

# BLOQUE 3

## Magnetismo

Generación y medición de campo magnético



LABORATORIO 3  
1er cuatrimestre 2025

# **Bloque 3** # Propuesta de trabajo

## **Grupos 1 al 6**

**6/5** Medición de campo magnético

**13/5** Inducción electromagnética

## **Grupos 7 al 12**

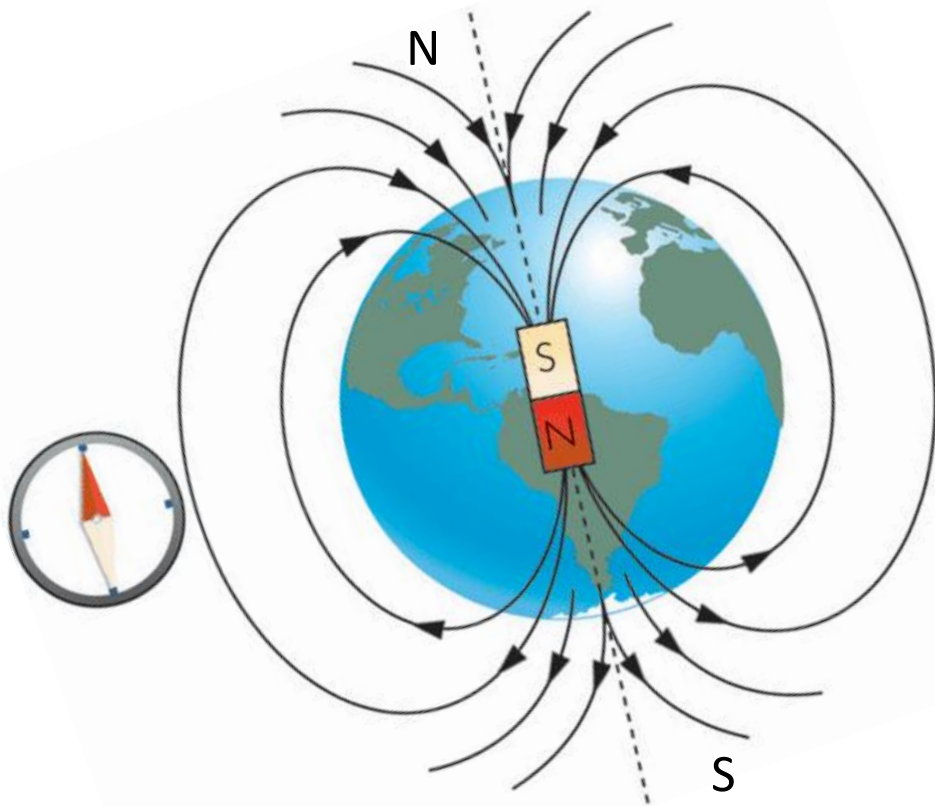
**6/5** Inducción electromagnética

**13/5** Medición de campo magnético

# Medición de campo magnético

# Campo Magnético

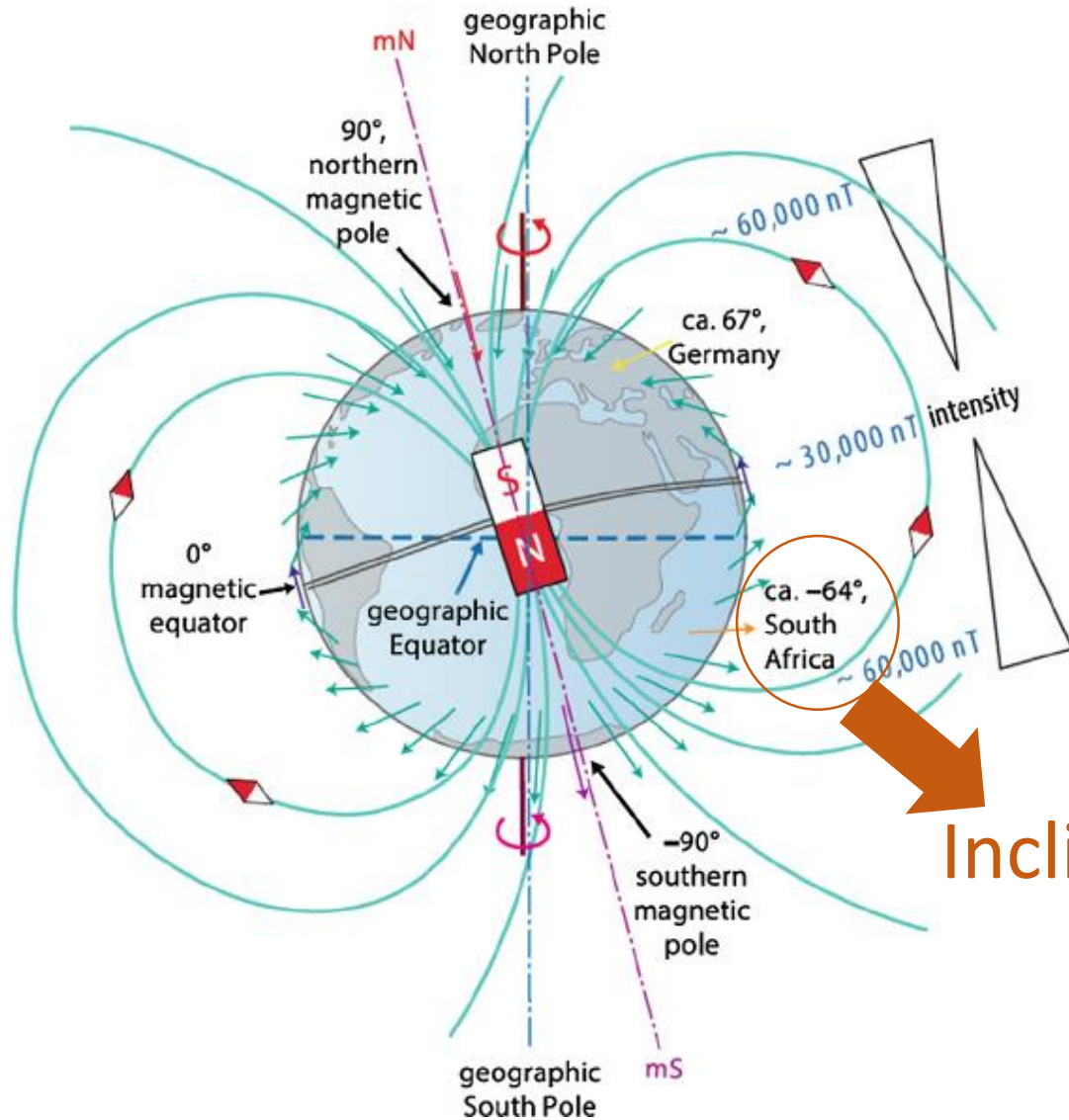
**Fenómenos magnéticos** → 2600 años  
Magnetita del Meandro → Magnetita  
(imán permanente natural)



La Tierra se comporta  
como un imán  
1600 – William Gilbert

# Campo Magnético terrestre

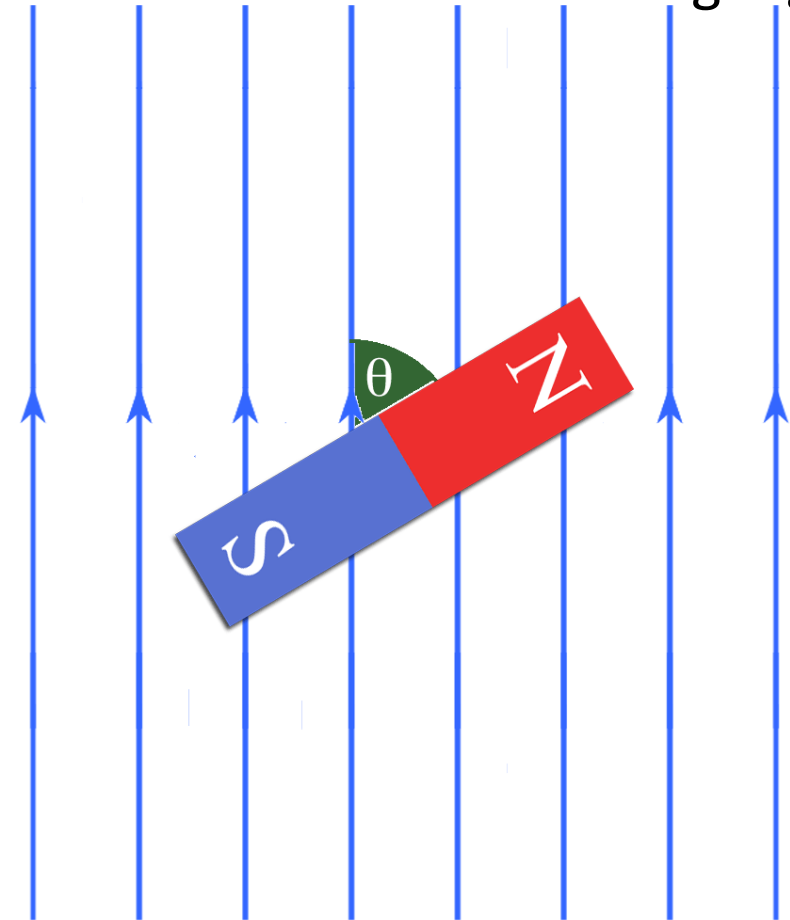
Unidades: 1 Tesla [T] = 10 000 Gauss [G]



