

**FLUCTUACIONES EN LA MAGNETIZACIÓN EN  $T < T_c$ , EN EL LIMITE DE CAMPOS MAGNÉTICOS DÉBILES EN EL COMPUESTO SUPERCONDUCTOR**

**CaLaBaCu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>**

C. A. Parra Vargas,<sup>1,2</sup> David A. Landínez Téllez,<sup>1</sup> Jairo Roa-Rojas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Física de Nuevos Materiales, Departamento de Física  
Universidad Nacional de Colombia, A.A. 14490, Bogotá DC

<sup>2</sup> Grupo de Física de Materiales, Escuela de Física, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja

(Recibido 23 de Oct. 2006; Aceptado. 02 de Agos . 2007; Publicado 31 de Agos. 2007)

**RESUMEN**

Se analiza el efecto de las fluctuaciones térmicas en la magnetización,  $M(T,H)$ , de una muestra policristalina de CaLaBaCu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> (CLBCO), cuya  $T_c=77.5$  K y  $\Delta T_c=2$  K. Dos series de medidas fueron realizadas utilizando un magnetómetro SQUID de la Quantum Design: magnetización en función de temperatura en campo constante usando secuencias ZFC e FC, para campos en el rango  $2 T < H < 5$  T, y magnetización en función de campo en temperatura constante, para temperaturas en el rango  $50 \text{ K} < T < 300 \text{ K}$ . Los resultado son analizados en términos de las fluctuaciones térmicas en el estado mixto reversible abajo de la temperatura de transición superconductor, utilizándose el modelo propuesto por Bulaevskii, Ledvij y Kogan [1]. Mediante este análisis se establece la existencia de una temperatura  $T^*=72.12$  K, en la cual el exceso de magnetización es independiente del campo (MIC). El valor del MIC suple un valor de 26.3 % para la fracción volumétrica superconductor en la muestra. Este valor concuerda con el valor obtenido a través de la medida del efecto Meissner, donde obtenemos 28% para el volumen superconductor.

**Palabras claves:** Superconductor, resistividad, fluctuaciones térmicas

**ABSTRACT**

The effect of thermal fluctuations is analyzed in the magnetization,  $M(T,H)$  for a polycrystalline sample of CaLaBaCu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> (CLBCO) with  $T_c=77.5$  K and  $\Delta T_c=2$  K. Two series of measures were carried out by using a magnetometer SQUID of the Quantum Design: magnetization as a function of temperature in the ZFC and FC recipes, for fields in the range  $2 T < H < 5$  T, and magnetization as a function of field, for temperatures in the range  $50 \text{ K} < T < 300 \text{ K}$ . The result is analyzed in terms of the thermal fluctuations in the reversible mixed state under the temperature of superconducting transition, into the pattern proposed by Bulaevskii, Ledvij and Kogan [1]. From the analysis we determine the existence of a temperature  $T^* = 72.12$  K, in which the excess of magnetization is independent of the field (MIC). The value of the MIC supplies 26.3% of the superconducting-volumetric fraction in the sample. This value is in agreement with the value obtained through the measure of the effect Meissner, where we obtain 28% for the superconducting volume.

**Key words:** Superconductor, resistivity, thermal fluctuations

**1.Introducción**

Abajo de  $T_{c0}$ , en el estado mixto reversible, el exceso de la magnetización,  $\Delta M_{ab}(T,H)$ , es debido a dos principales contribuciones: el diamagnetismo de tipo London y los efectos asociados

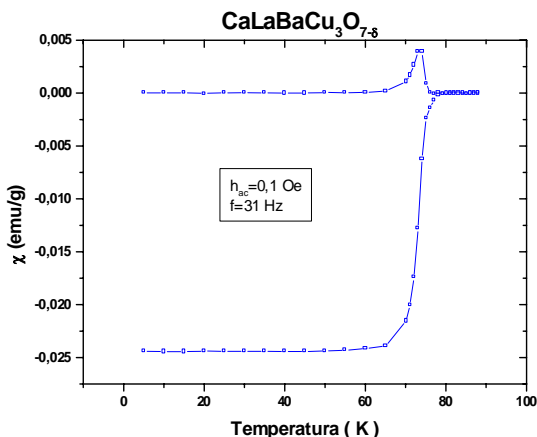
con fluctuaciones térmicas. En el límite de campos magnéticos débiles, esta última contribución es asociada con las fluctuaciones de las posiciones de las líneas de vórtice, y es originada por fluctuaciones de fase del parámetro de orden superconductor [1]. En contraste, en el régimen de campo magnético fuerte las fluctuaciones de la amplitud del parámetro de orden superconductor son dominantes [2]. Estos efectos de fluctuaciones de fase del parámetro de orden son particularmente importantes en superconductores de alta temperatura altamente anisotrópicos, como los compuestos basados en Bi, Tl, Hg, donde las líneas de vórtices son bidimensionales formando “panquecas” débilmente acopladas.

