

# Bloque I. Introducción a la electricidad y el magnetismo

---

Tema I. Electromagnetismo.



Universidad  
Rey Juan Carlos

M<sup>a</sup> Jesús Algar Díaz  
José San Martín

Ángel Serrano Sánchez de León

1. Campo eléctrico
  - 1.1 Carga eléctrica.
  - 1.2 Ley de Coulomb.
  - 1.3 Campo eléctrico
  - 1.4 Potencial eléctrico.
  - 1.5 Flujo eléctrico: Teorema de Gauss.
2. Condensadores
  - 2.1 Condensador plano.
  - 2.2 Capacidad de un condensador.

## 3. Campo magnético.

3.1 Fuerzas magnéticas.

3.2 Creación de campo magnético.

3.3 Ley de Ampere.

3.4 Campo eléctrico vs Campo magnético.

## 4. Inducción magnética.

4.1 Flujo magnético. Experimentos de Faraday.

4.2 Fuerza electromotriz inducida. Leyes Faraday-Lenz.

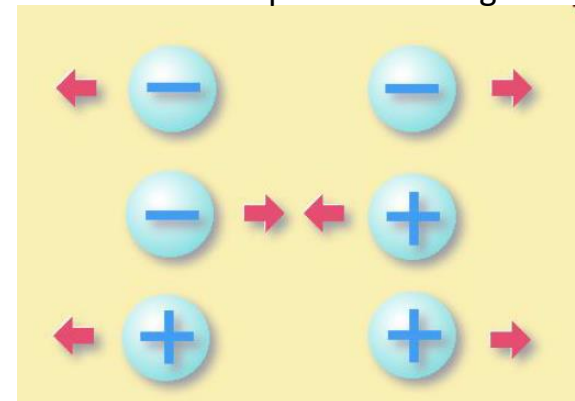
4.3 Inductancia.

# I. Campo eléctrico.

## 1.1 Carga eléctrica.

- **Carga eléctrica:** propiedad intrínseca de algunas partículas. Podemos clasificarla como:
  - + ➡ **carencia** de  $e^-$ .
  - - ➡ **exceso** de  $e^-$ .
- **Unidad de carga eléctrica** en SI: Culombio (C)
  - Cantidad de carga transportada por  $I = 1A$  en 1s.
- Carga elemental:  $e^- = 1,602564 \times 10^{-19} \text{ C}$ 
  - La carga eléctrica está **cuantizada** (no puede tomar cualquier valor)
- **Ley de conservación de la carga:** los  $e^-$  se transfieren de un cuerpo a otro.

Atracción – repulsión de cargas



[https://es.wikipedia.org/wiki/Carga\\_el%C3%A9ctrica](https://es.wikipedia.org/wiki/Carga_el%C3%A9ctrica)

# I. Campo eléctrico.

## 1.2 Ley de Coulomb

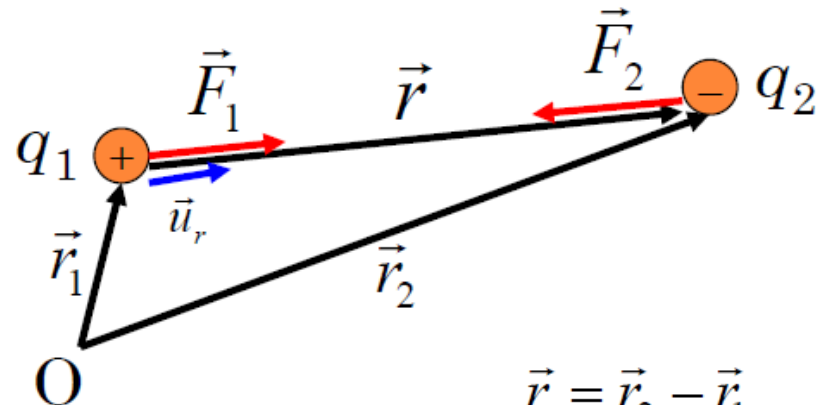
- Ley de Coulomb:** La **fuerza** de atracción o repulsión entre dos **cargas puntuales** ( $q_1$  y  $q_2$ ) es directamente proporcional al producto de las dos cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.

$$\vec{F} = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_r$$

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

$K$  = constante de proporcionalidad  
 $= 9 \times 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$

$\epsilon_0$  = permitividad del vacío =  
 $8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$



$$\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$$

$$\vec{u}_r = \frac{\vec{r}}{r}$$

- Principio de superposición:** fuerza que ejercen  $n$  cargas sobre  $Q$ , suma vectorial.

