



## Materia Electrotecnia de 5º año

### Trabajo Práctico N° 5

1. ¿Qué científico descubrió la inducción magnética y con qué experimento?
2. ¿Qué es la fuerza electromotriz?
3. ¿Qué define la ley de Faraday?
4. Según la Ley de Faraday ¿Funciona un transformador con corriente continua? Fundamentar la respuesta
5. ¿Qué es un electroimán?



## ELECTRICIDAD

### Capítulo 8

#### Inducción electromagnética



● Horno experimental de inducción. Por el caño de cobre circula una corriente alterna de 100 ampere, y de más de 200 kilociclos por segundo. El tornillo y la tuerca de hierro se magnetizan repetidamente hacia un lado y el opuesto, a la misma frecuencia, proceso en el que el hierro se calienta. Se alcanzan 770 grados centígrados; la temperatura de Curie de ese metal, y a la que pierde sus propiedades ferromagnéticas.

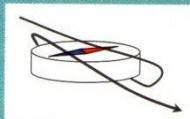


● A todo eso, el caño de cobre permanece apenas tibio. Con la misma técnica se hacen hornallas de inducción para cocinas. Son frías al tacto, pero generan calor en las ollas y sartenes de hierro. El aceite que cae sobre la hornalla, no se enciende.





- La aguja de la brújula, perpendicular al alambre, permanece inmóvil cuando se hace circular corriente. Pero si se alinean previamente, cuando circula corriente por el alambre, la aguja se cruza.



- Si el mismo alambre por el que circula corriente, se hace pasar dos o más veces junto a la brújula, la intensidad del efecto de orientación se multiplica. Así se inventó la bobina.

# Inducción electromagnética

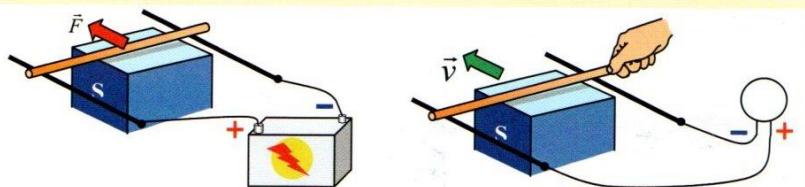
Hemos visto que la proximidad de un imán magnetiza otros cuerpos; a ese efecto se lo llama *inducción magnética*. En la *inducción electromagnética*, en cambio, son las corrientes eléctricas las que generan campos, e inducen magnetismo.<sup>1</sup>



La electricidad y el magnetismo se creían independientes y el científico danés Hans Christian Oersted (1777–1851) hacía en sus clases experimentos para demostrarlo. Cruzaba sobre una brújula un alambre, al que le hacía circular corriente, y la aguja permanecía inmóvil. Pero un día un alumno repitió la prueba con la aguja de la brújula ya previamente alineada con el alambre. ¡Y la aguja se puso perpendicular! La sorpresa de Oersted, cuando vio que las corrientes eléctricas generan magnetismo, quedó registrada en la historia.<sup>2</sup>

Y el magnetismo ¿genera electricidad? La respuesta es afirmativa; pero no por la presencia de un campo magnético, sino por la *variación* de ese campo. Si ponemos un imán junto a un conductor, no aparece tensión eléctrica entre sus extremos, pero sí lo hace si movemos el imán, o el conductor; uno cualquiera de ellos con respecto al otro.

Los dos efectos recíprocos mencionados se resumen en dos leyes que vinculan la electricidad con el magnetismo; son el principio generador, y el principio motor.



<sup>1</sup> El descubrimiento de que las corrientes tienen efectos magnéticos, sugirió que las propiedades magnéticas de la materia se relacionan con el movimiento de cargas eléctricas en el material; hoy sabemos que son los electrones.

<sup>2</sup> El método científico, lejos de ser una herramienta segura y objetiva en la obtención de conocimientos, está sujeto (como muchas otras actividades sociales) a circunstancias, recursos e intereses; y, en este caso, también al azar y al prejuicio. El investigador creía, erradamente, que el supuesto efecto de la corriente sería *alinear* la brújula con el conductor, en vez de atravesarla, como ocurre realmente. La ignorancia metodológica de los estudiantes de su clase, facilitaron quizás aquel descubrimiento fortuito (esa clase de azar afortunado es más frecuente entre quienes más trabajan, estudian y piensan).



