

ANUNCIOS

Segunda evaluación corta: hasta la medianoche del sábado 28 estará habilitada.

Recuerden que sólo se puede hacer en este periodo y el 2do. intento sólo será válido para quienes lo hicieron en este periodo.

MODIFICACIÓN EN EVALUACIONES:

De **carácter optativo** se puede mantener la forma actual de múltiple opción, donde sólo se entrega la hoja de evaluación con las respuestas marcadas.

En **ejercicios parte A** se podrá entregar con la hoja de la evaluación hojas con resolución total o parcial de los ejercicios de modo que se califique lo realizado. Estos desarrollos se corrigen sólo si el estudiante no marcó la respuesta correcta, y se le podrá otorgar entre 0 y el 80% de los puntos. Habrá un **criterio de admisibilidad** del desarrollo entregado que dependerá de una prolijidad e inteligibilidad mínima. Si esto no se cumple, el desarrollo no será corregido.

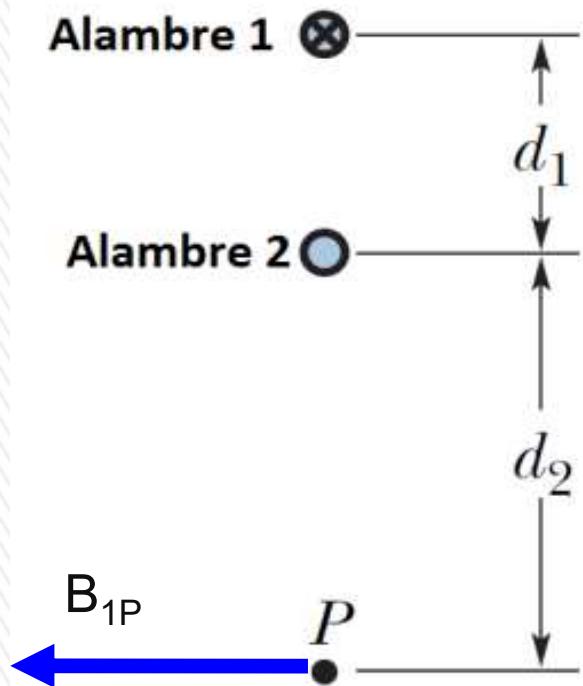
En la corrección se valorará: la explicitación de las leyes o principios utilizados y de los modelos e hipótesis que simplifican la resolución, del desarrollo de los diferentes pasos en la resolución, del manejo de las unidades y cifras significativas, del manejo algebraico y de la realización de los cálculos.

Las resoluciones de cada uno de los ejercicios deberán realizarse en hojas separadas, no podrá haber en una misma hoja la resolución de ejercicios distintos.

EJEMPLO: ejercicio 3.2.2

3.2.2- Dos alambres paralelos rectos y largos, perpendiculares al plano de la página están separados por una distancia $d_1 = 7,50$ cm. El alambre 1 conduce una corriente entrante $I_1 = 6,50$ A. ¿Cuál debe ser la corriente (magnitud y sentido) en el alambre 2, para que el campo magnético resultante en el punto P , situado a una distancia $d_2 = 15,0$ cm, sea cero?

Considero el campo (B_{1P}) que crea el alambre 1 en P.



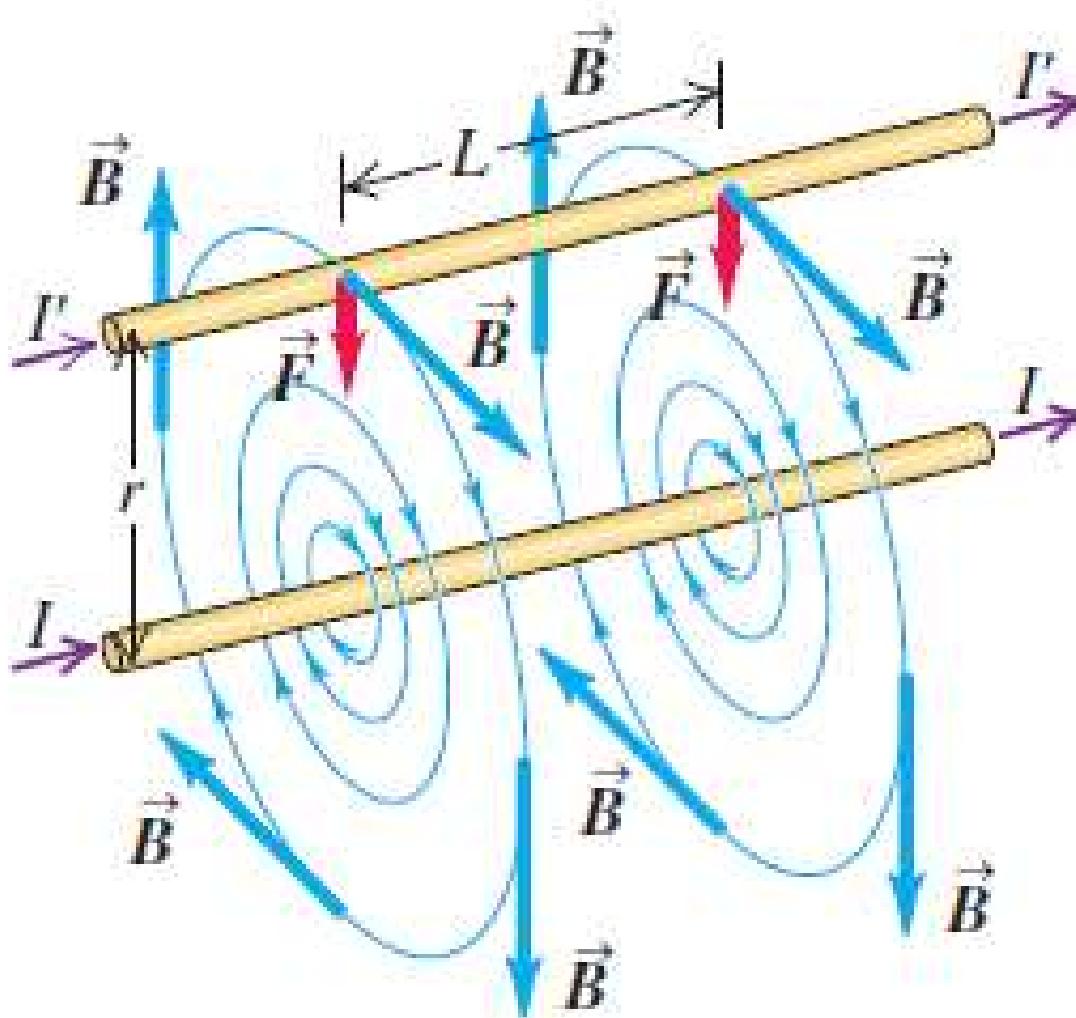
Entonces el campo (B_{2P}) que debe crear el alambre 2 en P debe tener la misma magnitud y sentido contrario: $B_{1P} = B_{2P}$
Por tanto la corriente por el alambre 2 debe ser saliente (sentido contrario a la del alambre 1).

$$B_{1P} = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r_1} = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi(d_1 + d_2)} \quad B_{2P} = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r_2} = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi d_2} \quad \frac{\mu_0 I_1}{2\pi(d_1 + d_2)} = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi d_2}$$

$$\frac{I_1}{d_1 + d_2} = \frac{I_2}{d_2} \quad I_2 = \frac{d_2}{d_1 + d_2} I_1 \quad I_2 = \frac{15,0}{7,50 + 15,0} 6,50 = 4,33 \text{ A} \rightarrow$$

$I_2 = 4,33 \text{ A}$ saliente

Fuerza entre dos conductores paralelos



Dos conductores largos, rectos y paralelos, separados una distancia r con corrientes I e I' en el mismo sentido.

Cada conductor se encuentra en el campo magnético producido por el otro, por lo que cada uno experimenta una fuerza.

