

Magnetismo, campos magnéticos, y fuerza magnética

Magnetismo

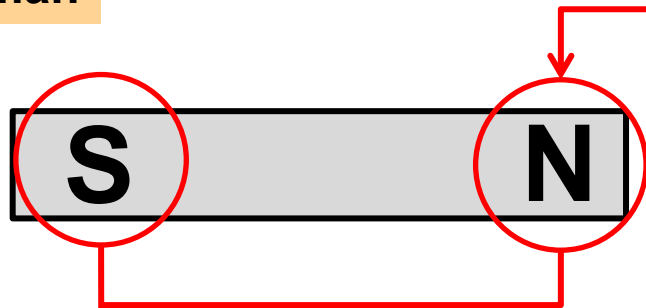
magnetismo



Fenómeno macroscópico debido a **cargas eléctricas en movimiento** o fenómeno microscópico debido al **momento dipolar magnético del electrón**, o **espín intrínseco**, y al **espín intrínseco de los núcleos**.

Magnetismo en la materia

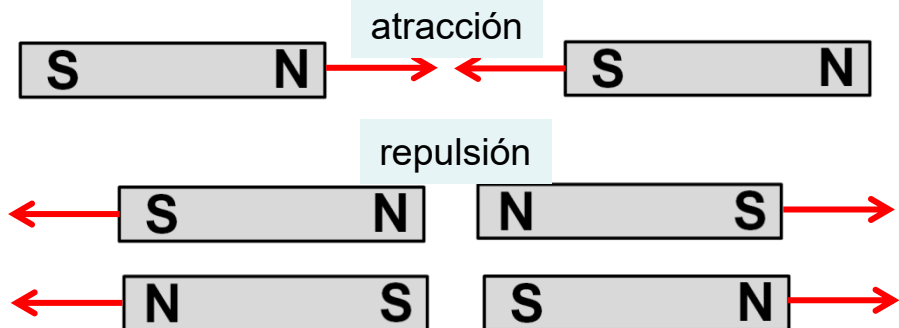
Imán



región con mucho magnetismo

polos magnéticos

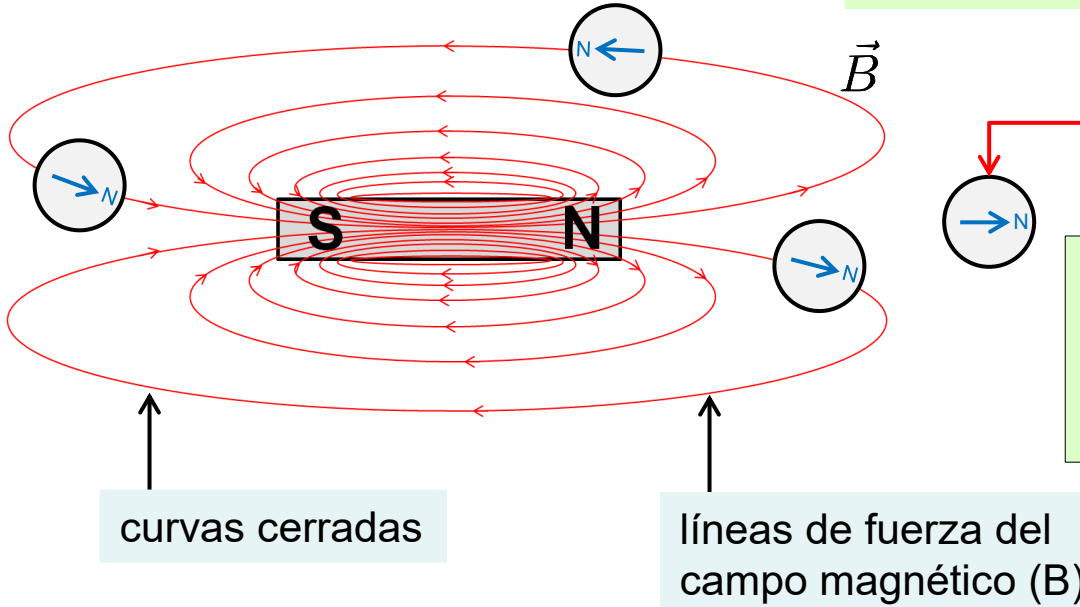
acción a distancia se debe a campos magnéticos



campo magnético (B)



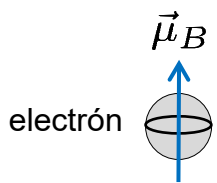
Modificación de las propiedades del espacio alrededor de un imán o carga en movimiento. El campo magnético es un campo vectorial. Tiene unidades SI de tesla (T).



brújula indica dirección del campo magnético

OJO Líneas de fuerzas magnéticas salen del imán por el polo magnético norte y entra el imán por el polo sur magnético.

Magnetismo al nivel microscópico



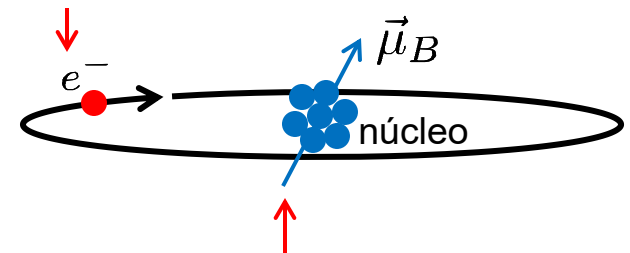
momento dipolar magnético o espín intrínseco: +1/2 o -1/2

Principio de exclusión de Pauli: dos electrones en un orbital no pueden tener el mismo espín intrínseco.