● En la página anterior, a la izquierda se ilustra el principio motor. Si se hace circular corriente por un alambre sometido a un campo magnético, aparece una fuerza sobre el conductor. A la derecha, el principio generador. Si se mueve un alambre en un campo magnético, de modo que corte líneas de campo, se genera electricidad en el conductor. En ese caso, se dice que se induce una fuerza electromotriz. El sentido de la fuerza dinámica, y la polaridad de la fuerza electromotriz, son los indicados en las figuras.

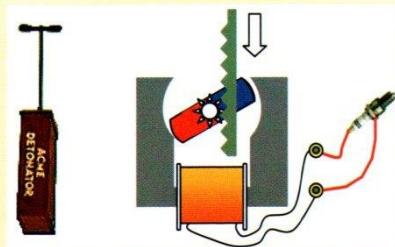
### ● Inducción, flujo, fuerza electromotriz; ley de Faraday

La magnitud de los efectos magnéticos asociados a imanes y corrientes se caracterizan, en un punto del espacio, con la magnitud física **inducción**, o **densidad de flujo**, designada con la letra *B* y expresada en unidades tesla. Por ejemplo, la inducción del campo magnético terrestre en Buenos Aires es de unos 30 microtesla. El producto de la inducción *B*, en tesla (T), por el área transversal, en metros cuadrados, es el **flujo magnético**, cuya unidad es el weber (Wb). Un tesla equivale a un weber por metro cuadrado; 1 T = 1 Wb/m<sup>2</sup>.

El corte de líneas de campo magnético por un conductor induce en éste una fuerza electromotriz, que se expresa en volt, y se corresponde con la tensión que aparece en los extremos del conductor, si es que forman un circuito abierto y no tienen nada conectado; también si sólo se conecta un voltímetro de muy elevada resistencia. El nombre de esa magnitud es poco afortunado, porque no se trata de una fuerza, en newton, ni en kilogramos; además las fuerzas no *producen* movimientos, sino que cambian la velocidad. Aceptada esa costumbre, el valor de la fuerza electromotriz inducida está dado por la *Ley de Faraday*:

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad E = vBL$$

*E* es la fuerza electromotriz, en volt;  $\Delta\Phi$  (delta fi) es el flujo magnético, en weber, segado por el conductor que se desplaza en el tiempo  $\Delta t$  (delta te). La letra griega delta mayúscula significa, como siempre, una diferencia o variación. A la derecha, una fórmula equivalente, en la que *v* es la velocidad, en m/s, del conductor que se desplaza, *L* su longitud en metros, y *B*, la inducción del campo magnético, en tesla.



● Detonador de inducción, muy seguro, usado en minería. Al bajar la cremallera, el piñón hace girar un imán cerca de una bobina arrollada alrededor de un núcleo de hierro. Se generan miles de volt, que encienden la chispa necesaria para que estalle el explosivo.

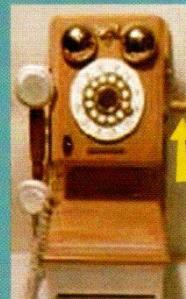
Inducción electromagnética

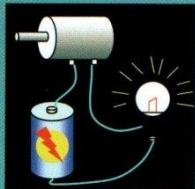


● El descubrimiento de que las corrientes eléctricas magnetizan, fue el inicio del telégrafo, y con él, el de la revolución de las comunicaciones.



● Para indicar una llamada telefónica, hoy usamos el gesto de la foto. Pero la gente de edad a veces hace un movimiento de manija, con el que los antiguos aparatos generaban, por inducción, electricidad para la campanilla remota.





- La fuerza contraelectromotriz se puede experimentar con los elementos de la figura: una pila, un fósforo de linterna y un motor eléctrico de juguete, de los conocidos como Scalextric. Cuando frenamos el eje del motor con los dedos, le impedimos alcanzar mayor velocidad, para generar más fuerza contraelectromotriz, y la lámpara se enciende más intensamente, porque circula más corriente.



