

Electrotecnia

Elaborado por:

Equipo de tutores

EDITORIAL ELEARNING

ISBN: 978-84-17172-81-7

No está permitida la reproducción total o parcial de esta obra bajo cualquiera de sus formas gráficas o audiovisuales sin la autorización previa y por escrito de los titulares del depósito legal.

Índice

Electrotecnia

UD1

Electricidad y electromagnetismo

1.1.	Naturaleza de la electricidad	7
1.2.	Magnetismo y electromagnetismo	16
1.3.	Circuitos eléctricos	32
1.4.	Redes eléctricas de baja tensión	81
1.5.	Centros de transformación	89
1.6.	Pilas y acumuladores	96
1.7.	Medidas de magnitudes eléctricas	101
1.8.	Protecciones de la instalación eléctrica	105
1.9.	Seguridad eléctrica	110
1.9.1.	Definiciones.	111
1.9.2.	Cortocircuitos	126
1.9.3.	Trabajos en ausencia de tensión	126
1.9.4.	Trabajos en tensión.	148
1.9.5.	Actuación en caso de accidente.	192
1.10.	Reglamento electrotécnico de baja y media tensión	194
	<i>Lo más importante</i>	209
	<i>Autoevaluación UD1</i>	213

UD2

Máquinas eléctricas estáticas y rotativas

2.1.	Generadores y motores eléctricos	220
2.2.	Transformadores	234
2.3.	Motores eléctricos	234
	<i>Lo más importante</i>	259
	<i>Autoevaluación UD2</i>	261

UD3

Montaje y mantenimiento de instalaciones solares fotovoltaicas

3.1.	Electrónica Básica.....	267
3.2.	Circuitos electrónicos	276
3.3.	Circuitos convertidores electrónicos de potencia convencionales .	276
3.3.1.	Convertidores AC-DC. Rectificadores.....	280
3.3.2.	Convertidores DC-DC.	289
3.3.3.	Convertidores DC-AC.....	294
3.3.4.	Convertidores AC-AC.....	296
	<i>Lo más importante</i>	297
	<i>Autoevaluación UD3</i>	299

UD1

Electricidad y electromagnetismo

- 1.1. Naturaleza de la electricidad
- 1.2. Magnetismo y electromagnetismo
- 1.3. Circuitos eléctricos
- 1.4. Redes eléctricas de baja tensión
- 1.5. Centros de transformación
- 1.6. Pilas y acumuladores
- 1.7. Medidas de magnitudes eléctricas
- 1.8. Protecciones de la instalación eléctrica
- 1.9. Seguridad eléctrica
 - 1.9.1. Definiciones
 - 1.9.2. Cortocircuitos
 - 1.9.3. Trabajos en ausencia de tensión
 - 1.9.4. Trabajos en tensión
 - 1.9.5. Actuación en caso de accidente
- 1.10. Reglamento electrotécnico de baja y media tensión



fotovoltaica

Muchas son las definiciones que podemos encontrar de electricidad y electromagnetismo. Sin embargo, consideramos que las definiciones más acertadas son las que figuran a continuación:

Electricidad:

1. *f. Fís. Propiedad fundamental de la materia que se manifiesta por la atracción o repulsión entre sus partes organizada por la existencia de electrones, con carga negativa, o protones, con carga positiva.*
2. *f. Fís. Forma de energía basada en esta propiedad, que puede manifestarse en reposo, como **electricidad** estática, o en movimiento, como corriente eléctrica, y que da lugar a luz, calor, campos magnéticos, etc.*

Electromagnetismo:

1. *m. Parte de la física que estudia la interacción de los campos eléctricos y magnéticos.*

1.1. Naturaleza de la electricidad

La naturaleza inquisitiva y las ansias de conocimientos del ser humano le han llevado, desde el principio de sus orígenes, a investigar y conocer el por qué de las cosas. La electricidad ha ocupado un importante puesto en estas investigaciones.

