

# **INDUCCION ELECTROMAGNÉTICA**

## **9. LEY DE FARADAY**

Se estudian los campos eléctricos que se originan a partir de campos magnéticos variables y su aplicación.

## **9. Ley de Faraday**

9.1. Introducción. Experiencias de Faraday.

9.2. Ley de Faraday

9.3. Ley de Lenz

9.4. Estudio cuantitativo de la inducción

9.5. Fuerza electromotriz producida por movimiento

9.6. Fuerza electromotriz producida por una bobina rotante

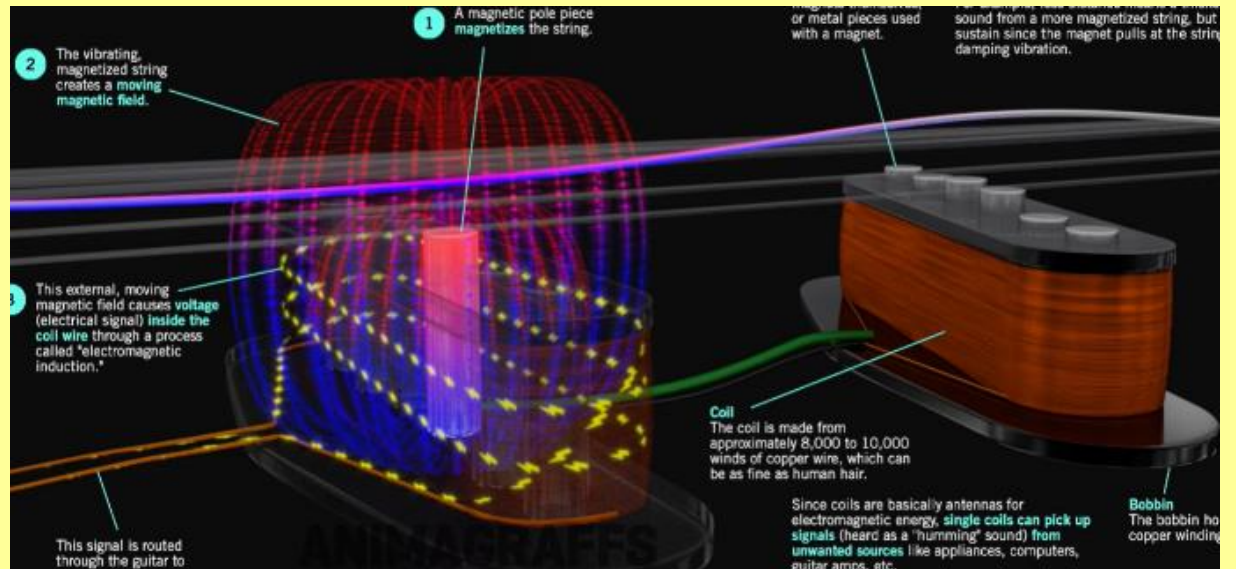
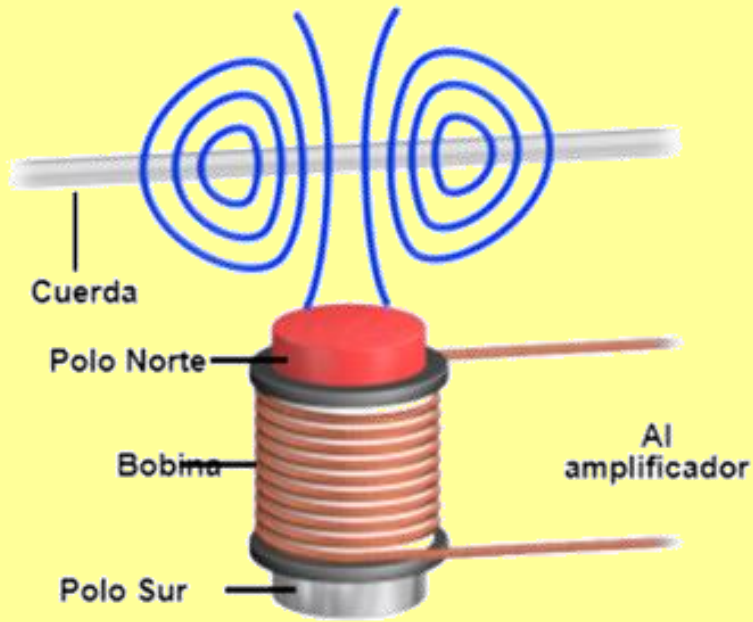
9.6.1. Generador de corriente alterna

