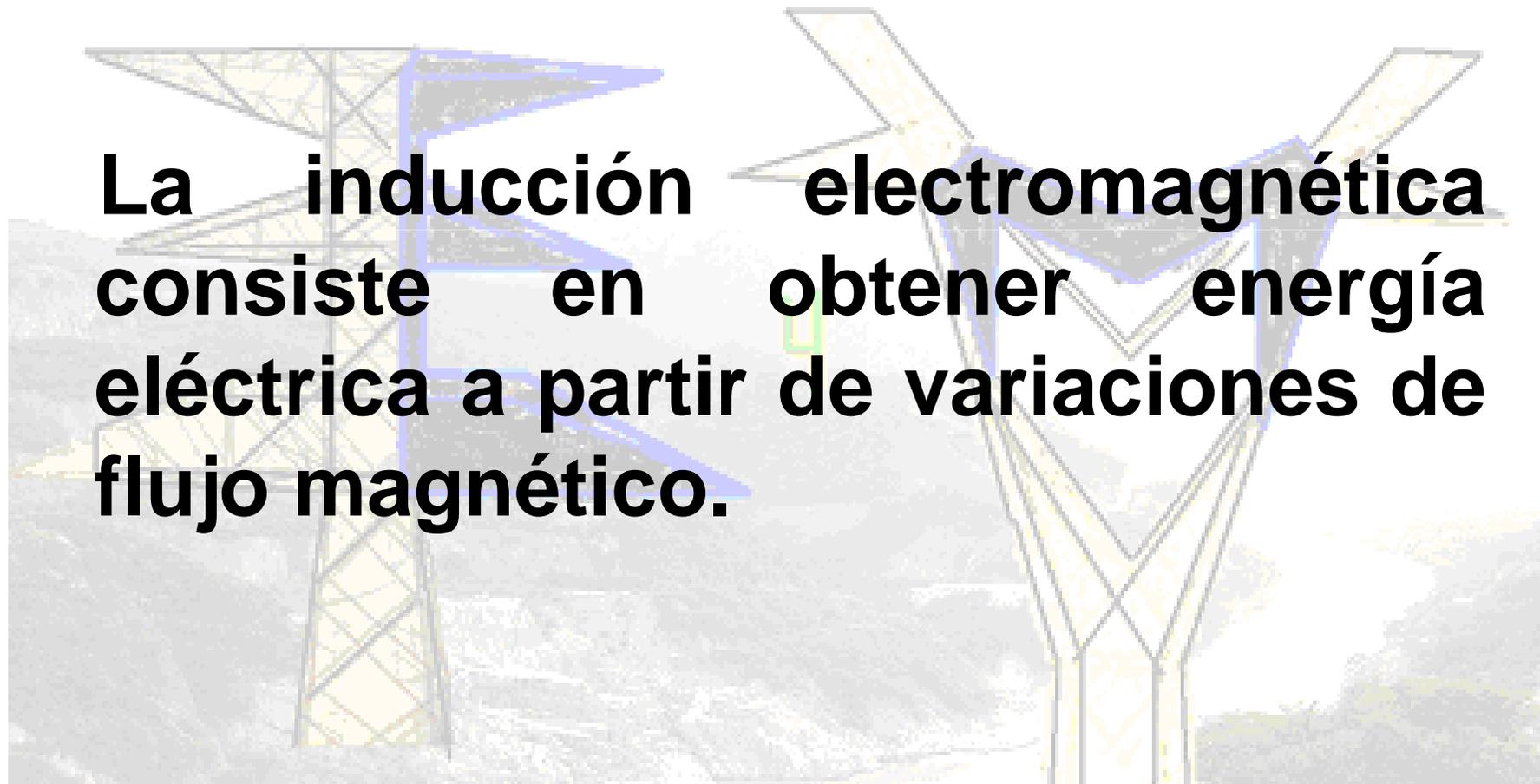
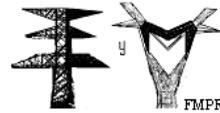




# Inducción electromagnética

**La inducción electromagnética consiste en obtener energía eléctrica a partir de variaciones de flujo magnético.**

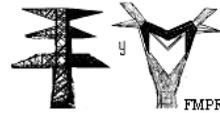




# Inducción electromagnética

**Cuando circula una corriente eléctrica por un conductor se crea un campo magnético. Michael Faraday pensaba que se podría producir el proceso inverso, es decir, que un campo magnético produzca una corriente eléctrica y por lo tanto una diferencia de potencial.**

**Bobina, imán y microamperímetro**



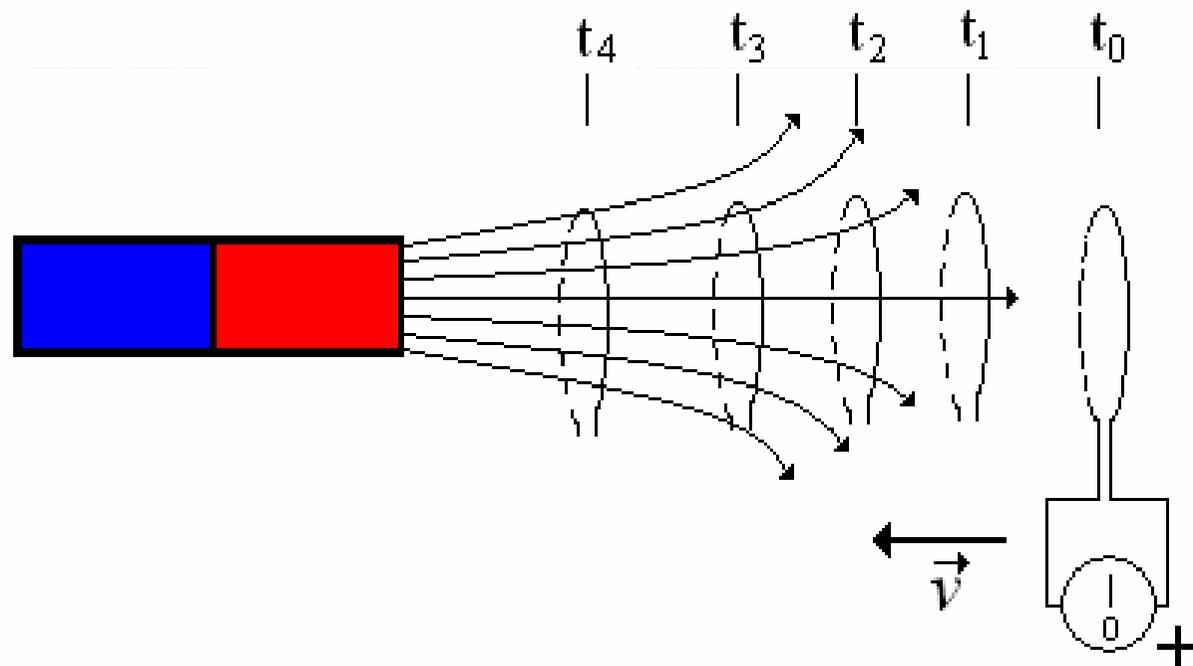
# Inducción electromagnética

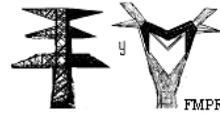
**En 1831, descubre y publica la ley de inducción electromagnética que se puede resumir en que a partir de campos magnéticos variables respecto al tiempo, se pueden generar campos eléctricos y en consecuencia corrientes eléctricas.**



# Inducción electromagnética

Un ejemplo de un experimento que produce corriente inducida es el siguiente.





# Inducción electromagnética

**Se tiene un imán de barra en una posición fija, al acercar una espira circular con una cierta velocidad, las líneas de campo magnético que cruzan el área de la espira aumentan, es decir, el flujo por unidad de tiempo cambia, modificando la posición de la aguja en el amperímetro al que se encuentra conectado la espira circular.**

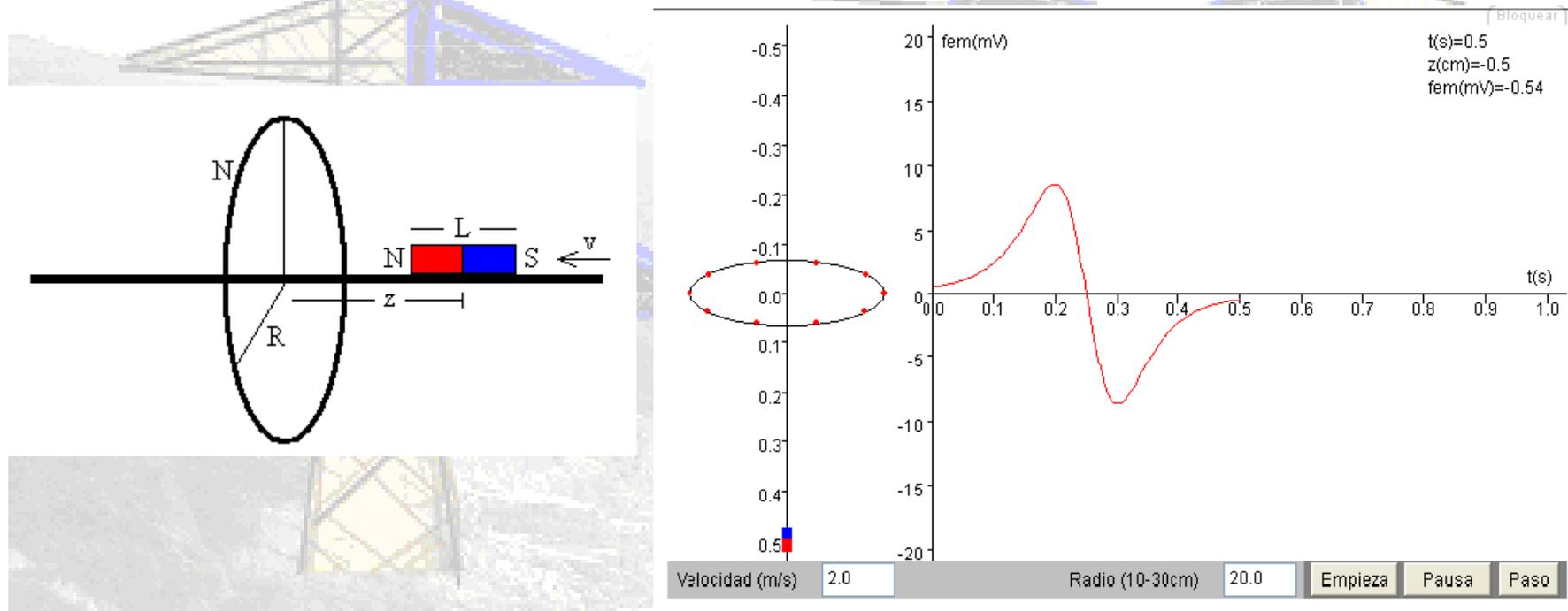
[Simulac Univ Colorado\faradays-law\\_en.jar](#)



# Inducción electromagnética



Al acercar el imán crece la corriente inducida y por lo tanto la fem inducida también crece.

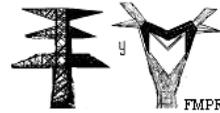




# Inducción electromagnética

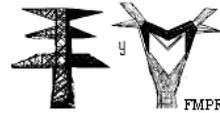
● La gráfica de la diferencia de potencial obtenido en una espira circular al acercar y alejar un imán se observa en la siguiente página:

● <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/fem/fem.htm>



# Inducción electromagnética

Para incrementar la intensidad de corriente electromotriz inducida en el instrumento se sustituye la espira circular por una bobina o un solenoide de muchas vueltas.



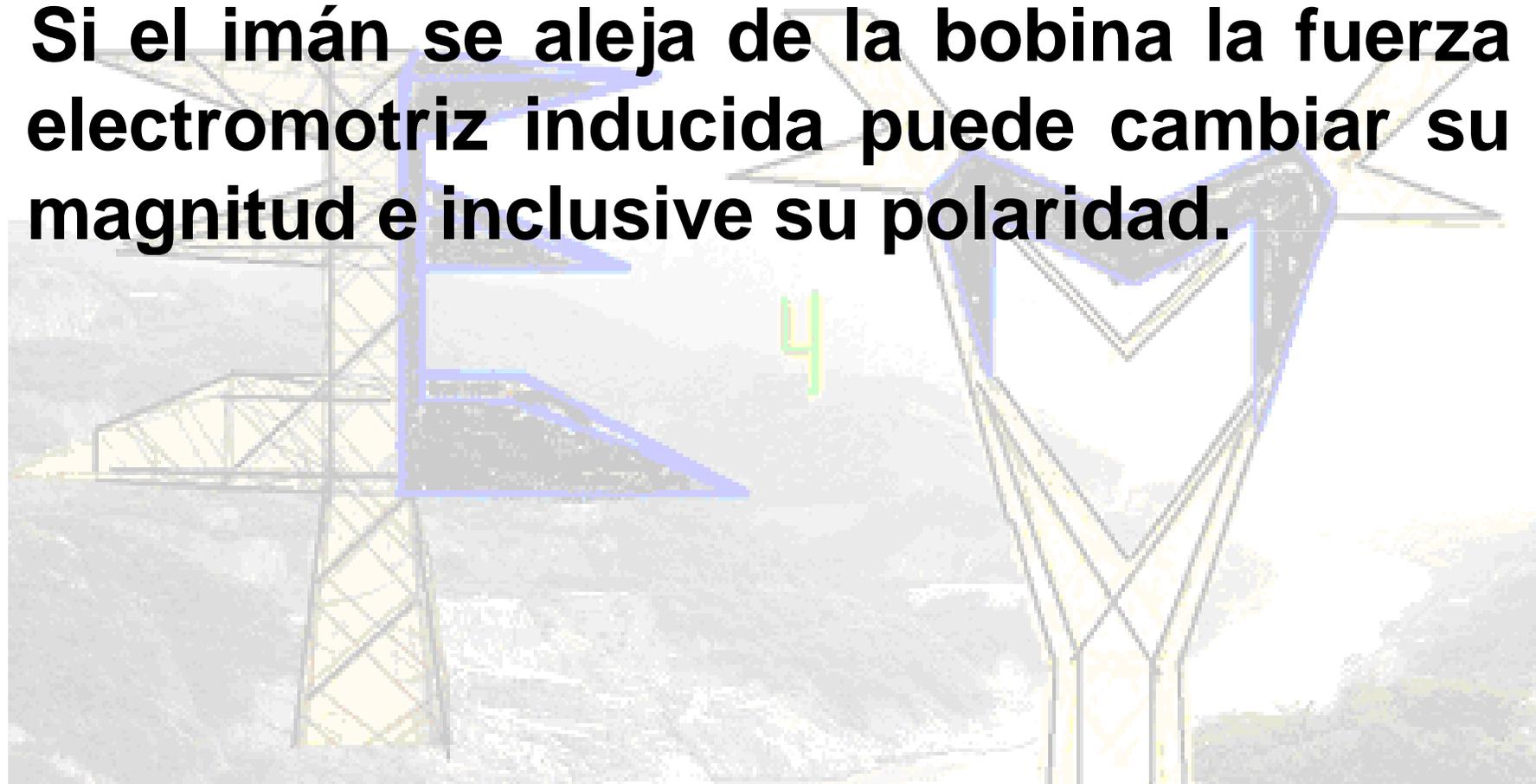
# Inducción electromagnética

De acuerdo con la ley de Ohm, si existe una corriente existirá una diferencia de potencial o voltaje y de manera más general una fem que recibe el nombre de fuerza electromotriz inducida.



