



## Un experimento de superconductividad eléctrica en la materia de Física contemporánea II

Luis Manuel León-Rossano

Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. C. P. 04510 México D. F., México.

### ARTICLE INFO

**Recibido:**

**Aceptado:**

**Palabras clave:**

Experimentos.  
Educación universitaria.  
Física.

**E-mail:**

lmlr@ciencias.unam.mx.

ISSN 2007-9842

© 2015 Institute of Science Education.  
All rights reserved

### ABSTRACT

El tiempo, la temperatura y la resistencia eléctrica, son variables a medir en una gran cantidad de experimentos de Física. Por ejemplo, para caracterizar a los materiales superconductores es importante que el tiempo en el que se cambie su temperatura, sea lo suficientemente prolongado para observar su transición electrónica. Adicionalmente, la resistencia eléctrica de estos materiales es muy pequeña, como consecuencia se tiene que medir con una técnica típica de cuatro contactos. En este trabajo, se presenta una práctica de superconductividad eléctrica (c. d.) con un arreglo experimental confiable, sencillo y de muy bajo costo. En este arreglo y con el empleo del nitrógeno líquido, se miden estas variables físicas desde 77° K hasta temperatura ambiente. Con este experimento de estado sólido, se lleva a los alumnos a conocer una parte de los fenómenos interesantes del tema de la Física de bajas temperaturas (criogenia). Esta práctica experimental la realizan los alumnos del curso de la materia de Laboratorio de Física contemporánea II, 9° semestre de la carrera de Física, Facultad de Ciencias, UNAM.

The time, temperature and electrical resistance, are measured variables in a lot of physics experiments. For example, to characterize the superconducting materials is important that the time in which its temperature is changed, it is long enough to observe the electronic transition. Additionally, the electrical resistance of these materials is very small, therefore has to be measured with a standard four-pin technique. In this paper a practical electrical superconductivity (c. d.) with a reliable, simple and very inexpensive experimental setup is presented. In this arrangement and the use of liquid nitrogen, these physical variables are measured from 77°K until room temperature. With this experiment solid-state students is carried to know some of the interesting phenomena of the topic of low temperature physics (cryogenics). This experimental practice done by students in the course of matter Laboratory of Contemporary Physics II, 9th semester of studies in Physics, Facultad de Ciencias, UNAM.

### I. INTRODUCCIÓN

En algunos laboratorios de educación, no es sencillo implementar ciertos temas de Física de forma experimental. El problema se debe principalmente al alto costo económico, por la construcción (Hands, 1986, Martin (1995) y por la compra (Oldenburg & Morrison, 1995) de los aparatos que tienen que ver con el tema. Un ejemplo de enseñanza que evita estas dificultades, es el experimento de la medida de la resistencia eléctrica como una función de la temperatura, en el intervalo de 77 a ~300 °K. (León Rossano, 2002).

Desde el descubrimiento de los superconductores cerámicos de alta temperatura de transición, en 1986 por Berdnorz y Müller, los físicos, químicos e ingenieros incrementaron su estudio por las propiedades de estos materiales.

Un superconductor se caracteriza por dos fenómenos importantes: la resistencia eléctrica cero y la expulsión del campo magnético (efecto Meissner). (Kittel, 1976, Ellis, 1987, Juergens, 1987). Estos fenómenos físicos que se

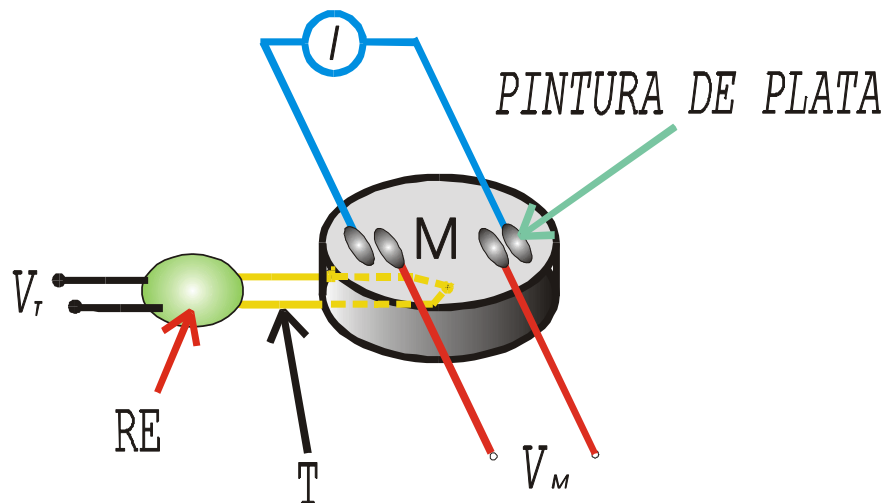
observan, son interesantes y con aplicaciones importantes a la medicina, la electrónica, la computación, el medio ambiente, la energética, la industria, etc.

Por estos motivos el tema de la superconductividad eléctrica en nuestro laboratorio de enseñanza ha sido muy atractivo para los estudiantes.

En este trabajo se presenta una práctica experimental de la medición de ésta resistencia eléctrica (medida a cuatro contactos) en función de la temperatura.

