

Campo magnético

Generación y medición.

Estudio del campo magnético
generado por un imán y por un
solenoides.



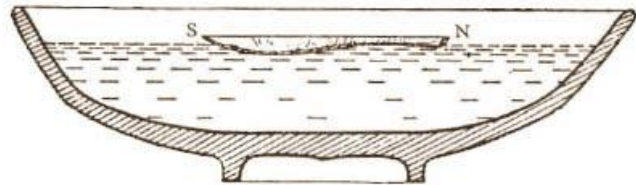
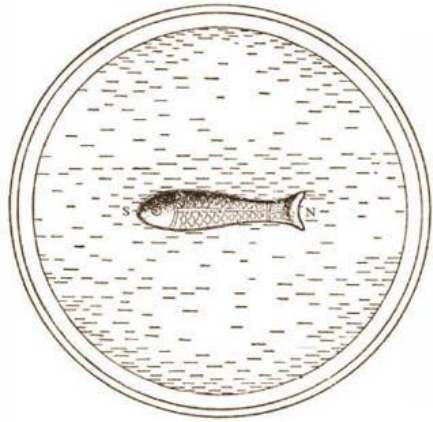
LABORATORIO 3
1er cuatrimestre 2023

Campo Magnético

Fenómenos magnéticos → 2600 años

Magnesia del Meandro → Magnetita
(imán permanente natural)

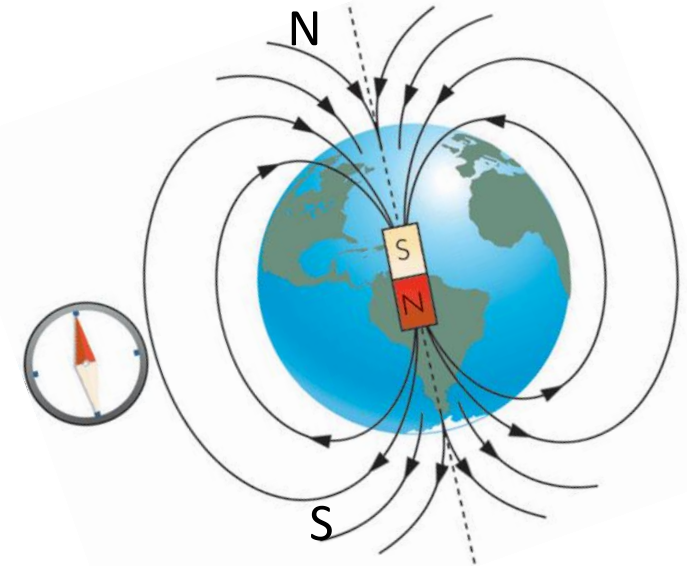
Brújula → China 1000 DC → Europa 1200 DC



Brújula de agua



Brújula seca
1300

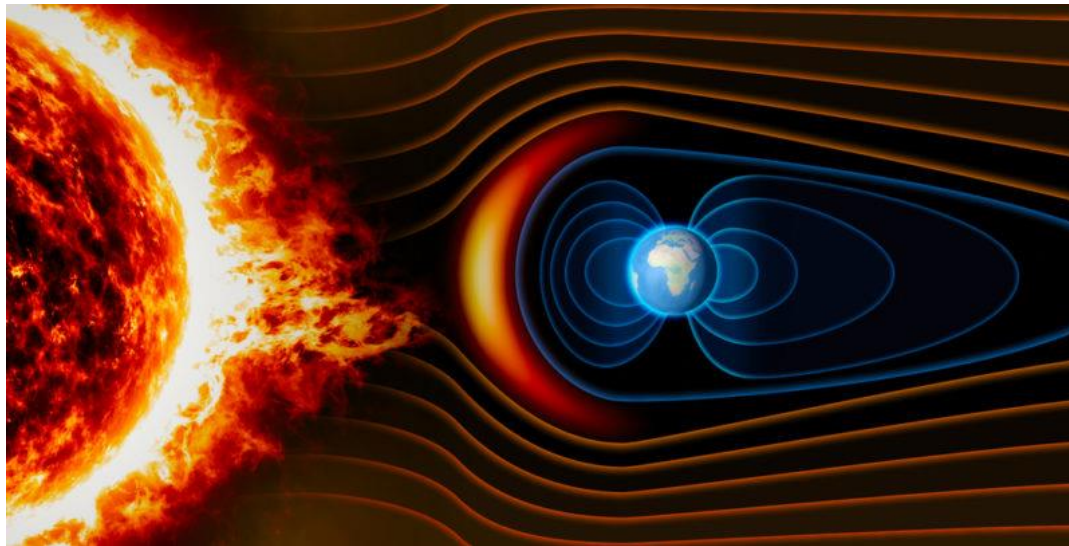
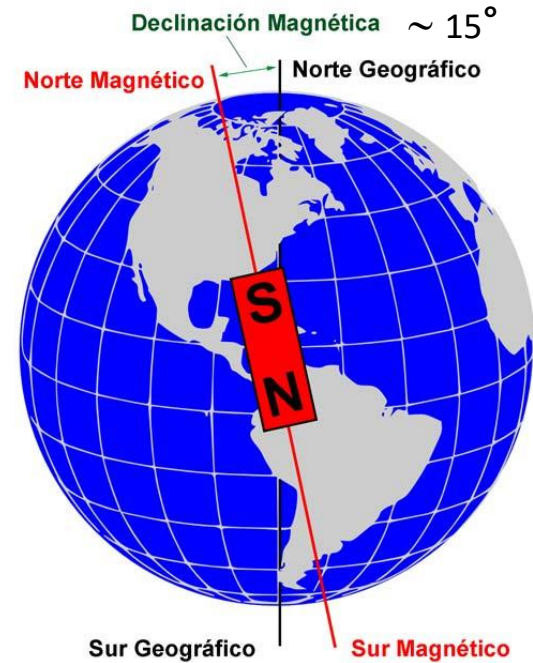


