

Generación y medición de campos magnéticos

Aplicaciones

- Investigacion
- Industria
- Clinica

Campo aplicado (H) y campo total (B)

La permeabilidad magnética (μ) de un material se define como el cociente entre el campo total que se induce dentro del material (campo B) y el campo magnético aplicado (campo H).

Matemáticamente:

$$B = \mu \cdot H$$

En el sistema c.g.s:

$$B \text{ [Gauss]} = \mu \cdot H \text{ [Oersted]} \quad \mu \text{ adimensional}$$

En vacío

$$1 \text{ G} = 1 \text{ Oe}$$

Ambas unidades son numérica y dimensionalmente iguales, y miden la misma magnitud física, pero tienen distinto nombre. El sentido es distinguir justamente el campo inductor del inducido.

En el Sistema Internacional, B se mide en Tesla y el campo H en A/m (esta última unidad no tiene nombre específico, aunque alguna vez se propuso denominarlo “Lenz”). Ambas magnitudes no son ni numérica, ni dimensionalmente iguales. Por ende, la permeabilidad no puede ser ni unitaria, ni adimensional.

En el Sistema Internacional:

$$B = \mu \cdot H = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$$

donde

μ_0 = permeabilidad magnética del vacío = $4\pi \times 10^{-7}$ H/m = $4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m

μ_r = permeabilidad relativa del medio relativa al vacío, igual a la permeabilidad en el sistema cgs.

En el vacío y con un campo H de 1 Oe = 79,557 A/m:

$$B = 1 \text{ Gauss} = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m} \times 1 \times 79,557 \text{ A/m} = 1 \times 10^{-4} \text{ Wb/m}^2 \\ = 10^{-4} \text{ Tesla}$$

De donde se deduce que:

$$1 \text{ Gauss} = 10^{-4} \text{ T}$$

ó

$$1 \text{ T} = 10^4 \text{ Gauss}$$

Campo inducido (H)	Campo Total (B)
<p data-bbox="150 678 956 878">Diseño del experimento: parametro bajo control del operador</p>	<p data-bbox="1014 406 1748 549">Corrientes inducidas Condiciones de contorno muestra- medio</p> <p data-bbox="1014 778 1651 821">Fuera de control del operador</p> <p data-bbox="1014 1099 1738 1142">Pueden ser medidos o calculados</p>

Sistema c.g.s	Sistema internacional
$B = \mu \cdot H$	$B = \mu \cdot H$
En el vacío: $B = H$	En el vacío: $B = \mu_0 \cdot H$
Permeabilidad magnética del vacío $= 1$	Permeabilidad magnética del vacío $= \mu_0$
Permeabilidad magnética adimensional	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m} = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$
$\mu =$ Parámetro adimensional	$\mu_r =$ Parámetro adimensional
En un medio cualquiera: $B = \mu \cdot H$	En un medio cualquiera: $B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$
$\mu =$ Parámetro adimensional	$\mu_r =$ Parámetro adimensional
μ del sistema c.g.s $= \mu_r$ del sistema internacional	 $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$

Tabla resumen comparativa de permeabilidad en sistema c.g.s vs. Sistema Internacional:

Imanes permanentes

corrientes microscópicas permanentes, cuya distribución se diseña al fabricar el imán.

- En el material virgen, estas corrientes están 'agrupadas' en dominios que tienen orientaciones aleatorias resultando en un campo macroscópicamente nulo
- Se aplica un campo externo de manera tal que los dominios se van orientando en la dirección del mismo. Cuando ya no se produce un incremento en la magnetización se dice que el material llega al punto de saturación.

