

**TEMA 2. Conceptos y fenómenos electromagnéticos. Propiedades magnéticas de la materia. Flujo magnético. Permeabilidad y densidad de flujo. Campos magnéticos creados por cargas eléctricas en movimiento. Interacciones electromagnéticas. El circuito magnético: magnitudes y características.**

## ÍNDICE

- 2.1 Introducción
- 2.2 Conceptos y fenómenos electromagnéticos.
  - 2.2.1. Conceptos básicos
  - 2.2.2 Fenómenos electromagnéticos
  - 2.2.3. Fuerzas electromotrices inducidas: Leyes de Faraday y de Lenz
- 2.3 Propiedades magnéticas de la materia.
  - 2.3.1 Propiedades de los imanes
  - 2.3.2 Tipos de imanes
- 2.4 Flujo magnético.
- 2.5 Permeabilidad y densidad de flujo.
  - 2.5.1. Densidad de flujo
  - 2.5.2. Permeabilidad magnética y clasificación de materiales según su permeabilidad magnética
- 2.6 Campos magnéticos creados por cargas eléctricas en movimiento.
  - 2.6.1. Ley de Ampere: relación corriente e inducción magnética
  - 2.6.2. Ley de Biot-Savart: Valor de la inducción magnética o densidad de flujo
  - 2.6.3. Inducción en un conductor rectilíneo
  - 2.6.4. Inducción en una espira circular
  - 2.6.5. Inducción en una bobina plana
  - 2.6.6. Inducción en el interior de un solenoide.
- 2.7 Interacciones electromagnéticas.
  - 2.7.1. Fuerza ejercida sobre un conductor recorrido por una corriente eléctrica.
  - 2.7.2. Fuerza electromotriz inducida es una espira.
  - 2.7.3. Fuerza electromotriz inducida en un transformador. Leyes de Faraday y de Lenz
- 2.8 El circuito magnético: magnitudes y características.
- 2.9 Conclusión
- 2.10 Bibliografía
- 2.11 Webgrafía

## 2.1 Introducción (mitad cara de un folio)

### 1) Resumir contenido índice. Por ejemplo:

En este tema 2 trataremos los conceptos y fenómenos del electromagnetismo, propiedades magnéticas de la materia, los campos magnéticos creados por cargas eléctricas en movimiento y las interacciones magnéticas entre otros contenidos.

### 2) Relacionar contenido del tema con el temario de la especialidad. Por ejemplo:

Relacionado el contenido de este tema con otros temas, en el tema 3 también se ve la inducción electromagnética.

### 3) Justificar distribución y extensión tema. Por ejemplo:

La distribución y extensión de las diferentes partes del tema se ha realizado de acuerdo con su importancia dentro del mismo. Por ejemplo: Debido a ello, tienen especial importancia los apartados **A y B**.

### 4) Contextualizar tema:

- Los contenidos relativos al tema 2 se estudiarán **en el módulo profesional de electrotecnia como parte del ciclo formativo de grado medio** de IEA.
- Referenciar normativa ciclo formativo. Por ejemplo para la Comunidad valenciana:
  - Con el siguiente tema contribuimos a alcanzar parte de los elementos curriculares establecidos en el **Real Decreto 177/2008, 8 de febrero, por el que se establece el título de técnico en IEA y la Orden de 29 de julio 2009 por la que se establece el currículo del ciclo formativo en la CV**. Es decir: objetivos del ciclo formativo relacionados con el módulo profesional, competencias profesionales, personales y sociales, contenidos, resultados de aprendizaje y criterios de evaluación. Siempre teniendo como referencia la **Ley Orgánica de educación LOE 2/2006, de 3 de mayo y la LOMLOE 3/2020, de 29 de diciembre**.
  - Además, teniendo en consideración la **Ley Orgánica 3/2022, de 31 de marzo, de ordenación e integración de la Formación Profesional** y el **Real Decreto 659/2023, de 18 de julio, por el que se desarrolla la ordenación del Sistema de Formación Profesional**
  - Los contenidos incluidos en este tema se impartirán teniendo en consideración el **Decreto 104/2018, de 27 de julio, del Consell**, por el que se desarrollan los principios de equidad y de inclusión en el sistema educativo valenciano. Este Decreto desarrolla las líneas generales de actuación que caracterizan el modelo de escuela inclusiva y garantizan el desarrollo de sus principios.

