

# Aportes a la comprensión del transporte en cintas superconductoras multifilamentales

## Autor Yg principal Yg

Alejandro Borroto<sup>1</sup>, Ernesto Altshuler<sup>1</sup>.

## Otros autores

Lenin Del Río Amador<sup>1</sup>, Andy S. García Gordillo<sup>1</sup>.

## Colaboradores

Miguel Arronte<sup>2</sup>, Tom H. Johansen<sup>3</sup>, P. Mikheenko<sup>3</sup>, A. Qviller<sup>3</sup>.

## Entidad ejecutora principal

<sup>1</sup>Facultad de Física, Universidad de La Habana.

<sup>2</sup>IMRE, Universidad de La Habana.

<sup>3</sup>Departamento de Física, Universidad de Oslo, Noruega.

## Autor para correspondencia

Dr. Ernesto Altshuler

Facultad de Física, Universidad de La Habana

10400 Habana, Cuba

ealtshuler@fisica.uh.cu

+53 7 8788957 ext. 216

## Resumen

Se cree que la aplicación de mayor significado económico en el futuro de la Superconductividad es la de utilizar cables o cintas superconductoras para líneas de transmisión eléctrica de potencia, sustituyendo los actuales cables de cobre. La presencia casi inevitable de rajaduras y otros defectos que debilitan las propiedades de transporte a lo largo de la dirección principal de las cintas superconductoras está bien documentada. Tales defectos fuerzan a la corriente eléctrica a circular en la dirección perpendicular (transversal) a la dirección principal de estas cintas, lo cual puede determinar el futuro de una línea de transmisión eléctrica. Sin embargo, la calidad de la conducción a lo largo de la dirección transversal ha sido rara vez reportada en la literatura: la mayoría de los estudios investigan la conducción a lo largo del eje principal de las cintas. En este trabajo presentamos un estudio experimental detallado de las propiedades de transporte en cintas multifilamentales de  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$  (BSCCO)-Ag. Para ello, tenemos en primer lugar el análisis de la anisotropía entre la dirección longitudinal y la transversal en este tipo de cintas, para lo cual se realizaron mediciones de curvas I-V y R-T utilizando múltiples contactos de voltaje. En segundo lugar, proponemos un modelo para predecir las propiedades disipativas basados en un análisis en 2D de la sección transversal de la cinta. Y en tercer lugar, se estudió la magneto-resistencia en este tipo de cintas, basados en las mediciones de curvas R-T bajo la aplicación de distintos campos magnéticos. El trabajo ha dado como resultado una tesis de licenciatura y una tesis de maestría, ha producido hasta el momento 4 publicaciones científicas en los últimos 2 años, de ellas una en la importante revista Applied Physics Letters (revista más citada en el campo de la física aplicada) y 2 en la revista Superconductor Science and Technology (revista especializada en superconductividad de mayor factor de impacto). Además, ha obtenido varios premios en el ámbito nacional.

## Comunicación corta

### I. Introducción

Se cree que la aplicación de mayor significado económico en el futuro de la Superconductividad es la de utilizar cables o cintas superconductoras para líneas de transmisión eléctrica de potencia, sustituyendo los actuales cables de cobre. La presencia casi inevitable de rajaduras y otros defectos que debilitan las propiedades de transporte a lo largo de la dirección principal (longitudinal) de las cintas superconductoras está bien documentada. Tales defectos fuerzan a la corriente eléctrica a circular en la dirección perpendicular (transversal) a la dirección principal de estas cintas, lo cual puede determinar el futuro de una línea de transmisión eléctrica. Sin embargo, la calidad de la conducción a lo largo de la dirección transversal ha sido rara vez reportada en la literatura: la mayoría de los estudios investigan la conducción a lo largo del eje principal de las cintas.