La palabra electricidad deriva del griego “elektron” que significa “ámbar”. Tales de Mileto (600 a.C.) descubrió que, frotando una varilla de ámbar con un paño, aquella atraía pequeños objetos como cabellos y plumas. Se decía, entonces y ahora, que la varilla se ha electrizado. No todas las materias poseen la propiedad de cargarse de electricidad y, aunque lo hagan, pueden comportarse de distintas maneras. Es por esto que se desarrollan diferentes teorías que intentan adaptar los valores, obtenidos empíricamente, con formulaciones teóricas que se ajusten a estos datos. A continuación mostramos la tabla 1.1 que recoge los momentos más representativos en la historia de la electricidad, desde su descubriendo hasta el momento en que ya es considerada como un elemento de uso cotidiano.

600 AC	Tales de Mileto (624-548 AC) descubre que si se frota el ámbar, éste atrae a los objetos más livianos.
1800 DC	Alessandro Volta (1745-1827) descubre la pila eléctrica.
1819 DC	Hans Oersted (1777-1851) descubre el efecto magnético de la corriente eléctrica, probando que la electricidad puede producir magnetismo.
1821 DC	Michael Faraday (1791-1867) describe el principio de la dínamo.
1827 DC	André Marie Ampère (1775-1836) descubre las leyes que relacionan la fuerza magnética con la corriente eléctrica.
1827 DC	George Ohm (1789-1854) establece la ley de la resistencia eléctrica.
1831 DC	Michael Faraday descubre la inducción electromagnética, confirmando así que el magnetismo puede producir electricidad.
1879 DC	Thomas Alva Edison inventa la lámpara eléctrica.
1880 DC	En Londres comienza a funcionar la primera central eléctrica destinada a iluminar una ciudad.
1887 DC	Se inicia el sistema de iluminación eléctrico en la Ciudad de Buenos Aires.
1908 DC	Heike Kammerlingh Onnes (1853-1926) descubre el principio de la superconducción.

Tabla 1.1. Acontecimientos históricos claves relacionados con la investigación eléctrica

El sistema que se utilizan en la actualidad para la producción eléctrica se conoce como *Estructura del Sistema Eléctrico*.

Por *Estructura del Sistema Eléctrico* entenderemos todos los componentes, máquinas y sistemas necesarios para garantizar un suministro de energía eléctrica, en un área concreta, con la seguridad y la calidad necesarias. Según que tipo de energía queramos transformar, deberemos aplicar un procedimiento u otro, ya sea por ejemplo la transformación de energía mecánica en eléctrica mediante dinamos o alternadores, o por ejemplo la producción de electricidad mediante combinación electrolítica en la pila.

La realidad a la que se tienen que enfrentar los productores de energía eléctrica, es el creciente impacto ambiental ocasionado por la generación de electricidad mediante sistemas convencionales (MCIA, turbinas de gas, centrales nucleares,...).

Estos sistemas que son altamente contaminantes están perdiendo cuota de mercado en la producción eléctrica todos los años. Nuevas tecnologías más eficientes y sostenibles están emergiendo con fuerza demostrando su mayor fiabilidad, durabilidad y seguridad en cuanto a la producción energética en todo su ciclo. Estamos hablando, naturalmente, de las energías renovables, entre las que podemos destacar las siguientes:

- ↻ Solar (fotovoltaica y térmica de baja, media y alta temperatura).
- ↻ Hidráulica.
- ↻ Eólica.
- ↻ Biomasa.
- ↻ Geotérmica.
- ↻ Maremotriz.

La electricidad puede producirse gracias a una serie de fenómenos físicos. Estos fenómenos se comportan de una forma determinada siguiendo una serie de leyes que describimos a continuación:

Ley atómica

Se hace necesario tener una concepción de la estructura de los materiales, esto es, cómo están formados y el funcionamiento del mecanismo de conducción eléctrica.

Partiremos para ello de la **teoría o modelo atómico** que postula una posible composición de los elementos y que responde a su vez y de manera aproximada al comportamiento de los materiales frente a fenómenos como la transmisión de calor o electricidad.