## 2.2 Conceptos y fenómenos electromagnéticos.

En 1600 Gilbert establece una división clara entre electricidad y magnetismo. Estas dos disciplinas se desarrollaron independiente durante 200 años hasta que nace el electromagnetismo en 1820 y la ley de la inducción electromagnética de Faraday en 1831.

### 2.2.1. Conceptos básicos

A continuación indicamos los conceptos básicos del electromagnetismo:

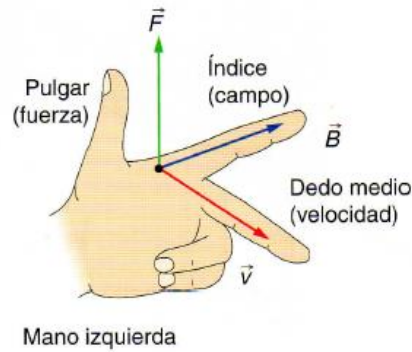
- De la misma forma que en las proximidades de un cuerpo cargado existe un **campo eléctrico**, se dice que el espacio que rodea a un imán o a un conducto que transporta una corriente da lugar a un **campo magnético**. El vector básico del campo magnético se llama **inducción magnética y su símbolo es B**.
- Al igual que en un campo eléctrico se representa por **líneas de fuerza**, el campo magnético se representa por **líneas de inducción**. La cantidad de líneas de inducción que tiene el campo magnético se conoce como el **flujo magnético ( $\Phi$ )**.
- Una carga eléctrica en movimiento crea un **campo eléctrico y un campo magnético** en el espacio que la rodea.

- Al mismo tiempo, este **campo magnético** produce una fuerza sobre una segunda carga que se mueva en él. Existe un **campo magnético** en un punto si, además de la fuerza electrostática, se ejerce otra fuerza perpendicular a la carga móvil ( $q$ ) que pase por dicho punto a una velocidad ( $v$ ). En función a la inducción magnética ( $B$ ) esta fuerza se expresa de la siguiente forma:  $\mathbf{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$

Según las reglas del producto vectorial, la magnitud  $F$  está dada por:  $\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{v} \cdot \mathbf{B} \cdot \sin \theta$ , donde  $\theta$  es el ángulo entre  $v$  y  $B$ .

- Existe un campo eléctrico en un punto si se ponen de manifiesto fuerzas de tipo eléctrico en dicho punto. En función de la intensidad de campo ( $E$ ) se expresa:  $F = q \cdot \vec{E}$

La **combinación de los campos eléctrico y magnético** da lugar al electromagnetismo, que se propaga mediante ondas electromagnéticas. El **sentido y la dirección de la fuerza lo obtendremos aplicando la regla de la mano izquierda (regla de Fleming)**: el pulgar indica el sentido y dirección de la fuerza ( $F$ ), el dedo índice indica el sentido de las líneas de inducción ( $B$ ) y el dedo corazón en el sentido convencional de la intensidad ( $I$ ). Figura X.



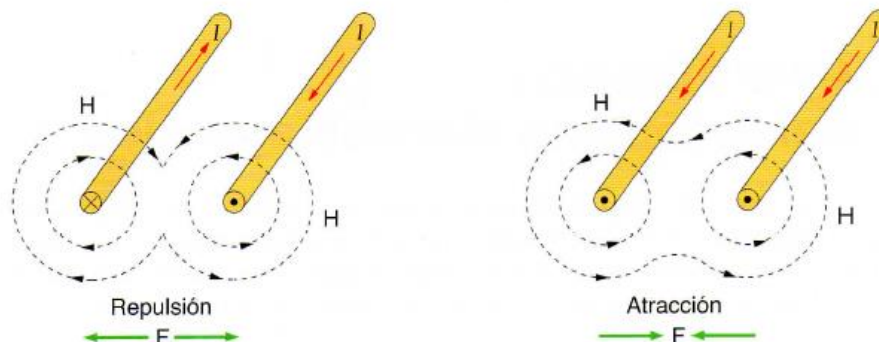
**Figura 1. Regla de la mano izquierda. Regla de Fleming**

La regla de Fleming tiene su aplicación práctica al trabajar con motores para **determinar el sentido de las fuerzas que hacen girar el motor inducido**. La unidad de inducción magnética en el SI es el Tesla (del símbolo T) que equivale al weber por metro cuadrado ( $\text{Wb}/\text{m}^2$ ).