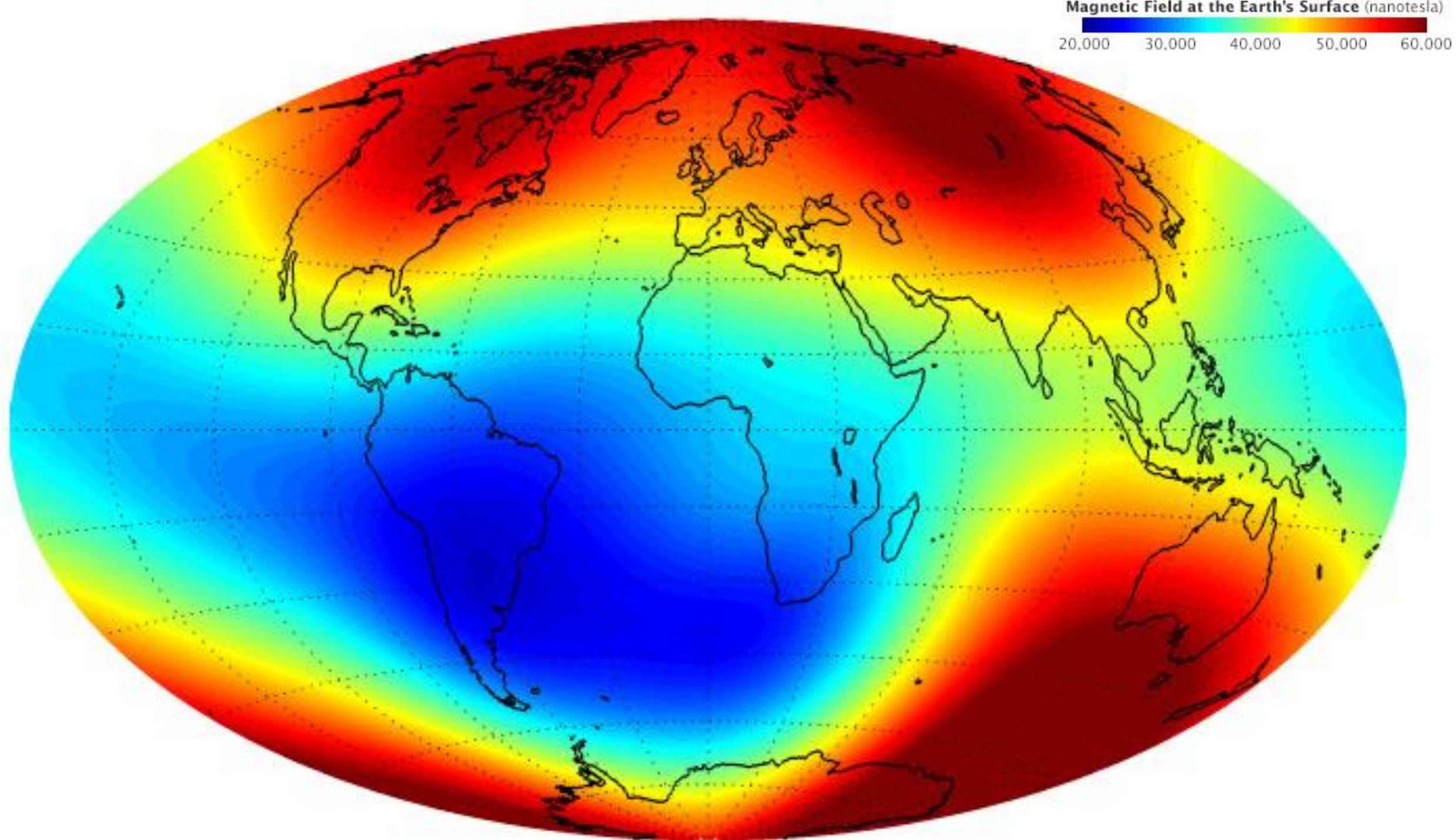
Inclinación

Declinación

N geográfico



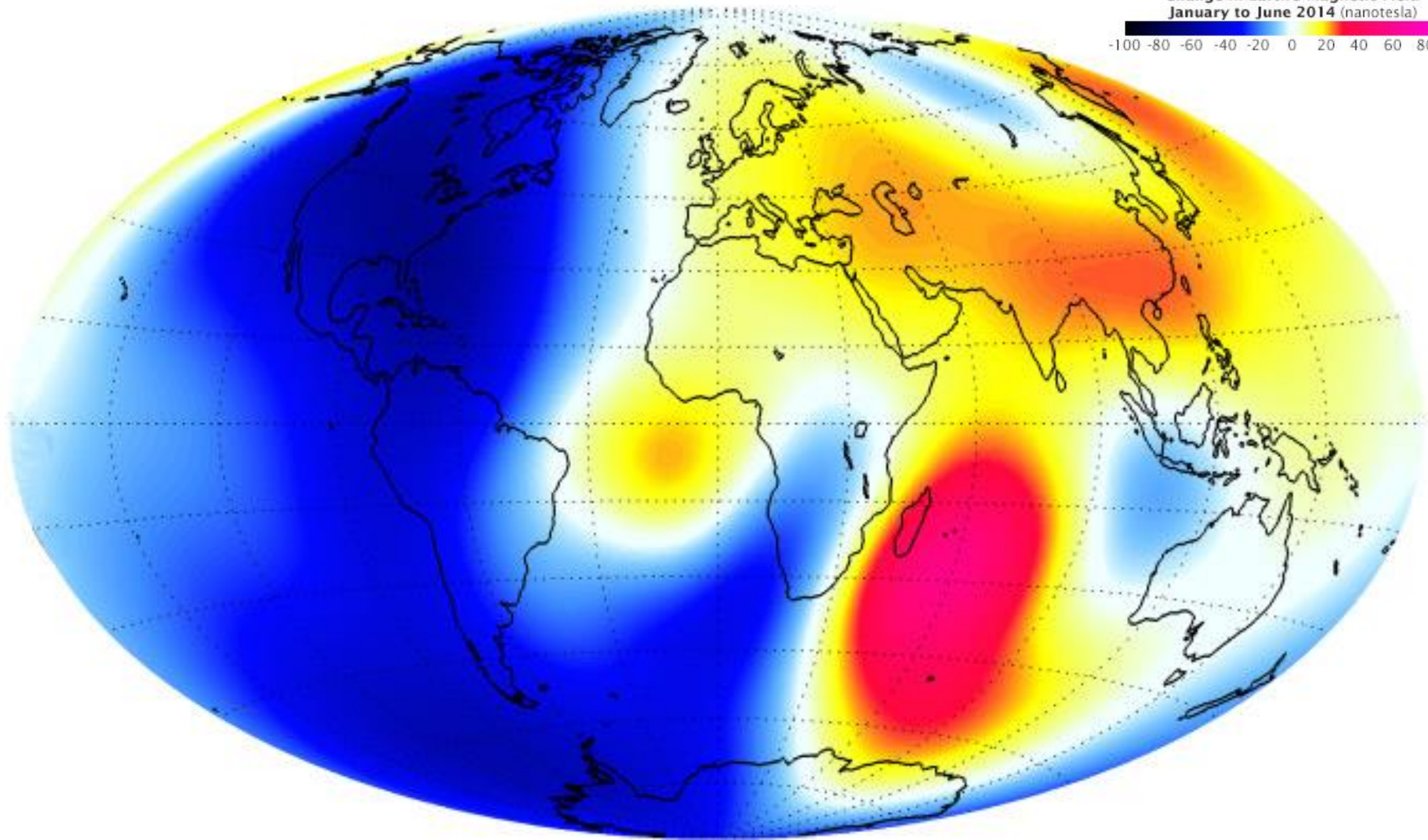






Change in Earth's Magnetic Field  
January to June 2014 (nanotesla)