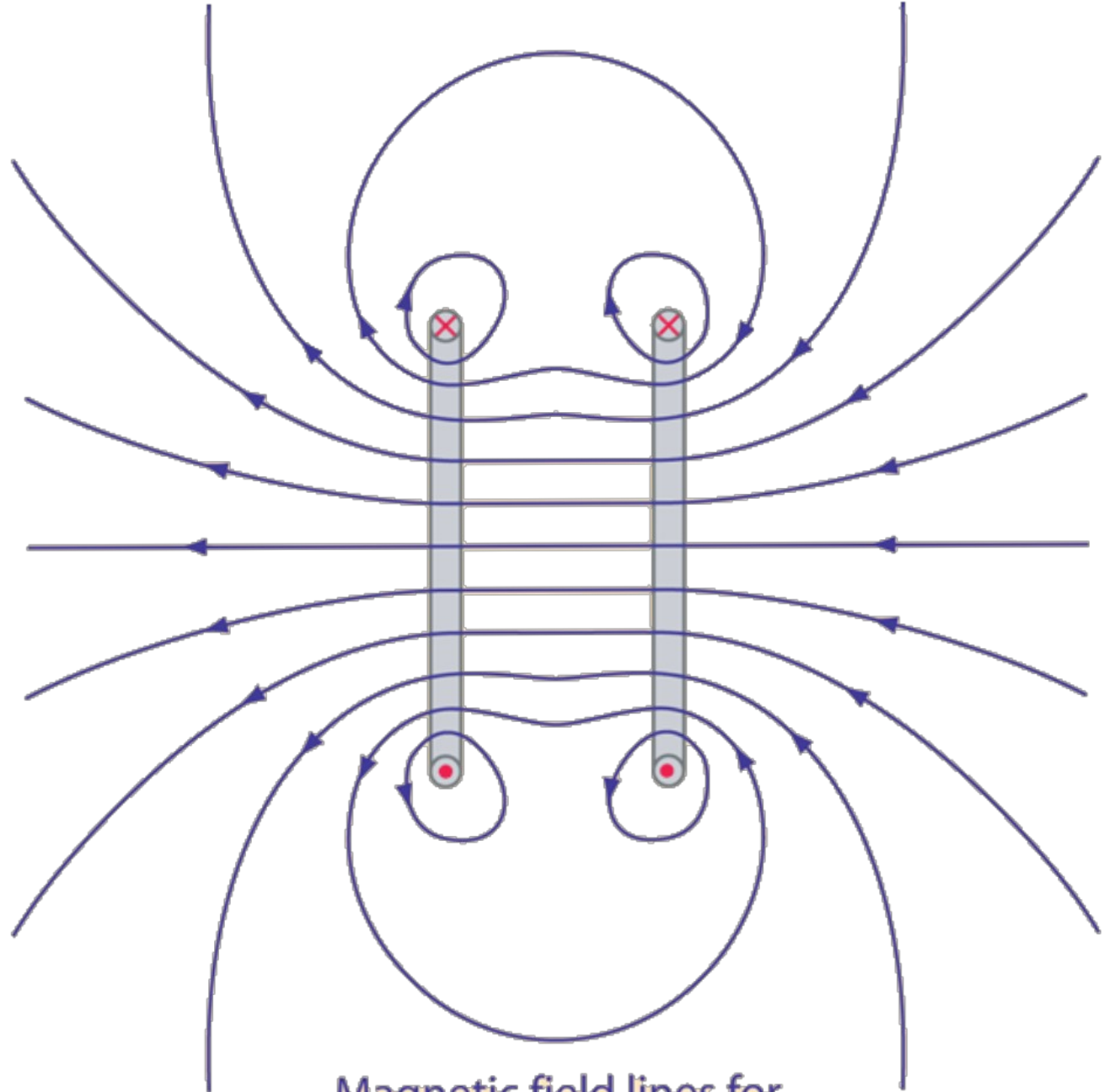
- Los imanes permanentes son fabricados con materiales magneticos de alta coercitividad o 'duros': ferrita, alnico, neodimio, samario-cobalto
- ~5000 G cerca de la superficie
- Producen campos grandes sin necesidad de aplicar una corriente externa
- Imposibilidad de regular el campo aplicado; difil diseño/fabricacion

Electroimanes y bobinas

- Son alimentados, y permiten regular la intensidad del campo en función de la corriente suministrada. Se diseñana de manera que garanticen la homogeneidad en el area de experimento.
- Cuando el circuito es en aire o vacio se los suele llamar bobinas y electroimanes cuando el bobinado es alrededor de un nucleo de hierro.