espines pareados

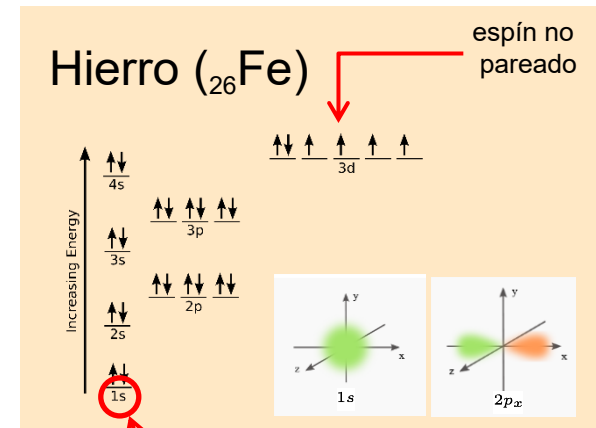
momento dipolar magnético orbital



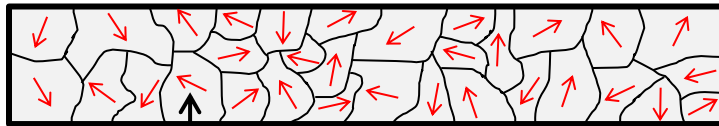
espín intrínseco del núcleo

Materiales ferromagnéticos

- elementos con más de un electrón con su espín no apareado en la capa de valencia
- forma regiones macroscópicas en el material o dominios magnéticos donde todos los espines de los electrones están orientados en la misma dirección
- típicamente los espines de los dominios están orientados de forma aleatoria entonces el material ferromagnético no demuestra magnetismo macroscópico



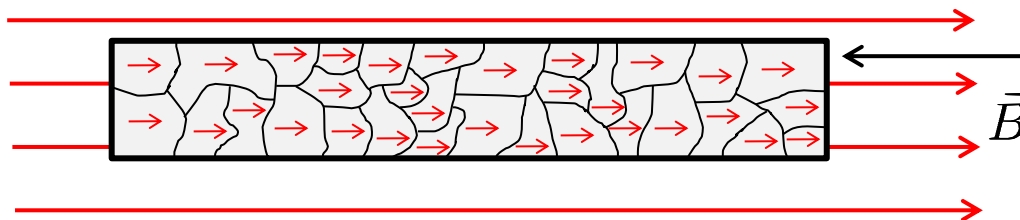
orbital: región del espacio donde hay alta probabilidad de encontrar electrones



material ferromagnético

dominios magnéticos

- en un campo magnético externo los espines de los dominios magnéticos se alinean con el campo externo y demuestra magnetismo macroscópico fuerte y atracción magnética



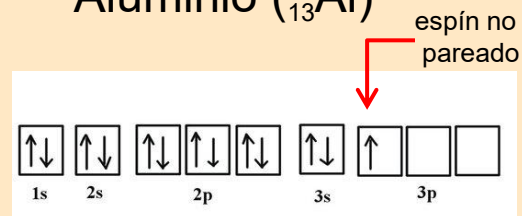
hemos creado un imán

- a una temperatura mayor que una temperatura crítica llamada temperatura Curie los materiales ferromagnéticos no demuestran magnetismo

Materiales paramagnéticos

- elementos con un electrón con su espín no apareado en la capa de valencia
- NO forma dominios magnéticos en el material pero como los espines de los electrones se orientan en un campo magnético externo demuestra **atracción magnética**
- magnetismo débil

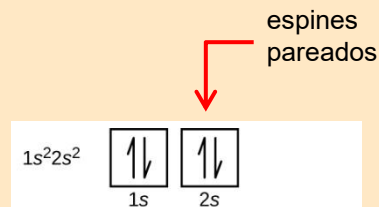
Aluminio ($_{13}\text{Al}$)



Materiales diamagnéticos

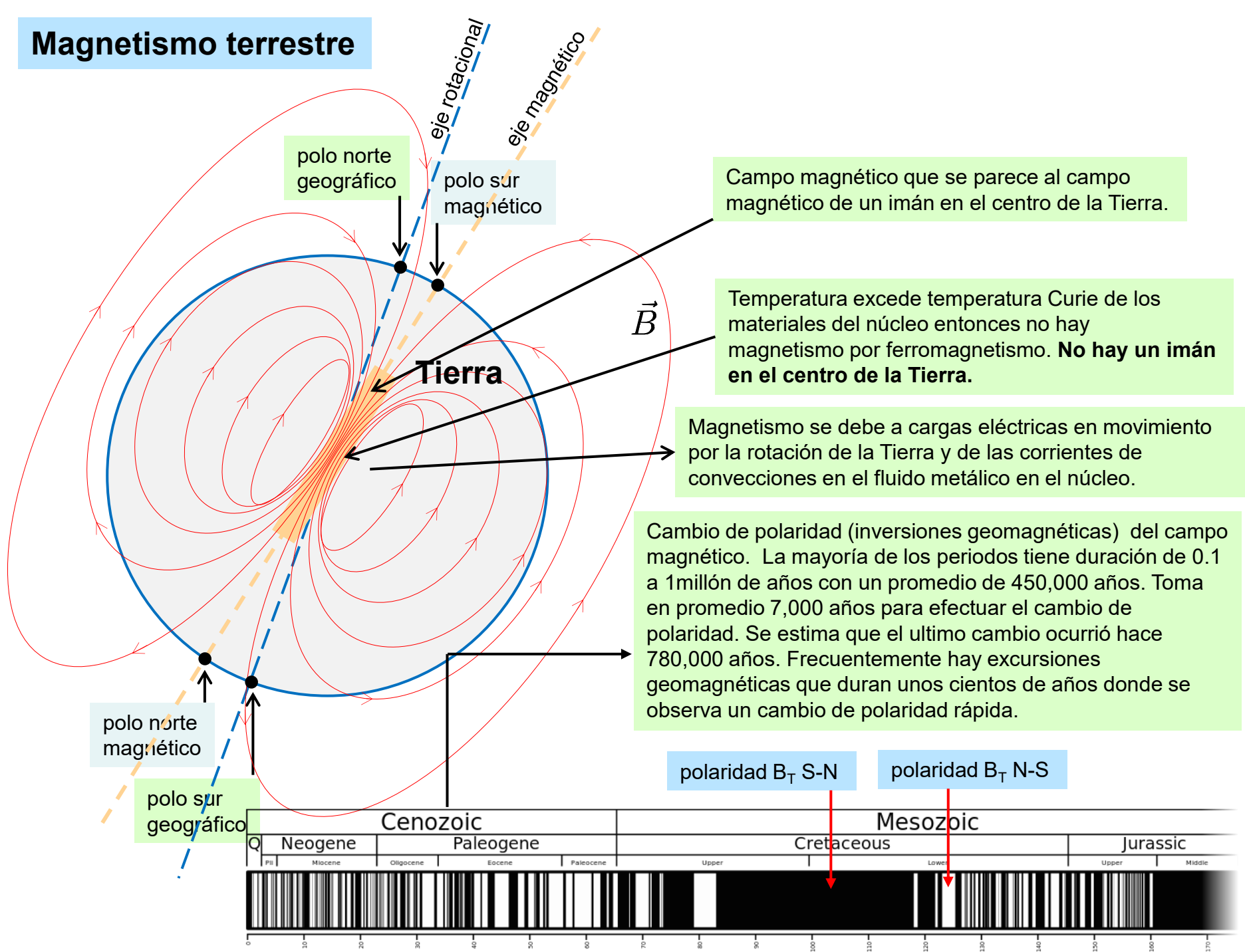
- elementos con electrones con sus espines apareados pero hay momento dipolar magnético orbital
- demuestra **repulsión magnética**
- magnetismo bien débil

