



# Capítulo 29 – Campos magnéticos

Presentación PowerPoint de

Paul E. Tippens, Profesor de Física

Southern Polytechnic State University

© 2007

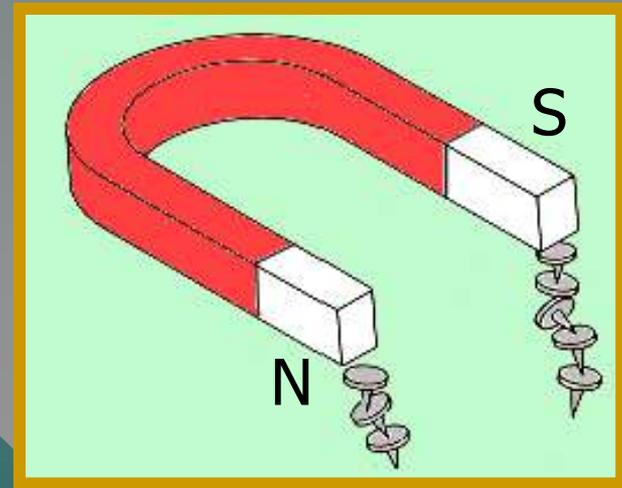
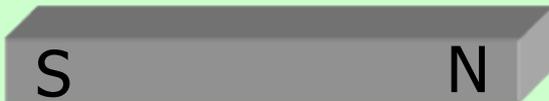
## Objetivos: Después de completar ese módulo deberá:

- Definir el **campo magnético**, discutir los **polos magnéticos** y las líneas de flujo.
- Resolver problemas que involucren la magnitud y dirección de **fuerzas sobre cargas** que se mueven en un campo magnético.
- Resolver problemas que involucren la magnitud y dirección de **fuerzas sobre conductores portadores de corriente** en un campo  $B$ .

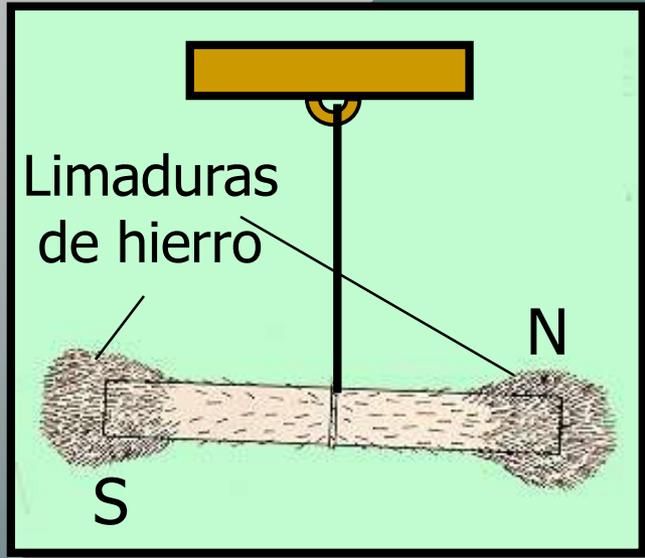
# Magnetismo

Desde la antigüedad se sabe que ciertos materiales, llamados **imanes**, tienen la propiedad de atraer pequeños trozos de metal. Esta propiedad atractiva se llamó **magnetismo**.

Imán de barra

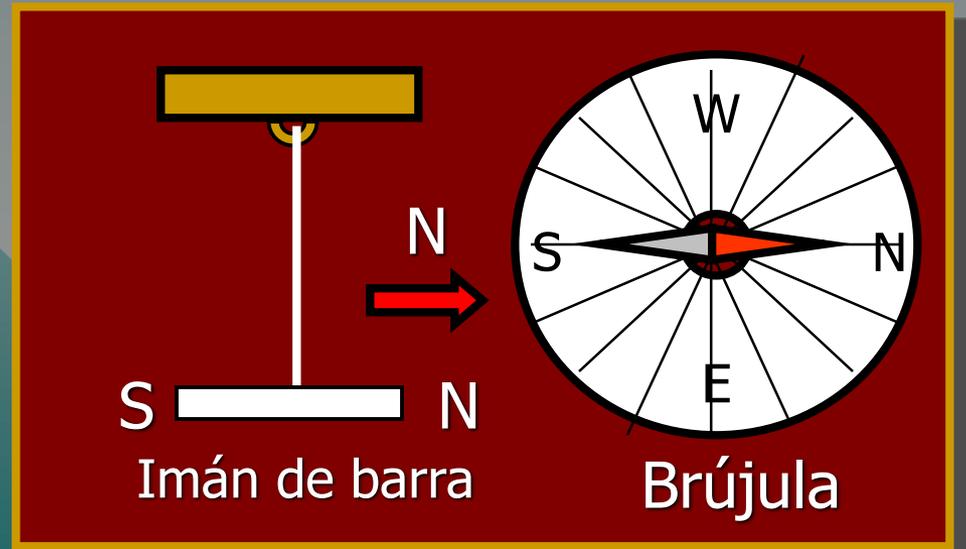


# Polos magnéticos

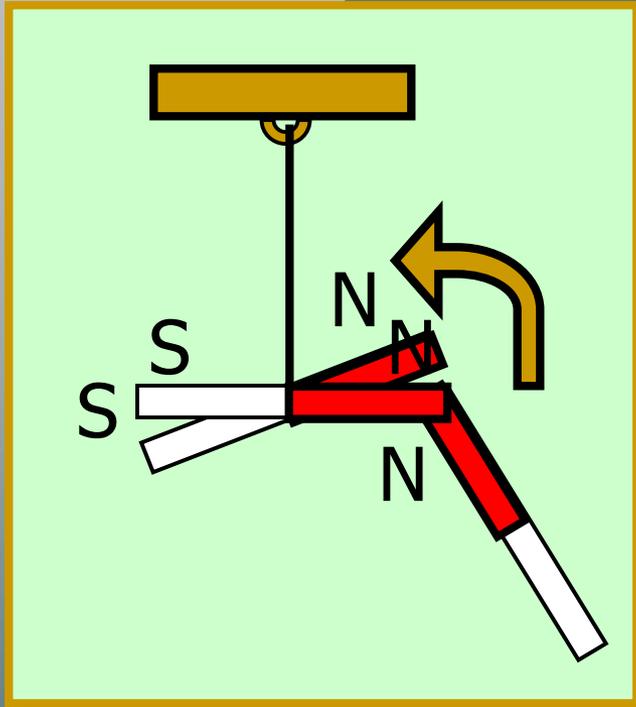


La **intensidad** de un imán se concentra en los extremos, llamados "**polos**" norte y sur del imán.

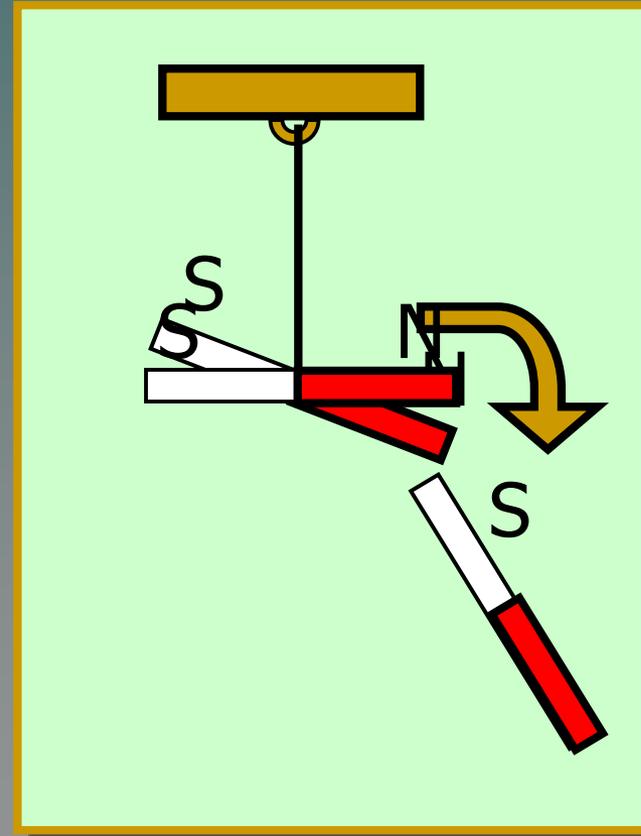
Imán suspendido: el extremo que busca el **N** y el extremo que busca el **S** son los **polos N** y **S**.