La Tierra se comporta como un imán
1600 – William Gilbert

Campo Magnético terrestre

- 25 a 65 μT
- Más fuerte en los polos
- Más débil en el ecuador

Unidades: 1 Tesla [T] = 10 000 Gauss [G]



Protege a la Tierra del viento solar



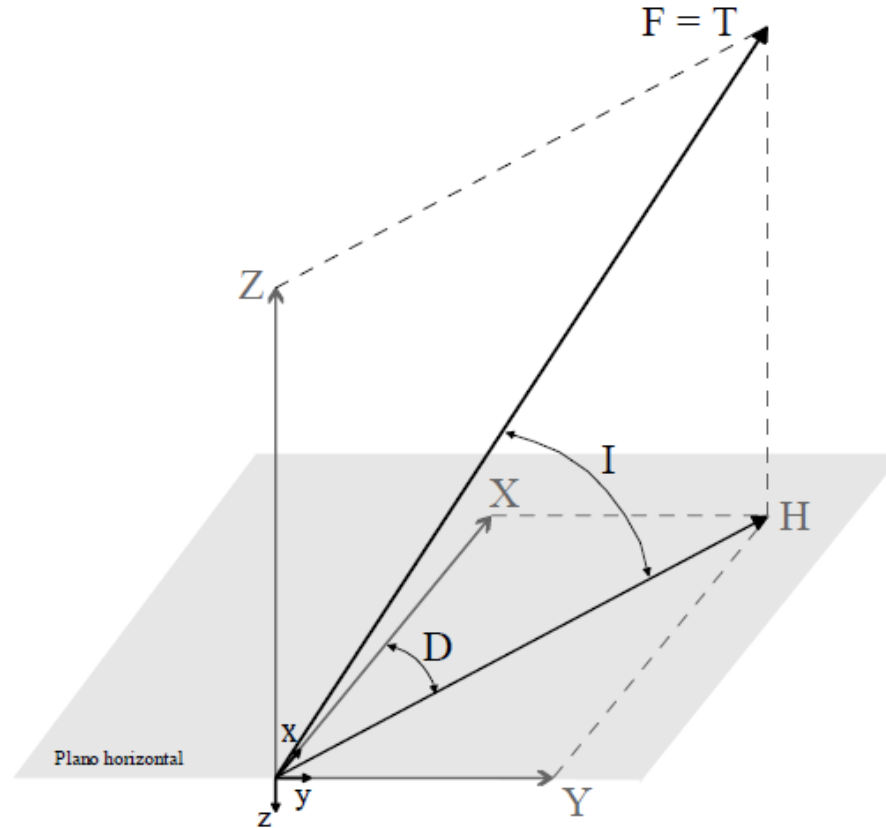
Aurora Boreal o Austral

Campo magnético terrestre

Representación del campo en coordenadas cartesianas

X= Norte geográfico
 Y= Este geográfico
 Z= + hacia el centro de la Tierra

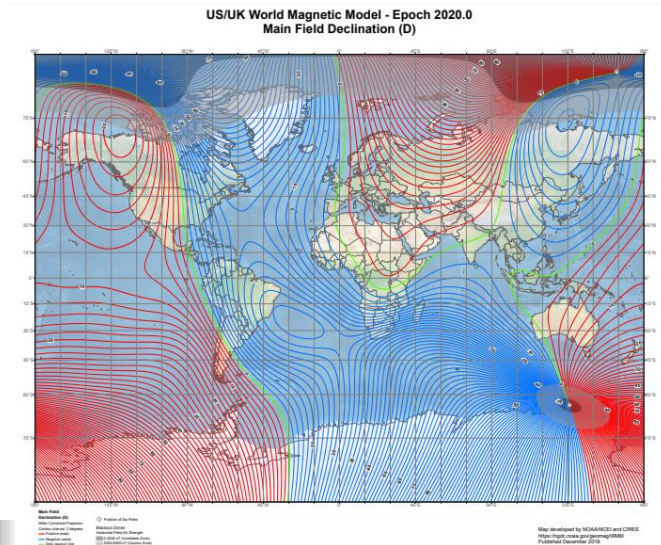
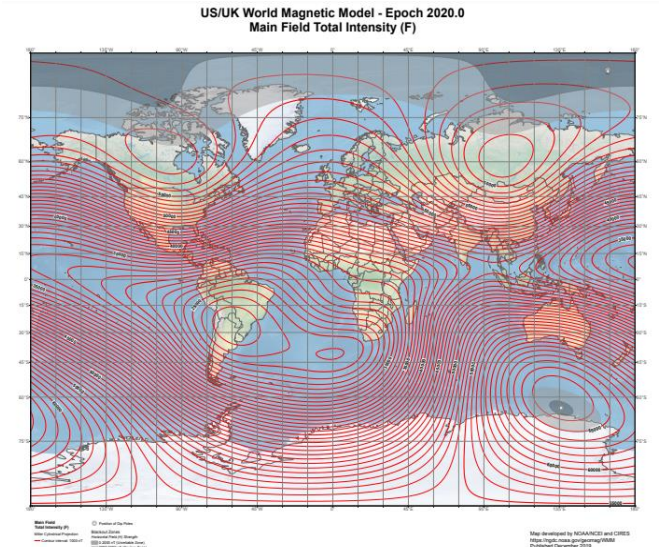
H= Componente horizontal /
 Norte magnético
 F = Intensidad total
 I = Inclinación /- en
 hemisferio Sur
 D = Declinación / + hacia el
 Este



Buenos Aires:

Date	Declination (+ E - W)	Inclination (+ D - U)	Horizontal Intensity	North Comp (+ N - S)	East Comp (+ E - W)	Vertical Comp (+ D - U)	Total Field
