

Síntesis, análisis estructural, estabilidad química, estudio magnético y efecto percolativo eléctrico del compuesto $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta} / \text{Sr}_2\text{GdSbO}_6$.

Synthesis, structural analysis, chemical stability, magnetic study and electric percolative effect on composite $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta} / \text{Sr}_2\text{GdSbO}_6$.

N. Montana Q^{a*}
D.A Landínez Téllez^b
D. Martínez Buitrago^c
O. Ortiz Díaz^d
C. A. Parra V.^a

Fecha de Recepción: 18 - mar. - 2016.

Fecha de Aceptación: 11 - nov. - 2017.

Resumen

En este trabajo se reporta la síntesis de los materiales $\text{Sr}_2\text{GdSbO}_6$ (SGSO) y $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (GBCO), por el método de reacción en estado sólido y de compósitos $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta} / \text{Sr}_2\text{GdSbO}_6$ (GBCO/SGSO) en diferentes proporciones volumétricas. La caracterización estructural de los compuestos sintetizados se realizó por medio de difracción de rayos X, usando el método de refinamiento Rietveld, realizando un análisis cuantitativo de fases en volumen. Los resultados obtenidos permiten confirmar que los dos materiales (GBCO/SGSO) son estables químicamente, coexistiendo en un mismo volumen a 900 C. También se encontró, mediante medidas de magnetización, que el GBCO contenido en cada uno de los diferentes compósitos, conservó sus propiedades superconductoras, ya que se obtuvo la transición al estado superconductor por debajo de una temperatura de 90 K. La caracterización morfológica se realizó mediante medidas de microscopía electrónica de barrido (SEM) y análisis elemental mediante medidas de espectroscopia de energía dispersiva (EDX). El estudio eléctrico se realizó mediante medidas de voltaje en función de la corriente a temperatura ambiente y posterior cálculo de la resistividad volumétrica. El estudio del efecto percolativo se llevó a cabo mediante el cálculo del volumen crítico y de los exponentes críticos en cada una de las fases aislante y conductora, usando el modelo de Kussy [1] y el modelo de respuesta no lineal semi clásica Random Resistor cum Tunneling bond Network (RRTN) [2] contrastando los exponentes críticos, con los encontrados en la literatura.

Palabras clave: superconductividad, compósitos.

a Facultad de Ciencias, Escuela de Física, Grupo de Física de Materiales, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Avenida Central de Norte, Tunja, Boyacá, Colombia.

*Correo electrónico: nilzon.montana@uptc.edu.co

b Grupo de Física de Nuevos Materiales, Departamento de Física Universidad Nacional de Colombia, A.A. 5997, Bogotá D.C, Colombia.

c Pós-Graduação em Ciência de Materiais, Universidade Federal de Pernambuco, 50670-901 Recife-PE, Brasil.

d Departamento de Física, Universidad de la Sabana.

Abstract

This document reports the synthesis of the materials $\text{Sr}_2\text{GdSbO}_6$ (SGSO) and $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (GBCO), by the reaction method in solid state and $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}/\text{Sr}_2\text{GdSbO}_6$ (GBCO/SGSO) composites in different volumetric proportions. The structural characterization of the synthesized compounds was carried out by means of X-ray diffraction, using the Rietveld refinement method, performing a quantitative analysis of phases in volume. The results obtained confirm that the two materials (GBCO / SGSO) are chemically stable, coexisting in the same volume at 900°C . It was also found, by means of magnetization measures, that the GBCO contained in each one of the different composites, It keeps superconducting properties, as the transition to the superconducting state was obtained below a temperature of 90°K . The morphological characterization was performed by scanning electron microscopy (SEM) and elemental analysis by means of dispersive energy spectroscopy (EDX) measurements. The electrical study was performed by means of voltage measurements as a function of the current at room temperature and subsequent calculation of the volumetric resistivity. The study of the percolative effect was carried out by calculating the critical volume and the critical exponents in each one of the insulating and conductive phases, using the Kussy model [1] and the semi-classical non-linear response model Random Resistor cum Tuning Bond Network (RRTN)[2], by contrasting critical exponents with those found in the literature.

Keywords: Superconductivity, composites.