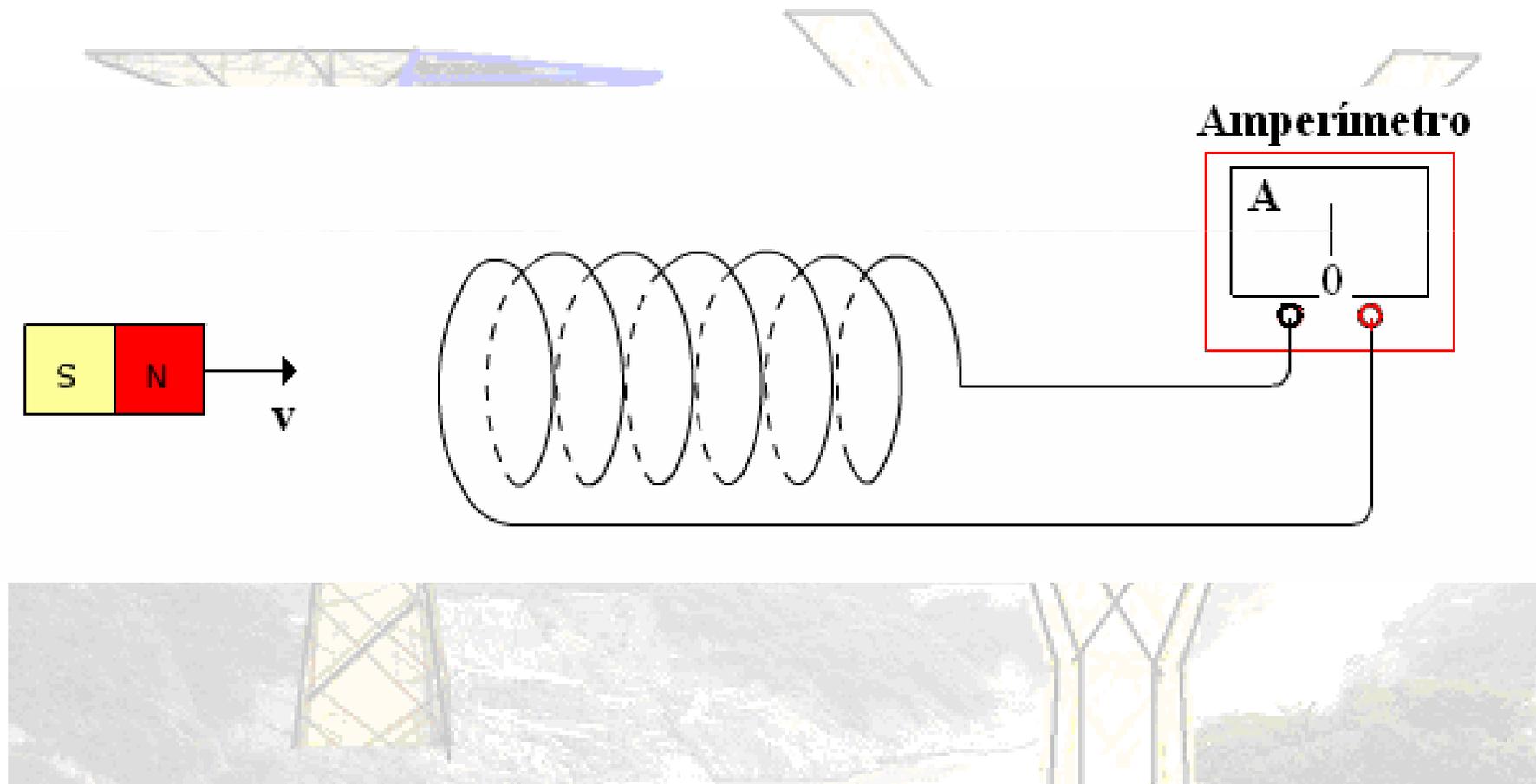
# Inducción electromagnética

**Si el imán se aleja de la bobina la fuerza electromotriz inducida puede cambiar su magnitud e inclusive su polaridad.**





# Inducción electromagnética



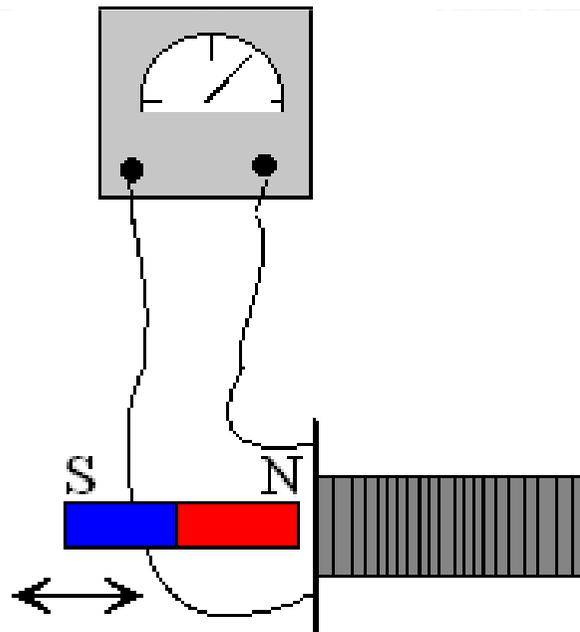


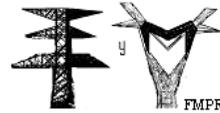
# Inducción electromagnética



Para incrementar el efecto, generalmente, se utiliza una bobina o un solenoide

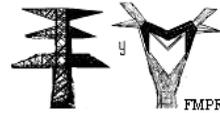
Imán, bobina y amperímetro para la clase.





# Inducción electromagnética

- El mismo efecto se obtiene si se mueve el solenoide manteniendo fijo el imán o si se mueve el imán manteniendo fijo el solenoide o si se mueven los dos simultáneamente.
- La causa que origina la fuerza electromotriz es la variación del flujo concatenado o enlazado por la espira respecto al tiempo.



# Inducción electromagnética

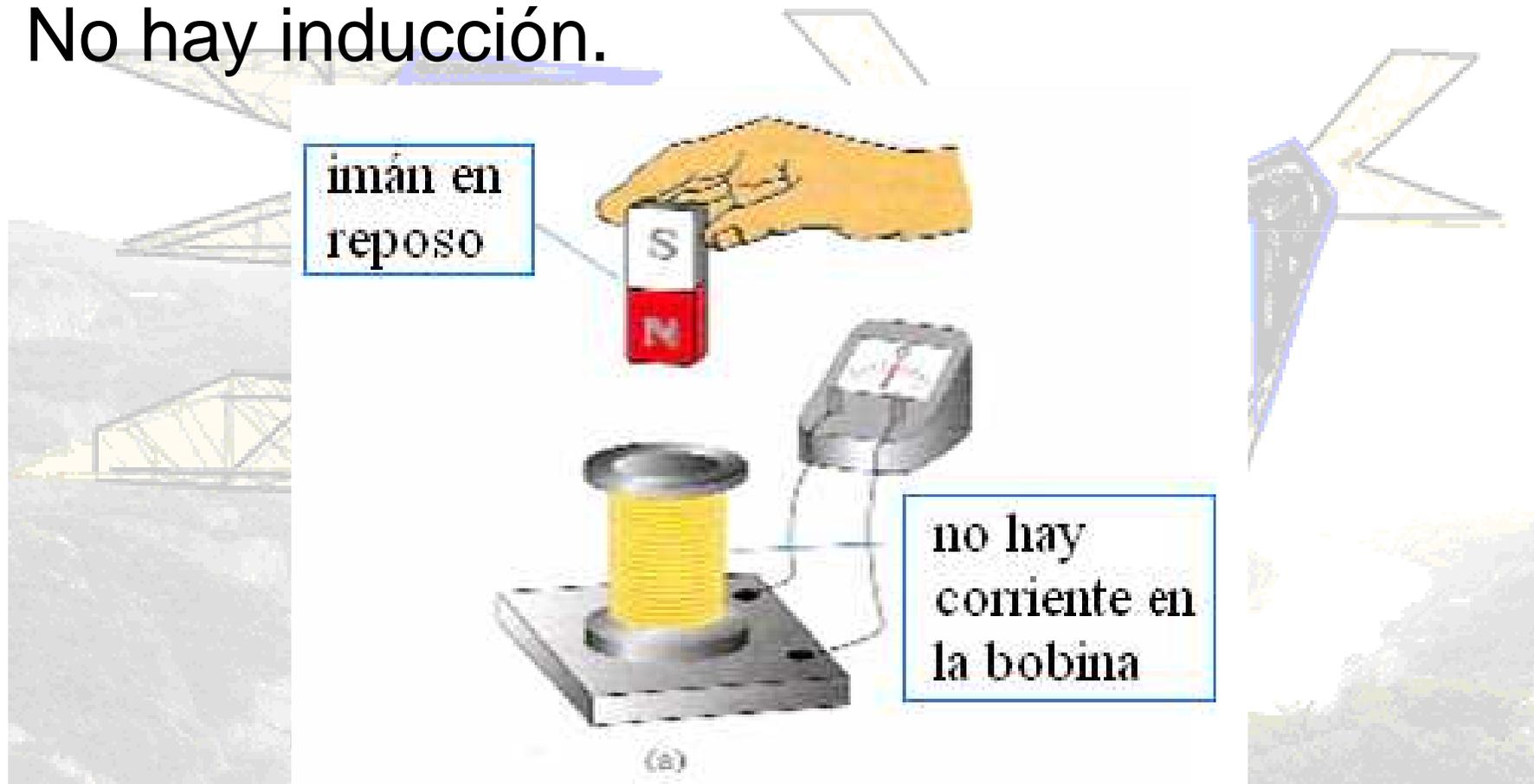
También se obtiene fuerza electromotriz si el imán se sustituye por un solenoide y se modifica la posición relativa entre los elementos o si a uno de los solenoides se le aplica una señal variable con el tiempo, por ejemplo un voltaje alterno o un voltaje de continua que se interrumpe momentáneamente por medio de un switch, como se muestra en la siguiente figura.



# Inducción electromagnética



No hay inducción.