Berilio ($_4\text{Be}$)



OJO No hay magnetismo en un material donde los espines intrínsecos y orbitales de los electrones y núcleos suman a cero.

Magnetismo terrestre



Campo magnético que se parece al campo magnético de un imán en el centro de la Tierra.

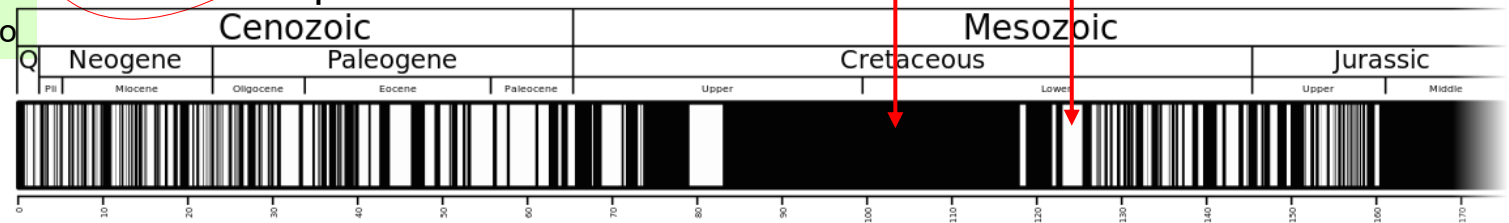
Temperatura excede temperatura Curie de los materiales del núcleo entonces no hay magnetismo por ferromagnetismo. **No hay un imán en el centro de la Tierra.**

Magnetismo se debe a cargas eléctricas en movimiento por la rotación de la Tierra y de las corrientes de convecciones en el fluido metálico en el núcleo.

Cambio de polaridad (inversiones geomagnéticas) del campo magnético. La mayoría de los periodos tiene duración de 0.1 a 1 millón de años con un promedio de 450,000 años. Toma en promedio 7,000 años para efectuar el cambio de polaridad. Se estima que el último cambio ocurrió hace 780,000 años. Frecuentemente hay excursiones geomagnéticas que duran unos cientos de años donde se observa un cambio de polaridad rápida.

polaridad B_T S-N

polaridad B_T N-S





A global environmental crisis 42,000 years ago

Alan Cooper^{1,2,*†}, Chris S. M. Turney^{3,*†}, Jonathan Palmer³, Alan Hogg⁴, Matt McGlone⁵, Janet Wilmshur...

+ See all authors and affiliations

Science 19 Feb 2021:

Vol. 371, Issue 6531, pp. 811-818

DOI: 10.1126/science.abb8677

[Article](#)[Figures & Data](#)[Info & Metrics](#)[eLetters](#)[PDF](#)

You are currently viewing the abstract.

[View Full Text](#)

Reversing the field

Do terrestrial geomagnetic field reversals have an effect on Earth's climate? Cooper *et al.* created a precisely dated radiocarbon record around the time of the Laschamps geomagnetic reversal about 41,000 years ago from the rings of New Zealand swamp kauri trees. This record reveals a substantial increase in the carbon-14 content of the atmosphere culminating during the period of weakening magnetic field strength preceding the polarity switch. The authors modeled the consequences of this event and concluded that the geomagnetic field minimum caused substantial changes in atmospheric ozone concentration that drove synchronous global climate and environmental shifts.

Science, this issue p. **811**

MAGNETIC MADNESS Magnetic catastrophe 'that wiped out Neanderthals' is due to happen AGAIN, scientists warn

Charlotte Edwards, Digital Technology and Science Reporter
19 Feb 2021, 12:04 | Updated: 19 Feb 2021, 17:39