### 2.2.2 Fenómenos electromagnéticos

**Oersted en 1820** fue el primer científico que comprobó las interacciones entre electricidad y magnetismo al observar la corriente eléctrica circulando por un hilo desviaba una aguja imantada.

- **1er fenómeno:** Una corriente eléctrica crea un campo magnético. Cuando un conductor es atravesado por una corriente eléctrica, a su alrededor aparece un campo magnético.
- **2º fenómeno:** Dos corrientes actúan una sobre la otra, produciéndose una atracción entre dos hilos paralelos que transportan corriente en la misma dirección, y una repulsión si las direcciones de las corrientes son contrarias. En este fenómeno basan su funcionamiento los motores eléctricos. En la Figura X, podemos ver un ejemplo de atracción y repulsión de dos corriente paralelas:



**Figura 2. Atracción y repulsión de dos corrientes paralelas.**

- **3º fenómeno:** en un conductor dentro de un campo magnético se induce una fuerza electromotriz en caso de que el flujo magnético que atraviesa el conductor sea variable, por alguna de las condiciones siguientes:

- El campo magnético sea variable.
- El conductor esté en movimiento.

En este fenómeno basan su funcionamiento respectivamente los **transformadores y los generadores de energía eléctrica**.

### 2.2.3. Fuerzas electromotrices inducidas: Leyes de Faraday y de Lenz

La generación de corriente eléctrica a partir de un campo magnético es lo que se conoce como inducción electromagnética. Faraday descubrió este fenómeno y enunció la conocida ley que lleva su nombre y dice que la fuerza electromotriz inducida es proporcional a la variación de flujo que atraviesa el conductor en la unidad de tiempo (Santamaría y Castejón, 2009). Matemáticamente se expresa con la siguiente fórmula:

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Fórmula 1. Ley de inducción electromagnética. Ley de Faraday.

El signo negativo (-) de esta ecuación corresponde a la **ley de Lenz** que dice que las fuerzas electromotrices o las corrientes inducidas serán de un sentido tal que se opongan a la variación del flujo magnético que las produjeron. Esta ley es una de una consecuencia del principio de conservación de la energía.

El valor medio de la fuerza electromotriz inducida de forma dinámica en un conductor rectilíneo de longitud (L) que se mueve con una velocidad (v) perpendicularmente a la dirección del campo magnético de inducción (B) tiene la expresión:

$$\varepsilon_{med} = B L v$$

El **sentido y la dirección de fuerza electromotriz inducida lo obtendremos aplicando la regla de la mano derecha**: el pulgar indica el sentido y dirección del movimiento (v), el dedo índice indica el sentido de las líneas de inducción (B) y el dedo corazón en el sentido convencional de la intensidad (I). Figura X.

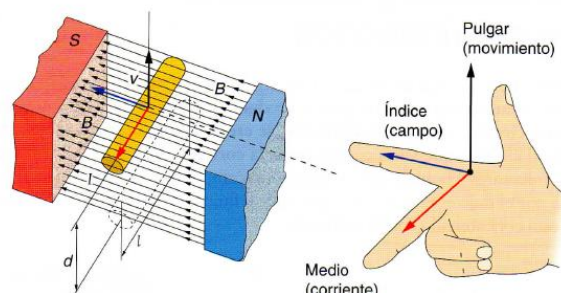


Figura 3. Regla de la mano derecha

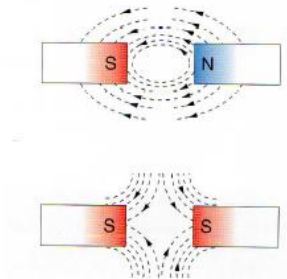
### 2.3 Propiedades magnéticas de la materia.

En el interior de la materia existen pequeñas corrientes cerradas debidas al movimiento de los electrones que contiene los átomos, cada una de ellas origina un microscópico imán o dipolo. Cuando estos pequeños imanes están orientados en todas las direcciones sus efectos se anulan mutuamente y el material no presenta propiedades magnéticas; en cambio si todos los imanes se alinean actúan como un único imán decimos que la sustancia se ha magnetizado.

