

## CONTENIDO

<b>Agradecimientos</b> .....	ii
<b>Resumen</b> .....	iii
<b>Abstract</b> .....	iv
<b>Índice de Contenido</b> .....	v
<b>Índice de Ilustraciones</b> .....	x
<b>Prefacio</b> .....	xiv
<b>Capítulo 1. Introducción</b> .....	1
<b>1.1</b> Motivación.....	1
<b>1.2</b> La medición de superconductividad en el Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de La Plata .....	2
<b>1.3</b> Especificaciones requeridas .....	2
<b>1.4</b> Objetivos y alcance del presente trabajo .....	3
<b>1.5</b> Estructura de la tesis .....	4
<b>Capítulo 2. Superconductividad</b> .....	6
<b>2.1</b> Resumen.....	6
<b>2.2</b> Introducción .....	6
<b>2.3</b> Propiedades magnéticas de los superconductores tipo I y tipo II.....	8
<b>2.4</b> Superconductores de alta temperatura crítica.....	11
<b>2.5</b> La teoría de la superconductividad .....	13
<b>2.6</b> Vórtices .....	17
<b>2.7</b> Relación entre la red de vórtices y la superconductividad.....	20
<b>2.8</b> Conclusión.....	24

---

<b>Capítulo 3. Mediciones de resistencia con corriente continua</b> .....	25
<b>3.1</b> Resumen .....	25
<b>3.2</b> Introducción.....	25
<b>3.3</b> Terminología .....	27
<b>3.4</b> Comparación de técnicas para medir resistencia .....	31
<b>3.5</b> Multímetros digitales .....	42
<b>3.6</b> Mediciones de baja señal .....	54
<b>3.7</b> Consideraciones para realizar medidas de baja señal.....	55
<b>3.8</b> Efecto de carga y <i>offsets</i> .....	57
<b>3.9</b> Potenciales termoelectricos.....	59
<b>3.10</b> Medida de resistencia en superconductores .....	60
<b>3.11</b> Efectos de <i>ripple</i> de fuente al medir corriente crítica en sc.....	63
<b>3.12</b> Medidas de gran sensibilidad a temperaturas criogénicas.....	66
<b>3.13</b> Conclusión.....	69
<b>Capítulo 4. Técnicas avanzadas para hacer mediciones de baja señal con corriente continua</b> .....	70
<b>4.1</b> Resumen.....	70
<b>4.2</b> Introducción .....	70
<b>4.3</b> Instrumentación adecuada .....	71
<b>4.4</b> Tres técnicas para medir en el rango de los nanovolts .....	72
<b>4.5</b> Ruido Johnson.....	73
<b>4.6</b> Campos magnéticos.....	75
<b>4.7</b> Interferencia de radiofrecuencia .....	77
<b>4.8</b> Lazos de tierra .....	77
<b>4.9</b> Conclusión .....	79

## Capítulo 5. Técnicas de medición en corriente alterna - Amplificadores

<i>Lock-in</i> .....	80
<b>5.1</b> Resumen.....	80
<b>5.2</b> Introducción .....	80
<b>5.3</b> ¿Cuándo es necesario utilizar un amplificador <i>Lock-in</i> ? .....	80
<b>5.4</b> Principio de funcionamiento .....	83
<b>5.5</b> Comparación entre PSD digitales y analógicos .....	87
<b>5.6</b> ¿Qué hace un <i>Lock-in</i> midiendo?.....	89
<b>5.7</b> Reserva dinámica .....	90
<b>5.8</b> Ruido de entrada .....	95
<b>5.9</b> Conclusión.....	96

## Capítulo 6. Diseño de un sistema de adquisición automática de medidas

<b>de resistividad en función de la temperatura</b> .....	97
<b>6.1</b> Resumen.....	97
<b>6.2</b> Introducción.....	97
<b>6.3</b> Estructura general del equipo de medición propuesto.....	98
<b>6.4</b> Descripción del método .....	102
<b>6.5</b> Sistema criogénico.....	104
<b>6.6</b> Sistema de refrigeración por circulación de agua .....	107
<b>6.7</b> Equipo de vacío.....	108
<b>6.8</b> Computadora personal.....	110
<b>6.9</b> Sistema de seguridad .....	110
<b>6.10</b> Preparación de muestras .....	111
<b>6.11</b> Prestaciones obtenidas.....	113
<b>6.12</b> Resultados experimentales .....	117
<b>6.13</b> Conclusión.....	122

