



# Generación, Control y Medición de Campos Magnéticos

*Laboratorio 4 - 2do Cuatrimestre 2022 - FCEyN - Universidad de Buenos Aires*

## Grupo 1:

- Hain Florencia
- Medina Franco
- Urueña Santiago

# Campos Magneticos Cuasiestacionarios:

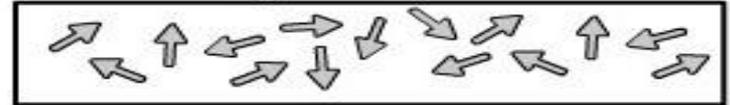
- En esta aproximación el campo magnético está determinado por la distribución de corrientes en el espacio.
- Definimos  $H(r)$  al campo magnético aplicado que es el generado por dicha distribución de corrientes. (Se mide en A/m)
- Llamamos  $B(r)$  al campo magnético total que se produce dentro del material y depende de las corrientes inducidas y de la geometría del experimento. (Se mide en Tesla)
- El cociente entre  $H(r)$  y  $B(r)$  se lo simboliza con la letra  $\mu$  y se lo llama permeabilidad magnética propia del material.

# Imanes Permanentes:

- Son aleaciones de: Cobre, Cobalto, Azufre, Níquel, Hierro, Aluminio y Titanio.
- En su fabricación se alinean los dipolos magnéticos a nivel microscópico aplicando altos campos magnéticos externos.
- Son capaces de conservar su magnetización por largos periodos de tiempo aun con variaciones de temperatura o en presencia de otros campos y sin necesidad de corrientes externas.
- No es posible regular el valor de campo generado por el imán.



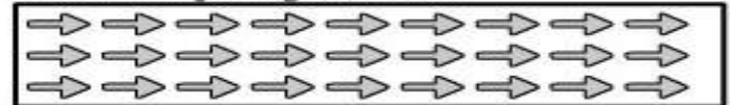
**Hierro sin magnetizar**



**Hierro ligeramente magnetizado**

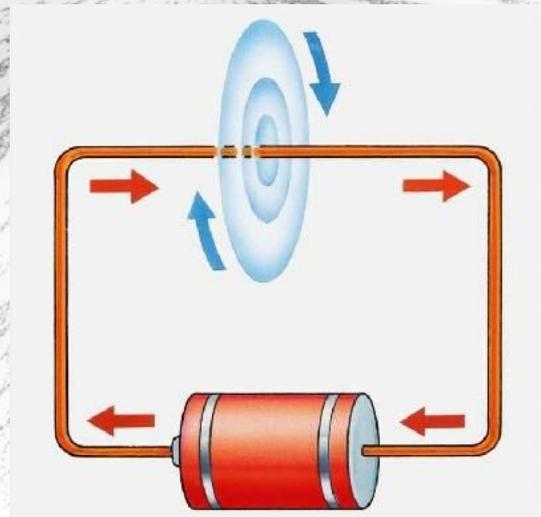
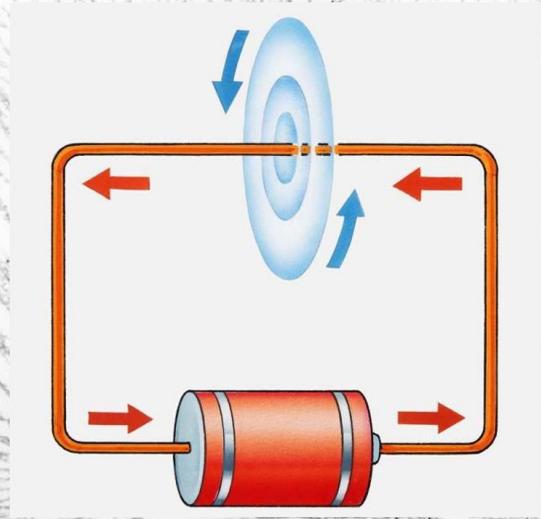


**Hierro muy magnetizado**



# Electroimanes y Bobinas:

- Permiten generar campos magnéticos homogéneos cuya intensidad es fácil de controlar.
- Los campos magnéticos se generan a partir de cargas en movimiento a través de un conductor (corriente eléctrica).
- Por lo general se denomina *bobina* al enrollado de conductor que no posee núcleo y solo hay aire o vacío.
- Si, en cambio, posee núcleo de hierro se lo denomina *electroimán*.



# Bobinas Conductoras:

- Es un componente capaz de almacenar energía en forma de campo magnético cuando se le hace circular una corriente eléctrica.
- Se utilizan para generar campos magnéticos de baja intensidad.
- Las bobinas por lo general son solenoides o pares de Helmholtz.
- Debido al Efecto Joule se genera un auto-calentamiento lo que limita la intensidad del campo.