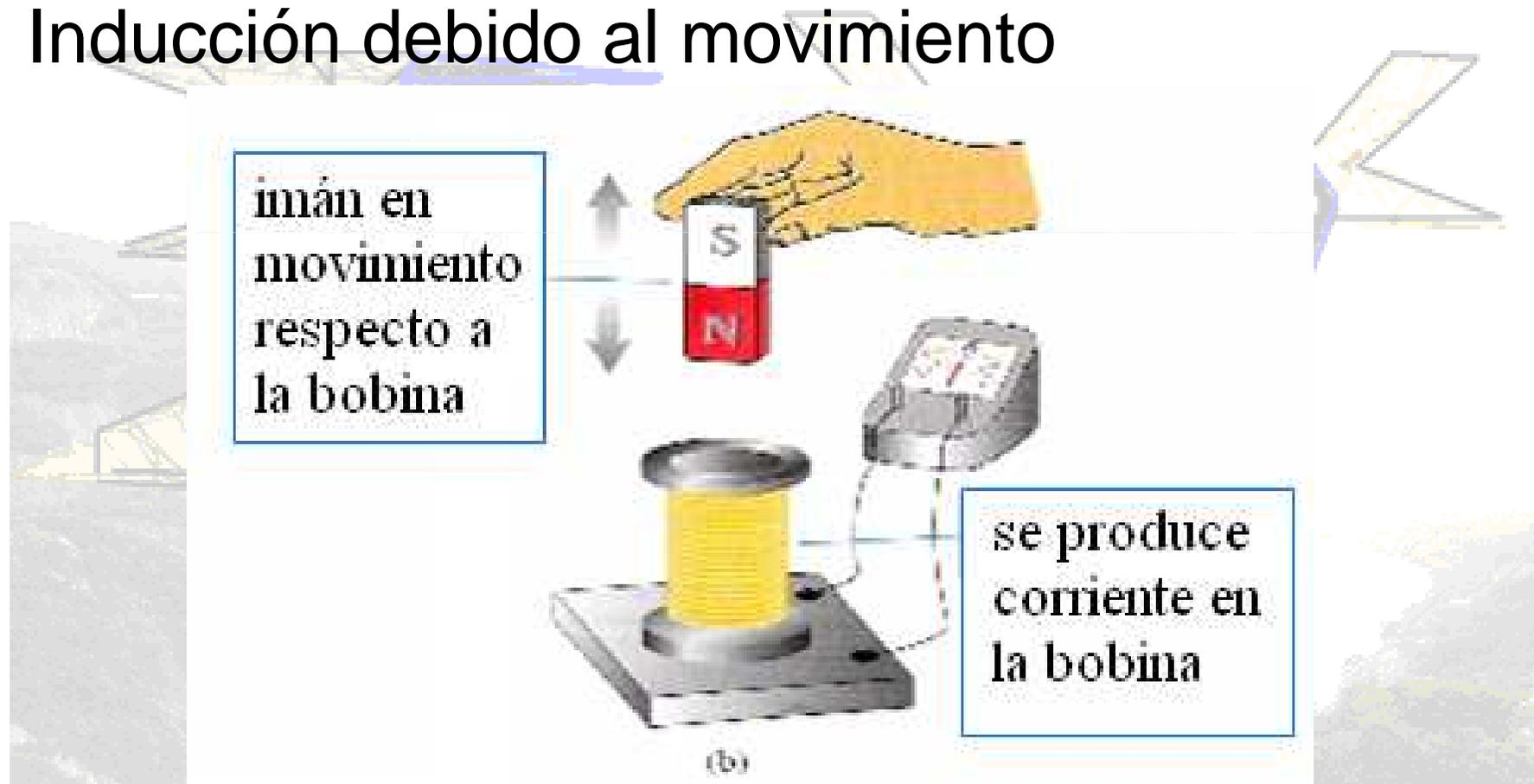




# Inducción electromagnética



## Inducción debido al movimiento



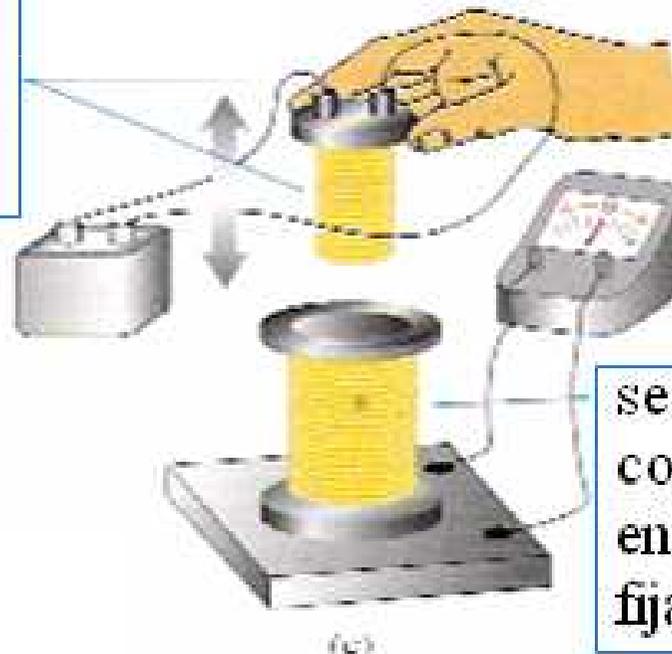


# Inducción electromagnética



## Inducción debido al movimiento

una segunda bobina que conduce corriente se desplaza respecto a la bobina fija



se induce corriente en la bobina fija



# Inducción electromagnética



## Inducción debido a la variación en la corriente

una segunda bobina que conduce corriente se halla en reposo respecto a la bobina exterior



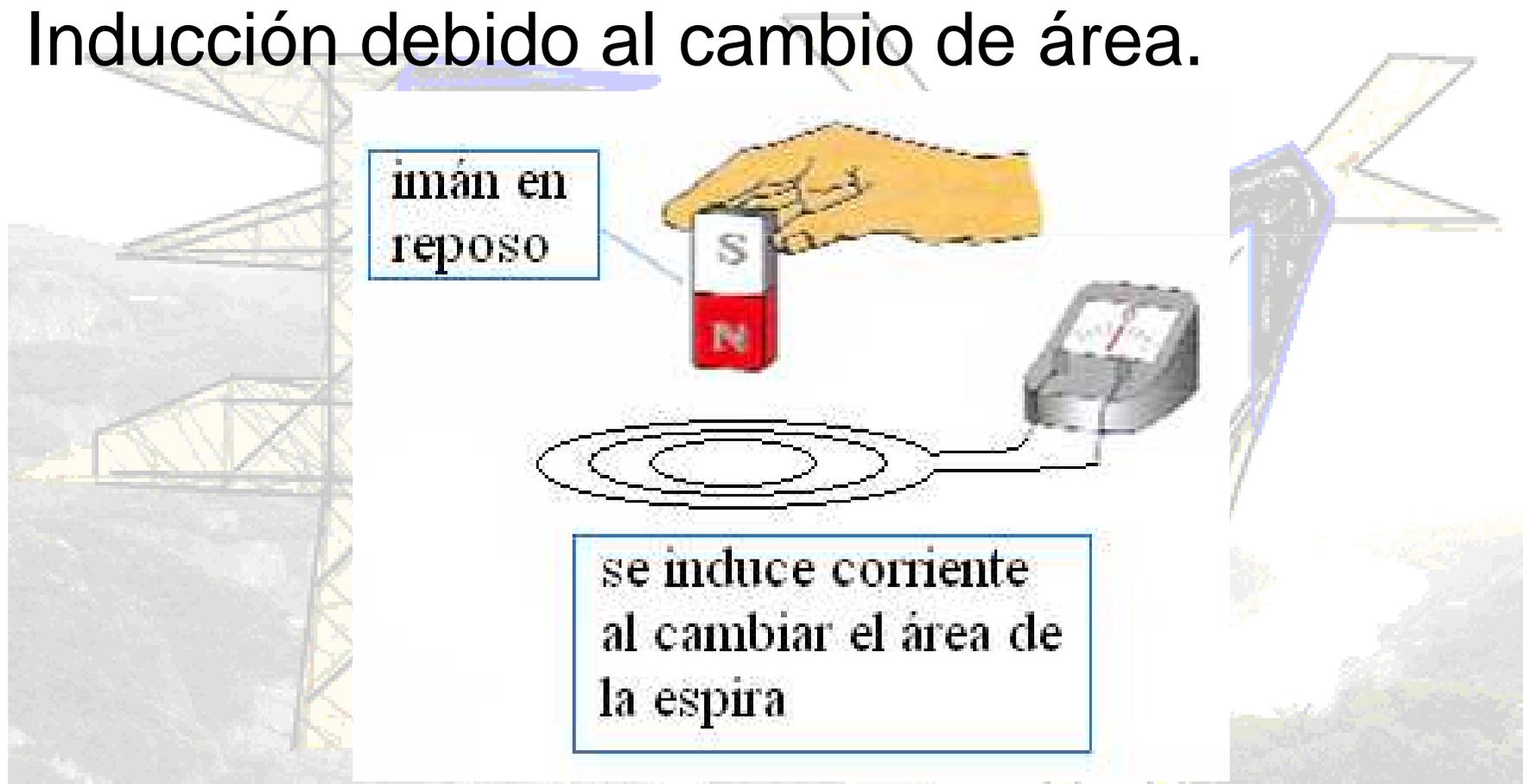
se induce corriente en la bobina exterior solo cuando cambia la corriente en la bobina interior



# Inducción electromagnética



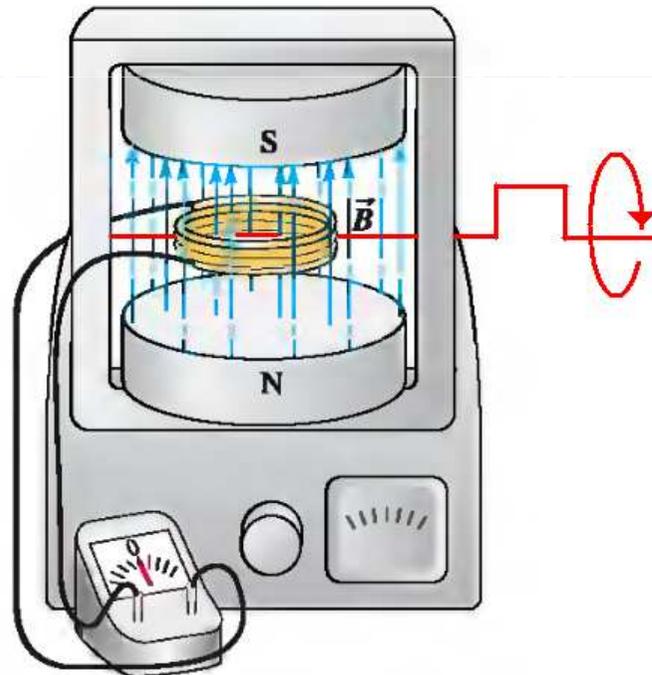
Inducción debido al cambio de área.





# Inducción electromagnética

Inducción debido a que se modifica el área de la espira debido a que gira sobre un eje.



Bobina con led's para el salón de clase

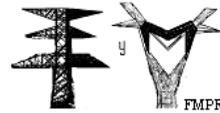


# Ley de Faraday de la inducción



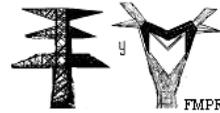
La fem inducida en una espira cerrada es igual al negativo de la relación del cambio con respecto al tiempo del flujo concatenado a través de la espira.

$$\varepsilon_i = - \frac{d\lambda}{dt}$$



# Inducción electromagnética

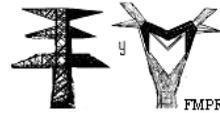
- El signo en la expresión anterior significa que la polaridad de la fuerza electromotriz inducida es opuesta a la de la variación del flujo concatenado.
- Cuando la fuerza electromotriz se produce en un embobinado de  $N$  espiras, se suele aproximar el flujo concatenado como el producto del número de vueltas  $N$  por el flujo magnético que cruza a través de una de las espiras;



# Inducción electromagnética

## Principio de Lenz.

En el año de 1834, el físico alemán Lenz realiza los mismos experimentos que Faraday. Su aportación consiste en haber explicado el sentido de la fuerza electromotriz y en consecuencia el de la corriente inducida en un circuito sujeto a un flujo magnético variable en el tiempo.

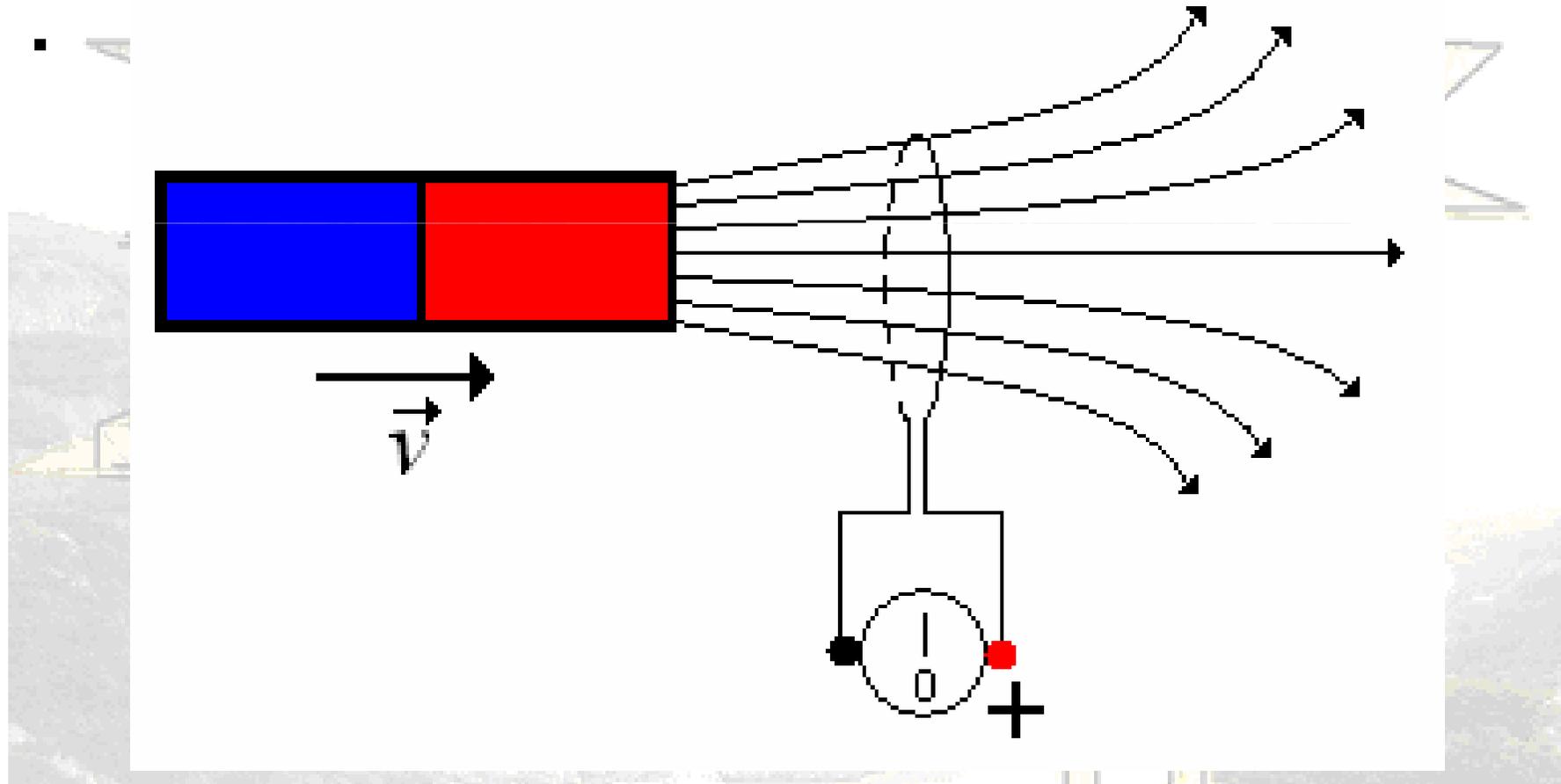


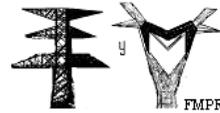
# Inducción electromagnética

Para analizar este principio analicemos lo que sucede al acercarse el extremo norte de un imán de barra a una espira, como se muestra en la figura. Se tomará la convención de que si la corriente entra al instrumento por la terminal positiva (color rojo) la aguja se desviará a la derecha y si la corriente entra por la terminal negativa (color negro) la aguja se desviará hacia la izquierda en el instrumento.