<b>Capítulo 7. Dificultades encontradas, conclusiones y líneas abiertas</b> .....	123
Resumen .....	123
<b>7.1 Dificultades encontradas</b> .....	123
<b>7.2 Conclusiones y líneas abiertas</b> .....	132
<b>Nomenclatura, constantes y siglas</b> .....	133
<b>Apéndice A. Ruido en mediciones de baja señal</b> .....	134
<b>A.1</b> Introducción.....	134
<b>A.2</b> Definiciones generales .....	134
<b>A.3</b> Ruido térmico o Johnson .....	136
<b>A.4</b> Ruido Shot.....	142
<b>A.5</b> Suma de fuentes de tensión de ruido .....	146
<b>Apéndice B. Interfase de propósito General para Instrumentación</b> .....	148
<b>B.1</b> Introducción.....	148
<b>B.2</b> Estructura de la interfase.....	150
<b>B.3</b> Control del tráfico de mensajes de la interfase GPIB.....	159
<b>Apéndice C. Control del banco de medidas</b> .....	170
<b>C.1</b> Introducción.....	170
<b>C.2</b> <i>Software</i> de la tarjeta GPIB.....	170
<b>C.3</b> Programas de adquisición y control .....	175
<b>Apéndice D. Notas sobre pruebas realizadas con muestras de</b> <b>CuO, resistencias de carbón, metal y manganina</b> .....	185
<b>D.1</b> Introducción.....	185
<b>D.2</b> Pruebas con resistencias de metal y carbón.....	185
<b>D.3</b> Pruebas con semiconductores (CuO) .....	188

<b>D.4</b> Pruebas con resistencias de manganina.....	189
<b>D.5</b> Caracterización de la fuente de corriente con carga .....	191
<b>D.6</b> Caracterización de la fuente de corriente en cortocircuito.....	193
<b>Bibliografía y referencias</b> .....	196

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### Capítulo 2

<b>Figura 1</b> - Transición superconductor del mercurio .....	7
<b>Figura 2</b> - Curva del campo crítico del mercurio .....	8
<b>Figura 3</b> - Dependencia del campo de $B$ y de $M$ en función de $B$ aplicado.....	9
<b>Figura 4</b> - Vórtices representados como conos volcánicos .....	11
<b>Figura 5</b> - Estructura cristalina ortorrómbica del $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .....	13
<b>Figura 6</b> - El problema de Cooper. Dos electrones no-interactivos están restringidos a los estados $k_1$ y $k_2$ , fuera de la superficie de Fermi por la esfera de Fermi de electrones no-interactivos .....	15
<b>Figura 7</b> - Origen de la interacción atractiva.....	17
<b>Figura 8</b> - Diagramas de fase magnéticos .....	19
<b>Figura 9</b> - Flujo de corriente a través de un superconductor .....	20
<b>Figura 10</b> -Estado de un sólido de vórtices .....	21
<b>Figura 11</b> -Imágenes de vórtices magnéticos obtenida por microscopio electrónico.....	23

### Capítulo 3

<b>Figura 1</b> - Tres tipos de configuraciones de óhmetros .....	32
<b>Figura 2</b> - Circuitos para medir resistencia por el método del voltímetro y amperímetro.....	34
<b>Figura 3</b> - Diagrama de puente de Wheatstone .....	35
<b>Figura 4</b> - Circuito esquemático del puente de Wheatstone donde se muestra la dificultad que aparece en la determinación de la resistencia $R_y$ del conductor cuando varía el punto de conexión de $m a n$ .....	38
<b>Figura 5</b> - Diagrama del puente doble de Kelvin .....	39
<b>Figura 6</b> - Esquema del método de Kelvin de las 4 puntas.....	41
<b>Figura 7</b> - Conversión de tensión a tiempo mediante compuertas con pulsos de reloj .....	47
<b>Figura 8</b> - Diagrama esquemático de un DVM de integración .....	48

<b>Figura 9</b> - Esquema de efectos de la resistencia de carga .....	58
<b>Figura 10</b> - Ecuaciones de las <i>fems</i> termoeléctricas .....	59
<b>Figura 11</b> - Ejemplo de <i>fems</i> con termocuplas tipo K Chromel-Alumel .....	60
<b>Figura 12</b> - Esquema de conexión de 4 puntas para invertir la corriente .....	61
<b>Figura 13</b> – Instrumento para medir $J_c$ .....	64