# I. Campo eléctrico.

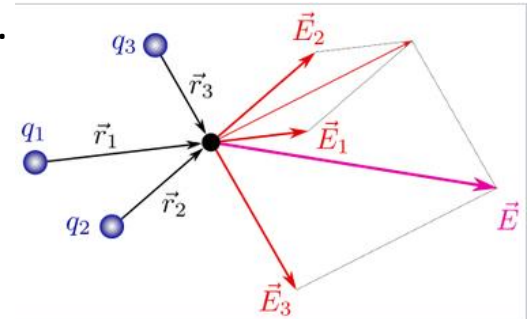
## 1.3 Campo eléctrico.

- $\exists$  **campo eléctrico** en una región del espacio cuando una carga eléctrica colocada en un punto experimenta una fuerza eléctrica.

- Fuerza eléctrica vs Campo Eléctrico ( $\text{N C}^{-1}$  ( $\text{V m}^{-1}$ ))

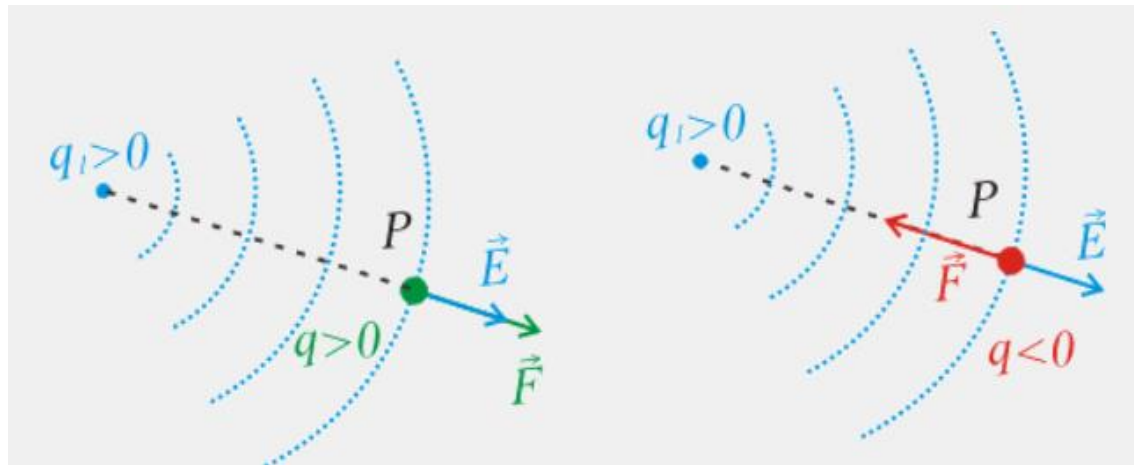
$$\vec{F} = q\vec{E}$$

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r$$



- Propiedades: **central** y **conservativo**
- Fuerza central que se origina = **ley de Coulomb**.

[https://es.wikipedia.org/wiki/Campo\\_el%C3%A9ctrico](https://es.wikipedia.org/wiki/Campo_el%C3%A9ctrico)



# I. Campo eléctrico.

## 1.4 Potencial eléctrico.

- **Potencial electrostático** en un punto A: **trabajo** que hay que realizar en **contra** del **campo** eléctrico para trasladar una unidad de carga positiva desde el infinito hasta el punto A.