-100 -80 -60 -40 -20 0 20 40 60 80 100

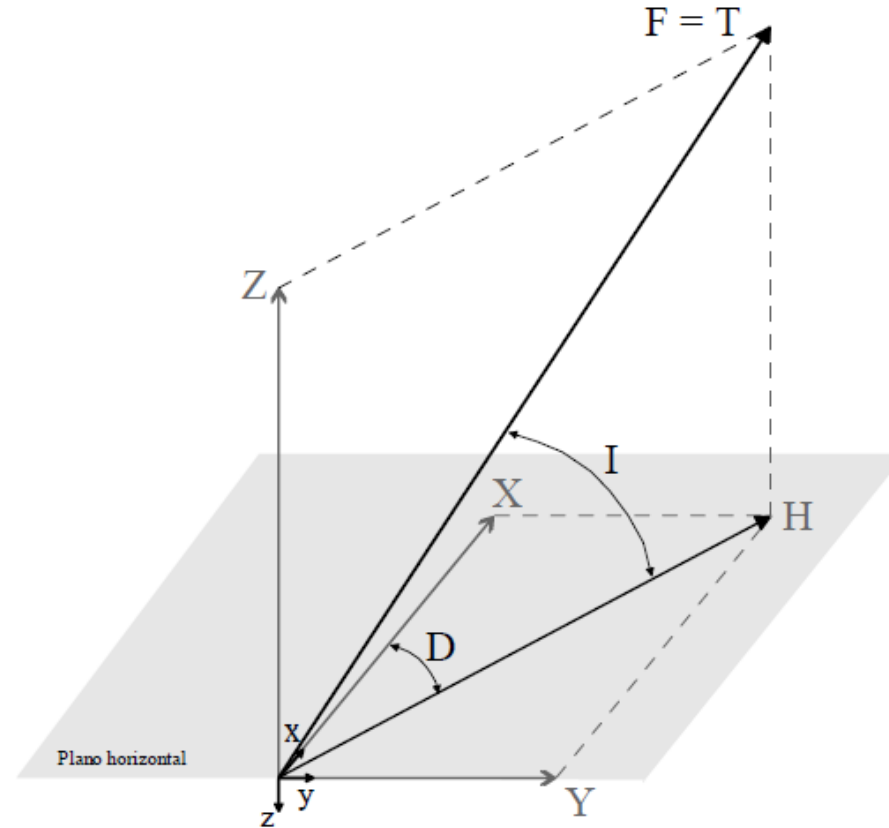


# Campo magnético terrestre

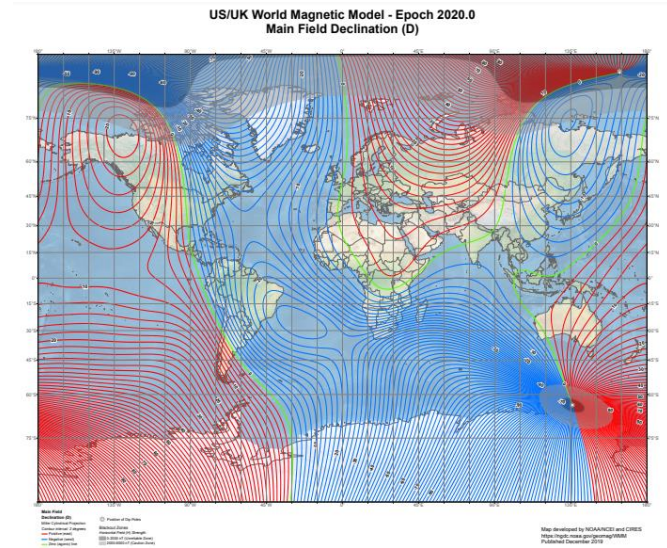
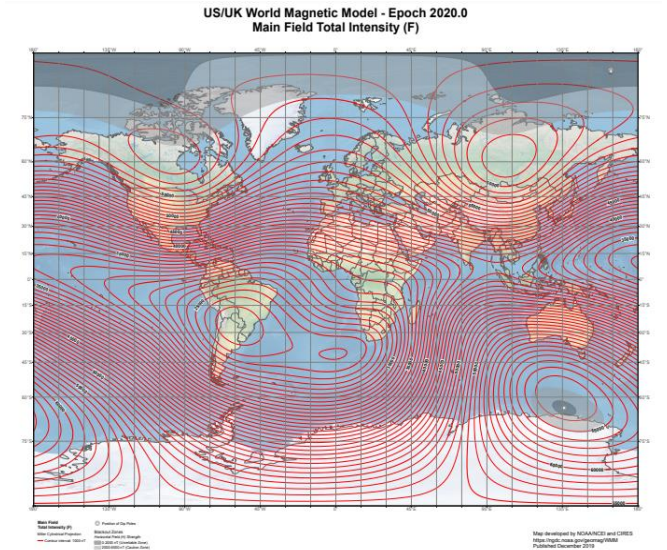
## Representación del campo en coordenadas cartesianas

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

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



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



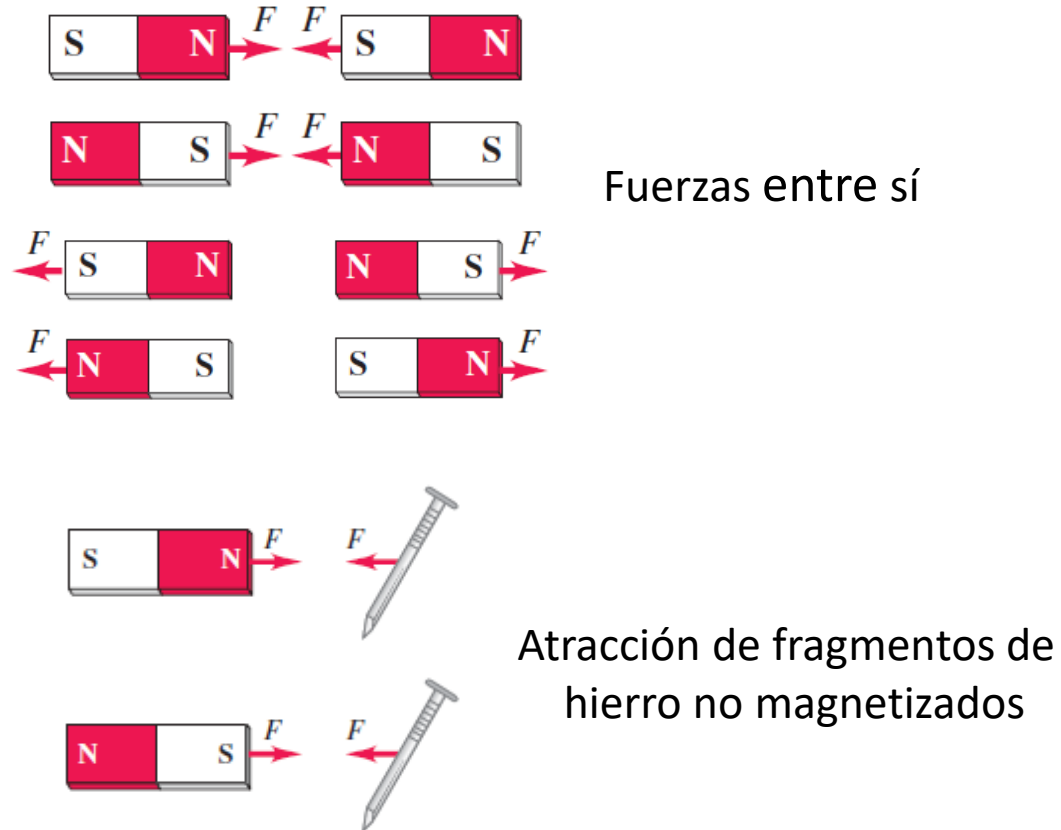
Isógonas – pto. de igual D  
Isóclinas – pto. de igual I

$I=0$  Ecuador magnético



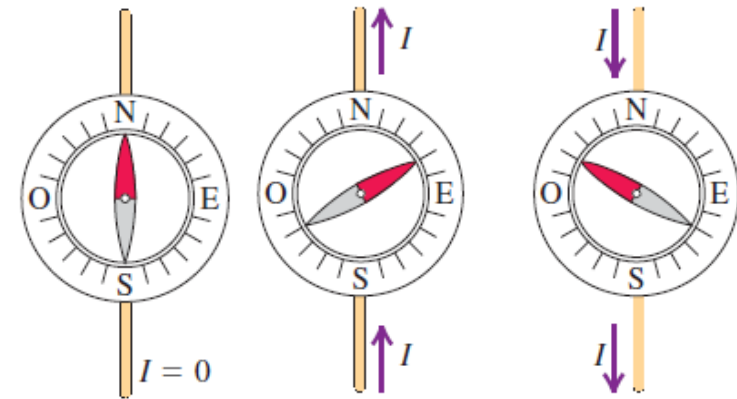
# Campo Magnético

## Imanes Permanentes Gilbert 1600



## Experimento de Oersted 1819

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

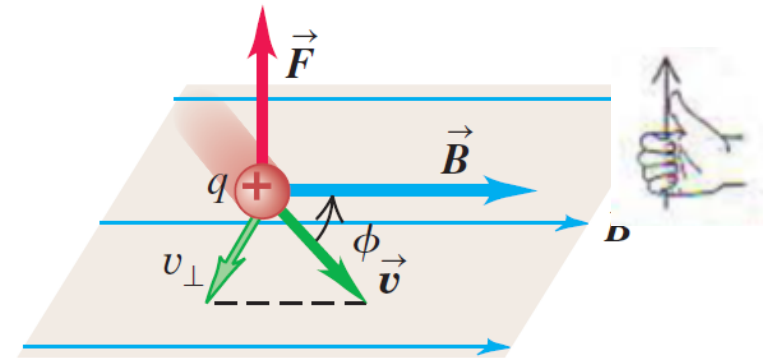


# Fuerza magnética – Lorentz 1880

- 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

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

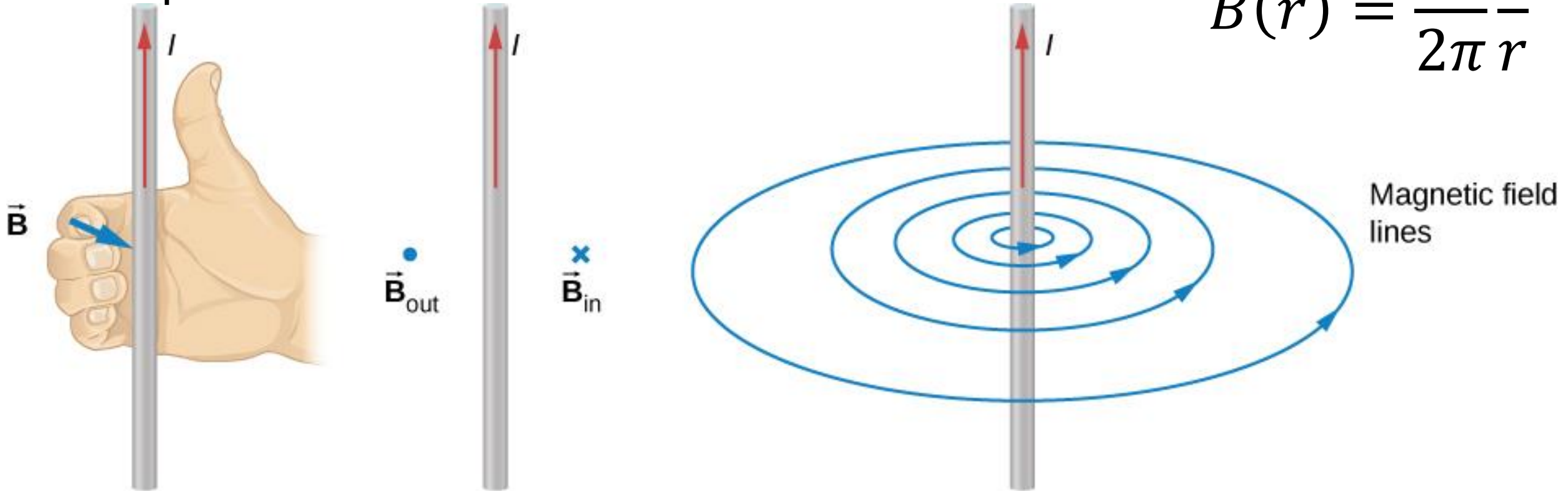
**1 Tesla:** campo magnético que ejerce una fuerza de 1 N (newton) sobre una carga de 1 C (culombio) que se mueve a velocidad de 1 m/s dentro del campo