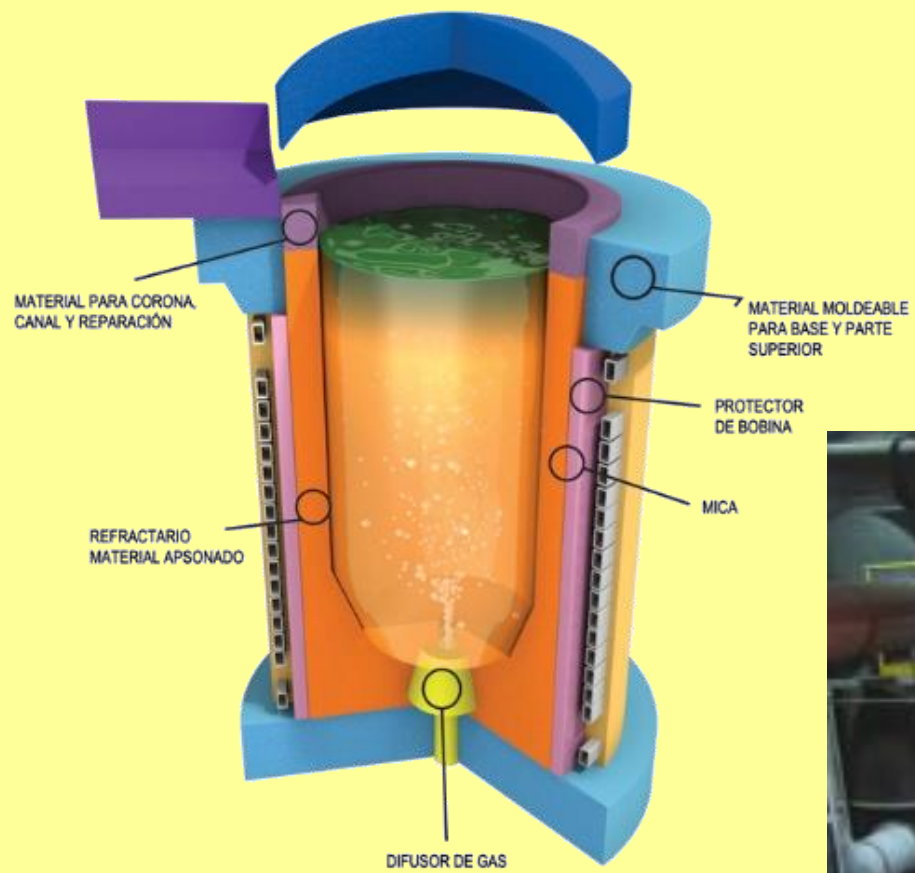
9.6.2. Generador de corriente continua

9.7. Ley de Ampere–Maxwell.

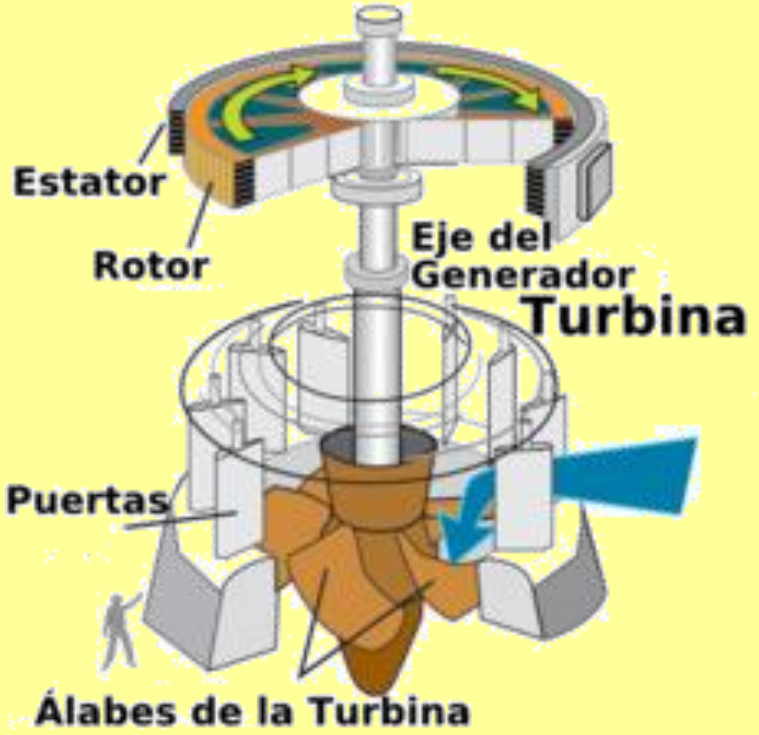
9.8. Ecuaciones de Maxwell en el vacío

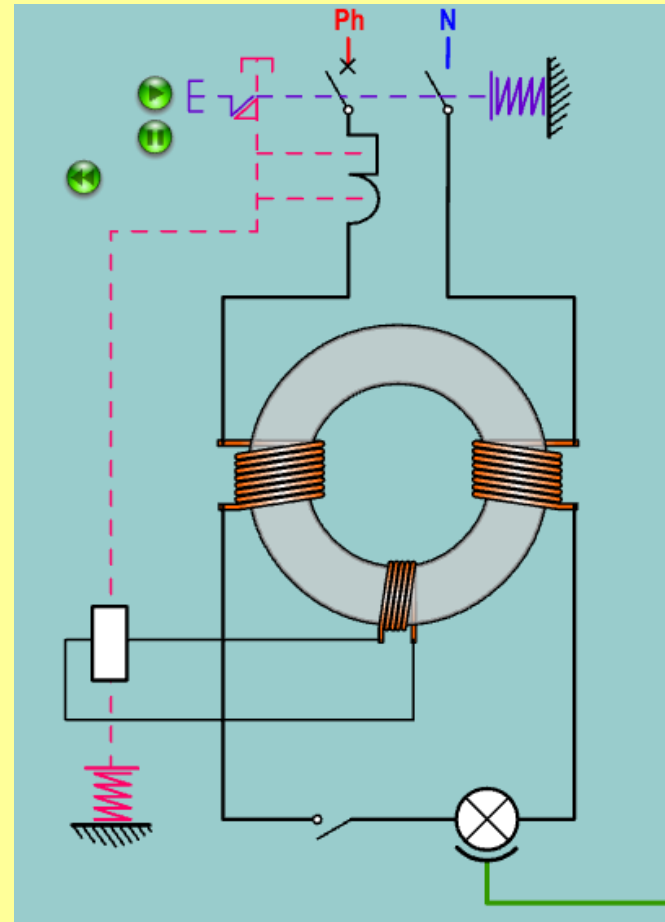
9.9. Ejemplos y aplicaciones

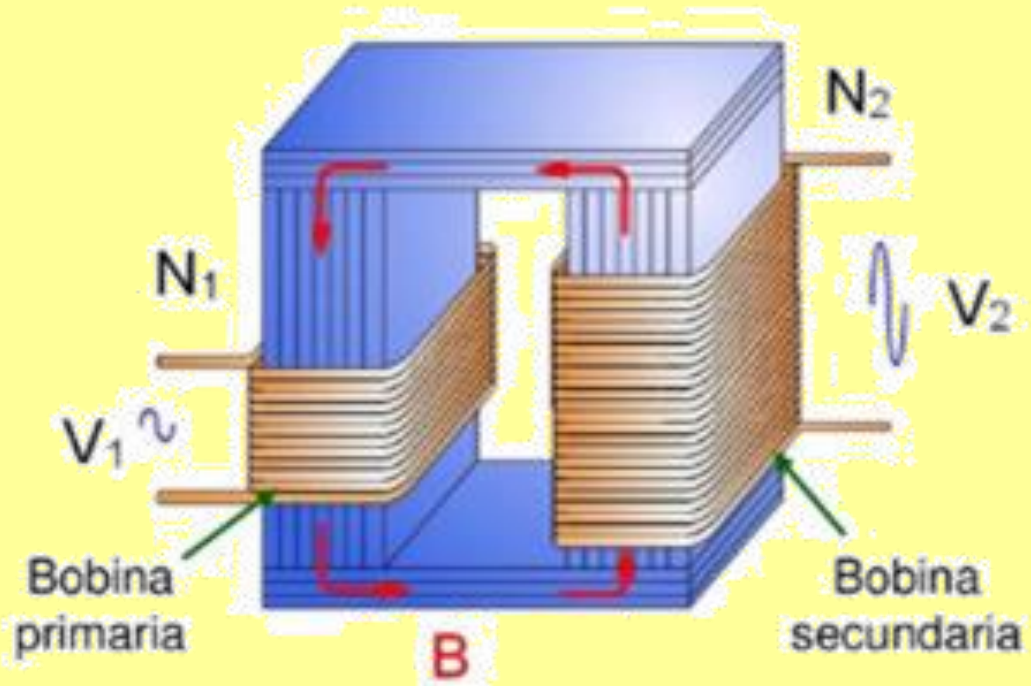


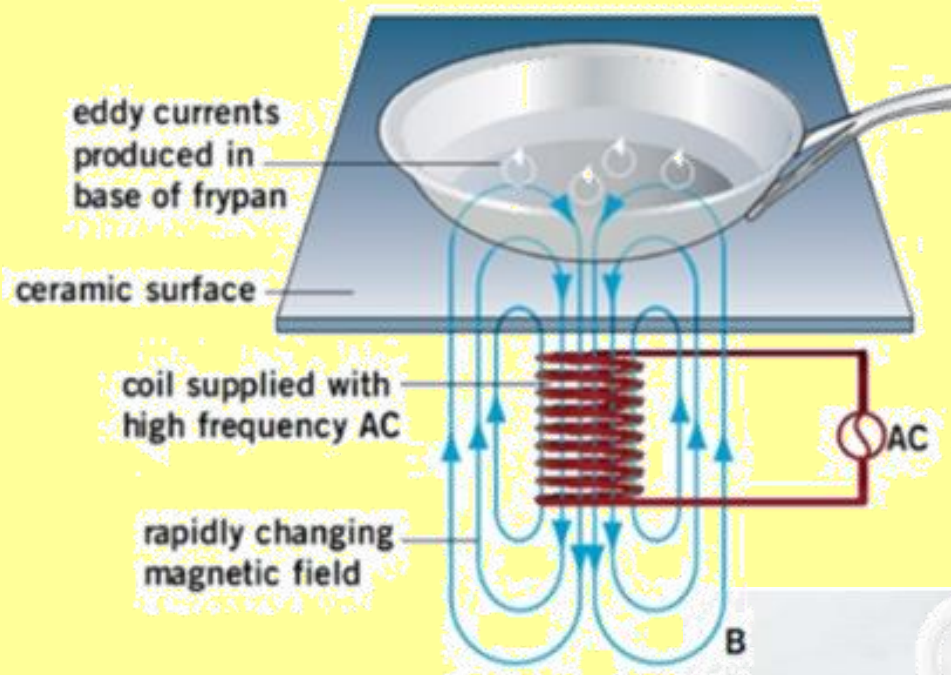


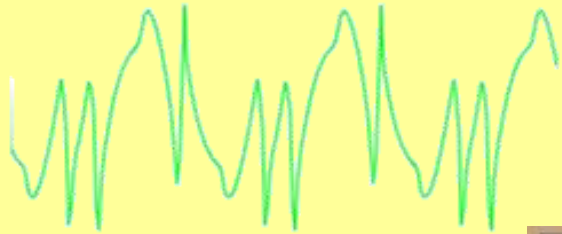
# Generador

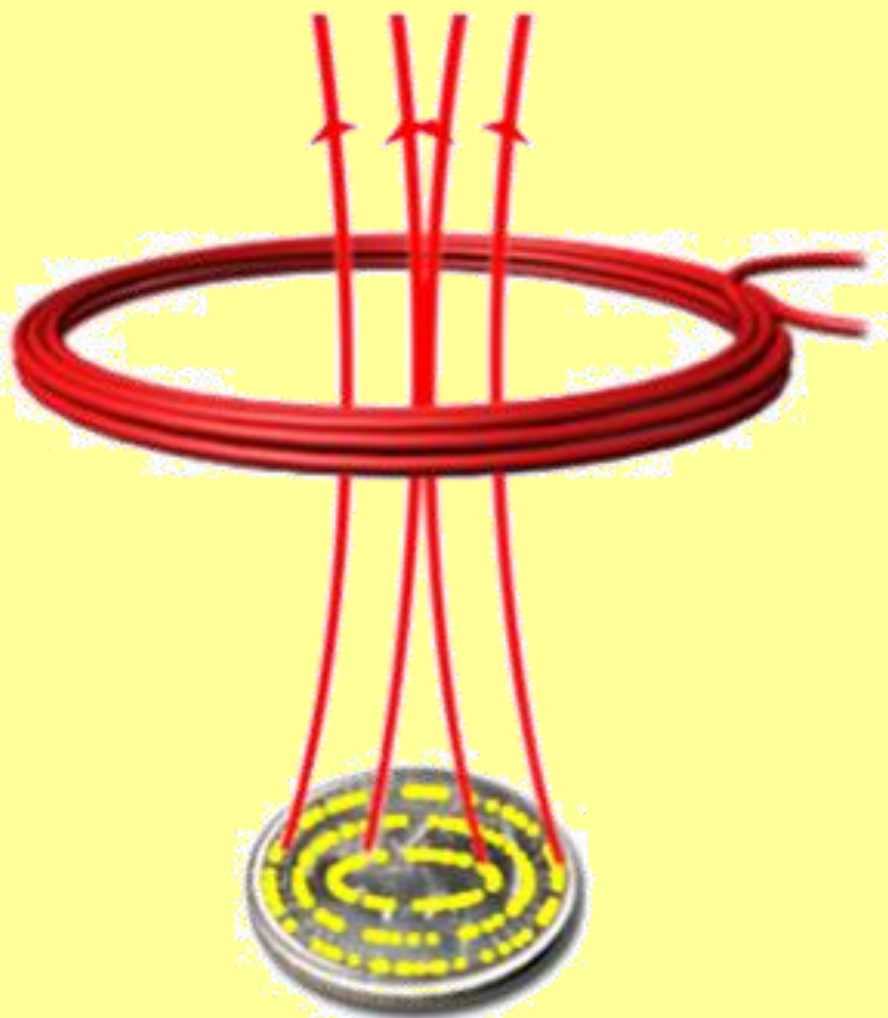


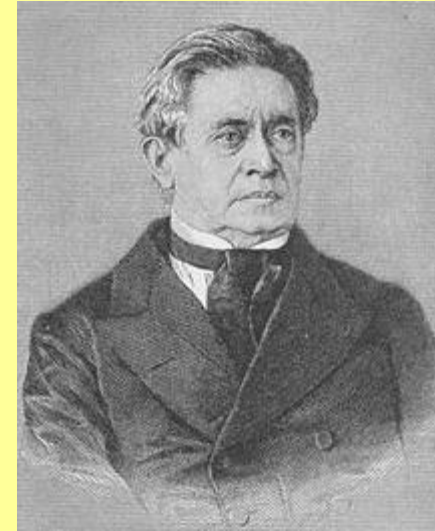
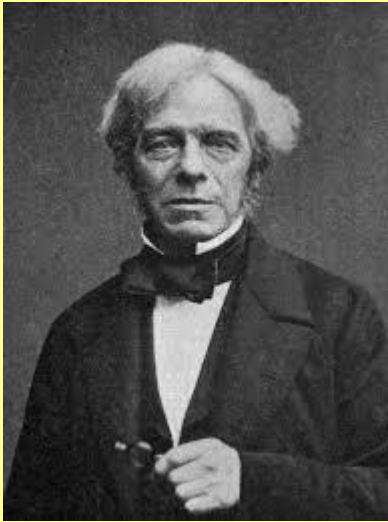