- Unidad: Voltios (V)

$$V_A = \frac{W^A}{q} = \int_{\infty}^A \vec{E} \cdot d\vec{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r_A}$$

- Diferencia de potencial electrostático entre dos puntos:

$$V_B - V_A = \frac{W^{AB}}{q} = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right)$$

$$\frac{W_{\text{campo}}^{AB}}{q} = -\frac{W_{\text{contra}}^{AB}}{q} = -(V_B - V_A) = V_A - V_B = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right)$$

$W_{\text{campo}} < 0 \rightarrow$  campo eléctrico **junta** las cargas

$W_{\text{campo}} > 0 \rightarrow$  campo eléctrico **aleja** las cargas

# I. Campo eléctrico.

## 1.4 Potencial eléctrico.

- **Energía Potencial eléctrica** en un punto A de un campo eléctrico: trabajo realizado por la fuerza central para trasladar su punto de aplicación desde el infinito hasta A.

- Unidad: Julios (J)

$$E_P^A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{r_A} = qV_A$$

$E_P^A \neq V_A$   
Ambos son escalares

- **Variación de Energía Potencial eléctrica** entre dos puntos A y B

$$W_{\text{campo}}^{AB} = -(E_P^B - E_P^A) = E_P^A - E_P^B = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right)$$

- Si  $Q > 0$  y  $q > 0 \rightarrow W_{\text{campo}}^{AB} > 0$  (lo realiza el campo eléctrico)
- Si  $Q < 0$  y  $q < 0 \rightarrow W_{\text{campo}}^{AB} > 0$  (lo realiza el campo eléctrico)
- Si  $Q$  y  $q$  son de signo opuesto  $\rightarrow$  se atraen, el trabajo lo realiza una fuerza externa para separarlas.



No depende del camino ¡sólo posición inicial y final!



# I. Campo eléctrico.

## 1.5 Flujo eléctrico: Teorema de Gauss.

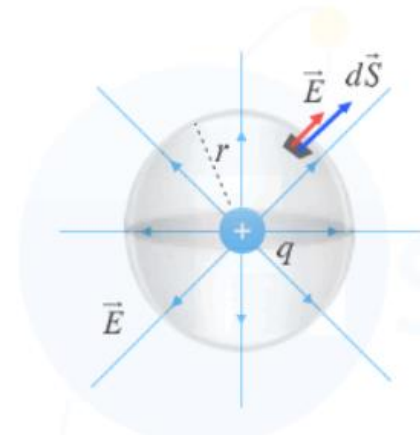
- **Flujo eléctrico** = nº de líneas de E que atraviesan una superficie.
  - Magnitud **escalar**
  - **Independiente** del **radio** de la esfera
  - Unidades: **N m<sup>2</sup> C<sup>-1</sup> (V m)**

$$\phi = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

- Si el campo es uniforme a lo largo de la superficie

$$\phi = \vec{E} \cdot \vec{S} = ES \cos \theta$$

- **Teorema de Gauss:** el flujo total de un campo eléctrico a través de una superficie cerrada es igual al cociente entre la suma de las cargas dentro del volumen encerrado por la superficie y la permitividad del vacío  $\epsilon_0$ .



