



Servicio General de Apoyo
a la Investigación - SAI

Universidad Zaragoza

Servicio de Medidas Físicas

CURSO PPMS Y OPCIONES

Medidas Eléctricas

Esquema Curso

- MODULO0: Funcionamiento PPMS
- MODULO1: Opciones Medidas Magnéticas
 - » Opción VSM
 - » Opción ACMS
 - » Opción TS
- MODULO2: Opciones Medidas Térmicas
 - » Opción HC
 - » Opción TTO
- MODULO3: Opciones Medidas Eléctricas
 - » Opción Resistividad DC
 - » Opción ACT

Consulta de dudas y cuestiones

- Servicio de Medidas Físicas
 - Preguntar personal servicio
 - Página web SMF
<http://sai.unizar.es/medidas/index.html>
- Manual del equipo
 - Descripción parámetros
 - Guías para resolución de problemas
- Página web QD **www.qdusa.com**
 - application notes
 - service notes



Servicio General de Apoyo
a la Investigación - SAI

Universidad Zaragoza

Servicio de Medidas Físicas

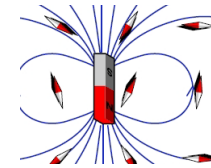
CURSO PPMS Y OPCIONES

M3: Opciones Medidas Eléctricas

Opciones de Medida

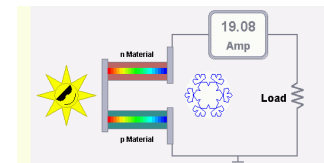
- Medidas Magnéticas

- VSM: Magnetómetro de muestra vibrante
- ACMS: Magnetómetro AC y DC de extracción
- TS: Susceptibilidad magnética transversal
- AFM/MFM: Microscopía de Fuerza Atómica y Fuerza Magnética



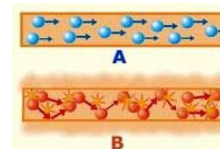
- Medidas Térmicas

- HC: Capacidad calorífica
- TTO: Conductividad térmica



- Medidas Eléctricas

- ResDC: Resistividad eléctrica DC
- ACT: Conductividad eléctrica AC



- Medidas ad hoc (custom-made): control externo de instrumentos

Resistividad DC

Esquema

- Principio de Operación
- Hardware
- Preparación e instalación de muestras
- Medidas: parámetros y secuencias
- Interpretación de resultados

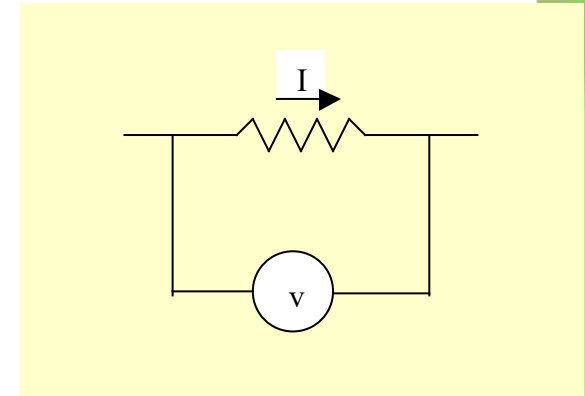
Res DC

Resistencia eléctrica: cociente entre el voltaje a través de una muestra y la corriente que la atraviesa

Ley Ohm: $R=V/I=$ constante

- Independiente V
- Puede depender T y H

Las muestras que obedecen la ley de Ohm se llaman resistencias



Resistencia vs Resistividad

Resistencia: R , cantidad medida por el instrumento que depende de la geometría de la muestra

Resistividad: ρ , propiedad intrínseca del material

$R = \rho * L/A$ [predice la R de un experimento]

$\rho = R * A/L$ [conversión del valor medido al normalizado]

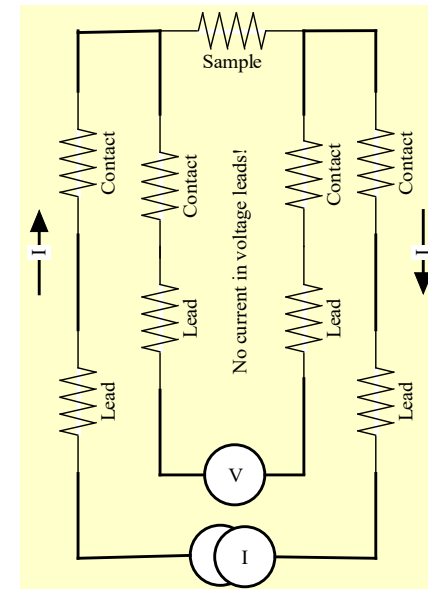
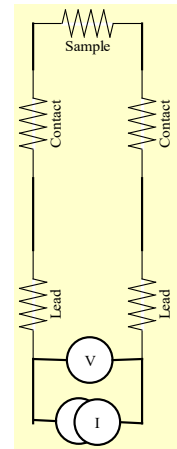
L = longitud muestra, A = sección muestra

Res DC

- Problema: Se quiere medir la resistencia de la muestra no la de los contactos y el cableado
- Solución: medida por 4 puntos

- No hay corriente en los cables de voltaje
- El voltaje es por tanto debido únicamente a la resistencia de la muestra
- Necesario cuando las resistencias de contacto y cables no son \ll resistencia de la muestra

2p

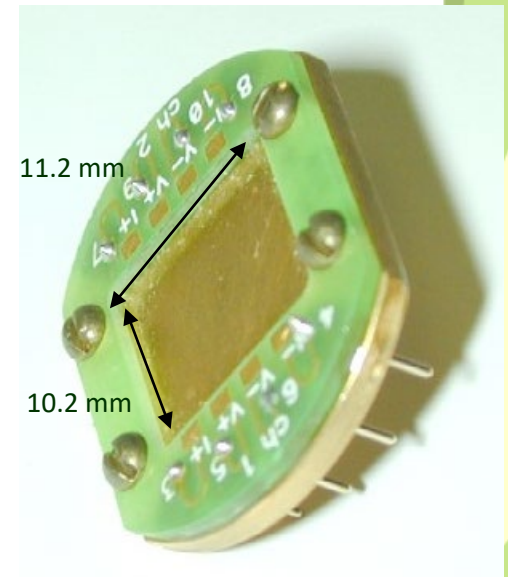
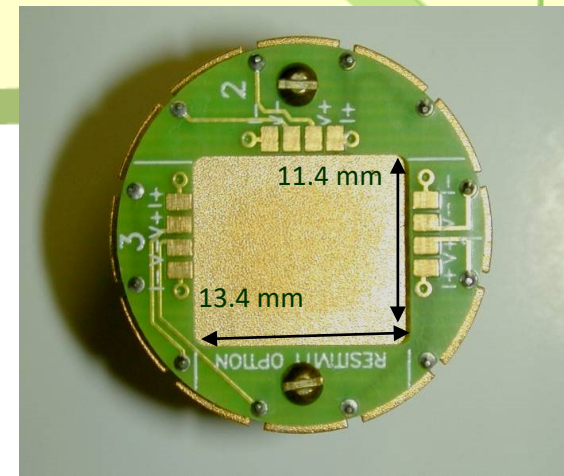


4p

*Well, OK, there is a little bit.

Resistividad DC

- Medida R por cuatro puntos (hasta 3 muestras)
 - 4 $\mu\Omega$ a 4 M Ω
- Medida R vs I
- Amplio rango de Temperaturas con opción He-3
 - 0.35 K a 400 K
- Rango de campo magnético hasta 14 T
- Medida en función de la Presión
 - Celda HPC -30 hasta 3.0 GPa



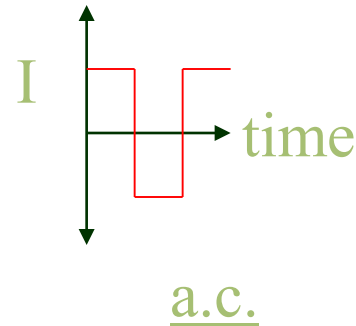
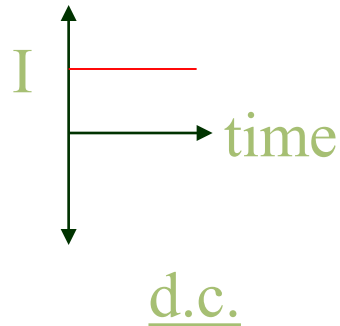
Res DC

Especificaciones

- Fuente de corriente DC: DAC de 12 bits
 - 2.4 nA a 5 mA
 - Modo d.c. y a.c.
- Voltímetro: ADC de 20 bits
 - Hasta 4 lecturas por segundo
 - Voltímetro ruido rms = $20 \text{ nV} \times (\text{averaging time})^{-1/2}$
(especificaciones voltímetro "20 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ")
 - Máxima entrada Voltímetro = 95 mV
- Multiplexado a 4 canales
 - Switch in and out → Varios canales se pueden conectar a la misma muestra
- Rango R:
 - Mínima teórica: $R_{\min} = V_{\min}/I_{\max} = 20 \text{ nV}/5\text{mA} = 4 \mu\Omega$
 - Máxima teórica: $R_{\max} = V_{\max}/I_{\min} = 95\text{mV}/2.4\text{nA} = 39 \text{ M}\Omega$
- 'sweet spot' R ~ **1 Ohm -1 MOhm**

Res DC

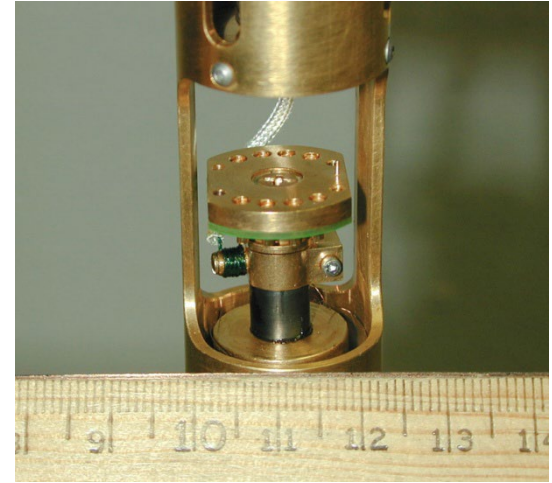
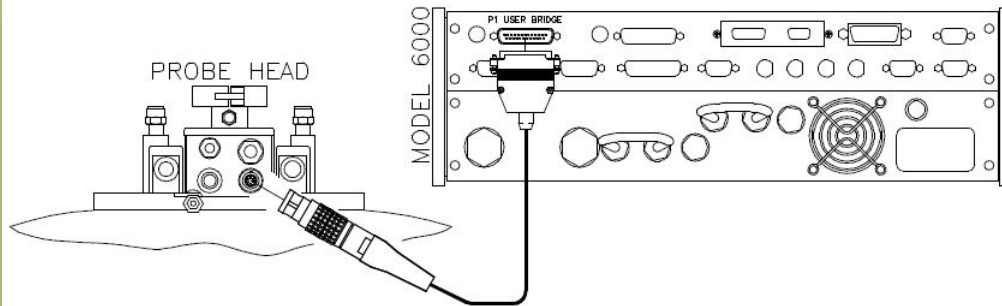
Principio de Operación



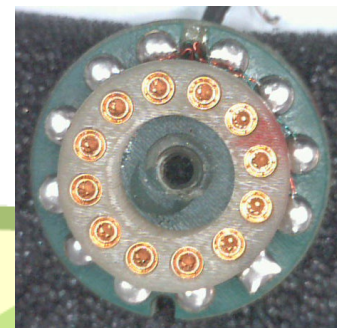
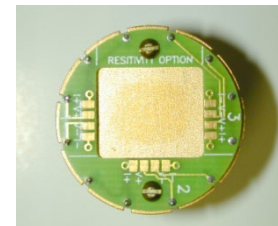
- Modo "a.c." aplica corriente +/- en una onda cuadrada para quitar offsets de voltaje (origen térmico)
- Ciclos de 16.7 Hz
 - ciclo1: aplica corriente + al canal 1 y digitaliza el voltaje
 - ciclo2:
 - Si Ch.1 usa modo "a.c." aplica corriente – al Ch1 y digitaliza V
 - Sino, va al siguiente canal en modo 'ON' y repite ciclos 1 y 2
- Velocidad de adquisición depende del número de canales activos y del modo (ac o dc)
 - standard mode: recalibra la fuente de corriente cada 60 s o cuando cambia la excitación
 - fast mode: no realiza ninguna calibración
 - High Resolution mode: 2-16 promediados dependiendo de R

Res DC Hardware

- Utiliza el puente de resistencias (user bridge) desarrollado para leer los termómetros del sistema
 - Detro del Modelo 6000
 - El sistema utiliza un puente similar



Medidas Eléctricas



Insertion tool: útil de inserción

ResDC Hardware

Celda Presión

Celda presión HPC-30 (3.0 Gpa)



- Celda Cu-Be
- Medidas de transporte eléctrico (Resistividad DC y ACT)
- Todo el rango de temperaturas (1.8 K - 400 K)
- Máxima Presión 3.0 GPa
- Máxima Presión a 7 K 2.4 GPa
- Espacio Muestra Diámetro: 4.4 mm
- Altura: 4.0 mm
- Nº contactos 10