- La mente humana se predispone al razonamiento analógico e inductivo. Parece natural que cuando circule una corriente por un alambre, lo haga, también, por otro, al lado. Pero si la intensidad es constante, no ocurre tal cosa; tiene que variar. En el grabado, el filósofo inductivista Francis Bacon (1561-1626).

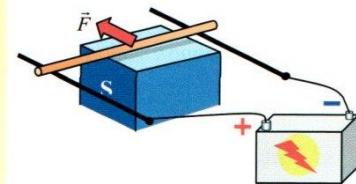
En el efecto motor, la magnitud de la fuerza que actúa sobre un conductor de longitud  $L$ , en metros, por el que circula una corriente de intensidad  $I$ , en ampere, y sometido a un campo perpendicular de inducción  $B$ , en tesla, está dada por la ley de Lorentz:

$$F = BLI$$

$B$  es la inducción, en tesla;  $I$  es la corriente, en ampere;  $L$  es la longitud del conductor, en metros, y  $F$  la fuerza, en newton. ( $9,8 \text{ N} = 1 \text{ kgf}$ ).

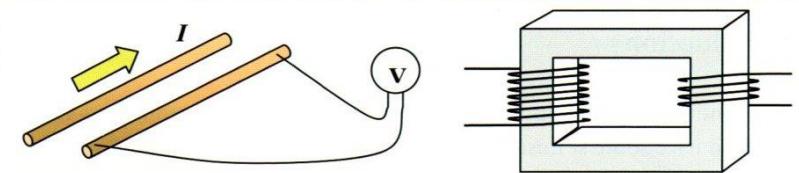
### ● Fuerza contraelectromotriz

Si dejamos que la barra de la figura se deslice, libremente, impulsada por la fuerza que resulta del efecto motor, a medida que vaya cobrando velocidad y, por el principio generador, se inducirá en ella una fuerza electromotriz, que será de polaridad opuesta a la de la batería. Cuando las dos tensiones se igualen, la corriente cesará, y la barra correrá, idealmente, a velocidad constante. Esta tensión inducida, por ser de polaridad opuesta a la de la alimentación, se llama *fuerza contraelectromotriz*, y aparece en todos los motores cuando ya adquirieron velocidad. En cambio, es nula en el arranque; por eso los motores hacen circular por la red una corriente elevada cuando arrancan, como lo notamos en el descenso de la tensión en una casa, cada vez que se pone en marcha una heladera, o el ascensor del edificio.



### ● Inducción estática

El movimiento relativo de imanes y conductores, induce en éstos fuerzas electromotrices. Si están quietos no hay inducción eléctrica, porque para ello hace falta que el campo magnético varíe, o que el conductor corte líneas de campo. Pero, esa necesaria variación del campo magnético se puede conseguir por medios *estáticos*, sin movimiento alguno. Alcanza con que la corriente de un conductor varíe en el tiempo, para que el campo magnético que genera sea también variable y, entonces, pueda inducir una fuerza electromotriz en otro conductor vecino.



- **Inducción estática.** Si la corriente  $I$  varía en el primero de los conductores, su inducción magnética es también variable, e induce una fuerza electromotriz en el segundo conductor. A la derecha, un transformador. Si se conecta uno de sus bobinados a una fuente de tensión alterna, en el otro aparece también tensión. En cambio, si se alimenta un transformador con una tensión continua, nada aparece del otro lado, y además el *trafo*<sup>3</sup> se quema.

### ● Inducción mutua

La corriente variable que circula por un conductor induce una fuerza electromotriz en los conductores vecinos. La magnitud de ese efecto depende de cuánto varíe esa corriente, y con qué velocidad lo haga; pero también depende de la forma, el tamaño y la posición de los conductores. Si son cortos y están alejados, la fuerza electromotriz inducida es menor que cuando los conductores son grandes y están cercanos uno del otro.



Ese hecho se expresa así matemáticamente:

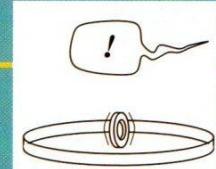
$$E_2 = M \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$\Delta I_1$  es la variación de la corriente en el primer conductor, en ampere;  $\Delta t$  es el tiempo en el que ocurre esa variación, en segundos;  $E_2$  es la fuerza electromotriz, en volt, que induce el primer conductor en el segundo; y  $M$  se llama el *coeficiente de inductancia mutua*. Sus unidades son volt segundo sobre ampere, combinación llamada *henry*, y que se simboliza H.