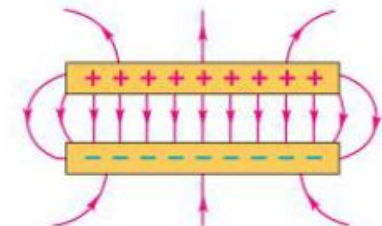
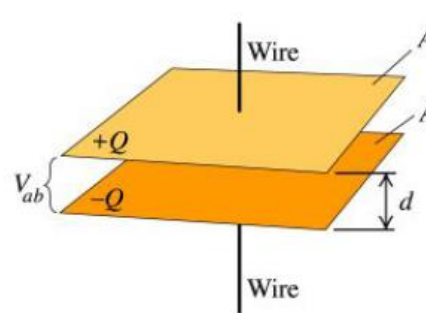
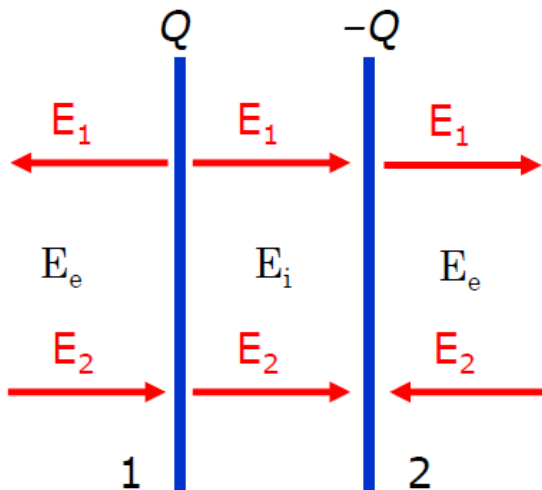
<https://www.fisicalab.com/apartado/teorema-gauss>

$$\phi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{\sum Q_i}{\epsilon_0}$$

## 2. Condensadores.

### 2.1 Condensador plano

- Definición: dispositivo que almacena energía eléctrica en pequeñas cantidades.
  - 2 superficies conductoras separadas por material aislante (dieléctrico)
  - Sometido a d.d.p.  $\rightarrow$  placas adquieren carga eléctrica de polaridad opuesta.



Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.

## 2. Condensadores.

### 2.2 Capacidad de un condensador

- Definición: relación que existe entre la diferencia de potencial entre las placas y la carga almacenada.

$$C = \frac{Q_1}{V_1 - V_2} = \frac{Q_2}{V_2 - V_1}$$

- Unidad: Faradios (**F**)
  - $\mu\text{F}$ :  $10^{-6}$
  - $\text{nF}$ :  $10^{-9}$
  - $\text{pF}$ :  $10^{-12}$

**F** es una unidad  
muy grande

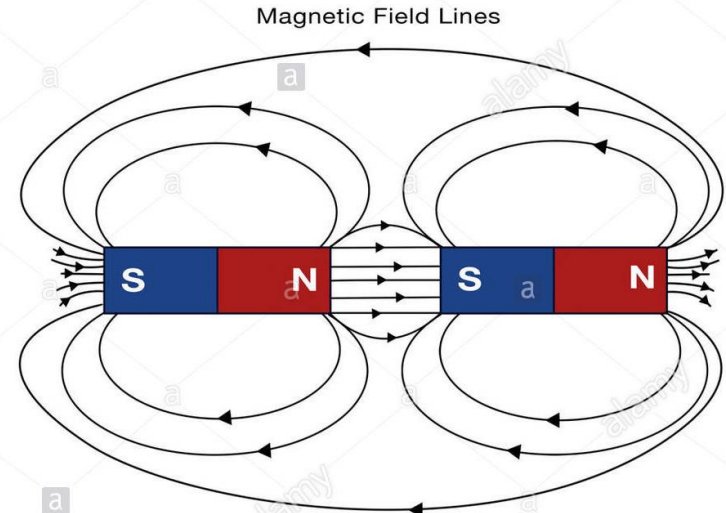


- Se demuestra que la capacidad de un condensador sólo va a depender de la **geometría** de las dos placas y de la **separación** entre ambas.

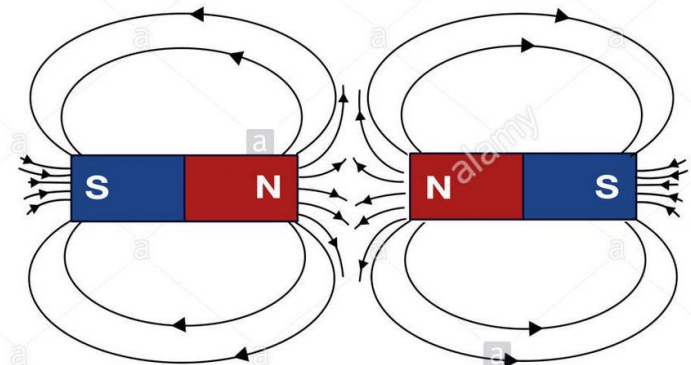
# 3. Campo magnético.