Fuerza sobre una carga en movimiento

# Campo magnético **producido** por una corriente eléctrica

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



$$\oint_C \vec{B}(\vec{r}) d\vec{\ell} = \oint_C \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{r} \hat{\theta} d\vec{\ell} = \mu_0 I$$



Un campo vectorial queda unívocamente definido por el **flujo** y la **circulación**

**Flujo** a través de cualquier **superficie cerrada**

$$\oiint_{S(V)} \vec{B}(\vec{r}) d\vec{S} = 0$$

**Circulación** a través de cualquier **curva cerrada**

$$\oint_C \vec{B}(\vec{r}) d\vec{\ell} = \mu_0 I$$

**Forma diferencial**

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$



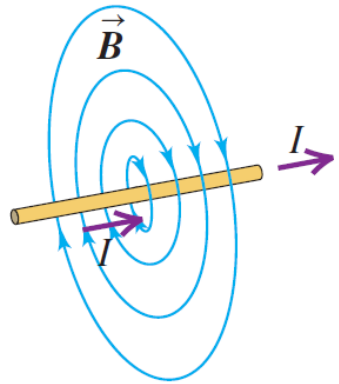
Divergencia del campo  
magnético

Rotor del campo magnético

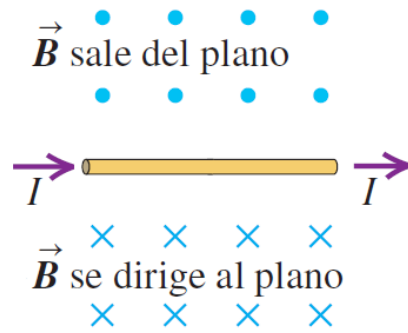


$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J}$$

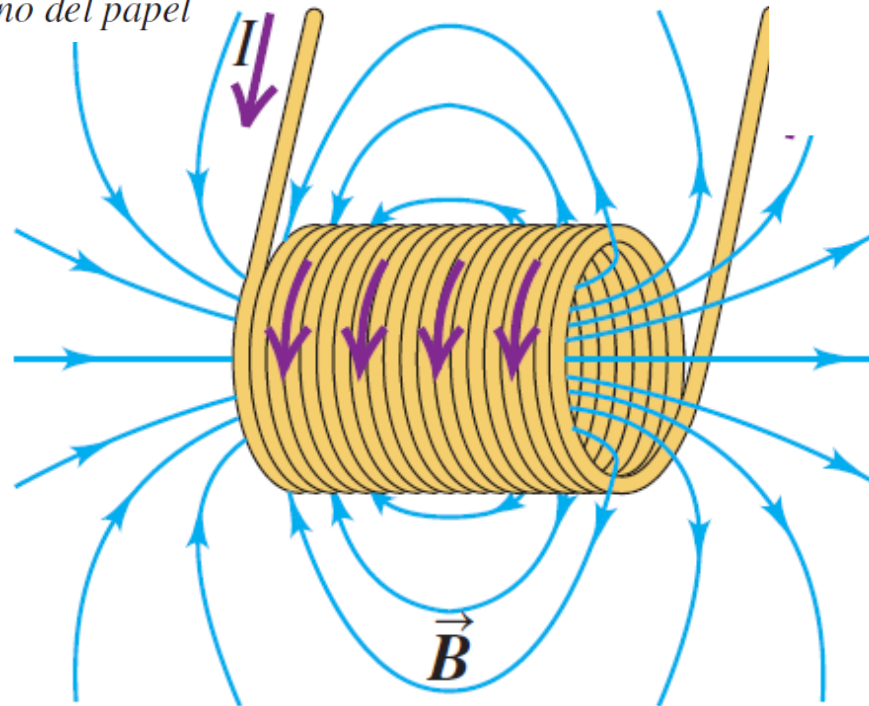
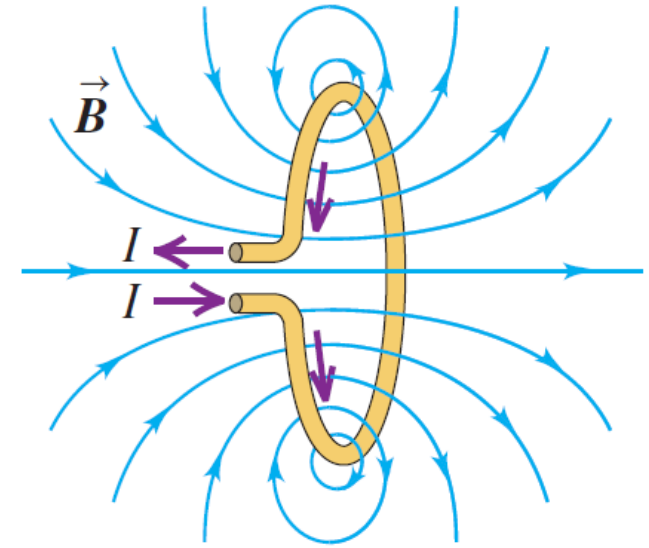
# Generación de campos magnéticos



*Vista en perspectiva*



*El alambre está en el plano del papel*



# Campo magnético en el eje de un solenoide

Radio  $a$  y largo  $L$

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

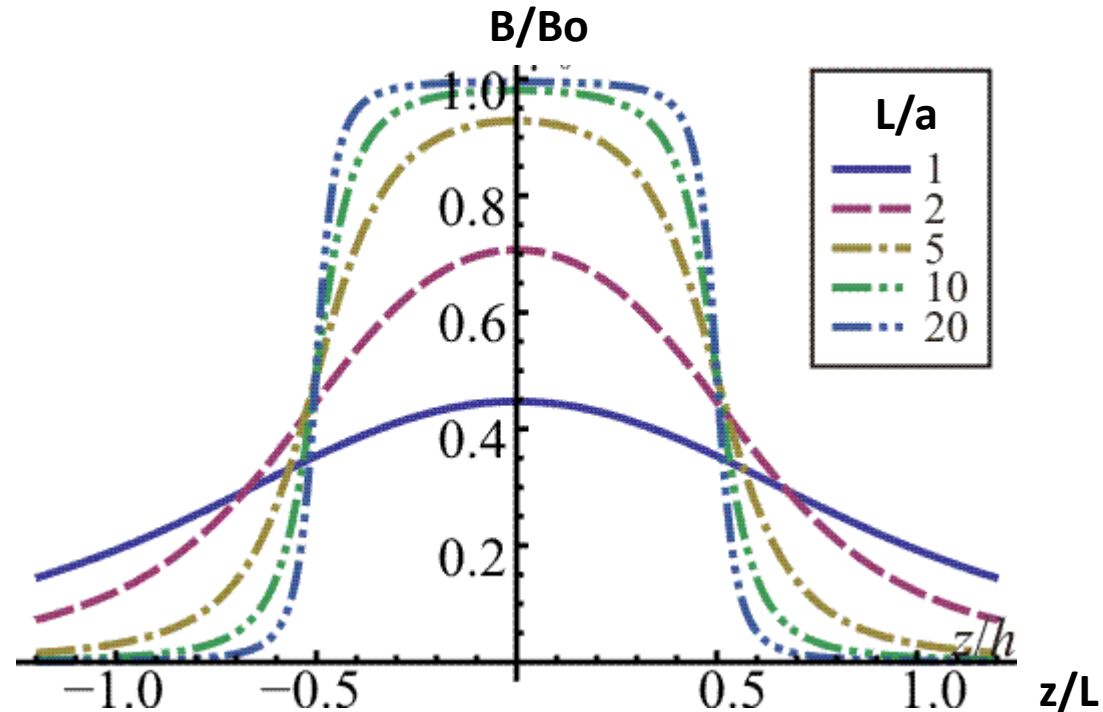
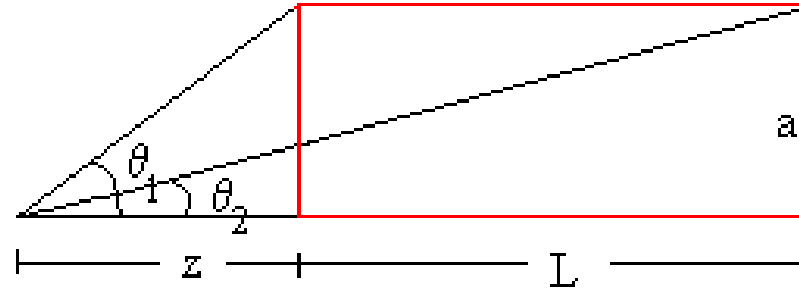
$$\vec{B}(z) = \frac{\mu_0 n I}{2} \left( \frac{z+L}{\sqrt{(z+L)^2 + a^2}} - \frac{z}{\sqrt{z^2 + a^2}} \right) \hat{z}$$

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

# 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]

$5 \times 10^{-5}$

$5 \times 10^{-3}$

0.01 a 1

0.0001 a 0.01

2

18

1.5 a 3

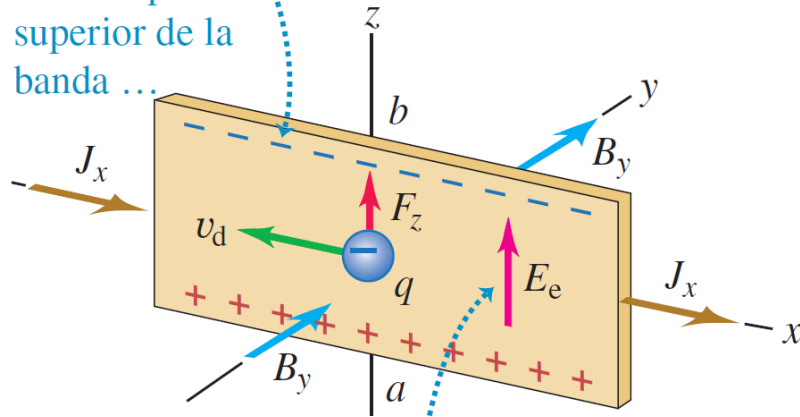




# Efecto Hall

## Conducción de electrones

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



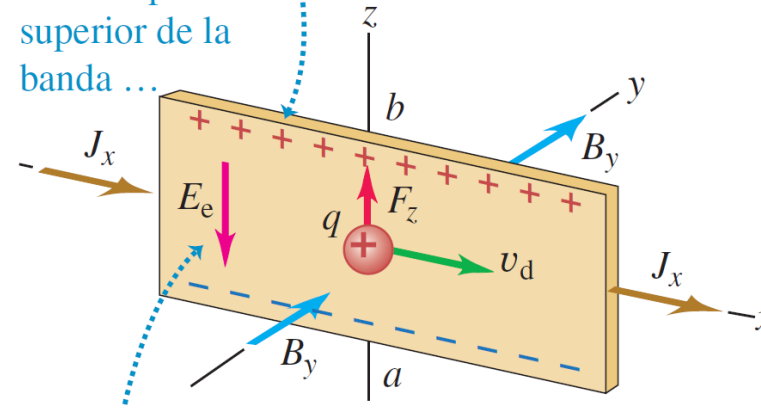
... por lo que el punto *a* tiene un potencial mayor que el punto *b*.