1. INTRODUCCIÓN

Las perovskitas son materiales cerámicos descritos según la fórmula química generalizada ABX_3 , constan de cubos compuestos de tres elementos químicos diferentes (A, B y X), presentes en una proporción 1:1:3 [3]. Los átomos A y B son cationes metálicos y los átomos X son aniones no metálicos. El catión A es el mayor de todos y se encuentra en los ocho vértices de la estructura cúbica, el catión B en su centro y los aniones X en el centro de las caras. Las perovskitas naturales y en especial las sintéticas presentan una notable variedad de propiedades eléctricas y magnéticas, dependiendo de los elementos que la componen y de su estructura [4]. En las perovskitas no solo existen materiales superconductores, sino también materiales aislantes o dieléctricos, que son óptimos candidatos para ser sustratos en la formación de películas superconductoras, debido a sus similares características estructurales con los superconductores, gracias a la absorción de energía en las transiciones de fase en función de los cambios de temperatura [3]. Estas películas en las que se tienen sustratos aislantes con refuerzos superconductores, constituyen la formación de materiales compuestos o compósitos, resaltando la porosidad del material, generándose clúster de los materiales constituyentes separadamente. Gracias a esta cualidad se pueden tener compósitos superconductores, sin que el porcentaje total de la película lo sea. Con esto se pueden reducir costos en la elaboración y se pueden generar nuevas

propiedades físicas, cuando en los materiales por separado no se tendrían [5]. La finalidad de este trabajo es estudiar la estabilidad química del compuesto SGSO, con el superconductor GBCO, para ser usados como potencial sustrato en un capa búfer. Para esto, primero se sintetizó el SGSO, y luego se mezcló con GBCO para formar los compósitos GBCO/SGSO en proporciones de 50/50 a 20/80. Posteriormente, mediante análisis Rietveld, usando datos de difracción de rayos X, se determinó cuantitativamente los porcentajes en volumen de las fases presentes en los compósitos, y si coexisten por separado las dos fases sin reaccionar químicamente entre ellas. También el estudio del comportamiento magnético, a través de medidas de magnetización, entre 50K-250K, determinando la temperatura crítica, para cada uno de los compósitos, finalmente se realizó un estudio del efecto percolativo eléctrico por medio de medidas I-V, el cálculo de umbrales en la transición de fases y exponentes críticos comparables con la literatura [8][9].

2. DETALLES EXPERIMENTALES

La síntesis de $\text{Sr}_2\text{GdSbO}_6$ y $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ se realizó por medio de reacción en estado sólido, a partir de los óxidos precursores (Gd_2O_3 (99.9 %), Sb_2O_3 (99.999 %), CO_3Sr (99.995 %), CuO (99.999%), a altas temperaturas ($>1150^\circ\text{C}$, $>900^\circ\text{C}$ respectivamente), en un horno tipo mufla. Estos óxidos fueron molidos y mezclados finamente

en un mortero de ágata por un tiempo de una hora. La mezcla se prensó en forma de pastillas cilíndricas de 10 mm de diámetro por 2 mm de alto a una presión de 873 MPa en una prensa hidráulica y se sometieron a un tratamiento térmico de sinterización. Después de obtener el SGSO, se procedió a la síntesis de los compósitos GBCO/SGSO en proporciones de 50/50 a 20/80 a temperatura de 900 C, para tal fin cada una de las muestras de compósitos se molió, mezcló y empastilló a una presión de 873 Mpa. Las pastillas fueron sometidas a un tratamiento térmico en atmósfera de O₂ aplicado a las 30 horas después de iniciado el tratamiento durante un intervalo de 24 horas a flujo constante. La estabilidad química entre el GBCO y SGSO se estudió mediante un análisis cuantitativo de fases de los patrones de difracción de rayos X de esos compósitos por medio del método de refinamiento Rietveld. Los patrones de difracción de rayos X del SGSO, GBCO y de los compósitos GBCO/SGSO se registraron a través de un difractómetro PANalytical X'pert, usando la radiación Co-K_α = 1.7890 Å, con un ángulo 2 grados entre 20 y 90 grados con pasos de 0,02 grados y un tiempo por paso de 1 segundo. Las medidas de magnetización ZFC fueron realizadas en un magnetómetro Versalab VSM (Vibrating Sample Magnetometer) Quantum Desing, en un rango de 50K a 250K. La morfología de cada uno de los compósitos y su respectiva composición química fue estudiada por microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopía EDX. El estudio eléctrico de los compósitos se realizó mediante medidas de voltaje en función de la corriente, en un Resistómetro DC, con rango de 0.0 V - 0.20 mV.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A través de la técnica de difracción de rayos X, se determinó que Sr₂GdSbO₆ cristaliza en una estructura cubica simple con simetría 225, grupo espacial Fm-3m y que pertenece al grupo de las perovskitas dobles complejas. Esta estructura fue previamente simulada en el software Spuds y visualizada en el software PCW. A través de refinamiento de patrones de difracción (Figura 1) por el método Rietveld. Se determinaron los parámetros estructurales $a=8.29(4)\text{Å}$ y $\alpha = 90^\circ$ correspondientes un $\chi^2= 1.557$ y $R_f=6,79\%$.