*(Bobina par de Helmholtz)*



*(Bobina Solenoide)*

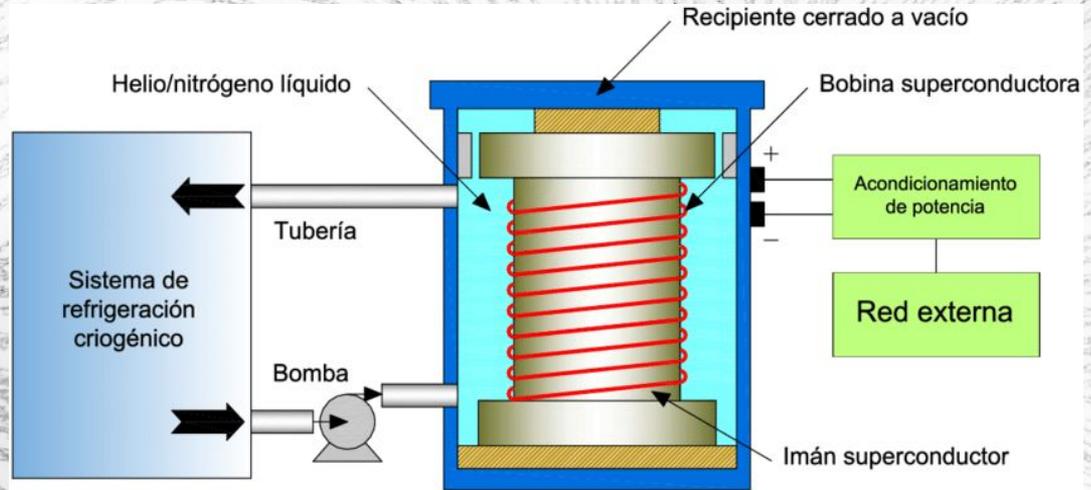
# Electroimanes:

- **Suelen ser toroides bobinados alrededor de un núcleo de hierro que concentra el campo magnético.**
- **Pueden generar campos de hasta 1,5 Tesla limitados por la saturación del núcleo ferromagnético.**
- **Funcionan con pocos Volts pero muchos Amperes por lo se los diseña con baja resistencia y se los suele refrigerar con agua.**
- **Tienen numerosas aplicaciones en el campo de la electrónica y en la industria.**



# Bobinas superconductoras

- Solenoides contruidos con alambres superconductores.
- Los más utilizados actualmente se bobinan con alambres de aleaciones metálicas, que son superconductores a temperaturas por debajo de los 20K.
- Son utilizadas para generar altos campos, que pueden llegar hasta 20 T.
- Además de en numerosos experimentos, se aplican en tomógrafos y otros equipos que requieren altos campos.

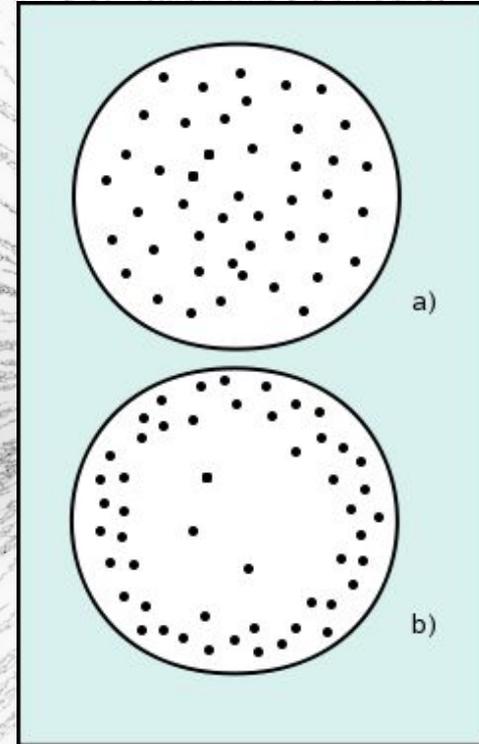


# Bobinas para campos pulsados ultra-altos

- Los campos más altos se generan con bobinas hechas con conductores, con inductancias bajas que permiten la circulación de pulsos cortos de corrientes muy altas.
- Permiten realizar una amplia gama de experimentos en campos hasta 100 T que duran algunos milisegundos.
- Se realizan en laboratorios sofisticados diseñados específicamente para este fin. En el extremo, se realizan experimentos “one-shot” con campos magnéticos aún mayores, en los cuales el pulso de corriente y su consecuente disipación provocan la destrucción de parte del dispositivo experimental.