#### 2.3.1 Propiedades de los imanes

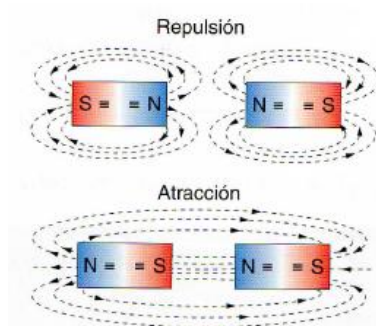
**Santamaría y Castejón (2009)** destacan que los imanes tienen las siguientes propiedades (8):

1. **Solo atraen el hierro y sus derivados**
2. La existencia física de un imán requiere la **presencia de dos polos opuestos norte-sur.**
3. La **atracción se halla en los polos (norte/sur)** y no se reparte uniformemente a lo largo del imán.
4. Las **líneas de fuerza entran por el polo sur y salen por el polo norte.** Esto se comprueba al determinar los polos de un imán (Figura X).



**Figura 4. Determinación de los polos de un imán**

5. Los **polos de un imán tienen propiedades opuestas.** Es decir, los polos de un mismo nombre se repelen (**por ejemplo: norte-norte o sur-sur**) y los polos de distinto nombre se atraen (**por ejemplo: norte-sur**). Podemos ver un ejemplo de este comportamiento en la figura X.



**Figura 5. Polos de igual nombre se repelen y de distinto nombre se atraen.**

6. La **orientación de un imán respecto al campo magnético terrestre es siempre la misma**. Si dejamos girar libremente un imán sobre el plano horizontal, se nos orienta siempre en la dirección norte-sur. El polo norte del imán se orienta hacia el norte geográfico y el polo sur del imán se orienta hacia el sur geográfico. **Un ejemplo de este comportamiento lo tenemos en las brújulas.**
7. La **imantación se consigue por contacto o por inducción**. Se pueden conseguir imanes artificiales colocando hierro en contacto con otro imán artificial o por inducción (aproximación sin contacto)
8. **Por encima del punto de Curie, 750 °C, el hierro pierde sus propiedades magnéticas.**

### 2.3.2 Tipos de imanes

Los imanes se clasifican en naturales y artificiales. Estos últimos, en temporales y permanentes, y son los que tienen aplicaciones industriales gracias al desarrollo del electromagnetismo (2).

- **Imanes naturales.** Están formados por un óxido de hierro, generalmente tetróxido de hierro o magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y óxido ferroso ( $\text{FeO}$ ).
- **Imanes artificiales.**
  - **Temporales:** aquellos en los cuales la propiedad magnética solo existe mientras actúa la causa exterior imitadora, perteneciendo a este grupo todos los formados por el hierro.
  - **Permanentes:** aquellos en los cuales se mantienen las propiedades magnéticas, aun después de haber cesado la causa imanadora; pertenecen a este grupo todos los formados por acero.

### 2.4 Flujo magnético.

El campo magnético se representa por líneas de inducción. El número total de líneas de inducción creadas por un campo magnético ( $\Phi$ ). Su unidad de medida es el weber (Wb) (Alcalde San Miguel, 2014).

El flujo magnético a través de un área perpendicular a la dirección del campo magnético uniforme, viene dado por el producto de la inducción magnética (B) por la superficie (S).

$$\Phi = B \cdot S$$

Si la superficie no es perpendicular a la dirección del campo sino que forma con este un ángulo ( $\theta$ ), la expresión anterior se transforma en:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \theta$$

De forma más general, el **flujo magnético elemental**, cuando el campo no es uniforme, viene definido por:

$$\Phi = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}$$

## 2.5 Permeabilidad y densidad de flujo.

### 2.5.1. Densidad de flujo

De la expresión del flujo magnético establecida anteriormente se deduce que la inducción magnética es la relación entre el flujo y la superficie, es decir:

$\mathbf{B} = \frac{d\Phi}{ds}$ , por lo que la B también se conoce como densidad de flujo magnético.