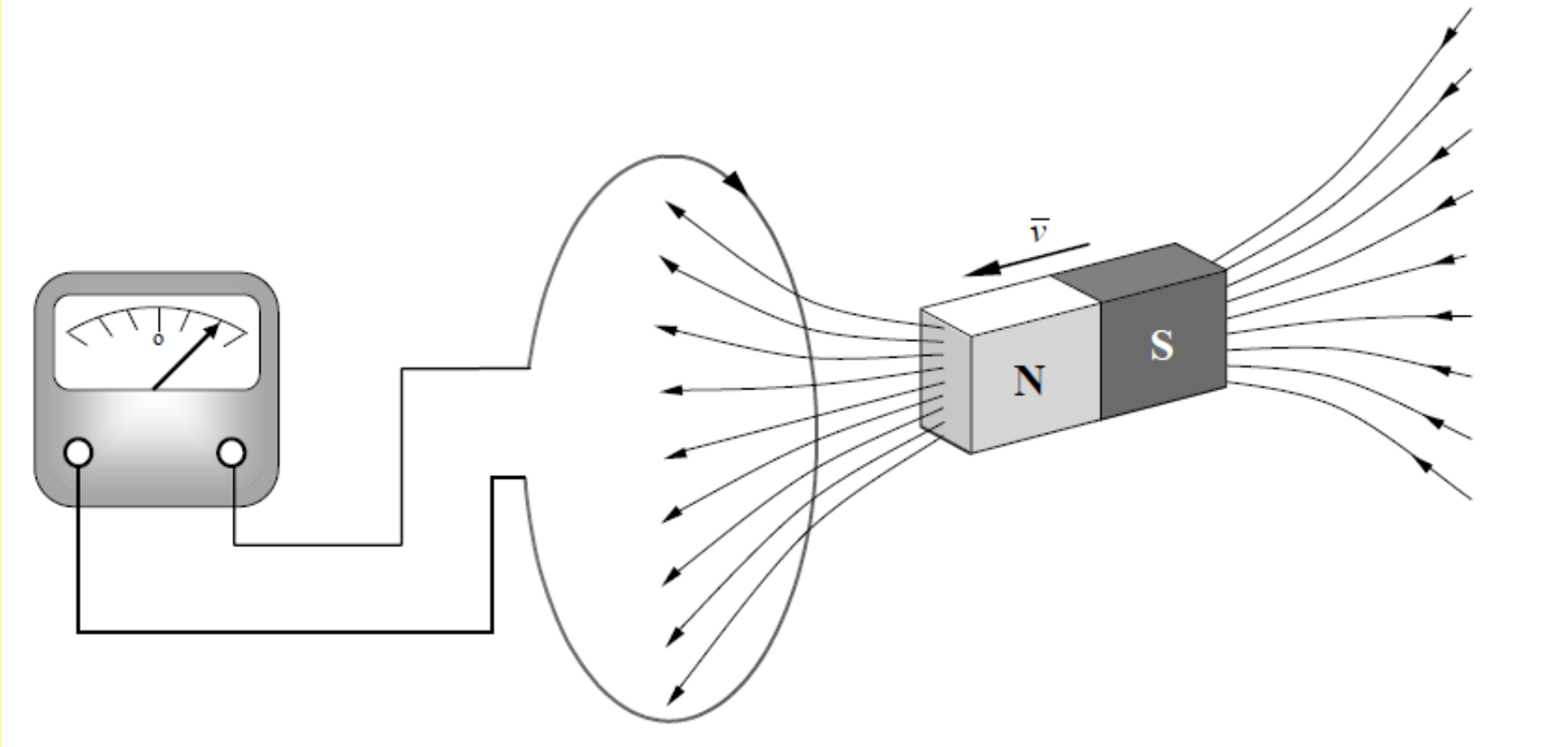




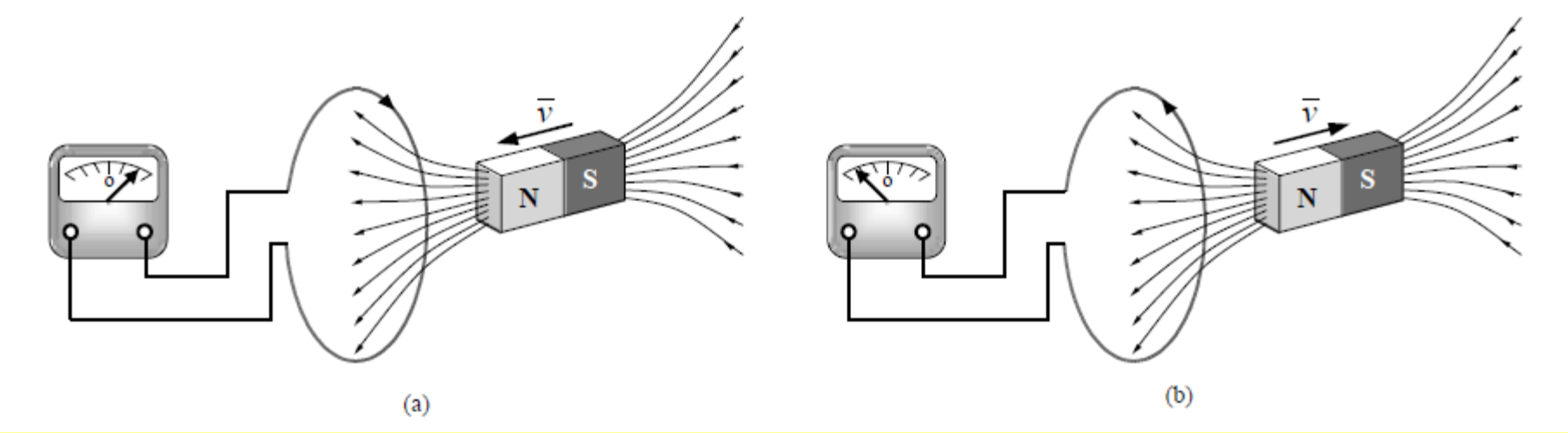
**MICHAEL FARADAY** (1791-1867), fue un físico y químico británico que estudió el electromagnetismo y la electroquímica. Sus principales descubrimientos incluyen la inducción electromagnética, diamagnetismo y la electrólisis.

**JOSEPH HENRY** (1797 – 1878) fue un físico estadounidense conocido por su trabajo acerca del electromagnetismo, en electroimanes y relés. Descubrió la inducción electromagnética

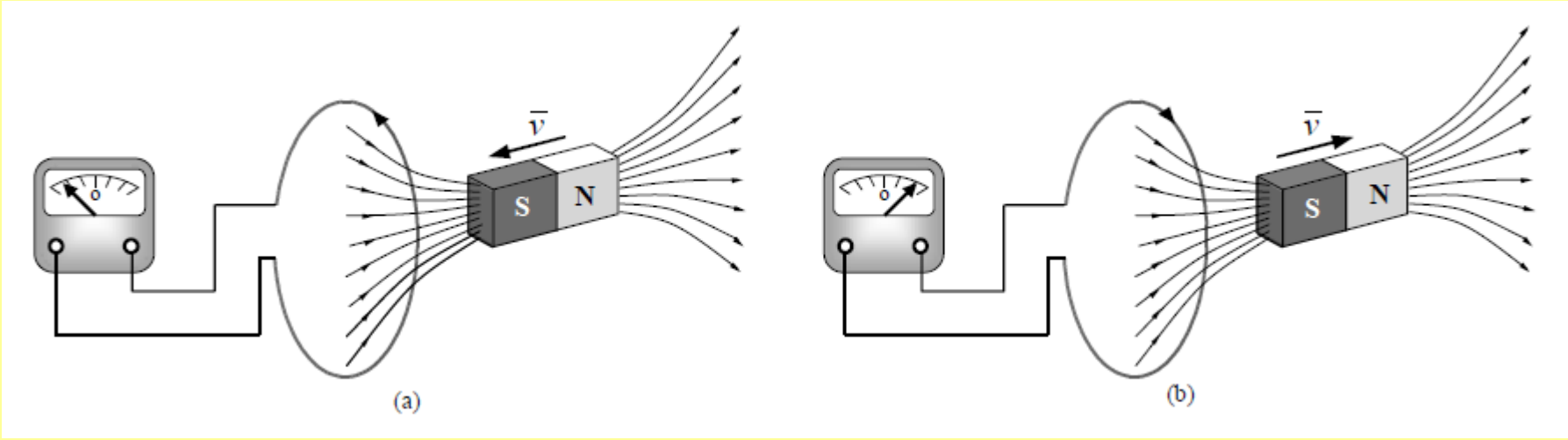
# Ley de FARADAY (Experiencia 1)



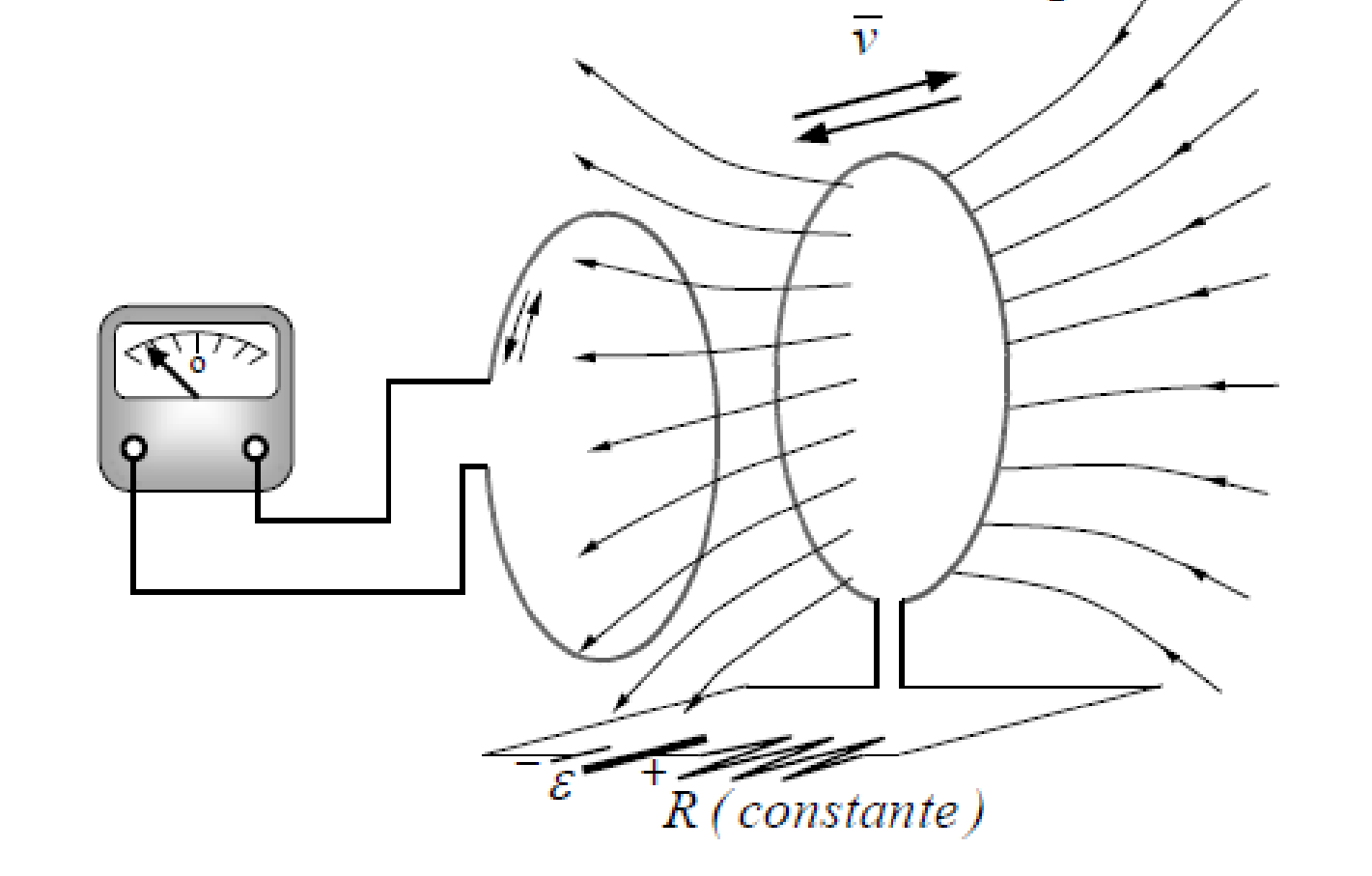
# Ley de FARADAY (Experiencia 1)



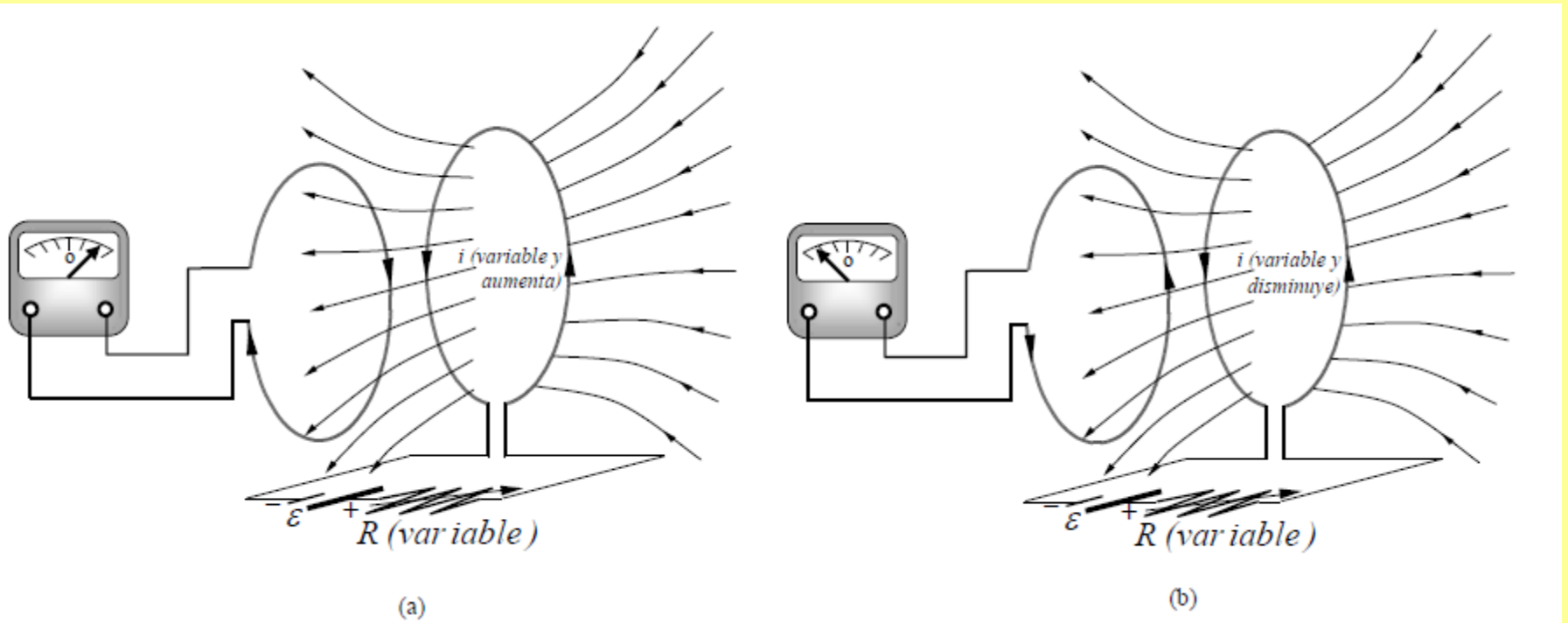
# Ley de FARADAY (Experiencia 1)