## 3.1 Fuerzas magnéticas

- **Campo magnético:** cuando en una región interactúan fuerzas magnéticas.
  - Algunos cuerpos tienen características magnéticas.
- Tesla (T)
- Polos magnéticos: máxima atracción en los extremos del cuerpo.
  - N-S (orientación según los polos geográficos de la Tierra).
- Propiedad fundamental:
  - polos del **mismo tipo** se **repelen**
  - polos **contrarios** se **atraen**.
- Líneas de campo
- Fuentes del campo magnético → corriente eléctrica (**cargas en movimiento**)
  - Fuentes del campo eléctrico → cargas eléctricas



Opposite Poles Attract



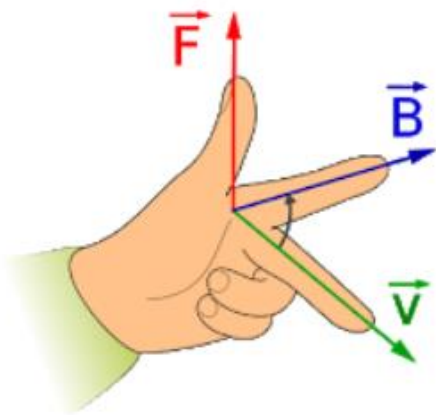
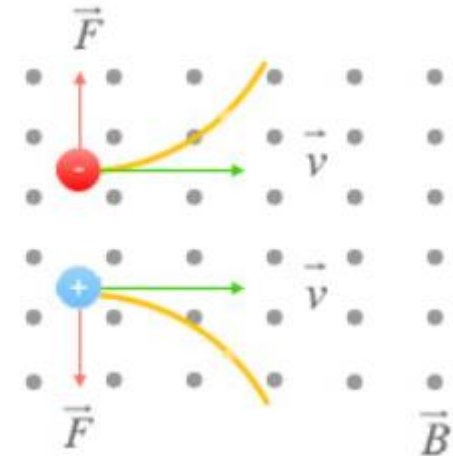
Like Poles Repel

# 3. Campo magnético.

## 3.1.1 Fuerza magnética sobre una carga en movimiento (Fuerza de Lorentz)

- Fuerza de Lorentz:** carga  $q$  con una velocidad  $\vec{v}$  en el interior de un campo magnético, sufre una fuerza de origen magnético.

$$\vec{F} = q (\vec{v} \times \vec{B})$$



- $\vec{F}$  es siempre  $\perp \vec{B}$  y  $\vec{v}$ . Es proporcional a  $q$  y  $|\vec{v}|$ .
- Depende de la dirección que lleve la carga
  - $\vec{v} \parallel \vec{B} \rightarrow \vec{F} = 0$
  - $\vec{v} \perp \vec{B} \rightarrow \vec{F}$  máxima
- En general,  $|\vec{F}|$  dependerá del ángulo  $\alpha$  de incidencia:
 
$$|\vec{F}| = q v B \sin \alpha$$

# 3. Campo magnético.

## 3.2 Creación de campo magnético.

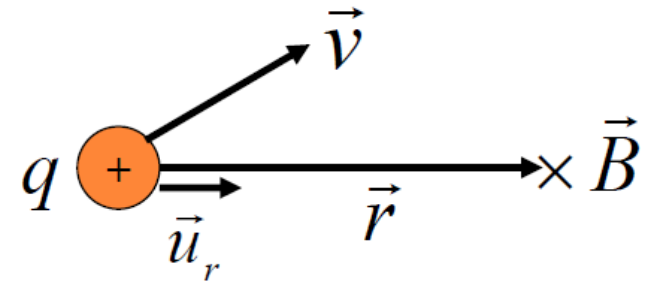
### 3.2.1 Por una carga en movimiento.