ResDC Hardware

Celda Presión



Piston back-up
cilindro

Upper clamping bolt
Piston

CuBe ring

Plug

sample

Teflon cell

CuBe ring

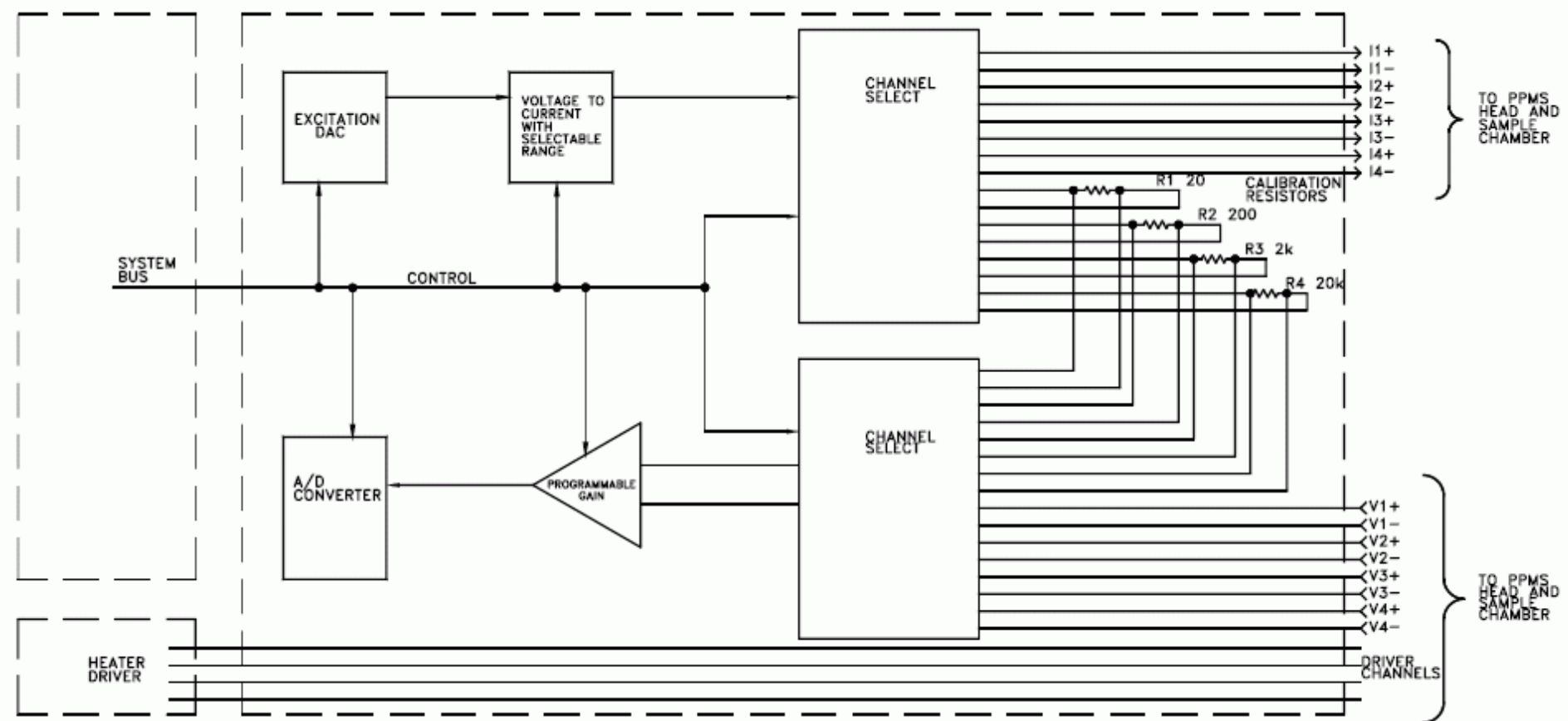
Plug back-up

Lower clamping bolt

Termómetro Cernox



Res DC Hardware

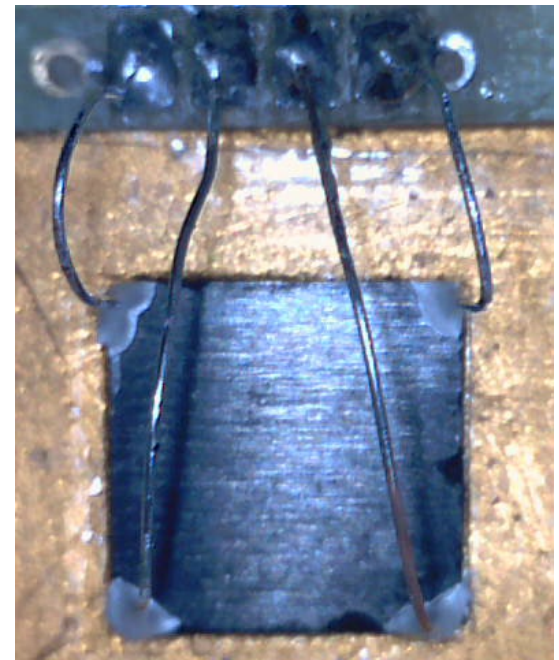


- Una única fuente/médiror multiplexa los 4 canales
 - Los canales están en circuito abierto cuando no se mide
- El PCB contiene las resistencias estándar para la calibración de la fuente de corriente

Res DC

Preparación e Instalación de Muestras

- Muestra ideal: forma chapa de geometría regular
 - Fácil montaje de los contactos
 - Estimación precisa de A/L
- Muestras homogéneas e isotrópicas
 - Grietas, huecos e inclusiones complican la interpretación de datos
- Los contactos deben ser poco resistivos
 - Unión evitando capas aislantes entre muestra y cable
 - Limpiar la muestra de residuos y aceites antes de realizar los contactos



Res DC

Preparación e Instalación de Muestras

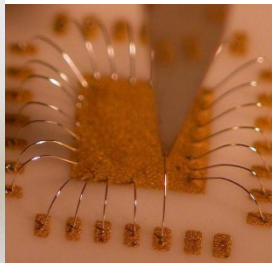
Métodos de contacto (0.35K a 400 K)

- soldadura: fácil, pero no se adhiere bien a muchas muestras
- Soldadura por ultrasonidos (Indio): el soldador tiene un piezo que rompe las barreras de óxido superficial
- microcontactos: cables de 25 μm de **Au** o **Al**
- Pintura **Ag**, **Pt** o **Au**: la matriz de acetato es muy volátil y deja partículas metálicas; fuerza de adhesión débil
- Epoxy **Ag** (2-partes): fuerte adhesión, necesita calentar $>100\text{ C}$
- contactos por presión de **In** o **In-Ga** : difíciles de hacer
- spring-loaded pins: fácil de montar y desmontar pero la geometría del sistema de contactos es fija
 - "Pogo pins" general product name
 - PPMS-adapted pin assemblies (pictured) available from <http://ppms.wimbush.eu/PressContacts.html>

spring-loaded pins



wire bonder



solders



Ag epoxy



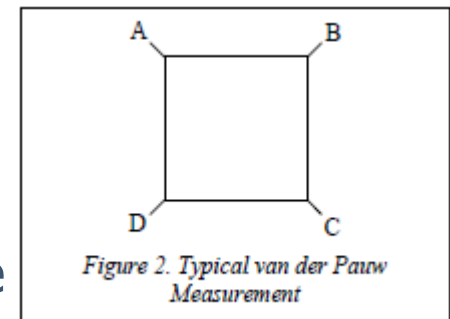
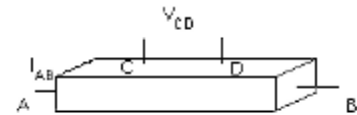
Ag paint



Res DC

Preparación e Instalación de Muestras

- Método estándar por 4 puntos (cables)
 - 4 contactos diferentes a lo largo de una línea en la superficie de la muestra
 - Cables de corriente I_+/I_- en los extremos de la muestra, V_+/V_- entremedias
 - El flujo de corriente es uniforme entre los contactos de voltaje V_+/V_-
- Método van der Pauw
 - usa 2 medidas para determinar directamente ρ
 - Los contactos se hacen en el perímetro de muestras de espesor uniforme, homogéneas e isotrópicas
 - Ver AN1076-304
- Método por 2 puntos (únicamente para $R > 1 \text{ M}\Omega$)

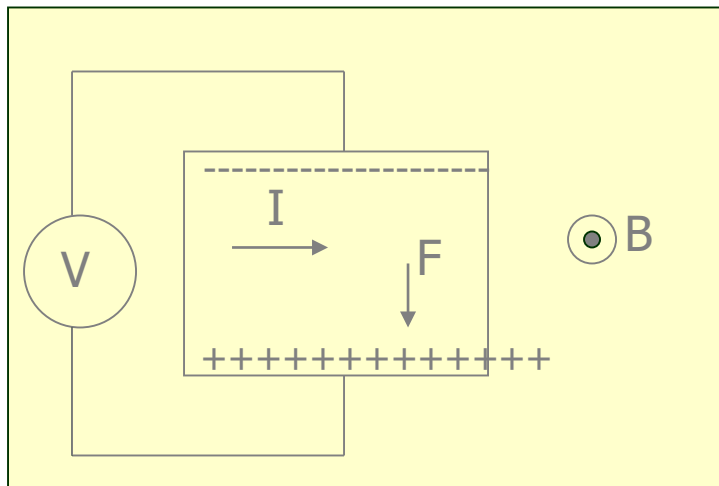


Res DC

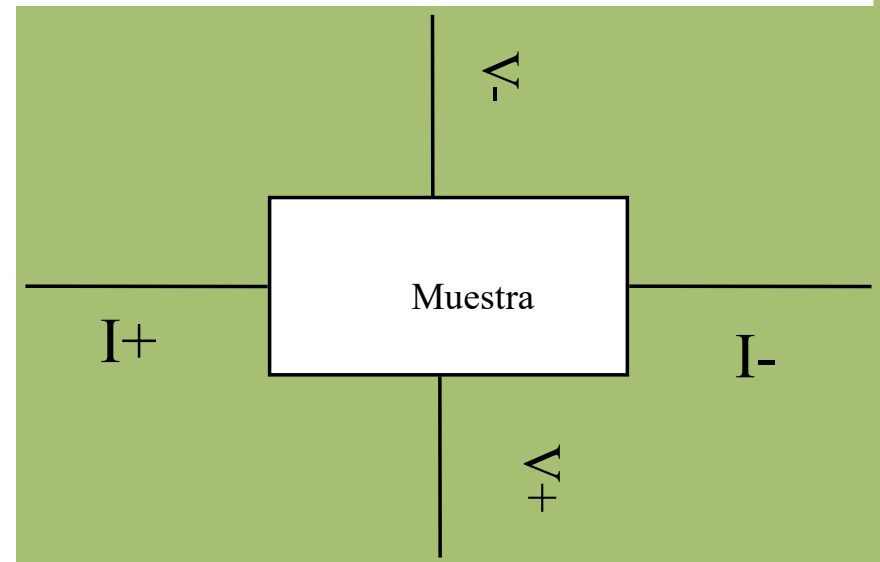
Preparación e Instalación de Muestras

Medida Efecto Hall

- Voltaje perpendicular a la corriente y campo magnético aplicado



Para portadores
con carga +



Res DC

Preparación e Instalación de Muestras

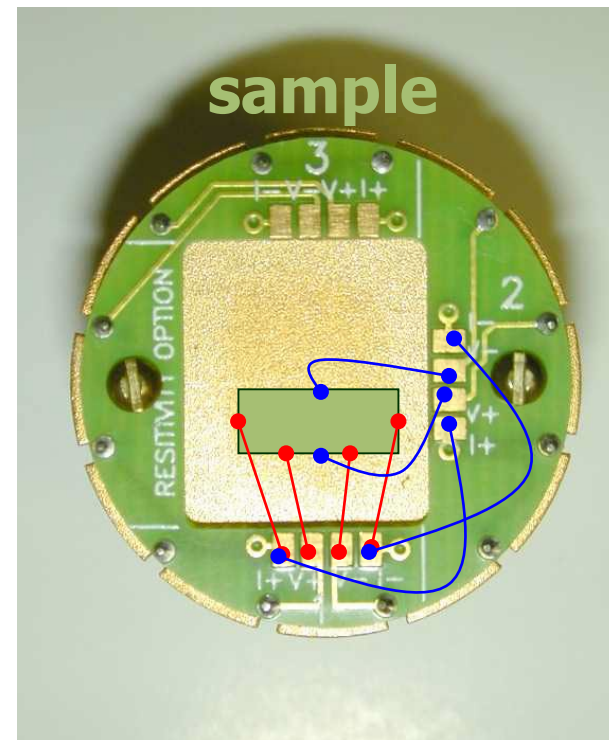
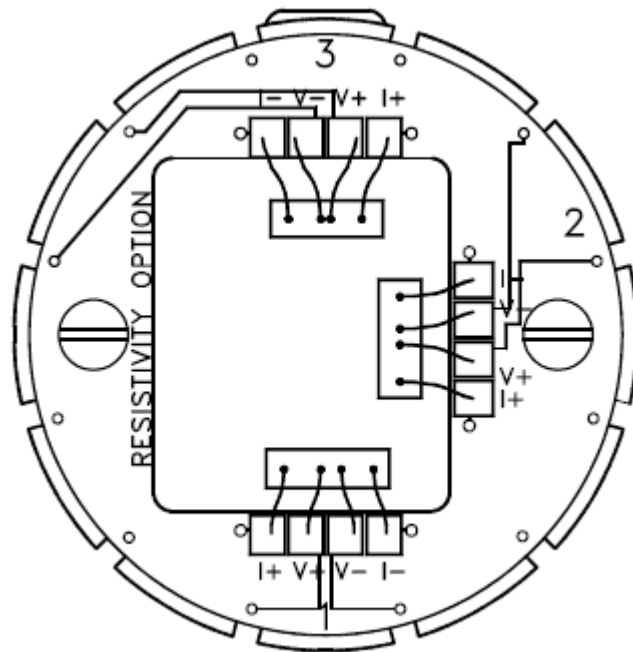
Ch.1: res M1

Ch.2 : res M2

Ch3. : res M3

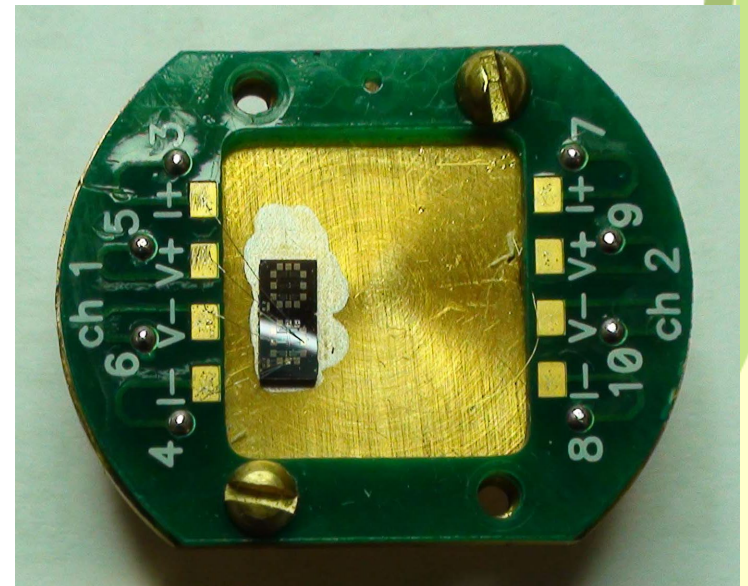
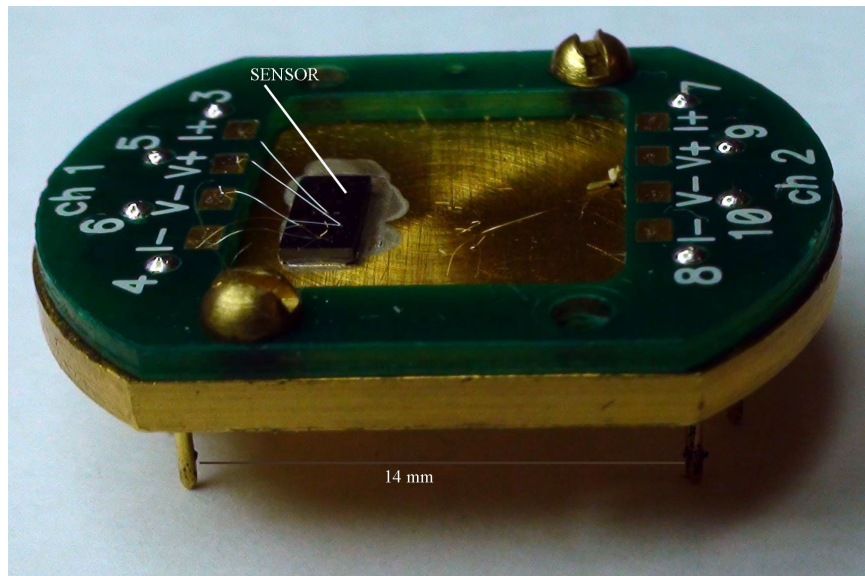
Ch.1: resistivity

Ch.2 : Hall



Res DC

Preparación e Instalación de Muestras



Res DC

Preparación e Instalación de Muestras

Método van der Pauw^(*)

- Muestra de forma arbitraria
- Espesor conocido y uniforme
- Áreas de contacto pequeñas en el perímetro de la muestra

