

# Experimentos magneticos y de transporte en superconductores

## Propiedades magnéticas y de transporte globales:

1) Transporte DC o AC

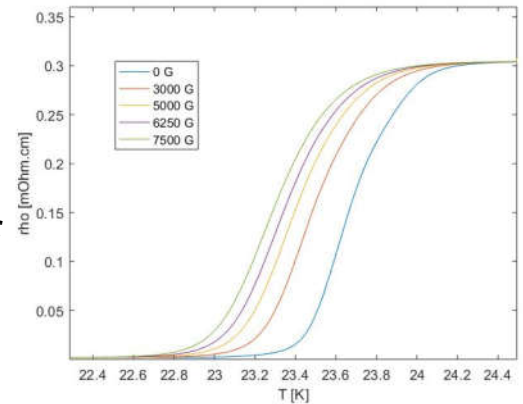
2) Magnetización  $M$

3) Susceptibilidad alterna  $\chi_{AC}$

# 1) Transporte DC o AC

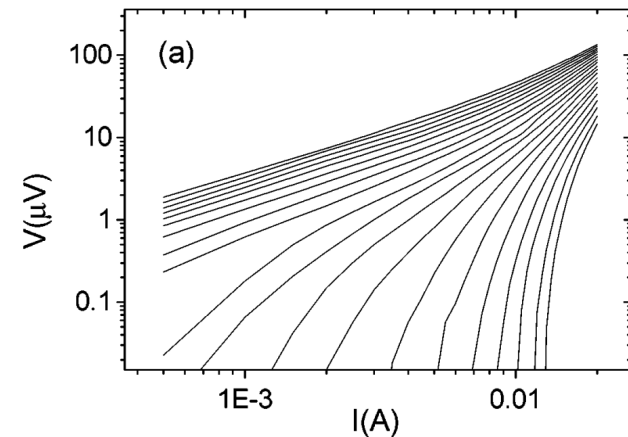
1.1) **Resistividad**  $\rho$ : Se mide la resistencia y se calcula la resistividad

- $\rho(T)$  y  $\rho_{AC}(T)$  a  $H = 0$  permiten medir la  $T_c$  y ver el “ancho de transición” asociado a la homogeneidad.
- $\rho(T)$  a  $H > 0$  o  $\rho(H)$  a  $T$  fija permite medir  $H_{c2}(T)$  en tipo II y  $H_c(T)$  en tipo I. Idem  $\rho_{AC}$
- $\rho_{AC}(T, H, \omega)$  Brinda además información muy parecida a la susceptibilidad AC en el régimen lineal.



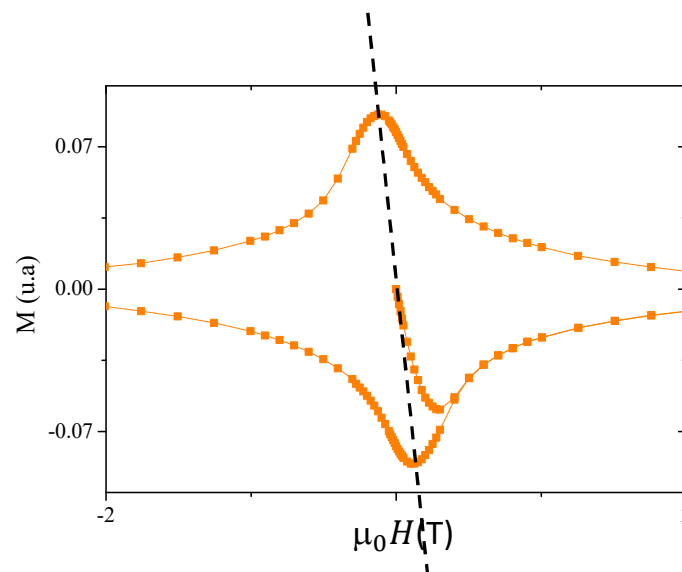
1.2) **Relacion  $E(J)$** : se miden curvas  $V(I)$ .