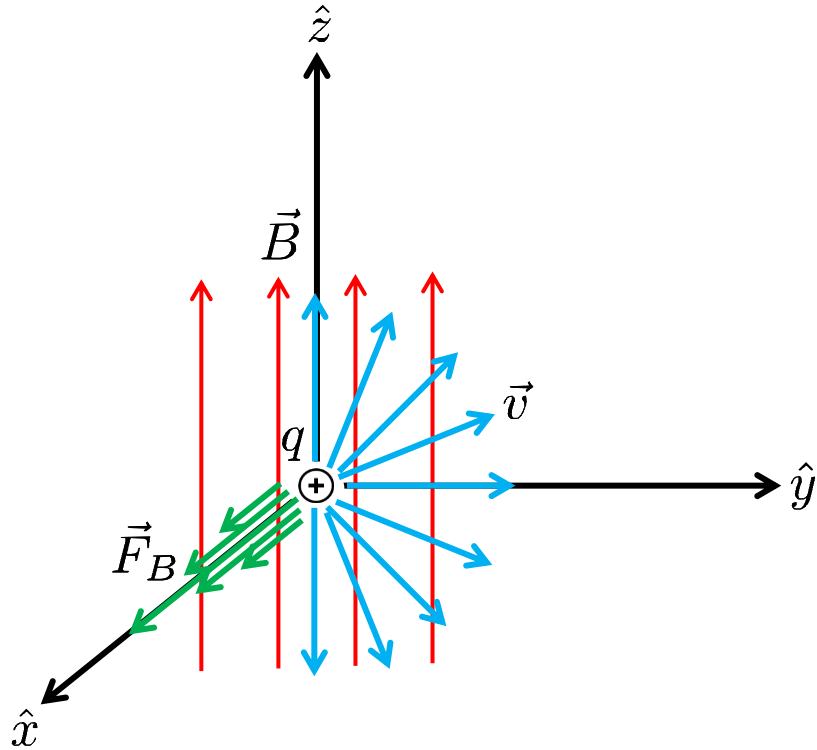


WATCH THE VIDEO

<https://www.thesun.co.uk/tech/14097356/magnetic-pole-flip-killed-neanderthals/>

<https://www.sapiens.org/column/field-trips/magnetic-field-reversal-neanderthal/>

Campo magnético y fuerza magnética sobre una carga



$$B = \frac{F_B(max)}{q v}$$

cuando $\vec{v} \perp \vec{B}$

carga en movimiento

$$\vec{F}_B = q \vec{v} \times \vec{B}$$

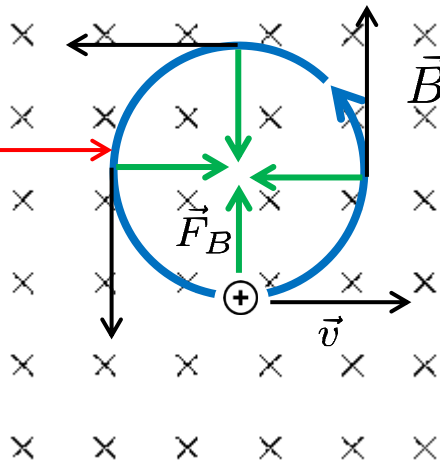
$$\vec{F}_B = q |\vec{v}| |\vec{B}| \sin \theta \quad [\text{direccion } \perp \vec{v} \text{ y } \perp \vec{B}]$$

ángulo entre \vec{v} y \vec{B}

$\vec{F}_B \perp \vec{v}$

cuando $\vec{v} \perp \vec{B}$

trayectoria circular



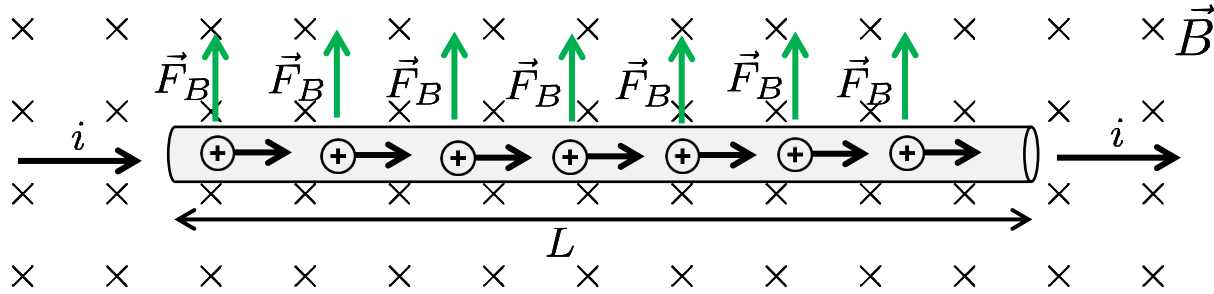
OJO Como la fuerza magnética es perpendicular al desplazamiento no hace trabajo entonces la energía cinética o rapidez no cambia.

B hacia adentro la página

Intensidades campo magnéticos

- estrella de neutrones 10^8 T
 - electroimanes grandes 1.5 T – 4 T
 - imán de barra pequeño 10^{-2} T
 - superficie de la Tierra 10^{-4} T
 - espacio 10^{-10} T
 - cuarto aislado magnéticamente 10^{-14} T
- 1 T = 10,000 G (gauss)
- $B_{\text{tierra}} = 0.5$ G
 - $B_{\text{sol}} = 1$ G
 - manchas solares 1000 G – 4000 G

Fuerza magnética sobre un alambre con corriente



sobre cada carga

$$F_B = q v B \quad (v \perp B)$$

durante $\Delta t \rightarrow i \Delta t$

$$\frac{L}{\Delta t}$$

sobre alambre

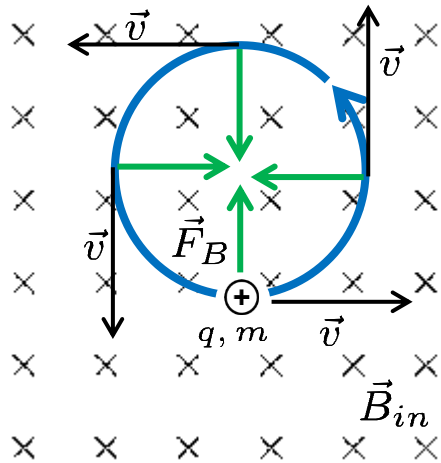
$$F_B = i \Delta t \frac{L}{\Delta t} B = i L B$$

$$\vec{F}_B = i \vec{L} \times \vec{B}$$

dirección corriente positiva

Efectos magnéticos

Trayectos circulares ($\vec{v} \perp \vec{B}$)