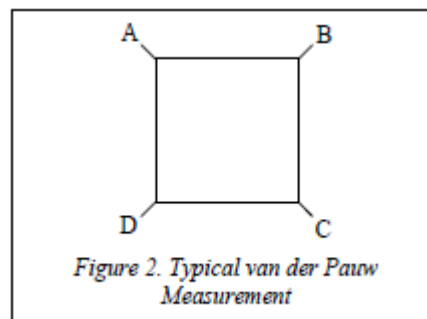
$$\exp(-\pi R_{AB,CD} d/\rho) + \exp(-\pi R_{BC,DA} d/\rho) = 1$$

d: espesor de la muestra

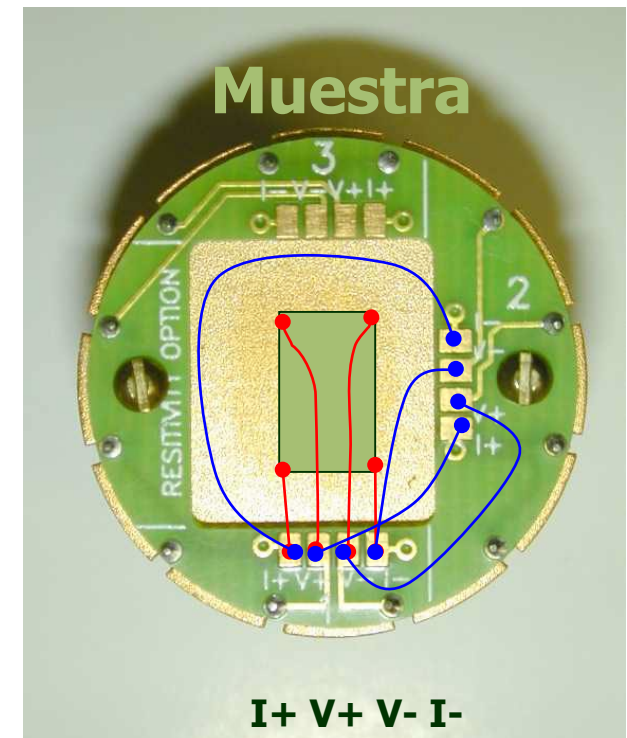
ρ : resistividad

$$R_{AB,CD} : V_D - V_C / I_B - I_A$$

$$R_{BC,DA} : V_A - V_D / I_C - I_B$$



Resistividad van der Pauw usando Ch.1 y Ch.2

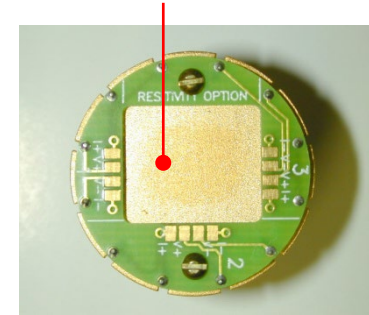


(*)L. J. van der Pauw, Philips Res. Repts. **13**, p. 1 (1958).

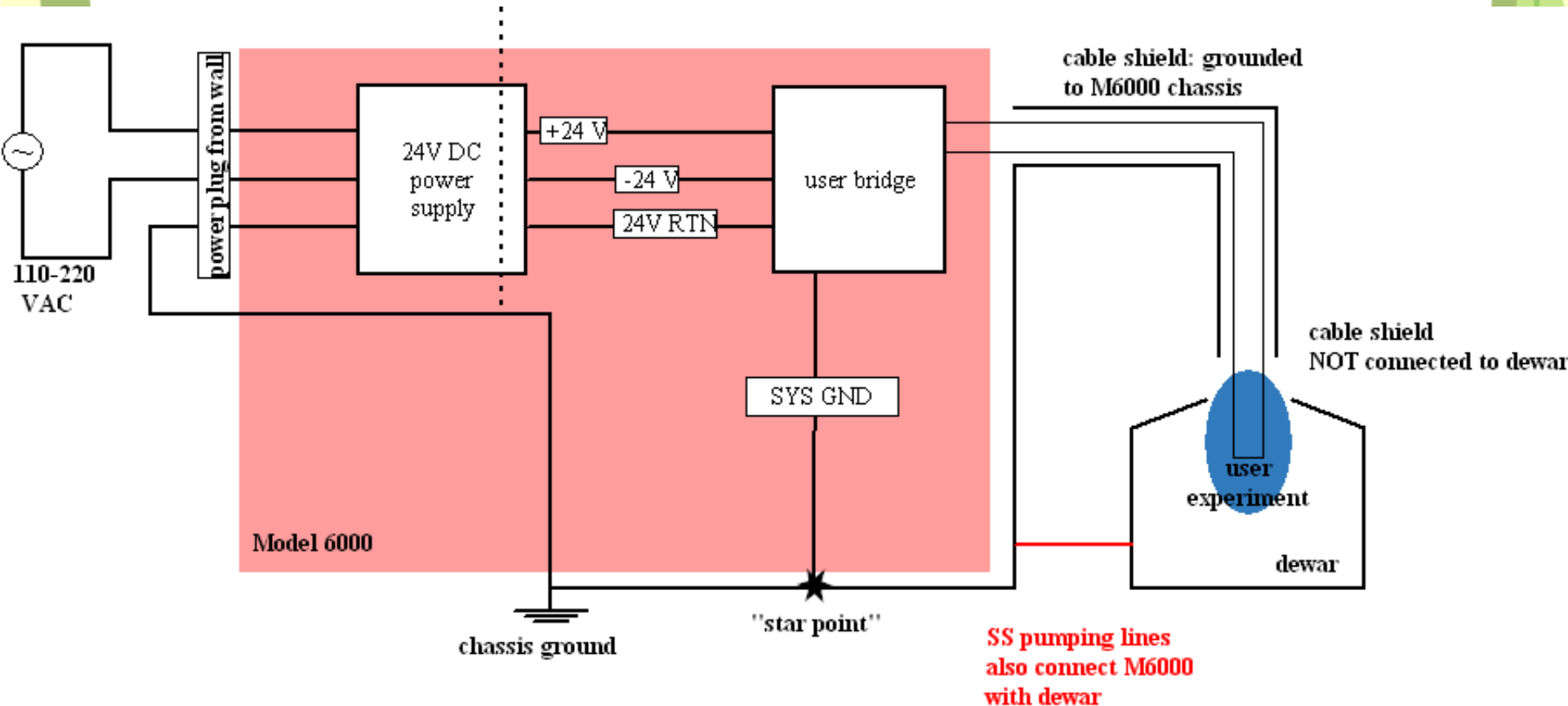
Res DC

Preparación e Instalación de Muestras

- Aislar la muestra de la superficie del portamuestras (puck)
 - Kapton tape
 - Papel fumar + barniz
 - Substrato aislante (thin films)
- Camino a tierra del puck:
 - puck / cámara muestra/ PPMS / bomba vacío/ clavija red
- Todas las medidas sensibles al ruido tienen que estar aisladas de la tierra del sistema
- Chequear contactos con test box



PPMS grounding



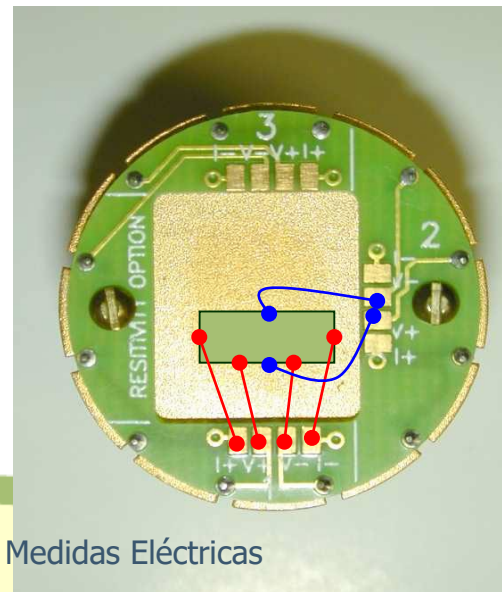
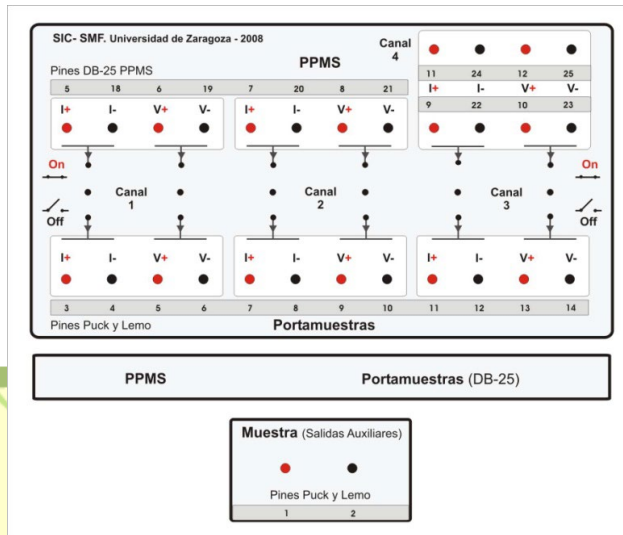
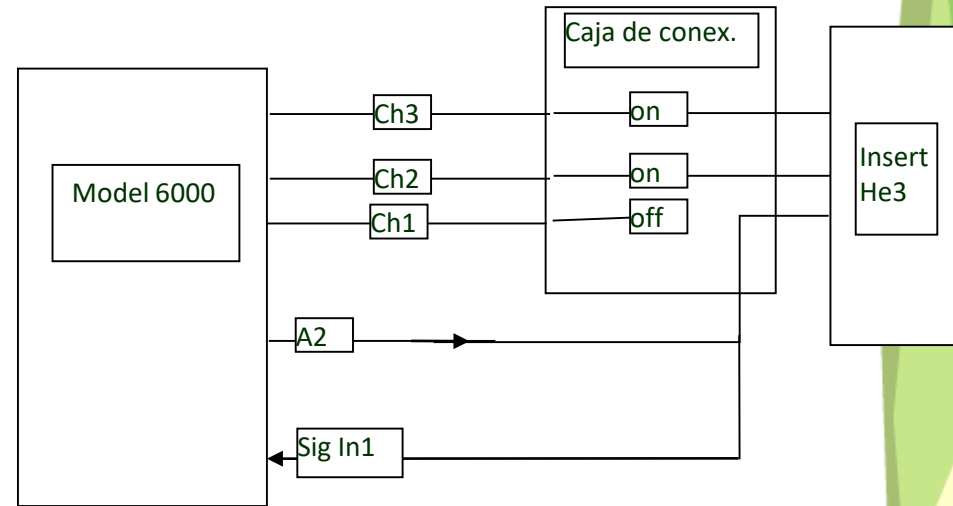
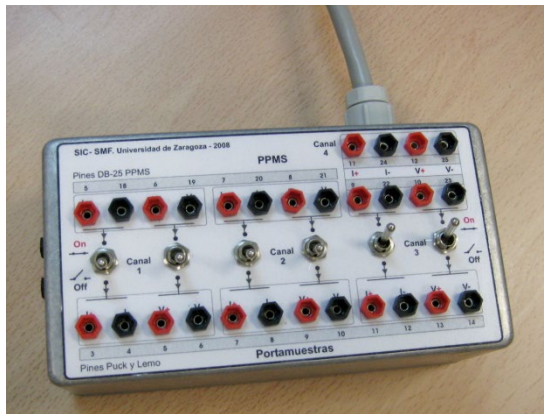
PPMS grounding

- El dewar está conectado a tierra únicamente a través de la línea de bombero (rojo) que va a la bomba de vacío.
- La pantalla del cable del experimento está conectado a la tierra de la electrónica, no al dewar.
- Muestras sensibles ESD:
 - 1) Conectar todos los cables de la opción al PPMS
 - 2) Encender la electrónica, activar la opción, pero no aplicar corriente
 - 3) Conectar a la tierra del Modelo 6000 el útil de inserción y al usuario durante la inserción.

Preparación e Instalación de Muestras

Uso caja conexiones externa

- Acceso externo canales
- Cableado entre canales



Medidas Eléctricas

Res DC

Medidas

- Tipos medida:
 - Resistance R
 - Modo corriente: I varía según la R de la muestra para tener el máximo voltaje (o potencia)
 - Medidas I constante: limitar I_{max}
 - Parámetros: I_{max} , P_{max} , V_{max}
 - I_{max} , P_{max} depende muestra
 - V_{max} 95 mV
 - Calibration mode:
 - standard : recomendado, más lento pero más preciso
 - Fast: más rápido
 - Modo AC (o DC cuando invertir la polaridad afecta a la muestra)
 - “Scan Excitation”: R vs. I (como curva I-V)
 - Mide voltaje a cada valor de la corriente d.c.
 - Test para ver si los contactos son buenos: R.vs.I debe ser plano
 - Modo voltaje
 - Se mide con corriente fija y se lee el valor del voltaje en mV
 - Ver AN 1076-303