2022-04-25	-9° 40' 13"	-40° 37' 23"	17,223.2 nT	16,978.5 nT	-2,893.1 nT	-14,774.1 nT	22,691.7 nT
Change/year	-0° 9' 41"/yr	-0° 13' 38"/yr	-82.2 nT/yr	-89.2 nT/yr	-34.0 nT/yr	-48.1 nT/yr	-31.1 nT/yr
Uncertainty	0° 25'	0° 13'	128 nT	131 nT	94 nT	157 nT	145 nT

<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/>

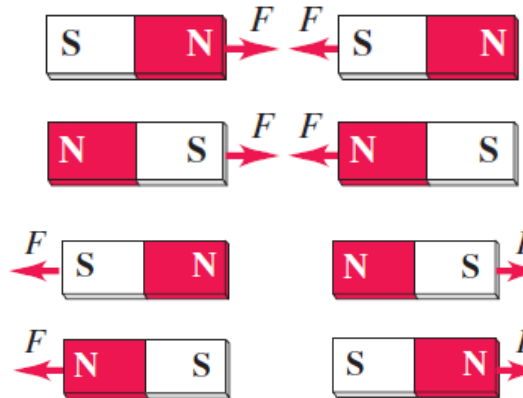


Isógonas – pto de igual D
 Isóclinas – pto de igual I

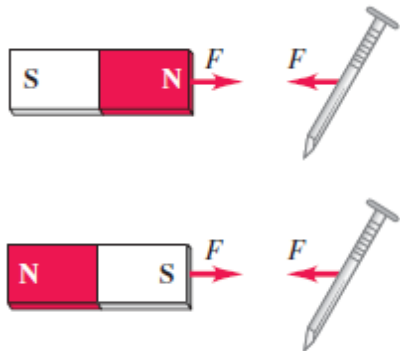
I=0 Ecuador magnético

Campo Magnético

Imanes Permanentes Gilbert 1600



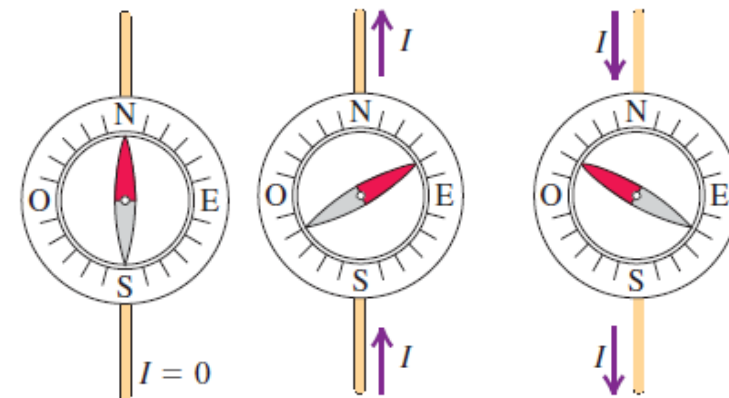
Fuerzas entre sí



Atracción de fragmentos de
hierro no magnetizados

Experimento de Oersted 1819

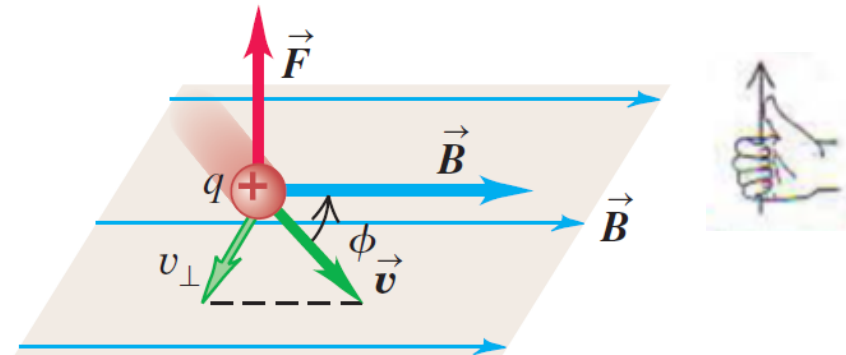
Cuando por un cable circula corriente, genera un campo magnético que modifica la dirección de la brújula