Bobinas conductoras

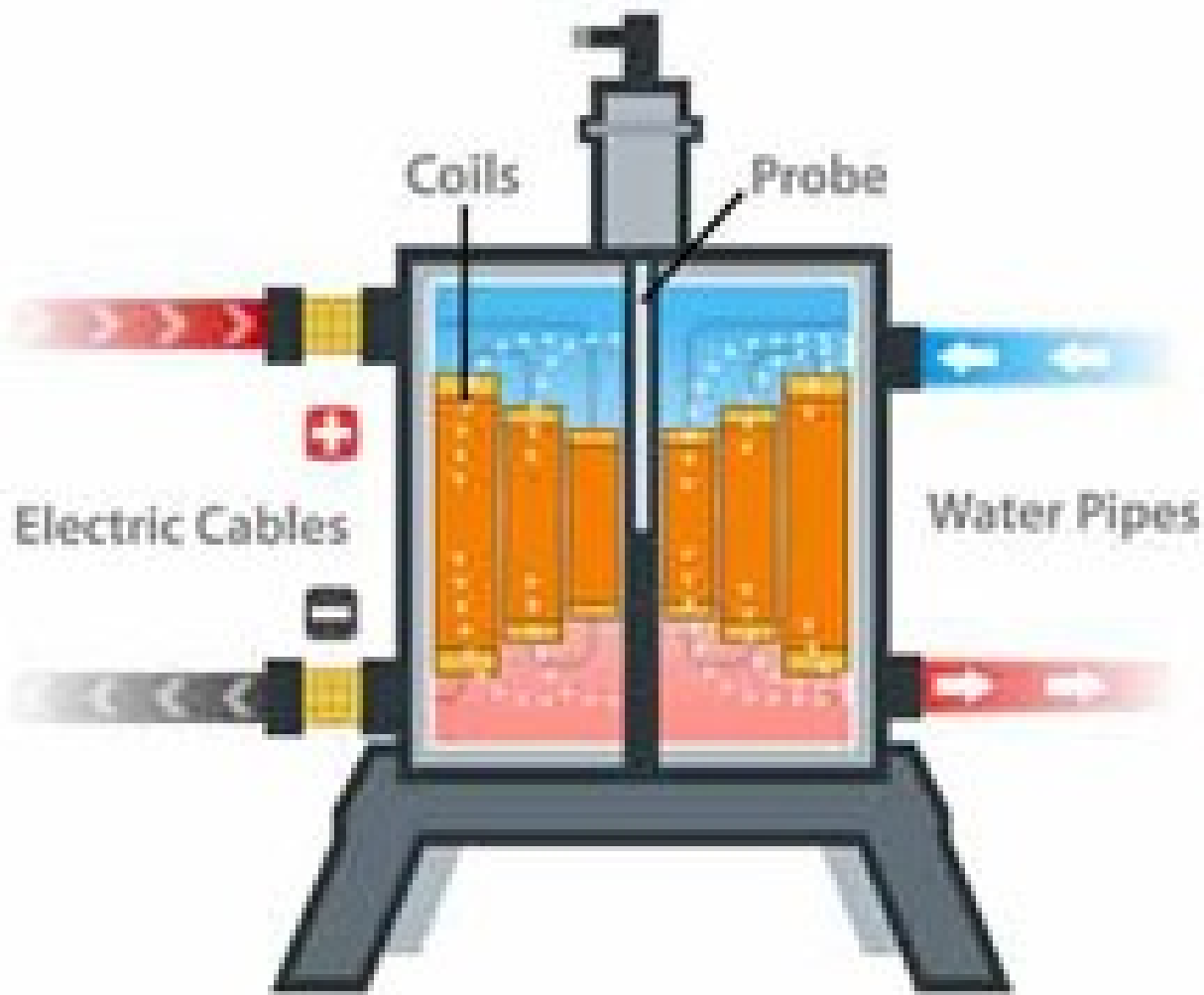
- Solenoides o pares de Helmholtz
- Campos magnéticos bajos
- Intensidad del campo limitada por el calentamiento debido a la potencia disipada (Joule)



Magnetic field lines for Helmholtz coils.