$$F_c = F_{neta} = \frac{mv^2}{r}$$

$$F_B = \frac{mv^2}{r} \rightarrow qvB \sin 90^\circ = \frac{mv^2}{r}$$

$$qvB = \frac{mv^2}{r}$$

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

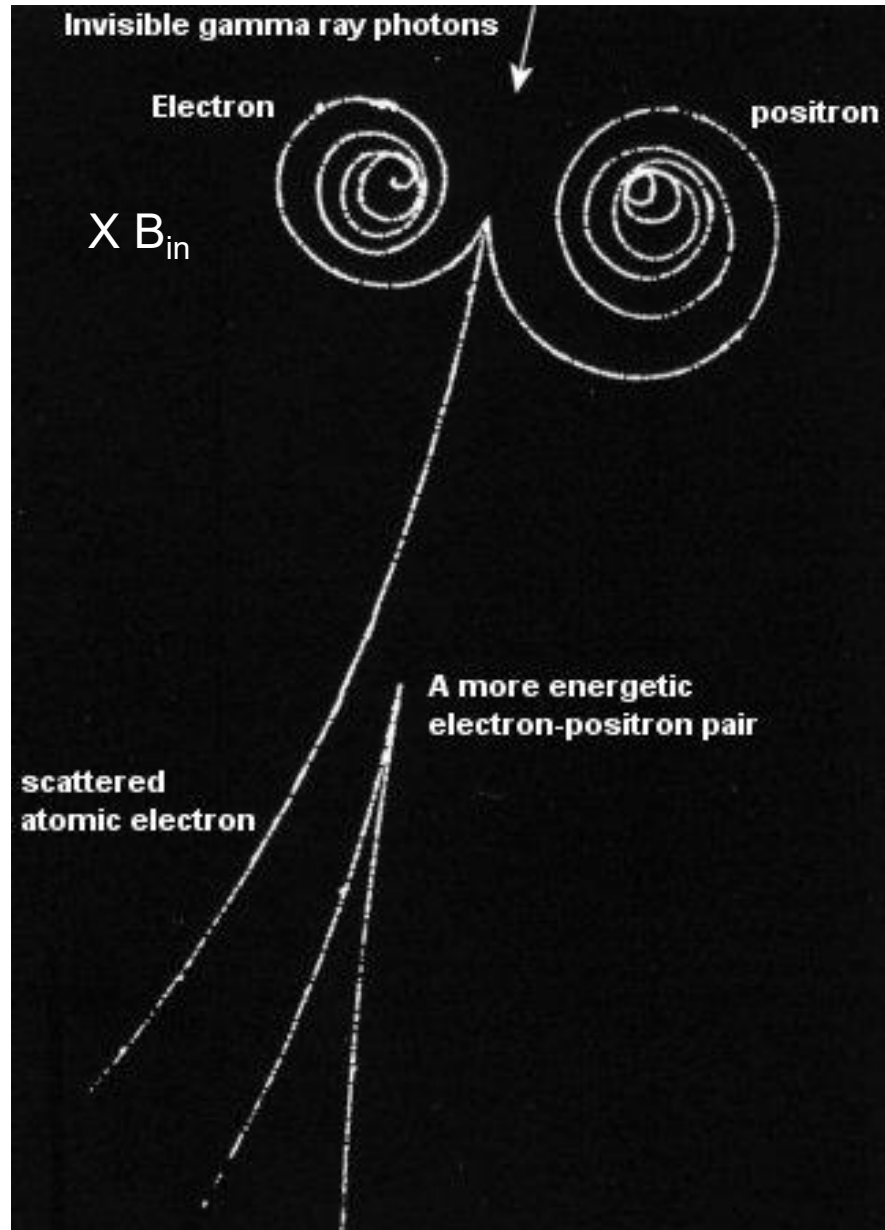
rapidez menor resulta en un radio menor

$$\text{periodo de revolución} \rightarrow T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{v} \frac{mv}{qB} = \frac{2\pi m}{qB}$$

$$\text{frecuencia de ciclotrón} \rightarrow f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m}$$

$$\text{frecuencia angular} \rightarrow \omega = 2\pi f = \frac{qB}{m}$$

Cámara de burbuja

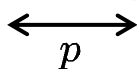


Trayectos helicoidales ($\vec{v} = v_{\perp} + v_{\parallel}$ a \vec{B})

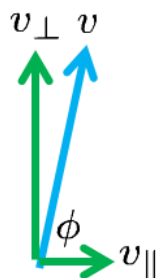
trayectorias en forma de hélices o espirales



movimiento de la carga eléctrica



pitch



determina el pitch

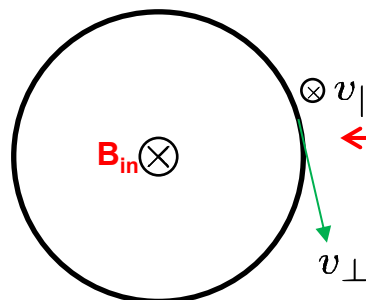
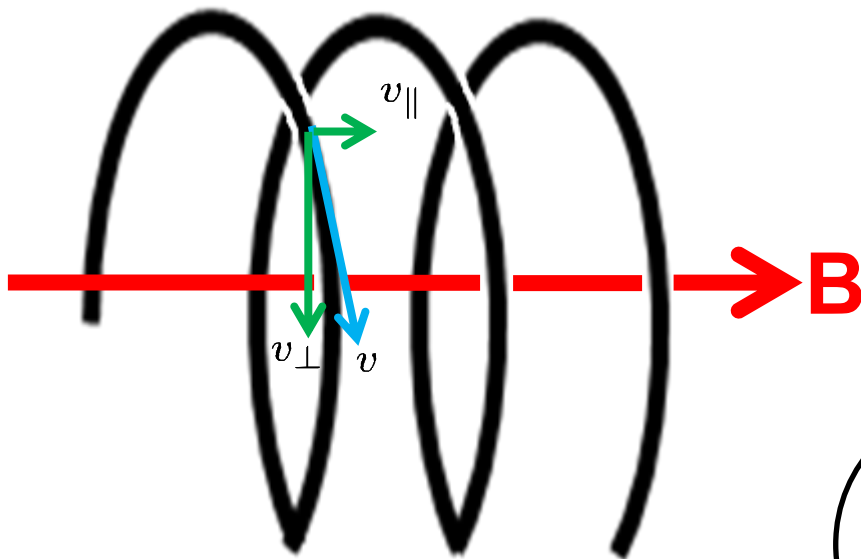
$$v_{\parallel} = v \cos \phi$$