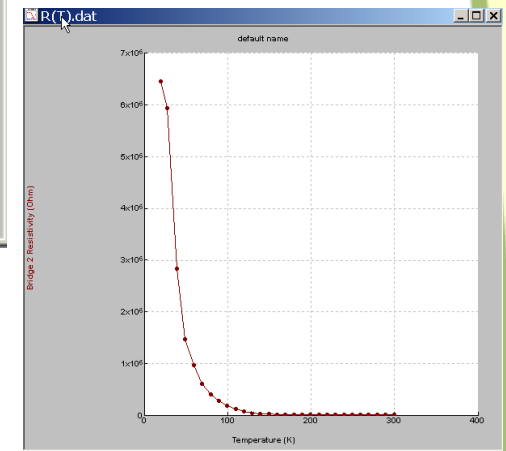
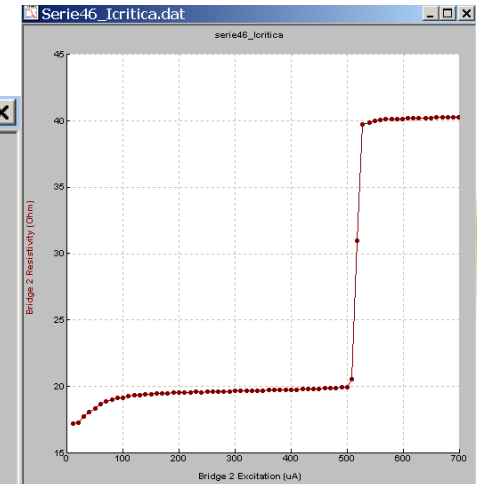
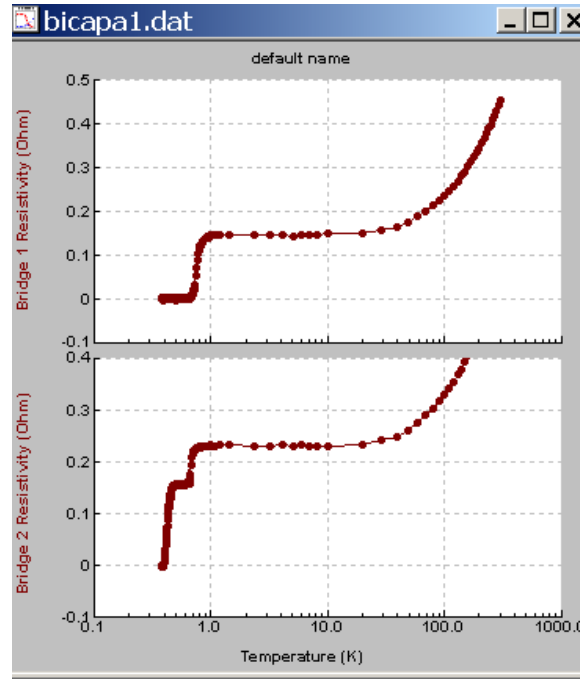
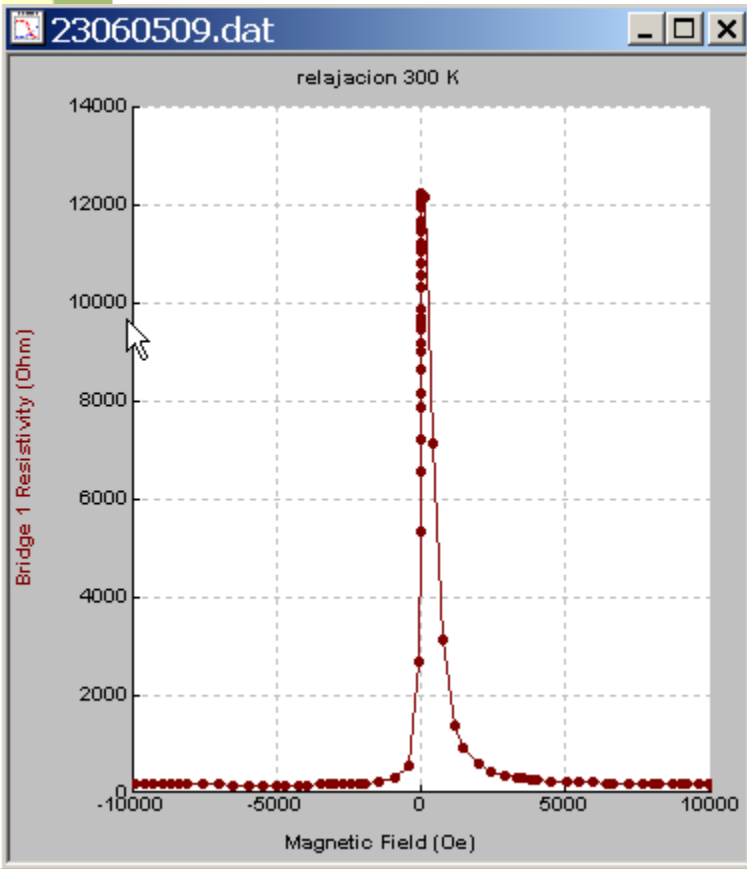
Res DC

Ejemplos Secuencias

- $R(T,H)$
 - Medida de la R en función de la T en modo rampa. Dos canales con distinta I_{max} .
 - Medida en función H a 10K, modo fast
- $R(I)$
 - Scan en corriente a 300K y 10K

Res DC

Ejemplos Medidas



Res DC

Interpretación Resultados

- resistividad ($R \cdot A/L$)
 - A/L introducido por el usuario al crear el fichero de datos
- Excitation: corriente
- Std. Dev.
 - sigma del n^o medidas (25)
- Number of Readings
- Resistance (R)
- no .RAW data
- No se reporta error:
 - Fallo fuente corriente
 - Saturación voltímetro

	Field Name	Field Value
1	Time Stamp (minutes,relative)	2.782
2	Status (code)	4881
3	Temperature (K)	4.20024991035461
4	Magnetic Field (Oe)	-0.0949999988079071
5	Sample Position (deg)	0
6	Bridge 2 Resistivity (Ohm)	17509.03875
7	Bridge 2 Excitation (μA)	0.800999999046326
8	Bridge 2 Std. Dev. (Ohm)	1.86902650745856
9	Number of Readings	25
10	Bridge 2 Resistance (Ohms)	17509.03875

Res DC

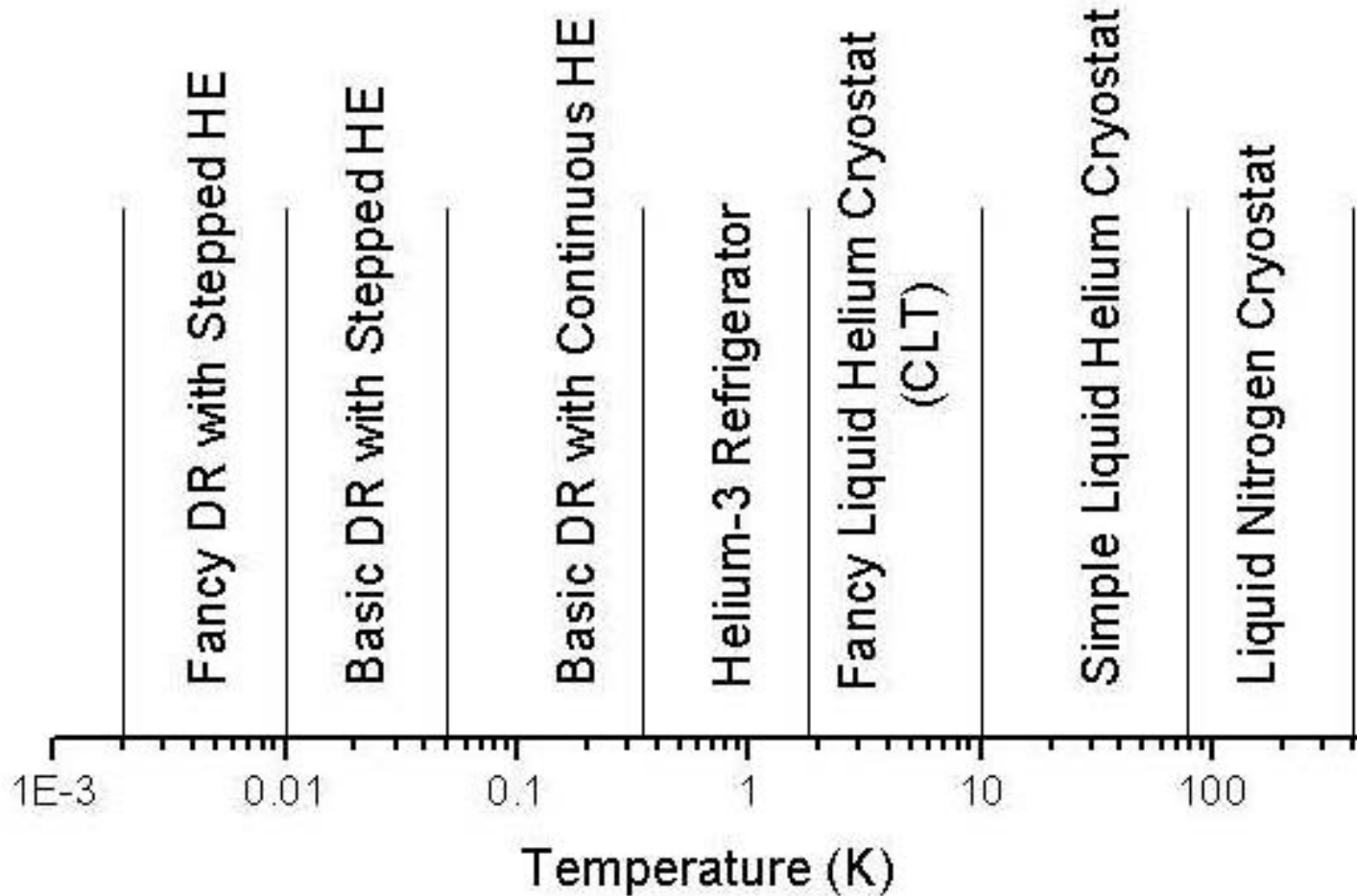
Interpretación Resultados

- **Fuga de modo común** (AN 1584-201)
 - síntomas: sobre todo en medidas de bajas R, da lugar a un desplazamiento en el valor de la R (+ o -). Puede dar valores negativos de R
 - Evitar asimetrías en el cableado
 - Evitar resistencias de contacto en I+ o I- : sesgo en el voltaje
- **Contactos resistivos**
 - R depende de la corriente
 - Verificar con un scan excitación I-V (no lineal)
 - Valores negativos de resistencia (rehacer contactos)

Refrigerador He3 para el PPMS

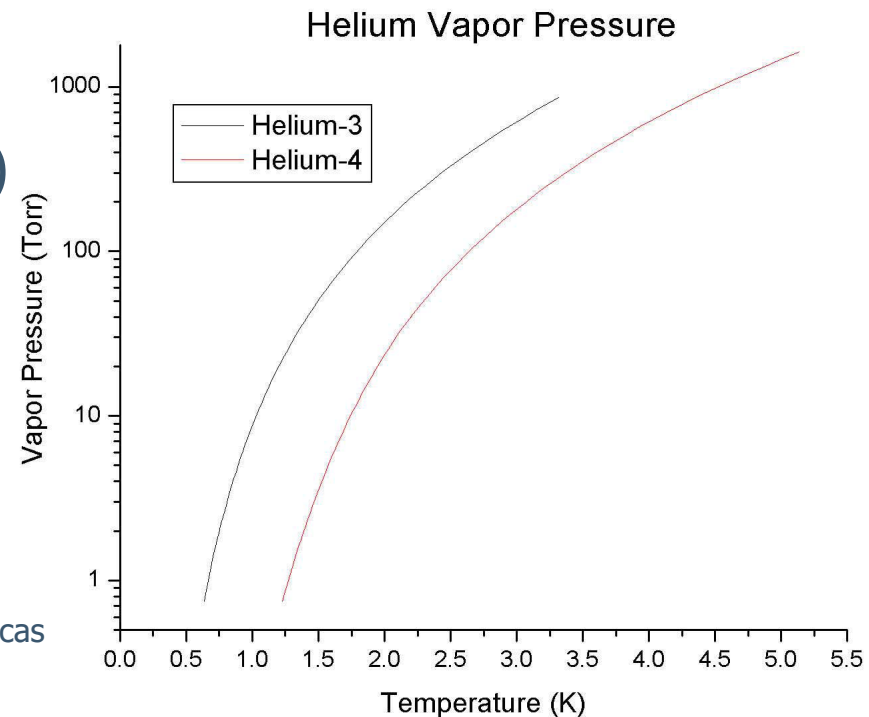
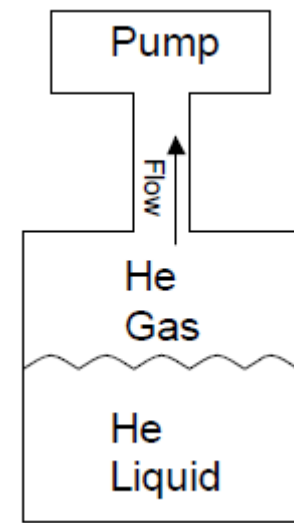
- Permite bajar T por debajo de la temperatura base del PPMS
 - T_{min} = 0.35 K
- Opciones compatibles con He3:
 - Resistividad DC
 - ACT
 - Heat Capacity
- Física de la Temperatura: $e^{-E/k_B T}$ (k_B es la constante de Boltzmann)
 - De 1.9 a 0.35 K es similar a ir de 10 a 1.9K.

Rangos de T's para distintos refrigeradores



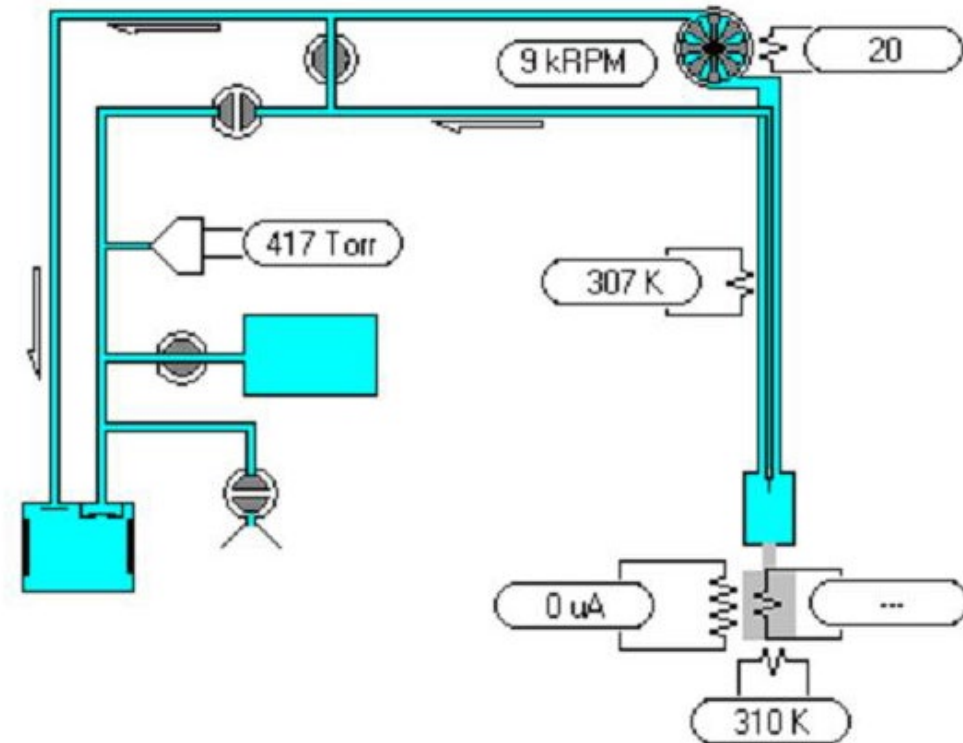
He3 cooling

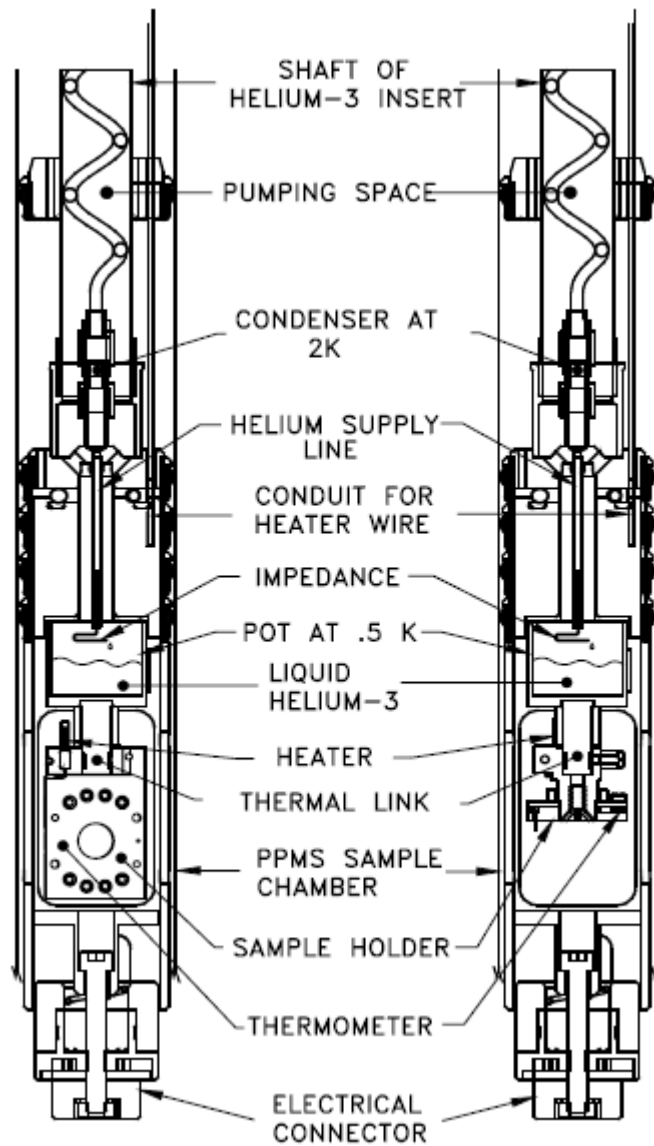
- Pump on closed vessel containing liquid helium
- Evaporative cooling
- Follow vapor pressure curve: reducing P reduces T
- Cooling power = (flow rate) * (heat absorbed) \propto (vapor pressure) * (heat absorbed)
- T_{min} when **cooling power = heat leak**