- Carga puntual  $q$  con velocidad  $\vec{v}$ , produce un campo magnético:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q}{r^2} \vec{v} \times \vec{u}_r$$

- Propiedades:

- $\vec{B}$  es  $\perp$  a  $\vec{v}$  y  $\vec{r}$ .
- $\vec{B} = \mathbf{0}$  cuando  $\vec{v} \parallel \vec{r}$
- $|\vec{B}|$  proporcional a  $q$  y  $v$  e inversamente proporcional a  $r^2$



$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A} \text{ (permeabilidad del vacío)}$$

## 3. Campo magnético.

### 3.3 Ley de Ampere.

- La **circulación** del **campo magnético** a lo largo de una **línea cerrada NO** es **cero** como en los campos conservativos.
  - Es **proporcional** a la **corriente** eléctrica que encierra.
- Equivalente magnético de la ley de Gauss.

$$\oint B \cdot dl = \int_0^{2\pi d} B \cdot dl = \int_0^{2\pi d} B \cdot dl \cdot \cos \alpha = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi d} \int_0^{2\pi d} dl = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi d} 2\pi d = \mu_0 \cdot I$$

# 3. Campo magnético.

## 3.4 Campo eléctrico vs Campo magnético.

Campo eléctrico	Campo magnético
Una carga eléctrica crea un campo eléctrico	Una carga eléctrica en MOVIMIENTO crea un campo magnético
Una carga eléctrica en un campo eléctrico experimenta una fuerza de origen eléctrico ejercida por el campo	Una carga eléctrica en MOVIMIENTO en un campo magnético experimenta una fuerza de origen magnética ejercida por el campo
$\vec{F}_{elec} \parallel \vec{E}$	$\vec{F}_{mag} \perp \vec{B}$



Un campo magnético SOLO ACTÚA sobre CARGAS EN MOVIMIENTO o CORRIENTES, mientras que un campo eléctrico lo hace sobre cualquier carga eléctrica

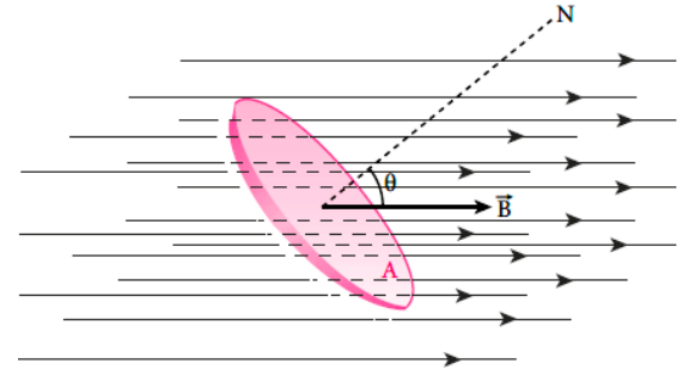


# 4. Inducción magnética.

## 4.1 Flujo magnético. Experimentos de Faraday

- **Flujo magnético** = número de líneas de  $\vec{B}$  que atraviesan una superficie.

- Unidad: Weber (**Wb**) =  $T m^2 = Vs$

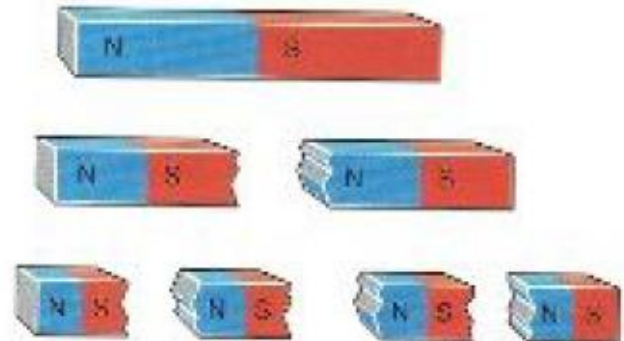


- Líneas de  $\vec{B}$  son cerradas  $\rightarrow$  líneas que entran = líneas que salen en superficie cerrada.