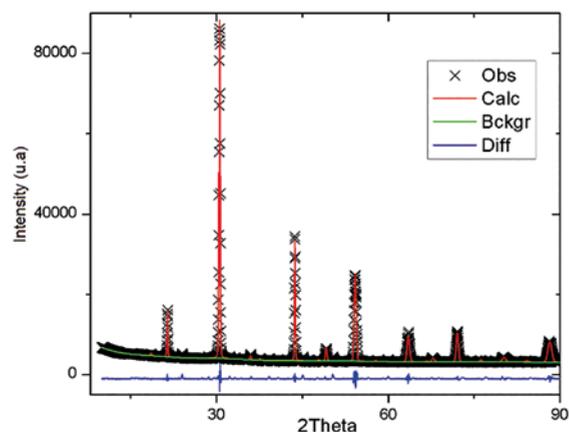


Figura 1. Patrón de difracción refinado para el Sr₂GdSbO₆. Los símbolos corresponden a los datos experimentales y la línea roja al patrón simulado.

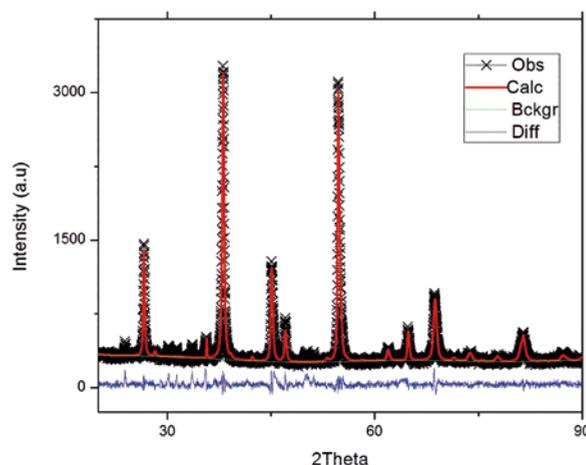


Figura 2. Patrón de difracción refinado para el GdBa₂Cu₃O_{7.8}. Los símbolos corresponden a los datos experimentales y la línea roja al patrón simulado.

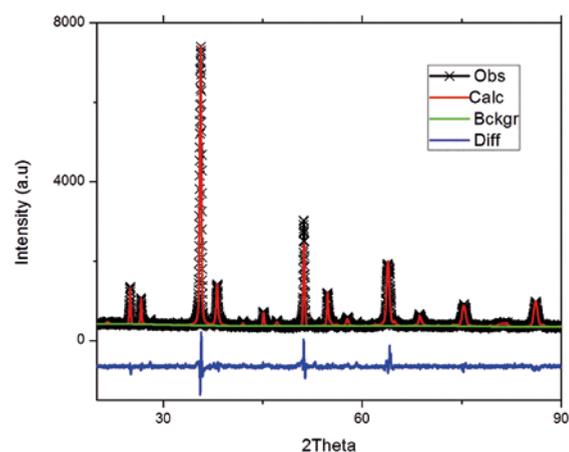


Figura 3. Patrón de difracción refinado para el compuesto GdBa₂Cu₃O₇/Sr₂GdSbO₆ con proporción 35/65. Los símbolos corresponden a los datos experimentales y la línea roja al patrón.

También a través de medidas XDR y análisis Rietveld (Figura 2), se determinó que $GdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ cristaliza en una estructura ortorrómbica, con simetría 47 y grupo espacial Pmmm. Siendo sus parámetros estructurales $a=3.863(7)\text{Å}$, $b=3.884(7)\text{Å}$, $c=11.682(6)\text{Å}$ y $\alpha=90^\circ$, correspondientes a $\chi^2=1.943$ y $Rf=4,82\%$.

