

**MAGNETIZACIÓN Y EFECTO MEISSNER PARAMAGNÉTICO EN
SUPERCONDUCTORES TEXTURIZADOS DE $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$**

[*]J. Roa-Rojas,^(a,b) D. A. Landínez Téllez^(b)

(a) Laboratório de Resistividade, Instituto de Física,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 91501-970, Porto Alegre RS, Brazil

(b) Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia
A.A. 14490, Bogotá, D.C., Colombia

RESUMEN

Reportamos mediciones de magnetización a través de los procedimientos FCC (field-cooled-cooling) y FCW (field-cooling-warming) en función de la temperatura en muestras superconductoras texturizadas de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. El efecto Meissner paramagnético fue observado en los resultados de la prescripción de tipo FCC. Los campos magnéticos aplicados varían entre 2 Oe y 50 kOe . Los momentos paramagnéticos fueron detectados en regímenes de campo bajo, intermedio y alto. Los resultados son discutidos e interpretados mediante el concepto de compresión inducida de flujo magnético.

INTRODUCCIÓN

El efecto Meissner paramagnético (PME) fue observado originalmente en experimentos de magnetización a muy bajos campos magnéticos aplicados en muestras policristalinas de superconductores de alta temperatura crítica (HTSC) [1]. Este PME a bajos campos fue atribuido a la existencia de corrientes orbitales espontáneas, que ocurrirían en redes granulares en las cuales estarían presentes algunas juntas de tipo *Josephson- π* [2]. Esta interpretación obtuvo credibilidad debido a que la ocurrencia de juntas *Josephson- π* puede esperarse como una consecuencia de la superconductividad de tipo *onda-d* [3]. Sin embargo, momentos paramagnéticos similares fueron observados recientemente en pequeños discos [4] y en películas delgadas [5] de *Nb*. Este hecho muestra que el PME no es únicamente dependiente del apareamiento con simetría no convencional en los HTSC y permite la perspectiva de nuevas interpretaciones basadas en efectos como la compresión del flujo magnético dentro de la muestra a causa de enfriamiento no homogéneo [6] o debido a la formación de un estado de vórtice *gigante* sobre la superficie de la muestra [4].

En esta comunicación nosotros reportamos mediciones de magnetización *dc*, siguiendo las prescripciones FCC (field-cooled-cooling) y FCW (field-cooling-warming) en función de la temperatura en muestras superconductoras texturizadas de la familia $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (YBCO). Los campos magnéticos aplicados varían entre $H=2 \text{ Oe}$ y $H=50 \text{ kOe}$. Éstos se aplicaron en

[*] Autor correspondiente: D.A. Landínez, Dpto. Física, Universidad Nacional de Colombia, A. A. 14490, Bogotá, DC, FAX: 1-316 5135, Tel. 1-316 5000 Ext. 13057, e-mail: dtellez@ciencias.unal.edu.co

las direcciones paralela y perpendicular al eje cristalográfico c de las muestras. Adicionalmente, se efectuaron experimentos de relajación magnética para valores fijos de temperatura. Todas estas mediciones se realizaron mediante un Quantum Design MPMS (SQUID) y un magnetómetro de muestra vibrante. Las muestras texturizadas de YBCO en forma de pastillas de 1 cm de diámetro fueron crecidas a través de la técnica de Bridgman descrita en la referencia [7]. Una vez crecidas, las muestras se cortaron en forma de paralelepípedos con dimensiones $5.33 \times 5.14 \times 2.22\text{ mm}^3$, tal que la menor dimensión corresponde al eje c .

En la figura 1 ejemplificamos las mediciones de magnetización FCC en campos magnéticos entre 2 Oe y 300 Oe , aplicados en dirección perpendicular al eje c . Estos resultados de bajo campo representan la respuesta de cuasi equilibrio y no dependen de la rata de enfriamiento de la muestra cuando se efectúan a través del procedimiento FCW. No así, en este régimen de bajos campos se detectó un muy débil efecto de relajación magnética para valores de temperatura inferiores a la temperatura crítica T_c , esto es, en el estado superconductor.