# Atracción-repulsión magnética



Fuerzas  
magnéticas: polos  
iguales se repelen

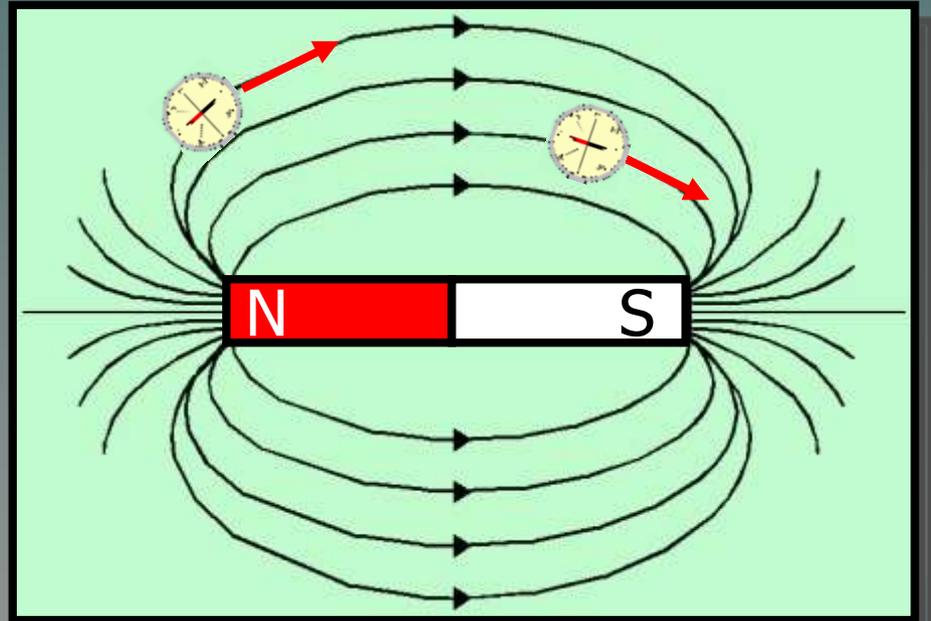


Polos distintos se  
atraen

# Líneas de campo magnético

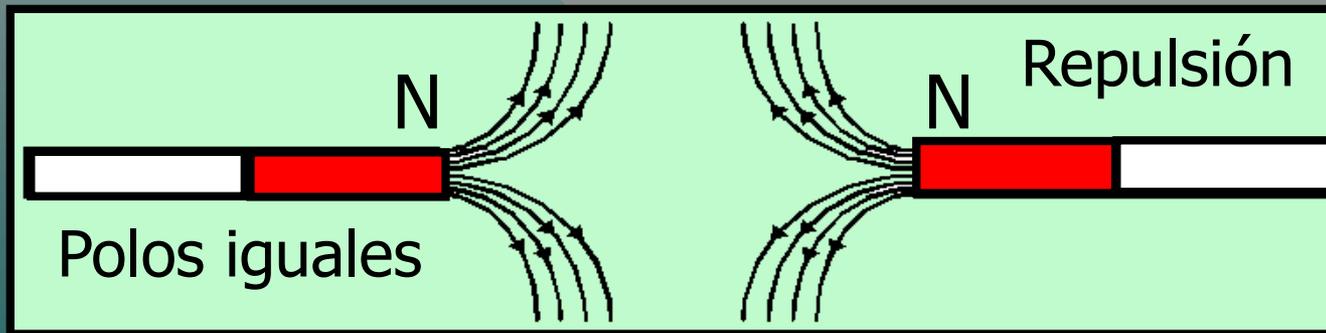
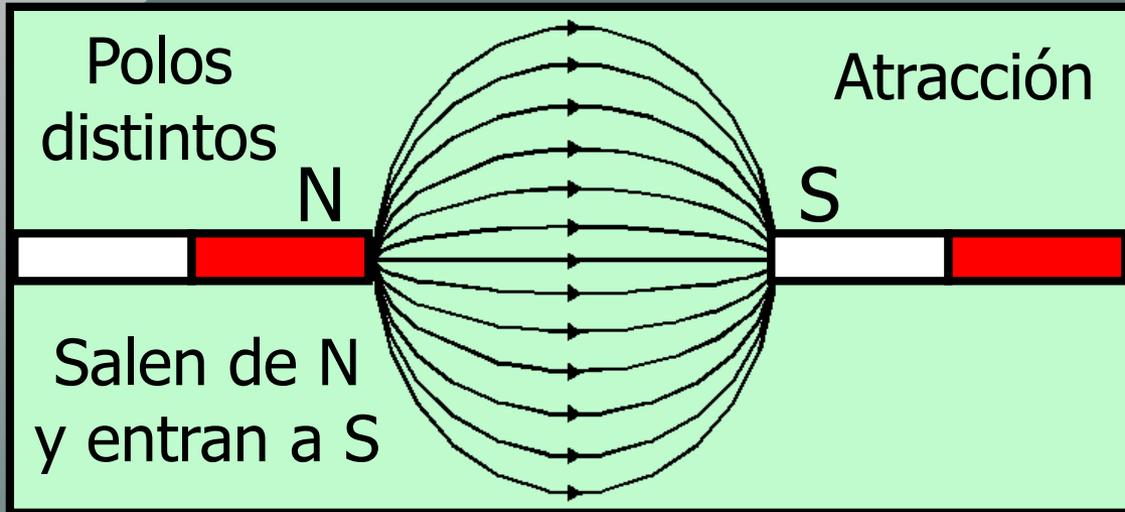
Las **líneas de campo magnético** se pueden describir al imaginar una pequeña brújula colocada en puntos cercanos.

La **dirección** del campo magnético **B** en cualquier punto es la misma que la dirección que indica esta brújula.



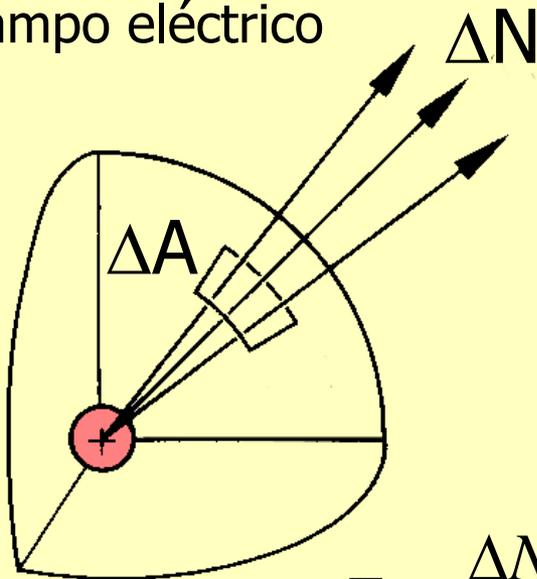
El campo **B** es **fuerte** donde las líneas son **densas** y débil donde las líneas están esparcidas.