$$p = v_{\parallel} T = v_{\parallel} \frac{2\pi m}{qB}$$

$$v_{\perp} = v \sin \phi$$

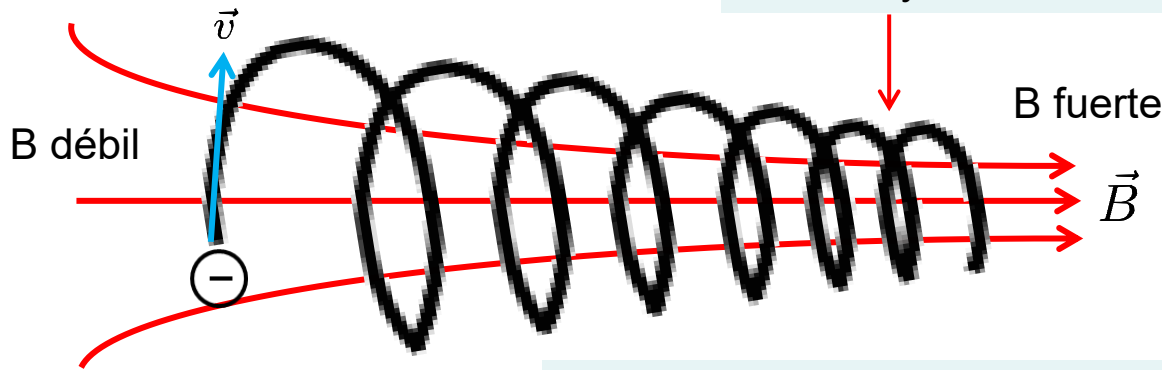
determina el radio

$$r = \frac{mv_{\perp}}{qB}$$



vista en el eje longitudinal

r menor y frecuencia mayor



$$r = \frac{mv_{\perp}}{qB} \rightarrow \text{si } B \uparrow \rightarrow r \downarrow$$

$$\omega = \frac{qB}{m} \rightarrow \text{si } B \uparrow \rightarrow \omega \uparrow$$

OJO ¿Y la E_k ? Recuerde que \vec{B} no puede cambiar \vec{v} debido que $\vec{F}_B \perp \vec{v} \rightarrow W_{neto} = 0$

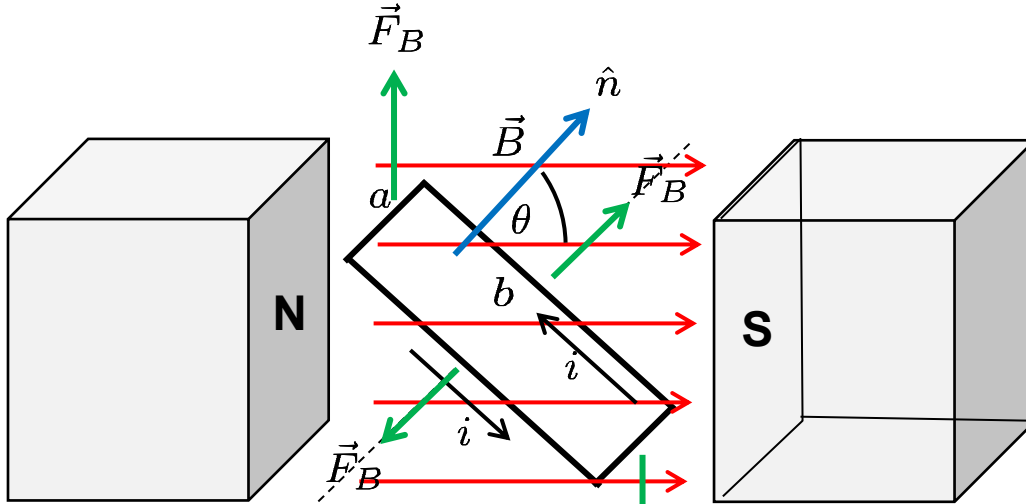
$$\vec{v} = \vec{v}_{\perp} + \vec{v}_{\parallel} = \text{magnitud constante}$$

aumenta debido que B aumenta

tiene que disminuir

cuando \vec{v}_{\perp} aumenta a $\vec{v} \rightarrow \vec{v}_{\parallel} = 0$
la partícula rebota

Torque sobre una espira de corriente y momento magnético



$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

$$\tau = 2 \left(\frac{1}{2} b F_B \right) \sin \theta = i(ab) B \sin \theta$$

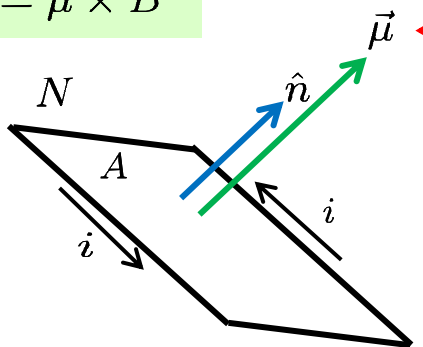
$$F_B = iLB = iaB$$

$$\mu = NiA$$

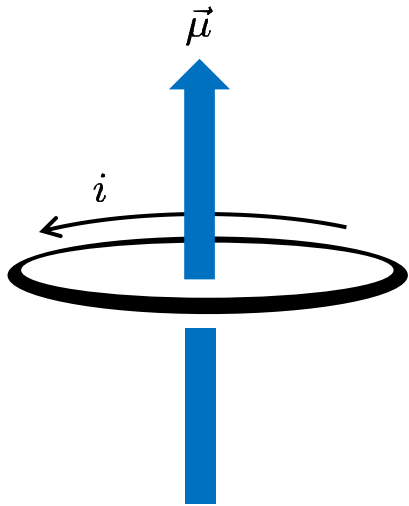
$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

por N vueltas $\tau = (NiA)B \sin \theta = \mu B \sin \theta$

Momento dipolar magnético μ o momento magnético, nos da la tendencia a alinearse con el campo magnético. Unidades de $[A m^2]$ o $[J/T]$.