En la figura 3, se observa el espectro de difracción con su respectivo refinamiento Rietveld, en los que se destacan los picos característicos para los materiales GBCO y SGSO, confirmando la coexistencia de dos fases y la estabilidad química de las fases en un único volumen, sin reacción, formando un material compuesto. Para este caso se encontró que la fase 1 correspondiente al SGSO cristaliza en una estructura cúbica simple de simetría 225, grupo espacial Fm-3m, con parámetros de red $a=8.292(2)\text{Å}$. La fase 2 corresponde a GBCO, el cual cristaliza en una estructura ortorrómbica, con simetría 47 y grupo espacial Pmmm, con parámetros de red $a=3.874(8)\text{Å}$, $b=3.881(5)\text{Å}$, $c=11.688(4)\text{Å}$ y $\alpha=90^\circ$, correspondientes a $\chi^2=1.793$ y $Rf=4,82\%$.

Tabla 1. Posiciones atómicas y factores de ocupación para el compuesto GBCO/SGSO en proporción 35/65.

Fase	Ion	X	Y	Z	f
	Sr	0.250(0)	0,250(0)	0.250(0)	1.0
GBCO	Gd	0.000(0)	0,000(0)	0.000(0)	0.9
35 %	Sb	0.500(0)	0,500(0)	0.500(0)	0.9
	O	0,257(8)	0,000(0)	0.000(0)	1.0
	Ba	0.500(0)	0,500(0)	0.819(9)	1.0
	Gd	0.500(0)	0,500(0)	0.500(0)	0.6
	Cu	0.000(0)	0,000(0)	0.000(0)	0.7
SGSO	Cu	0,000(0)	0,000(0)	0.641(3)	0.9
65 %	O	0.000(0)	0,500(0)	0.000(0)	1.6
	O	0.500(0)	0,000(0)	0.629(6)	4.0
	O	0.000(0)	0,500(0)	0.621(4)	3.6
	O	0.000(0)	0,000(0)	0.860(5)	0.0

En la tabla 1, se reportan las posiciones atómicas correspondientes al análisis de refinamiento Rietveld del compuesto GBCO/SGSO con una variación volumétrica de 35 % de GBCO, resaltándose la presencia de dos fases con un porcentaje de volumen de GBCO(25,33 %) y SGSO(74,67 %) para densidades de $7,016\text{ g/cm}^3$ y $6,427\text{ g/cm}^3$ respectivamente.

En la Figura 4, se comparan las estructuras para GBCO, donde (a) corresponde a la estructura reportada [6], (b) la estructura debida al análisis Rietveld de la muestra GBCO/SGSO correspondiente a la variación 35/65. Se observa un desplazamiento vertical para los átomos de Cobre, haciendo que la estructura sea un poco más alargada en el eje z, sin embargo se mantiene la geometría de los planos Cu-O en (b) similar al reportado en (a), los cuales son los responsables de la respuesta magnética de carácter superconductor [7].

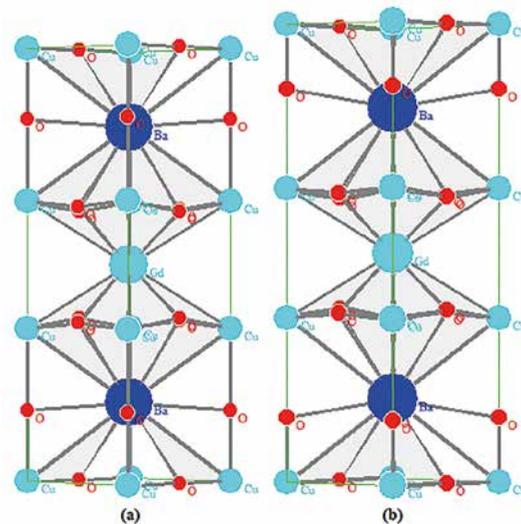


Figura 4. Estructura de GBCO (a) Reportada (b) Observada. Visto a lo largo del eje z

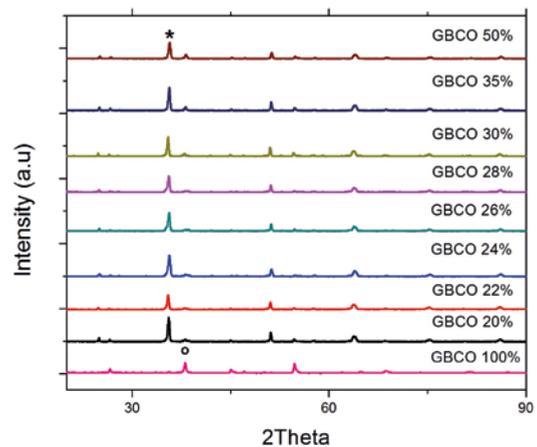


Figura 5. Patrones de difracción para las diferentes variaciones volumétricas (*-Pico principal fase Sr_2GdSbO_6 . o -Pico principal Fase $GdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$).