# Líneas de campo entre imanes



# Densidad de las líneas de campo

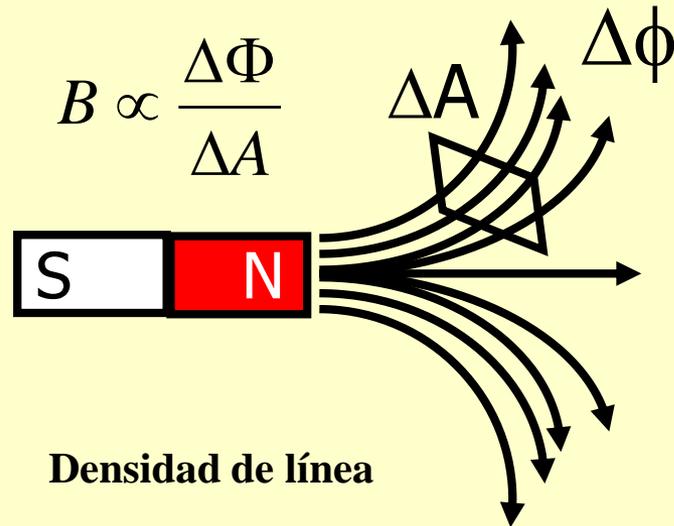
Campo eléctrico



Densidad de línea  $E \propto \frac{\Delta N}{\Delta A}$

Líneas de flujo de campo magnético  $\phi$

$$B \propto \frac{\Delta \Phi}{\Delta A}$$

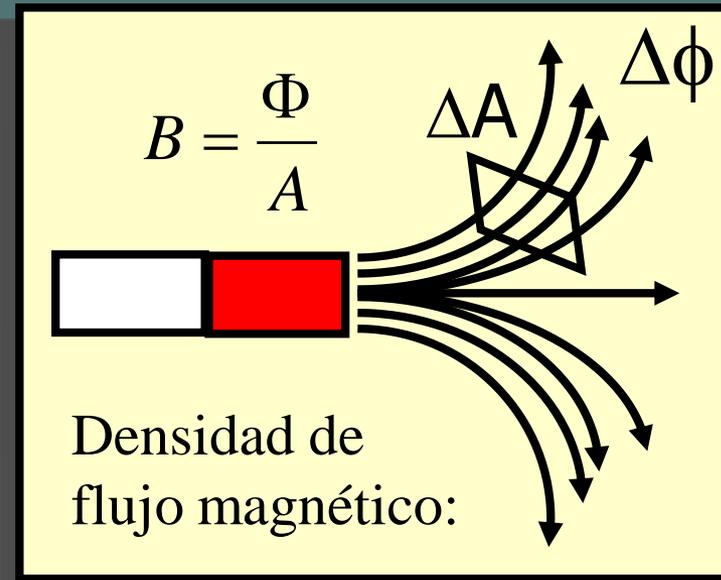


Densidad de línea

Al campo magnético  $B$  a veces se le llama densidad de flujo en webers por metro cuadrado ( $\text{Wb}/\text{m}^2$ ).

# Densidad de flujo magnético

- Las líneas de flujo magnético son continuas y cerradas.
- La dirección es la del vector  $B$  en dicho punto.
- Las líneas de flujo **NO** están en la dirección de la fuerza sino  $\perp$ .



Cuando el área  $A$  es perpendicular al flujo:

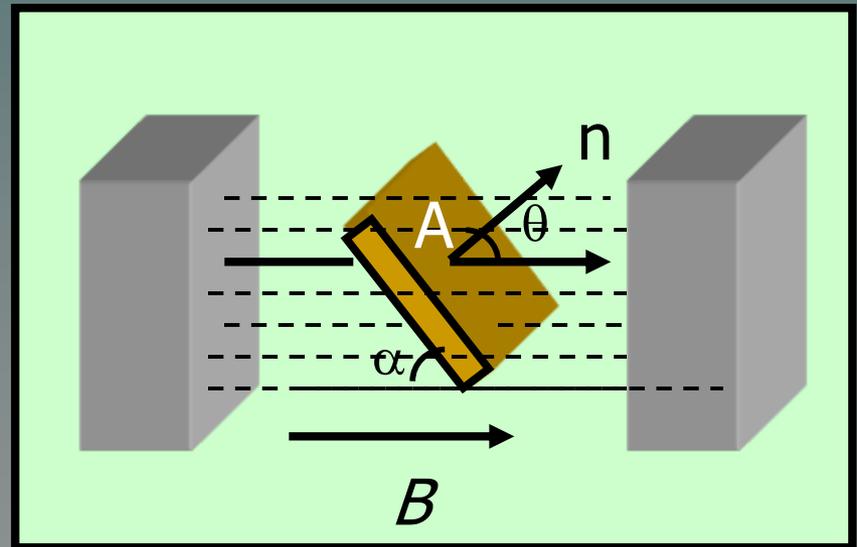
$$B = \frac{\Phi}{A}; \quad \Phi = BA$$

La unidad de densidad de flujo es el **weber por metro cuadrado**.

# Cálculo de densidad de flujo cuando el área no es perpendicular

El flujo que penetra al área  $A$  cuando el vector normal  $n$  forma un ángulo  $\theta$  con el campo  $B$  es:

$$\Phi = BA \cos \theta$$



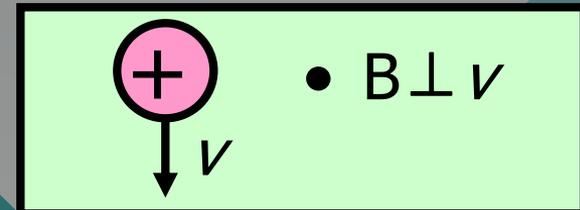
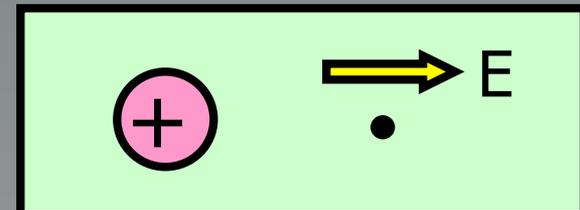
El ángulo  $\theta$  es el complemento del ángulo  $\alpha$  que el plano del área forma con el campo  $B$ . ( $\cos \theta = \sin \alpha$ )

# Origen de campos magnéticos

Recuerde que la intensidad de un **campo eléctrico  $E$**  se definió como la fuerza eléctrica por unidad de carga.

Puesto que **no se han encontrado polos magnéticos aislados**, no se puede definir el campo magnético  $B$  en términos de la **fuerza magnética por unidad de polo norte**.

En vez de ello se verá que los campos magnéticos resultan de cargas en movimiento, no de carga o polos estacionarios. Este hecho se cubrirá más tarde.