Si consideramos un hilo recto largo de sección circular (por ejemplo una barra de hierro) por el que circula una corriente I. Experimentalmente se comprobó que la densidad de flujo magnético B a una distancia r del hilo es directamente proporcional a la intensidad e inversamente proporcional a la distancia, según la expresión:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

En la que  $\mu_0$  se llama el **coeficiente de permeabilidad magnética del vacío** y su valor es  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$

### 2.5.2. Permeabilidad magnética y clasificación de materiales según su permeabilidad magnética

La permeabilidad magnética indica el grado de magnetización de una material en respuesta a un campo magnético. La permeabilidad magnética absoluta se expresa en función de la permeabilidad magnética relativa ( $\mu_r$ ) y la permeabilidad magnética del vacío ( $\mu_0$ ).

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0$$

Los materiales se pueden clasificar según su permeabilidad magnética relativa en ferromagnéticos, paramagnéticos y diamagnéticos (3).

- **Ferromagnéticos.** Tienen un elevado poder imantación o gran permeabilidad magnética ya que atraen el campo magnético hacia su interior. El número de elementos ferromagnéticos es reducido a temperatura ambiente. Por ejemplo:
  - Hierro, cobalto y níquel y sus aleaciones, la magnetita y algunas aleaciones terciarias del manganeso.
- **Paramagnéticos.** Tienen una permeabilidad magnética similar al aire ( $\mu_r = 1$  o ligeramente superior). Los materiales paramagnéticos son la **mayoría de los que**



**encontramos en la naturaleza**; su reacción frente a los campos magnéticos es muy poco apreciable. **Por ejemplo:**

- Metales: aluminio, cromo, manganeso, platino, etc. y sus aleaciones
- Gases: óxido nítrico, oxígeno, ozono, etc.
- **Diamagnéticos.** Tienen una permeabilidad magnética relativa menor que la unidad ( $\mu_r < 1$ ); en algunos casos, bastante menor. Los materiales diamagnéticos **repelen el campo magnético**, haciendo que este pase por el exterior del material; en general, esta acción diamagnética es muy débil. Por ejemplo:
  - Metales: cobre, mercurio, oro, plata, plomo, etc.
  - Casi todas las sustancias orgánicas.

## 2.6 Campos magnéticos creados por cargas eléctricas en movimiento.

Las observaciones de **Oersted** confirmaron que una corriente eléctrica produce efectos magnéticos, y el descubrimiento de **Faraday** el fenómeno inverso, que se puede obtener corriente eléctrica de un campo magnético bien porque ese sea variable o bien porque se desplace el conductor sobre el que actúa el campo. En este punto vamos a analizar los campos magnéticos creados por cargas eléctricas en movimiento.

### 2.6.1. Ley de Ampere: relación corriente e inducción magnética

La ley de Ampere establece la **relación cuantitativa entre la corriente (I) y la inducción magnética (B)** que produce y su expresión matemática es:

$$\oint \mathbf{B} \, d\mathbf{l} = \mu_0 \cdot I$$

Según la fórmula, la circulación de la inducción magnética (B) a lo largo de un camino cerrado es igual al producto de la permeabilidad magnética ( $\mu_0$ ) por la intensidad que circula por el hilo (I).

### 2.6.2. Ley de Biot-Savart: Valor de la inducción magnética o densidad de flujo

El valor de la inducción magnética o densidad de flujo ( $\vec{B}$ ) en cualquier punto P del espacio que rodea al conductor por el que circula la corriente (I) (Figura X) se determina mediante la ley de Biot-Savart, cuya expresión para un elemento diferencial infinitamente pequeño del conductor (dl) vale:

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot d\mathbf{l}}{4\pi r^2} \sin \theta$$

Como una carga de velocidad ( $v$ ) produce un campo magnético idéntico al de una corriente ( $i$ ) en un elemento de conductor de longitud ( $dl$ ),  $q \cdot v = i \cdot dl$ , la ley de Biot-Savart se expresa con más propiedad mediante la ecuación:

