

**EXPANSIÓN TÉRMICA EN SUPERCONDUCTORES TEXTURIZADOS  
DE  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$**

[\*]J. Roa-Rojas y D. Landínez Téllez

Grupo de Física de Nuevos Materiales,  
Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia  
A. A. 146001, Bogotá, DC

**RESUMEN**

Se reportan resultados experimentales del estudio de la expansión térmica en superconductores texturizados de la familia  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . Son determinados, analizados y discutidos los coeficientes de expansión térmica lineal a lo largo del plano cristalográfico  $ab$  y del eje  $c$ . Se estudia detalladamente el comportamiento de la expansión térmica en el régimen de bajas temperaturas, así como la relación entre los coeficientes de expansión térmica y los coeficientes elásticos, a través del parámetro de Grüneisen anisotrópico.

**INTRODUCCIÓN**

Existen ciertos fenómenos relacionados con la dinámica estructural de los materiales, los cuales no pueden ser descritos dentro de la aproximación del tipo de cristal armónico. Entre estos fenómenos, denominados anarmónicos, se destaca la *expansión térmica*. En un cristal rigurosamente armónico no ocurre este fenómeno. La teoría microscópica de la expansión térmica surgió a inicios del siglo XX a partir de los trabajos de Mie (1903) [1] y Grüneisen (1912) [2]. El coeficiente de expansión térmica volumétrica  $\beta$  se define:

$$\beta = \left( \frac{\partial \ln V}{\partial T} \right)_P \quad (1)$$

Donde  $V$  representa el volumen,  $T$  es la temperatura y  $P$  es la presión. Para sólidos homogéneos e isotrópicos, dicho coeficiente es obtenido a través del coeficiente de expansión térmica lineal,  $\alpha$  tal que

$$\beta = 3\alpha = 3 \left( \frac{\partial \ln \ell}{\partial T} \right)_P \quad (2)$$

Donde  $\ell$  representa la longitud característica. Para sólidos anisotrópicos,  $\beta = \sum_{\lambda} \alpha_{\lambda}$ ,

donde  $\alpha_{\lambda} = \left( \frac{\partial \ln \ell_{\lambda}}{\partial T} \right)_P$  es el coeficiente de expansión térmica lineal a lo largo de la dirección cartesiana  $\lambda$  [3-4]. En este trabajo se presentan resultados experimentales de los

[\*] Autor correspondiente: J. Roa-Rojas, Grupo de Física de Nuevos Materiales, Universidad Nacional de Colombia, A.A. 146001, Bogotá, DC, FAX: 1-316 5135, Tel. 1-316 5000 Ext. 13032, e-mail: jairorr@ciencias.unal.edu.co

coeficientes de expansión térmica en función de la temperatura para muestras texturizadas de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .

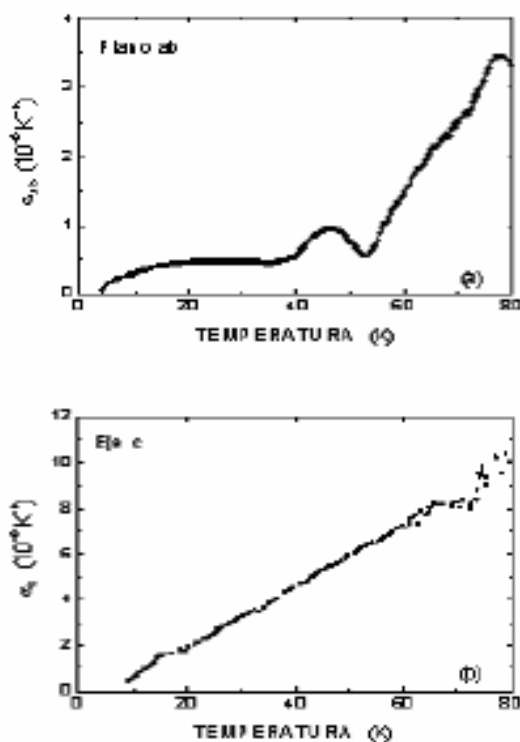
#### PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Las muestras fueron producidas mediante la técnica de crecimiento por fusión texturizada (melt-textured-growth) [5]. Las mediciones de expansión térmica se efectuaron en un *dilatómetro* cuyo funcionamiento tiene como base una celda capacitiva asociada a un puente Andeen-Hagerling, capaz de medir  $1 \text{ pF}$  con una resolución de  $10^{-7} \text{ pF}$  [6]. Una variación en la temperatura de la muestra provoca una alteración del espaciamiento entre placas del capacitor, de modo que la medición de la capacitancia del condensador permite determinar la expansión térmica lineal del material medido. La temperatura se controló mediante un termómetro de carbón-glass para temperaturas inferiores a 60 K y un Pt-100 para temperaturas mayores. Debido a que la celda capacitiva está confeccionada en cobre, fue necesario calibrar el equipo con el fin de descontar el efecto de la celda en las medidas. Así, pudimos determinar un error instrumental del 2% en el rango de temperaturas entre 5 y 110 K.

#### DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los resultados de expansión térmica lineal en nuestras muestras texturizadas de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  evidencian un carácter esencialmente anisotrópico. Conforme se observa en las figuras 1(a) y 1(b), la dilatación a lo largo del eje  $c$  es significativamente más fuerte que en la dirección paralela al plano  $ab$ . Debido a que en las muestras estudiadas no es posible distinguir los ejes cristalográficos  $a$  y  $b$ , el coeficiente de expansión térmica lineal  $\alpha_{ab}$  en el plano consiste de una media en estas direcciones. Los valores obtenidos para los coeficientes de expansión fueron  $\alpha_c=9.28 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  y  $\alpha_{ab}=4.07 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , los cuales son comparables con los reportados para varias muestras de características estructurales diferentes [7,8]. A lo largo del eje  $c$  el coeficiente  $\alpha_c$  es siempre creciente con la temperatura, mientras que en el plano  $ab$  el coeficiente  $\alpha_{ab}$  presenta un mínimo local reproducible en el intervalo de temperatura entre 28 K y 40 K.