El conductor inferior produce un campo en la posición del conductor de arriba dado por:

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

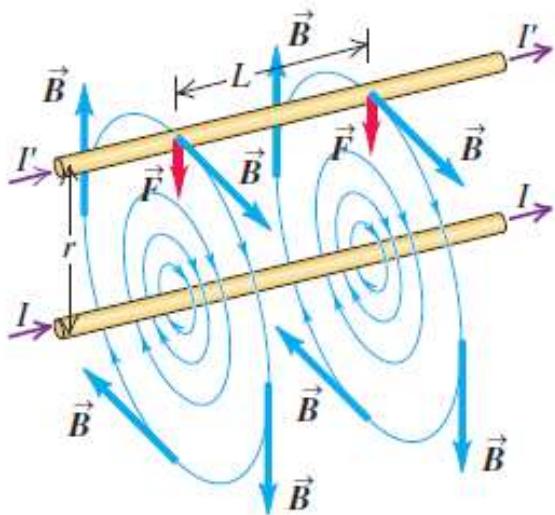
Un segmento del conductor superior experimenta una fuerza dada por: $F=BI'L$

$$F = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} I' L$$

La fuerza por unidad de longitud vale:

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 II'}{2\pi r}$$

Fuerza entre dos conductores paralelos



$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 II'}{2\pi r}$$

Regla de la mano derecha: fuerza sobre conductor superior dirigida *hacia abajo* (*atraída hacia el inferior*).

La corriente en el conductor *superior* también origina un campo en la posición del inferior.

Operando en forma similar, se puede ver que la fuerza sobre el conductor inferior va *hacia arriba*, y tiene igual magnitud de F/L .

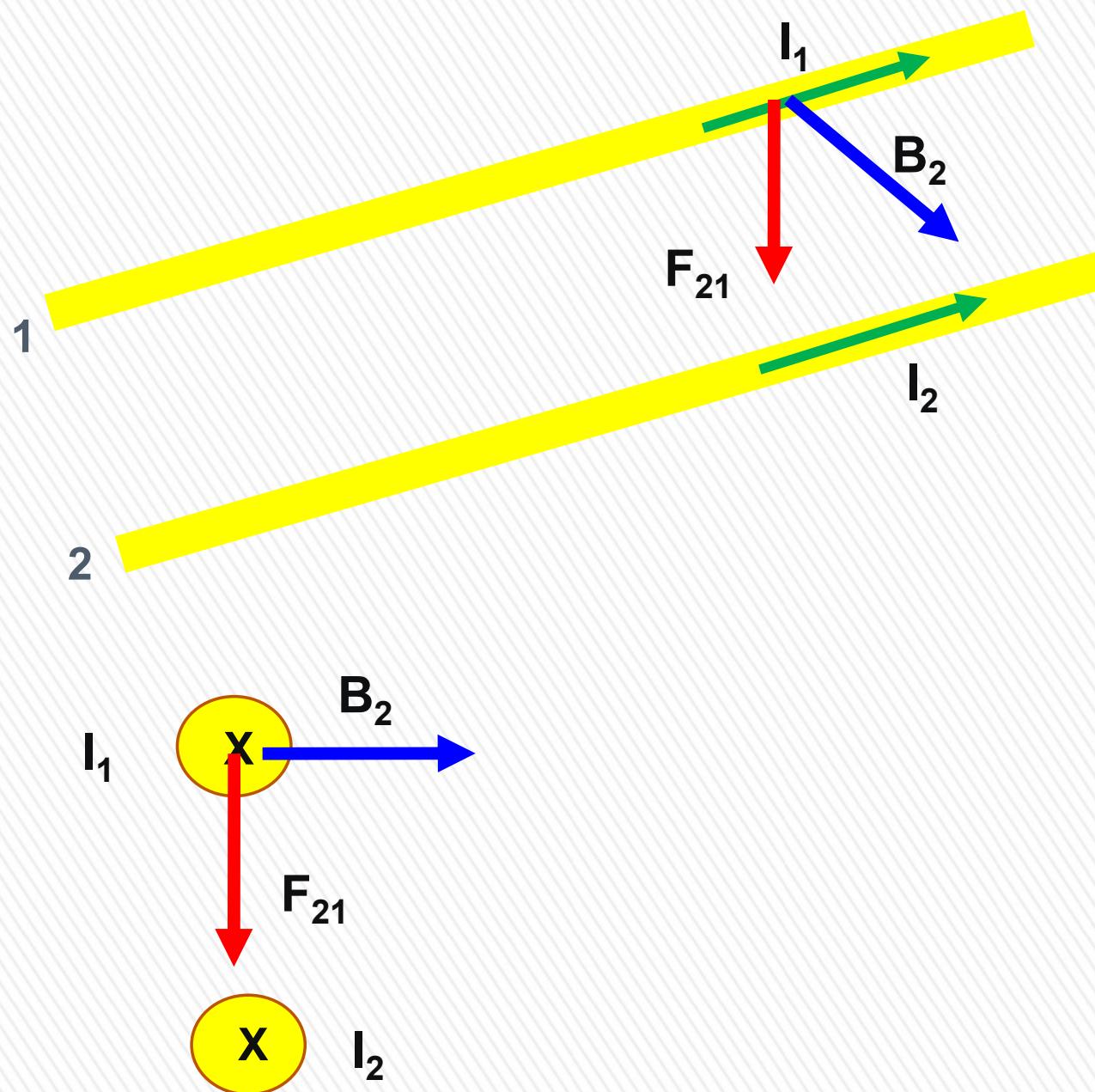
Dos conductores paralelos que transportan corriente en el mismo sentido se atraen uno al otro.

Si se invierte el sentido de cualquiera de las corrientes, las fuerzas también se invierten. Dos conductores paralelos que transportan corriente en sentidos opuestos se repelen entre sí.

Conductores paralelos que llevan corrientes en un mismo sentido se atraen, conductores paralelos que llevan corrientes en sentidos opuestos se repelen.