En la Figura 5 se observa los patrones de XDR para las diferentes concentraciones del compuesto GBCO/SGSO, destacándose los picos principales para cada uno de los materiales por separado, evidenciándose la coexistencia de dos materiales

en un mismo volumen, sin que reaccionen produciendo un tercer compuesto, siendo químicamente estables. Esto se logra gracias a que en el proceso de sinterización con presencia de atmósfera de oxígeno, la temperatura se eleva hasta la temperatura de síntesis del GBCO (900 C), la cual es más baja que la del SGSO (1150 C), impidiendo una gran agitación térmica, que genere reacciones químicas. Además como se observa en la Tabla 2 no hay gran variación en los parámetros de red de los distintos compósitos.

Al realizar los respectivos refinamientos, encontramos que todos los compósitos cristalizan en una estructura cúbica simple y ortorrómbica,

correspondientes a las dos fases presentes, siendo esta una prueba cuantitativa de la buena estabilidad química del compuesto. En la tabla 2 observamos los diferentes parámetros de red, el Chi cuadrado e indicador de bondad de los diferentes refinamientos por método Rietveld, la temperatura crítica de las medidas de magnetización en función de la temperatura (Figura 8) y el análisis cuantitativo de fases en volumen para cada uno de los compósitos. Se observa que los parámetros de red se mantienen constantes, sin embargo las posiciones atómicas en z, registradas en la tabla 1, y mostradas en la figura 4, varían en relación a la estructura GBCO reportada.

Tabla 2. Parámetros estructurales, Chi cuadrado, indicador de bondad del ajuste, temperaturas críticas de compósitos GdBa₂Cu₃O_{7-?}/Sr₂GdSbO₆ a diferentes variaciones volumétricas y análisis cuantitativo de fases por refinamiento Rietveld.

GBCO/ SGSO	Fase	a(Å)	b(Å)	c(Å)	χ^2	Rf ²	T _c (K)	Análisis cuantitativo
20/80	SGSO GBCO	8.294(4) 3.858(9)	3.896(5)	11.692(4)	1.907	0.0855	74,68	0.8308 0.1691
22/78	SGSO GBCO	8.295(2) 3.896(6)	3.893(4)	11.550(8)	1.539	0.1296	75,09	0.7965 0.2034
24/76	SGSO GBCO	8.296(9) 3.871(7)	3.899(7)	11.468(3)	1.169	0.0854	75,18	0.7892 0.2107
26/74	SGSO GBCO	8.292(0) 3.812(7)	3.906(3)	11.727(2)	2.756	0.1305	75,49	0.9024 0.0975
28/72	SGSO GBCO	8.287(8) 3.840(5)	3.895(9)	11.695(9)	1.429	0.1134	77,62	0.8079 0.1920
30/70	SGSO GBCO	8.290(6) 3.863(1)	3.889(6)	11.686(8)	1.625	0.1128	78,97	0.7368 0.2631
35/65	SGSO GBCO	8.292(2) 3.874(8)	3.881(5)	11.688(4)	1.793	0.0906	80,9	0.7467 0.2532
50/50	SGSO GBCO	8.289(8) 3.865(5)	3.890(2)	11.680(8)	1.216	0.0771	82,52	0.6475 0,3524

En la figura 6 y figura 7, se observa las micrografías SEM para el GBCO y para el compuesto GBCO/SGSO en proporción 35/65, en la cual se puede diferenciar dos tipos de materiales al ser comparadas, evidenciando un clúster de GBCO en la parte izquierda de la figura.

También se observa que el material SGSO es mucho más particulado, con granos del orden de 1 μ m, además de una forma un poco más definida y submicrométrica, lo que causa que el compuesto sea más poroso y facilite las formación clústers en el volumen.