- La inductancia mutua de los conductores largos y próximos puede causar interferencias, especialmente, en los de comunicaciones, que emplean altas frecuencias y, por eso, sus corrientes varían muy rápidamente.

<sup>3</sup> Tanto en la Argentina, como en los Estados Unidos y Alemania, se entiende que *trafo* es una abreviatura informal para transformador, aunque se la excluya de los documentos legales, comerciales, o muy serios.



- Una formulación más general de la ley de Lenz es ésta: *La fuerza electromotriz inducida se opone a su causa.* Si hacemos bailar un imán sobre una superficie aislante, tarda más en detenerse, que si lo impulsamos sobre una bandeja de aluminio. El imán induce corrientes en el metal; y la inducción magnética de esas corrientes hace fuerzas que se oponen al giro del imán que es, en este caso, la causa de la inducción.

### ● Autoinducción

Un conductor no sólo induce fuerzas electromotrices en conductores vecinos; también lo hace sobre sí mismo; y resulta así, a la vez, inductor e inducido. Matemáticamente, eso se expresa de modo similar al anterior, pero ahora el factor se llama *coeficiente de autoinducción, autoinductancia, o inductancia a secas*. Se designa con la letra  $L$ , y se expresa en henry.

$$E = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$E$  es la fuerza electromotriz, en volt, que induce el conductor sobre sí mismo;  $\Delta I$  es la variación de la corriente en el conductor, en ampere;  $\Delta t$  es el tiempo en el que ocurre esa variación, en segundos, y  $L$  es el coeficiente de autoinducción, en henry.<sup>4</sup> El signo negativo indica que se trata de una fuerza *contraelectromotriz*.

### ● Ley de Lenz

Recibe ese nombre, en homenaje a H. F. E. Lenz (1804–1865), el hecho de que la polaridad de la fuerza electromotriz inducida es siempre opuesta a la variación de la corriente que la induce. Por ejemplo, si por un conductor circula una corriente constante e intentamos interrumpirla, bruscamente, la súbita disminución de la corriente genera una fuerza electromotriz autoinducida que hace que la corriente no pueda disminuir de golpe. Es como si la corriente tuviera inercia. Aparece, entre los cables que se desconectan, una chispa larga, de una tensión mucho mayor que aquélla con la que se alimenta el circuito, y que hace que la corriente siga circulando un tiempo más, tarde en extinguirse, y gaste los contactos.

### ● Fuerza magnética sobre cargas en movimiento

Una forma alternativa de expresar la relación que existe entre la fuerza magnética y la corriente, más parecida a la que propuso el sabio austriaco Konrad Lorentz (1903–1989) es considerar las cargas individuales que componen una corriente eléctrica:

<sup>4</sup> Por ejemplo, si una bobina tiene una inductancia de un microhenry y medio; eso significa, de acuerdo con la última fórmula, que si se produce una variación de corriente de 200 A en un tiempo de 2,5 millonésimas de segundo, esa bobina se induce a sí misma una fuerza electromotriz de 60 V.



$$F = vBq$$

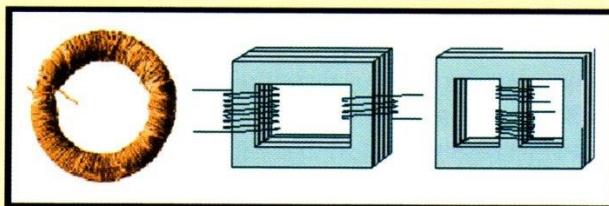


La letra  $q$  indica el valor de la carga de una partícula, en coulomb;  $v$  es su velocidad, en metros por segundo.  $B$ , en tesla, es la inducción magnética del campo en el que se encuentra la partícula; y  $F$  es la fuerza, en newton, que hace el campo sobre ella. La dirección de la fuerza es perpendicular a la inducción y a la velocidad; y su sentido es aquél en el que avanzaría un sacacorchos, si se lo hiciese girar desde una flecha que represente la velocidad, hacia otra que indique la inducción.

Como la fuerza magnética es perpendicular a la velocidad de la partícula, la acelera lateralmente, sin que su velocidad aumente ni disminuya.