Fuerza entre dos conductores paralelos



$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r}$$

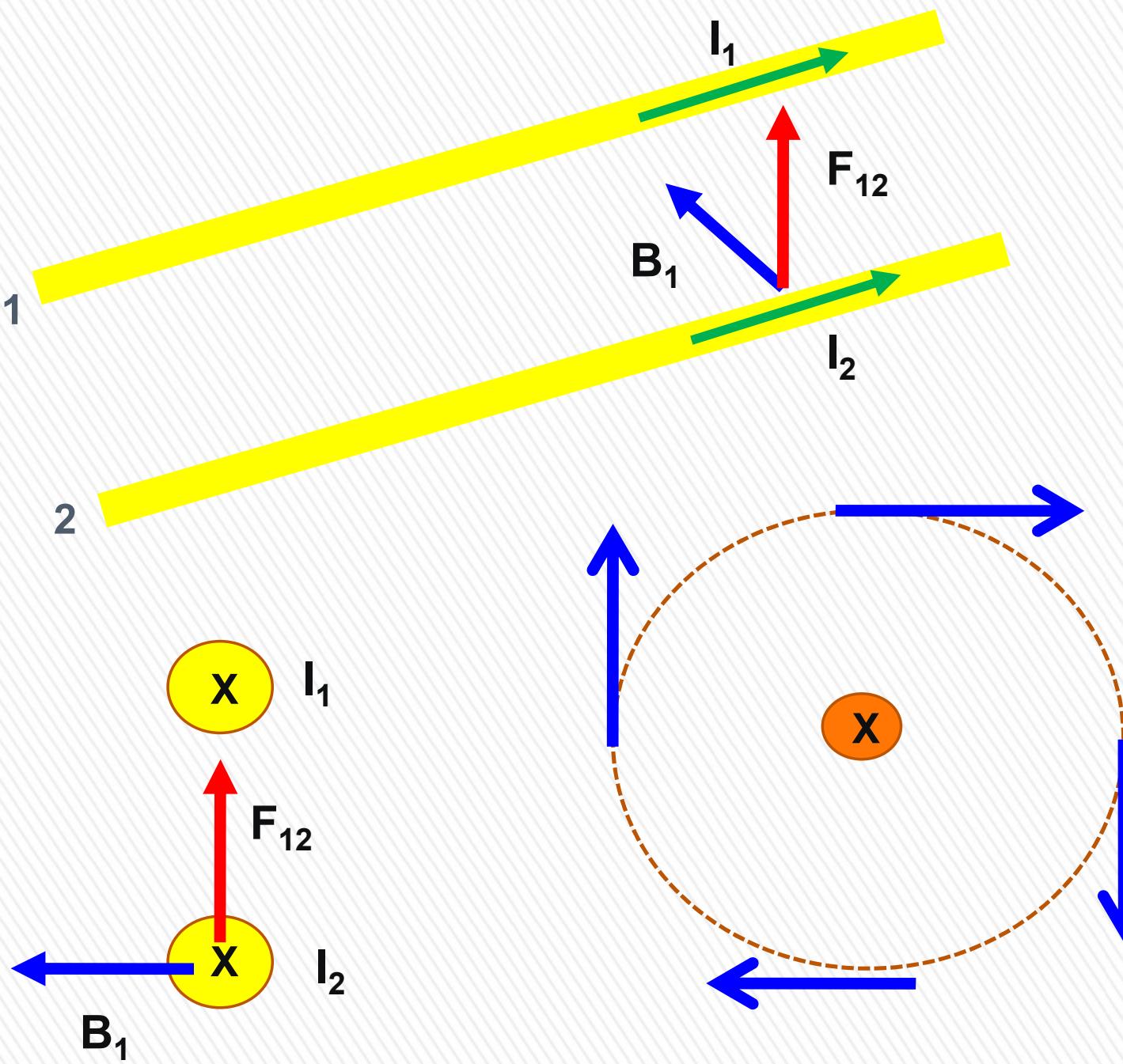
$$F_{21} = B_2 I_1 L$$

$$F_{21} = \frac{\mu_0 I_2 I_1 L}{2\pi r}$$

$$\frac{F_{21}}{L} = \frac{\mu_0 I_2 I_1}{2\pi r}$$



Fuerza entre dos conductores paralelos



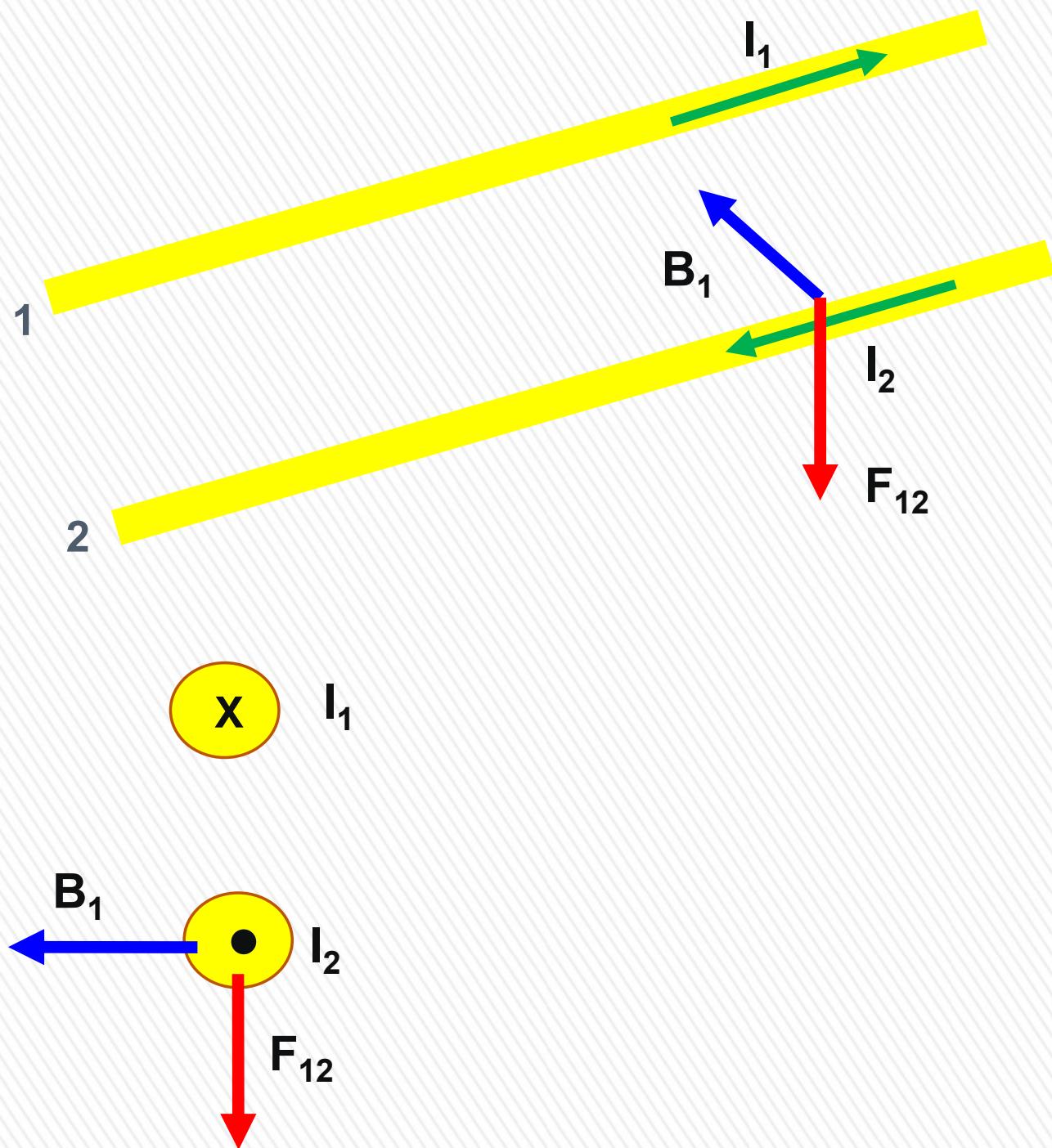
$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}$$

$$F_{12} = B_1 I_2 L$$

$$F_{12} = \frac{\mu_0 I_1 I_2 L}{2\pi r}$$

$$\frac{F_{12}}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$$

Fuerza entre dos conductores paralelos



$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}$$

$$F_{12} = B_1 I_2 L$$

$$F_{12} = \frac{\mu_0 I_1 I_2 L}{2\pi r}$$

$$\frac{F_{12}}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$$

Fuerza entre dos conductores paralelos

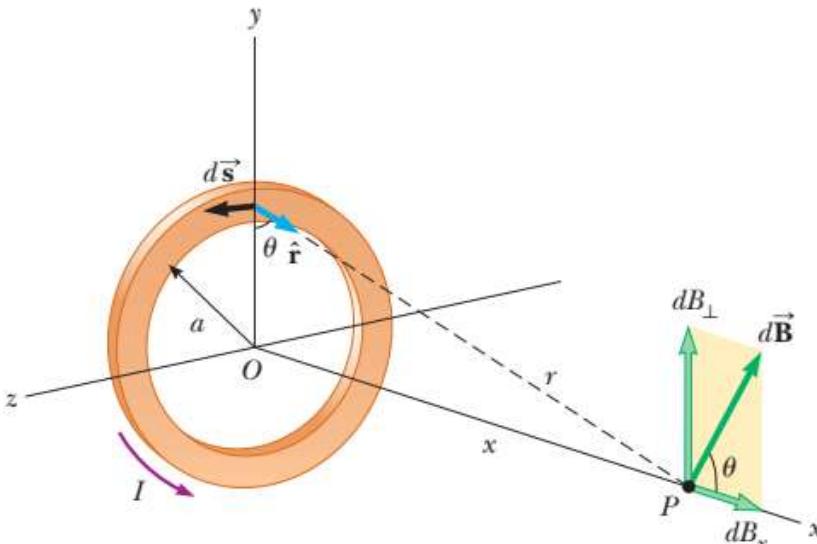
Fuerzas magnéticas y la definición de ampere- La atracción o repulsión entre dos conductores rectos, paralelos y portadores de corriente es la base de la definición oficial del **ampere en el SI**:

Si dos alambres largos paralelos, separados 1 m, portan la misma corriente y la fuerza magnética por unidad de longitud sobre cada alambre es 2×10^{-7} N/m, la corriente se define como 1 A.