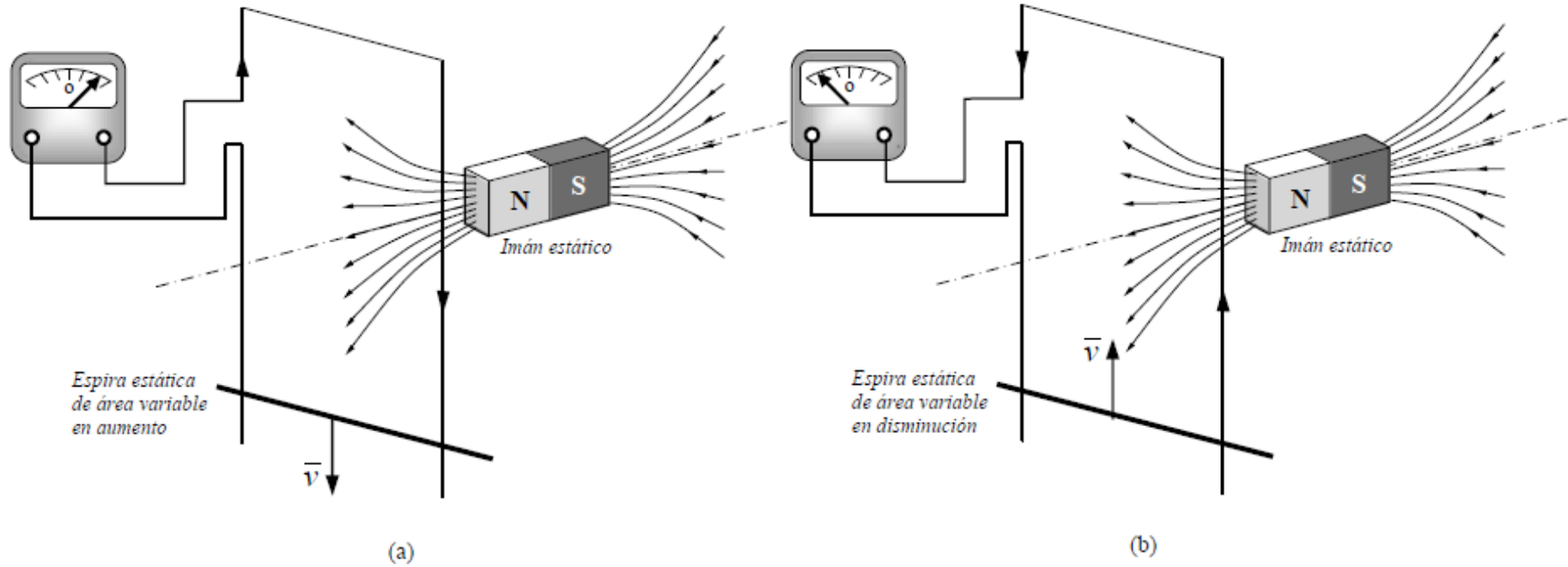
Ley de FARADAY (Experiencia 2)



## Ley de FARADAY (Experiencia 3)



## Ley de FARADAY (Experiencia 4)



## Ley de FARADAY

La ley de la inducción de Faraday expresa que el **valor de la fuerza electromotriz inducida, que provoca la corriente inducida en un circuito, es igual a la velocidad de variación del flujo magnético concatenado por el circuito**, con signo menos, es decir

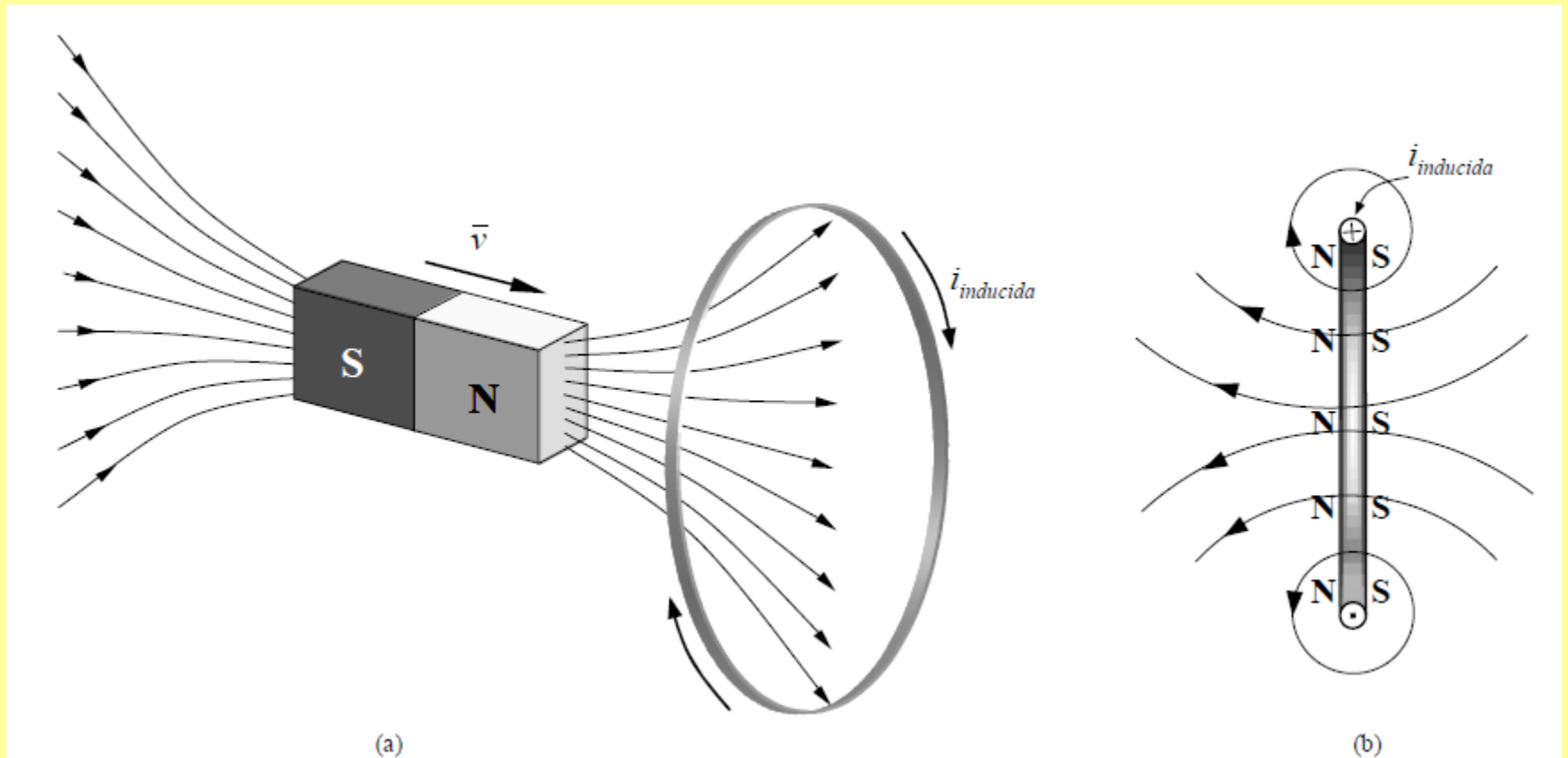
$$\varepsilon = - \frac{d\phi_B}{dt} \quad \text{para una espira}$$

$$\varepsilon = - N \frac{d\phi_B}{dt} \quad \text{para una bobina con } N \text{ espiras suponiendo}$$

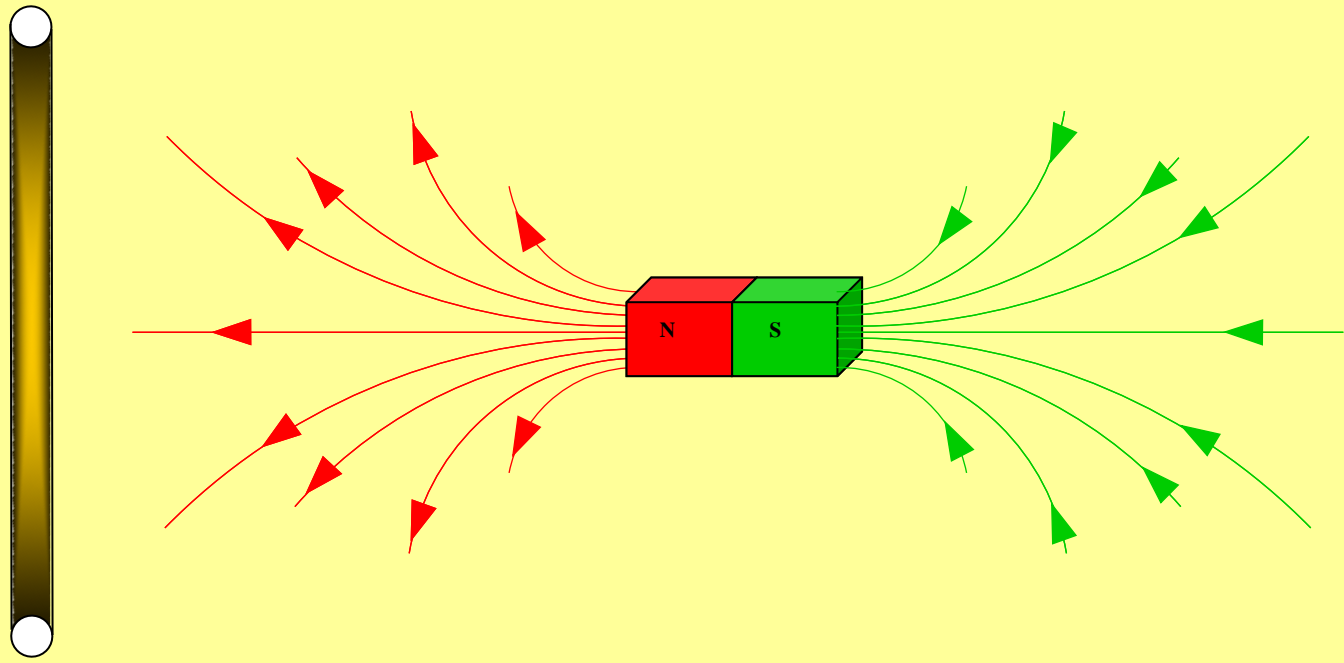
que todas las espiras concatenan el mismo flujo  $\phi_B$