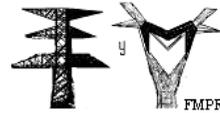
# Inducción electromagnética





# Inducción electromagnética

**Al acercar el imán de barra, el flujo magnético aumenta, la corriente inducida entonces debe generar un campo magnético que se oponga al original. Esto implica que la corriente debe entrar por la terminal negra del instrumento produciendo una desviación de la aguja a la izquierda.**



# Inducción electromagnética

- El sentido de la corriente inducida se puede determinar aplicando la regla enunciada por Lenz:

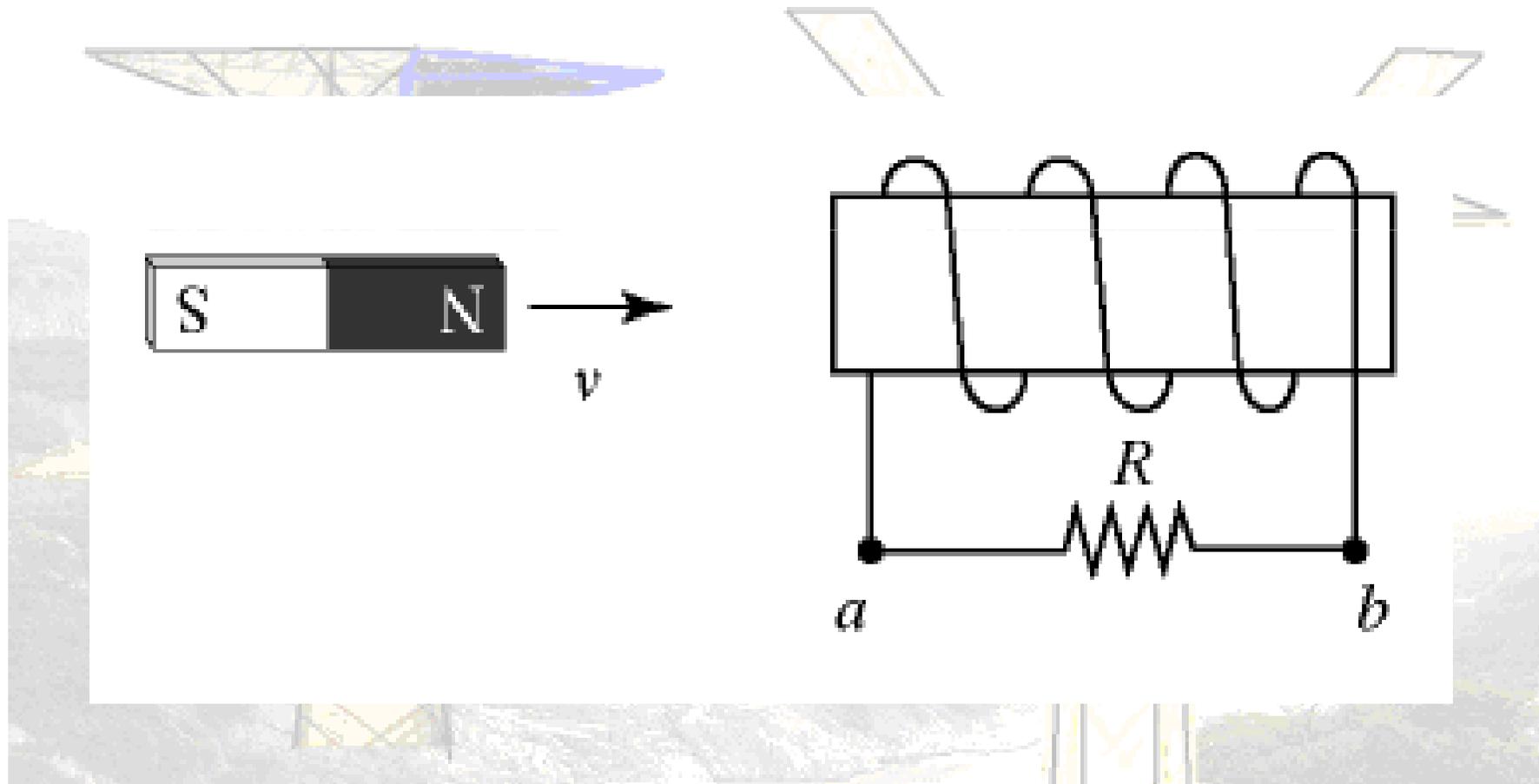
“El sentido de una corriente inducida debe ser tal, que se oponga a la causa que lo produce”.  
Un aplett que permite verificar el principio de Lenz se encuentra en :

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/inducccion/espira/espira.htm>

Las siguientes figuras permiten verificar el principio de Lenz



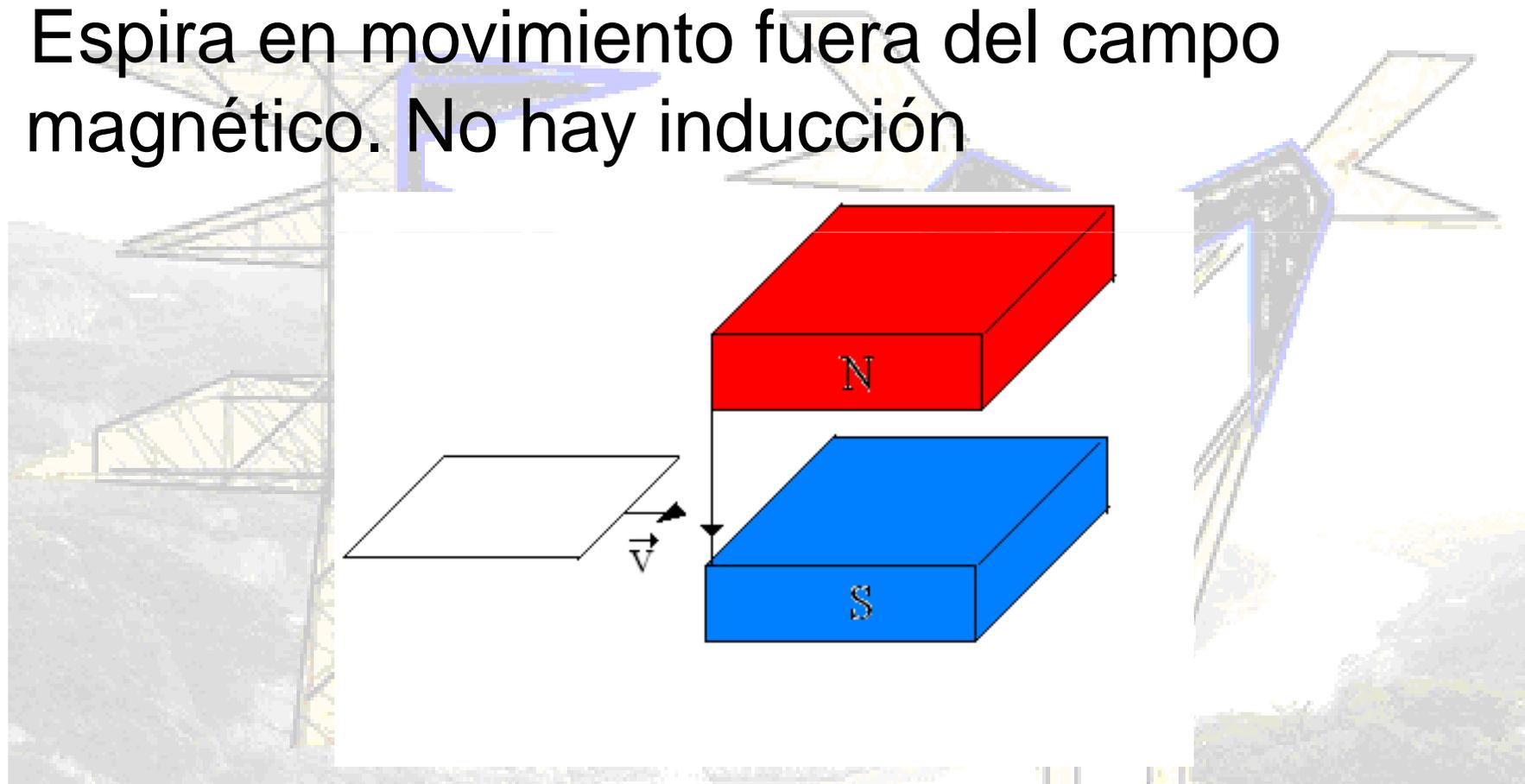
# Principio de Lenz





# Principio de Lenz

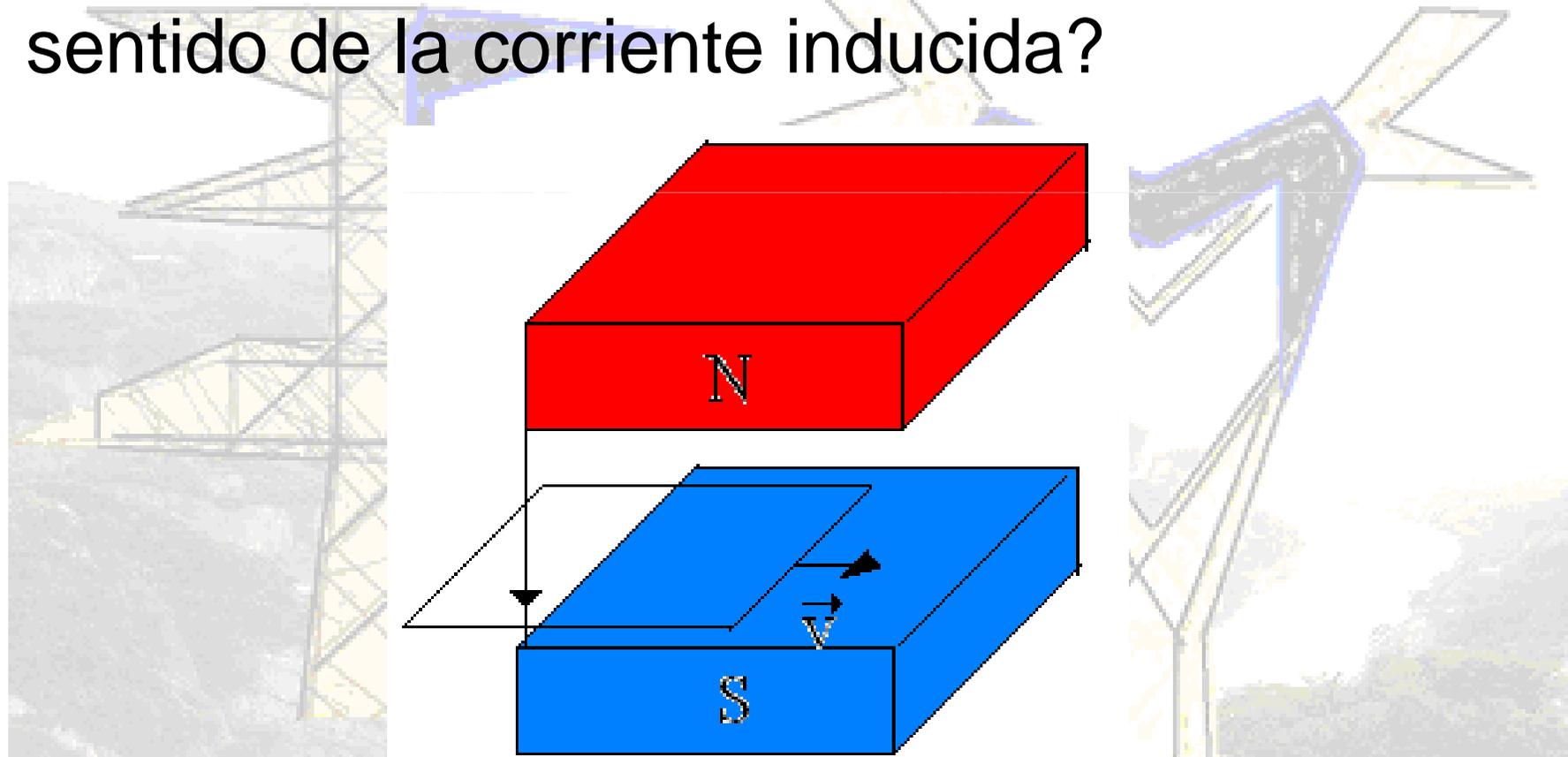
Espira en movimiento fuera del campo magnético. No hay inducción