Fuerza magnética – Lorentz 1880

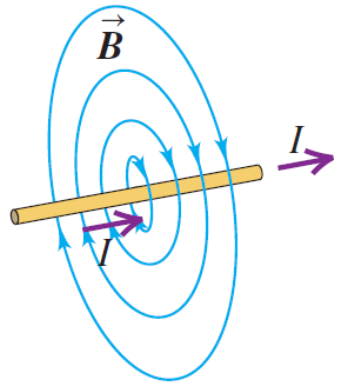
- Una carga en movimiento o corriente genera un campo magnético en el espacio circundante (además de su campo eléctrico)
- El campo magnético ejerce una fuerza F sobre cualquier otra carga en movimiento o corriente presente en el campo

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

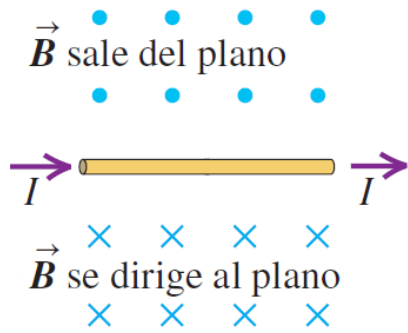


Fuerza sobre una carga en movimiento

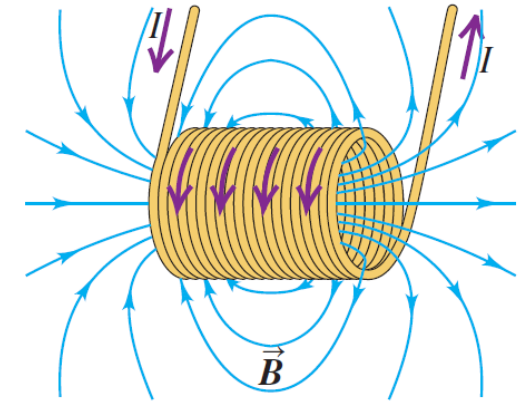
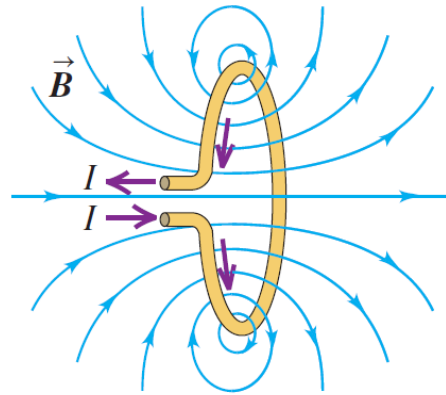
Generación de campos magnéticos



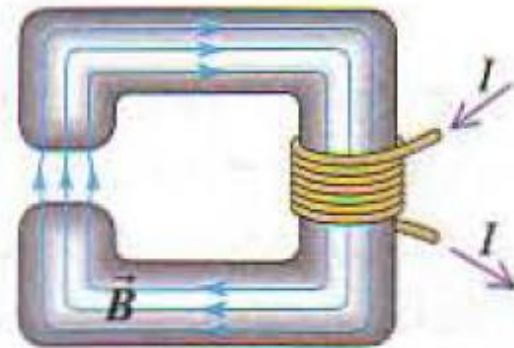
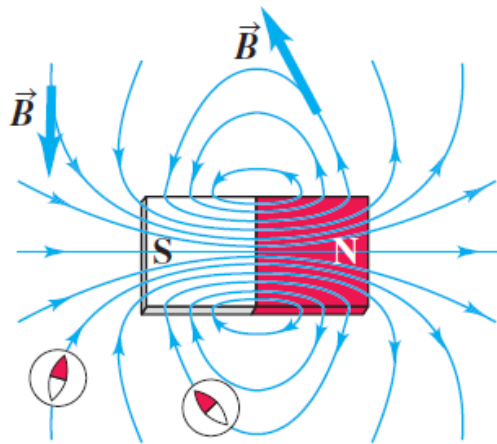
Vista en perspectiva