## Ley de LENZ

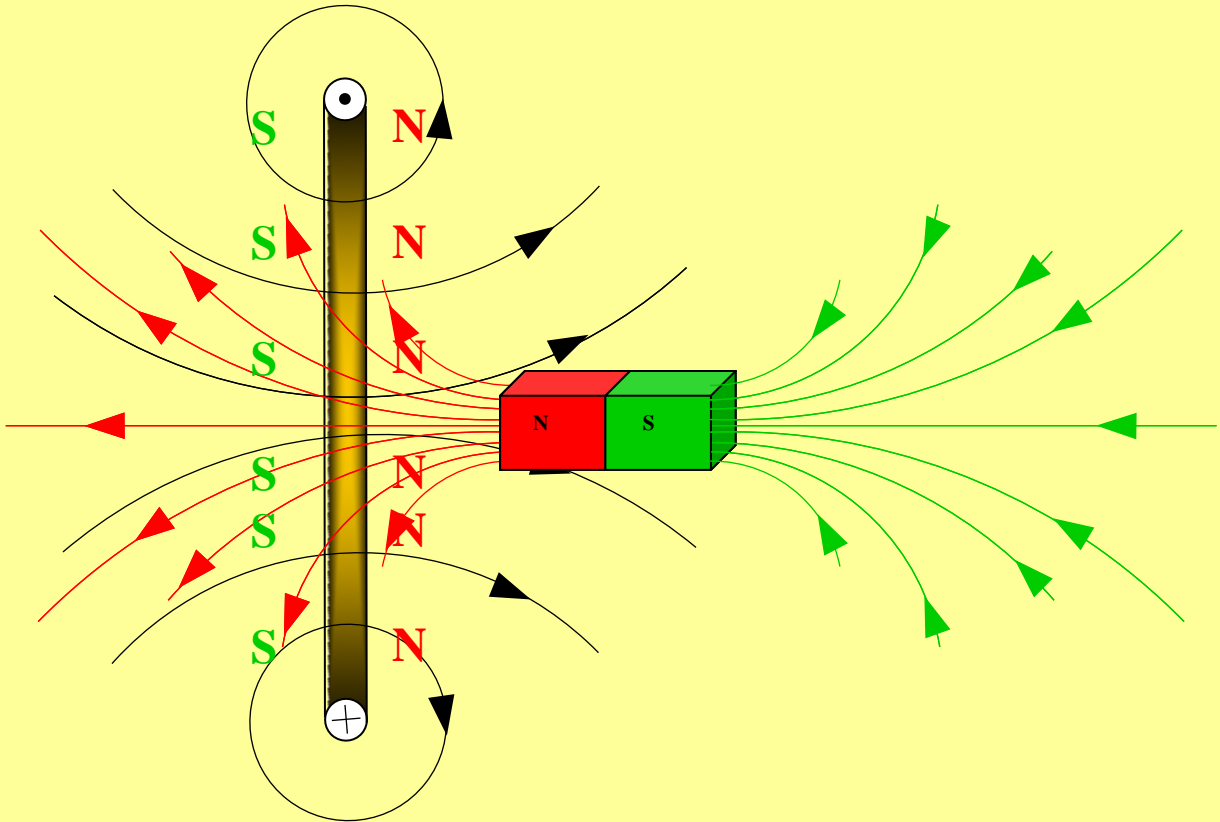
Esta ley enunciada por el físico alemán Heinrich Lenz (1804-1865) en 1834 expresa: **el sentido de la fem inducida y el sentido de circulación de la corriente inducida son tales que se oponen a la causa que lo producen.** El signo menos en la ley de Faraday sugiere esta oposición.



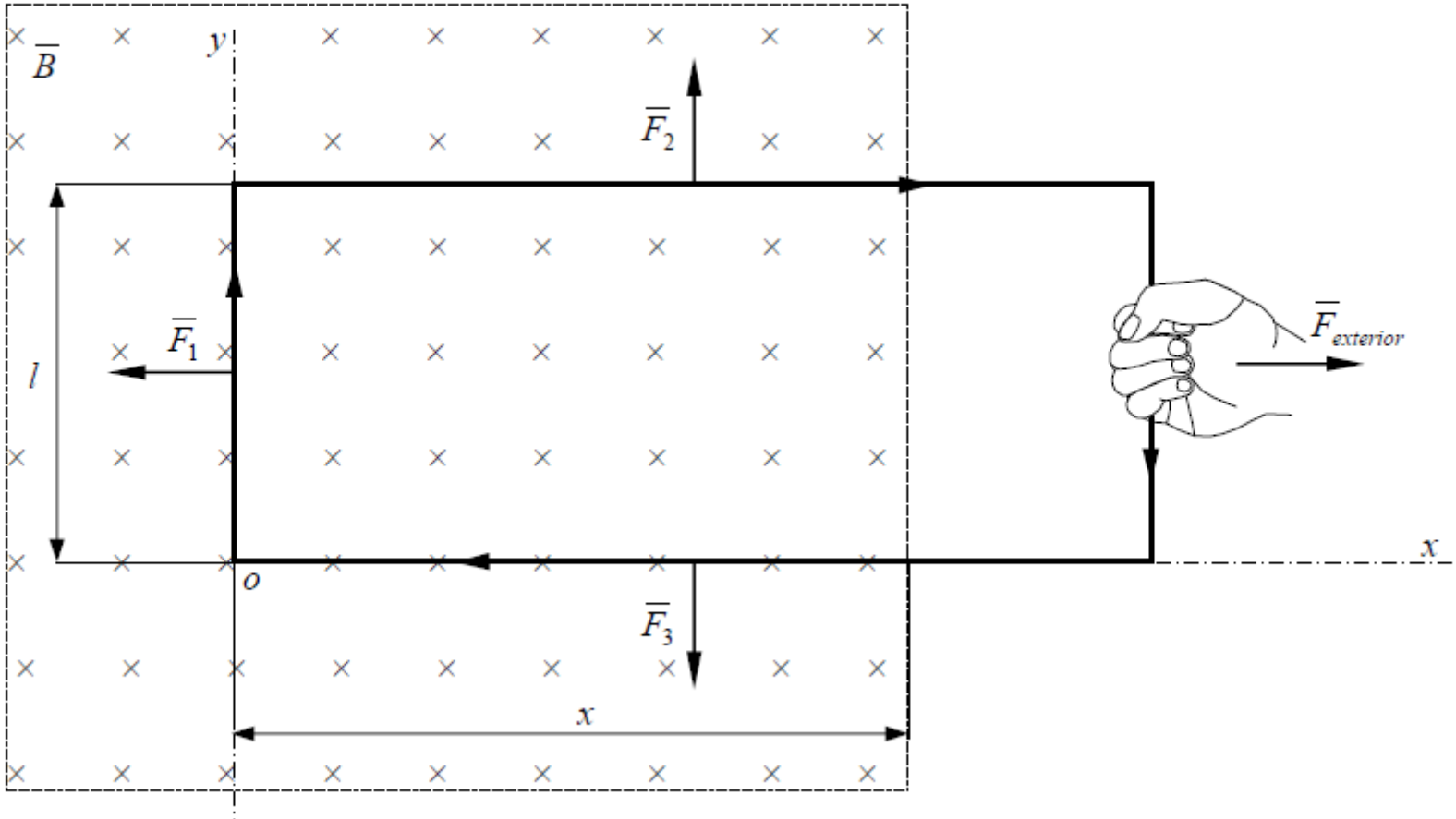
# Ley de LENZ

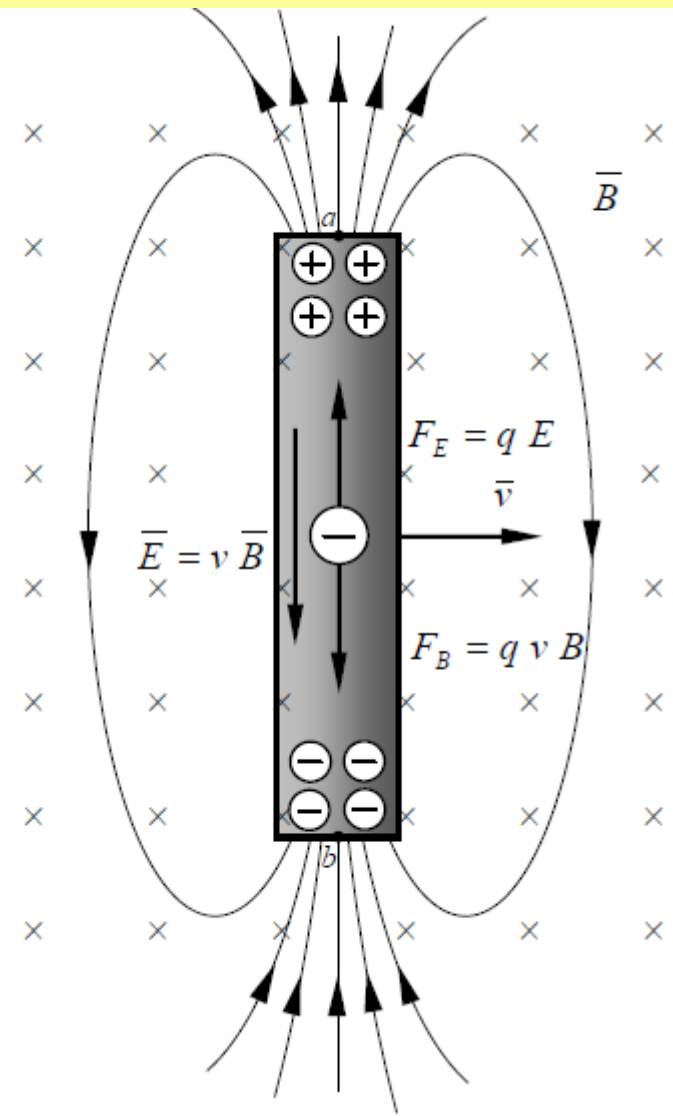
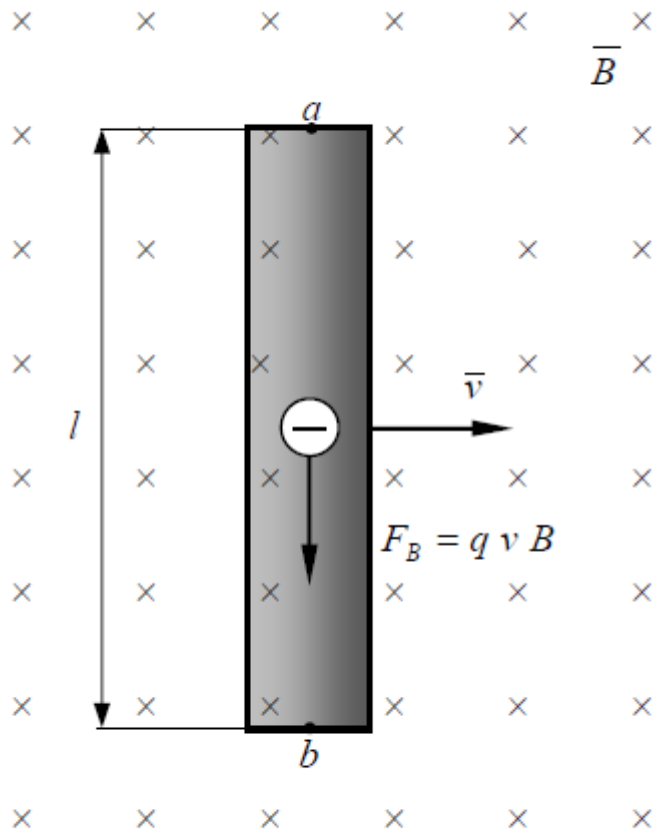