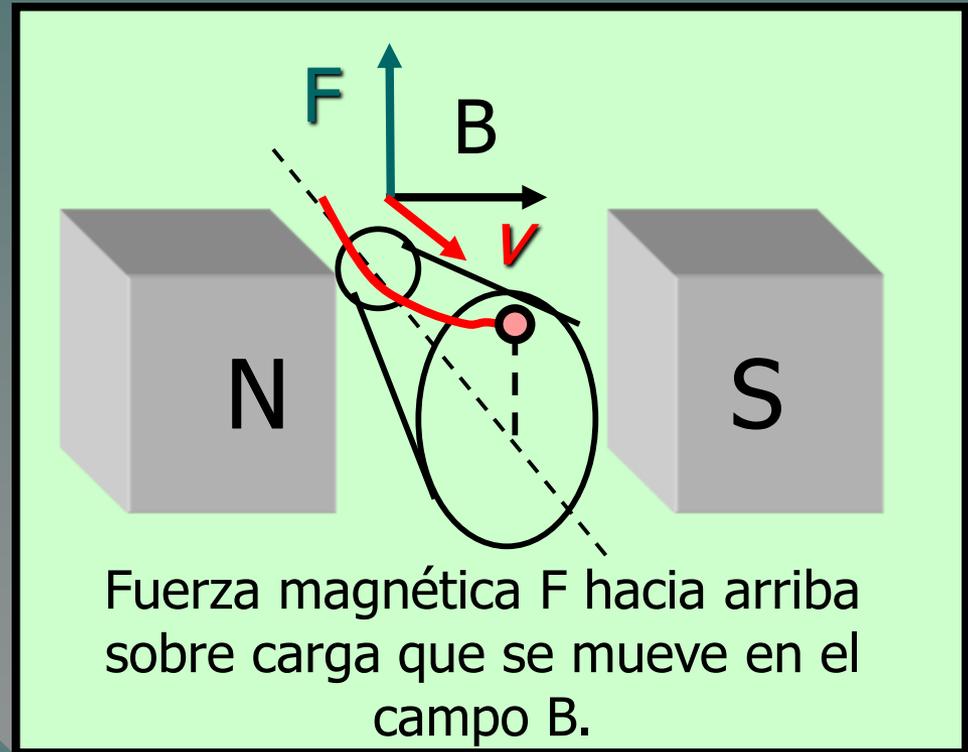
# Fuerza magnética sobre carga en movimiento

Imagine un tubo que proyecta carga  $+q$  con velocidad  $v$  en el campo  $B$  perpendicular.



El experimento muestra:

$$F \propto qvB$$

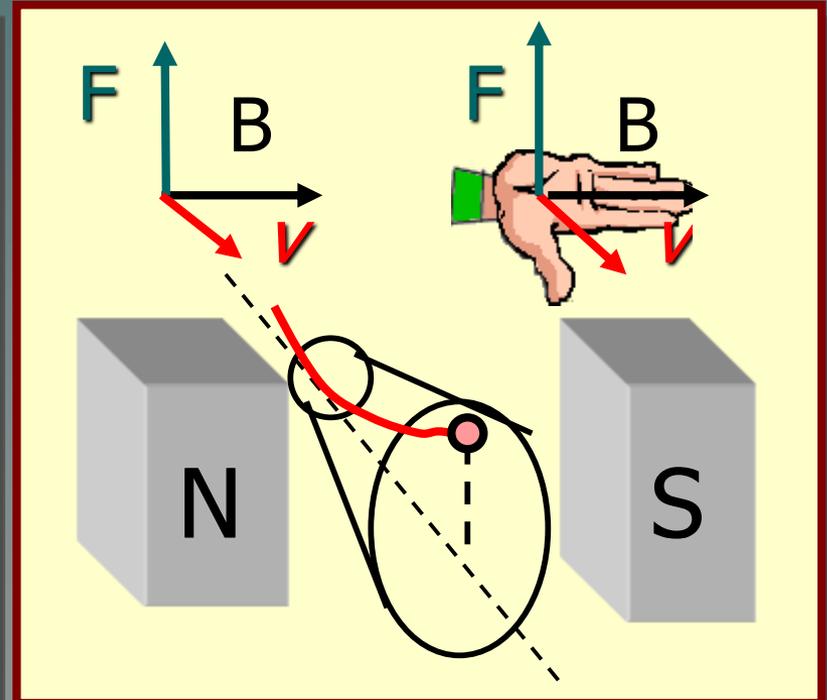


Lo siguiente resulta en una mayor fuerza magnética  $F$ : aumento en velocidad  $v$ , aumento en carga  $q$  y un mayor campo magnético  $B$ .

# Dirección de la fuerza magnética

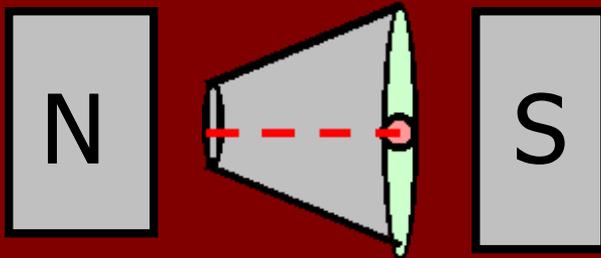
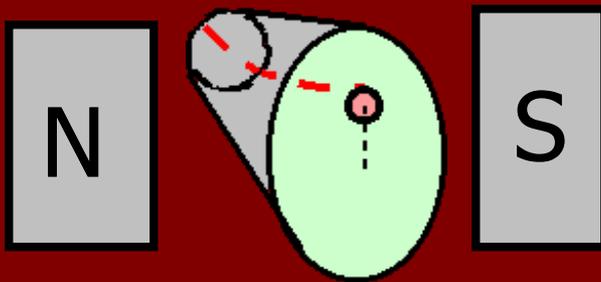
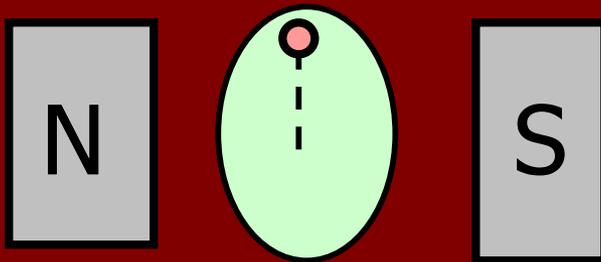
Regla de la mano derecha:

Con la mano **derecha** plana, apunte el **pulgar** en dirección de la velocidad  $v$ , **dedos** en dirección del campo  $B$ . La palma de la **mano** empuja en dirección de la **fuerza**  $F$ .



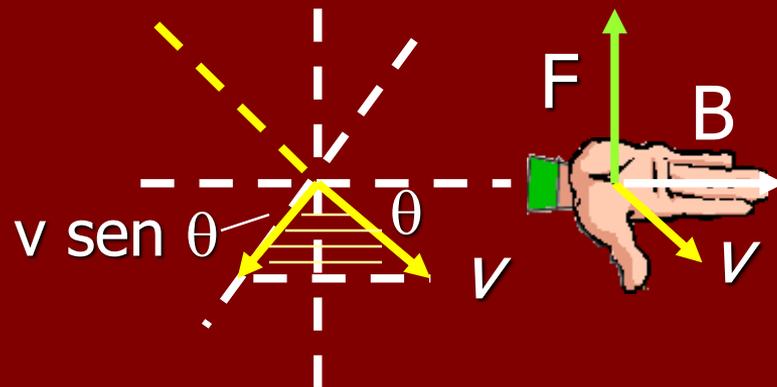
La fuerza es mayor cuando la velocidad  $v$  es perpendicular al campo  $B$ . La desviación disminuye a cero para movimiento paralelo.

# Fuerza y ángulo de trayectoria



La fuerza de desviación es mayor cuando la trayectoria es perpendicular al campo. Es menor en paralelo.

$$F \propto v \operatorname{sen} \theta$$



# Definición del campo B

Observaciones experimentales muestran lo siguiente:

$$F \propto qv \operatorname{sen} \theta \quad \text{o} \quad \frac{F}{qv \operatorname{sen} \theta} = \text{constante}$$

Al elegir las unidades adecuadas para la constante de proporcionalidad, ahora se puede definir el **campo B** como:

Intensidad de campo magnético B:

$$B = \frac{F}{qv \operatorname{sen} \theta} \quad \text{o} \quad F = qvB \operatorname{sen} \theta$$

Una **intensidad de campo magnético** de un **tesla (T)** existe en una región del espacio donde una carga de **un coulomb (C)** que se mueve a **1 m/s** perpendicular al campo B experimentará una fuerza de un **newton (N)**.