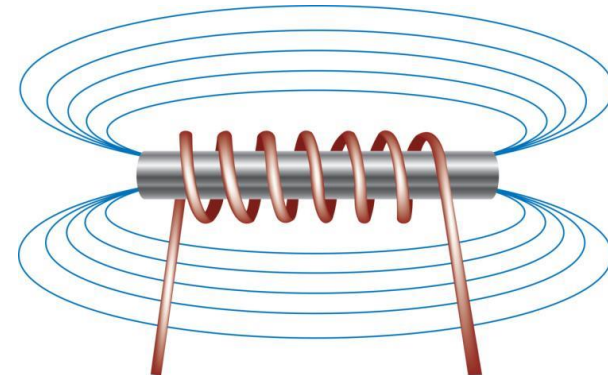
El alambre está en el plano del papel



En medios materiales



Electroimán



Materiales Ferromagnéticos: Hierro, Níquel, Cobalto

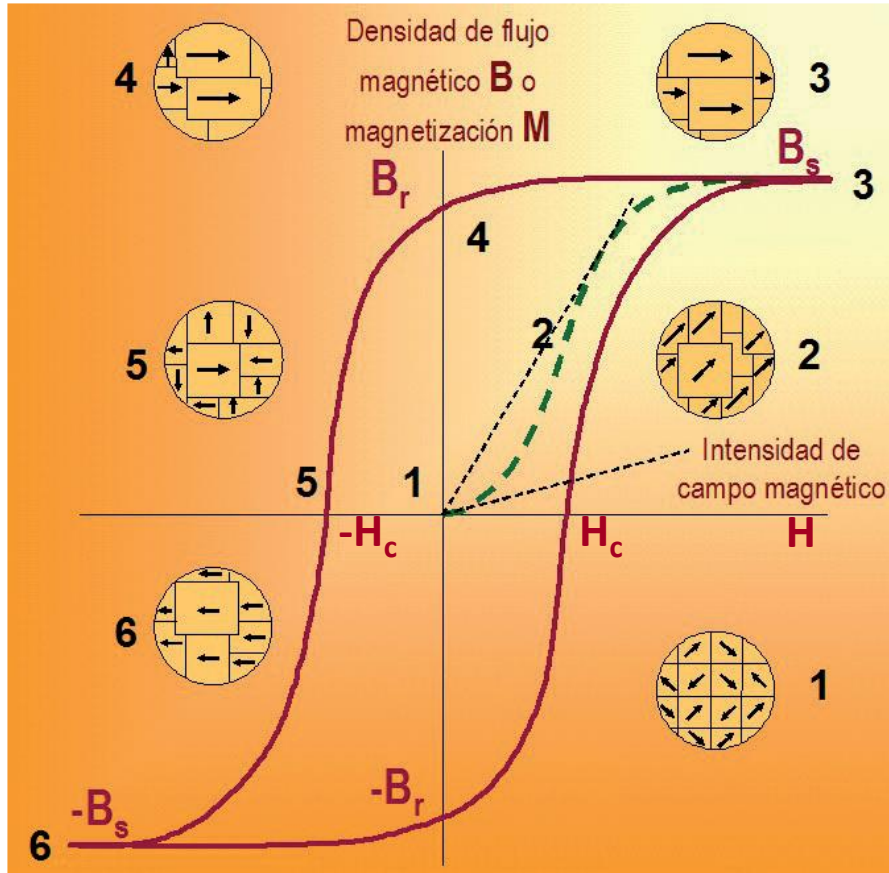
Aumento del tamaño de dominios magnéticos orientados en la dirección de H



Orientación de los dominios magnéticos



Persisten aun en ausencia de campos externos



Relación entre \vec{B} (o \vec{M}) y \vec{H} depende de la historia del material



Histéresis

Campo magnético en MKS

$$B = \mu_0 \cdot (H + M)$$

$$[B] = T$$

$$[H] = A/m$$

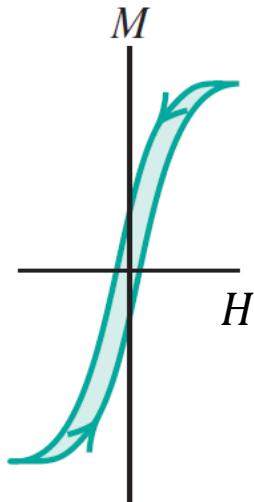
$$[M] = A/m$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

Materiales Ferromagnéticos: Histéresis

Hierro Dulce poca histéresis

$$B \approx \mu H$$

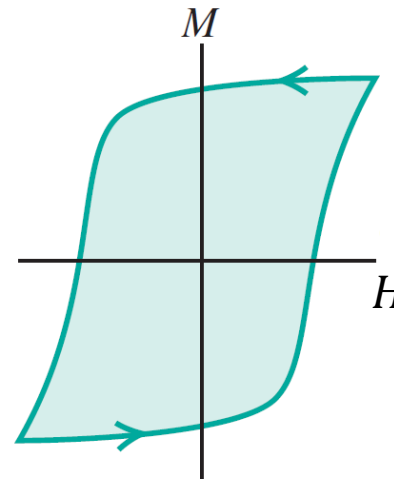


$$H_C \sim 2400 \text{ A/m}$$

$$B_S > 0.4 \text{ T}$$

electroimanes
núcleos de transformadores

Alnico (Cobalto, aluminio y níquel)
Gran Campo magnético residual



$$H_C \sim 10^6 \text{ A/m}$$

$$B_S > 0.4 \text{ T}$$

Imanes permanentes

Generación de campos magnéticos

Fuente de B

Campo magnético terrestre

Campo magnético de un imán de heladera

Imanes de laboratorio

Solenoides en aire

Electroimanes industriales

Campos magnéticos generados por superconductores en laboratorios

Campos magnéticos usados para resonancias en Institutos médicos

Valor de campo [T]