Electroimanes

- Usualmente, toroides bobinados alrededor de un nucleo de hierro, que termina en un entrehierro de piezas polares, donde se ubica el experimento
- Refrigerados
- ~ 15.000 G (limitados por la saturación del nucleo ferromagnético)
- Resistencias bajas, altas corrientes



RESISTIVE MAGNET
(cross section)

Bobinas superconductoras

- Solenoides contruidos con alambres superconductores a temperaturas bajas (~20 K)
- Refrigerados con He liquido
- ~20.000 G
- Tomografos



Bobinas para campos pulsados ultra-altos

- Hechas con materiales conductores, con inductancias bajas que permiten la circulación de pulsos cortos de corrientes muy alta
- Tiempos de medicion cortos
- ~ 100.000 G

Métodos de medición de campo magnético

- Inducción de Faraday
 - . Utiliza la tensión debida al cambio de flujo magnético a través de una bobina.
- Sensor de efecto Hall
 - . Utiliza diferencia de potencial generada en un conductor con corriente debido a un campo magnético.
- Resonancia magnética nuclear (RMN)
 - . Utiliza la frecuencia de de Larmor del espín de los protones debida a la acción de un campo magnético.
- Superconducting quantum interference device (SQUID)
 - . Utiliza el principio de Josephson en superconductores para medir campos magnéticos muy chicos.
- Histeresígrafo

Inducción de Faraday

Fluxómetro o flujómetro

- El flujómetro es un instrumento que se basa en la ley de Faraday para medir un campo magnético
- Mide la tensión generada en una bobina debido al cambio de flujo que concatena la misma.

$$\Delta\phi = -\frac{1}{N} \int_{t_1}^{t_2} U(t).dt$$

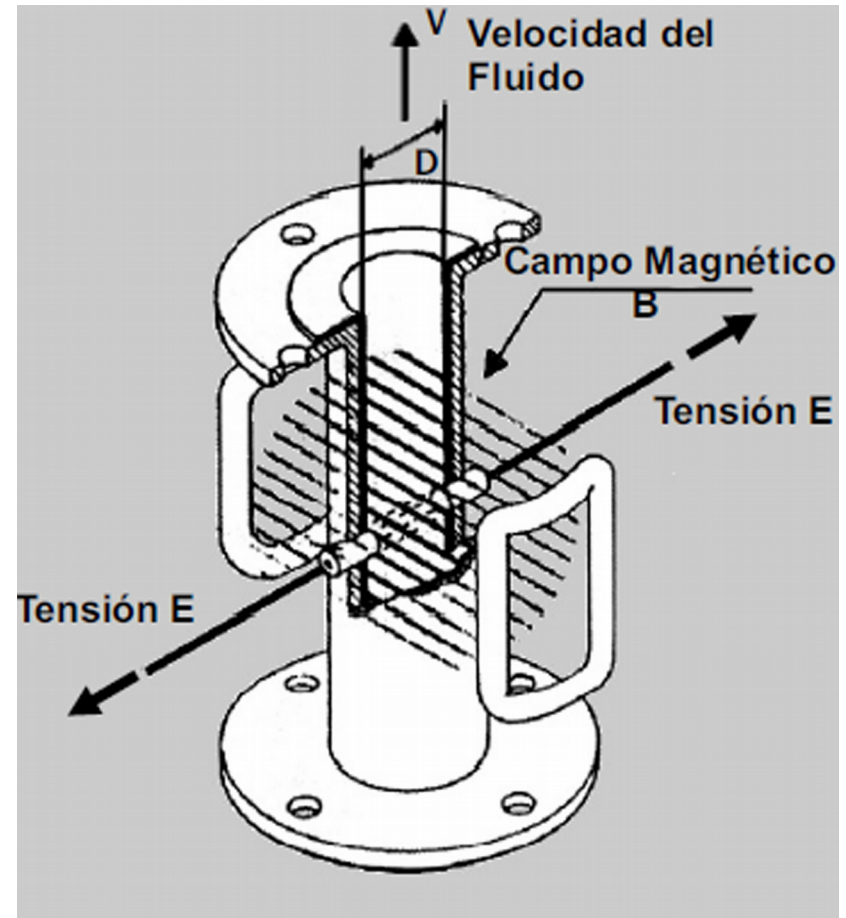
- Integra el valor de la tensión en el tiempo conociendo el número de vueltas de la bobina para obtener un valor promedio del campo en esa sección.