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.

Fuerza magnética siempre hacia arriba

$$F_z = |q|v_d B$$

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

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 | $\pm 0.32 \text{ mT}$ range: 0.0002 mT<br>$\pm 6.4 \text{ mT}$ range: 0.004 mT |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------|

Rango:  $\pm 0,32 \text{ mT}$   
 $\pm 6,4 \text{ mT}$

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

-Software: SensorDAQ

Permite variar:

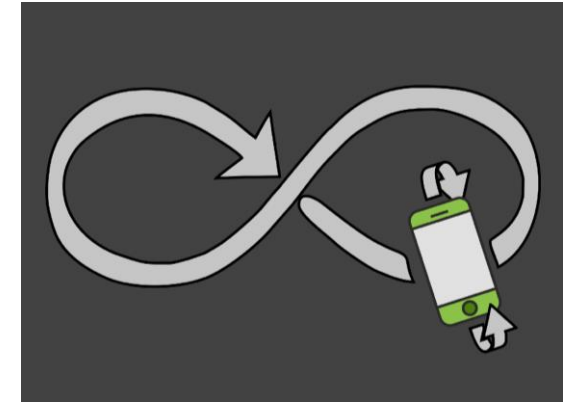
- Tiempo de medición
- Frecuencia de adquisición (Max 10 kHz)

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



# Actividades propuestas

- Con Sonda Hall y con el celular (**comparar resultados**)

Determinar el norte magnético

Medir el campo magnético terrestre (determinar el campo paralelo al piso y el campo perpendicular al piso)

## Con SONDA HALL

- Medir el campo magnético generado por un solenoide sobre el eje en el interior del solenoide (corriente máxima para el solenoide: 500 mA). *Opcional: completar con mediciones en el exterior*

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

Proponer modelos para ajustar los resultados.

¿Qué magnitudes conviene graficar?

# Inducción electromagnética

# Ley de Faraday

Flujo magnético a través  
de una superficie

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

$$\Phi_B = \iint_S \vec{B} \, d\vec{s}$$

Fuerza electromotriz inducida

# Ley de Lenz

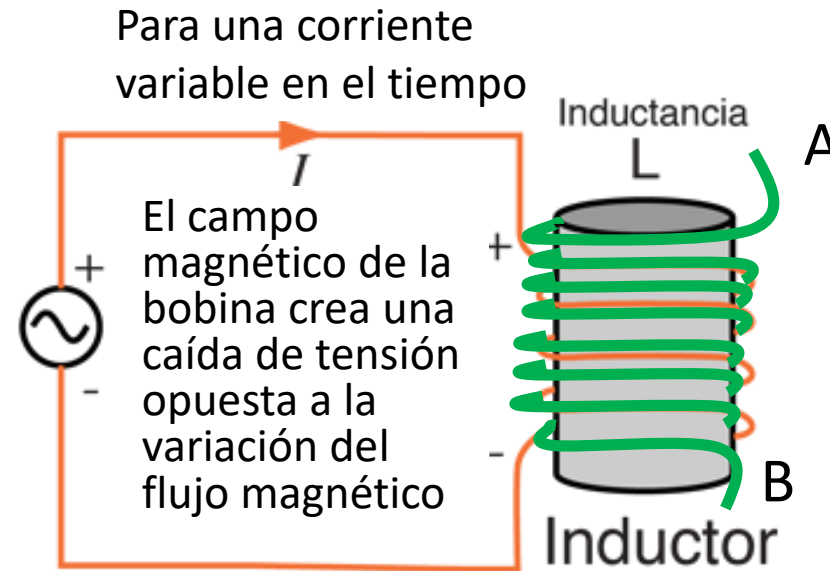
La ***fem*** inducida produce una corriente cuyo campo magnético se opone siempre a variaciones del campo existente.

# Acoplamiento inductivo

## Ley de Faraday

$$\varepsilon = - \frac{d\phi_1}{dt}$$

$$\varepsilon = -N_1 A_1 \frac{dB}{dt} = -L_1 \frac{dI}{dt}$$



Agregamos una bobina concéntrica de  $N_2$  espiras

¿Cuánto vale  $V_{AB}$  si  $I = \text{cte.}$ ?  $\longrightarrow V_{AB} = 0$

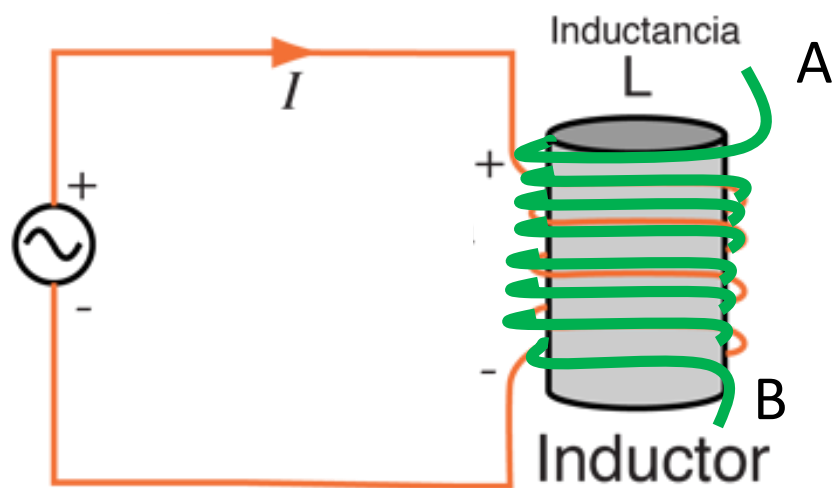
¿Cuánto vale  $V_{AB}$  si  $I$  varía con el tiempo?  $\longrightarrow V_{AB} = - \frac{d\phi_{21}}{dt} =$

$$A_2 \leq A_1$$

$$V_{AB} = -N_2 A_2 \frac{dB}{dt} = -M \frac{dI}{dt}$$



# Acoplamiento inductivo



$$L_1 = \frac{\mu N_1^2 A}{h}$$

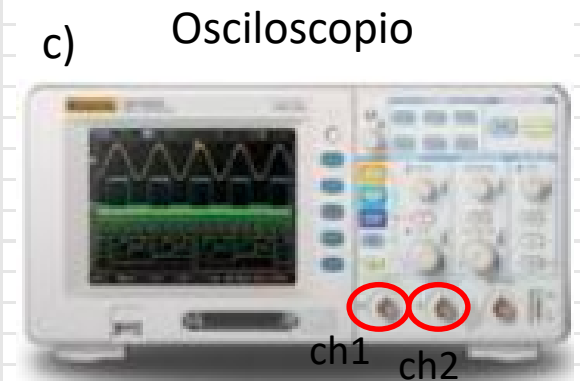
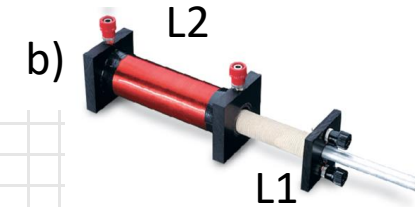
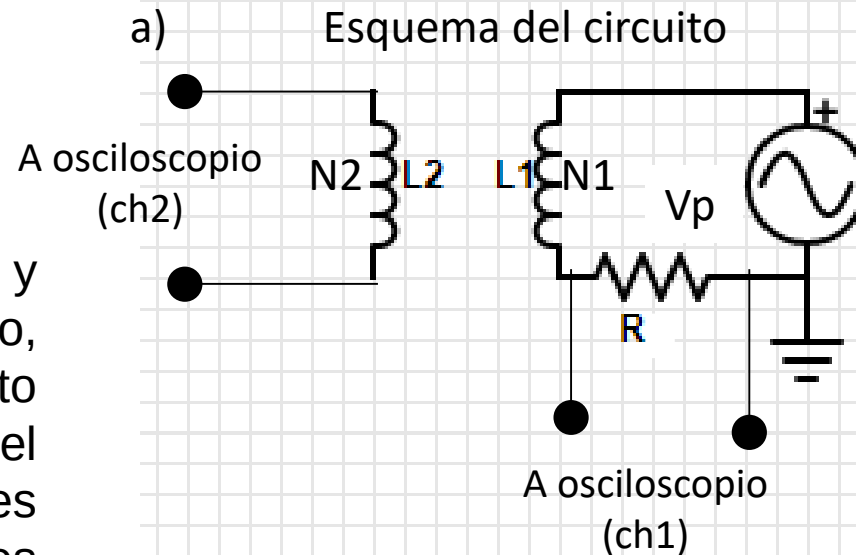
$$L_2 = \frac{\mu N_2^2 A}{h}$$

$$M = \frac{\mu N_1 N_2 A}{h} = \sqrt{L_1 L_2}$$

# Actividad: Medición de inducción entre dos bobinas

Bobina L1 con un número N1 de espiras (circuito **primario**) conectada a un generador de funciones a través de una resistencia R ( $50 \Omega < R < 500 \Omega$ ).