# Apantallamiento del campo magnético

- Para poder controlar campos magnéticos bajos, es necesario apantallar o anular los campos magnéticos presentes en el laboratorio.
- Los campos alternos son fáciles de apantallar porque se puede rodear el experimento con una carcasa metálica o jaula de Faraday y aprovechar el efecto pelicular que produce.
- El apantallamiento del campo magnético continuo o de muy baja frecuencia requiere una disposición experimental más elaborada.



Efecto Pelicular

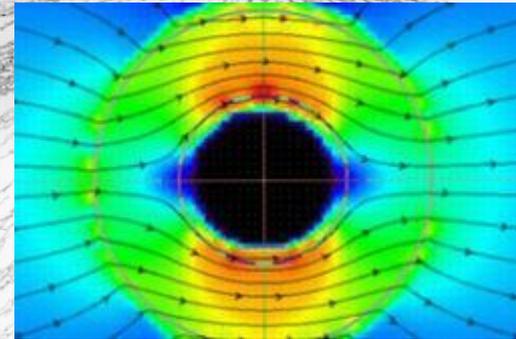
## Jaulas de mu-metal

- Son aleaciones metálicas de permeabilidad muy alta que desvían las líneas de campo magnético hacia la pantalla.
- Para maximizar su eficacia, se forman jaulas cilíndricas.
- Se saturan a los 0,76 T.



## Compensación

Mediante un conjunto de bobinas externas se aplica un campo que anula el existente. Este método requiere poder medir el campo con la precisión deseada.



# Mediciones de campo magnético

Para realizar una medición es necesario tener un principio físico cuantificable

- Un dipolo magnético sufre un torque expuesto a un  $B_{\text{ext}}$
  - Un campo magnético variable produce una F.E.M.
  - Una carga en movimiento en un campo magnético sufre una fuerza
  - Efecto Hall
  - Efecto Josephson (efecto túnel) (superconductores)
  - Cuantización fluxoide
- } SQUID

# 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]

$5 \times 10^{-5}$

$5 \times 10^{-3}$

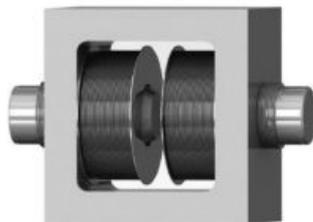
0.01 a 1

0.0001 a 0.01

2

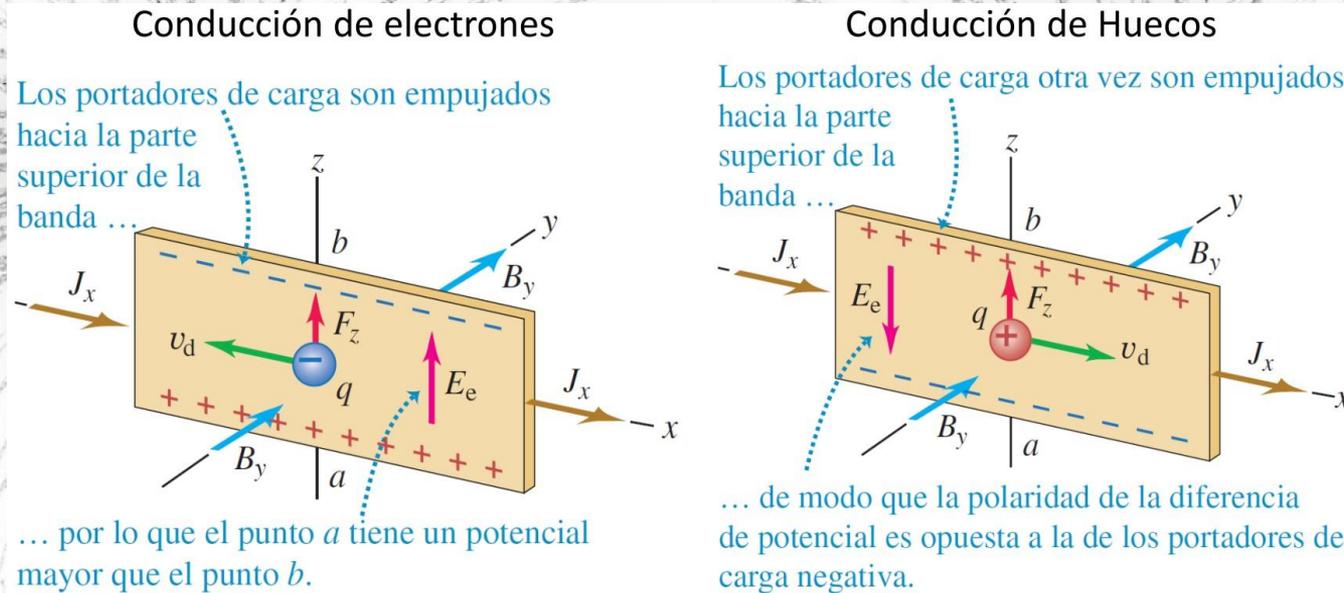
45.5 (DC en 2019)  
100 (pulso en 2012)