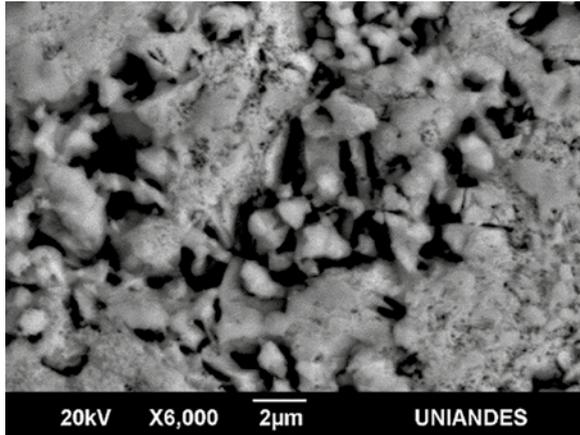


Figura 6. Micrografía SEM de GdBa₂Cu₃O_{7-?} a 6.00KX

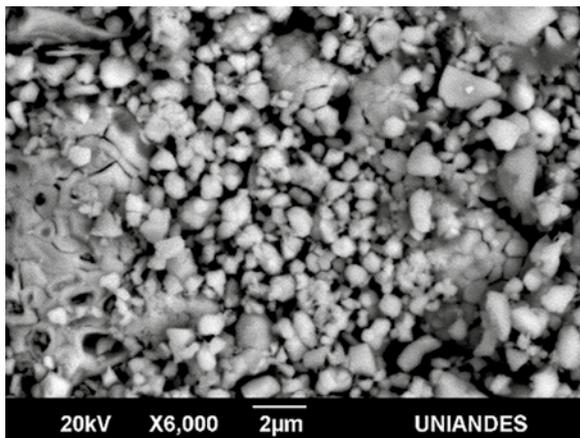


Figura 7. Micrografía SEM de compósitos GBCO (35)/SGSO (65) a 6.00KX

En la figura 8, se observa la gráfica de las medidas de magnetización en función de la temperatura para las diferentes variaciones volumétricas de compósitos GBCO/SGSO, estas temperaturas y las distintas variaciones están registradas en la tabla 2. Se registra un comportamiento netamente superconductor para todas las variaciones del compósito, proporcionando una evidencia magnética de la presencia de material superconductor en el volumen del compósito.

En la figura 10 se reporta la Temperatura crítica en función de la variación volumétrica, en la cual se observa un aumento del T_c a medida que el porcentaje de GBCO aumenta, proporcionando una clara evidencia que el volumen de material SGSO afecta la respuesta superconductor del material, ya que a medida que aumenta la temperatura crítica en cada compósito, disminuye el porcentaje de volumen de SGSO en el material.

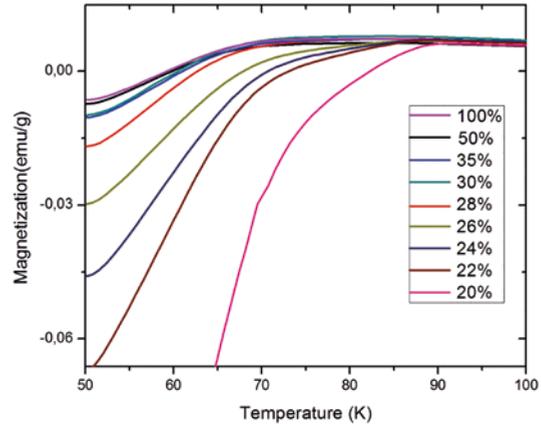


Figura 8. Medidas de magnetización de compósitos GBCO/SGSO a 50 Oe.

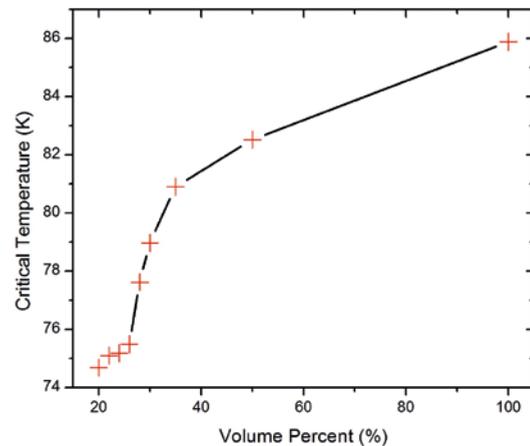


Figura 9. Temperatura crítica en función de la variación volumétrica.