Como objeto de estudio escogimos las cintas multifilamentales del superconductor  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$  embebido en una matriz de plata (BSCCO-Ag) debido a que constituye una de las dos grandes familias con potencial real de ser aplicadas en la práctica. Con el objetivo de poder realizar las mediciones de transporte en la dirección principal de la cinta y en la dirección perpendicular a esta, se construyeron, mediante una técnica láser, los “puentes” longitudinales y transversales que mostramos en la figura 1. Note que la forma en la que fueron cortados los puentes, “obliga” a la corriente eléctrica a circular en la dirección deseada.

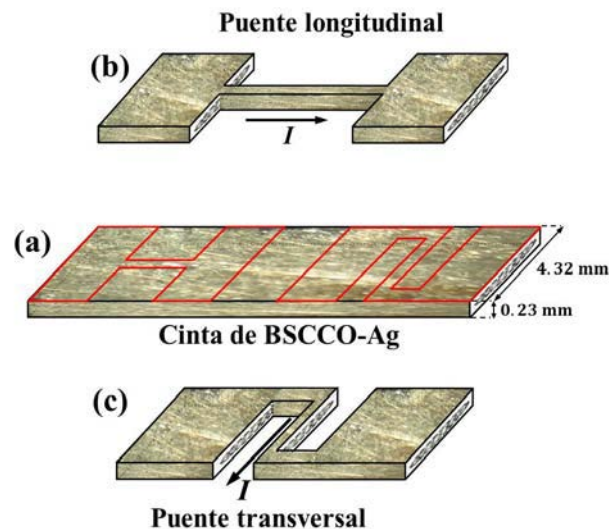


Figura 1. Esquema de los puentes longitudinal y transversal. (a) Cinta de BSCCO-Ag antes de ser cortada a láser. (b) Puente longitudinal. (c) Puente transversal.

Los resultados pueden dividirse en los siguientes grupos:

- Análisis de la anisotropía entre la dirección longitudinal y la transversal en este tipo de cintas, para lo cual se realizaron mediciones de curvas I-V y R-T utilizando múltiples contactos de voltaje.
- Construcción de un modelo fenomenológico que permita predecir las propiedades disipativas en cintas superconductoras basados en un análisis en 2D de la sección transversal de las mismas.
- Análisis de la magneto-resistencia en este tipo de cintas, basados en las mediciones de curvas R-T bajo la aplicación de distintos campos magnéticos.

El trabajo ha dado como resultado una tesis de licenciatura y una tesis de maestría, ha producido hasta el momento 5 publicaciones científicas y ha obtenido varios premios en el ámbito nacional.

## **II. Anisotropía entre la dirección longitudinal y la transversal**

En este grupo presentamos un estudio experimental detallado de las propiedades de transporte eléctrico a lo largo de las direcciones longitudinal y transversal de una cinta multifilamentada de BSCCO-Ag. Entre los resultados más importantes obtuvimos que en la dirección transversal siempre hay disipación, al contrario de la dirección longitudinal donde siempre hay regiones de temperatura y corrientes para las cuales la disipación es nula. También pudimos comparar el campo eléctrico local a lo largo de la dirección transversal con la densidad de filamentos superconductores en esta dirección. Además,

introducimos un parámetro útil para caracterizar la anisotropía en cintas multifilamentadas y hallamos la dependencia de la corriente crítica y de su velocidad de crecimiento con la temperatura en ambas direcciones, magnitudes que son utilizadas para caracterizar la calidad de una cinta superconductora.

Los resultados de ese trabajo han sido publicados en los siguientes artículos:

A. Borroto, L. Del Río, E. Altshuler, M. Arronte, P. Mikheenko, A. Qviller, and T. H. Johansen, LOCAL TRANSPORT IN MULTI-FILAMENTARY SUPERCONDUCTORS: LONGITUDINAL VERSUS TRANSVERSE DISSIPATION, *Superconductor Science and Technology* 26, 115004 (2013).