Ejemplo 1. Una carga de  $2 \text{ nC}$  se proyecta como se muestra con una velocidad de  $5 \times 10^4 \text{ m/s}$  en un ángulo de  $30^\circ$  con un campo magnético de  $3 \text{ mT}$ . ¿Cuáles son la magnitud y dirección de la fuerza resultante?

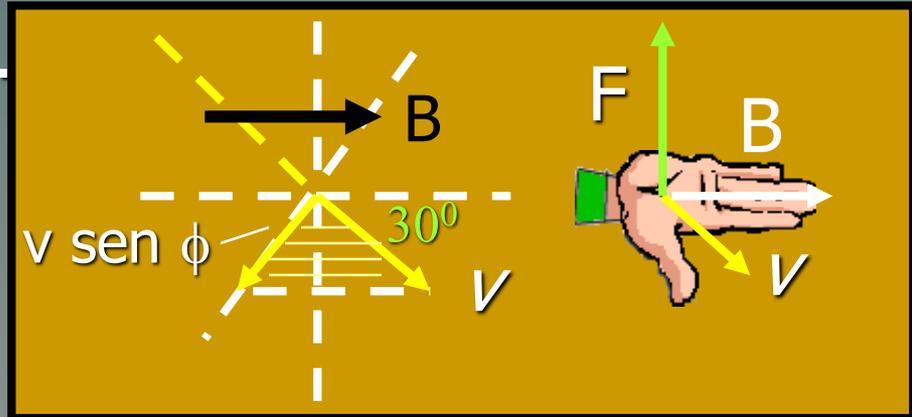
Dibuje un bosquejo burdo.

$$q = 2 \times 10^{-9} \text{ C}$$

$$v = 5 \times 10^4 \text{ m/s}$$

$$B = 3 \times 10^{-3} \text{ T}$$

$$\theta = 30^\circ$$



Al usar la regla de la mano derecha, se ve que la fuerza es **hacia arriba**.

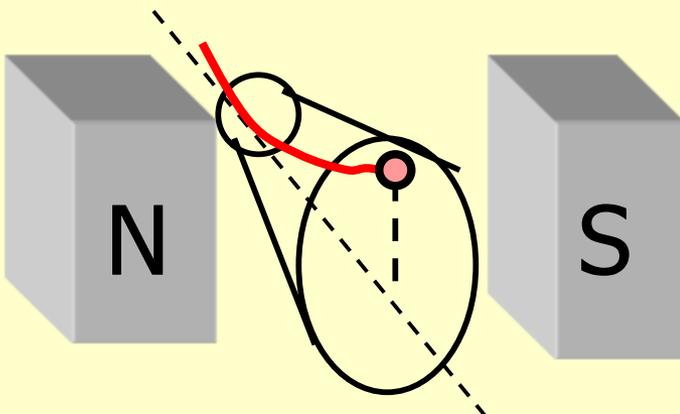
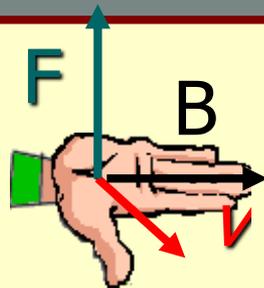
$$F = qvB \sin \theta = (2 \times 10^{-9} \text{ C})(5 \times 10^4 \text{ m/s})(3 \times 10^{-3} \text{ T}) \sin 30^\circ$$

Fuerza magnética resultante:  $F = 1.50 \times 10^{-7} \text{ N}$ , hacia arriba

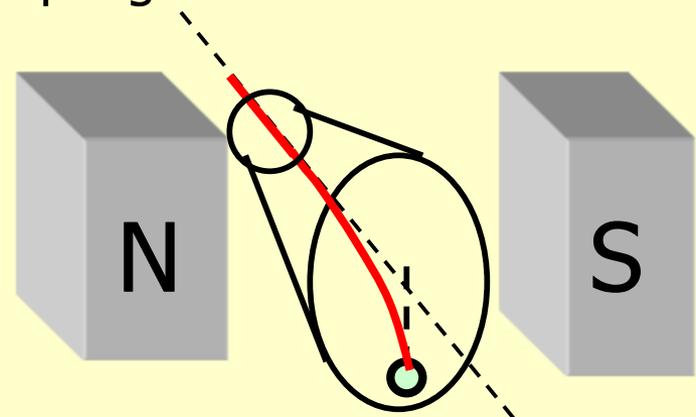
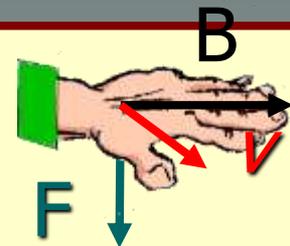
# Fuerzas sobre cargas negativas

Las fuerzas sobre cargas **negativas** son opuestas a las que ocurren sobre fuerzas positivas. La fuerza sobre la carga negativa requiere una **regla de la mano izquierda** para mostrar fuerza **F hacia abajo**.

Regla de mano derecha para  $q$  positiva



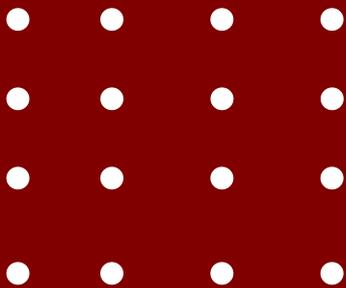
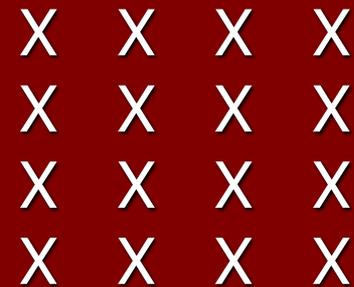
Regla de mano izquierda para  $q$  negativa



# Cómo indicar la dirección de los campos B

Una forma de indicar las direcciones de los campos perpendiculares a un plano es usar cruces X y puntos • :

Un campo dirigido hacia el papel se denota mediante una cruz "X" como las plumas de una flecha.



Un campo dirigido afuera del papel se denota mediante un punto "•" como la parte frontal de una flecha.



# Práctica con direcciones:

¿Cuál es la dirección de la fuerza  $F$  sobre la carga en cada uno de los ejemplos siguientes?

The image contains four diagrams arranged in a 2x2 grid, each showing a central charge in a uniform electric field. The top row features a positive charge (+) surrounded by 'X' marks, while the bottom row features a negative charge (-) surrounded by dots. A dashed horizontal line passes through the center of each charge. Yellow arrows represent the force  $F$ , and green arrows represent the electric field  $V$ . Labels in yellow boxes indicate the direction of the force.

- Top-Left:** A positive charge (+) is surrounded by 'X' marks. A yellow arrow labeled  $F$  points upwards, and a green arrow labeled  $V$  points to the right. A label "Arriba" (Up) is next to it.
- Top-Right:** A positive charge (+) is surrounded by 'X' marks. A yellow arrow labeled  $F$  points to the left, and a green arrow labeled  $V$  points upwards. A label "Izquierda" (Left) is next to it.
- Bottom-Left:** A negative charge (-) is surrounded by dots. A yellow arrow labeled  $F$  points upwards, and a green arrow labeled  $V$  points to the right. The text "q negativa" is written below the charge. A label "Arriba" (Up) is next to it.
- Bottom-Right:** A negative charge (-) is surrounded by dots. A yellow arrow labeled  $F$  points to the right, and a green arrow labeled  $V$  points downwards. A label "Derecha" (Right) is next to it.