He3 Insert

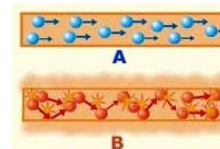
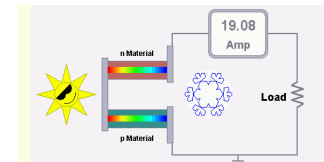
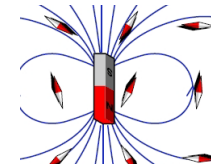
- Pumped He-4 cooling to condense He-3
- He-3 drips from condenser to He-3 pot through an impedance
- Pump on He-3 pot to cool
- Circulate pump output back to condenser
- Valves to allow one-shot mode





Opciones de Medida

- Medidas Magnéticas
 - VSM: Magnetómetro de muestra vibrante
 - ACMS: Magnetómetro AC y DC de extracción
 - TS: Susceptibilidad magnética transversal
 - AFM/MFM: Microscopía de Fuerza Atómica y Fuerza Magnética
- Medidas Térmicas
 - HC: Capacidad calorífica
 - TTO: Conductividad térmica
- Medidas Eléctricas
 - ResDC: Resistividad eléctrica DC
 - ACT: Conductividad eléctrica AC
- Medidas ad hoc (custom-made): control externo de instrumentos



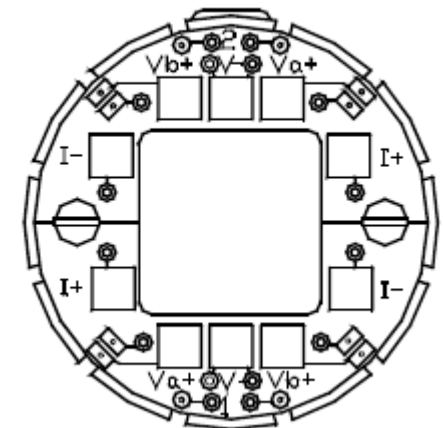
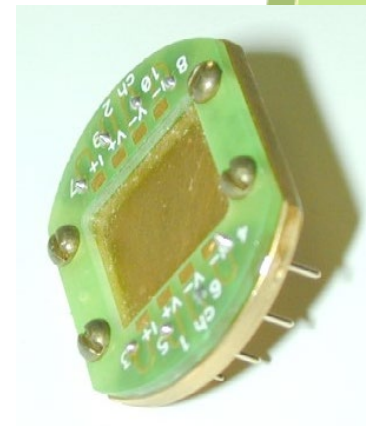
Opción ACT Esquema

- Principio de Operación
- Hardware
- Preparación e instalación de muestras
- Medidas: parámetros y secuencias
- Interpretación de resultados

ACT

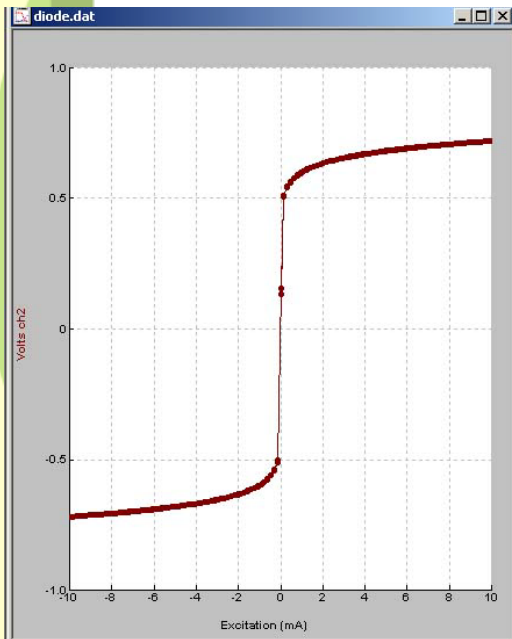
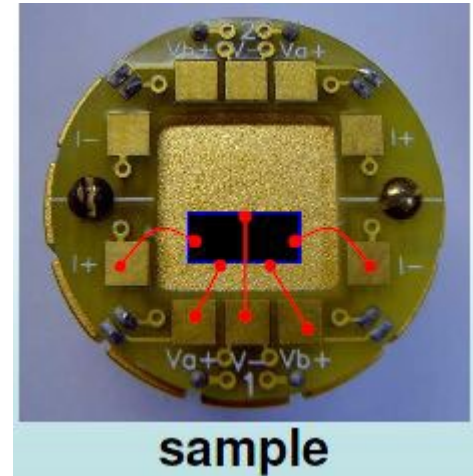
AC Transport

- **Optimizado para medir bajas resistencias**
 - Mejor precisión y exactitud para $R < 100 \Omega$
- Dos canales de medida (multiplexado)
- Amplio rango de Temperaturas con opción He-3
 - 0.35 K a 400 K
- Rango de campo magnético hasta 14 T
- Medida en función de la Presión
 - Celda HPC -30 hasta 3.0 Gpa

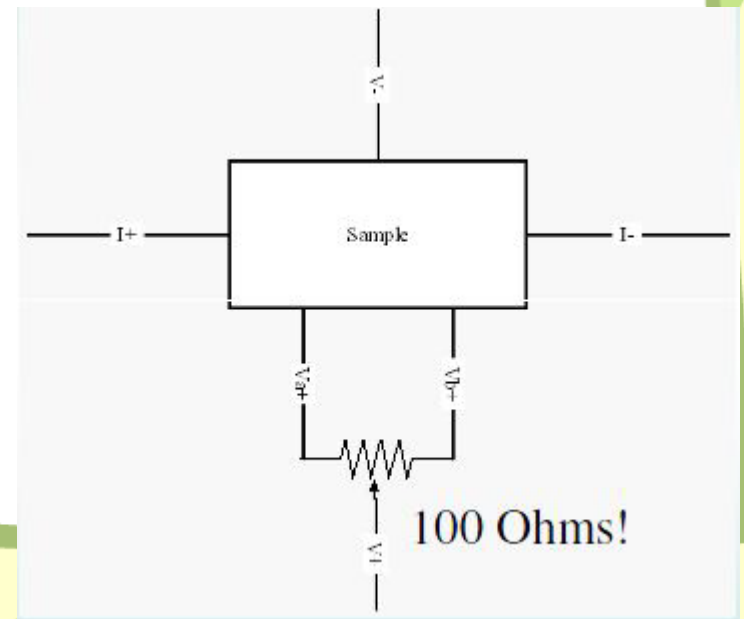


ACT

- Tipos de medidas:
 - Resistividad
 - Efecto Hall (método 5 puntos)
 - Curva I-V (DC)
 - Corriente Crítica (DC)
 - Parte reactiva: L o C

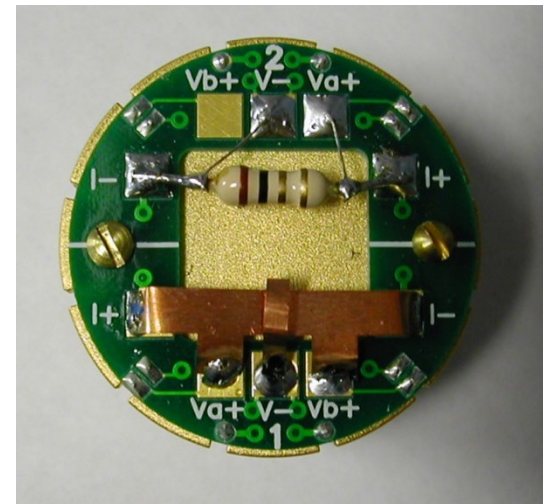


Curva I-V de 2 diodos en paralelo en oposición



ACT

- Rango en frecuencia:
 - d.c. (I-V, critical current)
 - 1 Hz a 1 kHz (resistivity, Hall)
- Nivel de ruido señales ac: $1 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ (gain 1000)
 - Impedancia de entrada en la etapa x1000 es $\sim 10 \text{ k}\Omega$, muy baja!
 - Para x1, x10, x100 (PGA) impedancia de entrada es $\sim \text{M}\Omega$
- Rango fuente de corriente: $10 \text{ }\mu\text{A}$ to **2 A**
- Voltímetro= $\pm 5 \text{ V}$
- Rango de Impedancias:
 - $1 \text{ n}\Omega$ (2 A) – $0.5 \text{ M}\Omega$ ($10 \text{ }\mu\text{A}$).
 - ‘Sweet spot’ $1 \text{ }\mu\Omega$ - $10 \text{ k}\Omega$



ACT



Medida parte reactiva: Medida L y C

• $Z_L = L\omega$

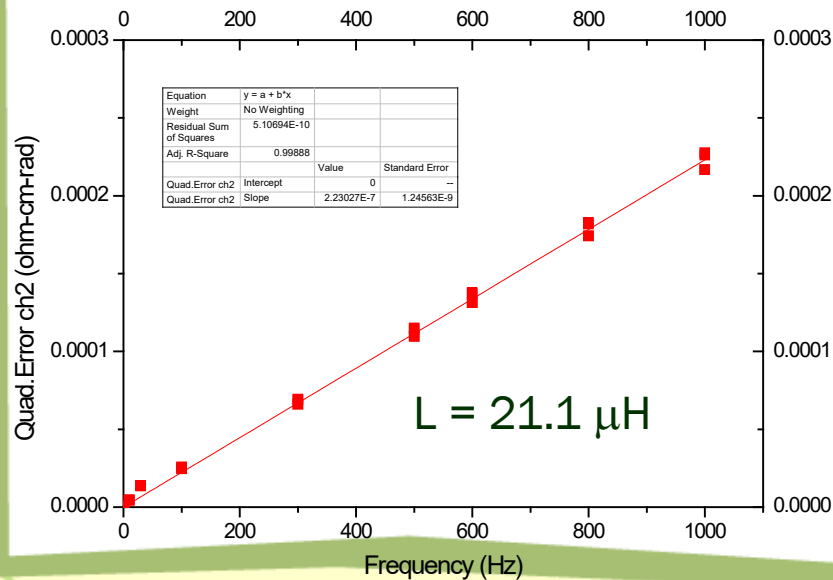
L min (1000 Hz) = 79.6 pH

L max (1Hz) = 79.6 kH

• $Z_C = 1/C\omega$

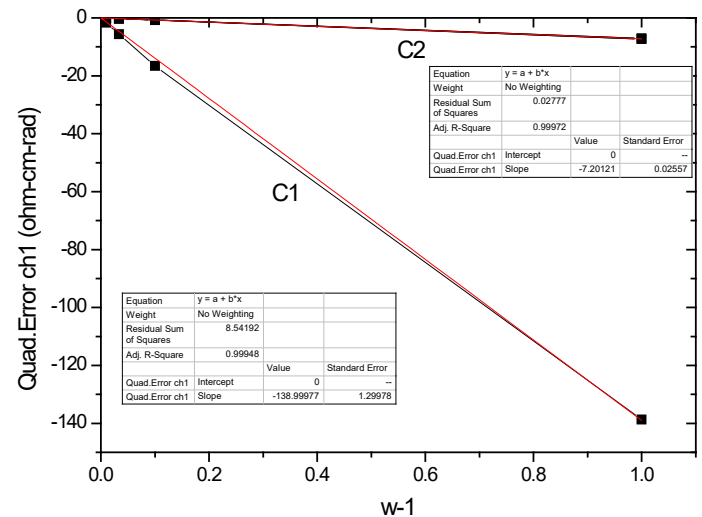
C min (1000 Hz) = 0.32 nF

C max (1 Hz) = 79.6 kF



C1 = 2.221 μF

C2 = 44.64 μF



Principio de Operación

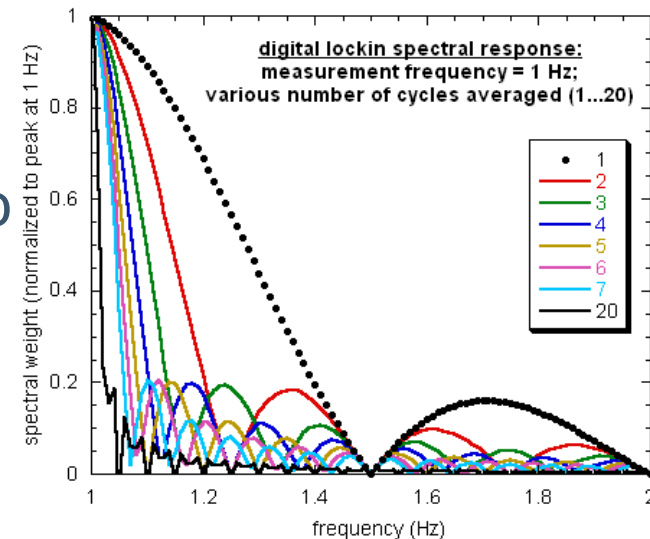
- Resistividad $\rho = R * (\text{Area}/\text{Longitud})$
 - **Medida a.c.**
 - Excitación sinusoidal I, detección lockin del Voltaje V
 - $R = V/I$
- Coeficiente Hall $R_H = \rho / B$
 - **Medida a.c.**
 - Se mide la resistividad ρ en función del campo magnético B
 - Calcula R_H
 - Posibilidad de medir por 5 puntos: reduce el desbalance de las tomas de voltaje
- Curva I-V
 - **Medida d.c.** Se hace una lectura del voltaje para cada valor de la corriente
- critical current
 - **Medida d.c.**
 - curva I-V donde la corriente se barre en modo rampa hasta que se alcanza un valor de voltaje umbral (evita calentamiento/daño de muestras SC)
 - Únicamente da el valor de la corriente correspondiente al voltaje umbral