A. Borroto, A. S. García-Gordillo, L. Del Río, M. Arronte, and E. Altshuler, IN-PLANE TRANSPORT ANISOTROPY IN BSCCO-AG MULTI-FILAMENTARY TAPES, *Superconductor Science and Technology* 28, 075008 (2015).

### **III. Construcción del modelo fenomenológico**

En este grupo desarrollamos un modelo el cual nos permitió describir las características disipativas en compuestos de tipo superconductor-metal. El modelo fue corroborado experimentalmente utilizando como data experimental las curvas I-V obtenidas en cintas multifilametales de BSCCO-Ag por nuestro grupo. El modelo nos permitió determinar propiedades intrínsecas a los filamentos superconductores sin necesidad de aislarlos físicamente del compuesto.

Los resultados de este trabajo han sido publicados en el siguiente artículo:

A. Borroto, L. Del Río, M. Arronte, T. H. Johansen, and E. Altshuler, MODELING TRANSPORT PROPERTIES OF INHOMOGENEOUS SUPERCONDUCTOR-METAL COMPOSITES, Applied Physics Letters 105, 202604 (2014).

La calidad de este trabajo se ilustra bien por el breve reporte del árbitro anónimo designado por la revista para evaluar el trabajo:

Reviewer #1 Evaluaciones:

Paper Interesting: Yes

Original Paper: Yes

Sufficient Physics: Yes

Well Organized: Yes

Clear and Error Free: Yes

Conclusions Supported: Yes

Appropriate Title: Yes

Good Abstract: Yes

Satisfactory English: Yes

Adequate References: Yes

Clear Figures: Yes

OVERALL RATING: Very Good

Reviewer #1 (Comentarios para el autor):

Este estudio trata un importante tema para los tapes superconductores multifilamentales: como se comparte la corriente entre los filamentos? Esto resulta especialmente importante cuando, inevitablemente, existen filamentos rotos. La aproximación experimental de cortar un puente transversal bien definido está muy bien diseñada, y los resultados son analizados profundamente. Los mismos confirman que el comportamiento “en el plano” de los granos superconductores, es razonablemente isotrópico<sup>1</sup>

#### **IV. Estudio de la magneto-resistencia**

En este grupo se estudió la magneto-resistencia en la dirección transversal en una cinta de BSCCO-Ag mediante el análisis del comportamiento de las curvas R-T a medida que un campo magnético externo aplicado sobre la muestra era variado. Estas mediciones nos permitieron obtener, por ejemplo, la dependencia de la corriente crítica y de la energía de activación con el campo magnético aplicado. Aunque este tipo de mediciones ya habían sido realizadas por otros autores en la dirección longitudinal de estas cintas, los resultados obtenidos por nuestro grupo en la dirección transversal son novedosos.

Los resultados de este trabajo han sido publicados en el siguiente artículo:

A. S. García-Gordillo, A. Borroto, and E. Altshuler, TRANSVERSE MAGNETORESISTANCE IN BSCCO-AG MULTI-FILAMENTARY TAPES, Revista Cubana de Física 31, 96 (2014).

#### **V. Conclusiones**

En este conjunto de trabajos nos hemos aproximado, por primera vez en la literatura, a una serie de aspectos en la comprensión del transporte en cintas superconductoras multifilamentales. La novedad del trabajo comprende, desde la creación de sistemas experimentales nuevos para la medición de propiedades de transporte transversales, hasta la modelación teórica fenomenológica de los resultados. Como se puede apreciar de la calidad de las publicaciones asociadas –y, en especial, de las opiniones de los árbitros correspondientes– se trata de un trabajo con potencial impacto en futuras aplicaciones.

---

<sup>1</sup> This study addresses an important issue for filamentary superconducting tapes: how does current get shared between filaments? This is particularly important when, as is inevitable, there are broken filaments. The experimental approach of cutting a well-defined transverse bridge, is well designed, and the results are thoughtfully analysed. They provide significant confirmation that the in-plane behaviour of the superconducting grains is fairly isotropic.