Inducción de Faraday

Fluxómetro o flujómetro

- Procedimiento:
- Cálculo del campo conociendo El área de la bobina.

$$\frac{\phi}{A} = B \left[\frac{Wb}{m^2} \right]$$

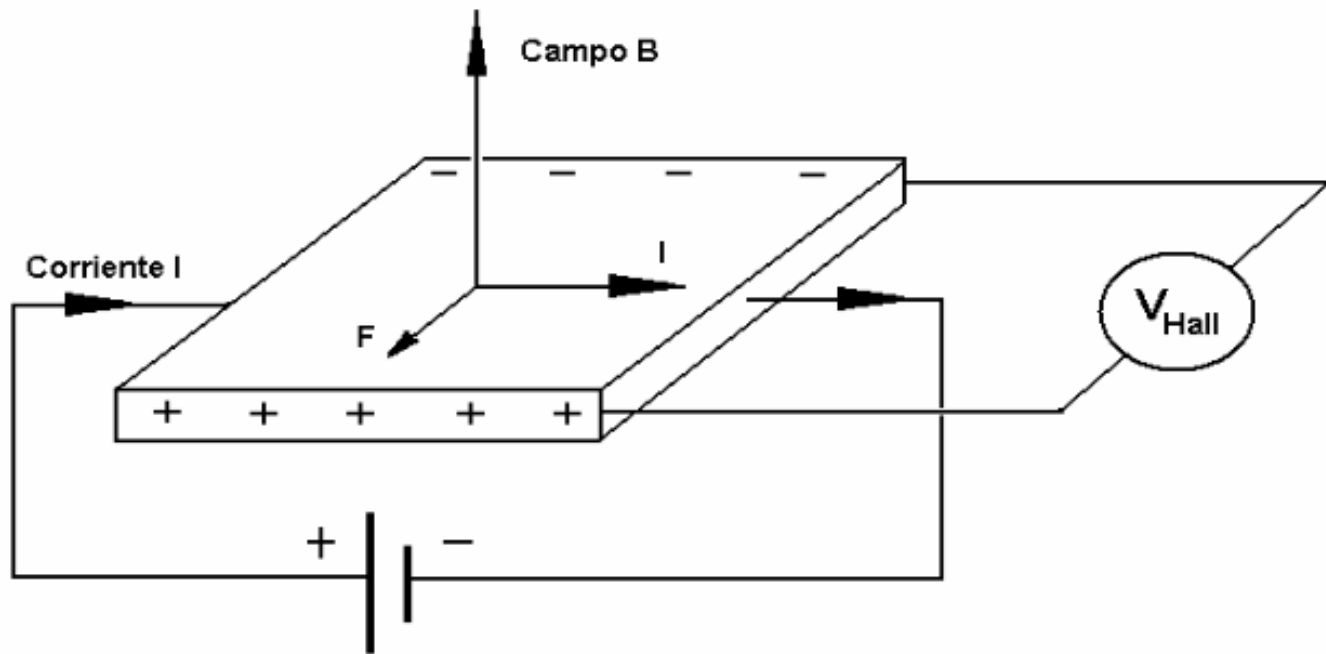


Efecto Hall

- Si se aplica un campo magnético a un conductor con corriente, éste ejerce una fuerza sobre los portadores de carga perpendicular a ambos, lo que genera una diferencia de potencial.
- La intensidad de dicho potencial es proporcional a la corriente y a la intensidad del campo magnético.
- $V_H = I \cdot B / A$
- El sensor Hall utiliza este principio para conocer la intensidad del campo B midiendo la tensión V_H .