### • El transformador

Uno de los más ingeniosos inventos de Michael Faraday, de importante valor teórico en su época, y de gran utilidad tecnológica en todos los tiempos, es el *transformador eléctrico*, la aplicación más directa de la inducción estática.



• A la izquierda, el primer transformador de la historia, hecho por Faraday con un rollo de alambre de hierro y dos bobinados de alambre de cobre aislado en algodón. Al centro, esquema de uno actual, llamado transformador de núcleo en anillo. A la derecha, uno de mejor diseño, el transformador de núcleo acorazado.

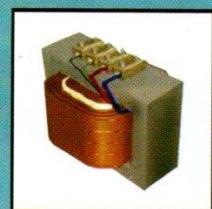
Los transformadores se emplean sólo en corriente alterna y tienen uno o más devanados. Los de alimentación se llaman primarios; y los de salida, secundarios. En ciertas aplicaciones de alta tensión, hay también una bobina terciaria.

Las variaciones de corriente en el primario hacen que el flujo magnético que comparten las bobinas varíe; y eso induce fuerzas electromotrices en ellas.

La *relación de transformación* entre la tensión de entrada y la de salida, es la que existe entre los números de vueltas, o espiras, de los bobinados. Por ejemplo, un transformador con un primario de mil vueltas, y un secundario de quinientas,



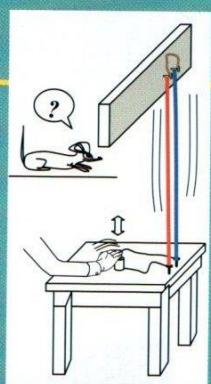
● Truco para suprimir interferencias. La corriente de 50 Hz pasa sin dificultades, porque varía lentamente. Las corrientes de frecuencias mucho mayores y que varían más rápidamente, inducen gran fuerza contraelectromotriz, y no pasan. El anillo es de ferrita.



● Transformador de núcleo acorazado, con uno de los bobinados arrollado por fuera del otro. El de alambre grueso es el de tensión más baja, y corriente mayor.



El primer motor electromagnético de la historia, lo inventó Michael Faraday. Sumergió un imán en mercurio, colgó una varilla metálica que hiciese contacto, y le hizo pasar corriente.



- La inducción magnética de un conductor por el que circule corriente ejerce una fuerza sobre otro conductor vecino, por el que también circule corriente. Eso se puede experimentar con una pila y dos cables que cuelguen paralelos y muy cercanos entre sí.

sirve como transformador de 220 V a 110 Vca. Las corrientes están en relación inversa a la de las tensiones. En este ejemplo, cuando la corriente primaria sea de 1 A, la secundaria será de 2 A. Así la potencia, igual al producto de la tensión por la intensidad, es la misma, idealmente, a la entrada y a la salida. En la práctica hay algo de pérdida en forma de calor.

### • Motores rotativos

El primer motor electromagnético de la historia fue, como el transformador, también, un invento de Faraday. Desde entonces, se han hecho muchos avances que permiten construir motores de corriente continua y alterna, algunos sin contactos que rocen, y alimentar estos con fuentes de frecuencia variable, con lo que se consigue controlar la velocidad entre límites extremos, desde una vuelta por hora, hasta miles de revoluciones por minuto.

El principio de funcionamiento del motor electromagnético permaneció inalterado desde mediados del siglo XIX: Se produce –con imanes o bobinas– un campo magnético y se hace pasar corriente por un conductor.

### • Inducción magnética de una corriente

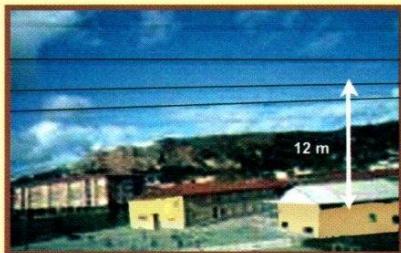
Imaginemos un conductor por el que circula una corriente  $I$ , que genera un campo magnético en las proximidades. En cada punto del espacio, por ejemplo en  $P$ , cada pequeña parte del conductor,  $\Delta L$ , contribuye en una cantidad  $\Delta B$  a la inducción, o densidad de flujo.