# Principio de Lenz

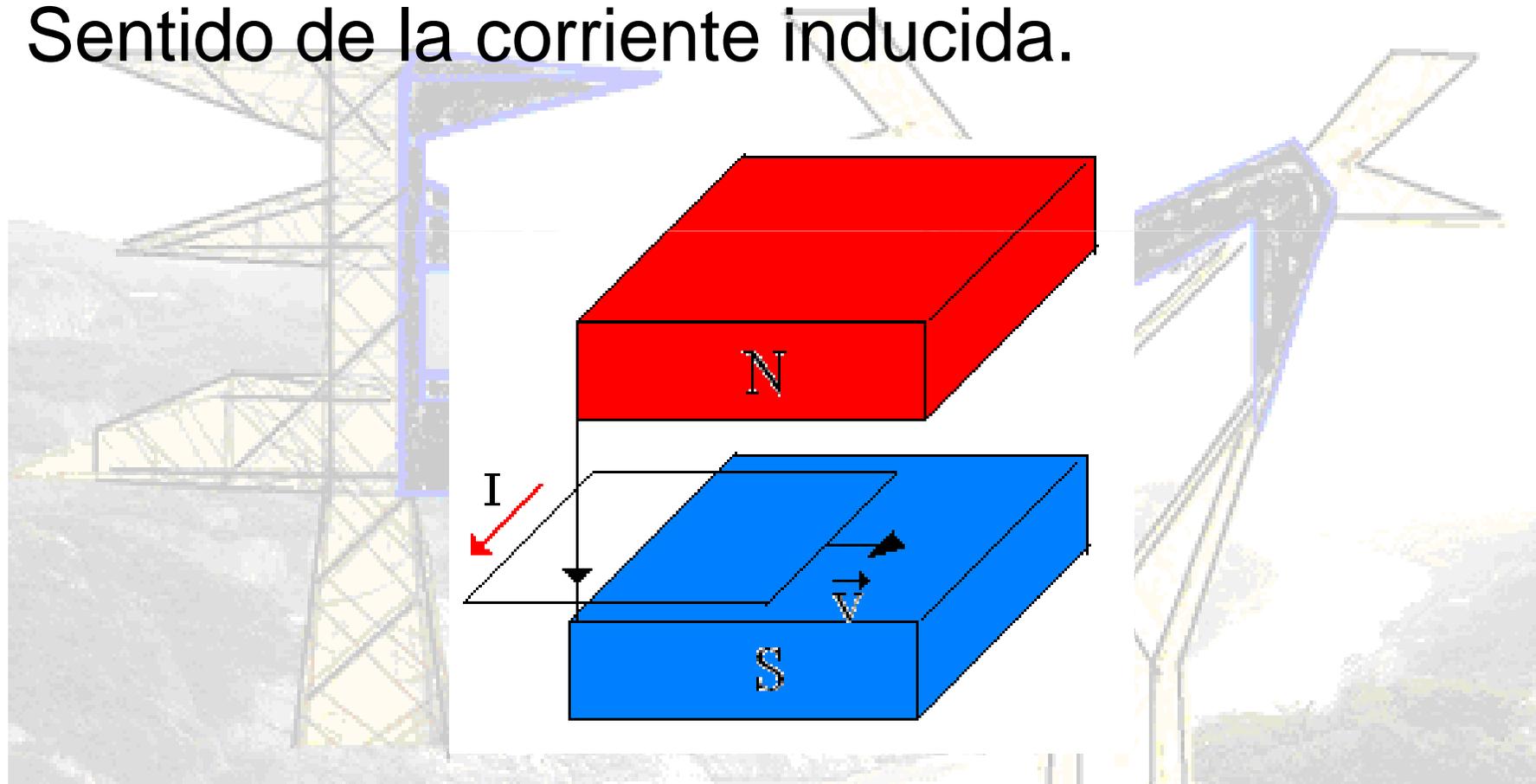
La espira entra en el campo ¿cuál es el sentido de la corriente inducida?





# Principio de Lenz

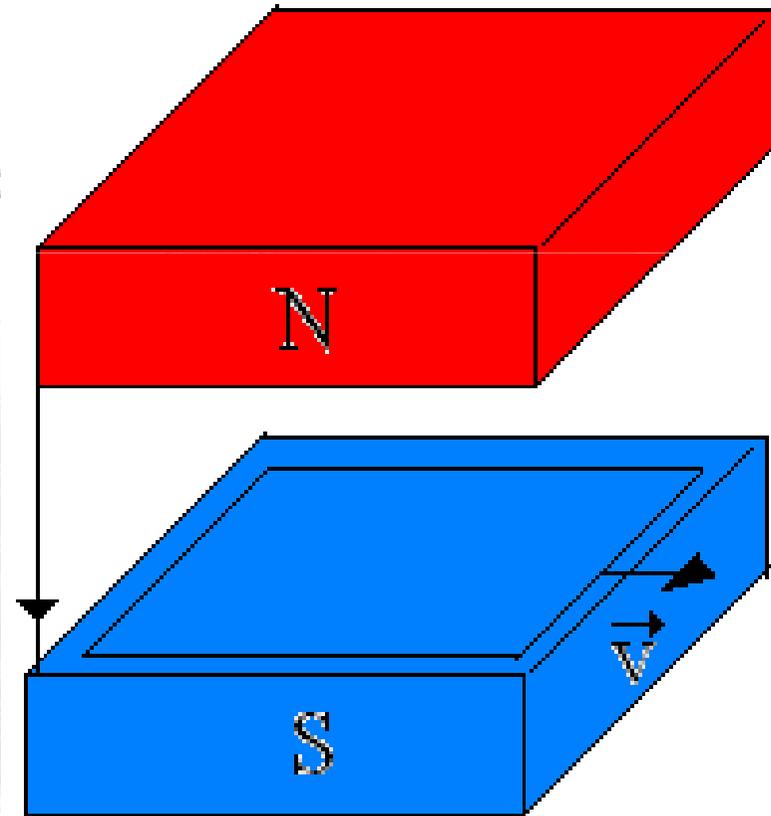
Sentido de la corriente inducida.





# Principio de Lenz

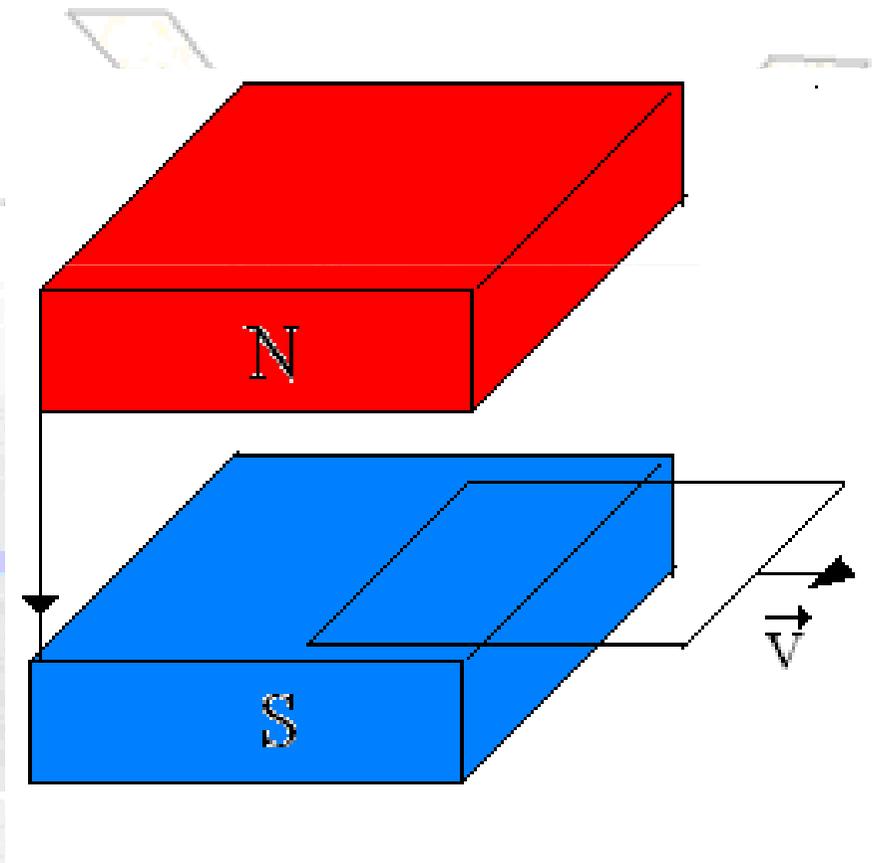
La espira se encuentra totalmente inmersa en el campo. ¿cuál es el sentido de la corriente inducida mientras la espira cruza la región de campo constante?





# Principio de Lenz

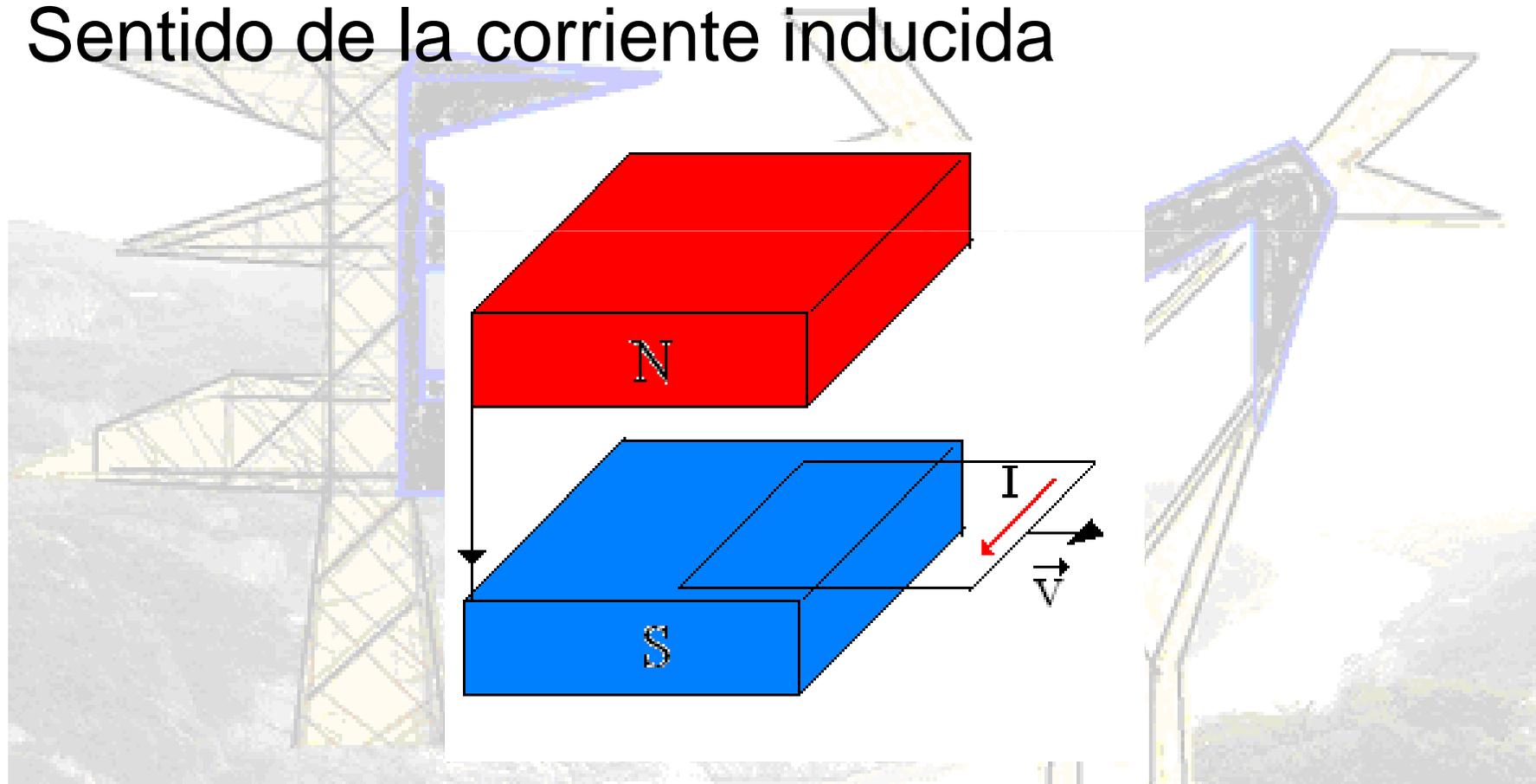
La espira empieza a salir de la región donde hay campo magnético ¿cuál es el sentido de la corriente inducida?

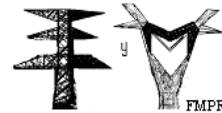




# Principio de Lenz

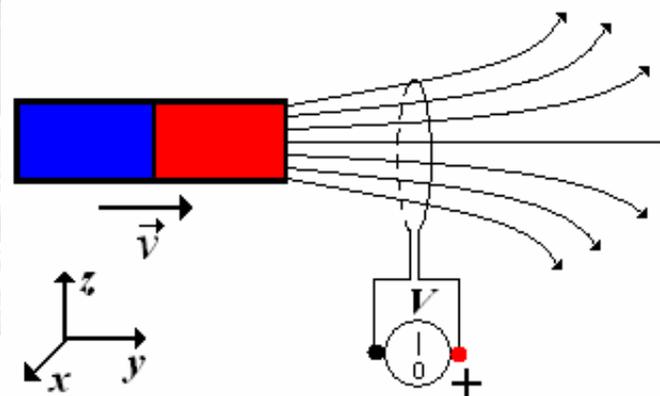
Sentido de la corriente inducida

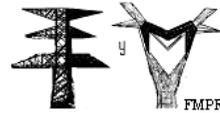




# Inducción electromagnética

Se coloca una espira plana en el plano “xz” de un sistema de referencia, se sabe que un imán de barra produce un campo magnético uniforme  $\vec{B} = 4 \hat{j} [\text{T}]$ . Si el área de la espira aumenta a razón de  $0.04 \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$ , determinar:





# Inducción electromagnética

- a) La magnitud de la fem inducida.
- b) El sentido de la corriente inducida indicando por que terminal entra en el instrumento.
- c) La magnitud de la corriente inducida si la espira tiene una resistencia  $R = 0.8 [\Omega]$ .
- d) La energía en forma de calor que disipa la espira en tres minutos.