Principio de Operación ac

- Lock-in digital a frecuencia ω
 - Se suman varios ciclos en cada set de medidas $V(t)$
 - DSP obtiene $V_\omega =$ amplitud de la señal de voltaje a la frecuencia ω
 - Se obtiene la información de armónicos que da información de la distorsión de la señal $V(t)$
- Se estrechan las bandas en ω con el promediado
- Lóbulos debido a tiempo de medida finito
- Nodo siempre a $1.5 \times \omega$
- Mismo método lock-in:
 - VSM
 - ACMS

$$V_\omega = \int_0^{2\pi/\omega} \sin(\omega t) \cdot V(t) dt$$

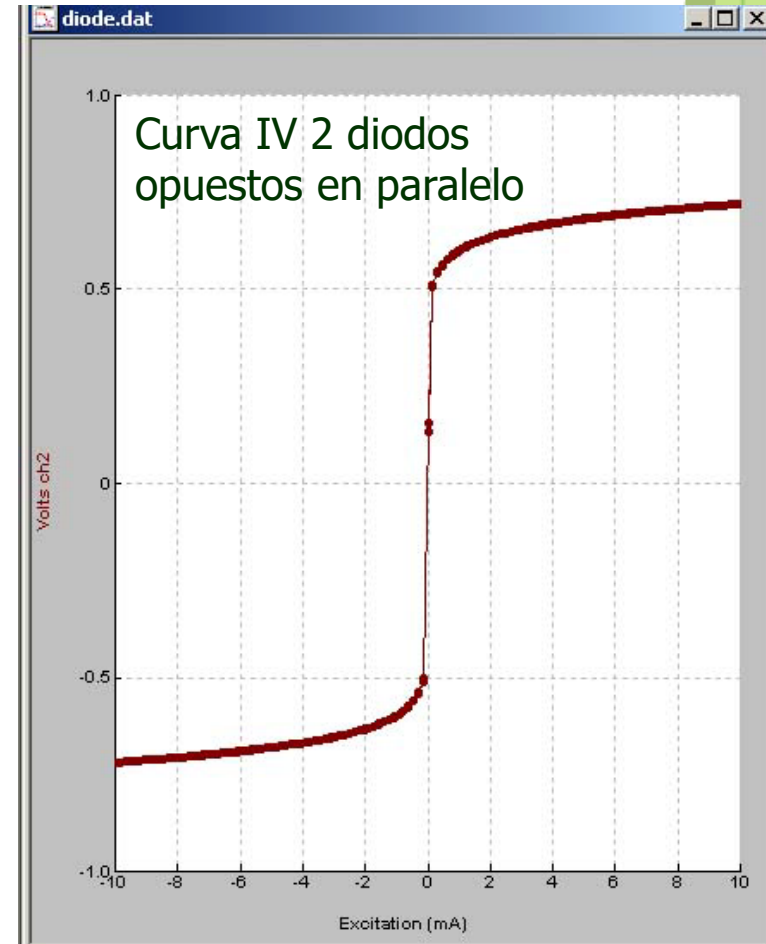
$$V_{N\omega} = \int_0^{2\pi/\omega} \sin(N\omega t) \cdot V(t) dt$$



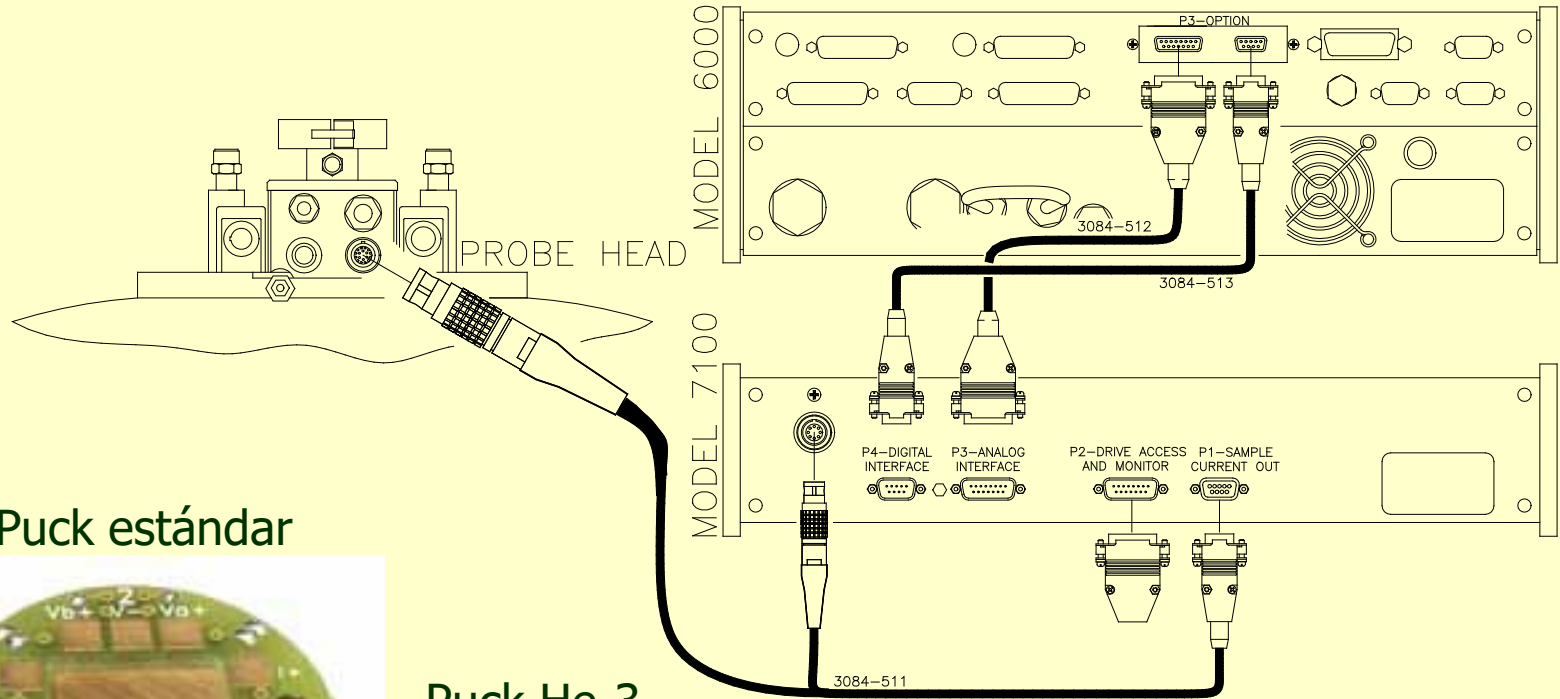
Principio de Operación dc

I-V

- Medida V variando I
- Salida de la fuente de corriente es una onda triangular
- A cada paso se mide el voltaje d.c.
 - Espera "settling time" antes de la lectura
 - Promedia N x (ciclos corriente)
- Muestras resistivas
 - Línea recta en la región que cumple la ley de Ohm:
 $V=IR$
- Línea curva, a veces con histéresis para muestras interesantes



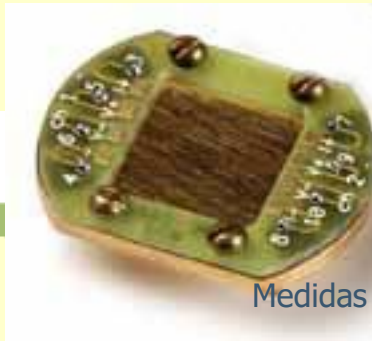
ACT Hardware



Puck estándar

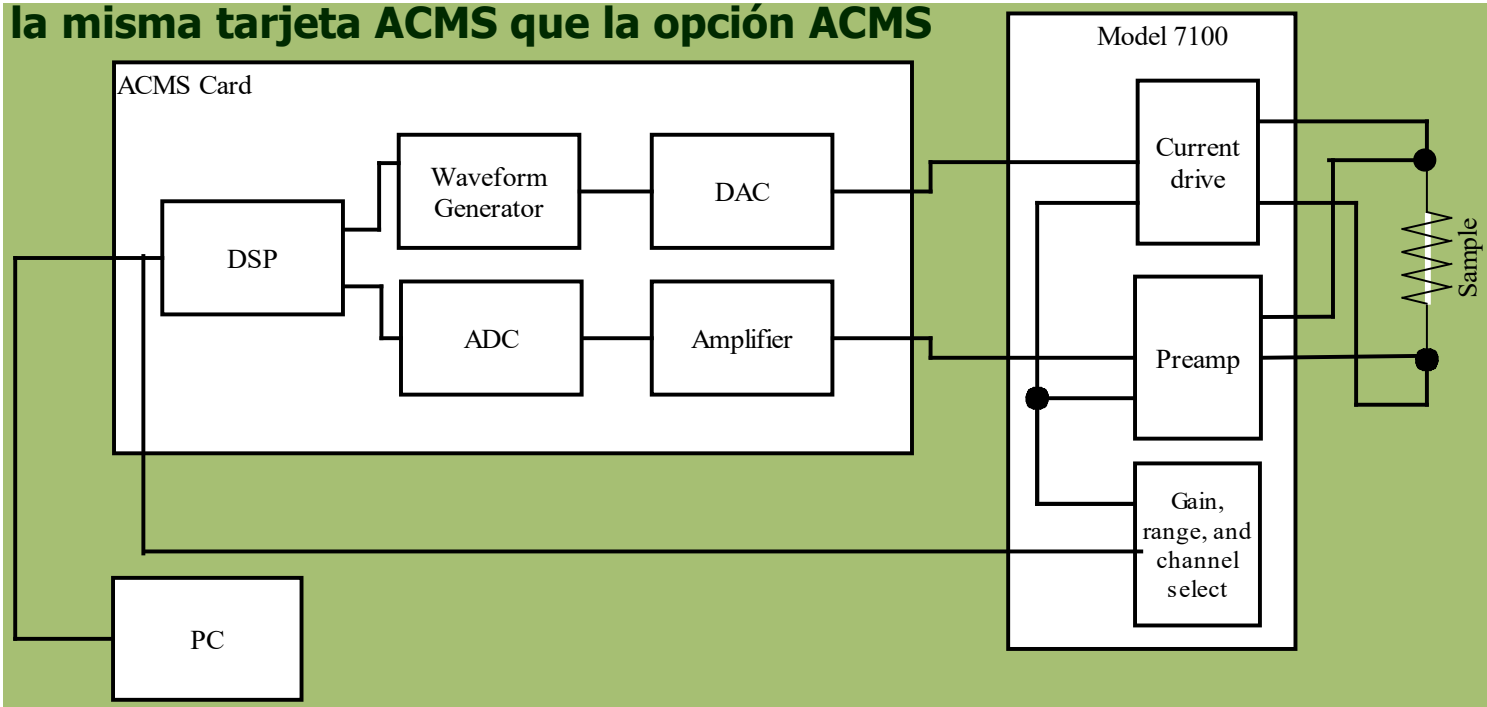


Puck He-3



ACT Hardware

ACT usa la misma tarjeta ACMS que la opción ACMS



Tarjeta ACMS

Genera la onda de excitación

Digitaliza el voltaje de la muestra

Multiplexado a 2 canales (en abierto cuando no se mide)

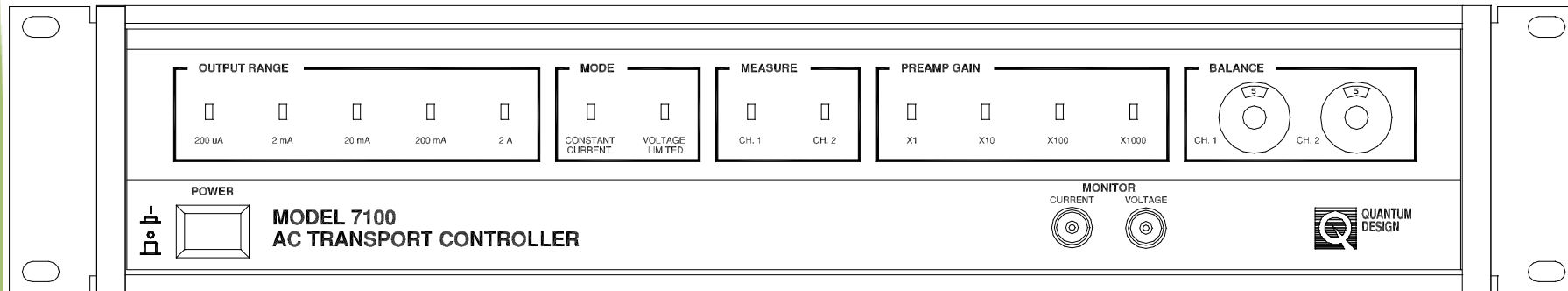
Modelo 7100

Fuente de corriente hasta 2 A

Preamplificador de la señal

ACT Hardware

Modelo 7100



- LEDs muestran el estado de ganancia, rango y canal
- 2 Potenciómetros de balance para la medida por 5 puntos del efecto Hall2
 - Para otras medidas, poner a 0
- Output monitors (BNC's)
 - Útiles para diagnóstico
 - Imon: 2 V máxima corriente (depende del rango)
 - Vmon: voltage X ganancia.
 - (Ganancia del modelo 7100 únicamente, no la de la tarjeta ACMS)

ACT Hardware

BE CAREFUL!!!

- Corriente tiene 5 rangos:

200 μ A	2 mA	20 mA	200 mA	2A
-------------	------	-------	--------	----

- Tarjeta ACMS presenta 4 ganancias Voltaje:

1	5	25	125
---	---	----	-----

- Ganancias preamplificador (modelo 7100):

1	10	100	1000
---	----	-----	------

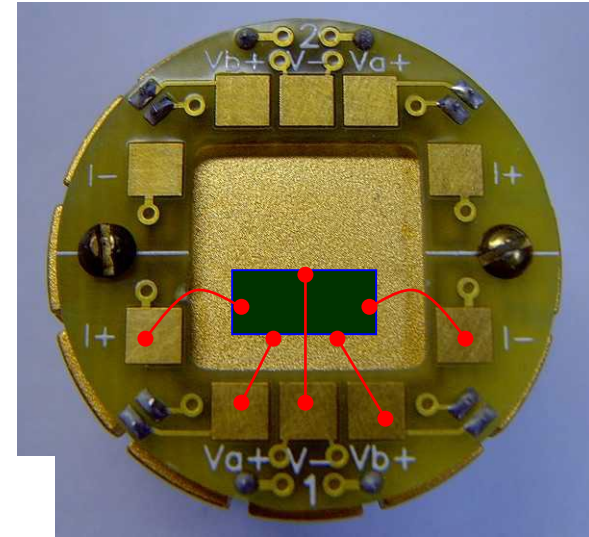
- Total rangos de voltaje: tarjeta ACMS X modelo 7100 ->
– 16 rangos de voltaje:

5 V (ganancia 1) a 40 μ V (ganancia 125000)

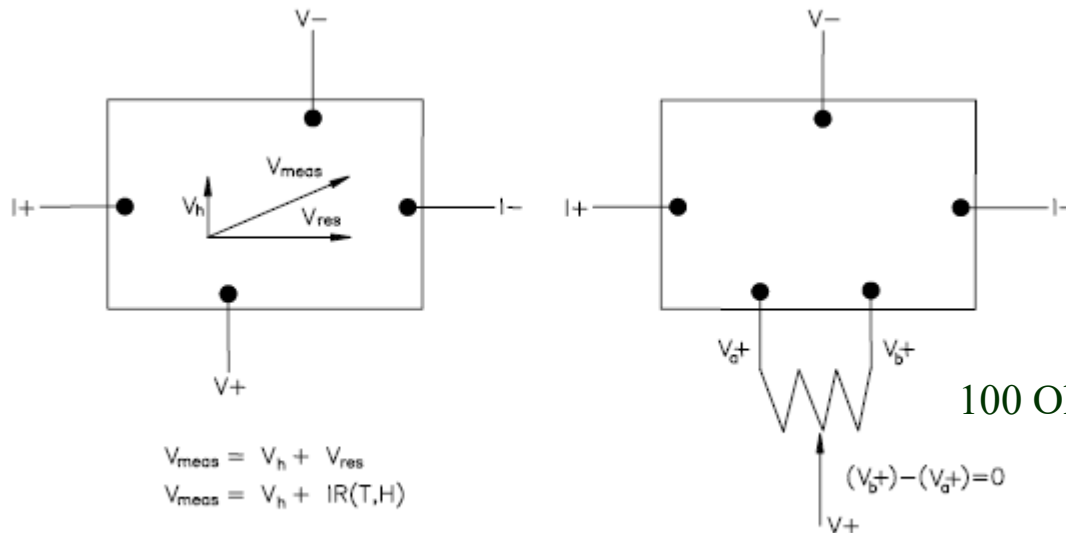
Preparación e instalación Muestras

Medida Hall por 5 puntos

- Se anula el voltaje a campo cero
- Posible para muestras poco resistivas
 $R < 100 \Omega$
 - Potenciómetros 100 Ohm
- Medida por 4 puntos: usar V_{a+}



muestra



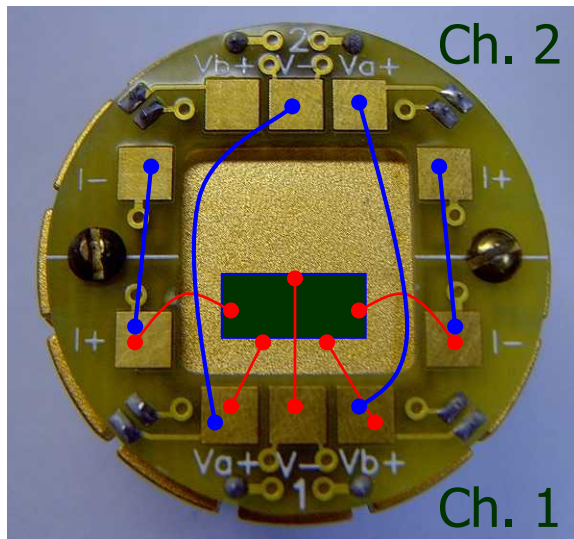
100 Ohms!