El **modelo atómico** básicamente dice que la materia está formada por partículas muy pequeñas, denominadas moléculas. Éstas a su vez están formadas por otras, aún menores denominadas átomos que a su vez se descomponen en otros tres tipos de partículas: *protones*, *neutrones* y *electrones*.

La disposición general de estas cargas¹ es la misma en todos los átomos; los protones y neutrones forman un conjunto de pequeñas dimensiones (10^{-15} mm) llamado núcleo y los electrones se sitúan en órbitas elípticas o circulares que giran alrededor del núcleo. En condiciones normales el número de electrones y protones existentes en un átomo es el mismo, dando como resultado un conjunto eléctricamente neutro, ya que los electrones tienen una carga negativa exactamente igual a la carga positiva de los protones. Si este equilibrio se ve alterado por cualquier método que permita introducir o extraer electrones en el átomo, resulta que éste se ha cargado. Dicho de otro modo, nos encontramos ante una **carga negativa**

¹ carga = cantidad de energía eléctrica acumulada en un cuerpo

(si el átomo ha tomado electrones) o una **carga positiva** (si el átomo ha cedido electrones). Es en este momento cuando se produce la circulación de electrones o corriente eléctrica y producida porque los átomos tienden a restablecer el equilibrio interno, captando o cediendo electrones de los átomos vecinos. La tabla 1.2 representa la masa y carga correspondiente a cada partícula.

	Masa	Carga Eléctrica
Protón	$1,6725 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	$+ 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}^2$
Neutrón	$1,6750 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	0 C
Electrón	$9,1091 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$	$- 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Tabla 1.2. Carga y masa de cada partícula elemental

En la actualidad se ha desechado esta teoría o mejor dicho, se ha asociado al grupo de las teorías clásicas, que explica de manera burda el comportamiento de la materia y que da una visión más o menos correcta de la estructura interna de la materia. A día de hoy, y gracias a los experimentos realizados con los aceleradores de partículas, se han llegado a catalogar doce tipos de partículas elementales diferentes, seis tipos llamados **leptones** y otros seis tipos llamados **quarks**. Estas partículas solo se producen durante la colisión de partículas en aceleradores y en el cosmos.

Ley de Coulomb

Tal y como se dijo anteriormente, las partículas elementales de la materia no son inamovibles, y pueden pasar de un átomo a otro a través de un flujo de electrones.

Esto se puede conseguir de diversas formas, por ejemplo, frotando una varilla de vidrio con un trozo de seda. El efecto es que parte de los electrones de la varilla pasan al trozo de seda, quedando por tanto, la varilla cargada positivamente y la seda negativamente. Podemos ver perfectamente que la varilla tiene la capacidad, en ese momento, de atraer objetos livianos como pequeños trozos de papel mediante una fuerza de atracción.

Esta fuerza de atracción o repulsión que se origina entre dos cuerpos puede ser explicada y cuantificada mediante la **Ley de Coulomb** que dice lo siguiente: *“la intensidad de la fuerza F con la cual dos cargas eléctricas puntuales, q_1 y q_2 , se atraen o se repelen es directamente proporcional al producto de dichas cargas e inversamente*

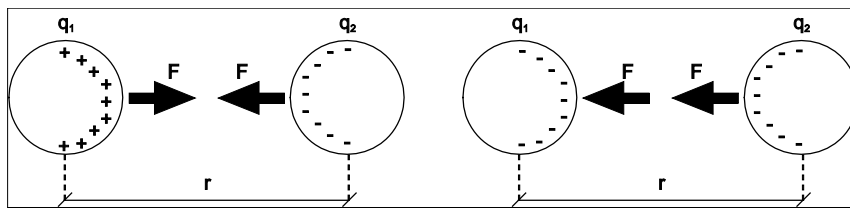
² C = Coulombio. Unidad que mide la carga eléctrica y recibe su nombre en honor a su descubridor, Charles-Augustin de Coulomb.

proporcional al cuadrado de la distancia r , existente entre ellas”, siendo la expresión que la define:

$$|F| = K \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad [1.1.1] \text{ siendo } K = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_r \cdot \epsilon_0} \quad [1.1.2]$$

El hecho de que las dos cargas se atraigan o repelan, depende directamente del signo de la carga. Cuando las cargas son del mismo signo, se produce la repulsión entre ellas, en cambio si son de signos opuestos se genera una atracción.