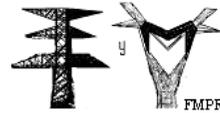
# Inducción electromagnética

La fem inducida está dada por  $\varepsilon = -N \frac{d\phi}{dt}$

Como el campo magnético es perpendicular a la espira el flujo está dado por  $\phi = BA$

Sustituyendo el flujo en la expresión de la fem inducida, la magnitud tiene un valor de:

$$|\varepsilon| = \left| -N \frac{d(BA)}{dt} \right| = \left| -NB \frac{dA}{dt} \right| = 0.16 [\text{V}]$$



# Inducción electromagnética

b) Como el área de la espira aumenta pasarán mayor número de líneas de campo, es decir, el flujo aumenta (causa): La corriente debe tener tal sentido que se oponga a la causa, por lo tanto, la corriente fluiría a través de la espira de la terminal roja a la terminal negra para producir un flujo magnético opuesto al que la genera.



# Inducción electromagnética

**c) De acuerdo con la ley de Ohm**

$$i = \frac{V}{R} = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{0.16}{0.8} = 0.2 \text{ [A]}$$

**d) Por la ley de Joule.**

$$U = Pt = R i^2 t = 0.8(0.2)^2 (3)(60) = 0.32(3)(60) = 5.76 \text{ [J]}$$



# Inducción electromagnética

Fuerza electromotriz que se induce en una espira que se mueve con una velocidad constante dentro de un campo magnético uniforme.

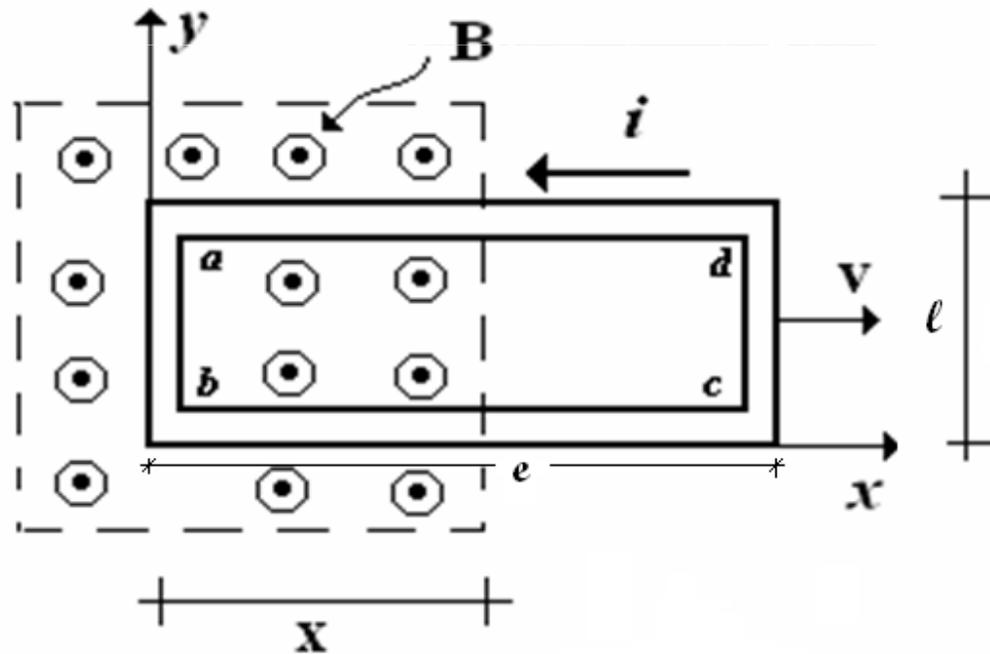
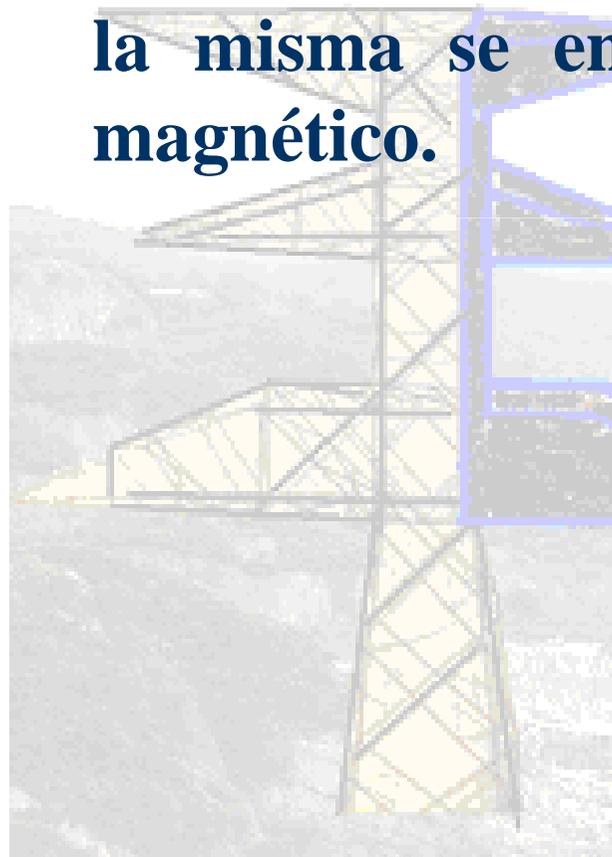
En la figura se muestra una espira que se mueve con velocidad constante

$$\vec{v} = v\hat{j} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$



# Inducción electromagnética

Espira conductora con velocidad. Una parte de la misma se encuentra dentro de un campo magnético.





# Inducción electromagnética

Se sabe que en la región hay un campo magnético constante.

$$\vec{B} = B\hat{k} [T]$$

Al desplazarse la bobina partiendo de la posición dada en la figura, disminuirá su flujo concatenado y se inducirá una fem que hará circular una corriente cuyo sentido será contrario al de las manecillas del reloj, de acuerdo al principio de Lenz.



# Inducción electromagnética

Para calcular la fem inducida, se empleará la ley de Faraday

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

Donde  $N=1$

El flujo magnético es:

$$\phi = \iint \vec{B} \cdot d\vec{A} = BA$$

Pero el área  $A$ , representa aquella por la cual cruza el flujo magnético; es decir:  $A = \ell x$



# Inducción electromagnética

Sustituyendo los resultados en la ley de Faraday, se obtiene:

$$\varepsilon = N \frac{d(B\ell x)}{dt} = NB\ell \frac{dx}{dt} = NB\ell v$$

Donde  $v$  es la velocidad con que se mueve la espira y para este ejemplo  $N=1$



# Inducción electromagnética



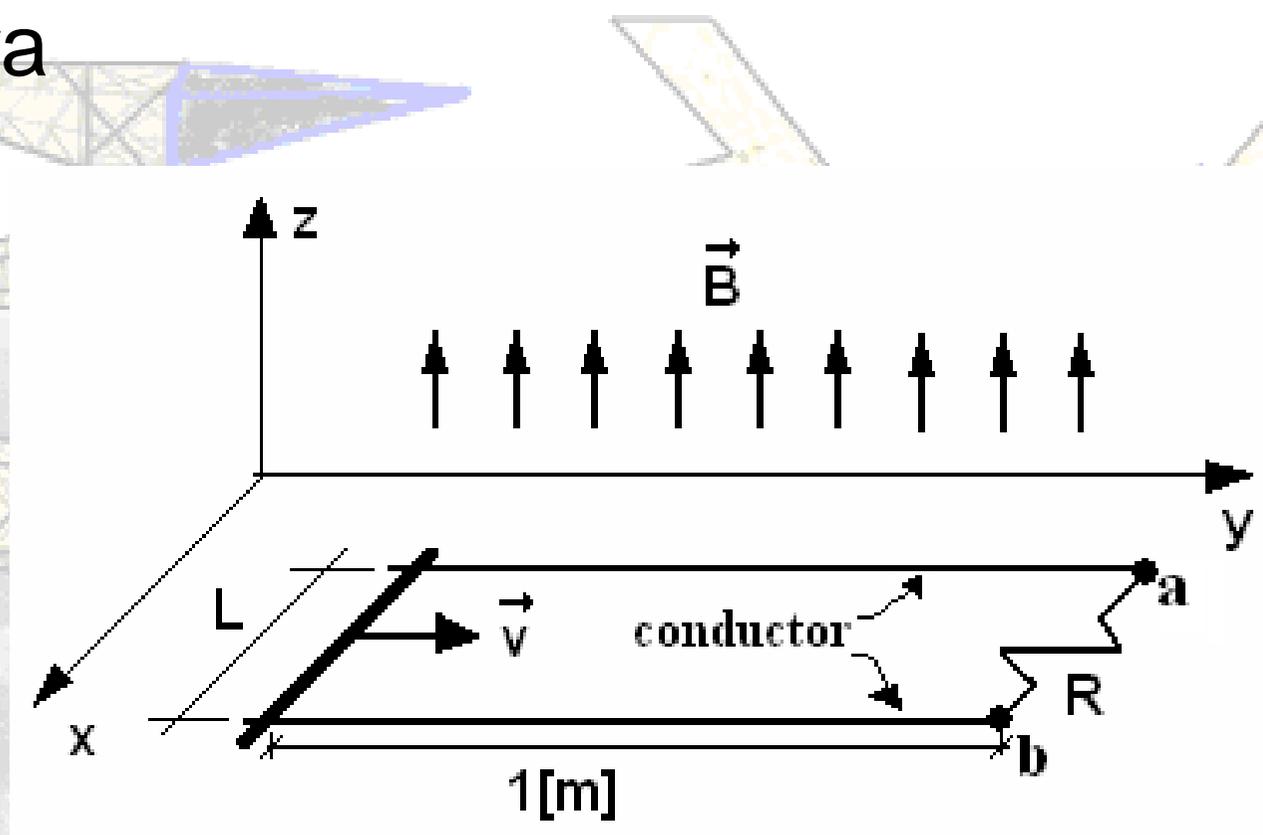
Una barra metálica de resistencia nula se desliza sin fricción, con una velocidad constante sobre dos conductores, también de resistencia nula, unidos por un resistor  $R=2[\Omega]$  como se muestra en la figura. La separación entre conductores es  $L=0.5[\text{m}]$ . En toda la región existe un campo magnético constante de magnitud  $0.1[\text{T}]$  en dirección del eje “z” positivo y la barra inicia su movimiento en el tiempo  $t=0[\text{s}]$  a una distancia de  $1[\text{m}]$  con respecto a la resistencia  $R$ , la velocidad de desplazamiento es de  $5 [\text{m/s}]$ . Determine:



# Inducción electromagnética



- Figura





# Inducción electromagnética



- a) El flujo magnético en la superficie formada por los conductores, la resistencia y la barra metálica después de que transcurrieron  $0.075[s]$ .
- b) El valor de la corriente que circula por la resistencia e indique su sentido en un diagrama.



# Inducción electromagnética



a) En el tiempo  $t = 0.075$  [s] la barra se desplazó una distancia  $d$  desde su punto de partida.

$$d = vt = 5 \times 0.075 = 0.375 \text{ [m]}$$

El área de interés es;

$$A = \ell(1 - 0.375) = 0.5 \times 0.625 = 0.3125 \text{ [m}^2\text{]}$$

por lo tanto, el flujo es:

$$\phi = BA = 0.1 \times 0.3125 = 0.03125 \text{ [Wb]}$$



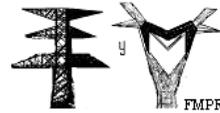
# Inducción electromagnética



b) La corriente es

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{Blv}{R} = \frac{0.1 \times 0.5 \times 5}{2} = 0.125[\text{A}]$$

**La corriente de acuerdo al principio de Lenz ,  
fluye a través de la resistencia del borne “b”  
al borne “a”.**



# Inducción electromagnética

## Barra en movimiento.

[http://wps.aw.com/aw\\_young\\_physics\\_11/13/3510/89859\\_3.cw/index.html](http://wps.aw.com/aw_young_physics_11/13/3510/89859_3.cw/index.html)





# Inducción electromagnética

## Barra en movimiento.

$v = 1.00 \text{ m/s}$

$B = 0.10 \text{ T}$

$I = 0.010 \text{ A}$

$\epsilon = 0.020 \text{ V}$

$\phi = 0.013 \text{ Wb}$

$t = 0.369 \text{ s}$

$l = 0.20 \text{ m}$

$R = 2.00 \Omega$

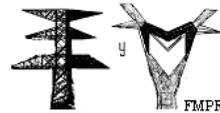
Show  $I$

Show  $\epsilon$

Show  $\phi$

stop

reset



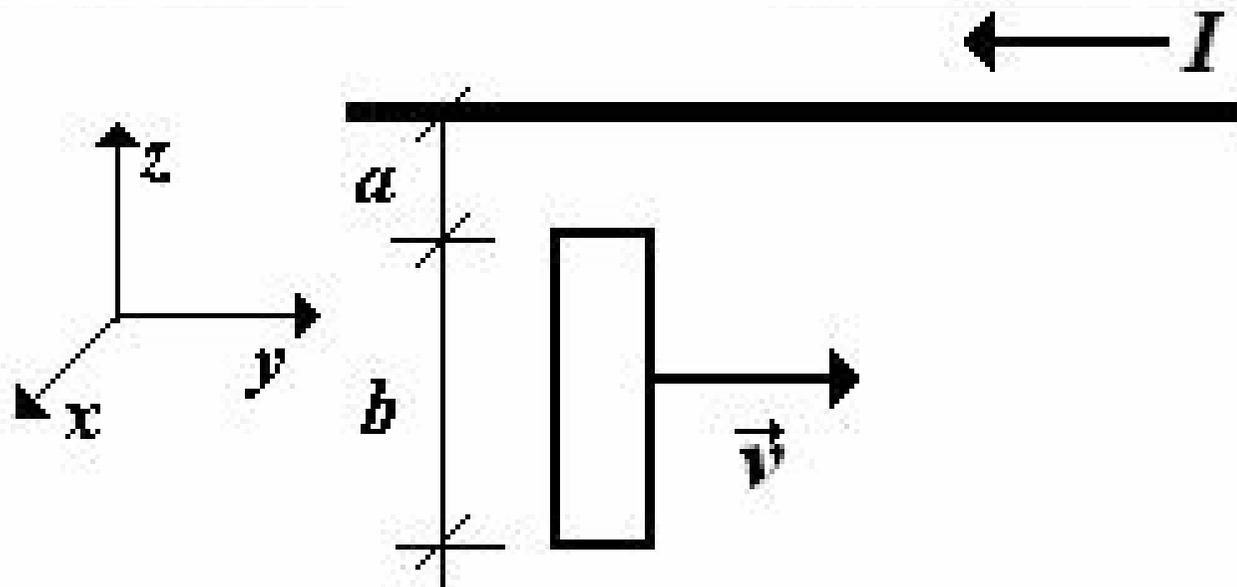
# Inducción electromagnética

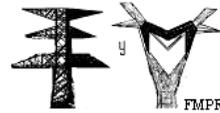
**Ejemplo: Determinar la fuerza electromotriz inducida en una barra metálica de longitud  $b=10$  [cm] que se mueve con una velocidad constante  $v=5$  [m/s] paralela a un conductor recto y muy largo que transporta una corriente  $I=95$  [A]. La separación entre el conductor y la barra es  $a=5$  [cm] como se muestra en la figura.**



# Inducción electromagnética

Determine la fuerza electromotriz en los extremos de la barra metálica.