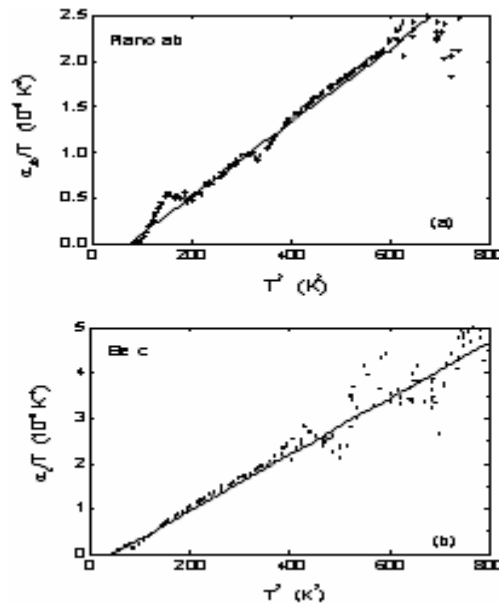
Un resultado semejante es reportado en la literatura en muestras policristalinas [7] y en monocristales a lo largo del eje  $b$  [8]. Esta característica es atribuida a una posible inestabilidad estructural predominante a lo largo del eje  $b$  y que afecta a nuestras muestras en la media que constituye el coeficiente  $\alpha_{ab}$ . Por otro lado, una característica interesante en los resultados está relacionada con la ausencia de alguna anomalía en el coeficiente de expansión térmica lineal en las proximidades de la temperatura crítica  $T_c$  del superconductor. La imposibilidad de discernir el valor de  $T_c$  a partir de mediciones de expansión térmica ha sido atribuida por algunos autores a la falta de resolución experimental, no siendo detectado aún en materiales muy limpios [8].



**Figura 1:** Coeficiente de expansión térmica lineal en YBCO texturizado (a) en la dirección del plano ab, (b) a lo largo del eje c.

El comportamiento de la expansión térmica a bajas temperaturas es representado en la figura 2 en curvas de  $\alpha/T$  en función de  $T^2$ . Ajustando los datos experimentales a un polinomio  $\alpha=aT+bT^3$ , donde  $a$  y  $b$  son constantes, podemos separar las contribuciones electrónica atribuida a la presencia de impurezas o a electrones que no participan del estado superconductor (término lineal) y de la red cristalina (término cúbico) al calor específico del sistema, para temperaturas mucho menores que la temperatura de Debye [4]. Los resultados obtenidos fueron  $a_c=-3.6\pm 0.2\times 10^{-8}$  K<sup>-2</sup>,  $b_c=6.2\pm 0.3\times 10^{-11}$  K<sup>-4</sup>,  $a_{ab}=-4.5\pm 0.7\times 10^{-9}$  K<sup>-2</sup>,  $b_{ab}=4.2\pm 0.3\times 10^{-11}$  K<sup>-4</sup>, los cuales concuerdan con los resultados reportados por otros autores [9].

La medida del carácter no armónico del cristal fue determinada a través del parámetro de Grüneisen anisotrópico, que permite relacionar el coeficiente de expansión térmica con el calor específico y el módulo elástico volumétrico. Utilizando resultados de calor específico [7] y constantes elásticas [10] reportados en la literatura, se determinaron los siguientes valores medios del parámetro de Grüneisen en el intervalo de temperatura entre 40 K < T < 80 K:  $\langle \gamma_c \rangle = 4,3$  y  $\langle \gamma_{ab} \rangle = 2,7$ . La razón de anisotropía correspondiente es  $\gamma_c/\gamma_{ab} = 1,6$ , acorde con los reportes existentes para materiales mono y policristalinos [7-10].



**Figura 2:** Comportamiento de la expansión térmica en el régimen de bajas temperaturas (a) en la dirección del plano ab, (b) a lo largo del eje c.

### CONCLUSIONES

Concluyendo, se crecieron muestras texturizadas de YBCO y se efectuó un detallado estudio de la expansión térmica de las mismas a altas y bajas temperaturas, obteniéndose los parámetros característicos en un tipo de material hasta ahora no estudiado.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos la financiación parcial de este trabajo por parte de COLCIENCIAS.

### REFERENCIAS

- [1]. G. Mie, Ann. Phys. 11, 657 (1903)
- [2]. E. Grüneisen, Ann. Phys. 39, 257 (1912)
- [3]. T.H.K. Barron, J.G. Collins, G.K. White, Advances in Physics 29, 609 (1980)
- [4]. C. Kittel, *Introduction to Solid State Physics*, New York, John Wiley 7, 117 (1996)
- [5]. P.J. McGinn, W. Chen, N. Zhu, J. Met. 43, 26 (1991)
- [6]. F.R. Kroeger, C.A. Swenson, J. of Appl. Phys. 48, 853 (1977)
- [7]. W. Schnelle, E. Braun, H. Broicher, Physica C 168, 465 (1990)
- [8]. C. Meingast, B. Blank, Phys. Rev. B 41, 11299 (1990); C. Meingast, O. Kraut, A. Erb, Phys. Rev. Lett. 67, 1634 (1991)
- [9]. C. Haetinger, P. Pureur, S. Reich, Supercond. Sci. Tech. 9, 639 (1996)
- [10]. J.R. Gavarrí, C. Carel, Physica C 166, 323 (1990)