F	Fuerza de atracción o repulsión expresada en Newton (N).
$q_1, y q_2$	Cargas eléctricas puntuales.
r	Distancia que separa la s cargas, expresada en metros.
K	Constante cuyo valor numérico que depende del medio material donde se encuentren las cargas y por otra parte del sistema de unidades elegido.



ϵ_0, ϵ_r	Constantes dieléctricas o permitividades del vacío y relativa, respectivamente.
--------------------------	---

a)

b)

Gráfico 1.1. Interacción de fuerzas entre dos cargas a) con signo opuesto, b) con mismo signo.

Campo Eléctrico

Si en una región del espacio se ponen de manifiesto fuerzas de tipo eléctrico, se dice que en esa región hay un **campo eléctrico**.

El campo eléctrico, por lo tanto, es el efecto que se produce al situar un cuerpo cargado eléctricamente dentro de un espacio en equilibrio, dando lugar a una fuerza de carácter eléctrico. Esta magnitud a su vez asimila el carácter vectorial de la fuerza.

Intensidad de campo: (E) Podemos definirla como el *valor del campo eléctrico en un punto*. El sentido de la intensidad de campo coincide con la línea que une la carga que origina el campo eléctrico con la carga situada en el punto.

$$K = 9 \cdot 10^9 (\text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2)$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad [1.1.3] \quad |E| = \frac{|F|}{q} = \frac{\frac{9 \cdot 10^9 \cdot Q \cdot q}{e_r \cdot r^2}}{q} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot Q}{e_r \cdot r^2} \left(\frac{V}{m} \right) \quad [1.1.4]$$

Q = carga que origina el campo eléctrico.

r = distancia entre la carga y el punto donde se quiere determinar la intensidad del campo eléctrico.

La unidad como viene indicado en la ecuación en el S.I. es el voltio/metro (V/m). Se define como *la intensidad de campo eléctrico que ejerce una fuerza de un newton sobre un cuerpo cargado con una cantidad de electricidad de un culombio*.

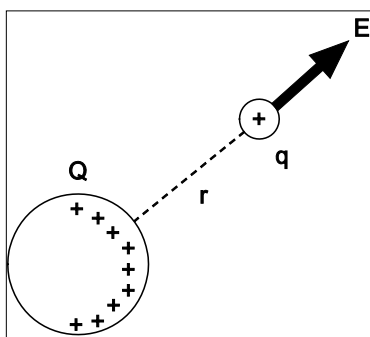


Gráfico 1.2. Representación de la intensidad de campo

Potencial: (U_A) El trabajo realizado sobre la unidad de carga eléctrica para desplazarla desde el infinito hasta dicho punto. En forma matemática quedaría:

$$U_A = K \cdot \frac{Q}{r_A} = \frac{9 \cdot 10^9}{e_r} \cdot \frac{Q}{r_A} \quad (V) \quad [1.1.5]$$

Un **voltio** lo podemos definir como *el potencial que existe en un punto de un campo eléctrico donde una carga de un 1 culombio tiene una energía potencial eléctrica de un julio*. Esto quiere decir que para trasladar una carga de 1 culombio desde el infinito hasta el punto se necesita el trabajo de un julio.

Diferencia de potencial entre dos puntos A y B de un campo eléctrico, es el trabajo para llevar a la unidad de carga eléctrica positiva desde un punto A hasta un punto

$$U_B - U_A = K \cdot Q \cdot \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right) = \frac{9 \cdot 10^9}{e_r} \cdot Q \cdot \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right)^B. \quad [1.1.6]$$

A este concepto se lo conoce también como *tensión eléctrica o voltaje*.