5×10^{-5}

5×10^{-3}

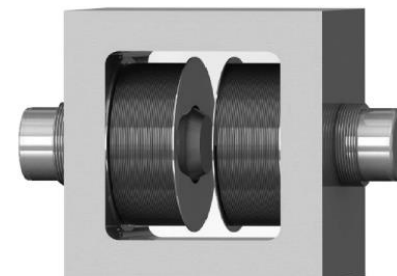
0.01 a 1

0.0001 a 0.01

2

18

1.5 a 3

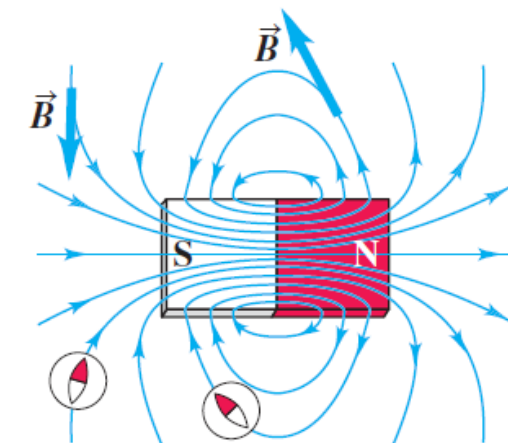
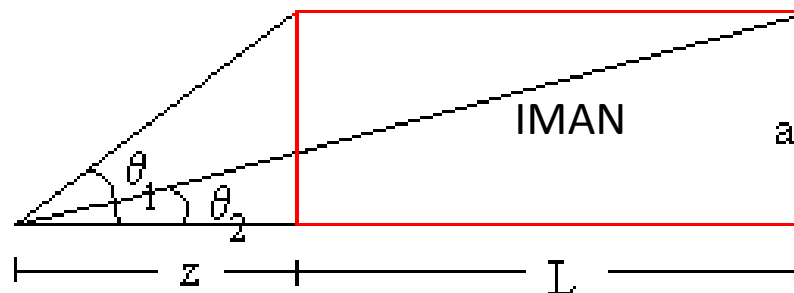


Campo magnético en el eje de un imán

Radio a y largo L

$$\vec{B}(z) = \frac{\mu_0 \cdot M}{2} (\cos \theta_2 - \cos \theta_1) \hat{z}$$

$$\vec{B}(z) = \frac{\mu_0 \cdot M}{2} \left(\frac{z+L}{\sqrt{(z+L)^2 + a^2}} - \frac{z}{\sqrt{z^2 + a^2}} \right) \hat{z}$$



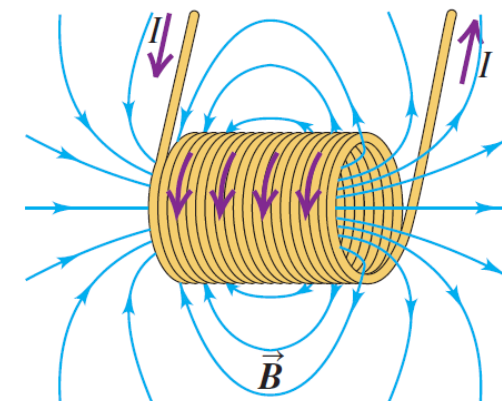
$$\vec{B}_s(z) = \frac{\mu_0 \cdot M}{2} \left(\frac{L}{\sqrt{L^2 + a^2}} \right) \hat{z} \quad z = 0 \quad (\text{en la superficie})$$

Si $L \gg a$

$$\vec{B}(z) = \frac{\mu_0 \cdot M \cdot a^2}{4} \left(\frac{1}{z^2} - \frac{1}{(z+L)^2} \right) \hat{z}$$

Si $z \gg L$

$$\vec{B}(z) = \frac{\mu_0 \cdot M \cdot a^2 \cdot L}{2} \cdot \frac{1}{z^3} \hat{z}$$



Dipolo magnético de momento dipolar m obtenemos la misma expresión reemplazando

$$M = \frac{m}{\pi \cdot a^2 \cdot L}$$

Solenoides con corriente I y densidad de espiras n obtenemos la misma expresión reemplazando