A. Offset with a Four-Wire Hall Coefficient Measurement

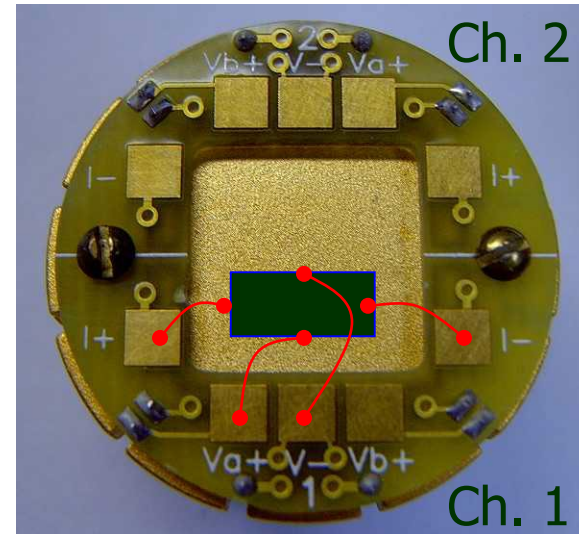
B. Offset Nulling with a Five-Wire Hall Coefficient Measurement

Preparación e instalación Muestras

Ch.1: 5-probe Hall
Ch.2 : resistivity



Ch.1: 4-probe Hall



Muestra

Métodos contactar los cables:

Soldadura, Pintura Ag, epoxy Ag, soldadura In, microcontactos

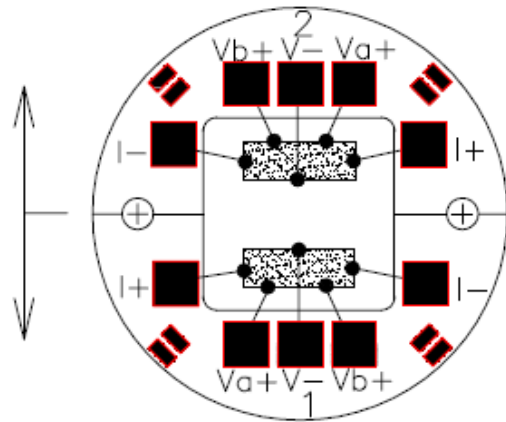
Aislar la muestra de la tierra (puck)

Cinta Kapton, papel fumar con barniz, substrato

ACT

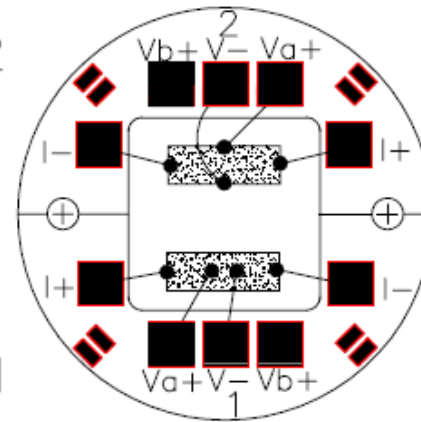
Preparación e instalación Muestras

Five-Wire
Hall Coefficient
Measurement



CH2

CH1



Four-Wire Hall Coefficient
Measurement (Channel 2)
and Resistivity, I-V Trace,
and Critical Current
Measurement (Channel 1)

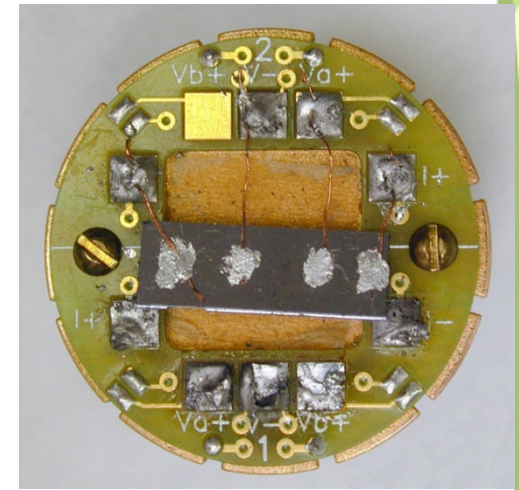
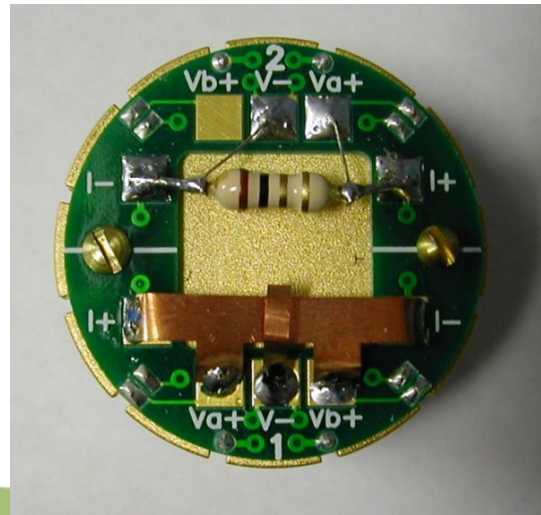
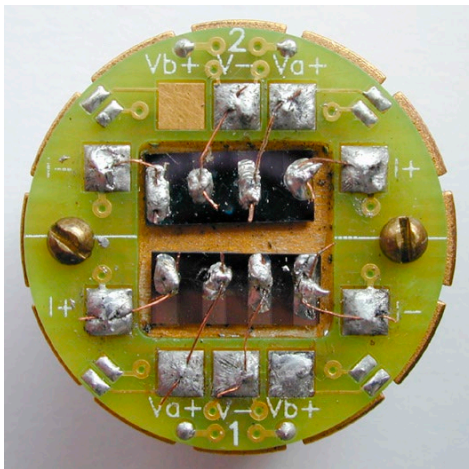


Lámina delgada de Niobio

Medidas Eléctricas

ACT

Preparación e instalación Muestras

Verificación Contactos

- Testear los contactos una vez montada la muestra
 - Usar la test box
 - Usar multímetro (DMM) o conectar el cable del ACT
- Si la $R_{\text{contactos}}$ es demasiado alta
 - $R_{\text{medida}} = R_{\text{cables}} + R_{\text{contactos}} + R_{\text{contactoDMM}} + R_{\text{muestra}}$
 - R_{cables} conocida para cada material (Ag,Pt,Cu)
 - $R_{\text{contactoDMM}} \sim 0.2 \Omega$
 - R_{muestra} medir por 4 puntos (ACT)
- R_{medida} debe ser independiente de la intensidad de corriente y de la polaridad
 - Sino, los contactos no son óhmicos (barrera óxido)
- Métodos para disminuir $R_{\text{contactos}}$
 - Retocar con pintura de Ag y dejar secar bien
 - “sparking” (CUIDADO!)
 - Fuente de corriente bipolar (~ 100 mA): el transitorio crea altos voltajes a través de las uniones resisitivas y puede romper la barrera de óxido.



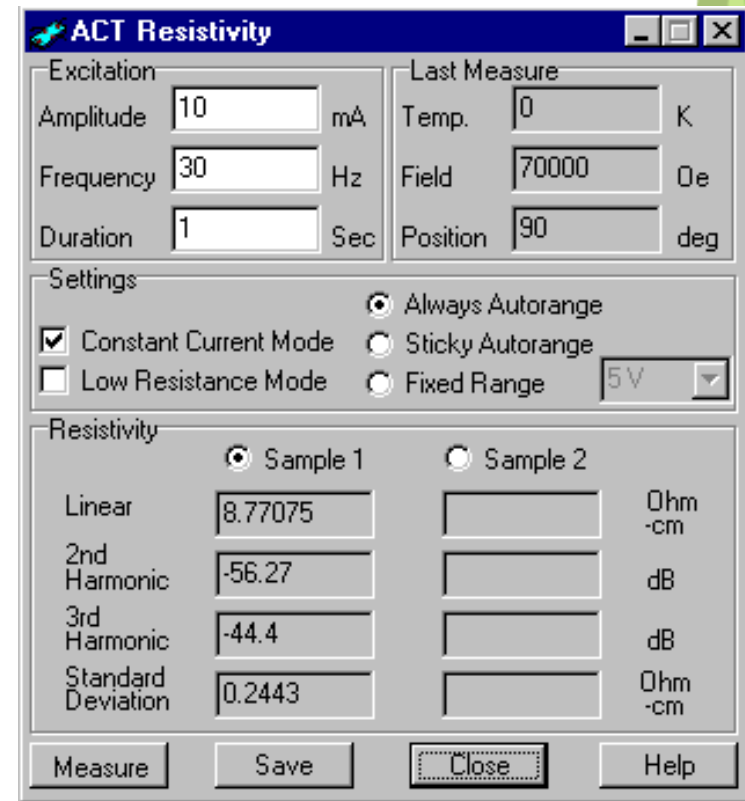
ACT

Medidas

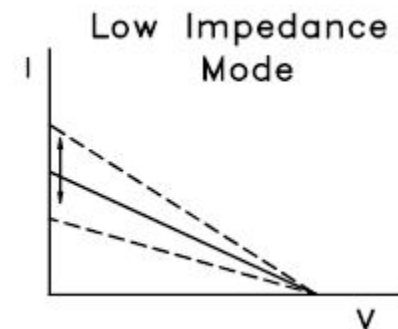
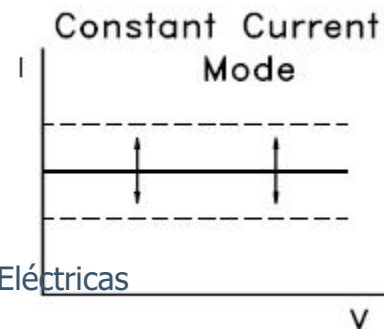
- Montar la muestra
- Instalar la muestra
- Chequear a temperatura ambiente
 - Resistividad o curva IV
 - Balance de potenciómetros para efecto Hall por 5-puntos
- Comenzar secuencia de medida
- Tipos de medidas:
 - Resistividad
 - Efecto Hall (método 5 puntos)
 - Curva I-V (DC)
 - Corriente Crítica (DC)
 - Parte reactiva: L o C

Medidas Resistividad (Impedancia)

- Medida por 4 puntos
- Parámetros:
 - Frecuencia: 17 Hz, 103 Hz (1Hz-1kHz)
 - Usar números primos
 - Evitar múltiplos frecuencia de red 50 Hz
 - Amplitud de corriente (10 μ A to **2 A**)
 - Valor mínimo que da buena señal (evitar calentamiento)
 - Duración
 - Valor mínimo que da buen promedio y evita el autocalentamiento
- Modo: Constant Current Mode
 - Low impedance mode:
 - $R < 1 \mu\Omega$
- Usar 'Always Autorange'



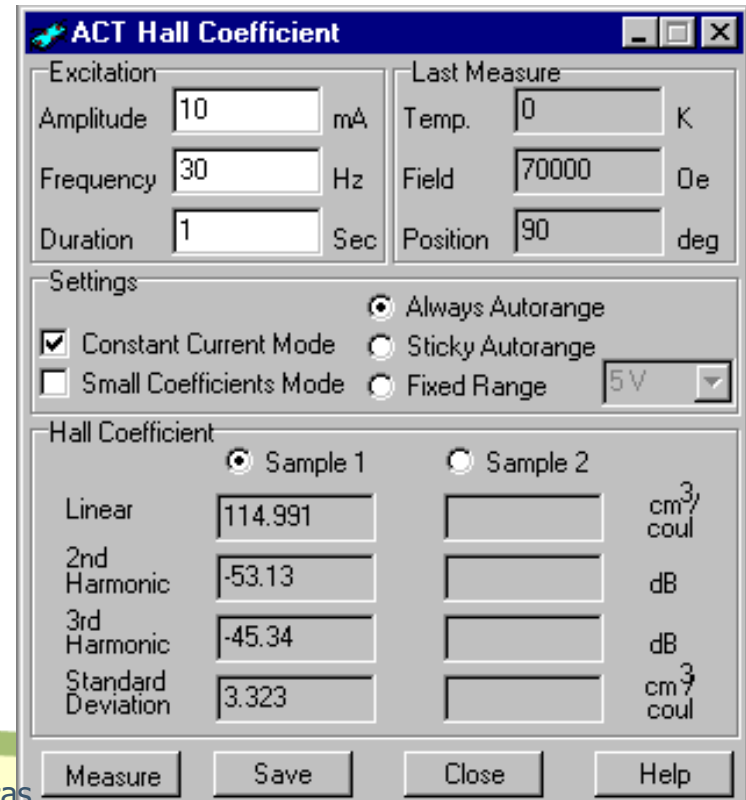
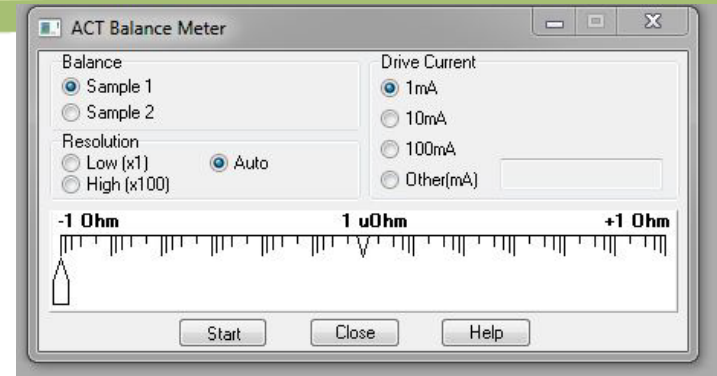
Ver AN 1084-402