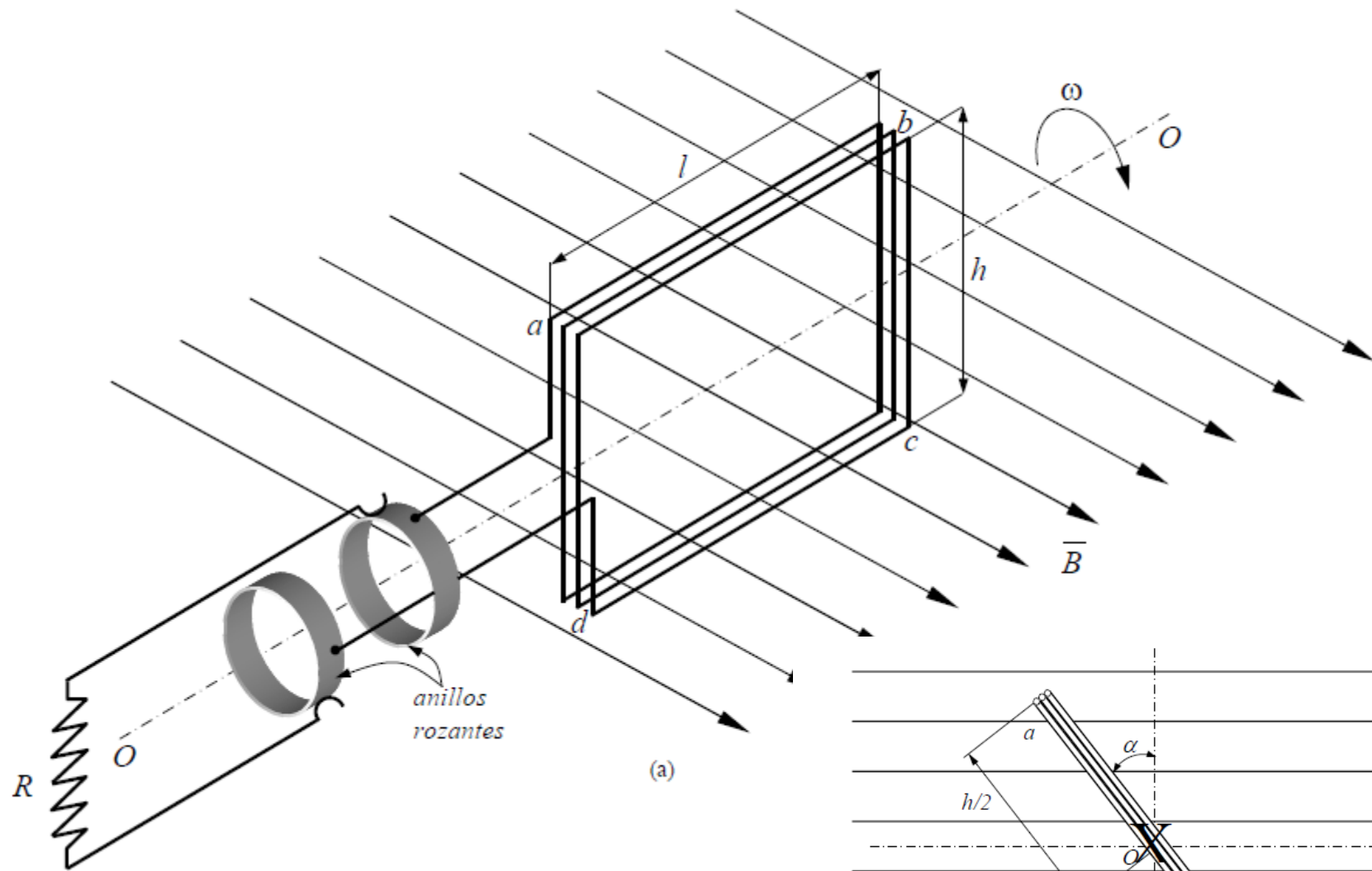
# Ley de LENZ



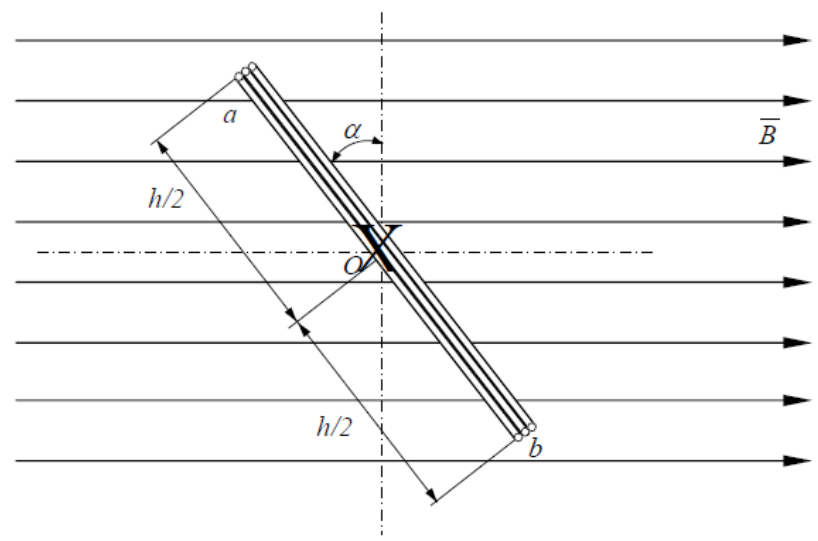
# Inducción. Estudio cuantitativo





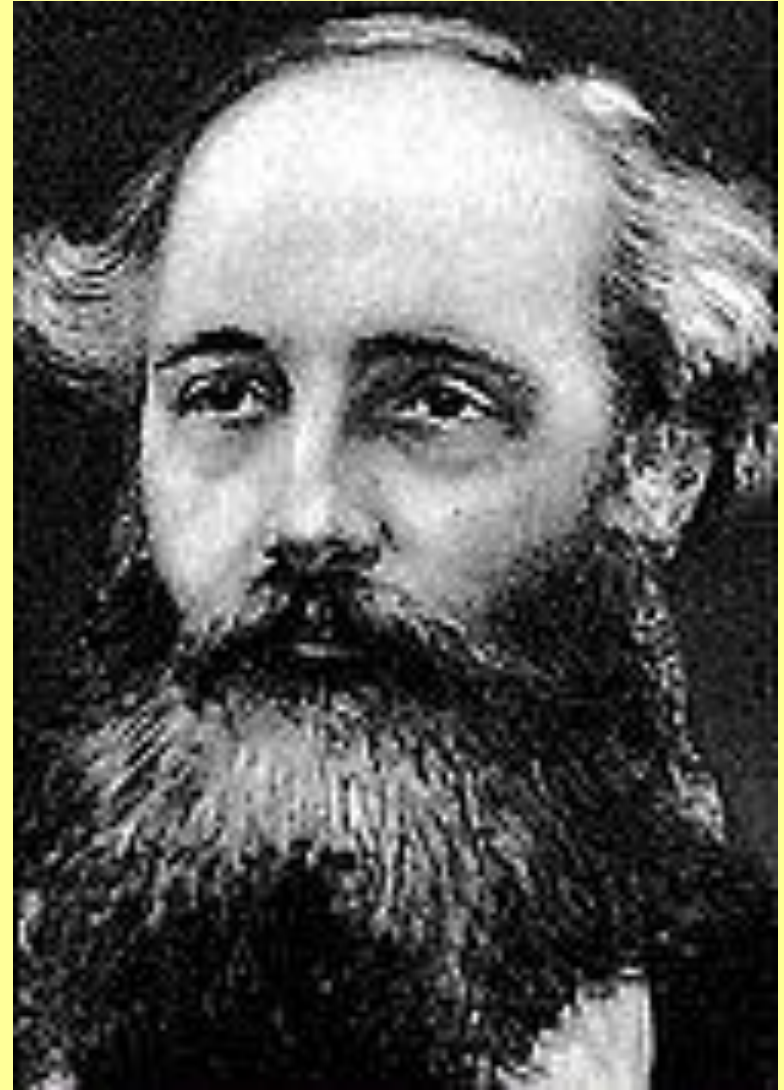


(a)

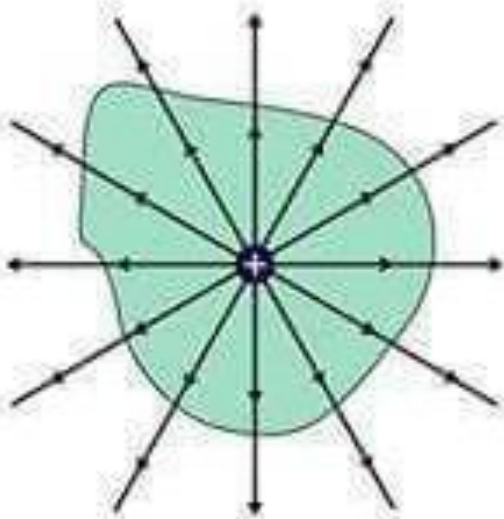


## Leyes de MAXWELL

Las **ecuaciones de Maxwell** son un conjunto de cuatro ecuaciones que describen por completo los fenómenos electromagnéticos. La gran contribución de **James Clerk Maxwell** fue reunir en estas ecuaciones largos años de resultados experimentales, debido a Coulomb, Gauss, Ampere, Faraday y otros, introduciendo los conceptos de campo y corriente de desplazamiento, y unificando los campos eléctricos y magnéticos en un solo concepto: el campo electromagnético.



James Clerk Maxwell  
(1831-1879)

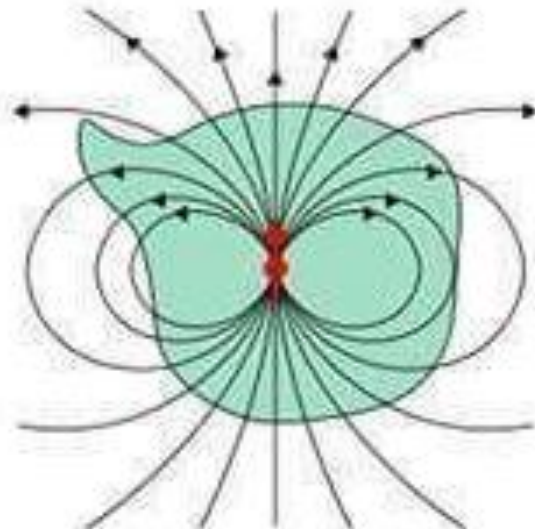


## Ley de Gauss

El flujo de campo eléctrico a través de una superficie cerrada es igual al valor de carga encerrada en dicha superficie entre una cierta constante. Esto significa que las cargas eléctricas son la fuente de campo eléctrico. Es la presencia de carga eléctrica la que da origen a un campo eléctrico, y por eso la divergencia (diferencia entre flujo entrante y saliente) del campo eléctrico en un determinado volumen diferencial va ligado con la carga eléctrica que haya en ese volumen.

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q}{\epsilon_0} \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

*"Las cargas eléctricas generan un campo eléctrico"*

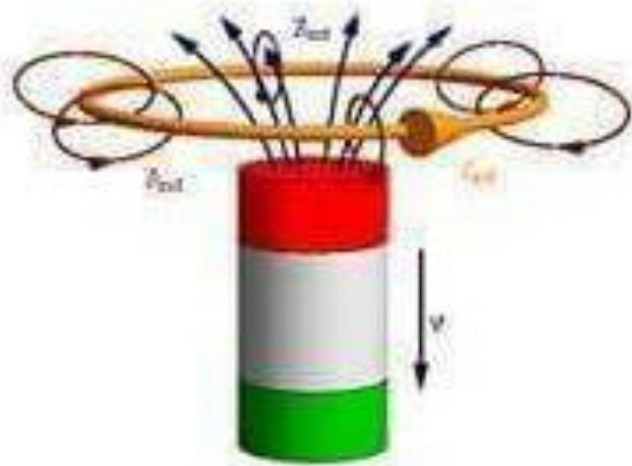


## Flujo de campo magnético

El flujo de campo magnético a través de una superficie cerrada es siempre cero. Esto quiere decir que no es imposible encerrar una fuente o sumidero de campo magnético. Los monopolos magnéticos, por tanto, no existen. Las líneas de campo no nacen ni mueren en ningún sitio. La divergencia del campo magnético en una superficie cerrada es cero porque no hay diferencia entre flujo entrante y saliente.

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

*"Jamás podrá existir un monopolo magnético"*



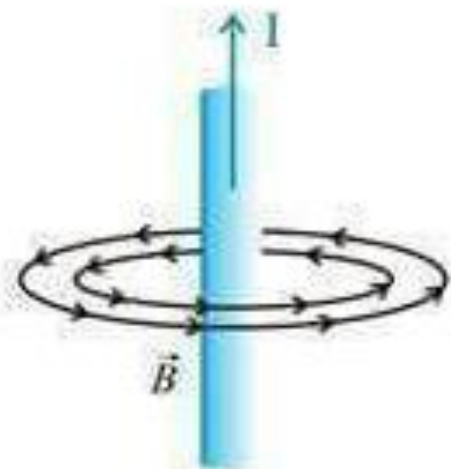
## Ley de Faraday-Lenz

Cuando el campo magnético varía con el tiempo, se genera un campo eléctrico cuyo rotacional va en la dirección opuesta a la variación de dicho campo magnético. En presencia de cargas libres, ese campo eléctrico generado puede producir una corriente eléctrica al desplazar esas cargas

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

"A partir del magnetismo se puede producir electricidad"



## Ley de Ampere

Si se tiene un campo eléctrico que da lugar a una densidad volumétrica de corriente, se genera un campo magnético de tal modo que su rotacional tenga la dirección y sentido de la densidad de corriente que previamente lo ha generado. El segundo sumando de la ecuación no forma parte de esta interpretación física del fenómeno, pero se ha añadido para que la ecuación en su conjunto cumpla el principio de conservación de la carga.