En la figura 10 se observa las medidas de resistividad en función de la variación de volumen, en el cual se encuentra una alta resistividad del orden de 10^9 para bajos porcentajes de GBCO en el compósito. A medida que el porcentaje de GBCO aumenta, disminuye la resistividad hasta un valor casi cero, en él se evidencia la aparición de una región con una transición de fase metal-aislante para valores cercanos a 30%. De acuerdo con la teoría de Percolación según el modelo de Kussy [1] se encontraron dos fases, para las cuales se calcularon los volúmenes críticos y los exponentes críticos para las dos fases: para la fase aislante se modela a través de la linealización en un gráfico log-log por medio de la función $\rho = \rho_0(V_c - V)^s$, para $V_c < V$ con $V_c = 0,13$, $s = -0,55$ y $\rho_0 = 8,5980 \times 10^8 \Omega m$, se evidencia en la fase aislante que el volumen crítico es muy bajo, debido a la rápida disminución de la resistividad, evidenciándose según el modelo

Random Resistor cum Tunelling bond Network (RRTN) un transporte de carga semiclásico en el cual no se genera un clúster percolante pero se genera tunelamiento en las uniones de los granos metal - aislante, generando así un clúster con enlaces de tunelamiento (T-Bonds)[2]. Para la fase conductora se tiene $\rho = \rho_0(V - V_c)^{-t}$, para $V_c > V$ con $V_c = 0,34$, $t = 6,66$ y $\rho_0 = 1,5233 \Omega m$, en el cual el volumen crítico (V_c) es cercano al 30 % en el cual se presenta un clúster percolante, el valor del exponente crítico t es un poco alto comparado con el universal para redes 3D ($t = 2$) y $t = 1,42$ nuevamente indicando una no universalidad sin embargo en la figura 11 se observa un aumento en la resistencia del material a medida que aumenta el voltaje, con variación en corriente, esto nos indica la presencia de una fase óhmica, pero también la presencia de material dieléctrico para una fase aislante según el modelo RRTN para $V > V_c$ en la curva I-V debe tener un comportamiento lineal hasta que se encuentre el umbral de tensión macroscópica Para valores de $V < V_c$ se encuentra una pequeña región no lineal, al realizar el gráfico I-V se encontró que en toda la medida hay un comportamiento lineal, asumiendo que no se llegó a la tensión requerida en contraposición el exponente crítico t está en coherencia con el modelo RRTN con un exponente crítico $t=1,33$ a pesar de esto, la figura 11 nos indica que hay formación de clústers de tipo T-Bond o enlaces de tunelamiento entre microgranos de material superconductor y aislante, los cuales para bajas proporciones de GBCO, encuentran un camino para que haya transporte eléctrico de carga a través del compuesto

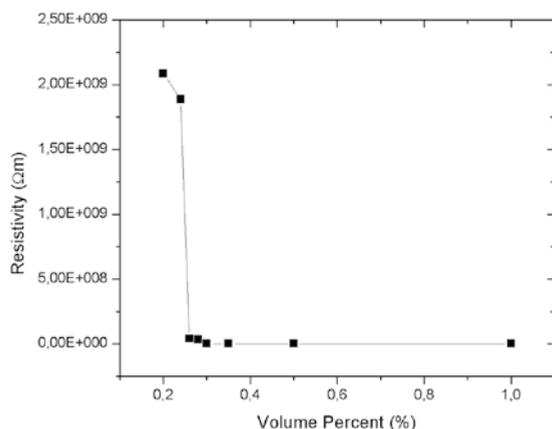


Figura 10. Resistividad de compósitos GBCO/SGSO en función de la proporción volumétrica

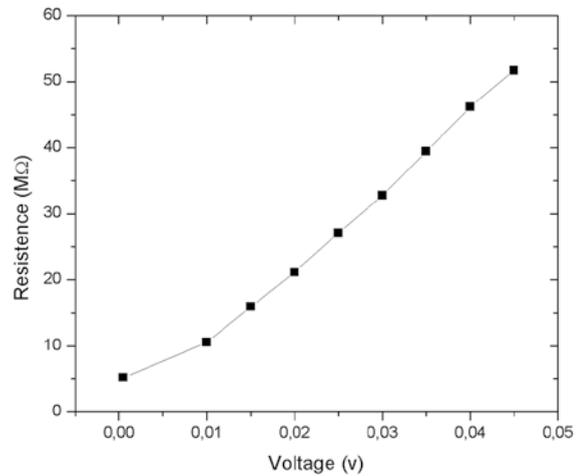


Figura 11. Resistencia en función del Voltaje para el compósitos GBCO para las diferentes variaciones volumétricas.