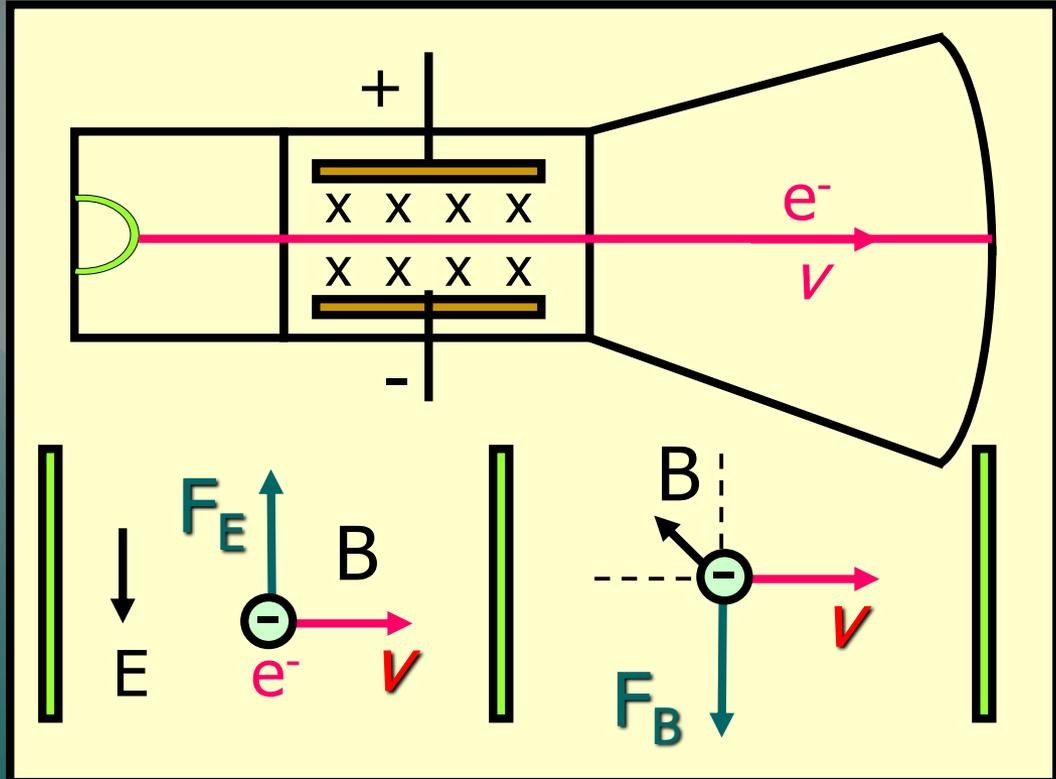
# Campos E y B cruzados

El movimiento de partículas cargadas, como los electrones, se puede controlar mediante campos eléctricos y magnéticos combinados.

Nota:  $F_E$  sobre el electrón es hacia arriba y opuesta al campo E.

Pero,  $F_B$  sobre el electrón es hacia abajo (regla de la mano izquierda).

Desviación cero cuando  $F_B = F_E$



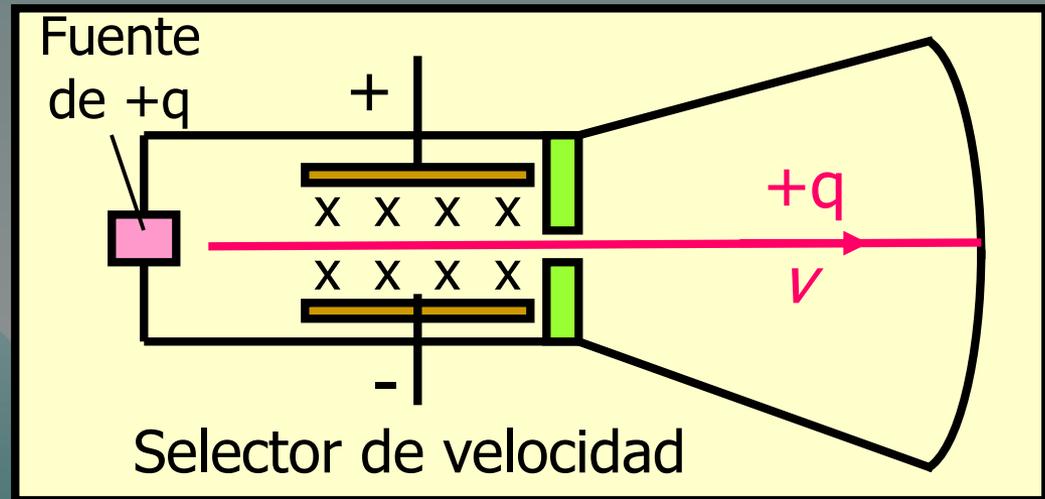
# Selector de velocidad

Este dispositivo usa campos cruzados para seleccionar sólo aquellas velocidades para las que  $F_B = F_E$ .  
(Verifique las direcciones para  $+q$ )

Cuando  $F_B = F_E$ :

$$qvB = qE$$

$$v = \frac{E}{B}$$

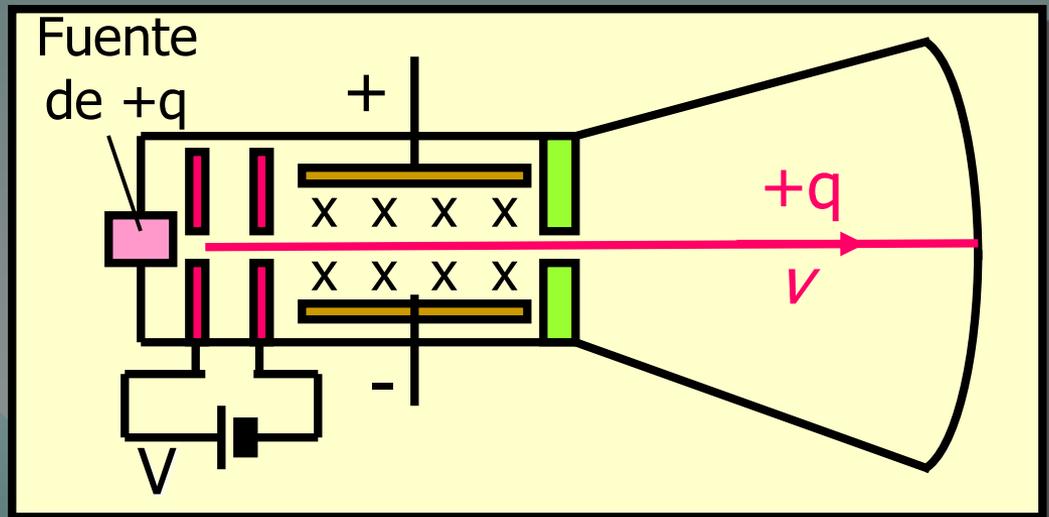


Al ajustar los campos E y/o B, una persona puede seleccionar sólo aquellos iones con la velocidad deseada.