ACT

Medidas Efecto Hall

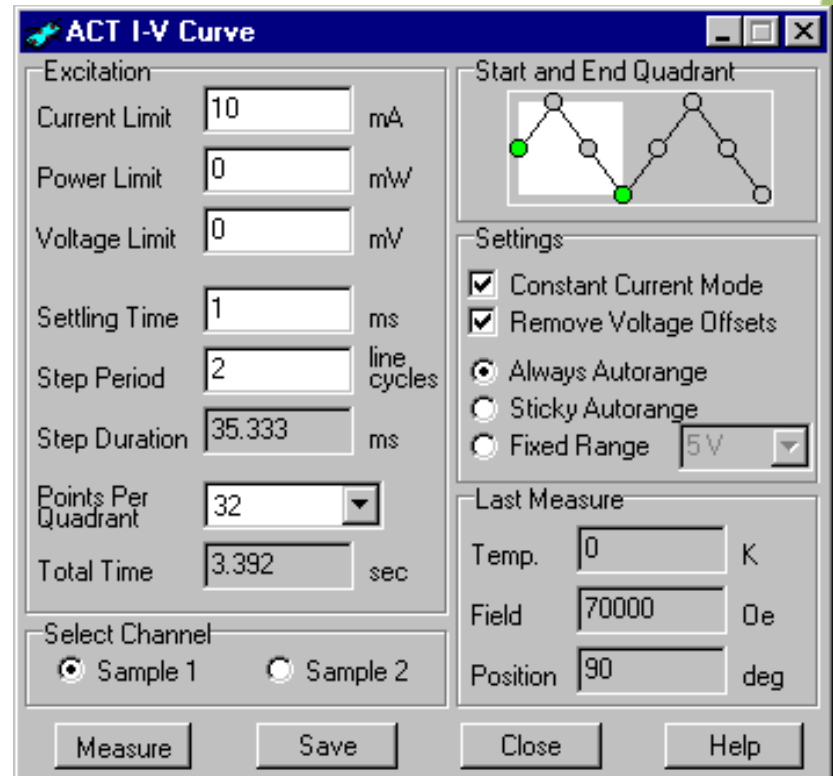
- Medida por 5 puntos
- Previo a la medida hacer el balance (null voltage offset)
 - Meaure -> ACT Balance Meter
- Medidas equivalentes a la medida de resistividad
- Usar parámetros de medida similares
- Mirar la Resistencia Hall. El cálculo del coeficiente Hall supone que la componente longitudinal es nula.
- Si $R > 100 \Omega$ hacer medida por 4 puntos



ACT

Medida Curva IV

- Medida por 4 puntos
- Elegir cuadrantes para la medida
- Dar el valor de la corriente máxima
- Limitar la potencia y voltaje para evitar dañar la muestra
- Tiempo de medida: número de ciclos de red (50 Hz: 20 ms)
- Constant current mode



Medida Corriente Crítica

- Medida por 4 puntos
- Dar el valor de corriente máxima para aplicar en la muestra
- Elegir el voltaje crítico
- La medida para cuando se alcanza el voltaje crítico o la máxima corriente
 - Reporta el valor de corriente crítica si se ha alcanzado el valor del voltaje crítico especificado
- Dar un límite de potencia que evite dañar la muestra durante la medida

The screenshot shows the 'ACT Critical Current' software window. It features several input fields and controls:

- Excitation:** Max. Current (10 mA), Critical Voltage (5 mV), Power Limit (100 mW), Re-Cool Time (1 Sec), Averaging Time (Line), Measures (1).
- Last Measure:** Temp. (K), Field (0e), Position (deg).
- Ranging:** Radio buttons for 'V Limited' (selected) and 'Fixed', with a dropdown menu set to '10 mV'.
- Critical Current (mA):** Radio buttons for 'Sample 1' (selected) and 'Sample 2', with corresponding 'Std.' and 'Dev.' fields.
- Buttons:** Measure, Save, Close, and Help.

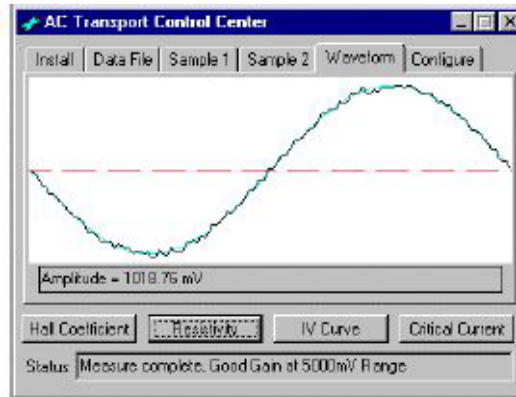
ACT

Ejemplos de secuencias

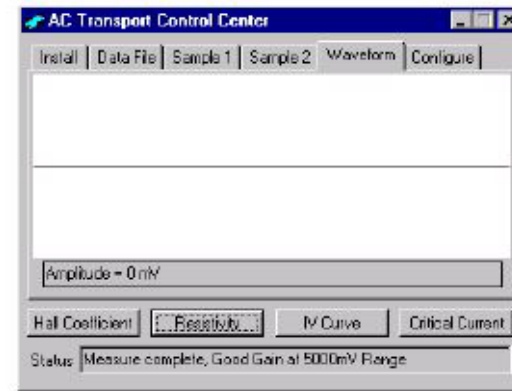
- Hall vs Field.seq
 - Medida coeficiente Hall en Ch.1 y Ch.2 de -6 a +6 tesla
- ACT_microHall
 - Medida $R(H)$ a 0.7K de -3 a 3 T

ACT

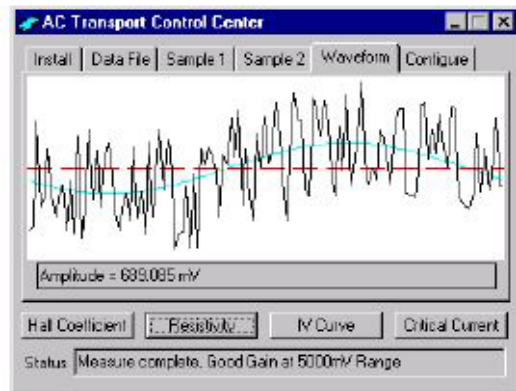
Interpretación de Resultados



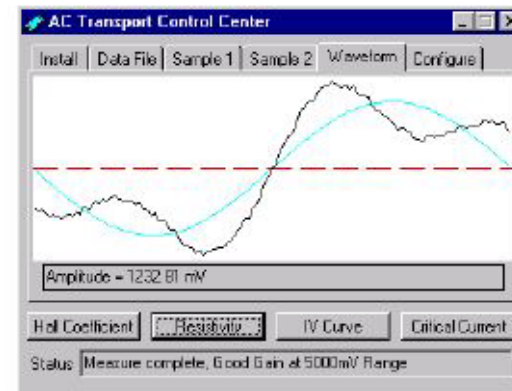
A. Sine wave indicating good signal reading.



B. Flat line indicating no signal was read.



C. Very noisy signal was read.



D. Distorted signal was read.

Interpretación de Resultados

- Revisar para diagnóstico
 - Volts ch2: En medidas ac da la parte resistiva, en fase con la corriente [Vres]
 - Excitación: valor de la corriente. No es una medida (fuente de corriente muy estable)
 - ACT status: 0 indica que no hay errores
 - ACT gain: ganancia total
 - armónicos < -50dB
 - quad. Error: componente fuera de fase, proporcional a la componente reactiva
 - Drive Signal V: $\sqrt{(V_{resistive})^2 + (V_{reactive})^2}$
- Ver AN 1084-403

	Field Name	Field Value
1	Time Stamp (minutes,relative)	0.345
2	Status (code)	4369
3	Temperature (K)	299.99695
4	Magnetic Field (Oe)	0
5	Excitation (mA)	10.3445784652368
6	Frequency (Hz)	100
7	Volts ch2	0.206970494356627
8	V Std.Dev. ch2	1.39597931637484E-5
9	Res. ch2 (ohm-cm)	20.0080414418348
10	Res. Std.Dev. ch2	0.00134949919699346
11	ACT Status (code)	0
12	ACT Gain	10
13	2nd Harm. ch2 (dB)	-90.5550939126767
14	3rd Harm. ch2 (dB)	-88.1096826882046
15	Quad.Error ch2 (ohm-cm-rad)	0.000118352628304117
16	Drive Signal ch2 (V)	0.206971683096952

Interpretación de Resultados

Componente Reactiva

- Tarjeta ACMS mide componente en fase y en cuadratura. Medimos impedancia compleja $Z = R + jX$
 - R parte resistiva
 - X parte reactiva (inductiva o capacitiva)
- Componente en cuadratura:
 - '**Quad.Err**', no calibrado (factor ~ 500)
 - $\delta\Phi$ es la tolerancia de la calibración en fase (típico 0.1 grados)
 - Voltaje total '**drive signal(V)**'
- Rango de medida de Z
 - $Z_{min} = 0.5 \mu\text{Ohm}$
 - L min (1000 Hz) = 79.6 pH
 - C max (1 Hz) = 79.6 kF
 - $Z_{max} = 0.5 \text{M}\Omega$
 - L max (1Hz) = 79.6 kH
 - C min (1000 Hz) = 0.32 nF

$$\frac{V_{reactive}}{I} (A/L) \delta\Phi$$

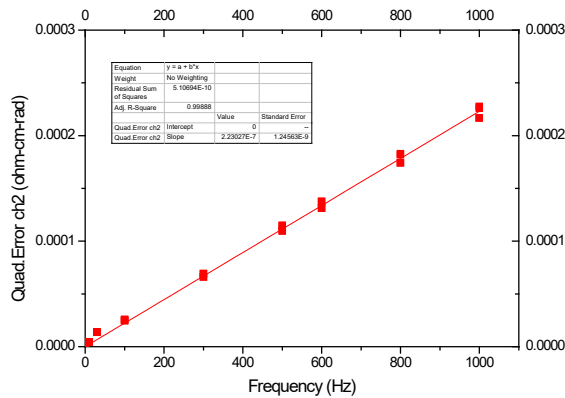
$$\sqrt{(V_{resistive})^2 + (V_{reactive})^2}$$

$$Z_L = |L\omega| \quad Z_C = \frac{1}{|C\omega|}$$

Interpretación de Resultados

Componente Reactiva

$$L = 21.1 \mu\text{H}$$

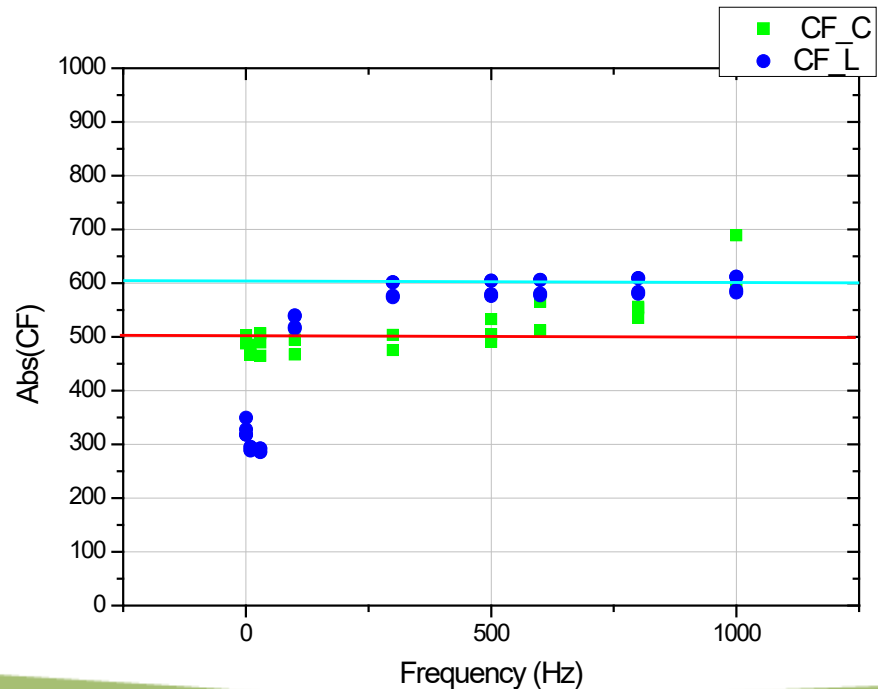


Limitaciones

- Rango medida Z
- Resistencia parásita
 - $R = 1.15 \Omega \rightarrow X = 2 \text{ m}\Omega$
 - ($\delta\Phi = 0.1^\circ$)

Factor de calibración

- Medida L conocida: $FC \sim 600$
- Medida C conocido: $FC \sim 500$



Interpretación de Resultados

- Medida Hall por 5-puntos
 - Aunque se haya hecho el balance, puede quedar un remanente: medir $R(B)$ a campos +/-
 - $\frac{1}{2} [R(+B) - R(-B)] = R_{xx}$ desbalance
 - $\frac{1}{2} [R(+B) + R(-B)] = R_{xy}$ Hall
 - El estado magnético de la muestra tiene que ser idéntico en $R(+B)$ y $R(-B)$
 - Los efectos de desbalance son menos significativos a altos campos $R_H = \rho_{xy}/B$
 - A cada T cambia el balance
- Inconel feedthrough
 - Distorsión de la señal en la región $T = 25-35$ K (abultamiento debido a x-talk inductivo). <http://www.qdusa.com/resources/pdf/ppmsappnotes/AR04.pdf>
 - Se minimiza usando bajas frecuencias
- Guardar los datos .RAW: $V(t)$
 - Permite hacer diagnóstico de interferencias, problemas de contacto, problemas HW (realizar HW check)

ACT

Interpretación de Resultados

Alto nivel de ruido

- Intentar a otra frecuencia
- Chequear si el cableado puede producir un efecto al vibrar en un campo magnético
- Rango de corriente:
 - Por ejemplo: si las medidas tienen ruido a 210 mA pero no a 190 mA con la misma ganancia, esto indica que el rango de corriente de 2 A es ruidoso
 - Rango de corriente ruidoso normalmente debido a un relay en mal estado
- Ganancia:
 - Ejemplo: si las medidas son ruidosas a una ganancia de 100 pero no a 1000 para la misma corriente. El rango de 100 está defectuoso.

¿Qué opción usar?

- Resistividad DC de 3 canales (Res. • I-V • voltímetro)
 - 'sweet spot': $1 \Omega - 1 M\Omega$
 - Precisión medida $\sim 20 \text{ nV}$
 - Medida continua ($<1 \text{ s}$ por punto)
 - No permite diagnosticar la calidad de los datos o problemas en la fuente de corriente
- Transporte AC de 2 canales (Res. • Hall • I-V • corr. crít.)
 - 'sweet spot': $< \mu\Omega$ to $10 \text{ k}\Omega$
 - Medida ac con detección lockin: bajo nivel ruido ($1 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$)
 - Desarrollada para medir SC alta T_c (max corriente= 2 A ; medida de corriente crítica)
 - Medidas más lentas (DSP tarda $>1 \text{ s.}$)
 - I-V y c.c. son medidas DC (ruido $\sim 50 \text{ nV}$)