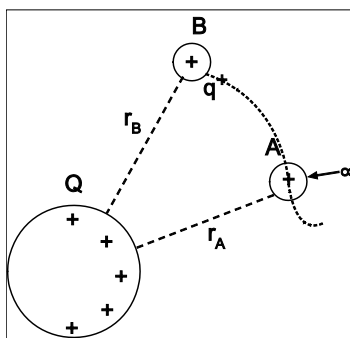


Gráfico 1.3. Potencial y diferencia de potencial.

Campo creado por varias cargas puntuales, en el caso de encontrarnos con varias cargas, el razonamiento es el mismo. Cada carga está situada de un punto una distancia r_i , y ejerce sobre una carga puntual q , situada sobre dicho punto, una fuerza que sería el resultado de la suma vectorial de las fuerzas que cada carga ejercería por separado.

$$|F_T| = |F_1| + |F_2| + \dots + |F_n| = \frac{9 \cdot 10^9}{e_r} \cdot q \cdot \left(\frac{q_1}{r_1^2} + \frac{q_2}{r_2^2} + \dots + \frac{q_n}{r_n^2} \right) = \frac{9 \cdot 10^9}{e_r} \cdot q \cdot \sum_{i=1}^{i=n} \frac{q_i}{r_i^2}$$

[1.1.7]

Teniendo $q = 1$, el módulo de la intensidad de campo en el punto es:

$$|E_T| = |E_1| + |E_2| + |E_3| + \dots + |E_n| = \frac{9 \cdot 10^9}{e_r} \cdot q \cdot \sum_{i=1}^{i=n} \frac{q_i}{r_i^2}$$

[1.1.8]

En el caso del potencial la expresión se simplifica ya que es una suma escalar luego:

$$U_T = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n = \frac{9 \cdot 10^9}{e_r} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} \frac{q_i}{r_i^2}$$

[1.1.9]

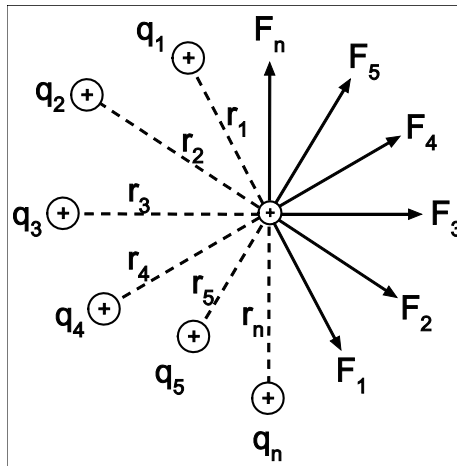


Gráfico 1.4. Campo creado por varias cargas puntuales.

Corriente Eléctrica

Consideraremos que la corriente eléctrica es similar a un flujo permanente de cargas eléctricas sin tener en cuenta los efectos magnéticos o transitorios a causa de la conexión y desconexión.

Intensidad de corriente: podemos definirla como *la cantidad de electrones que pasan por un punto específico en una dirección y en una unidad de tiempo*. El inconveniente de esta definición es la variabilidad del valor de la intensidad respecto del tiempo. Matemáticamente tendremos que tener en cuenta este aspecto y para ello deberemos definir la circulación en porciones de tiempo muy pequeñas Δt y observamos la variación que experimenta la electricidad, Δq en ese tiempo.

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad [1.1.10]$$

Si en el caso de que la intensidad fuera constante (I) la expresión anterior podría haber sido expresada como:

$$I = \frac{Q}{t} \quad [1.1.11]$$

La unidad que define la intensidad es el Amperio (A), en referencia al descubridor Ampère y según el S.I. es: *la intensidad de una corriente constante que, manteniéndose en dos conductores paralelos, rectilíneos, de longitud infinita de sección circular despreciable y situados a una distancia de un metro uno de otro, en el vacío, produciría entre estos conductores, una fuerza igual a $2 \cdot 10^{-7}$ newtons por metro de longitud*. Un amperio es lo mismo que un 1 culombio/ 1 segundo.

Densidad de corriente: (J) Se define como el cociente de la intensidad de corriente

y el área transversal del conductor.