## Capítulo 4

<b>Figura 1</b> - Multímetro digital típico y voltímetro digital sensible, límites de medidas para varias resistencias de fuentes .....	71
<b>Figura 2</b> – Tensión de ruido térmico en función de la resistencia y el ancho de banda .....	74
<b>Figura 3</b> – Tensiones débiles generadas por campos magnéticos.....	76
<b>Figura 4</b> - Lazos de tierra generados por obtener un solo retorno .....	78
<b>Figura 5</b> - Amplificador aislado.....	78

## Capítulo 5

<b>Figura 1</b> – Aproximación de la relación señal-ruido de 1/160.....	81
<b>Figura 2</b> – Relación señal-ruido mejoró a 1/5.....	82
<b>Figura 3</b> – Ahora es posible medir ya que la relación señal-ruido es ahora de 20.....	83
<b>Figura 4</b> – Relaciones entre ondas de referencia y señales.....	84
<b>Figura 5</b> – Representación de la reserva actual vs. la frecuencia de ruido .....	92

## Capítulo 6

<b>Figura 1</b> - Esquema del sistema de registro y adquisición .....	98
<b>Figura 2</b> - Resistómetro, sistema completo .....	105
<b>Figura 3</b> - Sistema completo, ángulo superior.....	106
<b>Figura 4</b> - Vista del expansor.....	107

<b>Figura 5</b> - Bombas de vacío: mecánica y turbomolecular .....	109
<b>Figura 6</b> - Detalle del rack que contiene el instrumental electrónico.....	110
<b>Figura 7</b> - Preparación de muestras, contactos y portamuestras .....	112
<b>Figura 8</b> - Configuración de 4 puntas con inversión de corriente para evitar fems .....	113
<b>Figura 9</b> - Idem Figura 8 con nanopreamplificador .....	114
<b>Figura 10</b> - Configuración de 2 puntas para altas resistencias.....	115
<b>Figura 11</b> - Configuración con fuente programable de tensión para altas resistencias .....	116
<b>Figura 12</b> - Dos medidas de resistencia de un superconductor en función de T .....	118
<b>Figura 13</b> - Comportamiento de un material $\text{YBa}_2\text{Cu}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{7-\delta}$ dopado con 1% de hierro.....	118
<b>Figura 14</b> - Resistencia de un semiconductor en función de la temperatura.....	119
<b>Figura 15</b> - Comparación de la resistividad del CuO .....	121

## Capítulo 7

<b>Figura 1</b> – Curva $\rho(T)$ para ferritas de cobre con zona de contactos deficientes .....	126
<b>Figura 2</b> - $\text{YBa}_2\text{Cu}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{7-\delta}$ (1.5%Fe) con contactos deficientes.....	127
<b>Figura 3</b> – Gráfico comparativo de Ferritas de Cu.....	128
<b>Figura 4</b> – Gráfico comparativo de $\text{YBa}_2\text{Cu}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{7-\delta}$ (1.5%Fe); 4 ptas., invers. cte. ....	129

## Apéndice B

<b>Figura 1</b> – Principio de funcionamiento de la interfase GPIB .....	149
<b>Figura 2</b> – Disposición de funciones en un dispositivo conectado al <i>bus</i> GPIB.....	151
<b>Figura 3</b> – Control de transferencia de datos .....	157
<b>Figura 4</b> – Grupo de instr. idénticos compartiendo el <i>bus</i> GPIB por direcc. extend.....	165
<b>Figura 5</b> – Configuración alternativa para un grupo de instrumentos idénticos. ....	166



## Apéndice C

<b>Figura 1</b> – Primera pantalla del <i>software</i> de configuración de la GPIB .....	170
<b>Figura 2</b> – Instrumentos conectados al <i>bus</i> GPIB .....	171
<b>Figura 3</b> – Configuración del <i>bus</i> GPIB .....	172
<b>Figura 4</b> – Configuración de la fuente de corriente programable .....	173
<b>Figura 5</b> – Configuración del DMM Keithley 2001 .....	174
<b>Figura 6</b> – Configuración del controlador de temperatura .....	174
<b>Figura 7</b> – Configuración de la fuente de tensión programable.....	175