$$\phi = \oint_A \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

(Ley de Gauss para el magnetismo)

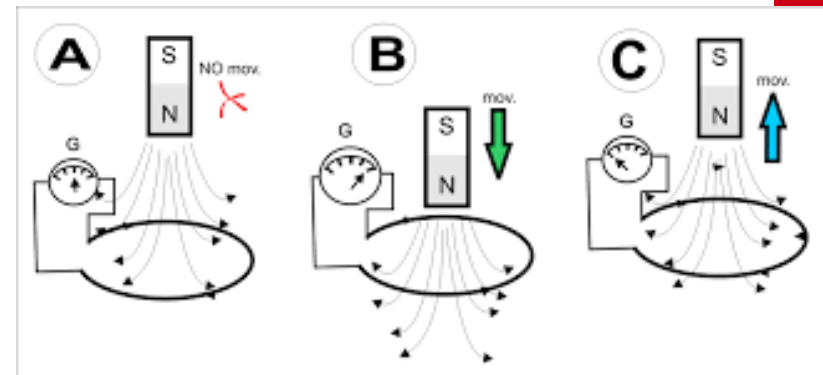
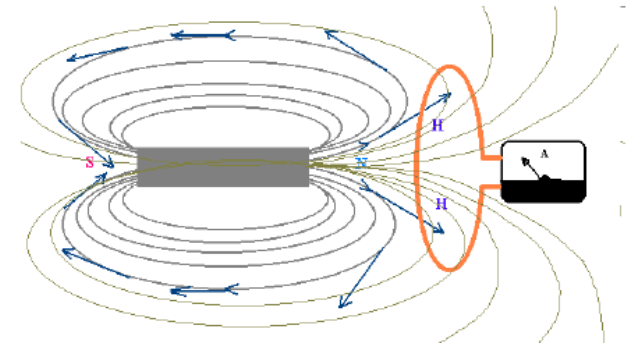
- Consecuencia:  $\nexists$  monopolos magnéticos.



# 4. Inducción magnética.

## 4.1 Flujo magnético. Experimentos de Faraday

- Experimento:
  - La espira permanece quieta.
  - Imán se acerca y se aleja.
- Resultados:
  - Imán se acerca: aparece  $\vec{I}$  (> cuanto más rápido es el movimiento).
  - Imán se aleja: aparece  $\vec{I}$  (sentido contrario)
  - Imán quieto: desaparece  $\vec{I}$
  - Giramos el imán: ocurre lo mismo (signos cambiados).
  - Si el imán se deja quieto y se mueve la espira: mismo resultado.
- Conclusiones: Movimiento del imán/espira  $\vec{I}$  inducida.
  - Inductor / inducido



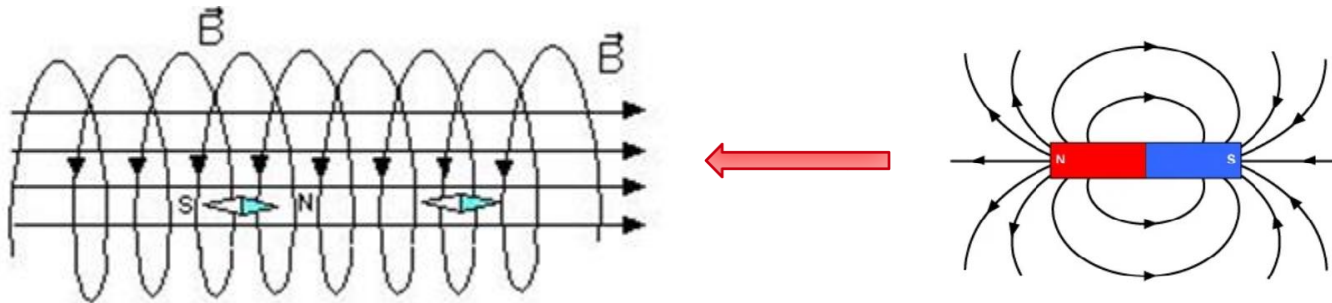
# 4. Inducción magnética.