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 II'}{2\pi r} = 2 \times 10^{-7} \frac{II'}{r}$$



Campo magnético de una espira circular de corriente

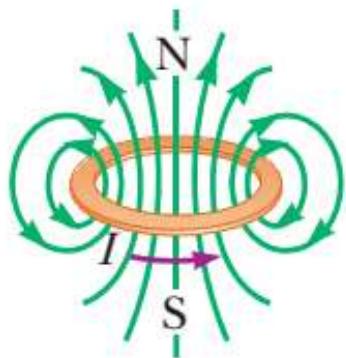


Campo magnético sobre el eje, a una distancia x de una espira de radio a por el que circula una corriente I

$$B_x = \frac{\mu_0 I a^2}{2(x^2 + a^2)^{3/2}}$$

El campo en el centro ($x=0$) vale:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2a}$$

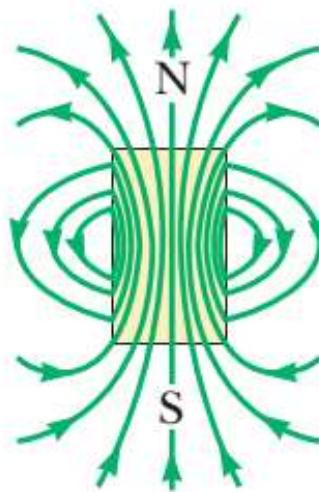


a)



b)

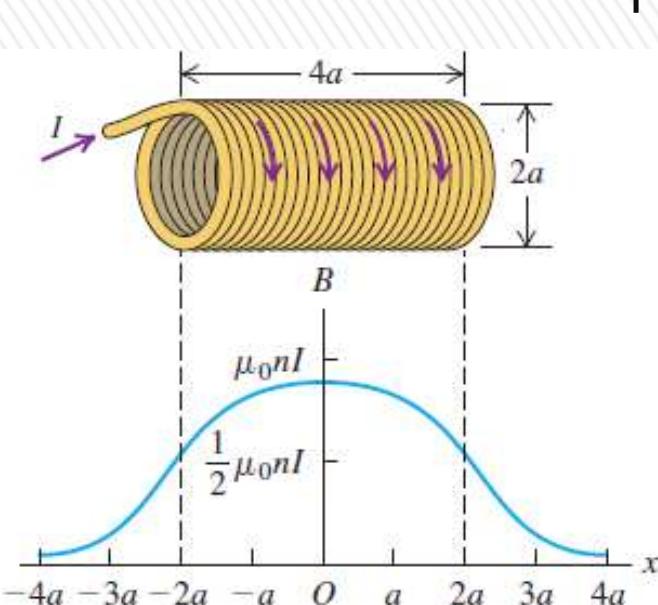
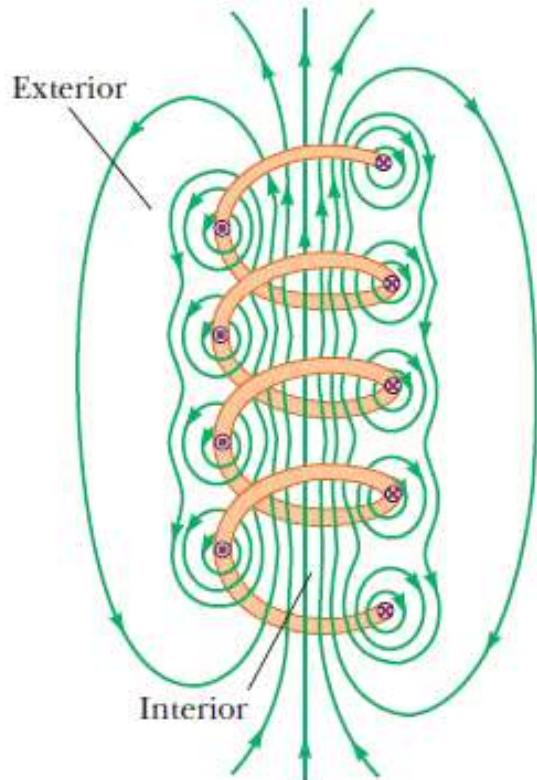
© Richard Megna, Fundamental Photographs



c)

- a) Líneas de campo magnético que rodean un lazo de corriente.
 - b) Líneas de campo magnético que rodean un lazo de corriente, mostradas con limaduras de hierro.
 - c) Líneas de campo magnético que rodean un imán de barra.
- Note la similitud entre este patrón de líneas y el de un lazo de corriente

Campo magnético creado por un solenoide



Un solenoide es un alambre largo enrollado en forma de hélice.

Puede producirse un campo magnético bastante uniforme en el *interior del solenoide cuando éste lleva una corriente*. Si hay poco espacio entre las vueltas, cada una puede tratarse como si fuera una espira circular, y el campo magnético neto es la suma vectorial de los campos que resultan de todas las vueltas.

Para un solenoide largo, con n espiras por unidad de longitud se puede utilizar la siguiente aproximación.
En el interior el campo es uniforme y vale:

Y en el exterior: $B=0$.

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

Campo magnético de un solenoide real

MATERIALES MAGNÉTICOS

Cuando se introduce un dieléctrico en un campo eléctrico \mathbf{E} , el campo eléctrico se reduce a \mathbf{E}/K , siendo K la constante dieléctrica.

Similarmente, si se introduce un material en un campo magnético \mathbf{B} , el campo cambia a $K_m \mathbf{B}$, siendo K_m la constante magnética.

Hay tres tipos principales de materiales magnéticos:

diamagnéticos (K_m ligeramente inferior a 1). Se caracterizan por ser repelidos por los imanes. Ejemplos: antimonio, bismuto, cobre, oro, silicio, germanio, gases nobles, hidrógeno, agua,

paramagnéticos (K_m ligeramente superior a 1). Se caracteriza por ser levemente atraído por imanes. Ejemplos: aire, magnesio, aluminio, titanio, wolframio.

ferromagnéticos (K_m varía con el campo aplicado y con el modo como ha sido tratado el material, pero su valor típico es muy superior a 1). Ejemplos: hierro, cobalto, níquel, gadolinio y dispropósito.

MATERIALES MAGNÉTICOS: DIAMAGNETISMO

Son repelidos por los imanes.

1845 Faraday: interacción del bismuto con un imán.

Ley de Lenz a nivel molecular o atómico: los átomos contienen electrones que se mueven libremente y cuando se aplica un B exterior se induce una corriente superpuesta cuyo efecto magnético es opuesto al campo aplicado.

En sistemas moleculares que contengan todos sus electrones apareados y sistemas atómicos o iónicos que contengan orbitales llenos (espines de electrones de último nivel apareados con momento magnético prácticamente nulo).

K_m es menor a 1 en un factor de sólo 0,001 al 0,01 %. Se presenta en todos los materiales, aunque muchas veces es contrarrestado por otros efectos.



Rana levita en un campo magnético de 16 T en laboratorio. La fuerza de suspensión es ejercida sobre las moléculas diamagnéticas del agua existentes en el cuerpo de la rana. La rana no sufrió ningún daño por causa de esta experiencia.

MATERIALES MAGNÉTICOS: PARAMAGNETISMO

La suma neta de los momentos magnéticos permanentes de sus átomos o moléculas es nula, en ausencia de un campo magnético externo.

Los momentos interactúan sólo de manera débil entre sí y se orientan al azar en ausencia de un campo magnético externo. Cuando la sustancia paramagnética se coloca en un campo magnético externo, sus momentos atómicos tienden a alinearse con el campo.

El proceso de alineamiento compite con el movimiento térmico, que tiende a orientar al azar a los momentos magnéticos.

Al colocarse en un campo magnético externo, los dipolos tienden a alinearse dirigiendo sus momentos paralelamente al campo, aumentando así el campo total en el interior del material.

Como los efectos de los dipolos permanentes son en general mayores que los de las corrientes inducidas, el paramagnetismo cuando está presente, enmascarará por completo los efectos diamagnéticos.

MATERIALES MAGNÉTICOS: FERROMAGNETISMO

Exhiben efectos magnéticos intensos.

Los campos magnéticos producidos por el espín de los electrones no se cancelan por completo.

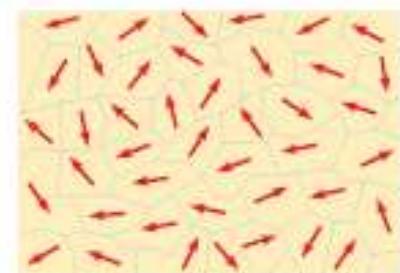
Contienen momentos magnéticos atómicos permanentes que tienden a alinearse paralelamente en presencia de un \mathbf{B} externo, lo que se mantiene después de haberse retirado el \mathbf{B} externo.

La alineación permanente se debe a un fuerte acoplamiento entre momentos vecinos, el cual puede entenderse sólo en términos de la mecánica cuántica.

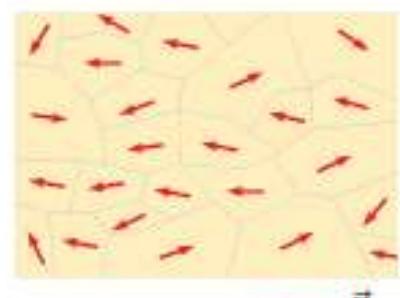
Constituidos por **dominios**: regiones microscópicas en las cuales todos los momentos magnéticos están alineados, con volúmenes de 10^{-12} a 10^{-8} m^3 y contienen 10^{17} a 10^{21} átomos.

A temperaturas normales, la agitación térmica no es suficiente para alterar esta orientación de los momentos magnéticos.