- Permiten estudiar características del líquido de vortices
- Permiten encontrar la transición líquido-vidrio o líquido-cristal de vortices.
- Permiten medir  $j_c$  muy bajas.
- Técnicas más usuales:
  - Resistencia DC a 4 puntas (con nanovoltímetros)
  - Resistencia AC a 4 puntas (con lockin)



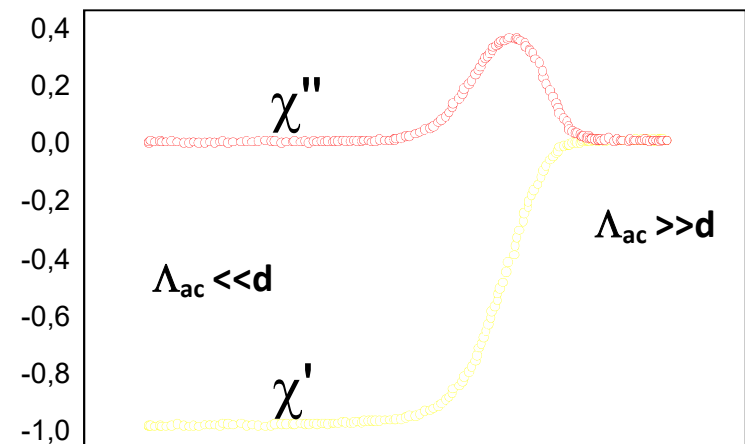
## 2) Magnetización $M$

- En general se mide la componente del momento magnético  $m$  en la dirección del campo aplicado.
- $M(H)$  a  $T$  fija permite medir los campos críticos y estimar  $J_c(B)$  en tipo II. En los tipo I también hay  $J_c$  para mover las regiones del estado intermedio, que se pueden medir con  $M(H)$ .
- La relajación con el tiempo  $M(t)$  se usa para estudiar la activación termica .
- $M(H, T, t)$  se usa para estudiar distintas fases de vortices.
- Técnicas más usuales para medir  $m$  :
  - Vibrating Sample Magnetometer (VSM)
  - Sensores Hall
  - **SQUID Magnetometer**



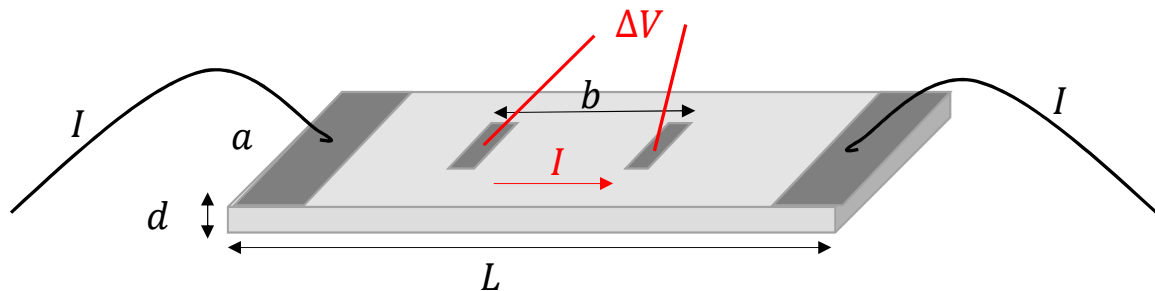
### 3) Susceptibilidad alterna $\chi_{AC}$ :

- En general se miden las componentes de la primer armónica  $\chi'$  y  $\chi''$  asociadas con la magnetización  $M(t)$  en la dirección del campo alterno aplicado.
- $\chi(T)$  a  $H = 0$  permite medir la  $T_c$  y ver el “ancho de transición superconductor” asociado a la homogeneidad.
- $\chi(T, H, h_{ac}, \omega)$  permiten ver cuan móviles son los vortices, estudiar regimenes dinamicos, estimar  $j_c$  chicas (en regimen no lineal), y cte de Labush  $\alpha_L$  (en regimen lineal).
- Técnicas mas usuales:
  - Inductancia mutua
  - $m(t)$  (bajas frecuencias)
  - Sensores Hall AC