R limita la corriente del circuito y permite medir el  $\Delta V_R$  y por lo tanto, la I que circula por el circuito primario (con el canal 1 del osciloscopio). Otra opción es conectar el generador de funciones al canal 1 con una "T".



Luego, se tiene una segunda bobina L2, con N2 espiras (circuito **secundario**) conectada al canal 2 del osciloscopio. Las bobinas son concéntricas (L1 dentro de L2)

# Actividad: Medición de inducción entre dos bobinas

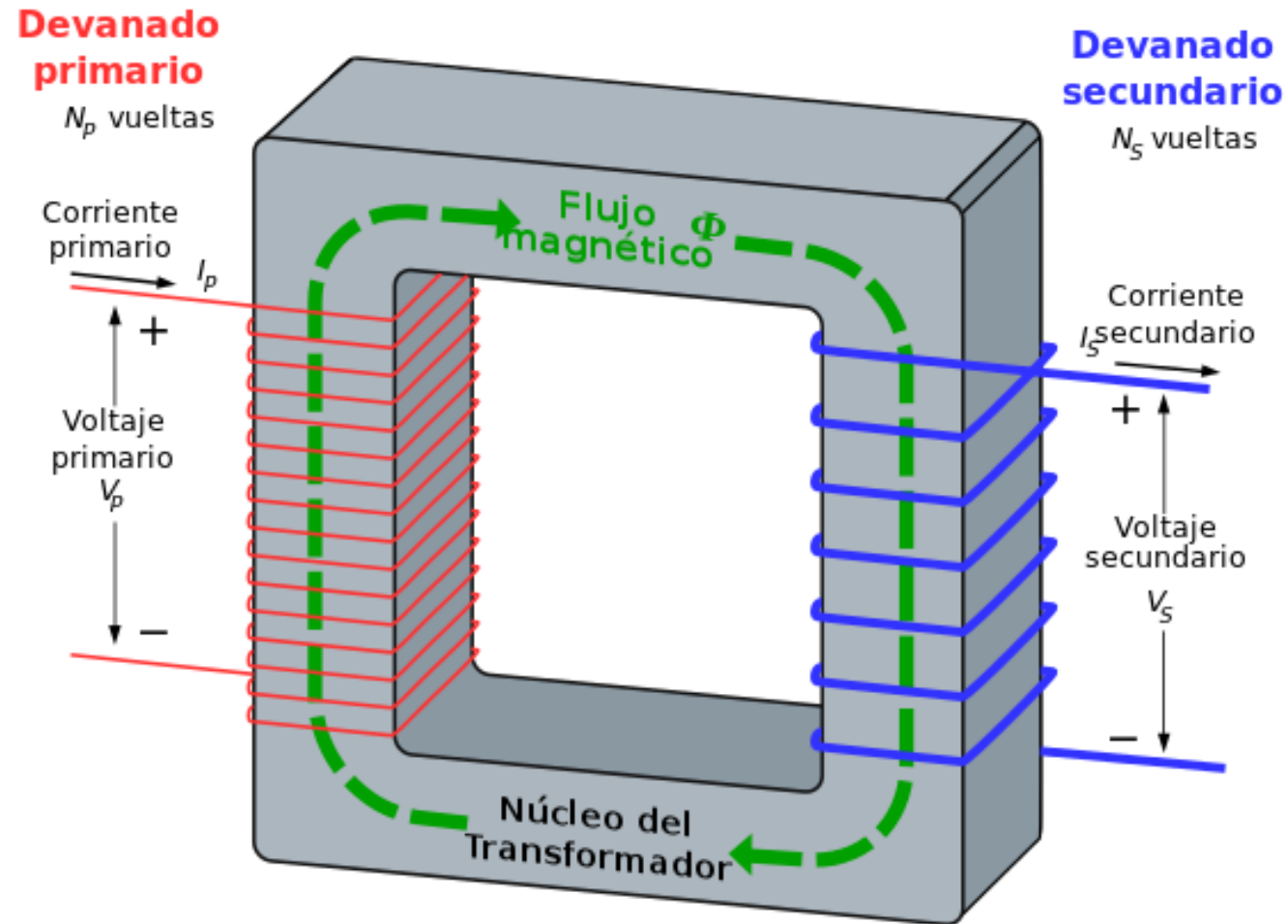
## Protocolo

- Se coloca el primario dentro del secundario, de modo que el campo magnético del primario entre dentro el secundario y se aplica una tensión sinusoidal
- Variar  $\omega$  y medir  $V_s$  con el osciloscopio. Graficar  $V_s$  vs  $\omega$  ¿Cómo se puede explicar el comportamiento observado entre las magnitudes?
- Variar  $V_p$  y medir  $V_s$  con el osciloscopio. Graficar  $V_s$  vs  $V_p$  ¿Qué información se puede obtener del ajuste de la curva?
- Se repite la experiencia colocando un **núcleo de hierro** en el interior de las bobinas.
- Volver a graficar  $V_p$  vs  $V_s$  con el núcleo de hierro ¿Qué información se puede obtener del ajuste de la curva? Comparar con los resultados del punto anterior (Se pueden graficar ambas curvas en un mismo gráfico).
- Pregunta: ¿Qué pasa si se aplica una señal triangular? ¿Por qué?

## Observaciones

1. Con el generador se mide  $f$  (ciclos por unidad de tiempo) pero se pide graficar en función de  $\omega$ .
2. Las tierras del generador de funciones y del osciloscopio deben coincidir
3. Las bobinas reales tienen resistencias internas intrínsecas (dado por el bobinado de los cables), por lo que se debe **medir a priori con un multímetro** y tener en cuenta en el circuito.

# Transformadores:



# Transformadores

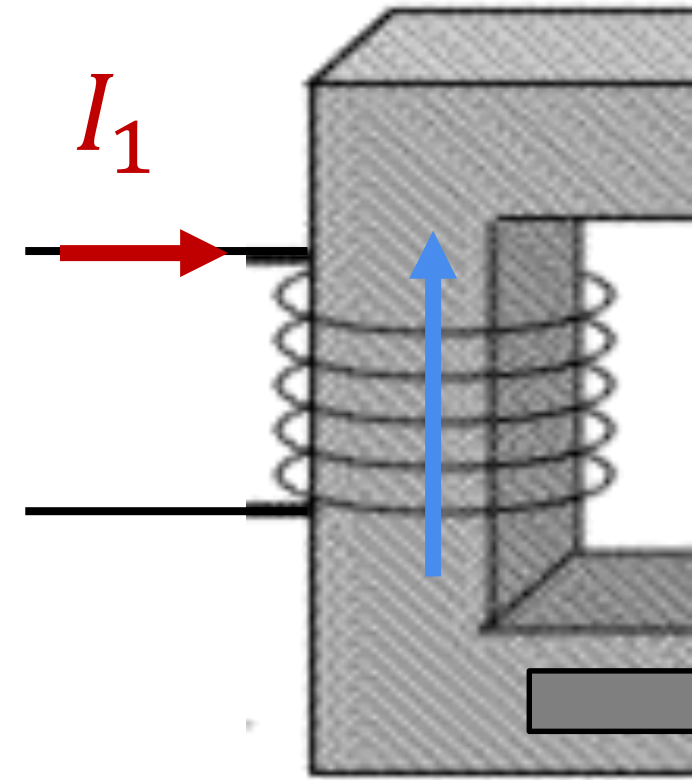
Corriente

Campo Magnético (B)

$$fem_1 = - \frac{d(B S N_1)}{dt}$$

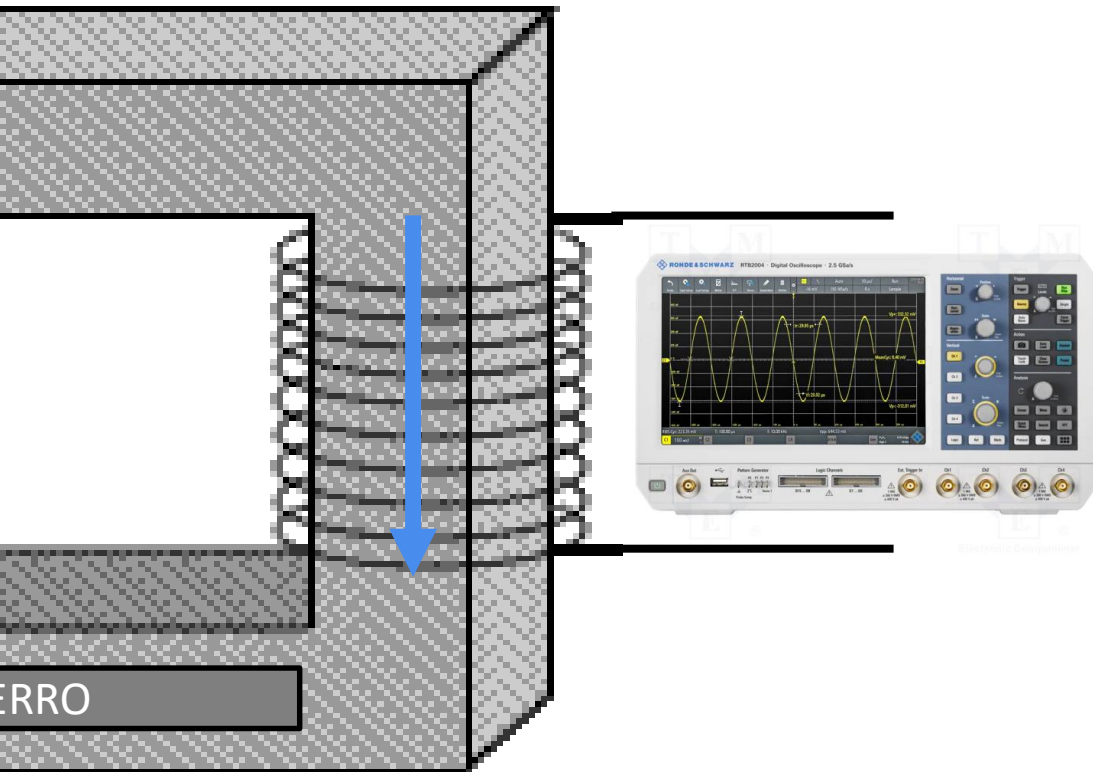
$$= -S N_1 \frac{dB}{dt}$$

Fuente  
de Corriente  
Alterna  
(Amplitud,  
Frecuencia)