$$dB = \frac{\mu_0 \cdot q \cdot v}{4\pi r^2} \sin \theta$$

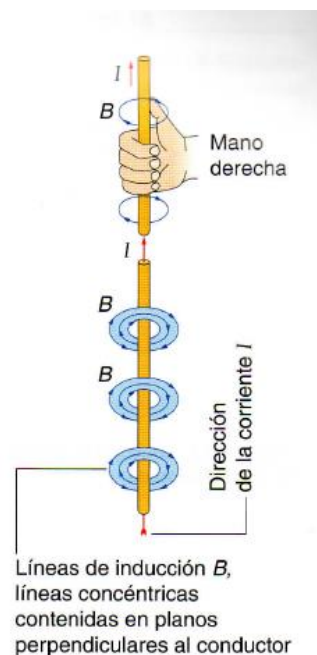
Considerando la fórmula la densidad de flujo o inducción ( $B$ ) alcanza su máximo valor cuando estamos considerando líneas de inducción concéntricas contenidas en un plano perpendicular ( $\theta = 90^\circ$ ) a la dirección de la corriente que pasa justo por la carga o elemento  $dl$  de conductor. Ya que si el ángulo es de  $90^\circ$ ,  $\sin 90^\circ = 1$ .

### 2.6.3. Inducción en un conductor rectilíneo

Si un largo conductor rectilíneo (por ejemplo un cable) es recorrido por una corriente ( $I$ ), el valor representativo de una línea concéntrica de la inducción ( $B$ ) contenida en un plano perpendicular al eje del conductor y definida por un radio ( $R$ ) vale:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi r}$$

El sentido del campo magnético se obtiene por la **regla del sacacorchos**: Si se agarra el conductor con la mano derecha de manera que el pulgar apunte en la dirección de la corriente, los otros dedos indican el sentido de las líneas del campo magnético. En la figura X podemos ver un ejemplo de la inducción creada por una corriente rectilínea:



**Figura 6. Inducción creada por una corriente rectilínea.**

#### 2.6.4. Inducción en una espira circular

En el caso particular de una espira circular de radio (R) (figura X) recorrida por una corriente (I), el valor de la inducción (B) en el centro de la misma vale:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2R}$$

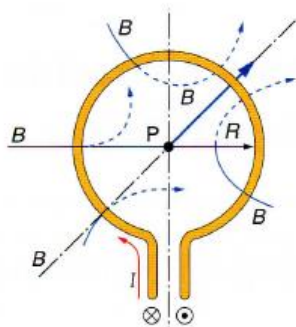


Figura 7. Inducción creada por una corriente circular

El sentido del campo magnético lo indica la **regla del sacacorchos**: Si se gira el sacacorchos en el sentido que gira la corriente eléctrica, el avance del sacacorchos marca el sentido del campo magnético.

#### 2.6.5. Inducción en una bobina plana

Si la corriente (I) circula por la bobina plana de (N) espiras muy juntas (figura X), con aproximadamente el mismo radio (R) todas ellas, la inducción magnética en el centro P de la misma, vale:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{2R}$$

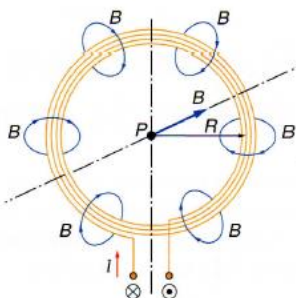
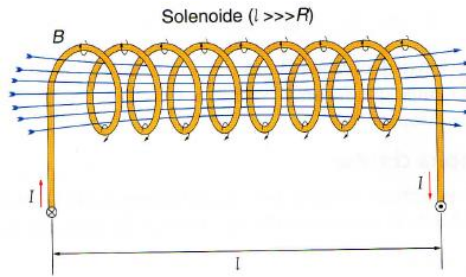


Figura 8. Inducción en una bobina plana

#### 2.6.6. Inducción en el interior de un solenoide.

Si la corriente (I) circula por una bobina cilíndrica en forma de espira (figura X) cuya longitud (L) es mucho mayor que su radio (R), el campo magnético creado en un punto P del eje axial alejado de los extremos, vale:

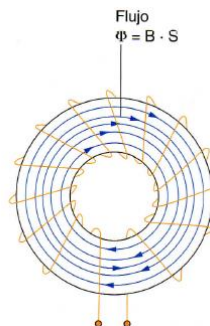
$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{L}$$



**Figura 9. Inducción en el interior de un solenoide.**

A la expresión  $\frac{N \cdot I}{L}$  se le denomina **excitación magnética o intensidad de campo (H)**, cuya unidad es el A/m. El total de líneas de inducción que atraviesan la sección del solenoide es el flujo magnético ( $\Phi$ ) cuyo valor es  $\Phi = B \cdot S$  y su unidad es el weber (Wb).