## Transporte DC y AC

Resistencia a 4 terminales:

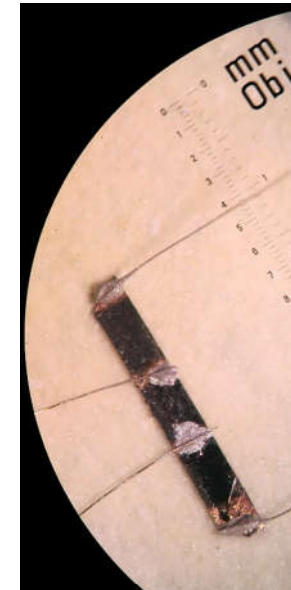


Si suponemos  $I$  homogénea:  $\Delta V = RI$  siendo  $R = \rho \frac{b}{ad}$

Ventaja: No mide la resistencia de los contactos y los cables (mayores que la de la muestra).

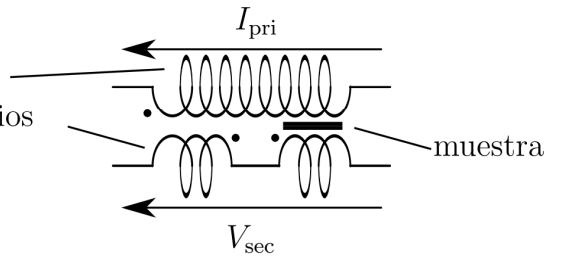
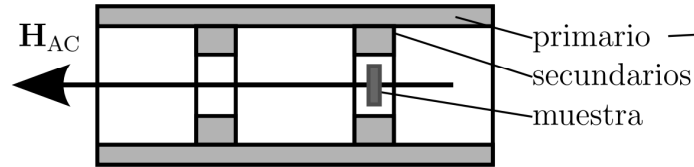
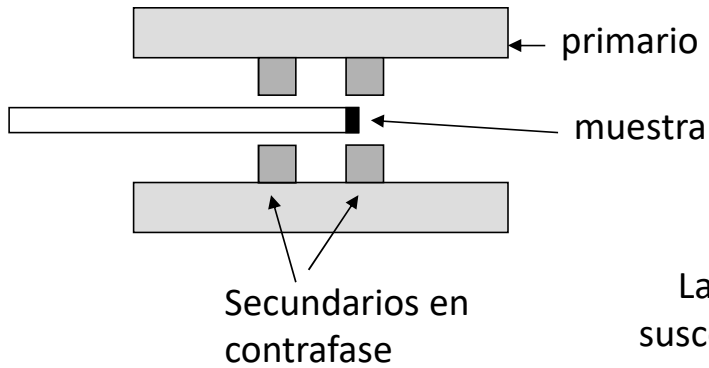
Transporte DC: es más difícil filtrar el ruido, influyen los potenciales de contacto.

Transporte AC: se pueden medir señales menores con un lockin, se mide señal en fase y contrafase