$$M = I \cdot n$$

Campo magnético en el eje de un solenoide

Radio a y largo L

$$\vec{B}(z) = \frac{\mu_0 n I}{2} (\cos \theta_2 - \cos \theta_1) \hat{z}$$

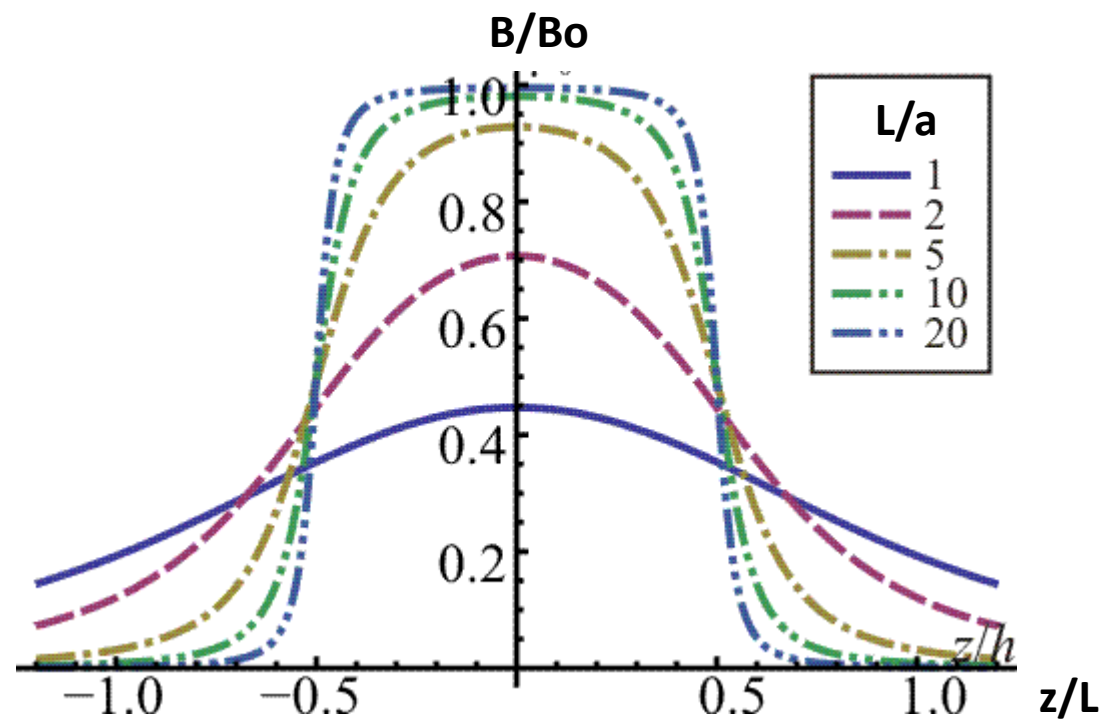
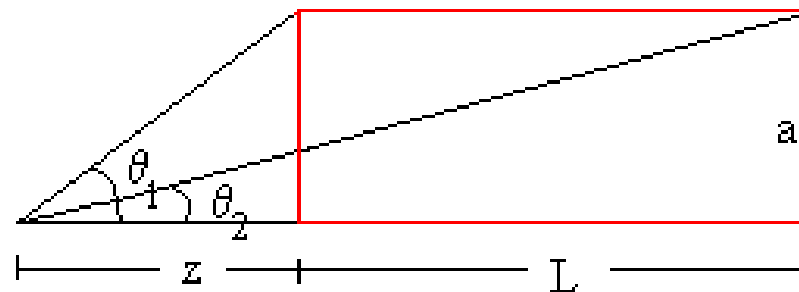
$$\vec{B}(z) = \frac{\mu_0 n I}{2} \left(\frac{z+L}{\sqrt{(z+L)^2 + a^2}} - \frac{z}{\sqrt{z^2 + a^2}} \right) \hat{z}$$

Si $z \gg L, a$

$$\vec{B}(z) = \frac{\mu_0 n I a^2 L}{2} \frac{1}{z^3} \hat{z}$$

Solenoide infinito: $\theta_1 = \pi, \theta_2 = 0$

$$B_0 = \mu_0 n I$$

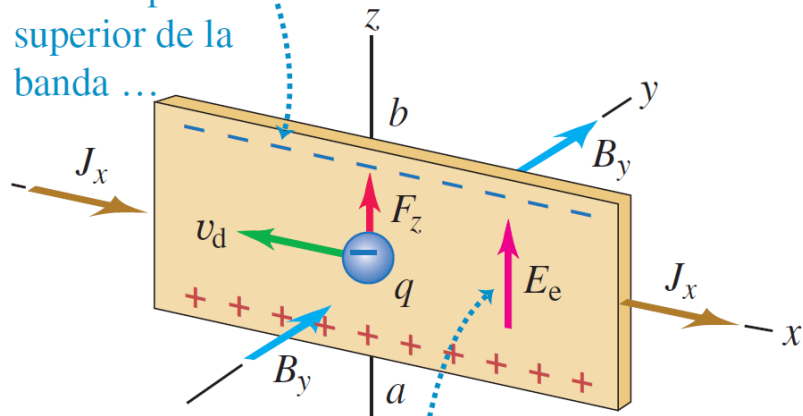


Si $L \gg a$,
en la zona
central vale la
aproximación de
solenoide
infinito

Efecto Hall

Conducción de electrones

Los portadores de carga son empujados hacia la parte superior de la banda ...