Si el solenoide es suficientemente largo comparado con su sección y se curva hasta que se unen los extremos, se denomina **toroide o anillo de Rowland** (figura X). En este caso, la inducción en cualquier punto del arrollamiento **tiene la misma expresión que la fórmula anterior, en la que (L) sería la longitud de la circunferencia media.**



**Figura 10. Toroide o anillo de Rowland.**

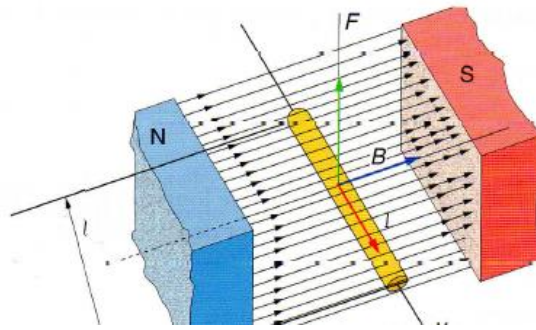
### 2.7 Interacciones electromagnéticas.

Además de las interacciones relacionadas con la generación de campos magnéticos a partir de corrientes eléctricas desarrolladas en el apartado anterior. En este apartado vamos a analizar, por una parte, las fuerzas de origen magnético sobre los conductores por los que circula una corriente como las interacciones que se dan en motores y, por otra parte, la fuerza electromotriz inducida en generadores y transformadores (Santamaría y Castejón, 2009).

**2.7.1. Fuerza electromotriz inducida sobre un conductor rectilíneo por el que circula una corriente.**

Si por un conductor de longitud (L) (Figura X) circula una intensidad (I), la fuerza será la resultante de todas las fuerzas que se ejercen sobre las cargas en movimiento dentro de él y tiene por extensión:

$$F = B \cdot L \cdot I$$

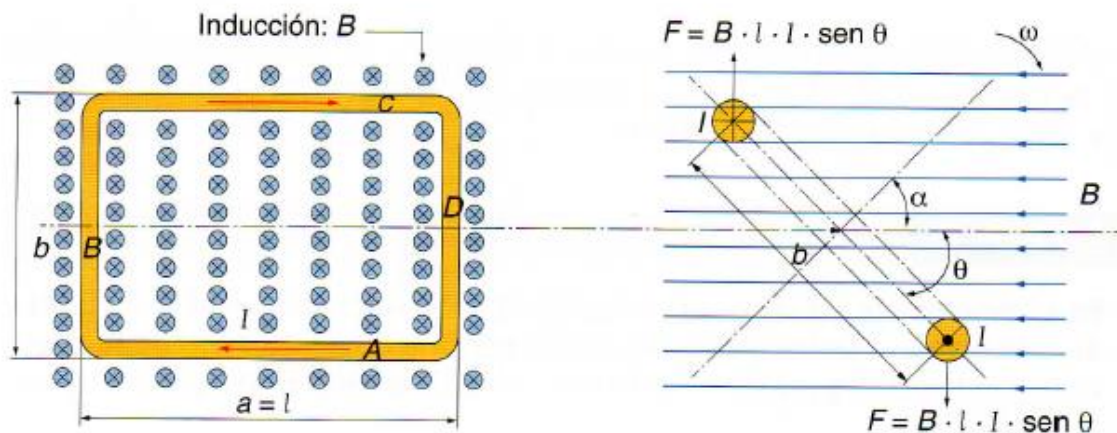


El sentido y la dirección de la fuerza lo obtendremos aplicando la regla de la mano izquierda (regla de Fleming) explicada anteriormente: el pulgar indica el sentido y dirección de la fuerza (F), el dedo índice indica el sentido de las líneas de inducción (B) y el dedo corazón en el sentido convencional de la intensidad (I)

**2.7.2. Fuerza electromotriz inducida en una espira.**

En el caso de una espira rectangular como se indica en la Figura X, solo en los lados A y C perpendiculares a la dirección del campo se produce una fuerza de valor

$$F = B \cdot L \cdot I \cdot \sin \theta$$



Las dos fuerzas iguales y de sentido opuesto dan como resultante una nula, pero, por el contrario, el par resultante es máximo cuando el ángulo es perpendicular a la superficie con la dirección del campo es de 90° (sin 90° = 1) y nulo cuando 0° (sin 0° = 0)