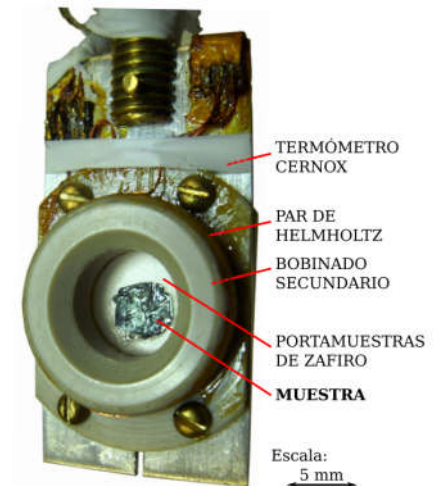
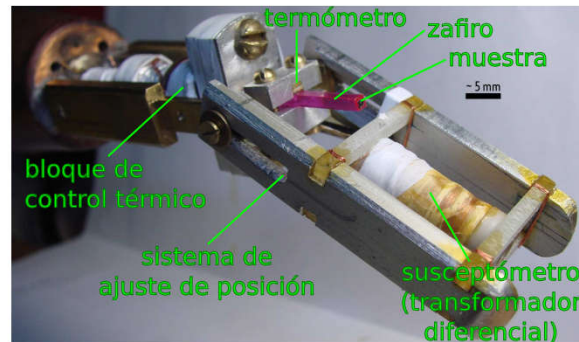
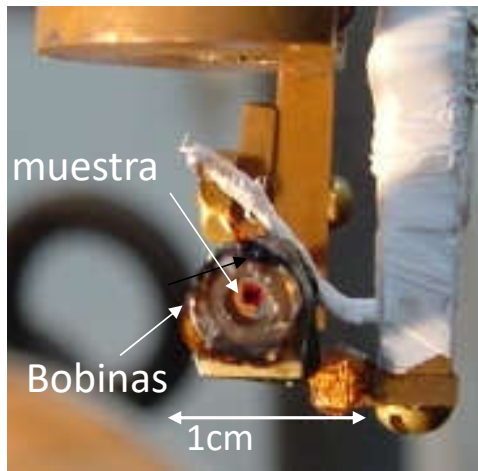
Monocrystal de BaFeCoAs con 4 contactos.

## Susceptibilidad alterna $\chi_{AC}$ por inductancia mutua



La señal del secundario es proporcional a la susceptibilidad, desfazada en  $\pi/2$  respecto de la corriente en el primario:  $V' \propto \chi''$ ,  $V'' \propto \chi'$

Es mas sensible a mayores frecuencias



# Magnetización $M$

Primeras tecnicas:

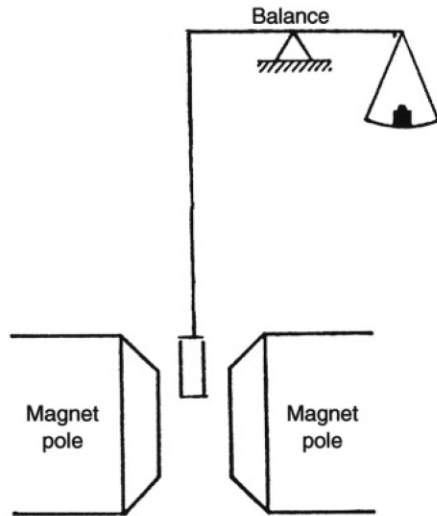


Figure 9.1.1. Schematic diagram of a susceptibility balance. After Zijlstra (1967).