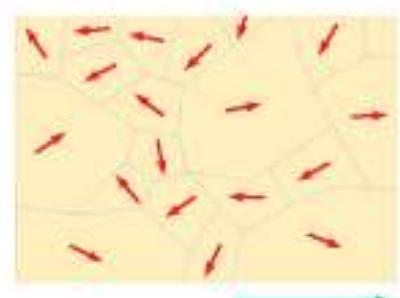
Cuando una sustancia ferromagnética alcanza o excede una temperatura crítica (**temperatura Curie**), pierde su magnetización residual. Por debajo de esta temperatura los momentos magnéticos están alineados y la sustancia es ferromagnética.



a)



b)



c)

- a) Orientación azar dipolos magnéticos atómicos en dominios de sustancia no magnetizada.
- b) Al aplicar un \mathbf{B} externo, los dominios con componentes de momento magnético en la misma dirección que \mathbf{B} se vuelven más grandes, dando a la muestra una magnetización neta.
- c) Conforme el campo se hace aún más intenso, los dominios con vectores de momentos magnéticos no alineados con el campo externo se vuelven muy pequeños.

ORIENTACIÓN MAGNÉTICA DE LOS ANIMALES: MAGNETORRECEPCIÓN

Capacidad que tienen algunos seres vivos de detectar la dirección y sentido del campo magnético, obteniendo información sobre dirección, ubicación o altitud de un objeto.

Primeros descubrimientos: palomas mensajeras un importante (pero no el único) medio de orientación (se desorientan si se les colocan pequeños imanes)

Otras aves, algunas tortugas y peces, e insectos como las abejas y hasta ciertas bacterias presentan esta capacidad.

Los seres humanos tienen depósitos de materiales magnéticos en el hueso etmoides de la nariz, y hay indicios de capacidad de **magnetorrecepción**. En palomas mensajeras como en truchas y en ciertas bacterias, sensor consiste en cristales de magnetita, conectados con orgánulos transductores.

Las bacterias magnetostáticas y los hongos contienen órganos llamados **magnetosomas** que contienen la magnetita.

Abejas; magnetita está embutida en las membrana celular de ciertos grupos de neuronas y se cree que cuando se reorienta siguiendo al campo magnético terrestre se induce corrientes que modifican la polarización celular.

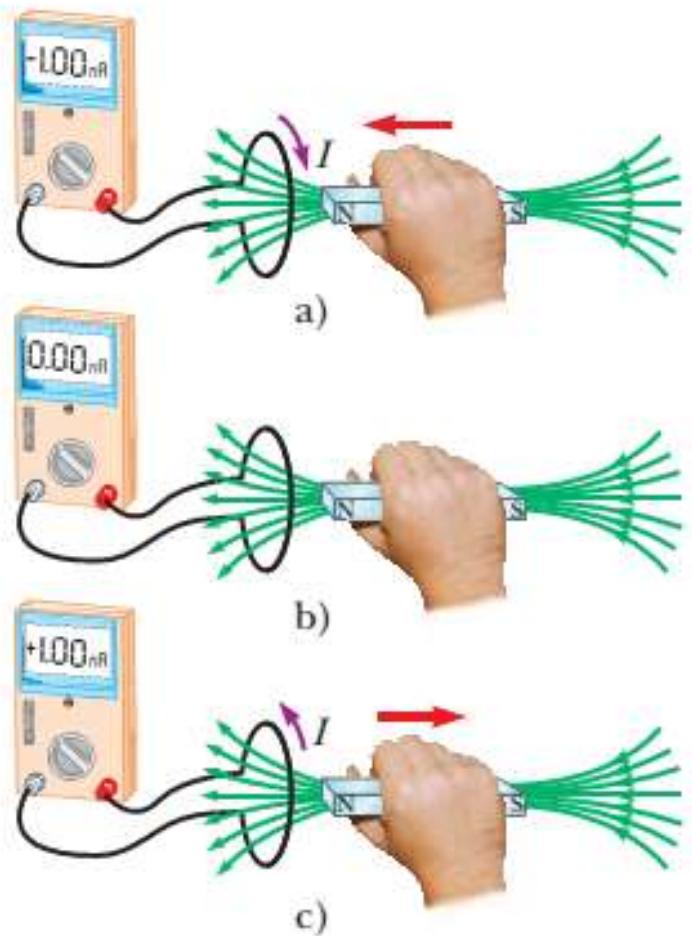
Langostas Espinosas y brújulas magnéticas. Aunque el Langosta espinosa del Caribe (



Langostas espinosas y brújulas- Aunque la langosta espinosa del Caribe (*Panulirus argus*) tiene un sistema nervioso relativamente simple, es notablemente sensible a los campos magnéticos. Tiene una “brújula” magnética interna que le permite distinguir norte, este, sur y oeste. Esta langosta también puede sentir pequeñas diferencias en la Tierra campo magnético de un lugar a otro y puede utilizar estas diferencias para ayudarla a navegar.



INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA



Permiso cortesía del Presidente y del Consejo
de la Royal Society



MICHAEL FARADAY

Físico y químico inglés (1791-1867) Faraday ha sido considerado a menudo el científico experimental más grande del siglo XIX. Sus innumerables contribuciones al estudio de la electricidad incluyen la invención del motor eléctrico, del generador eléctrico y del transformador, así como el descubrimiento de la inducción electromagnética y de las leyes de la electrólisis. Influido poderosamente por la religión, se negó a trabajar para las fuerzas armadas británicas en el desarrollo de gases venenosos.

INTRODUCCIÓN

En la mayoría de los equipos eléctricos que se usan en la industria y el hogar, los que se conectan a un contacto de pared, la fuente de fem *no es una batería de corriente continua, sino una estación generadora de electricidad de corriente alterna*, la cual produce energía eléctrica convirtiendo otras formas de energía: potencial gravitacional en una planta hidroeléctrica; química en una planta termoeléctrica que consume carbón o petróleo o atómica en una central nucleoeléctrica.

Pero, **¿cómo se realiza esta conversión de la energía?**

A través del fenómeno denominado **inducción electromagnética**.

El principio fundamental de este fenómeno es la **ley de Faraday, que relaciona la fem inducida con el flujo magnético variable en cualquier circuito**.



Experimentos de inducción

Realizados por 1830 por Michael Farady y Joseph Henry.

a) Si el imán cercano está inmóvil, el medidor no indica corriente: en el circuito no hay fuente de fem.

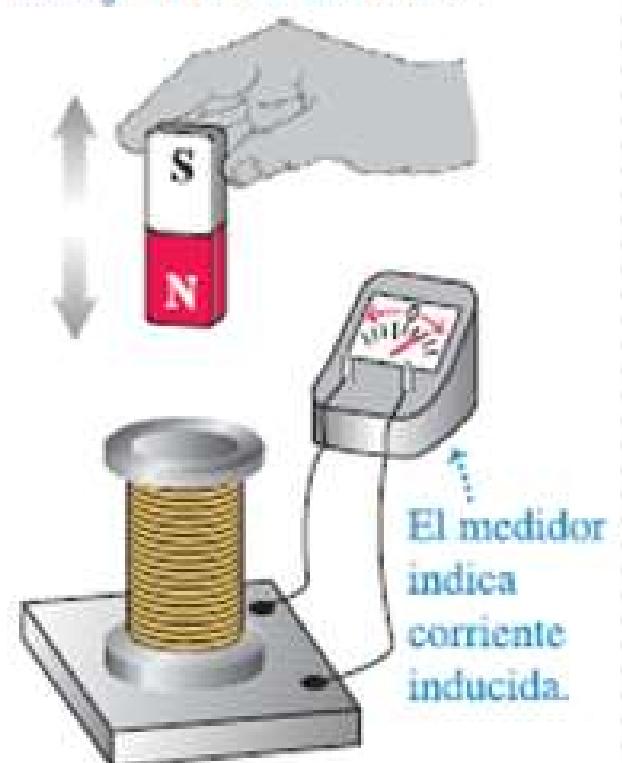
b) Si el imán se *move* y se *acerca o se aleja de la bobina*, el medidor *indica corriente en el circuito*, pero solo mientras el imán se move.

Si el imán permanece fijo y es la bobina la que se move, otra vez se detecta corriente durante el movimiento.

a) Un imán fijo NO induce una corriente en una bobina.



b) Mover el imán acercándolo o alejándolo de la bobina.