La teoría propuesta por Bulaevsky, Ledvij y Kogan (BLK) [1], incluye explícitamente los efectos de tales fluctuaciones en la energía Libre, y lo que es más importante, en la magnetización de equilibrio para el estado superconductor. El cálculo introduce un término adicional en la energía libre debido a la entropía causada por el desorden térmico en la red de vórtices, usando un modelo elástico de red de vórtices en el límite armónico. El principal resultado de este modelo es que predice la existencia de una temperatura  $T^*$ , algunos grados abajo de  $T_c$ , para la cual el exceso de magnetización,  $\Delta M_{ab}(T,H)$  no depende del campo magnético  $H$ . En curvas de  $\Delta M_{ab}(T,H)$  en función de  $T$ , todas las curvas se cruzan en la temperatura  $T^*$ .

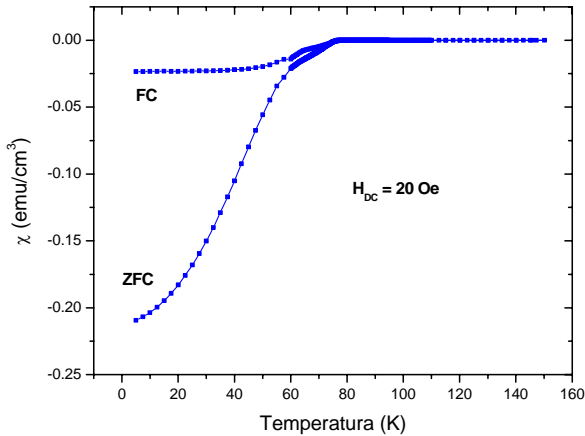
En este artículo se analiza el efecto de las fluctuaciones térmicas en la magnetización,  $M(T,H)$ , de una muestra policristalina de  $\text{CaLaBaCu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (CLBCO), que evidencia  $T_c=77.5$  K y  $\Delta T_c=2$  K.

**2. Resultados Y Discusión.**

En la figura 1 se presentan los resultados de susceptibilidad magnética ac, parte real e imaginaria  $\chi'$  y  $\chi''$ , en función de la temperatura para el sistema CLBCO. En la figura se muestran las curvas de magnetización ZFC y FC para un campo magnético dc de 20 Oe. La magnetización FC en 10 K corresponde a una fracción volumétrica de 28 %. Para calcular la magnetización del compuesto, el volumen de la muestra fue determinado a través de su masa usando la densidad teórica del CLBCO ( $5.88 \text{ g/cm}^3$ ).



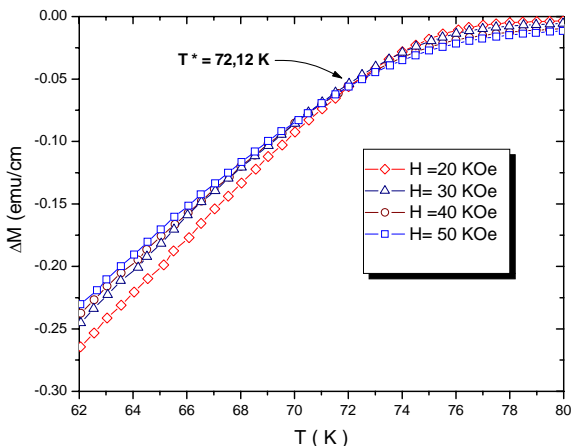
**Figura 1.** Susceptibilidad magnética ac y dc para el sistema CLBCO;  $\chi'$  y  $\chi''$  para un campo  $H_{dc}=0$ , el campo  $h_{ac}=0,1$  Oe y frecuencia 31 Hz



**Figura 2.** Curvas ZFC y FC para un campo  $H_{dc} = 20$  Oe para el sistema CLBCO. La fracción Meissner volumétrica encontrada fue 28%.