Balanza magnetica basica

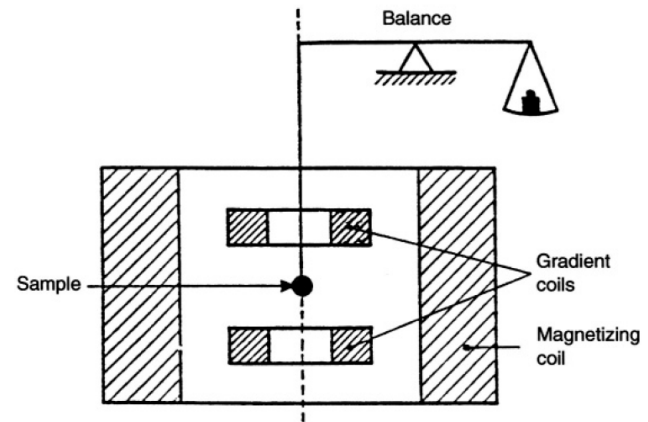


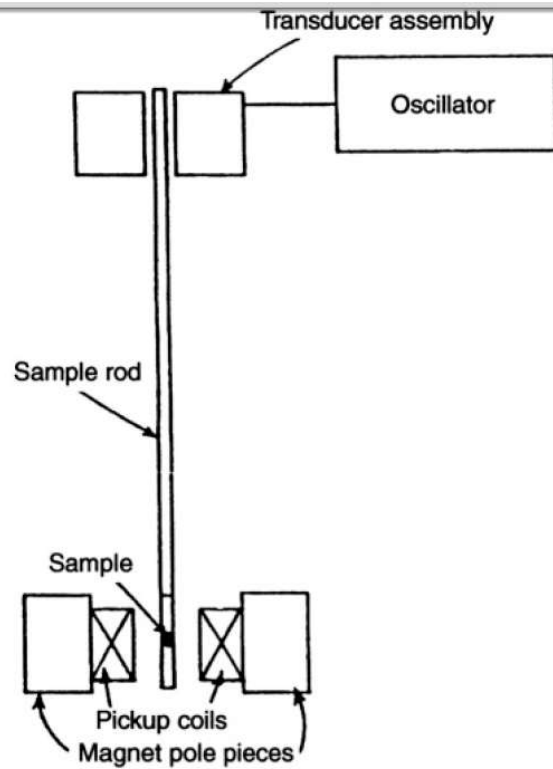
Figure 9.2.1. Schematic representation of an apparatus for measuring the magnetic moment of a small sample as a function of the applied field. After Zijlstra (1967).

Metodo de Faraday



# Magnetización $M$

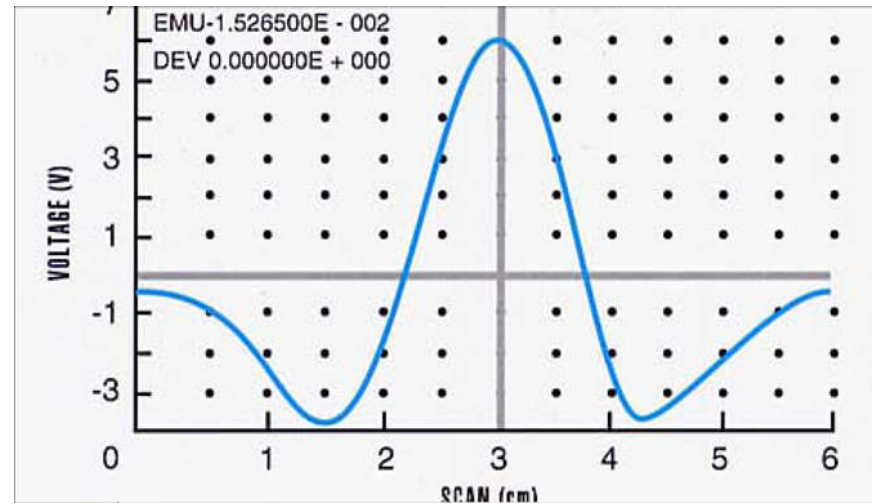
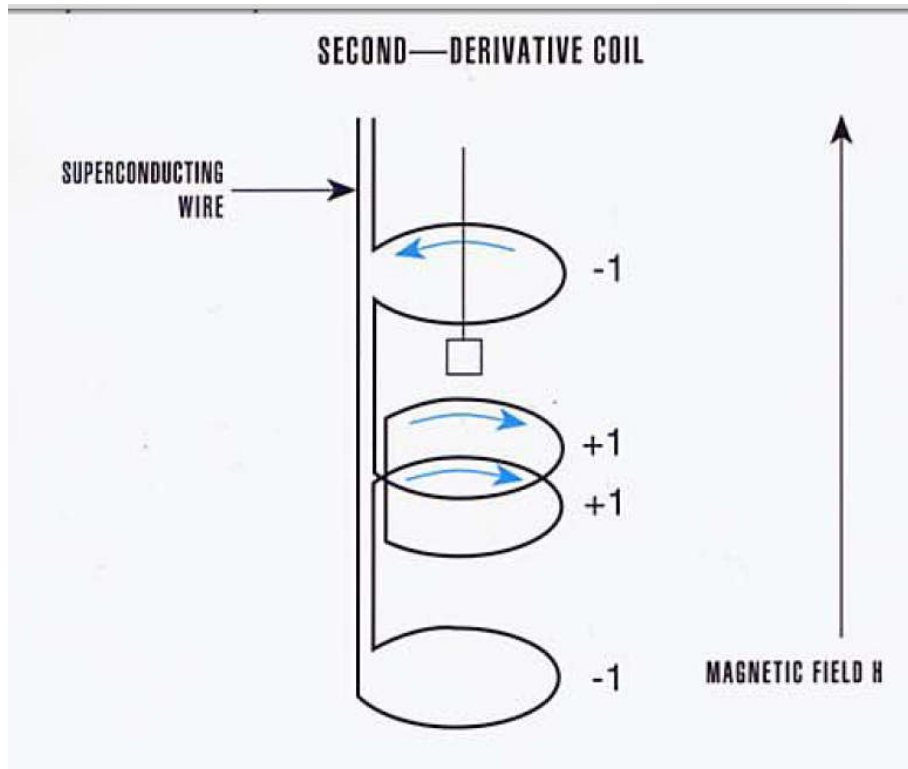
## Vibrating sample magnetometer (VSM)



