de 1000 reduce la pérdida en la transmisión en un factor aproximado de ¡un millón ! Es por esto que las compañías de energía eléctrica usan líneas de alto voltaje, (también conocidas como líneas de alta tensión) para transmitir potencia a grandes distancias. en algunos casos, el voltaje de transmisión es superior a 500000 V.

Es obvio que las compañías no se atreverían a alambrar estos voltajes tan elevados directamente a una casa, ya que el peligro de electrocución o incendio sería enorme. En lugar de ello, usan transformadores reductores en las subestaciones de distribución y otros más en los postes para convertir los altos voltajes a unos 120 V.

Algunas casas también tienen líneas de 240 V porque algunos aparatos eléctricos de gran tamaño(acondicionadores de aire, secadoras, estufas)operan con 240 V en lugar de 120 V. Esto se debe en esencia a la misma razón por la cual la compañía de energía eléctrica usa altos voltajes. ¿Porqué estos aparatos de elevado consumo de potencia operan de manera más rentable con 240 V que con 120 V ?

LOS CAMPOS ELÉCTRICOS Y LOS MAGNÉTICOS EN EL ESPACIO

Las investigaciones de Faraday mostraron que un campo magnético variable induce una corriente eléctrica en un alambre. Antes, él había demostrado que la corriente eléctrica se debe a la fuerza que produce un campo eléctrico y que actúa sobre los electrones en el conductor. Estas observaciones hicieron que Faraday llegara a la conclusión de que, aún en la ausencia de un conductor, un campo magnético variable induce un campo eléctrico (fig. No. D.14). Las líneas del campo eléctrico inducido deben cerrarse sobre sí mismas, ya que, en ausencia de un conductor, no hay cargas de las cuales las líneas puedan partir o teminar.

Maxwell demostró que lo contrario debe ser cierto también. Un campo eléctrico variable produce un campo magnético en el espacio (Fig. No. D.14b). Por ejemplo, un electrón se pone en movimiento, el campo eléctrico varía. el campo eléctrico variable genera, entonces, un campo magnético en el espacio.

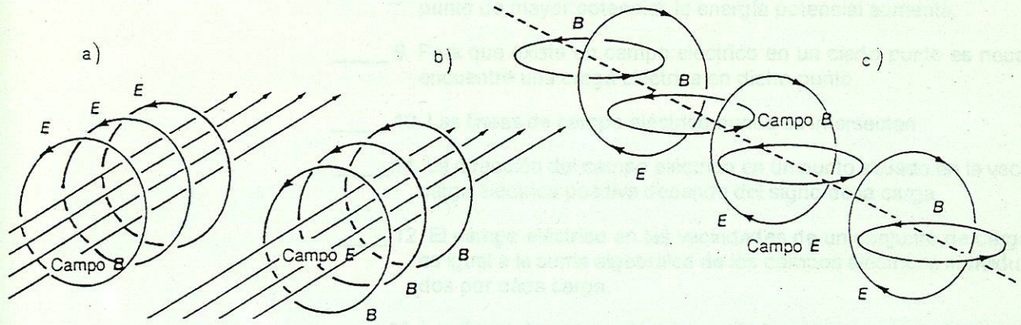

Fig D.14. Represntación de un campo eléctrico inducido, b) Un campo magnético y c) ambos campos.

Estos dos descubrimientos implican que un campo eléctrico variable genera un campo magnético variable, que a su vez genera un campo eléctrico variable, y así sucesivamente, como se ilustra en la figura No. D.14c. Los campos, al propagarse, se alejan de la fuente que los origina, que en el diagrama es un campo eléctrico. Los campos generados continúan propagándose por el espacio, aun cuando la fuente que los originó deje de existir.

Los campos eléctricos y los magnéticos se mueven por el espacio en forma de una onda transversal (Fig. No. D.15). Los campos son perpendiculares entre sí y también con respecto a la dirección de propagación. Maxwell demostró que la onda combinada, llamada **onda electromagnética**, se mueve a la rapidez de la luz en el vacío (3.00×10^8 m/s). Este resultado sugirió que

la luz no es un fenómeno especial, sino un tipo de onda electromagnética, generada por campos eléctricos y magnéticos.

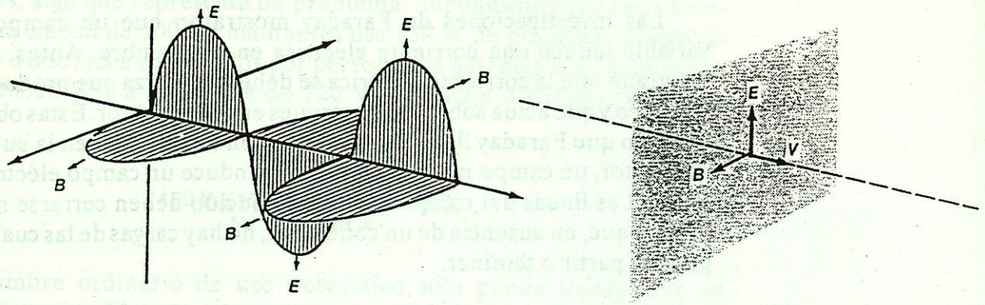

Fig. D.15. Una vista de unas porciones de los campos en un instante en el tiempo.

AUTOEVALUACIÓN

I.- Anota en el espacio del lado izquierdo una "F" si el enunciado es falso o un "V" si es verdadero.

_____ 1. La carga eléctrica del electrón es igual a la carga eléctrica del protón, pero de signo contrario.

_____ 2. Un cuerpo adquiere carga positiva si gana electrones.

_____ 3. Al frotarse dos cuerpos, el más grande gana electrones y el más pequeño pierde electrones.

_____ 4. En un material conductor, los electrones pueden moverse a través de él.

_____ 5. La fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales es inversamente proporcional a la distancia entre ellas.

_____ 6. Un cuerpo se carga electricamente al aumentar su temperatura.

_____ 7. En un átomo neutro, el número de protones que pone es igual al número de electrones.

_____ 8. Cuando una carga negativa es movida de un punto de menor potencial a un punto de mayor potencial, la energía potencial aumenta.

_____ 9. Para que exista un campo eléctrico en un cierto punto es necesario que se encuentre una carga eléctrica en dicho punto.

_____ 10. Las líneas de campo eléctrico nunca se intersectan.

_____ 11. La dirección del campo eléctrico en un punto situado en la vecindad de una carga eléctrica positiva depende del signo de la carga.

_____ 12. El campo eléctrico en las vecindades de un conjunto de cargas eléctricas, es igual a la suma algebraica de los campos eléctricos individuales producidos por cada carga.

_____ 13. Las líneas de campo eléctrico están igualmente separadas cuando el campo eléctrico es fuerte que cuando es débil.

_____ 14. Por la manera como se define campo eléctrico, la dirección de éste y la de la fuerza eléctrica sobre una carga prueba positiva, siempre son iguales.

_____ 15. La intensidad del campo eléctrico en el punto medio de la línea que une a dos cargas eléctricas indénticas, siempre es nula.

_____ 16. Si un punto A cuya distancia a una cierta carga es el doble de la distancia de un punto B a la misma carga, la magnitud del campo eléctrico en el punto A es igual a la cuarta parte de la magnitud del campo eléctrico en el punto B.

_____ 17. El eV representa una unidad de energía.

_____ 18. El Joule/Coulomb es una unidad de voltaje.

_____ 19. La fuerza electromotriz es una fuerza ejercida sobre una carga eléctrica para mantenerla en movimiento.