[1.1.12]

$$J = \frac{I}{S} \left(\frac{\text{A}}{\text{m}^2} \right)$$

Velocidad de desplazamiento de los electrones: (v) Sería el resultado de dividir la densidad de corriente (J) entre el número de electrones en movimiento o libres (n).

[1.1.13]

$$v = \frac{J}{n} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

En metales el número de electrones libres suele estar dentro del orden de los 10^{23} por cm^3 . Para intensidades de 1 a 10 A/mm^2 suelen darse velocidades en torno a los $0,0625 \text{ mm/s}$ y $0,625 \text{ mm/s}$.

Potencia y Energía

Se entiende por potencia (P) la cantidad de energía (W) consumida o producida por unidad de tiempo (julios/segundo). En materia de electricidad sería la energía correspondiente a la corriente eléctrica y se expresa de la siguiente forma. La unidad de medida es el **vatio** (W).

(J) [1.1.14]

$$W = q \cdot U = U \cdot I \cdot t$$

(W) [1.1.15]

$$P = U \cdot I$$

A modo de resumen podemos decir que con el modelo atómico hemos visto cómo se forma la materia a nivel estructural, el tipo de partículas que la componen y las características que confieren a la materia según su organización.

También hemos visto las teorías que, apoyadas sobre este modelo, explican el tipo de interacciones entre las diferentes partículas que forman la materia (ley de Coulomb). Es a partir de aquí cuando se puede dar una explicación bastante más fundamentada del comportamiento de la electricidad.

Definido lo anterior solamente nos queda ver qué propiedades fundamentales podemos deducir de este fenómeno, la electricidad, para después hacer un uso productivo de ellas.

1.2. Magnetismo y electromagnetismo

El magnetismo es una propiedad por la cual los materiales se atraen o repelen unos de otros. Todos los materiales tienen propiedades magnéticas aunque sólo unos pocos las tienen en una medida mucho mayor que los demás y los denominamos magnéticos. Los materiales magnéticos se clasifican según su comportamiento al acercarse a un **imán** o **campo magnético**.

El *magnetismo* y la *electricidad* habían sido tratados como fenómenos distintos y eran estudiados por ciencias diferentes. Según los descubrimientos de Oersted y Faraday, la electricidad y el magnetismo son manifestaciones de un mismo fenómeno. El físico escocés James Clerk Maxwell (1831-1879), dice que los fenómenos eléctricos y magnéticos son productos de una misma interacción, denominada interacción electromagnética. Alrededor del año 1850, Maxwell publicó las llamadas “ecuaciones de Maxwell”, que describen el comportamiento del campo electromagnético.

Estas ecuaciones dicen esencialmente que:

- ↻ Existen portadores de cargas eléctricas y las líneas del campo eléctrico parten desde las cargas positivas y terminan en las cargas negativas.
- ↻ No existen portadores de carga magnética; por lo tanto, el número de líneas del campo magnético que salen desde un volumen dado, debe ser igual al número de líneas que entran a dicho volumen.
- ↻ Un imán en movimiento, o dicho de otra forma, un campo magnético variable, genera una corriente eléctrica llamada corriente inducida.
- ↻ Cargas eléctricas en movimiento generan campos magnéticos.

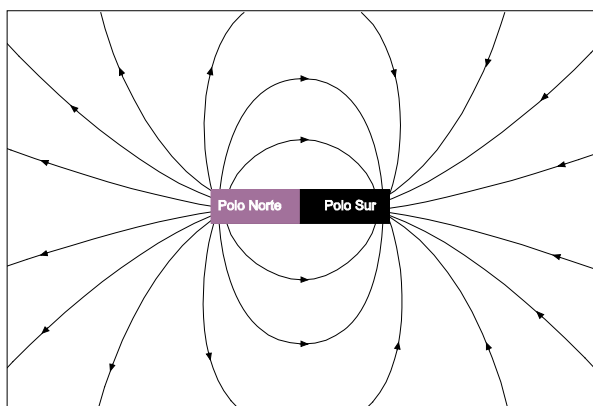


Gráfico 1.5. Diagrama de campo magnético para un imán.