Primario  
(5 vueltas)

# Transformadores

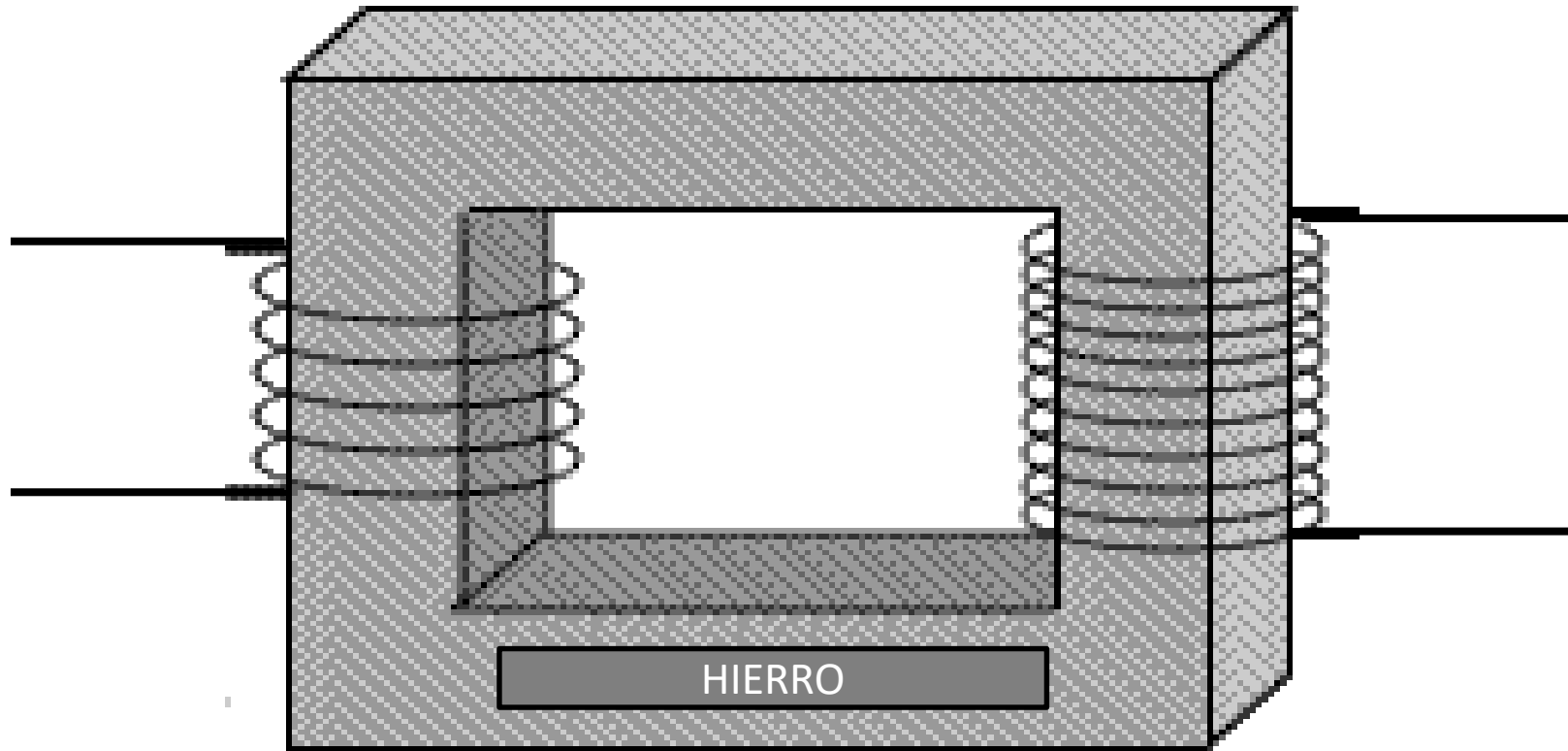


Secundario  
(10 vueltas)