4. CONCLUSIONES

Se realizó la síntesis de los compuestos Sr_2GdSbO_6 (SGSO) y $GdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (GBCO) y del compuesto tipo perovskita compleja $GdBa_2Cu_3O_{7-\delta} / Sr_2GdSbO_6$ por medio del método de reacción de estado sólido para diferentes variaciones volumétricas, encontrando a través de análisis cuantitativo de fases por medio de refinamiento Rietveld, que los dos materiales coexisten en un solo volumen, sin reaccionar, conservando sus propiedades estructurales y magnéticas por separado, manteniendo la estabilidad química del material.

Para cada una de la variaciones volumétricas se encontró que cada fase es del mismo grupo espacial (Fm-3m 225 para SGSO y Pmmm 47 para GBCO), que los compuestos sintetizados separadamente, con la única diferencia que las posiciones atómicas en z para los Cu y O en el GBCO, aumentan en comparación con la estructura reportada [4], haciendo que la estructura sea un poco más alargada en esa dirección. Sin embargo los planos Cu-O, responsables de la respuesta superconductor [5] se mantienen de igual forma que en la estructura reportada [4], haciendo que todas las muestras independientemente de la variación volumétrica tuvieran respuesta magnética del tipo superconductor, comprobando magnéticamente, que en el volumen coexiste una porción de material GBCO, sin embargo las temperaturas

críticas varían en cada compuesto disminuyendo a medida que aumenta la proporción de SGSO, afectando volumétricamente la respuesta superconductor.

En las medidas de resistividad se observa una transición de fase metal - aislante con un volumen crítico de 0,34 y un exponente crítico $s = -0,55$, para altas concentraciones, haciendo evidente la presencia de un clúster percolante de acuerdo al modelo de Kushy en una configuración Random Resistor Network, sin embargo el exponente crítico no está de acuerdo con la literatura, indicando una no universalidad. Para concentraciones bajas se encontró un volumen crítico de 0.13 y un exponente crítico $t = 6,66$, evidenciando la formación de un clúster T-Bonds o enlaces de tunelamiento, a pesar que el exponente crítico no es coherente con la literatura, sin embargo un factor determinante que apunta a tener un comportamiento del tipo Random Resistor Cum Tunelling bond Network, fue que se observó un incremento en la resistencia del material para bajas concentraciones y la variación lineal de la corriente con respecto al voltaje, confirmando la presencia de una fase óhmica y aislante con presencia de clusters T-bonds para estos volúmenes.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de investigación fue realizado gracias al apoyo de la Dirección de Investigaciones de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, a través del apoyo a estudiantes de Maestría, con el proyecto *Producción y Caracterización de Compósito Tipo Perovskita Compleja $GdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ / Sr_2GdSbO_6* , código SGI 1157.

REFERENCIAS

- [1] Sen A. K, Bardham K. K, Chakrabarti B. K, *Quantum and Semiclassical Percolation and Breakdown in Disordered Solids* Lect Notes Phys **762**, Springer, Berlín, 1-19 (2009)
- [2] Bhattacharyya P, Chakrabarti B. K, *Modelling Critical and Catastrophic Phenomena in Geoscience*, Lect Notes Phys **705**, Springer, Berlin (2007) 507-513.
- [3] Hazen M. R. *Perovskites*. Scientific American. 258 74-81 (1988)
- [4] Matar S.F, Prog. Solid State Phys. 31, 239 (2003).
- [5] Ortiz Díaz O. *Ordenamiento Estructural, Estabilidad Química y Análisis del Efecto Percolativo en Compósitos de Perovskita Compleja y Sr_2SbO_6 con superconductores de $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$* . Universidad Nacional de Colombia. (2003)
- [6] Asano H, Takita K, Ishigaki T, Akinnaga H, Katoh H, Masuda K, Imai M, Nishino M, *Crystal structure of the High T_c superconductor $LnBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ($Ln=Sm, Eu$ and Gd)* Japanese Journal of Applied Physics, Part 2 (1987) 26 1410-1412.
- [7] Fujimori A. *Photoemission studies of high T_c oxides: Character of doped Oxygen holes and pairing mechanics. Mechanics of High temperature superconductivity*, Proceedings of the 2nd NEC symposium. (1988) 187.
- [8] O. Ortiz Diaz et al, Physica B Condensed Matter 398(2):196-199 · September 2007
- [9] Q. Madueño et al, Mod. Phys. Lett. B 20, 427 (2006)