Esta corriente se llama **corriente inducida**, y la fem correspondiente que se requiere para generarla recibe el nombre de **fem inducida**.

Experimentos de inducción

c) Movimiento de una segunda bobina que conduce corriente, acercándola o alejándola de la primera



d) Variación de la corriente en la segunda bobina (cerrando o abriendo el interruptor)



c) Si se cambia el imán por una 2da. bobina conectada a una batería, sucede lo mismo que con el imán.

d) Si ambas se mantienen inmóviles y se varía la corriente en la segunda, ya sea abriendo y cerrando el interruptor, o bien, cambiando la resistencia de la segunda bobina con el interruptor cerrado.

Si se modifica la corriente de la segunda bobina, hay una corriente inducida en el primer circuito, pero únicamente mientras está cambiando la corriente en el segundo circuito.

Ver video en EVA Ley de Faraday – Inducción electromagnética

https://m.youtube.com/watch?v=PT9bh_BrX9M&t=13s&ab_channel=TesaManuel

Experimentos de inducción

Estos y otros experimentos muestran que el elemento común es el **flujo magnético variable Φ_B** a través de la bobina conectada al galvanómetro.

La **ley de inducción de Faraday** establece que la fem inducida es proporcional a la *razón de cambio del flujo magnético Φ_B respecto al tiempo* a través de la bobina.

Las **fem inducidas magnéticamente** son el resultado de la **acción de fuerzas no electrostáticas**.

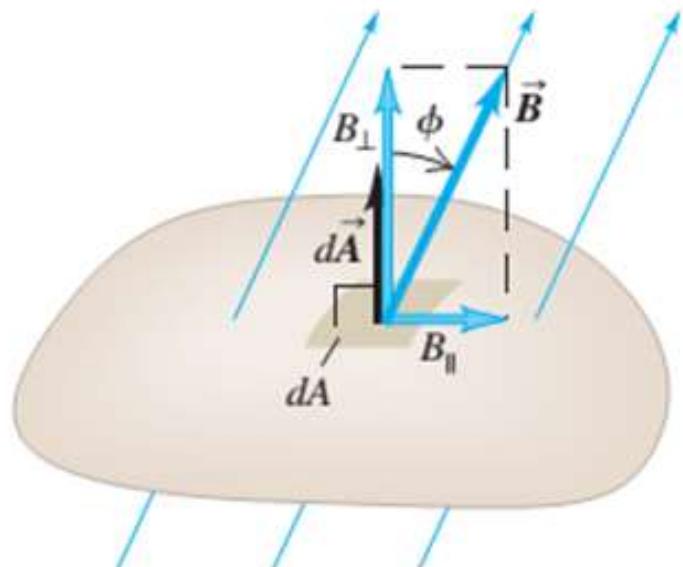
Un campo magnético que varía en el tiempo actúa como fuente de campo eléctrico.

También se prueba que un campo eléctrico que varía con el tiempo actúa como fuente de un campo magnético.

Resultados que forman parte de las **ecuaciones de Maxwell**, que describen comportamiento de campos eléctricos y magnéticos en cualquier situación y predicen la existencia de las ondas electromagnéticas,

Ley de Faraday

22



Flujo magnético a través
de un elemento de área $d\vec{A}$:
 $d\Phi_B = \vec{B} \cdot d\vec{A} = B_\perp dA = B dA \cos \phi$.

La causa de la inducción electromagnética es el **flujo magnético** cambiante en el tiempo a través de un circuito.

Flujo magnético:

$$d\Phi_B = \vec{B} \cdot d\vec{A} = B_\perp dA = B dA \cos \phi$$

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} = \int B dA \cos \phi$$

Si \vec{B} es uniforme sobre un área plana A

$$\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA \cos \phi$$

Ley de Faraday de la inducción:

La fem inducida (ε) en un circuito es igual a menos la derivada respecto al tiempo del flujo magnético (Φ_B) a través del circuito.

En otras palabras, la fem inducida en una espira cerrada es igual al negativo de la tasa de cambio del flujo magnético a través de la espira con respecto al tiempo.

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

Ley de Faraday

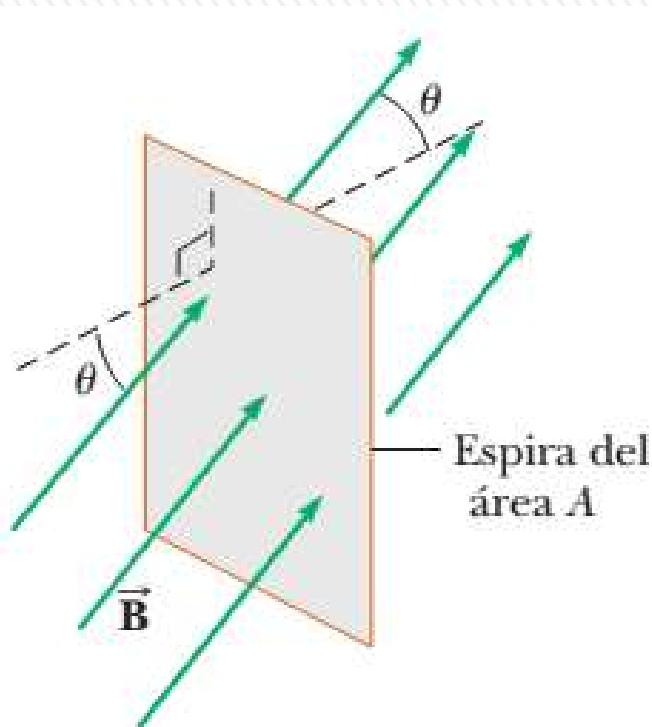
Bobina construida de N espiras, con la misma área, y Φ_B es el flujo magnético a través de una espira, se induce una fem en todas las espiras.

Para este caso:

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

Si el campo B es uniforme en un área plana A , se tiene que:

$$\varepsilon = -\frac{d}{dt} (BA \cos \phi)$$



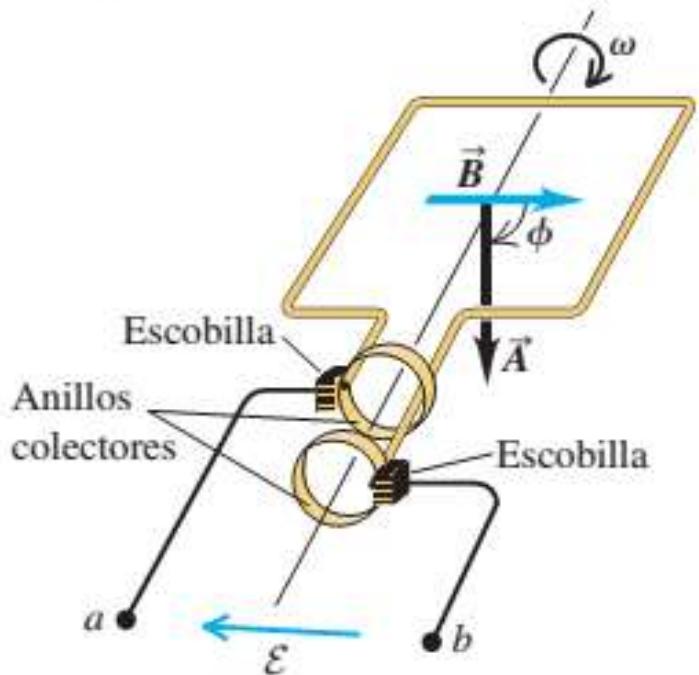
Entonces... ¿cómo se puede generar una fem?

Variando el campo B
Modificando el área A
O variando el ángulo θ



GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA

a)



Versión sencilla de un **alternador**, un dispositivo que genera una fem.

Se hace girar una espira rectangular con rapidez angular constante ω alrededor del eje que se indica.

Supongo un campo magnético \mathbf{B} es uniforme y constante.

En el momento $t = 0$, considero $\varphi = 0$.

$$\frac{d\varphi}{dt} = \omega \Rightarrow \varphi = \omega t$$

$$\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA \cos \phi = BA \cos \omega t$$

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}(BA \cos \omega t) = \omega BA \sin \omega t$$



GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA

b)

Espira
(vista desde
el extremo)

El flujo disminuye
con máxima rapidez,
fem positiva máxima.

El flujo aumenta
con máxima rapidez,
fem negativa máxima.

El flujo alcanza
su valor más positivo,
la fem es igual a cero.

$$\mathcal{E} = -d\Phi_B/dt$$

\mathcal{E}, Φ_B

El flujo alcanza su
valor más negativo,
la fem es igual a cero.