$$\Delta B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \Delta L \sin(\alpha)}{d^2}$$

La ley de **Biot y Savart**, llamada así en honor de dos científicos franceses (uno de ellos cirujano) establece cuánto vale esa contribución:

$\Delta B$  es el aporte de inducción, en tesla, del fragmento de conductor de longitud  $\Delta L$ , en metros. El factor  $\frac{\mu_0}{4\pi}$  es una constante igual a  $10^{-7}$  tesla metro sobre ampere,<sup>5</sup>  $I$  es la corriente que circula, en ampere;  $d$ , en metros, es la distancia entre

<sup>5</sup> La parte  $\mu_0$  de esa constante se llama *permeabilidad magnética del vacío*, y vale  $4\pi \times 10^{-7}$  T.m/A. Recordemos, del capítulo 1, que  $\epsilon_0$  es la permitividad dieléctrica del vacío. El sabio escocés James Clerk Maxwell, una de las mentes más brillantes de la historia, descubrió, en 1864, que debían existir ondas electromagnéticas, y que su velocidad de propagación sería la inversa de la raíz cuadrada del producto  $\mu_0 \epsilon_0$ ; y eso da... ¡la velocidad de la luz! Maxwell unificó así la óptica con el electromagnetismo. Mientras pensaba, lápiz en mano, dónde podía hallar ondas electromagnéticas, esas ondas estaban iluminando el papel donde escribía.

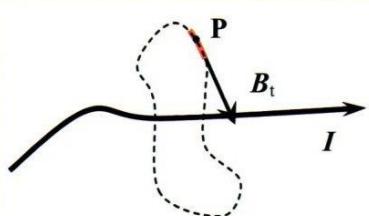


el fragmento de conductor y el punto del espacio en el que se calcula la inducción. Y  $\sin(\alpha)$  (seno de alfa) es el seno del ángulo marcado en la figura.<sup>6</sup>

En el caso de un conductor recto y muy largo –idealmente infinito– como el de una línea aérea de alta tensión, la aplicación de esta ley lleva al resultado de que la inducción magnética a una distancia  $d$  de la línea vale  $B = 2 \times 10^{-7} \text{ T.m/A.} \times I/d$ . Por ejemplo, para 1.000 A y 12 m, que son valores típicos, la inducción vale 16,7 microtesla, menos que la del campo magnético terrestre.

### • Ley de Ampère

La ley de Ampère, al igual que la de Biot y Savart, también relaciona la inducción magnética con las corrientes, pero en vez de considerar las contribuciones a la inducción de cada parte de un conductor, da una descripción integral del efecto.



Imaginemos una curva cerrada cualquiera que rodee un conductor por el que pasa una corriente  $I$ . Dividamos esa curva en fragmentos pequeños de longitud  $\Delta L$  (como el marcado en color), multipliquemos cada una de esas longitudes por el valor

de la componente tangente a la curva,  $B_t$  de la inducción  $B$  en ese lugar, y sumemos todos esos productos. La ley de Ampère establece que el resultado es igual al producto de la corriente, por la permeabilidad magnética del vacío ( $\mu_0$  sub cero).

$$\sum B_{ti} \Delta L_i = \mu_0 I$$

La letra griega sigma mayúscula significa suma, y los subíndices  $i$  representan cada uno de los términos de la suma.

Por ejemplo, si trazamos una circunferencia de 12 m de radio alrededor de la línea de alta tensión ya mencionada, la longitud de esa curva imaginaria será de 75,4 m. A igual distancia de la línea, la inducción tendrá el mismo valor, calculado antes, de 17 microtesla. Se cumple la igualdad  $16,7 \times 10^{-6} \text{ T} \times 75,4 \text{ m} = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A} \times 1.000 \text{ A}$ , lo que corrabora que el resultado predicho por la ley de Biot y Savart coincide con el de la ley de Ampère.