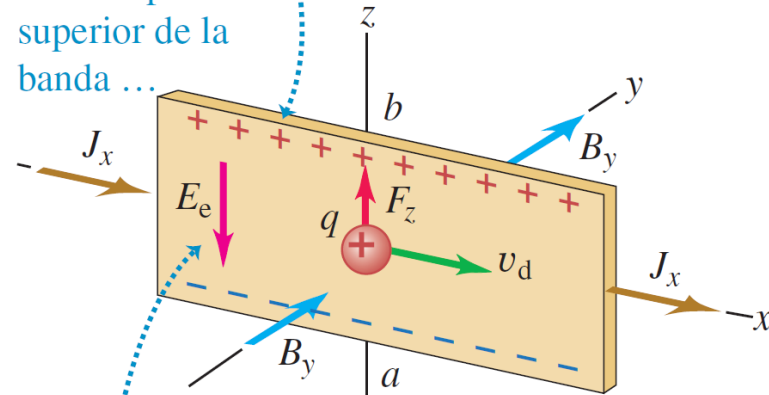
... por lo que el punto *a* tiene un potencial mayor que el punto *b*.

Acumulación de carga

$$J_x = n \cdot q \cdot v_d$$

Conducción de Huecos

Los portadores de carga otra vez son empujados hacia la parte superior de la banda ...



... de modo que la polaridad de la diferencia de potencial es opuesta a la de los portadores de carga negativa.

Generación de campo eléctrico
Que contrarrestara a F_z

$$\text{Equilibrio: } q \cdot E_z + q \cdot v_d \cdot B_y = 0$$

q : Carga electrón
 n : Concentración de cargas

Fuerza magnética siempre hacia arriba

$$F_z = |q| v_d B$$

Diferencia de potencial
Voltaje de Hall

$$B_y = \frac{-E_z \cdot n \cdot q}{J_x}$$

Sonda Hall

- Aprovecha el efecto Hall para medir el campo magnético
- Dada una corriente fija, esta tensión resulta proporcional a la componente normal del campo magnético.



$$V(B_{\perp}) = V_0 + ASB_{\perp}$$

- S : Sensibilidad (en mV/T)
- A : Ganancia del amplificador
- V_0 : Offset

Para medir usamos la calibración de fábrica y medimos el campo en las direcciones opuestas

$$B = \frac{B_0 - B_{180}}{2} \quad (\text{manteniendo el signo de } B_{180})$$

Mediciones de campo magnético con celulares

Magneto Resistencias

- Son elementos que varían su resistencia en presencia de un campo magnético

Aplicaciones para ANDROID

Phyphox - Magnetómetro

Compass Galaxy (brújula)

Gauss meter

Medición del campo magnético

-Magnetic Field Sensor – Vernier
(Hoja de datos en la página de la materia)

12-bit resolution	± 0.32 mT range: 0.0002 mT ± 6.4 mT range: 0.004 mT
-------------------	----------------------------------------------------------------

Rango: $\pm 0,32$ mT
 $\pm 6,4$ mT

-Adquisición con DAQ
(Conversor analógico digital de 12 bits)

-Software: SensorDAQ

Permite variar:

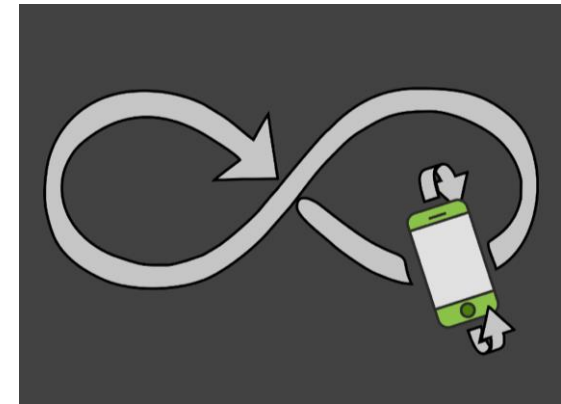
- Tiempo de medición
- Frecuencia de adquisición (Max 10 kHz)

Al medir señales con valor “constante” se puede hacer un análisis estadístico

Medición del campo magnético



Calibración del sensor



Durante la medición desplazar el teléfono formando un 8 con rotación simultánea sobre sí mismo

Utilizar aplicación Gauss Meter

<http://www.keuwl.com/GaussMeter>

En iPhone o iPad

Tesla metal detector and magnetic field recorder + aplicación tipo brújula

Medición del campo magnético terrestre

Seleccionar la función Brújula (compass)

Lejos de imanes (computadoras, auriculares, ...)

Determinar la dirección del Norte magnético

Medir las componentes B_x , B_y y B_z



Actividades propuestas

Con SONDA HALL

- Medir el campo magnético generado por un solenoide en el eje en el interior del solenoide (corriente máxima para el solenoide: 500 mA)
 - Colocar el solenoide en la dirección perpendicular a la dirección N
 - Medir en el rango que permita el sensor – Invertir el campo invirtiendo la corriente
- Medir el campo magnético generado por un imán cilíndrico en el eje del imán.
 - Colocar el imán en la dirección perpendicular a la dirección N
 - Medir en el rango que permita el sensor

Proponer modelos para ajustar los resultados.

¿Qué magnitudes conviene graficar?

¿Depende del rango de posiciones estudiadas?