Φ_B

t

Gráfica del flujo a través de la espira (en marrón) y la fem resultante (en celeste) entre las terminales a y b , a lo largo de las posiciones correspondientes de la espira durante una rotación completa.

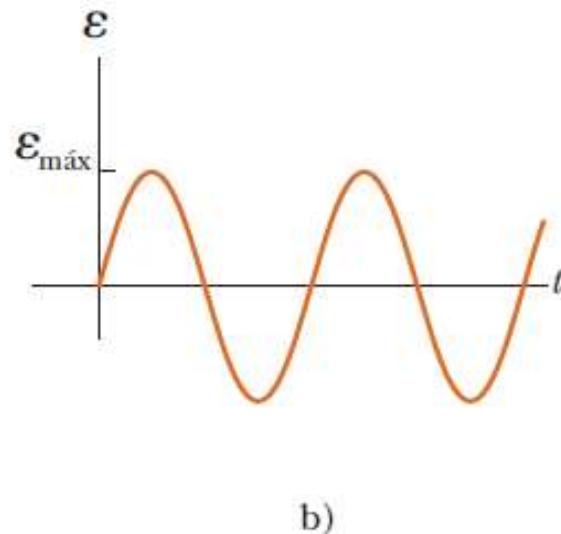
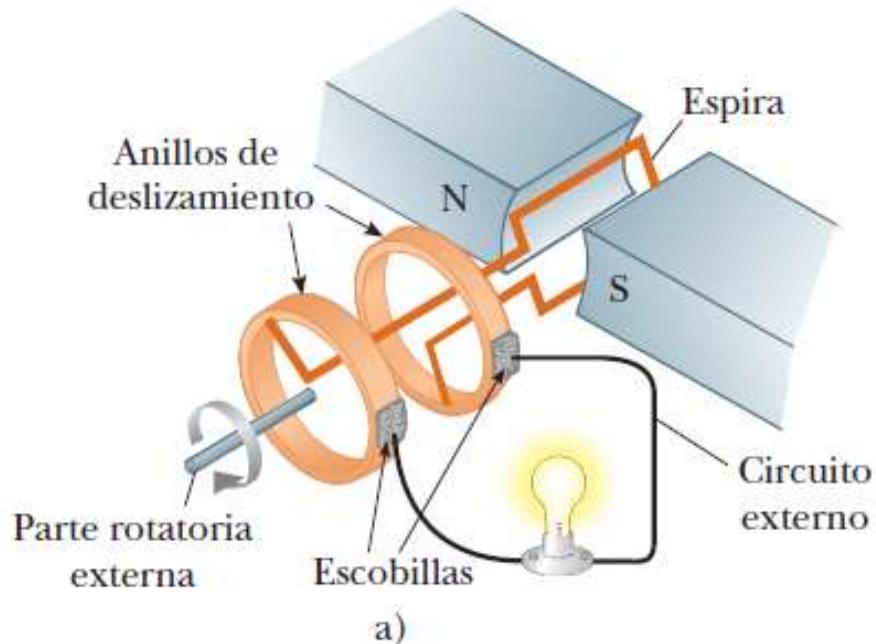


GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA

$$\Phi_B = \bar{B} \cdot \bar{A} = BA \cos \phi = BA \cos \omega t$$

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}(BA \cos \omega t) = \omega BA \sin \omega t$$

$$\varepsilon_{MAX} = \omega BA$$



- a) Diagrama de un generador de CA. Se induce una fem en una espira que gira en un campo magnético.
- b) Fem alterna inducida en la espira graficada en función del tiempo.

Ver video en EVA Funcionamiento de un generador de CA

https://m.youtube.com/watch?v=eLu8NJr-ICQ&t=2s&ab_channel=CASOLLIGENERADORES

Ley de Lenz

Método alternativo conveniente para **determinar el sentido de una corriente o una fem inducidas**.

No es un principio independiente: se puede obtener de la ley de Faraday, pero es más fácil de usar.



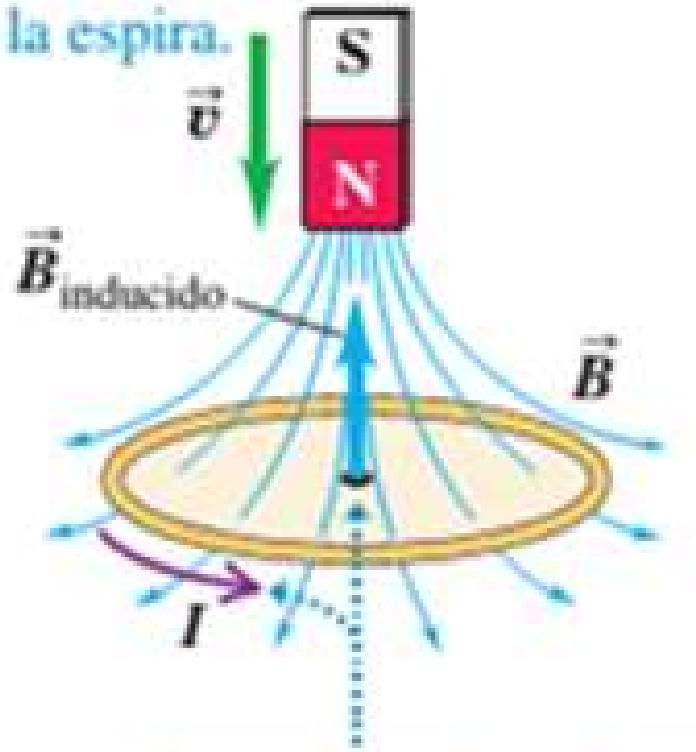
El sentido de cualquier efecto de la inducción magnética (una fem o corriente inducida) es la que se opone a la causa del efecto (la variación del flujo magnético).

La corriente o fem inducida siempre tiende a oponerse al cambio que la generó, o a cancelarlo.

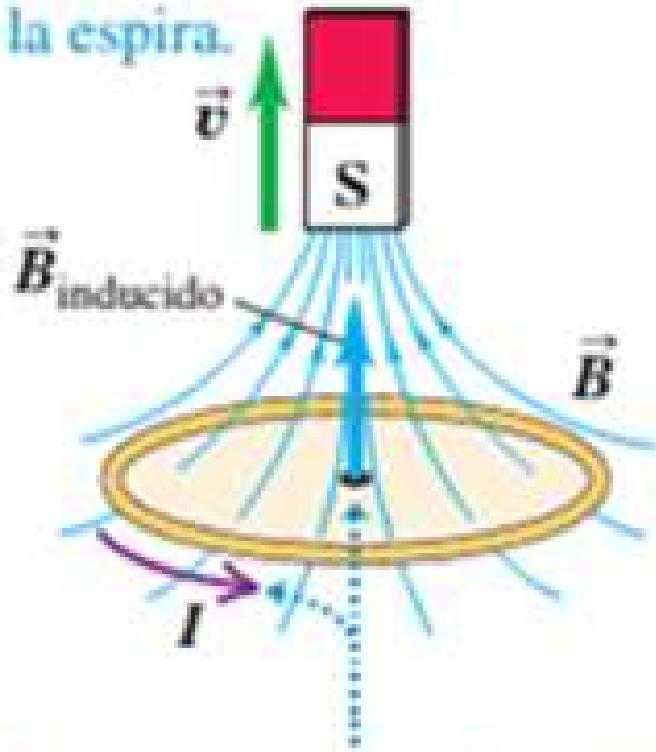
Es una consecuencia de la conservación de la energía.

Ley de Lenz

- a) El movimiento del imán ocasiona un flujo *creciente hacia abajo* a través de la espira.



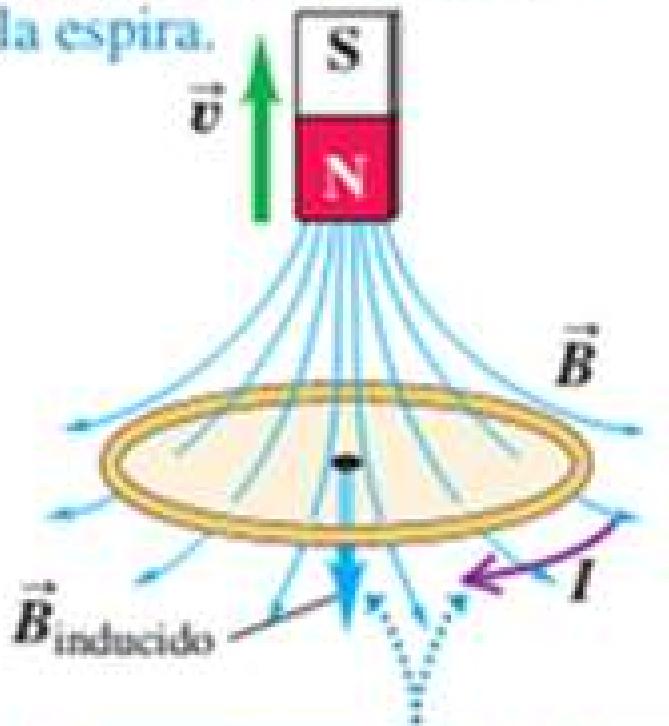
- b) El movimiento del imán ocasiona un flujo *decreciente hacia arriba* a través de la espira.