En la figura 3, se presentan los datos del exceso de magnetización  $\Delta M(T)_H$  en el estado mixto reversible para algunos campos magnéticos aplicados. A estos resultados se le restaron las contribuciones asociadas con la región normal,  $M_n$ . La magnetización en la región normal fue obtenida haciendo un ajuste de datos experimentales para cada valor de campo aplicado en el intervalo de temperatura 120-300 K, donde los efectos de fluctuaciones son despreciables. El mejor ajuste sigue un comportamiento tipo Curie Weiss:  $M = M_0 + C/(T-\theta)$ . En la figura 3, se puede observar claramente un “crossover” de las curvas de magnetización para los diferentes campos en las coordenadas ( $T^*=72.12$  K,  $\Delta M_{exp}^* = 0.0542$  emu/cm<sup>3</sup>). En otras palabras, en la temperatura  $T^*=72.12$  K la magnetización es independiente del campo (MIC). De acuerdo con el modelo BLK,  $\Delta M_s^* = -K_B T^* / \phi_0 S$ , y usando valor de distancia entre planos de  $CuO_2$  obtenido usando datos cristalográficos,  $s=11.7 \cdot 10^{-8}$  cm y un valor de  $T^*=72,12$  K, el “exceso de magnetización” obtenido es:  $\Delta M_s^* = 0.41156$ . Utilizando ese resultado se puede calcular el volumen superconductor de la muestra policristalina.

Cho y colaboradores [3] mostraron que el MIC en las muestras cerámicas policristalinas se observa la misma temperatura  $T^*$  que en los monocristales y el exceso de magnetización  $\Delta M_s^*$  para estos compuestos es dos veces el valor correspondiente a las muestras monocristalinas:  $\Delta M_s^* = 2\Delta M_0^*$ , así  $\Delta M_0^* = 0.20578$ . Comparando este valor con el valor experimental obtenido, tenemos que  $\Delta M_{exp}^* / \Delta M_0^* = 0.0542 / 0.20578 = 0.263$ , esta discrepancia ha sido observada por otros autores [4-6] y es atribuida a la fracción volumétrica superconductora presente en la muestra. Es decir, la fracción volumétrica presente en la muestra de CLBCO es de 26,3 % , valor que concuerda muy bien con el resultado de fracción 28 % obtenido de la curva de efecto Meissner (FC) de la figura 2.



**Figura 3.** Exceso de magnetización en función de la temperatura en la región reversible para el sistema CLBCO en campos magnéticos de 0 a 50 KOe. Las curvas para  $H > 10$  KOe se cruzan en la temperatura  $T^*$  donde  $\Delta M_{ab}(T,H)$  no depende del campo magnético  $H$ .

### Conclusiones

En este artículo se analiza el efecto de las fluctuaciones térmicas en la magnetización  $M(T,H)$  en  $T < T_c$ , de una muestra policristalina, con composición nominal  $\text{CaLaBaCu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (CLBCO) y con  $T_c = 77.5$  K, Observándose la existencia de una temperatura  $T^* = 72.12$  K, en la cual el exceso de magnetización es independiente del campo (MIC). El valor del MIC suple un valor de 26.3 % para la fracción volumétrica superconductor en la muestra. Este valor concuerda con el valor obtenido a través de la medida del efecto Meissner, donde se obtiene un 28% para el volumen superconductor.

### Agradecimientos

Este trabajo tuvo apoyos parciales de Colciencias, a través del proyecto 1101-333-187-07 y el Centro de Excelencia en Nuevos Materiales, contrato No. 043-2005.

### REFERENCIAS

- [1] L. N. Bulaevskii, M. Ledvij, and V. G. Kogan, Phys. Rev. Lett, Vol 36, N 25 pg 3773-3776, (1993)
- [2] Z. Tesanovic, L. Xing, L. Bulaevskii, Q. Li and M. Suenaga, Phys. Rev. Lett. v. 69, Pg 3563 (1992)
- [3] J. H. Cho, Z. D. Hao and D. C. Johnston, M. Ledvij and V. G. Kogan, Physica C, v. 212, 419 (1993)
- [4] J. H. Cho, Z. D. Hao and D. C. Johnston, M. Ledvij and V. G. Kogan, Physica C, v. 212, 419 (1993)
- [5] Z. J. Huang, Y. Y. Xue, R. L. Meng, X. D. Qiu, Z. D. Hao, C. W. Chu, Physica C, v. 228, Pg 211, (1994)
- [6] J. R. Thompson, J. G. Ossandon, D. K. Christen, B. C. Chakoumakos, Y. R. Sun, M. Paranthaman and J. Brynstad, Phys. Review. B, v. 48, 14031, (1993)