Sensor Hall

Esquema de un sensor Hall

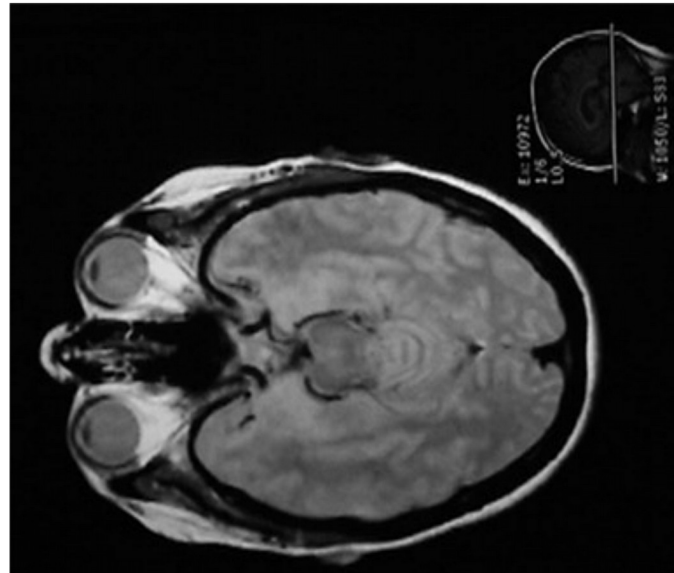


Resonancia magnética nuclear

- Momento magnético debido al espín nuclear de la partícula.
- En presencia de campo magnético se produce polarización de espín.
- Una señal de radiofrecuencia (RF) induce una transición entre estados de espín (spin-flip).
- Debido a la relajación de los espines se produce una señal de RF que se puede medir (energía de transición de un estado de espín a otro).
- La frecuencia de la señal se llama frecuencia de Larmor y es proporcional a la intensidad del campo magnético aplicado.

Resonancia magnética nuclear

- Muestra de protones (núcleo de hidrógeno).
- Medición de gradientes de campo magnético.
- Utilización en imágenes por resonancia magnética y espectroscopia.



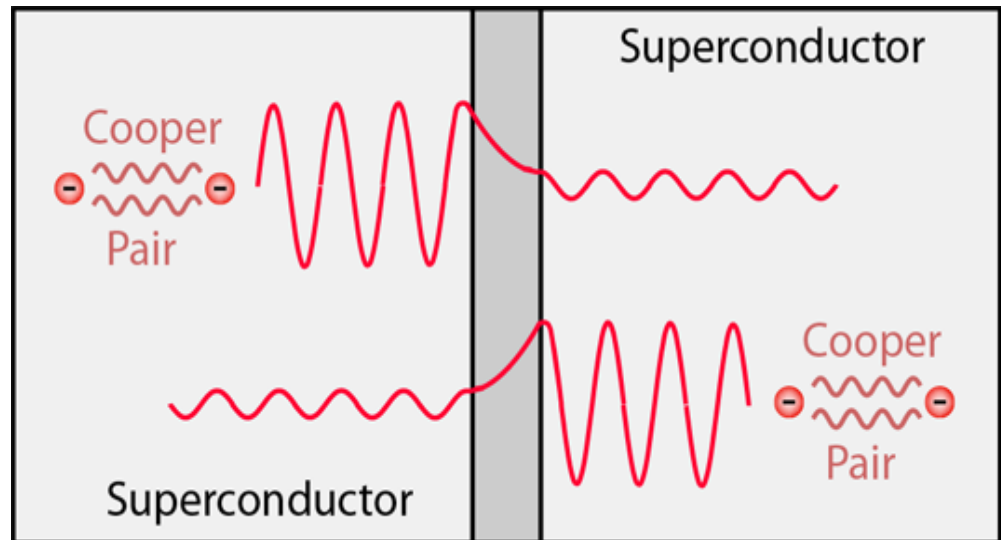
Superconducting quantum interference device (SQUID)