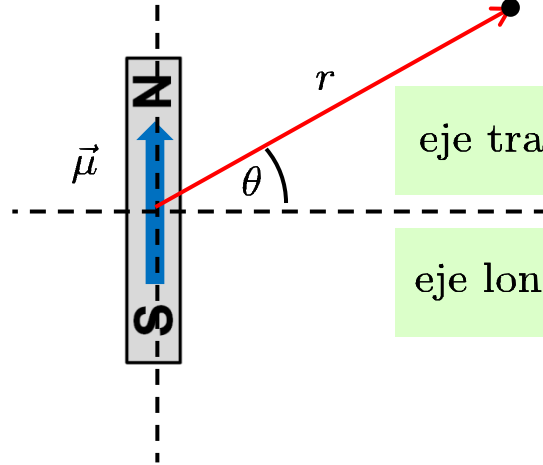
dirección dado por la ley de la mano derecha, dedos en la dirección de la corriente, pulgar el momento



permeabilidad magnética

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{Tm}{A}$$

$$B(\mu, r, \theta) = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi r^3} \sqrt{1 + 3 \sin^2 \theta}$$



eje transversal $\theta = 0 \rightarrow B_{\perp} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi r^3}$

eje longitudinal $\theta = 90^{\circ} \rightarrow B_{\parallel} = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi r^3}$

Energía potencial magnética U_B

$$U_B(\theta) = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$$

$U = -\mu B$ (menor)

$U = +\mu B$ (mayor)

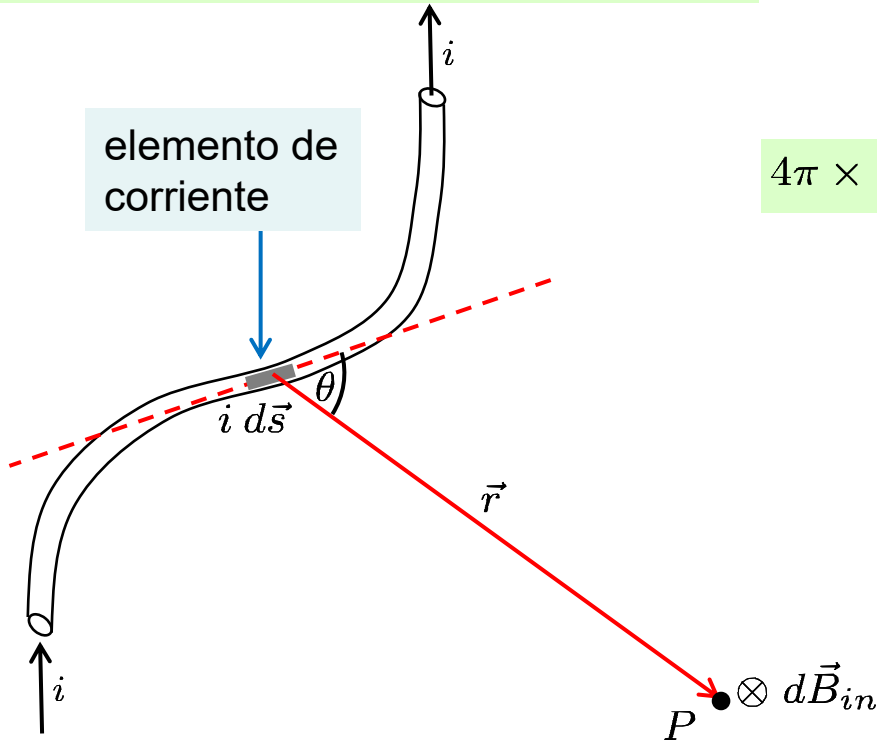
valores de momentos magnéticos

- imán de barra $\mu = 5 \text{ J/T}$
- Tierra $\mu = 8 \times 10^{22} \text{ J/T}$
- proton $\mu = 1.4 \times 10^{-26} \text{ J/T}$
- electron $\mu = 9.3 \times 10^{-24} \text{ J/T}$

Ley de Biot-Savart

Campos magnéticos debido a corrientes

Recuerden: el magnetismo se debe a cargas eléctricas en movimiento.



Ley de Biot-Savart

$$4\pi \times 10^{-7} \frac{Tm}{A}$$

elemento de corriente tiene dirección de la corriente

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 i d\vec{s} \times \vec{r}}{4\pi r^3}$$

campo magnético debido a un elemento de corriente

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 i d\vec{s} \times \vec{r}}{4\pi r^3} = \frac{\mu_0 i d\vec{s} \times r\hat{r}}{4\pi r^3}$$

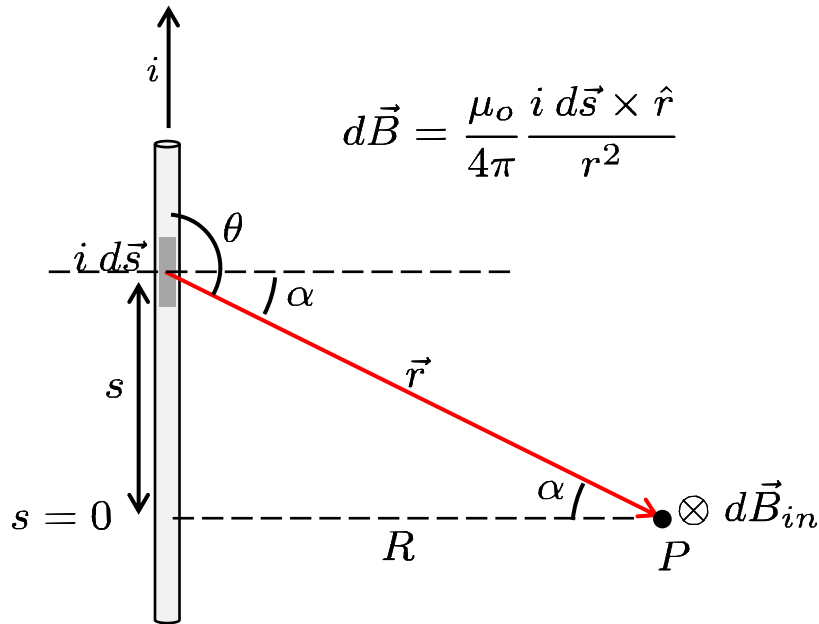
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 i d\vec{s} \times \hat{r}}{4\pi r^2}$$