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

"A partir de una corriente eléctrica se puede generar magnetismo"

# Ecuaciones de MAXWELL (en el vacío)

Gauss's Law

$$\oint_S \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{A}} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

Magnetic Fields

$$\oint_S \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{A}} = 0$$

Faraday's Law

$$\oint \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{s}} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

Ampère's Law

$$\oint \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{s}} = \mu_0 I + \epsilon_0 \mu_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$$



James Clerk Maxwell  
(1831-1879)

- ☞ **Unificó** las teorías de la electricidad y el magnetismo.
- ☞ Las **cuatro ecuaciones** junto a la **fuerza generalizada de Lorentz** describen los fenómenos electromagnéticos desde el *punto de vista clásico*

- **1ª Ley: Teorema de Gauss** para el campo eléctrico:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q_{int}}{\epsilon_0}$$

- **2ª Ley: Teorema de Gauss** para el campo magnético

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

- **3ª Ley: Ley de Faraday** sobre inducción

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_m}{dt}$$

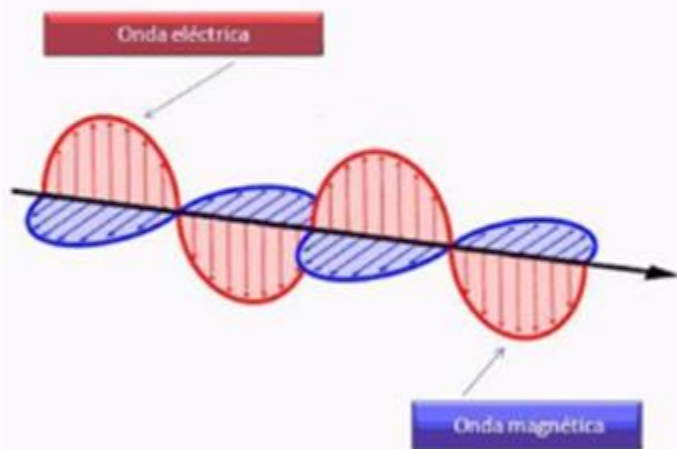
- **4ª Ley: Teorema de Ampère** extendida a campos eléctricos variables

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_{eléctrico}}{dt}$$

La tercera ecuación de Maxwell va más allá de lo expuesto hasta ahora: **“Un campo magnético variable induce otro eléctrico proporcional a la rapidez con que cambia el flujo magnético y perpendicular a él”**.

En la cuarta ecuación: **“un campo eléctrico variable induce otro magnético proporcional a la rapidez con que cambia el flujo del campo eléctrico y perpendicular a él”** ( no es necesaria la presencia de corrientes eléctricas).

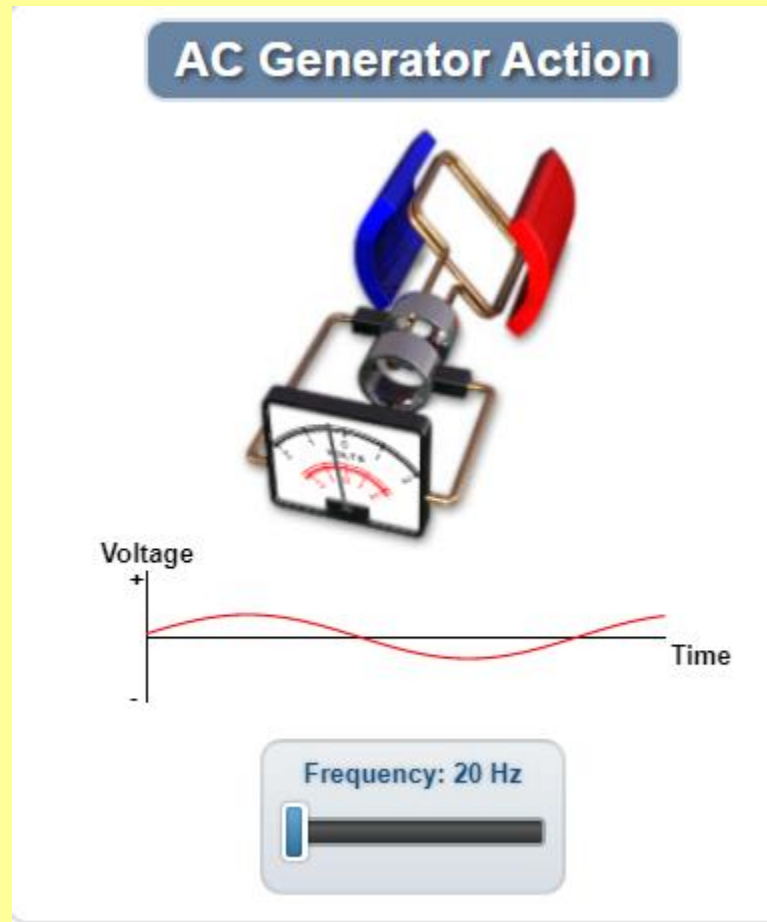
Desaparece la idea de fuerza a distancia y es sustituida la de propagación de la interacción en el medio en forma de onda electromagnética.



La velocidad de propagación de dichas ondas es igual a la de la luz: **“la luz es, en realidad, una perturbación electromagnética que se propaga por el campo”**. Así se unificó la teoría electromagnética con la óptica.

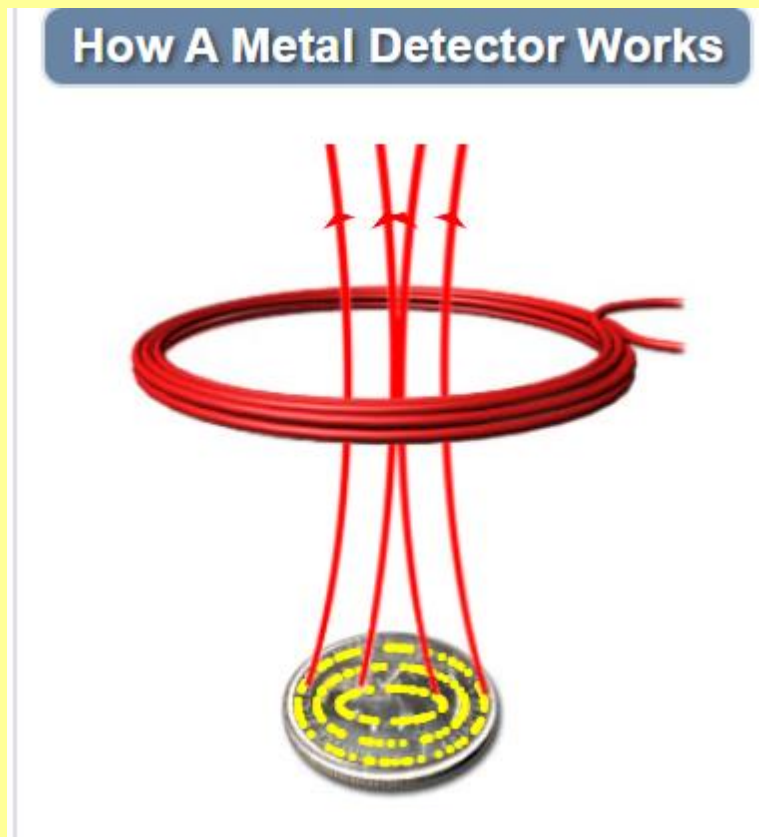
# Generador de corriente alterna

<https://micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/generator/ac.html>



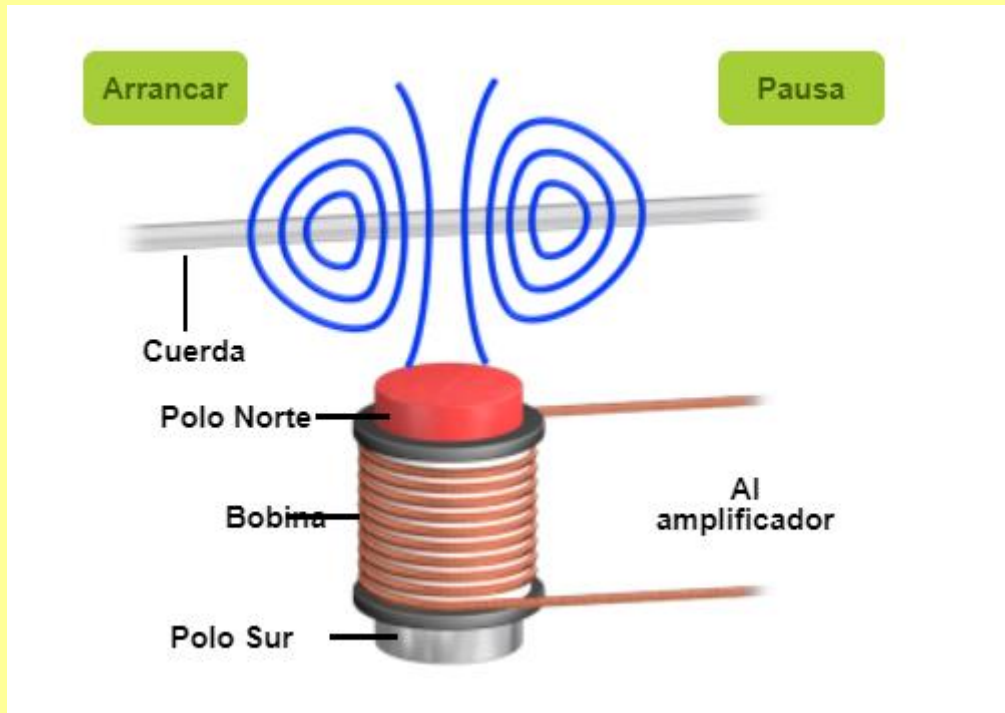
## Detector de metales

<https://micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/detector/>

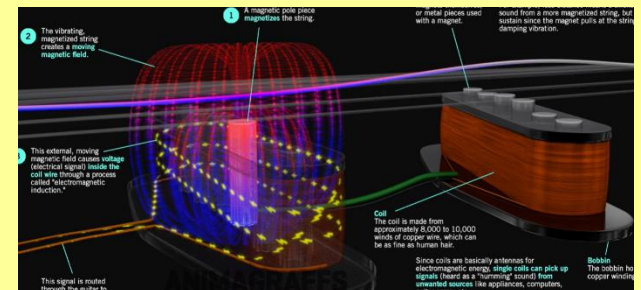


# Guitarra eléctrica

<https://nationalmaglab.org/education/magnet-academy/watch-play/interactive/guitar-pickup>

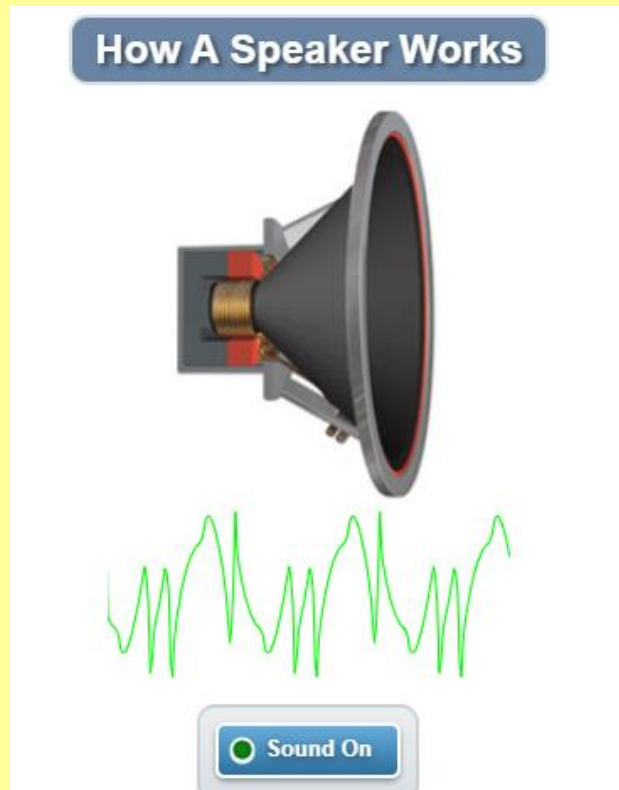


<https://animagraffs.com/how-an-electric-guitar-works/>



# Parlante

<https://micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/speaker/index.html>