Unión de Josephson

- Corriente entre dos superconductores aislados por efecto túnel de los pares de Cooper.
- La corriente es proporcional a la diferencia de fase de las funciones de onda (Φ).
- Por el efecto Josephson una unión oscilará con una frecuencia proporcional al voltaje a través de la misma.

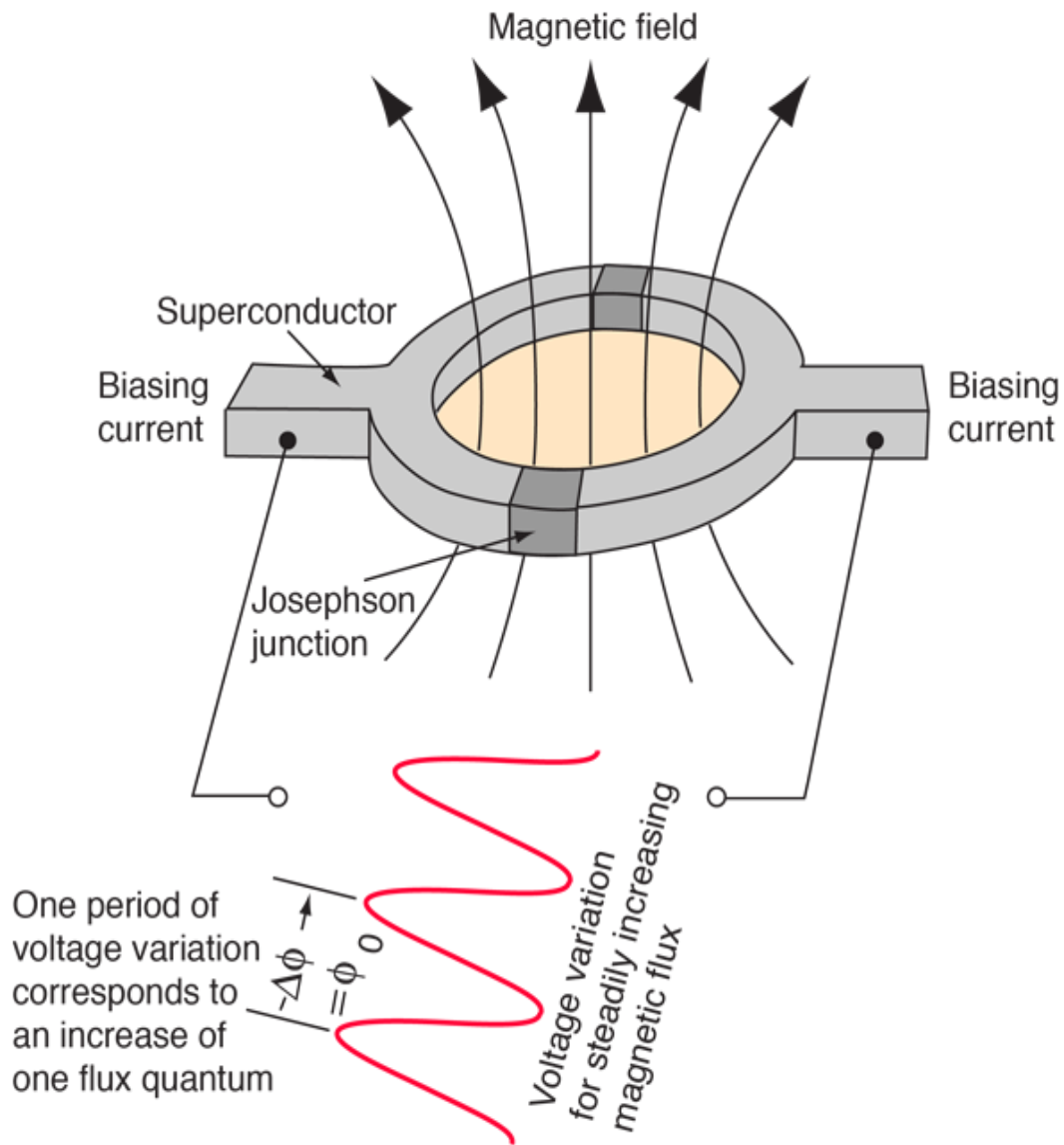
$$U(t) = \frac{\hbar}{2e} \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