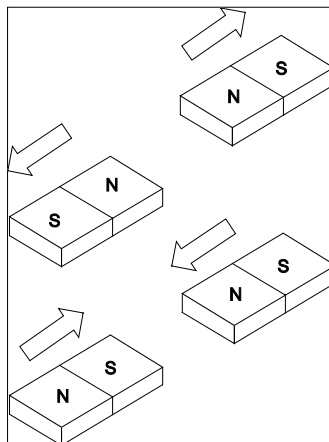


Gráfico 1.6. Atracción y repulsión entre elementos magnéticos

Como hemos dicho antes en la zona donde se manifiesta un efecto magnético se dice que hay un campo magnético que queda representado como en el gráfico 1.5, donde las líneas que unen el polo norte con el polo sur se llaman **líneas de inducción magnéticas**.

El factor que mide cuantitativamente este fenómeno es la **inducción magnética** o **densidad de flujo magnético**, que representa el número de líneas de inducción que pasa por una superficie perpendicular a dichas líneas, se representa por la letra B y se mide en teslas (T).

De este razonamiento se deduce la expresión que determinará el número de líneas de inducción magnética que pasan por una superficie determinada, conocido como **flujo magnético**. Se representa este factor por la letra Φ , definida, para el caso de un flujo constante B , de la siguiente forma:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha \quad [1.2.1]$$

donde:

Φ = flujo magnético.

B = densidad de flujo magnético.

S = superficie que atraviesa dicho flujo magnético.

α = ángulo que forma una perpendicular a dicha superficie con la dirección de las líneas de inducción magnética.

Tal y como establece Maxwell, una corriente eléctrica puede generar un efecto magnético e interactuar con cargas eléctricas que pasen cerca de dicha corriente. Bien, a continuación, veremos los casos más representativos de inducción electromagnética y los efectos que genera.

Campo magnético creado por una carga eléctrica en movimiento.

Utilizamos la **ley de Biot y Savart (1820)** para calcular el campo magnético B producido por un conductor rectilíneo indefinido por el que circula una corriente de intensidad I . El campo magnético B producido por el hilo rectilíneo en el punto P tiene una dirección que es perpendicular al plano formado por la corriente rectilínea y el punto P , y sentido el que resulta de la aplicación de la regla del sacacorchos.

Para calcular el módulo de dicho campo es necesario realizar una integración.

$$B = K \cdot \frac{q \cdot v}{r^2} \cdot \text{sen} \quad [1.2.2]$$

q = carga eléctrica

v = velocidad de movimiento de la carga.

r = distancia del punto.

K = constante de proporcionalidad que depende del medio en el que se encuentre.

$$K = \frac{\mu_0}{4 \cdot \pi} \quad [1.2.3]$$

μ_0 = permeabilidad magnética del vacío.

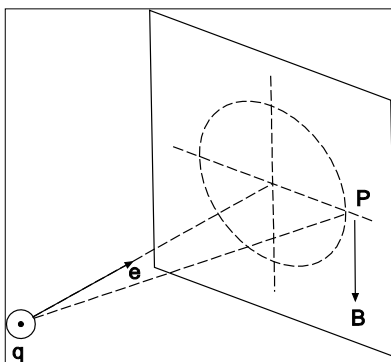


Gráfico 1.7. Campo creado por una carga en movimiento.

Campo magnético creado por un conductor recorrido por una corriente eléctrica

Se puede calcular este efecto con la siguiente expresión:

$$B = K \cdot \frac{2 \cdot I}{d} = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{I}{d} \quad [1.2.4]$$

Como vemos, el campo magnético creado por una corriente es directamente proporcional a la intensidad que recorre el conductor e inversamente proporcional a la distancia del conductor al punto en cuestión.