magnitud de dB

$$dB = \frac{\mu_0 i ds}{4\pi r^2} \sin\theta$$

ángulo entre $i d\vec{s}$ y \vec{r}

Campo magnético de un alambre recto con corriente



$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 i ds \times \hat{r}}{4\pi r^2}$$

$$dB = \frac{\mu_0 i ds}{4\pi r^2} \sin \theta$$

$$\begin{aligned} \sin \theta &= \sin (90^\circ + \alpha) \\ &= \sin 90^\circ \cos \alpha + \cos 90^\circ \sin \alpha \\ &= \cos \alpha \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= \int dB = \int_{s=-\infty}^{\infty} \frac{\mu_0 i ds}{4\pi r^2} \cos \alpha \\ r &= \sqrt{s^2 + R^2} \quad \cos \alpha = \frac{R}{\sqrt{s^2 + R^2}} \end{aligned}$$

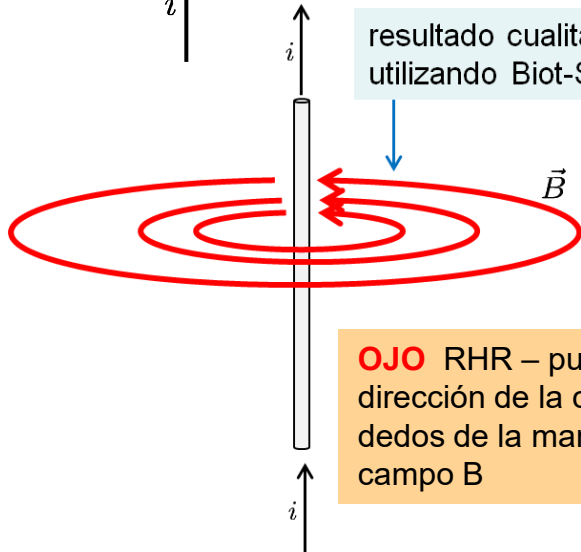
$$B = 2 \times \left[\int_{s=0}^{\infty} \frac{\mu_0 i ds}{4\pi s^2 + R^2} \frac{R}{\sqrt{s^2 + R^2}} \right]$$

$$B = \frac{\mu_0 i R}{2\pi} \int_{s=0}^{\infty} \frac{1}{(s^2 + R^2)^{3/2}} ds$$

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi R}$$

con tabla de integración

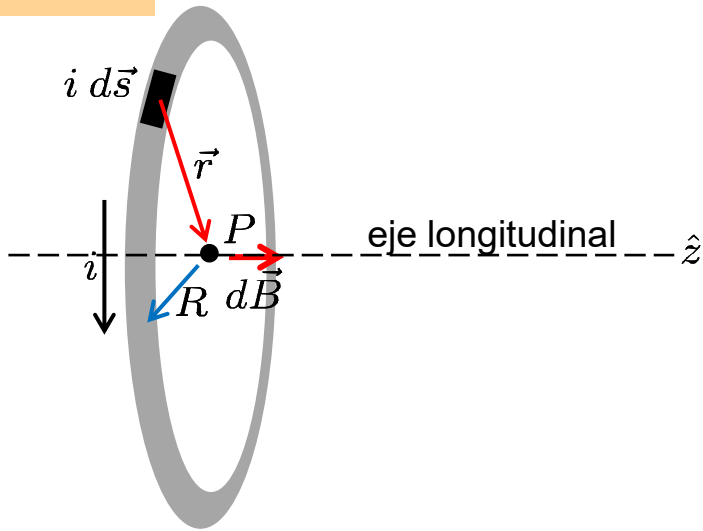
resultado cualitativo
utilizando Biot-Savart



OJO RHR – pulgar en dirección de la corriente, dedos de la mano derecha el campo B

Campo magnético de una bobina con corriente

Centro



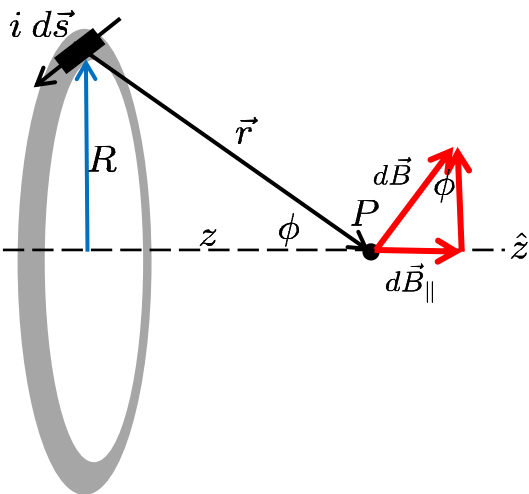
$$dB = \frac{\mu_0 i ds}{4\pi r^2} \sin \theta = \frac{\mu_0 i ds}{4\pi R^2}$$

$$B = \int \frac{\mu_0 i ds}{4\pi R^2} = \frac{\mu_0 i}{4\pi R^2} \int ds \rightarrow 2\pi R$$

N vueltas

$$B = \frac{\mu_0 i}{2R} = \frac{N\mu_0 i}{2R}$$

Eje longitudinal



$$B = \frac{N\mu_0 i R^2}{2(z^2 + R^2)^{3/2}}$$