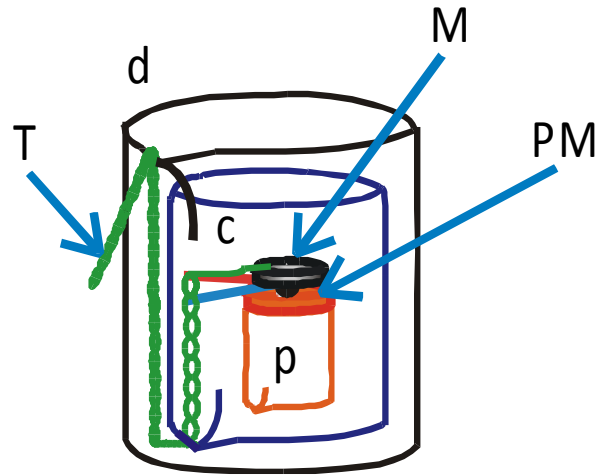
## II. EXPERIMENTO

El método de fabricación de la muestra superconductora se explica en las referencias (Ellis, 1987, Juergens, *et al.* 1987, Chen, 1987). Sobre la muestra (M) se colocan los cuatro contactos (Van der Pauw, 1958, Vandervoort *et al.*, 1995) con pintura de plata Silver, cat # 16031, Ted Pella, Inc, con alambre de cobre del No. 36 AWG (Figura 1). La temperatura se mide con un termopar (T) de cobre-constantan (tipo "T"), (Omega, 1975, 1995a) el cual se pega con grasa de silicón (Cry-Con conductive grease, model GCC-28 de Lake Shore Cryotronics) entre la muestra y el disco portamuestras de cobre (PM). El voltaje en el termopar se mide respecto al punto triple del agua o con una referencia electrónica de temperatura cero (RE) (Omega Engineering, 1995b), y se transforma a unidades de temperatura. A la muestra se le hace pasar una corriente constante ( $I$ ) de 10 mA (c. d). La caída de voltaje en la muestra ( $V_M$ ) y en el termopar ( $V_T$ ) se mide con 2 microvoltímetros digitales de uso general. Para cada temperatura se calculó la resistencia eléctrica con el cociente  $V_M/I$ .



**FIGURA 1.** Esquema del arreglo de 4 contactos sobre la muestra M; en dos de ellos se mide el voltaje  $V_M$  y por los otros se hace pasar la corriente I. Colocación del termopar T y la referencia electrónica de temperatura cero RE.

El sistema que condiciona la temperatura (León-Rossano, 1997) puede observarse en la Figura 2, consiste de 3 vasos de vidrio: el (d) de 500 ml es el depósito de nitrógeno líquido, el (c) de 150 ml que funciona como intercambiador de calor entre la muestra y el baño de nitrógeno líquido; y el (p) de 5 ml soporta a (M) y a (PM). Estos dos últimos, con dimensiones de 12.5 mm de diámetro y 4 mm de espesor, deben de tener buen contacto térmico entre sí.

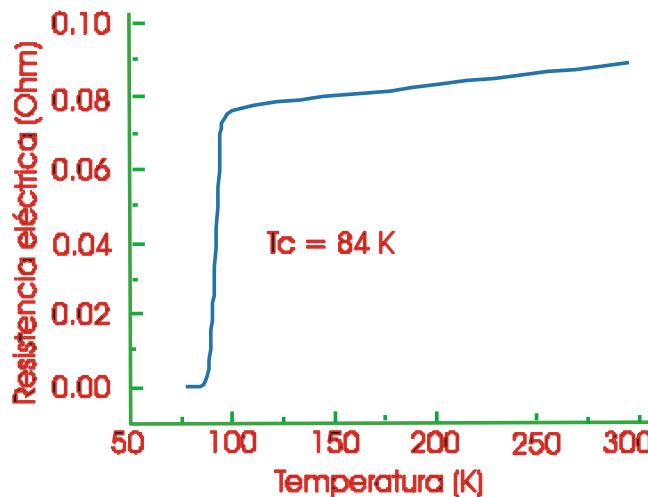


**FIGURA 2.** Posición de los vasos de vidrio (d, c y p) como componentes del sistema, que regula el cambio de temperatura en el portamuestras PM y en la muestra M.

La resistencia y la temperatura se miden cada 10 segundos. Después de iniciar la captura de datos, se deposita nitrógeno líquido en (d) hasta cubrir (c). Cuando el líquido entra en este último, una parte del fluido inicial se gasifica y genera una sobre presión que limita la cantidad del condensado en esta cámara. El vaso (p) evita el contacto térmico entre la muestra y el nitrógeno líquido almacenado en el fondo de (d). La baja conductividad térmica del vidrio, (Oldenburg, 1995, Wigley, 1971) favorece un cambio lento de temperatura en la muestra. Este arreglo experimental evita la formación de hielo en la muestra.

### III. RESULTADOS

La Figura 3 muestra la curva de la resistencia eléctrica, de una muestra superconductora como una función de la temperatura, medida con el arreglo experimental antes descrito.