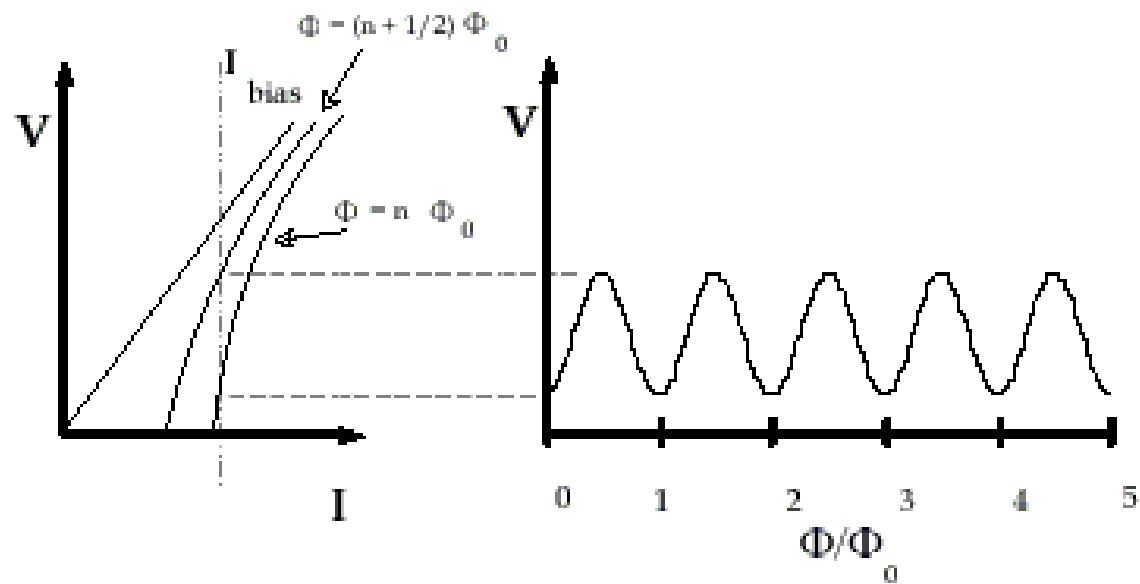
Equipo comercial VSM, LBT

# Magnetización $M$

## Gradiometro axial de segunda derivada



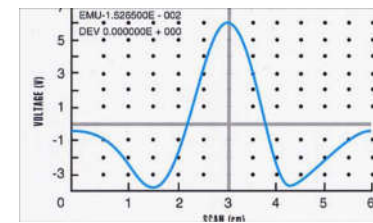
**SQUID: muy sensible para medir variaciones de flujo magnetico**



## Magnetización y susceptibilidad: MPMS



Mueve la muestra alrededor de la posición central de las bobinas (en el ejemplo  $\pm 3$  cm). Da el valor del momento magnético ajustando la señal.