El sistema de fuerzas resultante da lugar a un par que, supuesta la espira en posición horizontal, obligaría a la espira a girar. El valor de este par lo da la expresión:

$$\mathbf{T} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{I} \cdot \mathbf{a} \cdot \mathbf{b} \cdot \sin \theta = \mathbf{B} \cdot \mathbf{I} \cdot \mathbf{S} \cdot \sin \theta$$

En el caso de una bobina plana con N espiras muy próximas:

$$\mathbf{T} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{I} \cdot \mathbf{N} \cdot \mathbf{S} \cdot \sin \theta$$

### 2.8 El circuito magnético: magnitudes y características.

A continuación vamos a realizar una analógica entre las magnitudes magnéticas y eléctricas con varios ejemplos:

- Sabemos que las líneas de inducción son cerradas, por lo que resulta interesante una analógica entre la **trayectoria cerrada de las líneas de flujo y la corriente eléctrica en un circuito cerrado**. El ejemplo más sencillo de **circuito magnético** lo podemos establecer con un toroide o anillo de Rowland explicado anteriormente. Las líneas de inducción quedan confinadas en el interior del mismo. Esto pasa igual en los circuitos eléctricos.
- Una espira recorrida por una corriente I es un **generador magnético**, que tiene su correspondencia con una **pila eléctrica**. Si la espira se encuentra alrededor de un anillo o toroide de material ferromagnético, el anillo **conduce el flujo magnético** creado por la espira, de la misma manera que un conductor metálico, conectado con los bornes de la pila, conduciría corriente eléctrica.

Siguiendo este razonamiento podemos establecer una analogía formal entre las magnitudes eléctricas y magnéticas en la Tabla X:

Magnitudes eléctricas	Magnitudes magnéticas
Campo eléctrico (E )	Campo magnético (H)
Conductividad ( $\sigma$ )	Permeabilidad ( $\mu$ )
Potencial eléctrico (V)	Potencial magnético ( $\Psi$ )
Corriente eléctrica (I)	Flujo de inducción ( $\Phi$ )
Densidad de corriente (J)	Densidad de flujo (B)
Resistencia eléctrica ( R )	Reluctancia ( $R_M$ )
Fuerza electromotriz ( $\mathcal{E}$ )	Fuerza magnetomotriz ( $F_M$ )

## 2.9 Conclusión (mitad cara de un folio)

- En este tema se han expuesto los contenidos relacionados con el módulo de XX que se imparte en el 1º / 2º del curso del ciclo de grado medio/superior de XX. Destacamos...  
**Remarcar los puntos más importantes de aquello que e ha expuesto en el tema.**
- **A lo largo del tema, se han proporcionado múltiples ejemplos sobre los contenidos del tema. Estos ejemplos** tienen la intención de ilustrar la teoría, buscando lograr una mejor comprensión del tema, y facilitar la adhesión de los conceptos principales. Además de acercar los
- **Este tema se relaciona con los módulos XX/** El contenido es transversal, es decir, sirve como base para varios módulos. **importancia del tema para el alumnado, relación con otros módulos, etc**
- **Implicaciones didácticas: visión profesional** – El presente tema adquiere una especial importancia ya que se estudian procesos, instrumentos y herramientas fundamentales para la formación de un técnico/a (superior) en el sector eléctrico que sea capaz de entender, montar y mantener instalaciones eléctricas de baja tensión, aplicando normativa y reglamentación vigente, protocolos de calidad, seguridad y riesgos laborales. Como elemento de interés innovador y motivador utilizaremos las TIC en el desarrollo de algunas sesiones.
- **Enlazar tema con nuevos temas que den pie a reflexión, debate y análisis.** En el índice de este tema se hubiera podido incluir, etc.

## 2.10 Bibliografía

- Electrotecnia. Pablo Alcalde San Miguel. Editorial Paraninfo. 2014
- Electrotecnia. Germán Santamaría y Agustín Castejón. Editorial EDITEX. 2009
- Teoría de circuitos eléctricos. Rafael Sanjurjo. Editorial McGraw Hill. 1997
- Problemas de Electrotecnia. Jesús Fraile Mora. Departamento de publicaciones ETSIT.

-

## 2.11 Webgrafía

- <https://mgmdenia.wordpress.com/>
- <https://www.todamateria.com/electromagnetismo/>