# Inducción electromagnética

Como el campo magnético producido por un conductor recto y largo es función inversa de la distancia del conductor, entonces:

$$d\varepsilon = B v d\ell$$

Integrando  $\varepsilon = \int B v d\ell$

Pero  $d\ell = dr$   $v = \text{cte}$

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I}{r}$$



# Inducción electromagnética

Sustituyendo

$$\mathcal{E} = v \int_a^{a+b} \frac{\mu_0 2I dr}{4\pi r} = \frac{\mu_0 2Iv}{4\pi} \int_a^{a+b} \frac{dr}{r}$$

Finalmente la magnitud

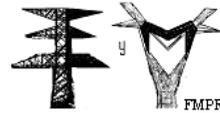
$$\mathcal{E} = \frac{\mu_0 2Iv}{4\pi} \ln \frac{a+b}{a}$$



# Inducción electromagnética

Sustituyendo datos

$$\varepsilon = \frac{4\pi \times 10^{-7} (2)(95)(5)}{4\pi} \ln \frac{10+5}{5} = 104.37 [\mu\text{V}]$$



# Inducción electromagnética

Se sabe que el campo magnético producido por el conductor recto tiene dirección en el eje de las “z’s” positivo, la velocidad en el eje de las “y’s”. Aplicando regla de la mano izquierda, las cargas positivas se desplazarán a la parte inferior de la barra metálica. Por lo tanto el extremo superior de la barra será el de menor potencial eléctrico.



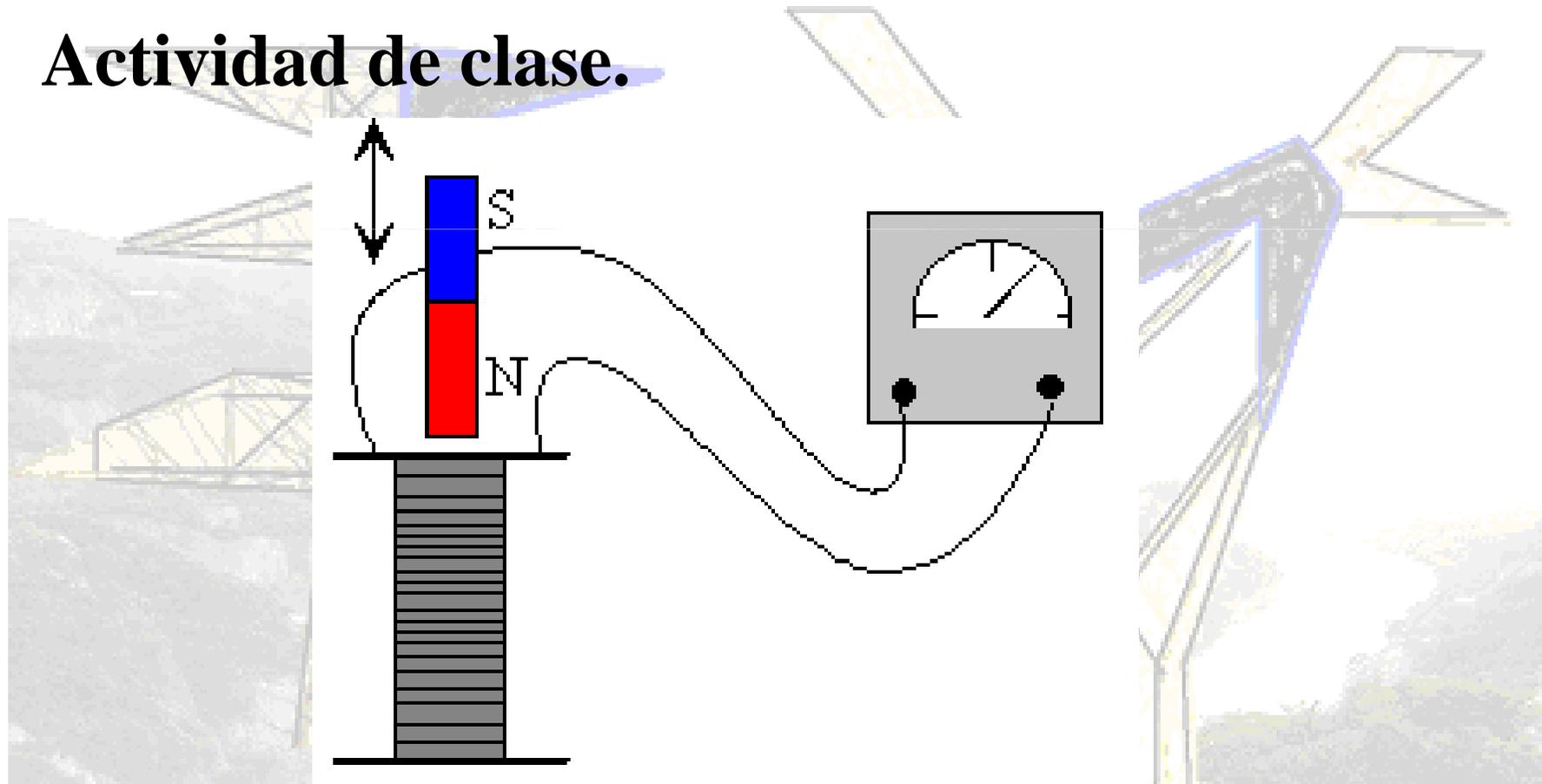
# Inducción electromagnética

Con una bobina, un amperímetro y un imán se realizan las siguientes experiencias: 1. Se sitúa el imán en reposo dentro del solenoide. 2. Se introduce despacio/deprisa el imán en el solenoide. 3. Se saca despacio/deprisa el imán del solenoide. Se observa el movimiento de la aguja del amperímetro. Se aplica la ley de Lenz, para determinar el sentido de la corriente inducida.



# Inducción electromagnética

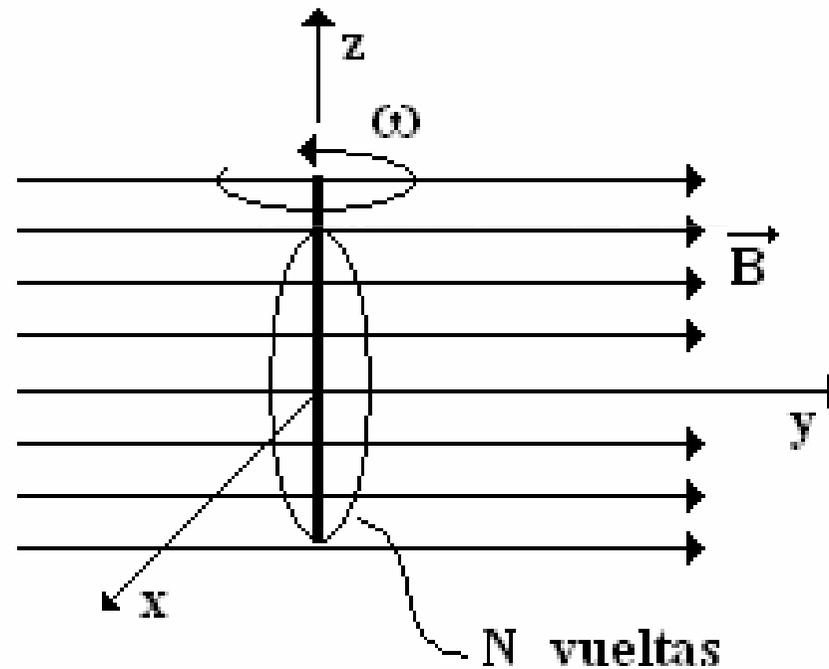
Actividad de clase.





# Inducción electromagnética

**Fem inducida por una bobina que gira sobre su eje.**





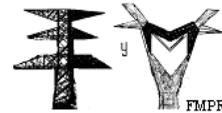
# Inducción electromagnética

Si el campo magnético es uniforme y constante la fem inducida es:

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

El flujo magnético esta dado por:

$$\phi = BA \cos \theta$$



# Inducción electromagnética

Sustituyendo

$$\varepsilon = -N \frac{d(BA \cos \theta)}{dt} = -NBA \frac{d(\cos \theta)}{dt}$$

El ángulo en función del tiempo es

$$\theta = \omega t$$



# Inducción electromagnética

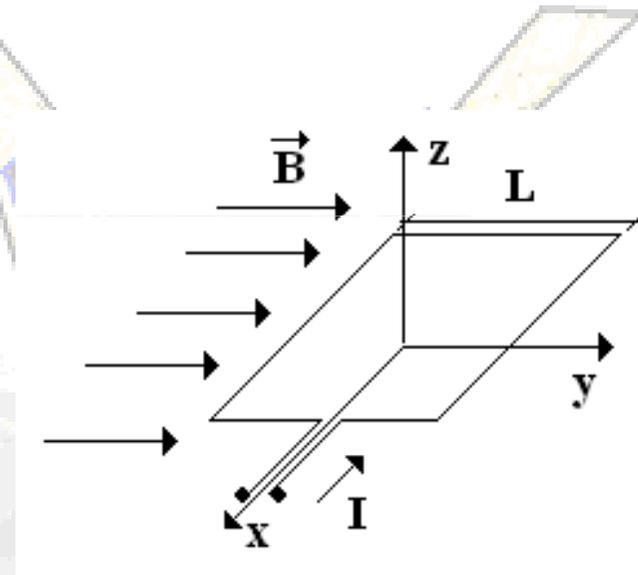
Sustituyendo el ángulo en la fem inducida y derivando, se tiene

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



# Inducción electromagnética

- En la figura se muestra una espira de  $L = 10$  [cm] y  $a = 15$  [cm] la cual experimenta un par de magnitud  $0.3$  [N m] cuando  $\vec{B} = 2 \hat{j}$  [T]. Determine:
  - a) El valor de la corriente





# Inducción electromagnética

- b) La forma en que se podría tener un par de  $3 \text{ [N m]}$  en este dispositivo
- c) El sentido de giro que tendría la figura en torno al eje
- d) El flujo máximo que cruza el área encerrada por las espiras.



# Inducción electromagnética

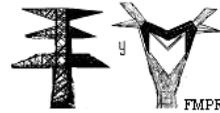
- a)  $\vec{\tau} = NI\vec{A} \times \vec{B}$

$$\tau = NI A \sin \alpha = NIAB$$

- Dado que alfa tiene un valor de  $90^\circ$

- $$I = \frac{\tau}{NAB} = \frac{0.3}{(1)(0.1 \times 0.15)10^{-4}(2)}$$

$$I = 10[A]$$



# Inducción electromagnética

- b) Como  $\tau = NIAB$
- Aumentando en un factor de 10 cualquiera de las cuatro variables.
- c) Al aplicar la regla de la mano izquierda para determinar el sentido de las fuerzas, se obtiene que la espira gira de la forma que la manecillas del reloj.



# Inducción electromagnética

• d)

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

$$\text{para } \theta = 0[^\circ]; \quad \phi_{\text{máx}} = BA$$

$$\phi_{\text{máx}} = 2(150 \times 10^{-4}) = 3 \times 10^{-2} [\text{Wb}]$$



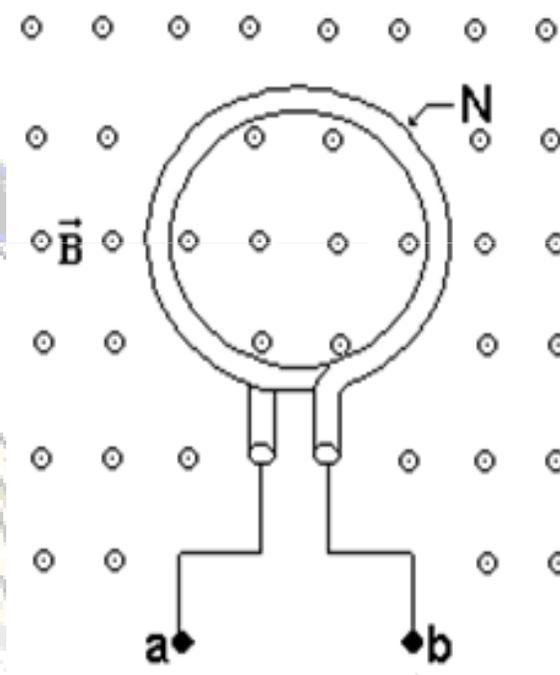
# Inducción electromagnética



Una bobina circular está ubicada perpendicular a una región donde existen líneas de flujo magnético que responde a la siguiente ecuación

$$\varphi = (0.10 t^2 + 20) [\text{Wb}]$$

en la cual  $t$  está en segundos, determine:





# Inducción electromagnética



- a) El flujo magnético y su rapidez de variación en  $t=5[s]$ .
- b) La diferencia de potencial inducida en  $V_{ba}$  en  $t=5[s]$  ¿cuál es el punto de potencial eléctrico mayor?
- c) La corriente inducida y su sentido si se conectaran los puntos a y b con un resistor  $R=4 [\Omega]$ , el embobinado tiene resistencia  $r_b=1 [\Omega]$ .
- d) La energía en forma de calor que disipa la bobina en los primeros 10 segundos.