Ejemplo 2. Un ión de litio,  $q = +1.6 \times 10^{-16} \text{ C}$ , se proyecta hacia un selector de velocidad donde  $B = 20 \text{ mT}$ . El campo  $E$  se ajusta para seleccionar una velocidad de  $1.5 \times 10^6 \text{ m/s}$ . ¿Cuál es el campo eléctrico  $E$ ?

$$v = \frac{E}{B}$$

$$E = vB$$



$$E = (1.5 \times 10^6 \text{ m/s})(20 \times 10^{-3} \text{ T});$$

$$E = 3.00 \times 10^4 \text{ V/m}$$

# Movimiento circular en campo B

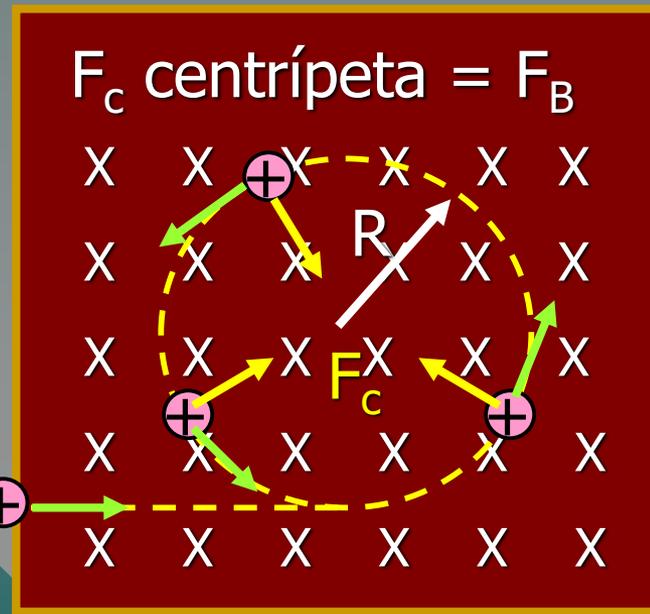
La fuerza magnética  $F$  sobre una carga en movimiento siempre es perpendicular a su velocidad  $v$ . Por tanto, una carga que se mueve en un campo  $B$  experimentará una fuerza centrípeta.

$$F_C = \frac{mv^2}{R}; \quad F_B = qvB;$$

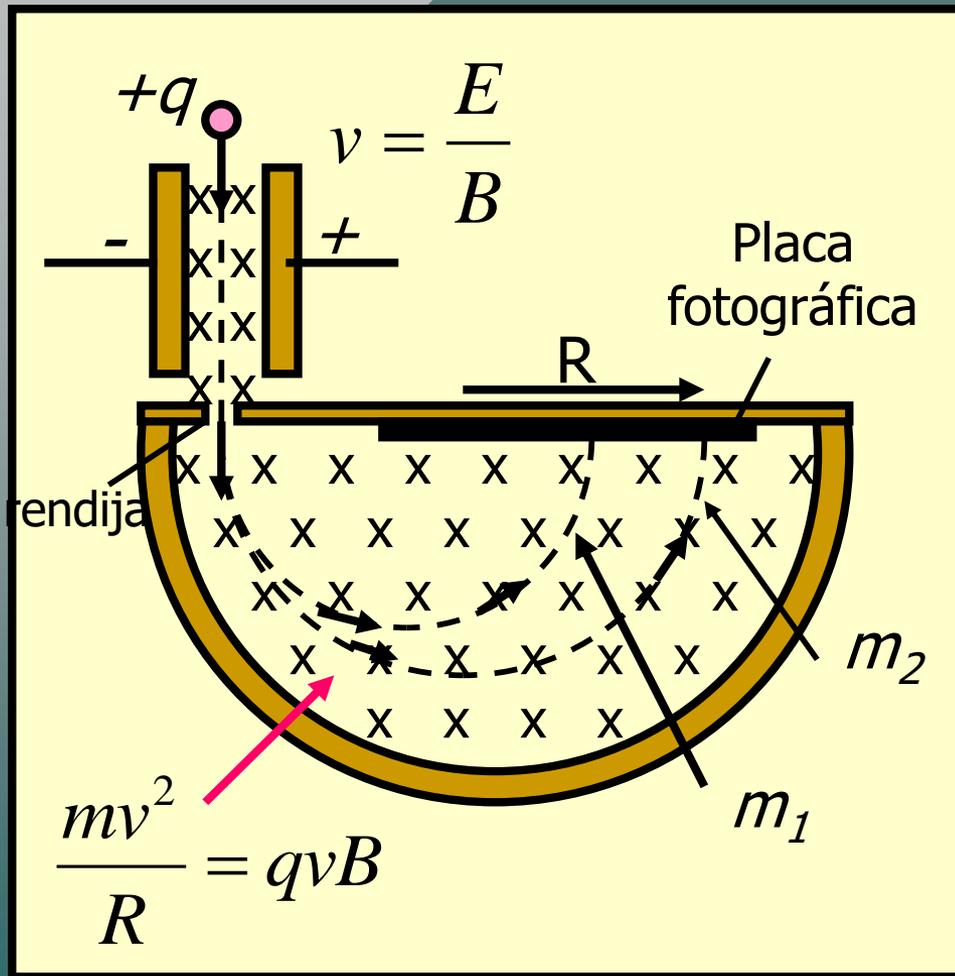
$$F_C = F_B \quad \frac{mv^2}{R} = qvB$$

El radio de la trayectoria es:

$$R = \frac{mv}{qB}$$



# Espectrómetro de masa



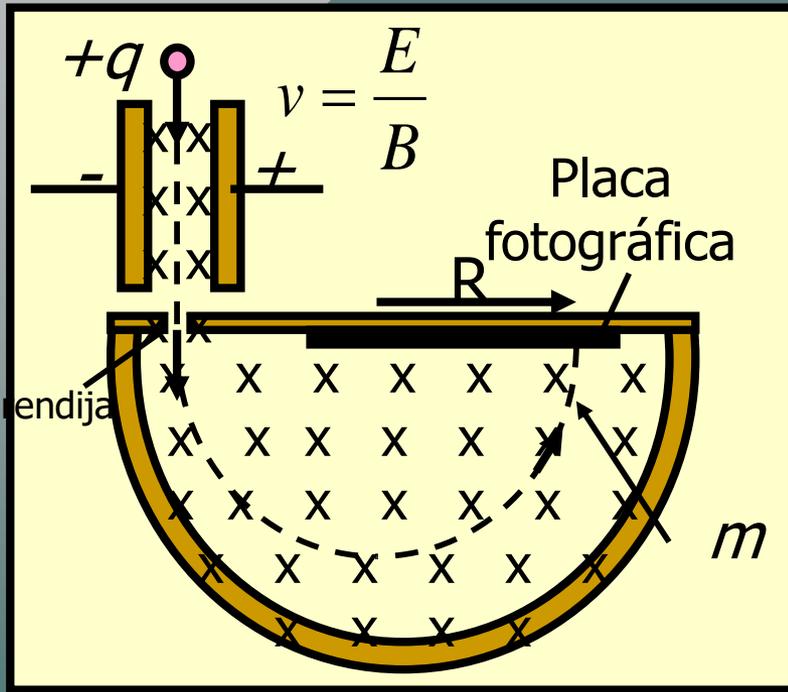
Iones que pasan a través de un selector de velocidad con una velocidad conocida llegan a un campo magnético como se muestra. El radio es:

$$R = \frac{mv}{qB}$$

La masa se encuentra al medir el radio R:

$$m = \frac{qBR}{v}$$

Ejemplo 3. Un ión de neón,  $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ , sigue una trayectoria de  $7.28 \text{ cm}$  de radio. Superior e inferior  $B = 0.5 \text{ T}$  y  $E = 1000 \text{ V/m}$ . ¿Cuál es su masa?