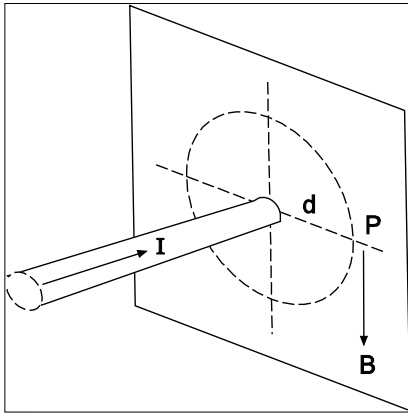


Gráfico 1.8. Campo creado por una corriente que recorre un conductor

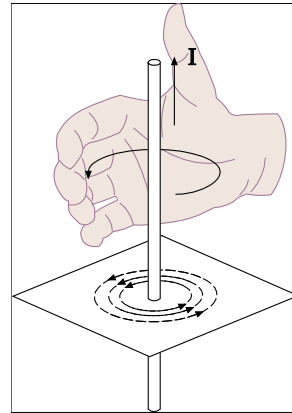


Gráfico 1.9. Sentido de las líneas de inducción. Regla de la mano derecha

La expresión anterior es válida siempre y cuando las dimensiones del conductor frente a la distancia d sean muy grandes y que la carga P no esté muy próximo a un extremo del conductor.

Para determinar el sentido que seguirán las líneas de campo utilizaremos una regla nemotécnica bastante útil y sencilla, *la regla de la mano derecha* que toma la mano derecha como referencia y dice que si apuntamos con el dedo pulgar en la dirección del conductor, las líneas de campo seguirán el sentido que los dedos al cerrarse sobre el mismo.

Campo creado por una espira recorrida por una corriente eléctrica

Suponiendo una espira conductora de radio R por la que circula una intensidad I , la inducción magnética que se produce en un punto P situado en el centro de la espira será:

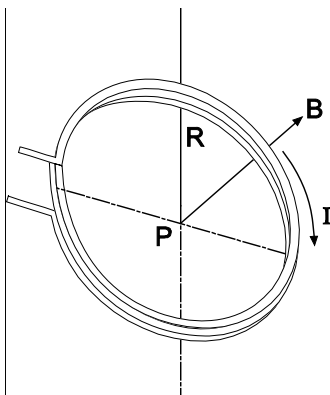


Gráfico 1.10. Inducción magnética

$$B = K \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot I}{R} = \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{I}{R} \quad [1.2.5]$$

Si en vez de tener una sola espira tenemos un arrollamiento de N espiras, la expresión que define la inducción producida en el conductor es:

$$B = \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{N \cdot I}{R} \quad [1.2.6]$$

Esta expresión es válida siempre que la longitud l sea mucho menor al radio R de la espira.

Mediante un ejemplo calcularemos la inducción magnética en el vacío que se producirá en una bobina de 1.500 espiras y 3 cm de radio, por la que circula una corriente de 6 A. Dato permeabilidad del vacío $\mu_0 = 12,57 \cdot 10^{-7}$.

$$B = \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{N \cdot I}{R} = \frac{12,57 \cdot 10^{-7}}{2} \cdot \frac{1500 \cdot 6}{3} = 1,885 \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

Campo creado por un solenoide recorrido por una corriente eléctrica.

Entendemos por **solenoides** una bobina cuya longitud comparada con el radio es mucho mayor. En esta situación la expresión que define este fenómeno de inducción es la siguiente:

$$B = \mu_0 \cdot \frac{N \cdot I}{l} \quad [1.2.7]$$

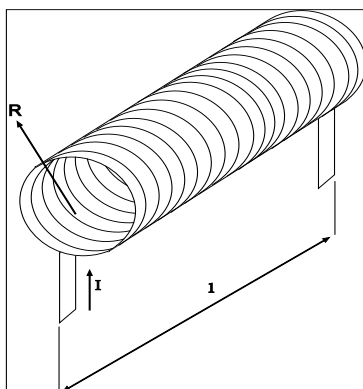


Gráfico 1.11. Campo creado por un solenoide

Para todo el arrollamiento tendremos un valor constante de inducción siendo la expresión anterior válida para cualquier punto del solenoide.