# Inducción electromagnética



Resolución.

a) En el instante  $t = 5[s]$ .  $\phi = (0.10(5)^2 + 20) = 22.5[\text{Wb}]$

$$\frac{d\phi}{dt} = (0.10(2)t) = 0.2(5) = 1 \left[ \frac{\text{Wb}}{\text{s}} \right]$$



# Inducción electromagnética



$$b) |V_{ba}| = \left| -N_b \frac{d\phi}{dt} \right| \quad |V_{ba}|_{t=5[s]} = \left| -20(0.2t) \right|_{t=5[s]} = \left| -4t \right|_{t=5[s]} = 20[V]$$

Como el flujo aumenta (causa), la corriente inducida, si hay un circuito cerrado, circularía saliendo de la terminal b y entrando a la terminal a. Por lo tanto (de acuerdo a la definición de fems que la corriente sale por el borne positivo), la terminal b esta a un mayor potencial que la terminal a y  $V_{ba} = 20[V]$



# Inducción electromagnética

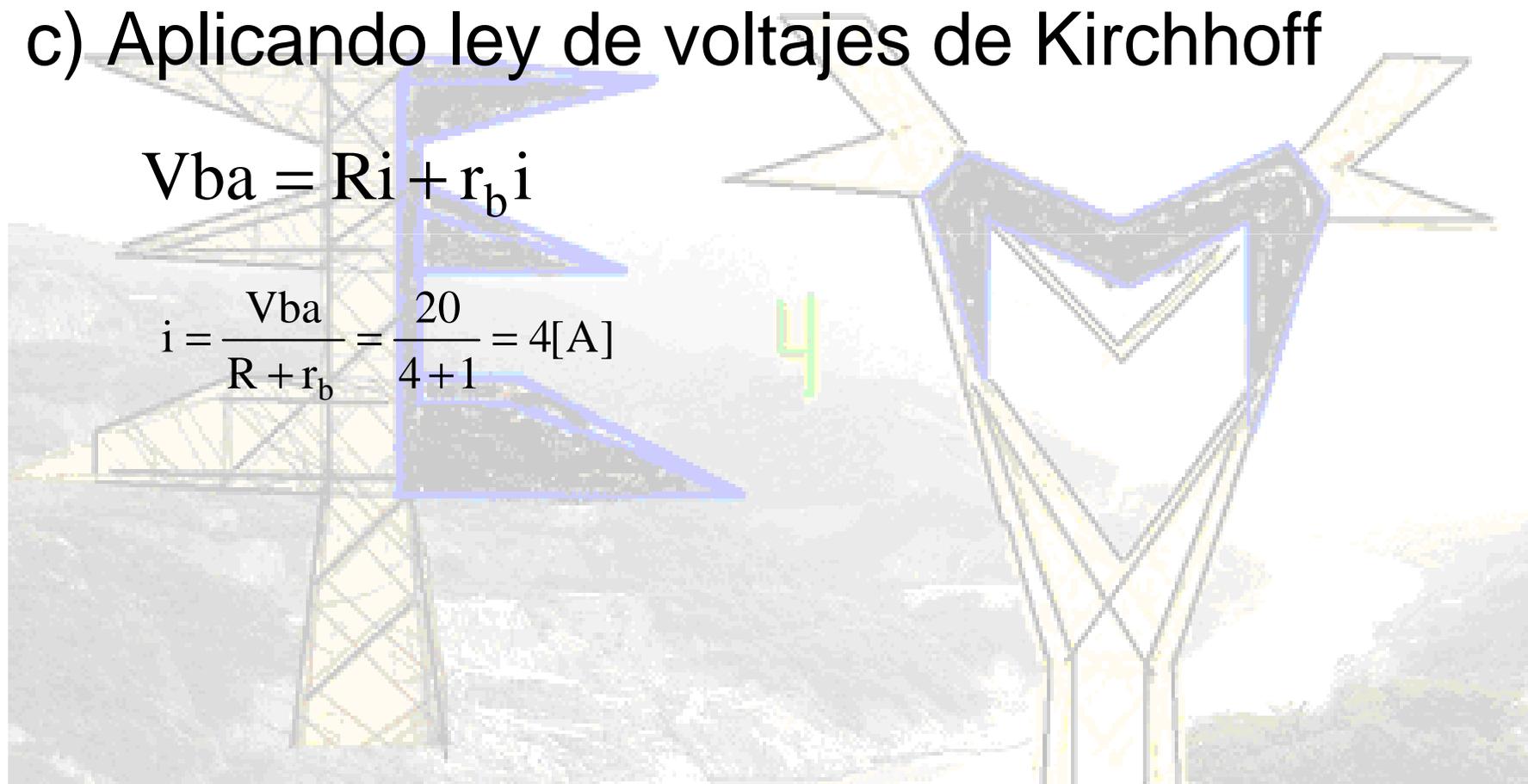


c) Aplicando ley de voltajes de Kirchhoff

$$V_{ba} = Ri + r_b i$$

$$i = \frac{V_{ba}}{R + r_b} = \frac{20}{4 + 1} = 4[A]$$

4





# Inducción electromagnética



## d) La energía

$$P = \frac{dE}{dt}$$

$$dE = \int P dt = \int r_b i^2 dt = \int r_b \frac{V_{ba}^2}{R_T^2} dt = \frac{r_b}{R_T^2} \int (4t)^2 dt$$

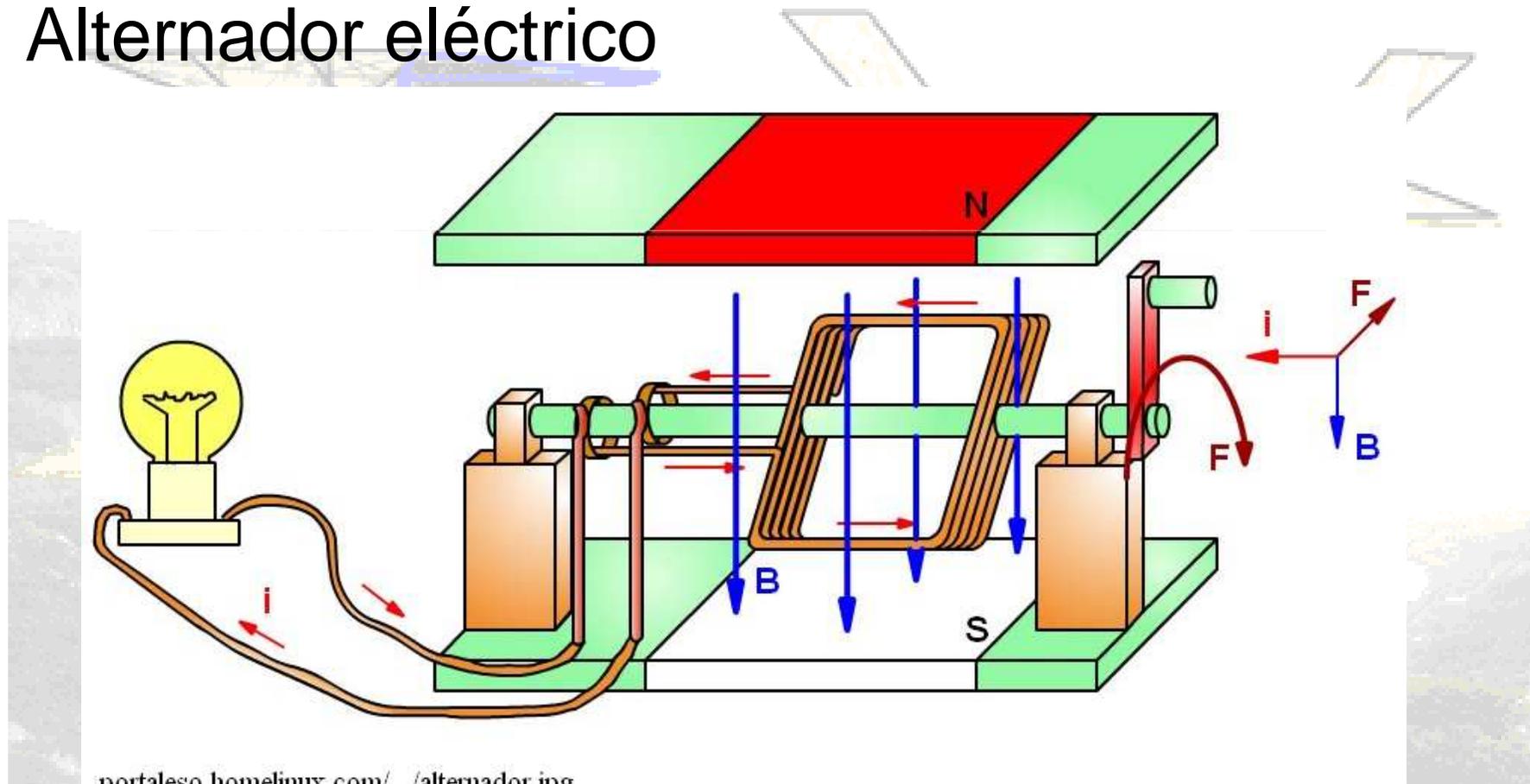
$$E = (16) \left[ \frac{t^3}{3} \right]_0^{10} = \frac{16 r_b}{3 R_T^2} [10^3 - 0] = \frac{16(1)10^3}{3(4+1)^2} = 213.33 \text{ [J]}$$



# alternador



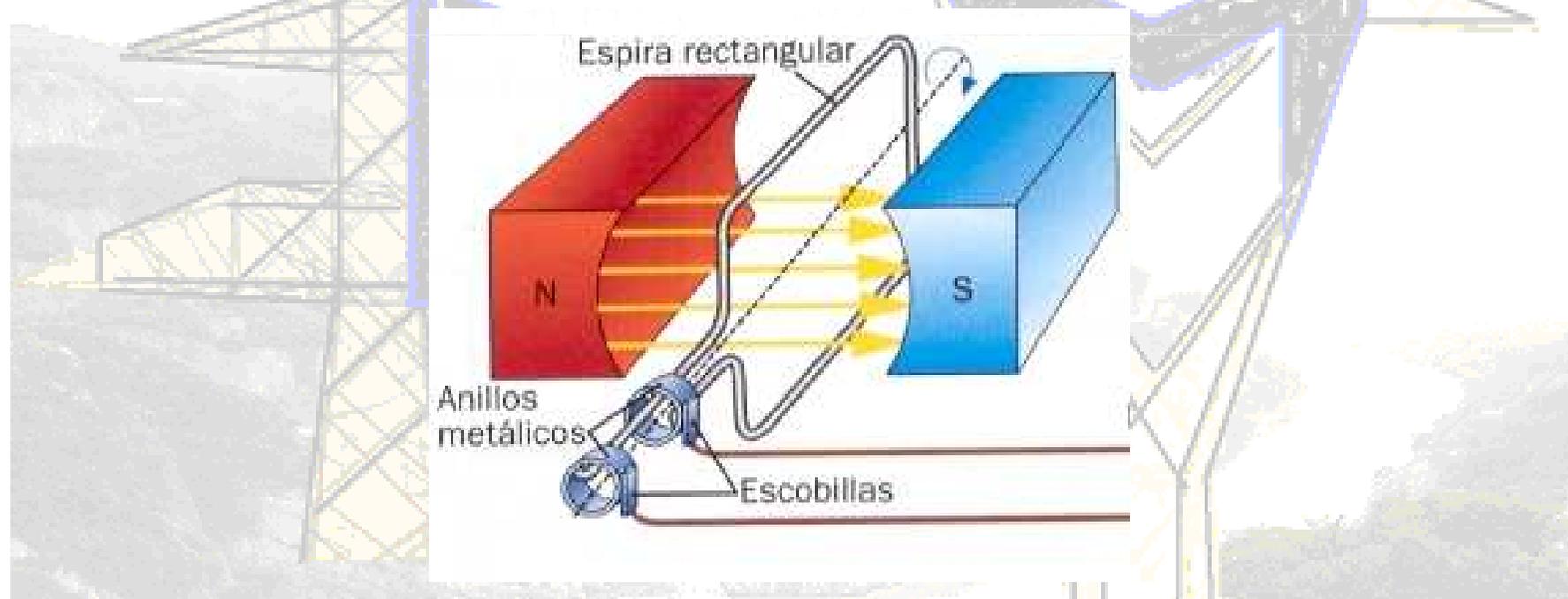
## Alternador eléctrico





# Alternador

Dispositivo que genera energía eléctrica como resultado de aplicar energía mecánica.





# Dinamo (alternador)



Dinamo para una bicicleta.





# Cargador inalámbrica





# Cargador inalámbrica





# Linterna autorecargable





# Linterna autorecargable con radio





# Generador portátil





# Bibliografía.

Gabriel A. Jaramillo Morales, Alfonso A.

Alvarado Castellanos.

Electricidad y magnetismo.

Ed. Trillas. México 2003

Sears, Zemansky, Young, Freedman

Física Universitaria

Ed. PEARSON. México 2005