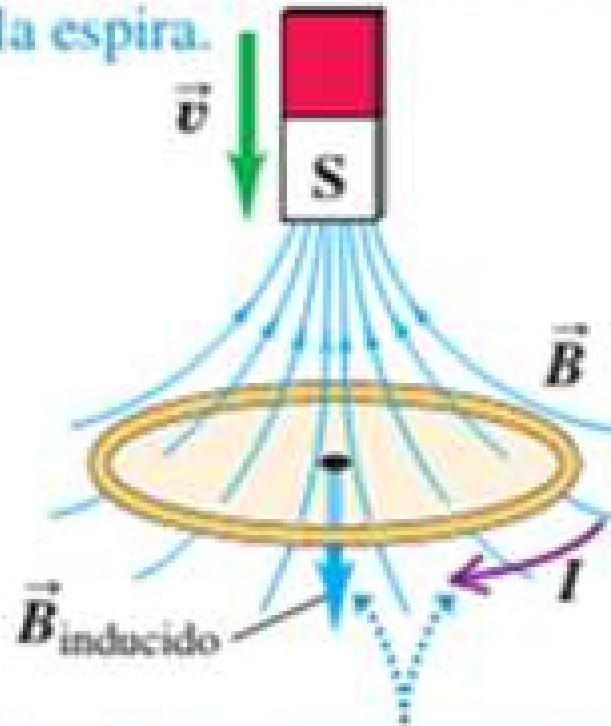
El campo magnético inducido es *hacia arriba* para oponerse al cambio del flujo. Para producir el campo inducido, la corriente inducida debe ir *en sentido antihorario*, vista desde arriba de la espira.

LEY DE LENZ

- c) El movimiento del imán produce un flujo *decreciente hacia abajo* a través de la espira.

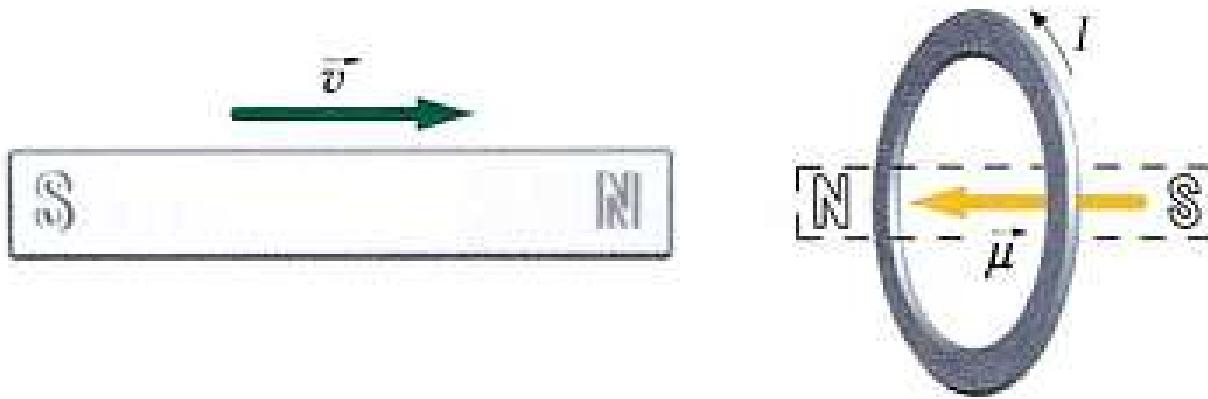


- d) El movimiento del imán ocasiona un flujo *creciente hacia arriba* a través de la espira.



El campo magnético inducido es *hacia abajo* para oponerse al cambio del flujo. Para producir este campo inducido, la corriente inducida debe ir *en sentido horario*, vista desde arriba de la espira.

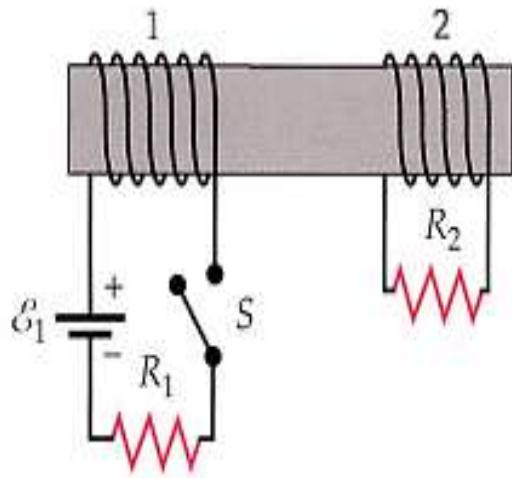
LEY DE LENZ



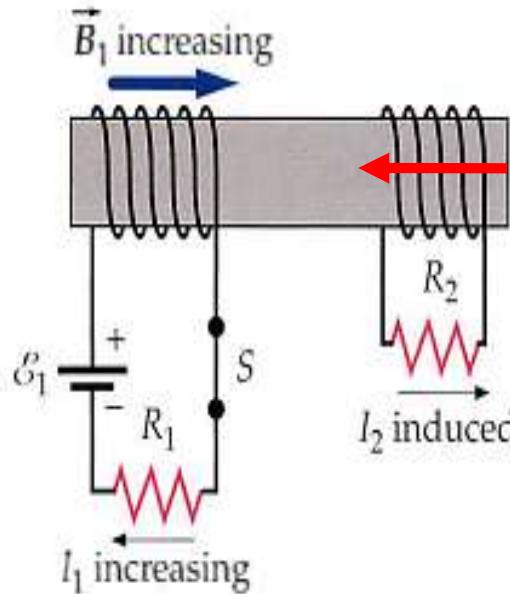
El momento magnético de la espira (mostrado en contorno como si fuera un imán de barra) debido a la corriente inducida es tal que se opone al movimiento de la barra imán. El imán de barra se está moviendo hacia la espira, el momento magnético inducido repele el imán de barra.



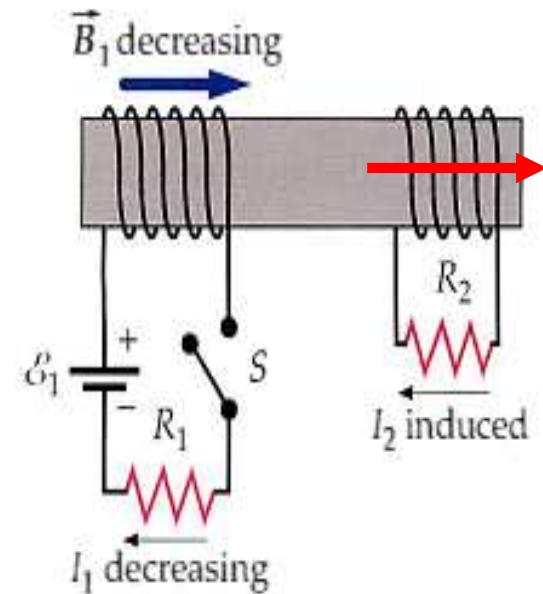
LEY DE LENZ



(a)



(b)



(c)

- a) Dos circuitos adyacentes.
- b) Justo después de que el interruptor se cierra, I_1 crece en la dirección mostrada y crea un campo magnético B_1 que aumenta desde 0. El cambio de flujo a través del circuito 2 induce la corriente I_2 . de modo que genere un campo magnético inducido que se oponga a B_1 .
El flujo a través de circuito 2 debido a I_2 se opone al cambio de flujo debido a I_1
- c) A medida que se abre el interruptor, disminuye I_1 y el flujo a través del circuito 2 cambia. La corriente inducida I_2 entonces tiende a mantener el flujo a través del circuito 2, generando un campo inducido en el mismo sentido de B_1 .