$$I(t) = I_c \sin(\phi(t))$$



Superconducting quantum interference device (SQUID)

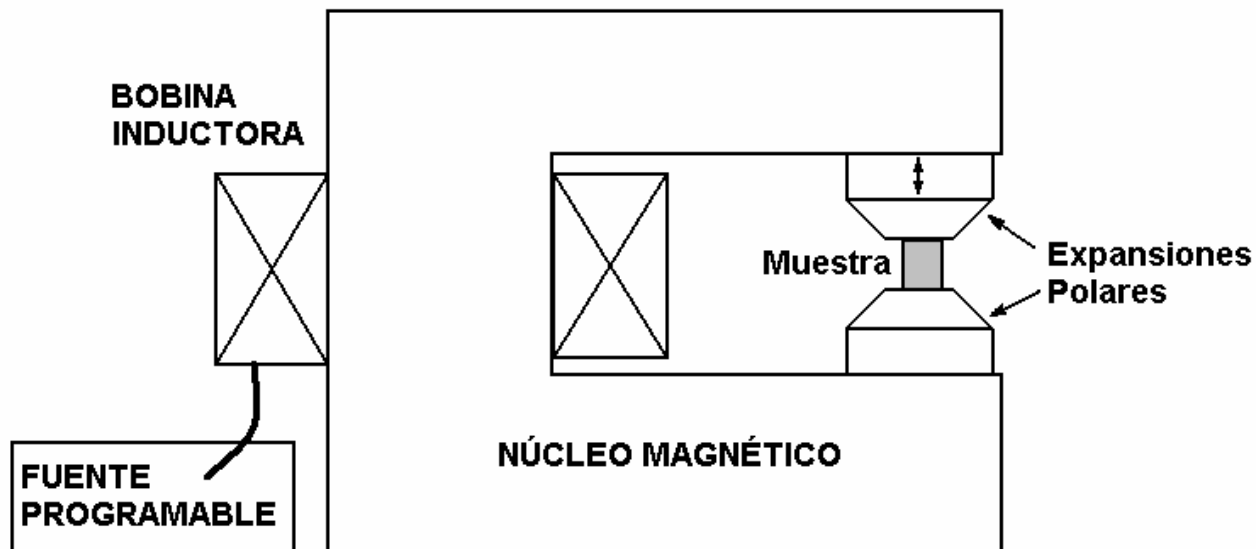
- Se usan dos uniones de Josephson en paralelo.
- Magnetómetro para detectar campos muy pequeños (10^{-14} T)
- Si se mantiene una corriente constante de polarización, el voltaje medido oscila con los cambios de fase en las dos uniones, que dependen de la variación de flujo magnético.
- Un período de variación del voltaje corresponde al incremento en un cuanto de flujo.



Histerígrafo

- Obtención de diagramas B vs H
- Caracterización de las curvas de histéresis de distintos materiales

Usa bobinas para generar flujo a través de un circuito magnético acoplado con la muestra.



Hesterígrafo

- Medición de B con una bobina que concatena el flujo en la muestra, conectada a un fluxómetro.
- Medición de H usando una sonda Hall conectada a un gaussímetro. Se mide sobre el aire cercano a la muestra ya que se hace la aproximación de que el campo H allí es igual al que se le aplica a la muestra.