$$v = \frac{E}{B} = \frac{1000 \text{ V/m}}{0.5 \text{ T}}$$

$$v = 2000 \text{ m/s}$$

$$R = \frac{mv}{qB}$$

$$m = \frac{qBR}{v}$$

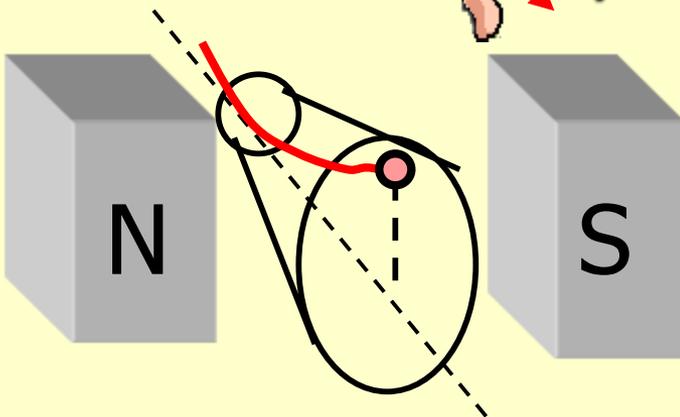
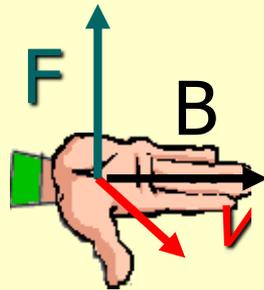
$$m = \frac{(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(0.5 \text{ T})(0.0728 \text{ m})}{2000 \text{ m/s}}$$

$$m = 2.91 \times 10^{-24} \text{ kg}$$

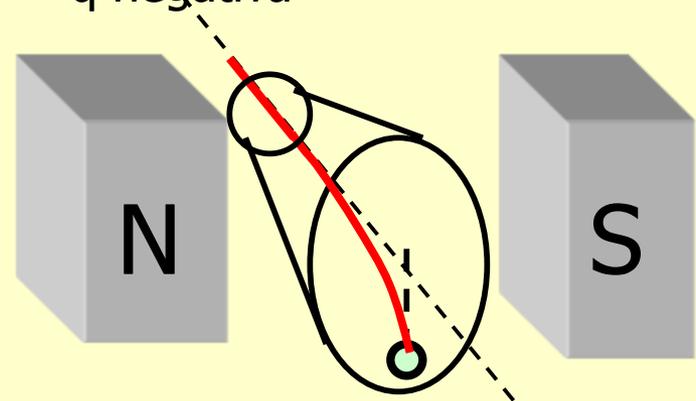
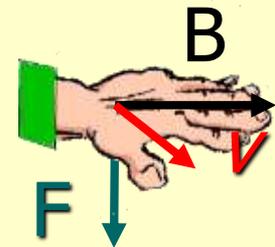
# Resumen

La dirección de las fuerzas sobre una carga que se mueve en un campo eléctrico se puede determinar mediante la regla de la mano derecha para cargas positivas y la regla de la mano izquierda para cargas negativas.

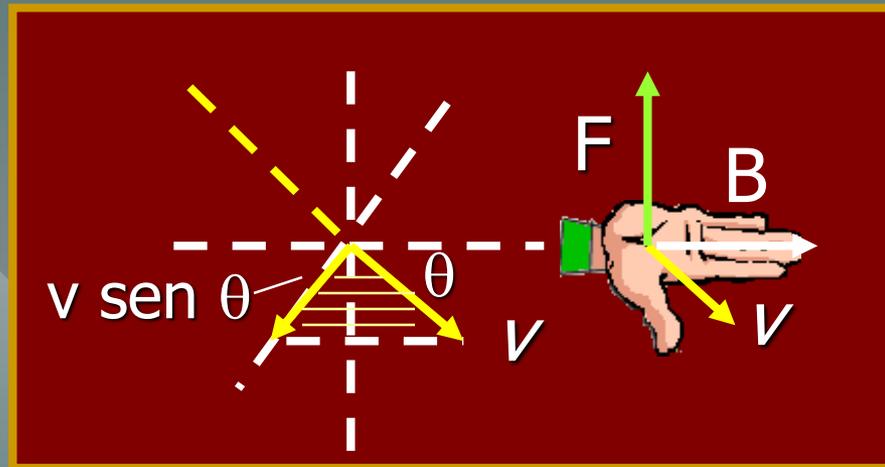
Regla de la mano derecha para  $q$  positiva



Regla de la mano izquierda para  $q$  negativa



# Resumen (continúa)



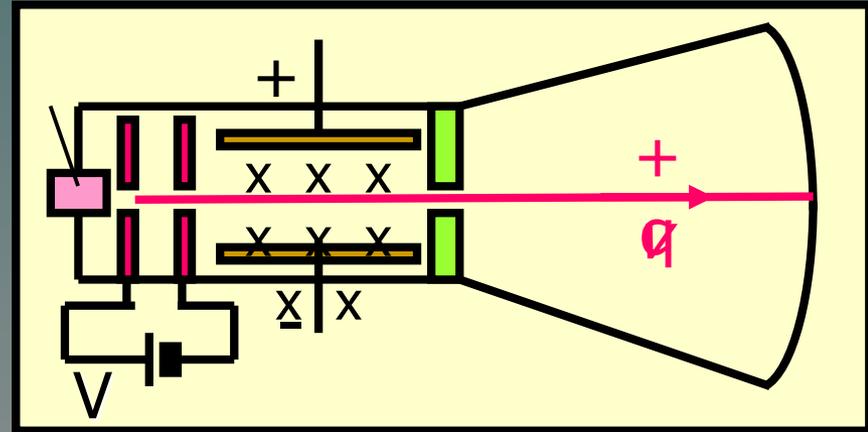
Para una carga que se mueve en un campo  $B$ , la magnitud de la fuerza está dada por:

$$F = qvB \text{ sen } \theta$$

# Resumen (continúa)

Selector de velocidad:

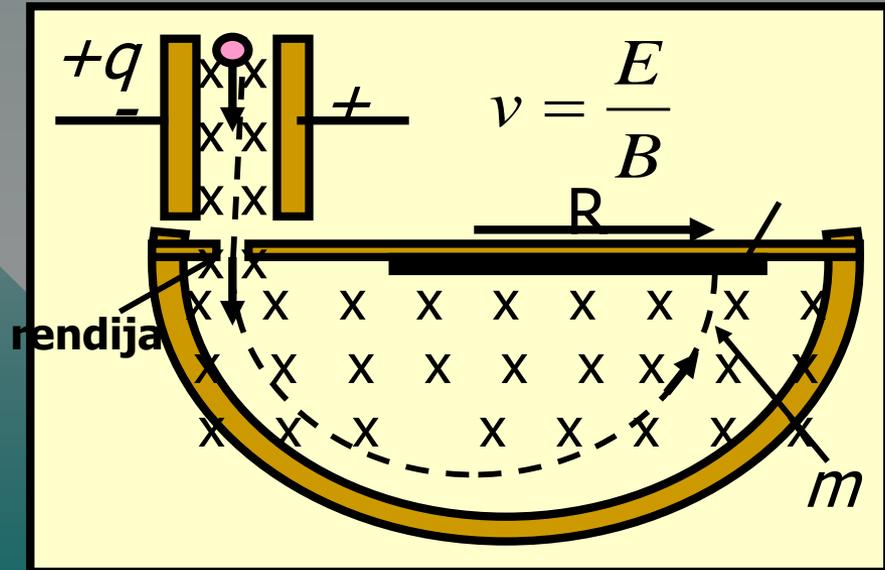
$$v = \frac{E}{B}$$



Espectrómetro de masas:

$$R = \frac{mv}{qB}$$

$$m = \frac{qBR}{v}$$



# CONCLUSIÓN: Capítulo 29

## Campos magnéticos