$$fem_2 = -\frac{d\Phi_2}{dt}$$
$$= -S N_2 \frac{dB}{dt}$$

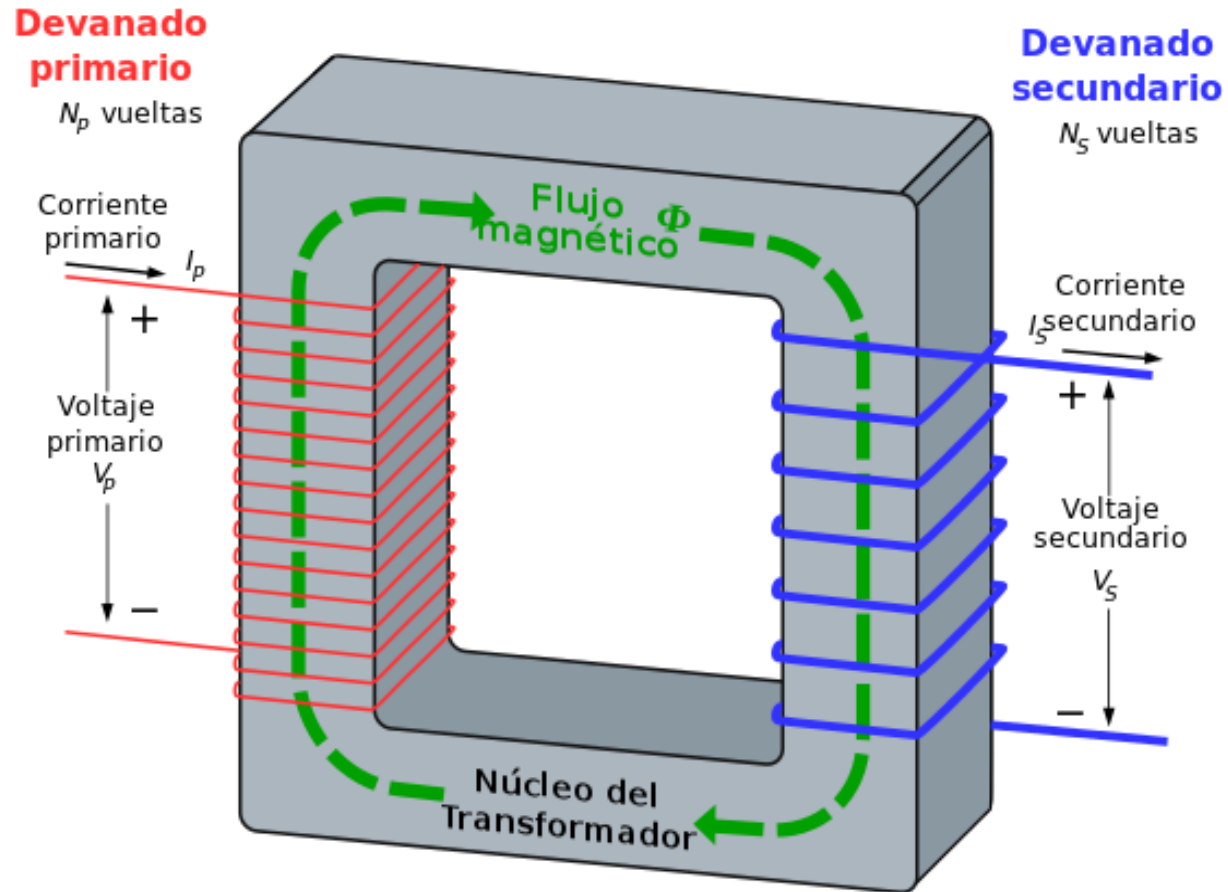


# Transformadores



$$\frac{fem_2}{fem_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

# Transformadores:



$$L_{p,s} = \mu N_{p,s}^2 \frac{A}{L} \quad n = \frac{N_s}{N_p}$$

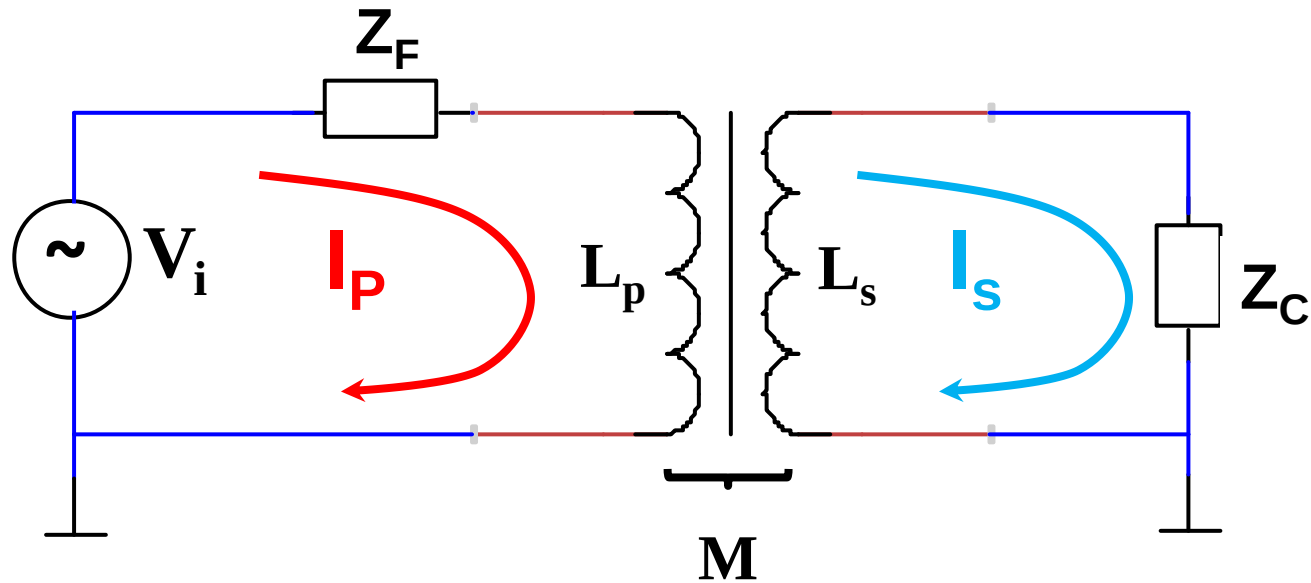
Transformador ideal

$$M = \sqrt{L_p L_s}$$

Transformador NO ideal

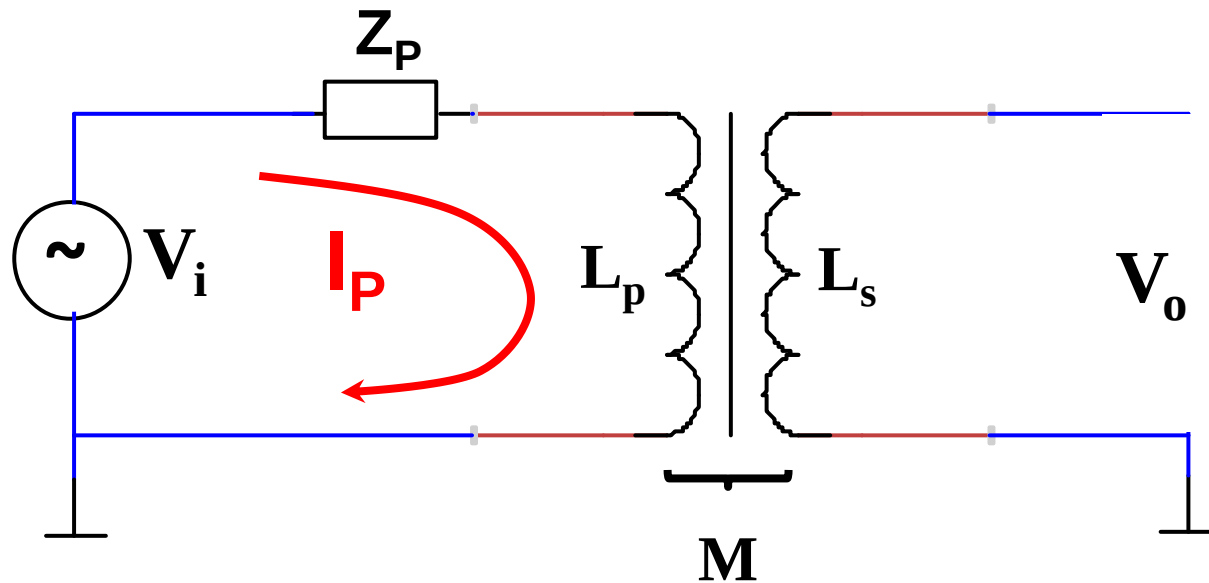
$$M = k \sqrt{L_p L_s} \quad k < 1$$

# Transformadores:



$$\begin{cases} V_i = I_p (Z_F + j\omega L_p) \pm I_s j\omega M \\ 0 = \pm I_p j\omega M + I_s (Z_C + j\omega L_s) \end{cases}$$

# Transformadores:



$$Z_C = \infty \longrightarrow I_s = 0$$

$$V_i = I_p (R_p + j\omega L_p) \quad Z_p = R_p$$

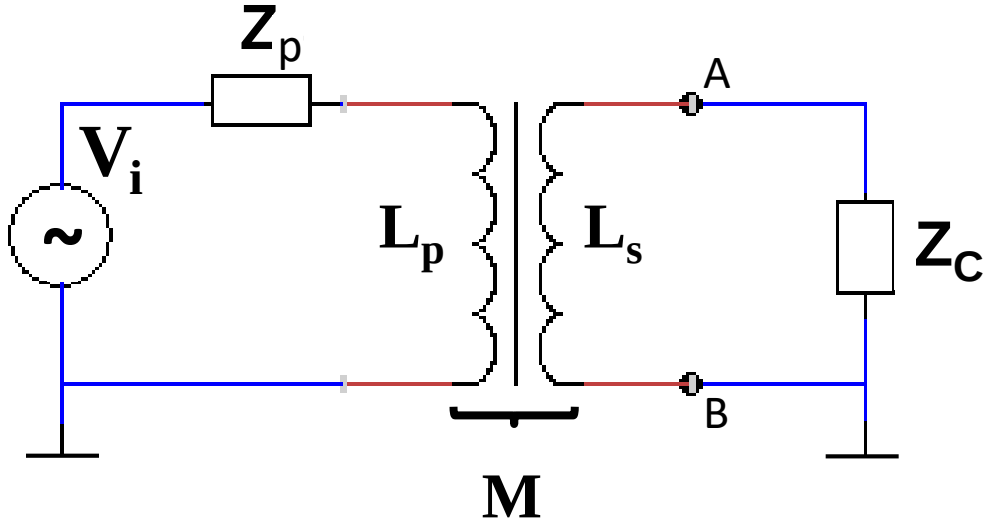
$$V_o = \pm I_p j\omega M$$

$$\begin{cases} V_i = I_p (Z_p + j\omega L_p) \pm I_s j\omega M \\ 0 = \pm I_p j\omega M + I_s (Z_C + j\omega L_s) \end{cases}$$

Transformador ideal  $R_p \ll \omega L_p$

$$\left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \frac{M}{L_p} = \sqrt{\frac{L_s}{L_p}} = n = \frac{N_s}{N_p} \quad \frac{L_s}{L_p} = n^2$$

# Transformadores:



$$Z_C = 0 \quad \longrightarrow \quad I_s = I_{cc}$$

$$V_i = I_p (R_p + j\omega L_p) \mp jI_s \omega M$$

$$0 = \pm I_p j\omega M + jI_s \omega L_s$$

$$\begin{cases} V_i = I_p (Z_p + j\omega L_p) \pm I_s j\omega M \\ 0 = \pm I_p j\omega M + I_s (Z_C + j\omega L_s) \end{cases}$$

$$\left| \frac{I_s}{I_p} \right| = \frac{M}{L_s} = \sqrt{\frac{L_p}{L_s}} = \frac{1}{n} = \frac{N_p}{N_s}$$

# Actividad: Caracterización de un transformador

Armar un circuito *similar* a la sección anterior, con un núcleo de hierro y donde el primario tenga un número de espiras mayor que el del secundario ( $N_p > N_s$ ). Emplear una frecuencia  $f$  inferior a 500 Hz

Variar  $N_s$  cambiando las bobinas del circuito secundario

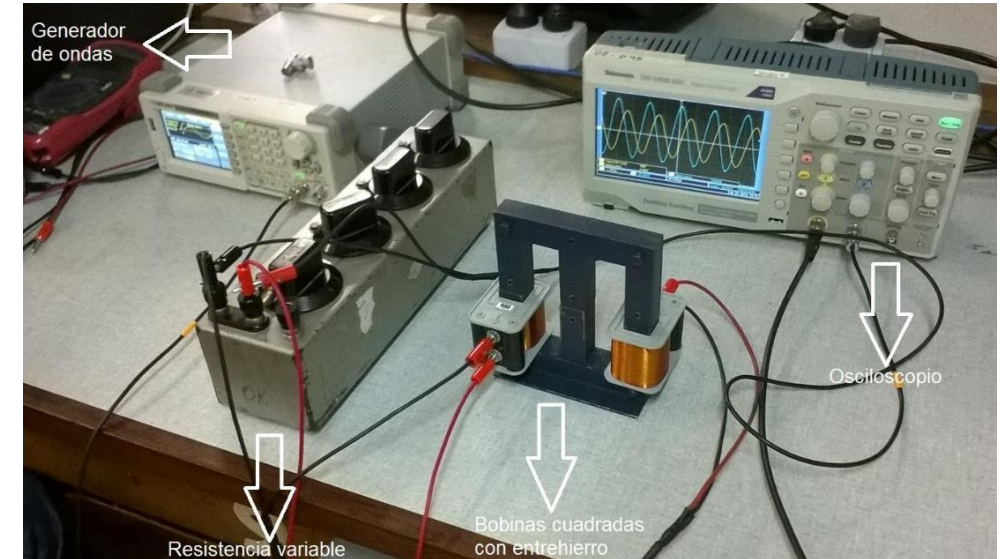
Graficar y realizar un ajuste de  $V_{\text{secundario}} / V_{\text{primario}}$  vs  $RATIO = N_{\text{secundario}} / N_{\text{primario}}$ .

¿Qué se puede analizar del valor obtenido en la pendiente?

**Observación:** Un valor de RATIO de 1 significa que la cantidad de espiras  $N_{\text{primario}} = N_{\text{secundario}}$ , mientras que un ratio de 0.1 significa que  $N_{\text{primario}} = 10 N_{\text{secundario}}$ .

Para un valor fijo de  $N_{\text{primario}}$  y  $N_{\text{secundario}}$  determinar las autoinductancias de primario y secundario y la inductancia mutua.

**Pregunta:** ¿Qué pasa si alteramos el entrehierro?



# Bloque 3 # Material de lectura

## Apuntes de Labo

Campo magnético sobre el eje de dos bobinas  
Campo magnético de dos solenoides finitos

## Manuales y ...

Manual Sonda Hall  
Manuales de los equipos a usar

[https://drive.google.com/drive/folders/1sqipPSqsQYbopn-rxhbmRB6uS\\_pJ0wuA](https://drive.google.com/drive/folders/1sqipPSqsQYbopn-rxhbmRB6uS_pJ0wuA)

*.... y su carpeta / libro de Física 3*



# **Bloque 3** # Propuesta de trabajo

## **Grupos 1 al 6**

**6/5** Medición de campo magnético

**13/5** Inducción electromagnética

## **Grupos 7 al 12**

**6/5** Inducción electromagnética

**13/5** Medición de campo magnético