Para campos magnéticos H entre 1 kOe y 10 kOe , la pequeña magnetización observada mediante el procedimiento experimental FCC es fuertemente dependiente de la rata de enfriamiento y puede resultar en comportamientos paramagnético o diamagnético por debajo de T_c . La figura 2(a) muestra un resultado representativo en mediciones FCW para $H=2\text{ kOe}$ orientado paralelamente al eje c . Cuando la rata de enfriamiento fue de 4 K/min se obtuvo una respuesta diamagnética. Sin embargo, se registró una señal paramagnética en bajas temperaturas cuando la muestra se sometió a un enfriamiento a razón de 100 K/min . En este caso, por debajo y próximo de T_c , se observó una depresión diamagnética pronunciada, producida por el escape de flujo magnético atrapado que estuvo en exceso durante el procedimiento de enfriamiento.

Para los campos magnéticos más elevados (20 kOe a 50 kOe) se obtuvieron momentos paramagnéticos en mediciones FCC para bajos valores de temperatura y a ratas de enfriamiento muy bajas, de 1 K/min . En este régimen de altos campos las irreversibilidades fueron débiles, conforme se muestra en la figura 2(b), en la cual $H=50\text{ kOe}$ aplicado perpendicularmente al eje c de la muestra. Sin embargo, siempre ocurre un diamagnetismo pronunciado por debajo y muy cerca de T_c para todos los experimentos realizados bajo la aplicación de altos campos magnéticos.

Para campos superiores a 1 kOe , fue posible determinar una fuerte dependencia de la magnetización FCC con respecto al tiempo, observándose una relajación hacia valores paramagnéticos. En algunos de los experimentos FCC, los momentos paramagnéticos también se convierten en diamagnéticos.

Nuestros resultados sugieren que el PME en muestras texturizadas de YBCO puede tener diferentes orígenes, dependiendo del valor del campo aplicado. La orientación del campo aplicado parece no tener relevancia en los casos estudiados. En el límite de campos muy bajos (≤ 20 Oe) el PME es una propiedad de cuasi equilibrio debida a la presencia de momentos orbitales espontáneos generados por juntas- π típicas de superconductores granulares.

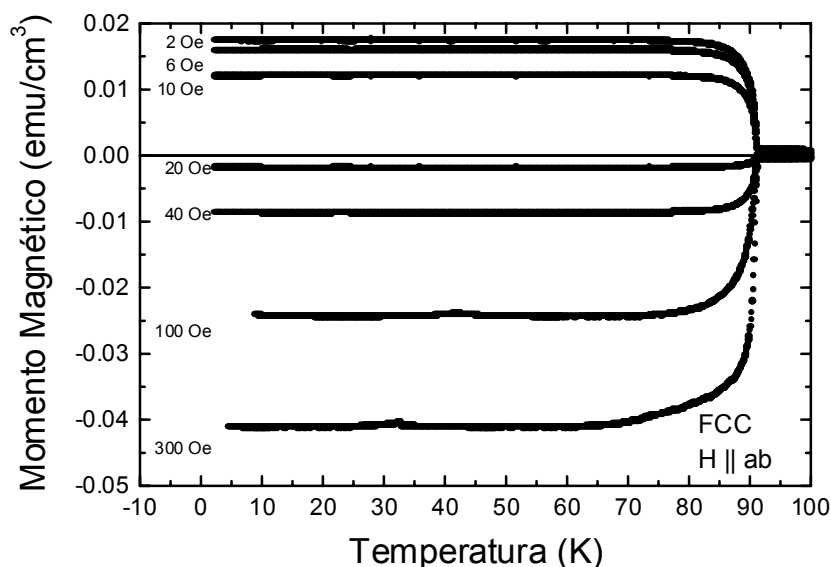


Figura 1: Magnetización FCC para una muestra texturizada de YBCO para diversos campos magnéticos aplicados paralelamente al plano ab.

En este rango de campos aplicados el pronunciado diamagnetismo por debajo de T_c , que sería una evidencia del movimiento de vórtices, no tiene lugar. En campos intermedios ($1 \text{ kOe} \leq H \leq 10 \text{ kOe}$) el PME es un efecto fuera del equilibrio, que es fuertemente dependiente de la razón de enfriamiento de la muestra. En este régimen, probablemente el PME es originado por la compresión del flujo magnético dentro de la muestra a causa de un enfriamiento no homogéneo [6].

En altos campos ($H > 20 \text{ kOe}$) el PME aparece nuevamente como un efecto de cuasi equilibrio. En este caso, una explicación apropiada para su origen es la compresión inducida

del flujo magnético a través de la estabilización de un estado de vórtice gigante, relacionado con un tercer campo magnético crítico H_{c3} característico de muestras superficiales [4].