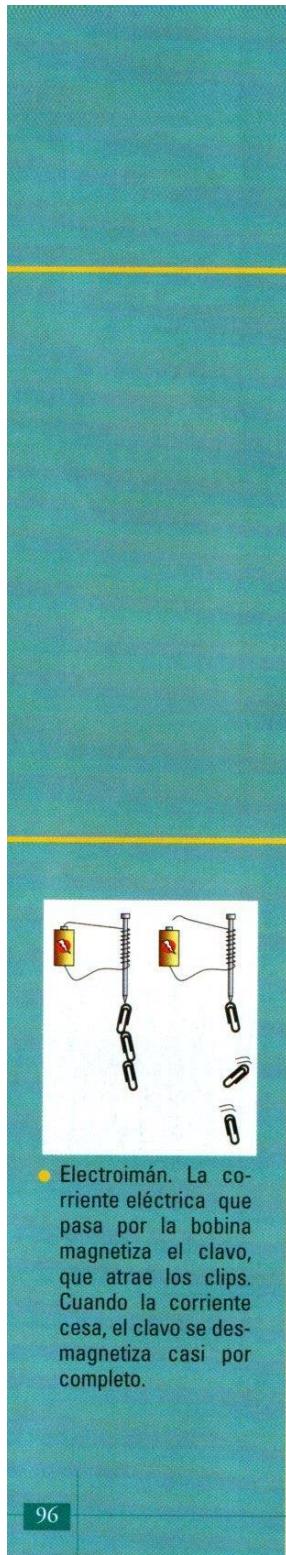
<sup>6</sup> Esta proposición es puramente teórica. Es imposible conseguir que circule corriente sólo por una pequeña parte de un conductor; por eso la ley de Biot y Savart sólo se corrabora a través de sus consecuencias integrales.



André-Marie Ampère (1775–1866) aprendió latín por su cuenta para leer los libros de la biblioteca de Lyon, su ciudad natal. Enseñó matemática, e investigó el magnetismo. Podría haber avanzado más, si no hubiera abandonado sus trabajos durante unos años, cuando su padre, juez de paz, murió en 1793, víctima del Terror.



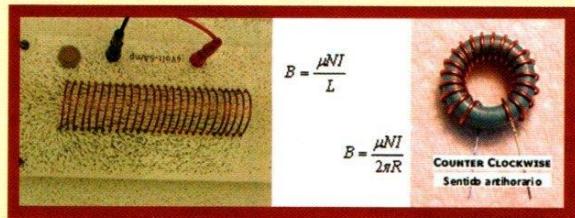
Cabeza grabadora de disco rígido, cuyo núcleo tiene una permeabilidad magnética 800.000 veces mayor que la del vacío. El cociente entre la permeabilidad  $\mu$  de un material, y la del vacío,  $\mu_0$ , es la permeabilidad relativa, que no lleva unidades. La del hierro común es de 5.000. La del hierro silicio de grano orientado, de 20.000.



Las leyes enunciadas valen en el vacío. Para extenderlas a medios cualesquiera, por ejemplo el hierro, o la ferrita, reemplazamos  $\mu_0$ , la permeabilidad del vacío, por  $\mu$ , la permeabilidad particular que tenga ese material.

### ● Campo magnético de una bobina

La inducción que genera una bobina por la que pasa corriente depende de la forma de la bobina. Las más comunes son las solenoides, y las toroides.<sup>7</sup>



● Izquierda, solenoide; derecha, toroide. La inducción en el centro del solenoide, o en cualquier punto del interior del toroide, es  $B$ , en tesla.  $L$  es la longitud de la solenoide;  $R$ , el radio del toro.  $N$  es el número de vueltas arrolladas, sin unidades; y  $\mu$  es la permeabilidad magnética el material (la del aire es muy cercana a la del vacío).

### ● Inducción, permeabilidad e intensidad de campo

La forma más sencilla de estudiar estos conceptos es en el caso de la bobina toroide con núcleo magnético, también llamada *anillo de Rowland*, cuya inducción en cualquier punto de su núcleo se calcula como vimos:

$$B = \frac{\mu NI}{2\pi R}$$

Acomodaremos los términos de las ecuaciones y definiremos nuevas magnitudes; y eso puede parecer confuso si se ignora su propósito, que es el de alcanzar una interpretación más sencilla e intuitiva del magnetismo.

Multipliquemos a izquierda y derecha por la sección transversal del núcleo,  $s$ , expresada en metros cuadrados. El producto  $B \cdot s$  es el flujo magnético,  $\Phi$ .