1.5 a 3



# Sensores Hall

Su funcionamiento se basa en el efecto Hall, que se produce cuando se pone un campo magnético en presencia de un conductor por el que fluyen cargas eléctricas



Más intenso el campo magnético → Más intenso el campo eléctrico inducido → Mayor diferencia de voltaje

# Sensores Hall

- Aprovechan el efecto Hall para medir el campo magnético
- Dada una corriente fija, esta tensión resulta proporcional a la componente normal del campo magnético.
- Muy usados por su relativa sencillez
- Bajo costo



Sensor efecto Hall SS94A1

$$V(B_{\perp}) = V_0 + A \cdot S \cdot B_{\perp}$$

- Sensibilidad  $S = (3,06 \pm 0,12)\text{mV/G}$
- Ganancia del amplificador  $A$ : 1, 10 y 200 ( $\pm 2\%$ )
- $V_0 \sim 2.5\text{V}$  depende de la temperatura y escala
- Rango  $\pm 500\text{G}$  ( $50\text{mT}$ ) entre 0 y 4 V

Vernier MG-BT



Resolución 10-bits

Rangos:

- $\pm 0.32\text{mT}$  campos magnéticos débiles (Tierra)
- $\pm 6.4\text{mT}$  campos magnéticos fuertes (Imán)

# Métodos inductivos

- Se basan en la ley de Faraday-Lenz

Ley de Faraday-Lenz

$$\varepsilon_{ind} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}\left(\iint_S \bar{B}d\bar{S}\right)$$

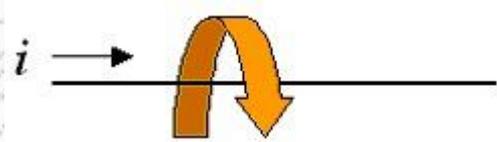


- Elementos de un sensor inductivo básico.
  1. Sensor de campo
  2. Oscilador: restituye el campo
  3. Demodulador: recupera la onda modulada
  4. Disparador Schmitt: circuito comparador
  5. Etapa de salida



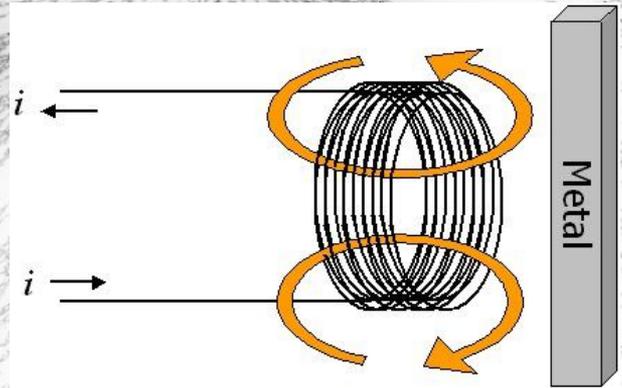
La medición se basa en el cambio de impedancia del circuito interno  
Miden campos variables en el tiempo

# Métodos inductivos



Los sensores de proximidad inductivos contienen un devanado interno. Cuando una corriente circula por el mismo, un campo magnético es generado, que tiene la dirección de las flechas anaranjadas. Cuando un metal es acercado al campo magnético generado por el sensor de proximidad, este es detectado.

La bobina, o devanado, del sensor inductivo induce corrientes de Foucault en el material por detectar. Estas, a su vez, generan un campo magnético que se opone al de la bobina del sensor, causando una reducción en la inductancia de la misma. Esta reducción en la inductancia de la bobina interna del sensor trae aparejado una disminución en la impedancia de esta.



# SQUID

## “Superconducting QUantum Interference Devices”

Tres efectos cuánticos en juego:

- Superconductividad
- Efecto Josephson
- Cuantización del flujo magnético

Corrientes inducidas sumamente pequeñas

Consiste en dos superconductores separados por finas capas aislantes, que forman dos uniones Josephson paralelas. El dispositivo se puede configurar como un magnetómetro para detectar campos magnéticos increíblemente pequeños, suficientemente pequeños para medir campos magnéticos de organismos vivos. Los SQUIDs se han usado para medir campos magnéticos del cerebro del ratón, e investigar si habría suficiente magnetismo para atribuir su capacidad de navegación a una brújula interna.