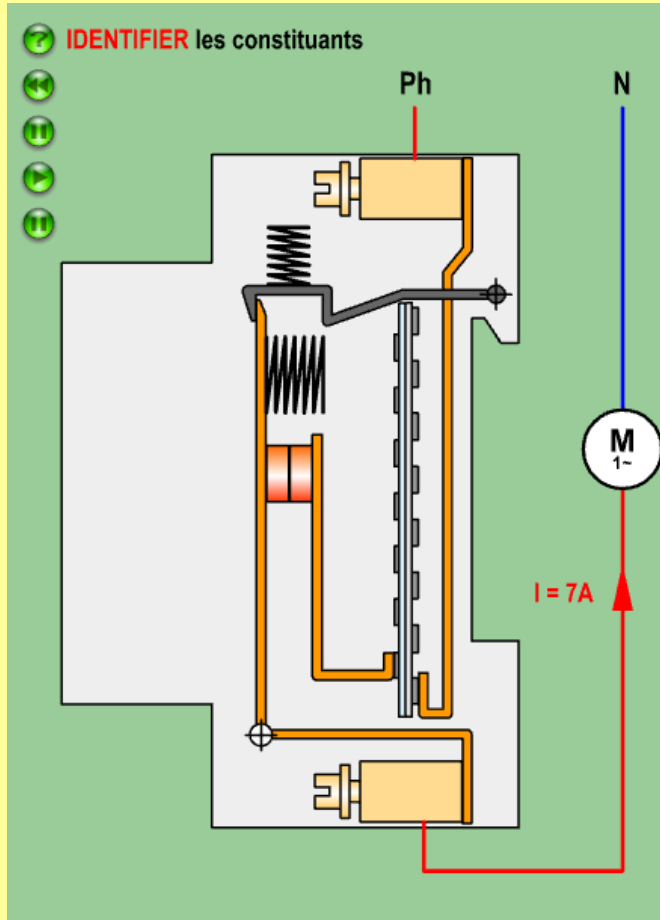


<https://animagraffs.com/loudspeaker/>



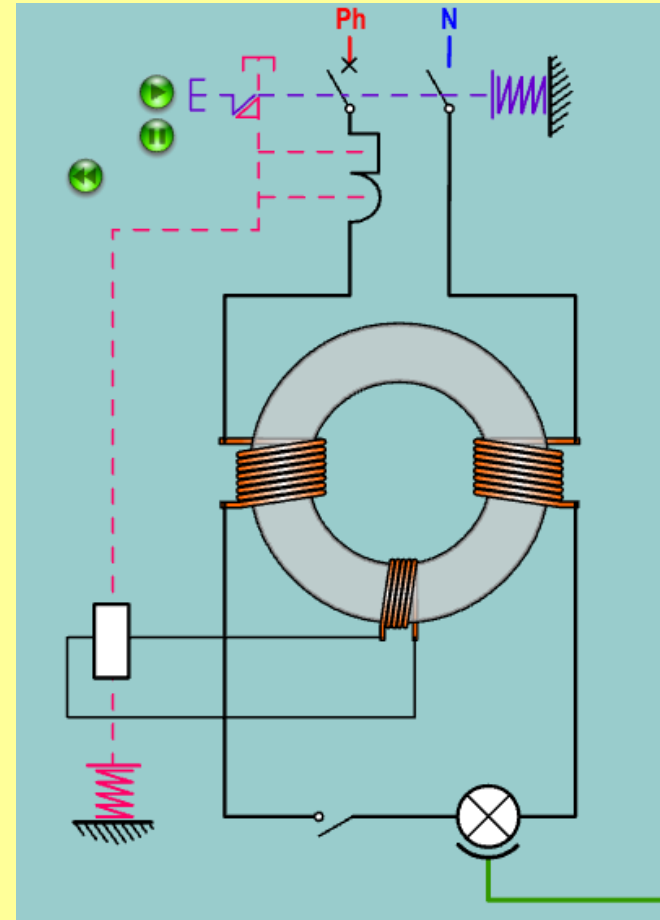
# Interruptor Termomagnético

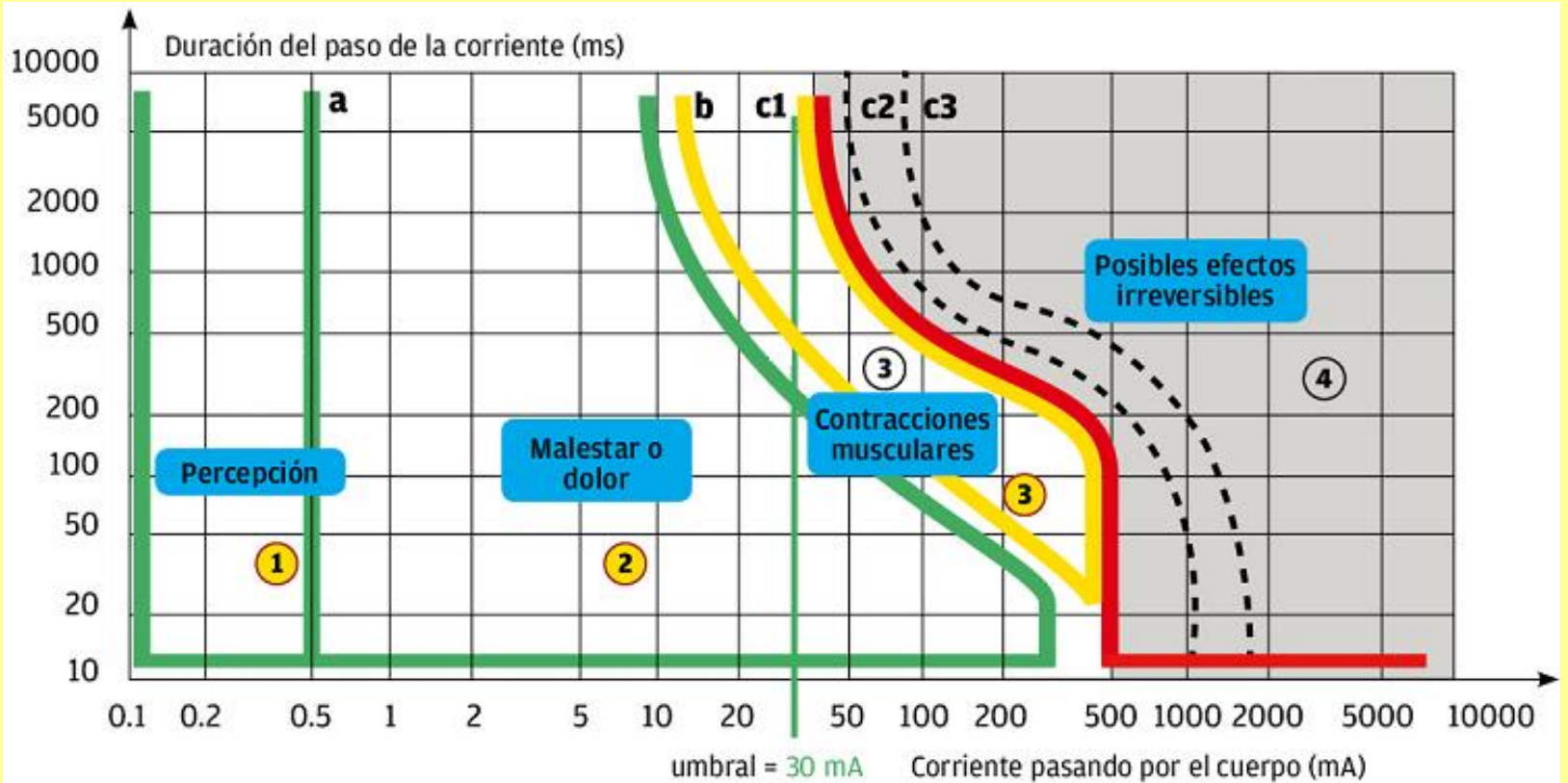
chrome-extension://donbcfbmhbcapadipfkeojnmajbakjdc/player.html?url=http%3A%2F%2Feducylopedia.karadimov.info%2Flibrary%2FDisjoncteur\_magnetothermique.swf



# Interruptor Diferencial

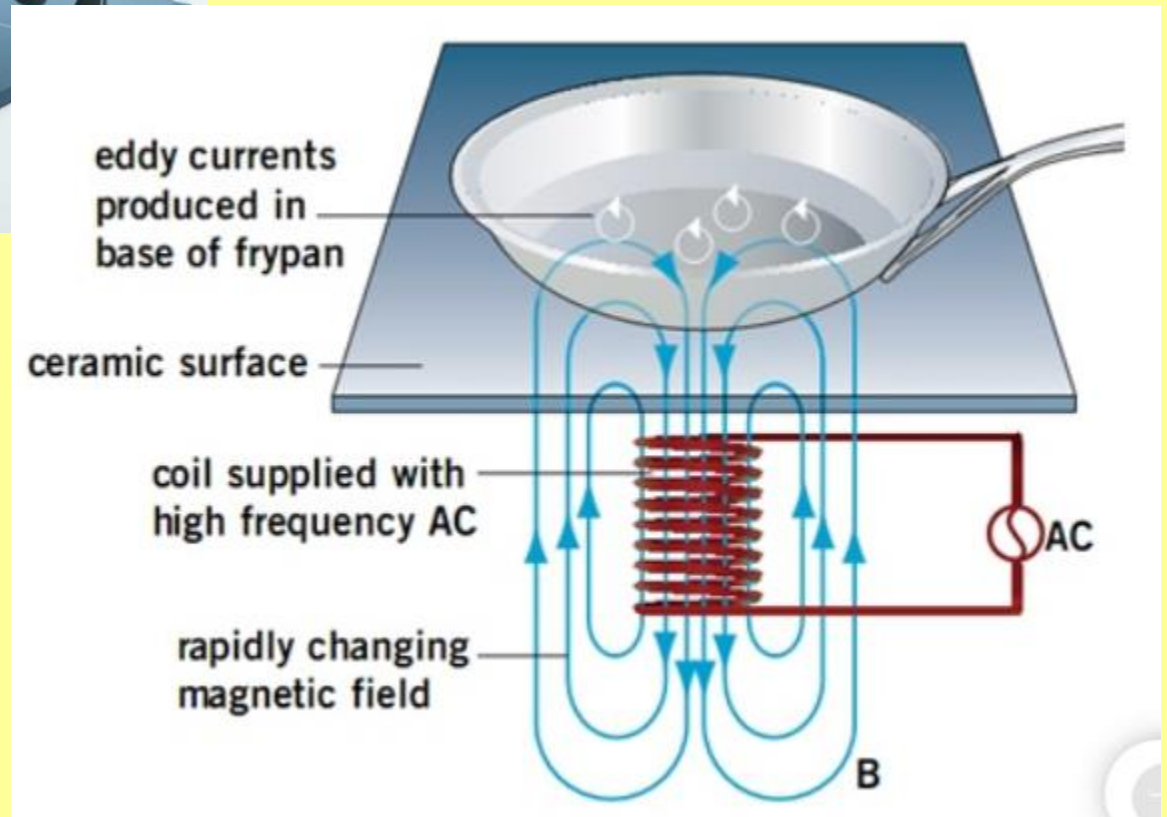
chrome-extension://donbcfbmhbcapadipfkeojnmajbakjdc/player.html?url=http%3A%2F%2Feducylopedia.karadimov.info%2Flibrary%2FDisjoncteur\_differential.swf





# Cocina a inducción

<http://173-233-73-142.static.as40244.net/application/fem-simulation-of-induction-cooker-optimization-of-induction-cookware-pots-using-ems-inside-solidworks>



# Horno a inducción