Por otra parte, el producto  $N \cdot I$  expresado en ampere vueltas (o directamente en ampere, porque las vueltas carecen de unidades), se llama *fuerza magnetomotriz*. Y a la longitud del desarrollo del toro,  $2\pi R$ , dividida por la sección y por la permeabilidad, se la define como la *reluctancia*. Queda entonces una expresión muy sen-

<sup>7</sup> Solenoide significa de forma tubular, como el resorte del lomo de un cuaderno. Toroide, recordemos, significa con forma de toro, un cuerpo geométrico semejante a una rosquilla, o a un salvavidas.



cilla, que se parece a la ley de Ohm de la electricidad, pero que se aplica al magnetismo:

$$\Phi_r = F / R,$$

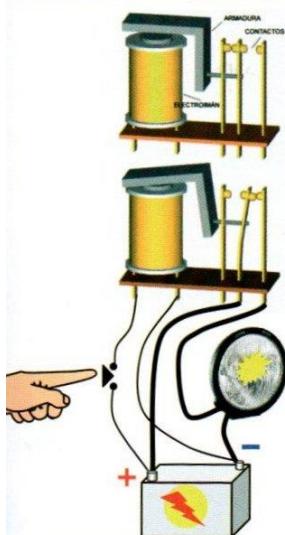
Se lee: *el flujo es igual al cociente entre la fuerza magnetomotriz, y la reluctancia, la primera se mide en ampere vueltas, la segunda, en uno sobre henry, o H<sup>-1</sup>.*

El número de ampere vuelta, dividido por la longitud del circuito magnético, es la *intensidad de campo magnético*, H: Tenemos, entonces,

$$B = \mu H$$

La última fórmula nos dice que a igual intensidad H de campo magnético aplicado, cuanto mayor sea la permeabilidad magnética del medio,  $\mu$ , tanto mayor será la inducción, o densidad de flujo, B.

### • Relés electromecánicos; circuito autoalimentado



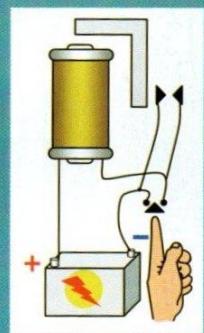
Una aplicación de la inducción magnética, casi tan importante como la del motor y la del transformador, es la del relevador electromecánico, o *relé*. Es una variante del *electroimán*, en la que la fuerza magnética, en vez de abrir una puerta, o cargar objetos, establece –o abre– un contacto eléctrico diferente del que se hace para hacer circular corriente por su bobina.<sup>8</sup> De esa manera, por ejemplo, las luces y bocina de un coche, que necesitan una corriente grande, se pueden manejar con una corriente mucho menor, la de la bobina del relé, con una llave pequeña en el tablero.<sup>9</sup>

Hay relés con varios juegos de contactos, algunos que se cierran cuando se alimenta la bobina; otros que, en cambio, estaban ya cerrados, y se abren cuando actúa el relé. Esos contactos se llaman *NA* y *NC*, normalmente abiertos y normalmente<sup>10</sup> cerrados.

<sup>8</sup> En la jerga eléctrica, esos contactos independientes y libres de potencial y, que por eso, se los puede usar libremente en un circuito, se llaman *contactos secos*.

<sup>9</sup> Cuando accionamos las luces altas y bajas en algunos modelos de coche, en un ambiente silencioso, se oye el ruido del relé cuando actúa. Algunos modelos nuevos usan relés de estados sólido, dispositivos electrónicos que carecen de piezas móviles.

<sup>10</sup> La normalidad, en este contexto, consiste en que la bobina del relé no se encuentra alimentada. Comentemos, de paso, que en electricidad *cerrado* significa conectado; y abierto, desconectado, en el mismo sentido que cuando se dice que una idea no cierra, o sea que no establece conexión con otras. Pero este significado eléctrico es opuesto al del lenguaje vial: abierto al tránsito es que se puede pasar; y cerrado, que no hay circulación de vehículos.



Relé autoalimentado. Cuando se aprieta el botón, actúa el contacto. Pero si se suelta el botón, el relé queda tomado, hasta que alguien desconecte la batería. Así, cuando la energía eléctrica vuelve después de un corte, las máquinas no arrancan solas, y hay que apretar otra vez el botón para que se pongan en marcha.