Tiene un accesorio que permite agregar un pequeño campo alterno y medir  $m(t)$ . Ajusta la señal como armónica, y obtiene las componentes en fase y contrafase  $m'(t)$  y  $m''(t)$ . Hasta  $f = 1$  kHz.

Magnetometro comercial MPMS: gradiometro + SQUID,  $B$  hasta 7 T,  $T$  hasta 2 K.

# Montaje experimental mediciones de Magnetizacion: MPMS

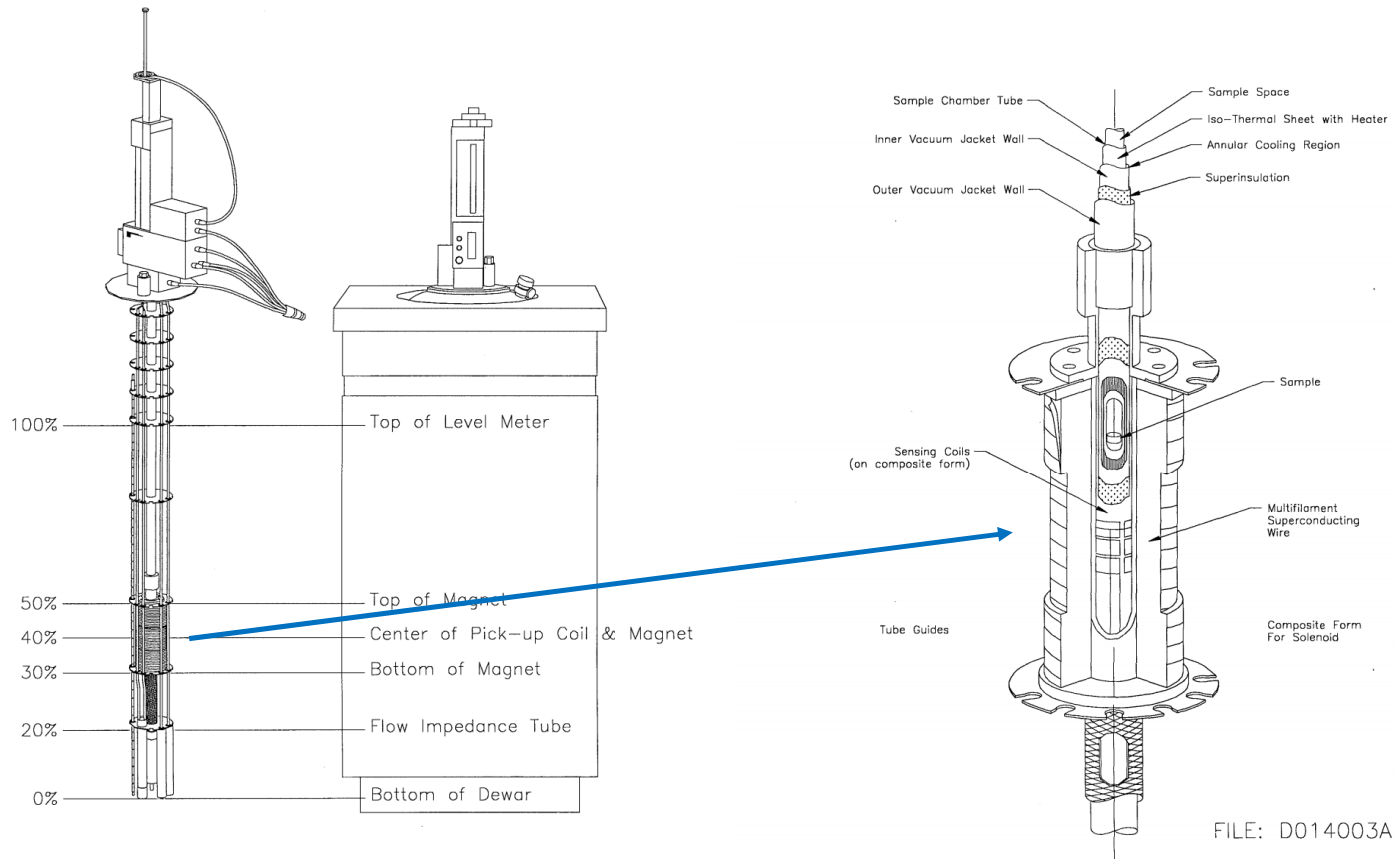


Figure 2-1 MPMS Helium Levels

## Montaje experimental mediciones de transporte

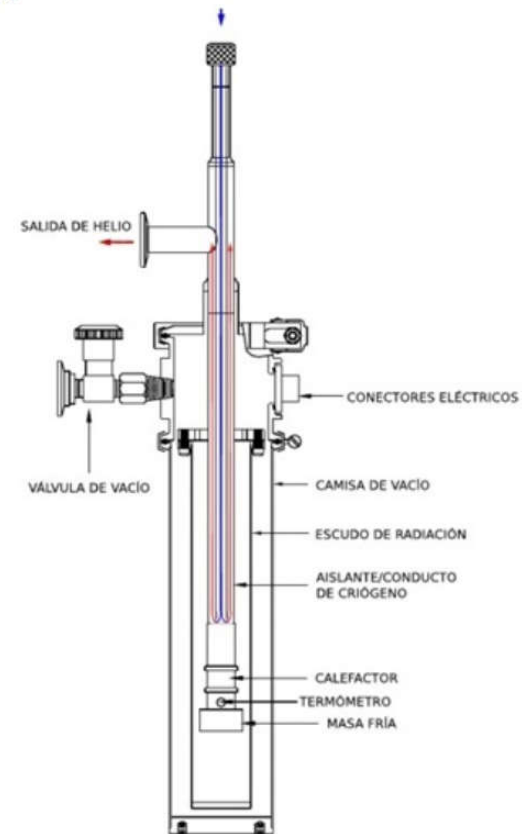
b



Criostato a flujo continuo en electroiman rotante

$B$  hasta 1 T, direccion variable.

$T$  hasta 4.2 K



## Propuestas de datos para analizar

- 1) Mediciones en monocristales de  $\text{NbSe}_2$ .  $T_c \sim 7.2 \text{ K}$ . Tipo II con bajo pinning. Magnetización  $M(H)$  a distintas  $T$  y eventualmente curvas de susceptibilidad alterna a las mismas  $T$ . Todas medidas en MPMS.
- 2) Mediciones en muestras ceramicas de  $\text{MgB}_2$  dopadas con carbono.  $T_c \sim 40 \text{ K}$ . Tipo II con pinning fuerte. Magnetización  $M(H)$  a distintas  $T$  para muestras con distintas composiciones. Medidas en MPMS.
- 3) Mediciones en monocristales de la familia  $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_2\text{As}_2$   $T_c \sim 23 \text{ K}$ . Tipo II con pinning fuerte. Magnetización  $M(H)$  a distintas  $T$ . Medidas en MPMS.
- 4) Mediciones en monocristales de la familia  $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_2\text{As}_2$   $T_c \sim 23 \text{ K}$ . Tipo II con pinning fuerte. Mediciones de transporte cerca de la transición superconductor para distintas direcciones del campo magnetico aplicado. En criostato de flujo continuo para experimentos de elasto-resistividad.
- 5) Mediciones en muestra de  $\text{Pb}$   $T_c \sim 7 \text{ K}$ . Tipo I con pinning en el estado intermedio. Magnetización  $M(H)$  a distintas  $T$  y algunas curvas de susceptibilidad. Medidas en MPMS.

Hay mas cosas!! Pregunten si hay algo que les interese en particular.