**FIGURA 3.** Curva de Resistencia eléctrica (Ohm) en función de la Temperatura (K), con una temperatura crítica de  $84 \pm 0.5$  °K, para un superconductor de alta temperatura.

La curva que se obtuvo fue similar a la reportada por Ellis (1987) y Wu *et al.* (1987), la muestra tiene un comportamiento metálico de la temperatura ambiente a 95 °K. De la gráfica se observa que la muestra presenta la transición de fase de un material normal a uno superconductor a la temperatura de 84 °K; abajo de esta temperatura la resistencia eléctrica es cero. La incertidumbre en la resistencia eléctrica es de  $\pm 0.001$  Ohm y en la temperatura es de  $\pm 0.5$  °K. La expulsión del campo magnético (efecto Meissner), se comprobó al observar un imán de tierras raras levitar sobre la muestra superconductora, cuando ésta se mantiene fría con nitrógeno líquido.

#### IV. CONCLUSIONES

Se presentó un dispositivo para medir resistencia eléctrica en función de la temperatura de un superconductor cerámico.

Con este ingenio se midió claramente la transición de fase del estado normal al estado superconductor. Este sistema no utiliza más de 2 l de nitrógeno líquido. Por el costo y lo sencillo, el arreglo se puede implementar en países de bajos recursos económicos, y como herramienta se puede utilizar no nada más en laboratorios de enseñanza, sino también en los laboratorios de investigación. Si se sigue aumentando la temperatura de transición de los materiales cerámicos, este será de gran utilidad para seguir estudiando el comportamiento de sus propiedades de transporte. Este experimento se desarrolló para enriquecer nuestro laboratorio en la enseñanza de la física contemporánea.

**REFERENCIAS EN ESTE ARTÍCULO LAS REFERENCIAS VENÍAN MENCIONADAS CON SÓLO UN NÚMERO EN EL TEXTO, YA ARREGLÉ ESO. HABÍA VARIOS CASOS EN LOS QUE EN EL MISMO NÚMERO DE REFERENCIA, VENÍAN AL FINAL 2 REFERENCIAS. SUPONGO QUE EL AUTOR QUISO MENCIONAR ESAS 2 EN CADA CASO.**

Hands, B. A. (1986). *Cryogenic Engineering*, Chapter 4, Academic Press, London Ltd.

Martin N. (1995). Superconductivity: A guide to alternating current susceptibility measurements and alternating current susceptometer design. *Am. J. Phys.* 63, 57-65.

Oldenburg, K. E. & Morrison, W. A. (1995). Critical current density of  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-x}$ . *Am J. Phys.* 61, 832-834.

León-Rossano, L. M. (2002). *Manual de las prácticas de superconductividad*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Labs. de Física Moderna. Fac de Ciencias.

Bednorz, J. G. & Müller, K. (1986). Possible High  $T_c$  Superconductivity in the Ba-La-Cu-O system. *Z. Physik B* 64, 189-193.

Kittel, C. (1976). *Introduction to Solid State Physics*. New York: John Wiley & Sons. pp. 357-358. 5th Edition.

Ellis, A. B. (1987). Superconductors: better levitation through chemistry. *J. Chem. Edu.* 64, 836-841.

Juergens, F. H., Ellis, A. B., Dieckman, G. H. & Perkins, R. I. (1987). Levitating a magnet using a superconductive material. *J. Chem. Edu.* 64, 851-853.

Chen, X. D., Young, L. S., Golben, J. P., Lee, S. I., McMichael, R. D., Song, Y., Noh, T. W. & Gaines, J. R. (1987). Practical preparation of copper oxide superconductors. *Rev. Sci. Instr.* 58, 1565.

Van der Pauw, L. J. (1958). A method of measuring specific resistivity and hall effect of disks of arbitrary shape. *Philips. Res. Rep.* 13, 1-9.

Vandervoort, K. G., Willingham, J. M. & Morris, C. H. (1995). Simple, inexpensive probe for resistivity measurements above 77 K on metals and superconductors. *Am J. Phys.* 63, 759-760.

Omega Engineering. (1975). *Thermocouple reference tables*. Omega Press. 179-206.

Omega Engineering. (1995a). Models TFCP-003 and TFCC-003. The Temperature Handbook. *Omega Engineering Vol 29*, p. H-17.

Omega Engineering. (1995b). Miniature Electronic Ice Point, model MCJ-T. The Temperature Handbook. *Omega Engineering, 29*, p. K-8.

León-Rossano, L. M. (1997). An inexpensive and easy experiment to measure the electrical resistance of high-T<sub>c</sub> superconductors as a function of temperature. *Am. J. Phys.*, 65(10), 1024-1026.

Wigley, D. A. (1971). *Mechanical properties of materials at low temperatures*. New York: Plenum Press. p. 304.

Wu, M. K., Ashburn, J. R., Torng, C. J., Hor, P. H., Meng, R. L., Gao, L., Huang, Z. J., Huang, Y. Q. & Chu, C. W. (1987). Superconductivity at 93 K in a new mixed-phase Y-Ba-Cu-O compound system at ambient pressure. *Phys. Rev. Lett.* 58, 908-910.