## 4.2 Fuerza electromotriz inducida. Leyes Faraday-Lenz.

- Campo magnético variable (flujo)  $\Rightarrow$  fem inducida  $\Rightarrow$  corriente
- **Ley de Faraday:** corriente inducida por una fem inducida es directamente proporcional a la velocidad con que varía el flujo y el número de espiras del inducido. Unidad: voltios (V).

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi}{dt}$$

- **Ley de Lenz:** sentido de la corriente inducida tal que se opone a la causa que la origina.



# 4. Inducción magnética.

## 4.3 Inductancia.

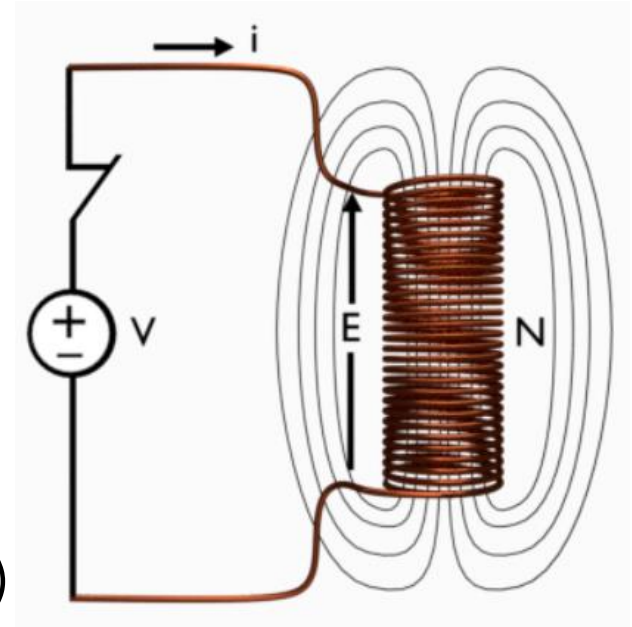
- Circuito con interruptor, arrollamiento y pila.

Cerramos interruptor  $\rightarrow$  circula  $\vec{I}$ .

Generar un  $\vec{B}$  que atraviesa arrollamiento

Flujo magnético variable

Induce otra  $\vec{I}$  (sentido contrario  $\rightarrow$  signo -)



- Autoinductancia, inductancia propia o inductancia: L

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} = -L \frac{dI}{dt}$$

El signo significa que se opone.



- Unidad: Henrio (H).

- Lectura recomendada:
  - [https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\\_at%C3%B3mico\\_de\\_Bohr](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_at%C3%B3mico_de_Bohr)
  - J.V. Míguez, F. Mur, M. A. Castro y J. Carpio, Fundamentos físicos de la ingeniería, e.d. McGraw Hill, capítulos 1 y 3.
  - L. Montoto, Fundamentos Físicos de la Informática y las Comunicaciones, e.d. Thomson, capítulo 1.
  - P.A. Tipler y G. Mosca, Física para la Ciencia y Tecnología, Vol. II, e.d. Reverté, 6ª edición, parte IV.
  - <https://www.fisicalab.com/apartado/ley-de-lorentz>
  - J.V. Míguez, F. Mur, M. A. Castro y J. Carpio, Fundamentos físicos de la ingeniería, e.d. McGraw Hill, capítulos 4 y 5.

- L. Montoto, Fundamentos Físicos de la Informática y las Comunicaciones, e.d. Thomson, capítulo 5.
- P.A. Tipler y G. Mosca, Física para la Ciencia y Tecnología, Vol. II, e.d. Reverté, 6ª edición, parte IV.
- Vídeos:  
<https://www.youtube.com/watch?v=uj0DFDfQajw>  
<https://www.youtube.com/watch?v=wvRn-K1wT4A> (fuerzas sobre elementos de corriente)  
[https://www.youtube.com/watch?v=PT9bh\\_BrX9M](https://www.youtube.com/watch?v=PT9bh_BrX9M) (experimento de Faraday)