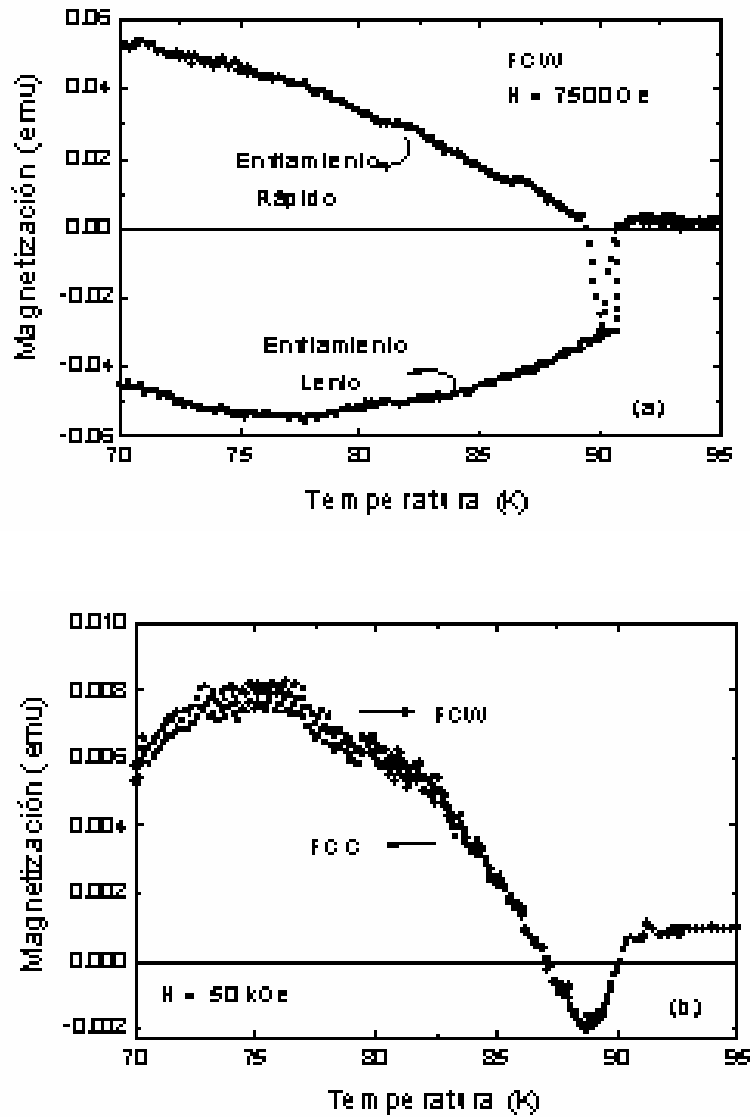


Figura 2: (a) Magnetización FCW en $H=7.5 \text{ kOe}$ aplicado paralelo al eje c. Las mediciones se efectuaron enfriando la muestra de YBCO texturizado a razón de (i) 100 K/min y (ii) 4 K/min. (b) Magnetizaciones FCC y FCW en $H=50 \text{ kOe}$ aplicado perpendicular al eje c, con variación de la temperatura constante a razón de 1 K/min.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por COLCIENCIAS.

REFERENCIAS

- [1]. P. Scedlindh, K. Niskanen, P. Norling, P. Nordblad, L. Lundgren, B. Lönnberg, T. Lundström, *Physica C* 162, 1365 (1989)
- [2]. F.V. Kusmartsev, *Phys. Rev. Lett.* 69, 2268 (1992)
- [3]. M. Sigris, T.M. Rice, *J. Phys. Soc. Jpn.* 61, 4283 (1992)
- [4]. L. Pust, L.E. Wenger, M.R. Koblischka, *Phys. Rev. B* 58, 14191 (1998)
- [5]. A. Terentiev, D.B. Watkins, L.E. De Long, D.J. Morgan, J.B. Ketterson, *Phys. Rev. B* 60, R761 (1999)
- [6]. A.E. Koshelev, A.I. Larkin, *Phys. Rev. B* 52, 13559 (1995)
- [7]. S. Piñol, V. Gomis, B. Martínez, A. Labarta, J. Fontcuberta, X. Obradors, *J. Of Alloys and Compounds* 195, 11 (1993)