



AGO 2013

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN



SÍNTESIS Y PROPIEDADES SUPERCONDUCTORAS

DEL COMPUESTO $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$

PRESENTADO POR:

LIC. RICHARD BELLIDO QUISPE

RESOLUCIÓN RECTORAL N° 796 – 2012 – R
PERIODO DE EJECUCIÓN: (01 Septiembre 2012 al 31 de agosto del 2013)

CALLAO - PERÚ

2013

*1110
Prof. Bellido
05/08/2013
248*

248

INDICE

	Pg.
1. Resumen ✓	1
2. Introducción	2
2.1 ✓ Objetivos y Alcances de la Investigación	3
2.1.1 Objetivo General	3
2.1.2 Objetivos Específicos	3
2.2 Planteamiento del Problema	4
2.3 Importancia y Justificación de la Investigación	5
3. Marco Teórico ✓	6
3.1 El Descubrimiento de la Superconductividad	6
3.2 Los Óxidos Superconductores de Alta Temperatura	8
3.2.1 La Estructura Perovskita	8
3.2.2 Estructura de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$	10
3.2.3 Estructura de $\text{CaLaBaCu}_3\text{O}_7$	13
3.3 La Difracción de Rayos X	16
3.4 El SQUID	18
3.5 Magnetismo dependiente de la Temperatura	21
4. Materiales y Métodos ✓	23
4.1 Preparación del Compuesto $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$	23
4.2 El Tratamiento Térmico	25
4.3 La Difracción de Rayos X	26

4.4	Las medidas de Momento Magnético	28
5.	Resultados	30
5.1	Patrón de Difracción de Rayos X del $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$	30
5.2	Estructura del $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$	31
5.3	Susceptibilidad Magnética del $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$	33
5.4	Susceptibilidad Magnética en la Región Normal del $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$	34
5.5	Susceptibilidad Magnética Inversa del $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$	36
6.	Discusión	38
6.1	Patrón de Difracción de Rayos X del $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$	38
6.2	Estructura del $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$	38
6.3	Susceptibilidad Magnética del $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$	39
6.4	Susceptibilidad Magnética Inversa del $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$	40
7.	Referencias	41

FRIJAN ARENDICES 7
ANEXOS

1. RESUMEN

En este trabajo de investigación, presento la síntesis y propiedades superconductoras del compuesto $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$. Con el propósito de preparar este compuesto el cual se reemplaza el oxianión borato $(\text{BO}_3)^{3-}$ en el compuesto superconductor $\text{CaLaBaCu}_3\text{O}_7$ con temperatura crítica de 80 K, se realiza la preparación por el método de reacción de estado sólido a condiciones normales de presión y temperatura.

El patrón de Difracción de rayos X, presenta que el compuesto $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$ tiene una fase ortorrómbica con grupo espacial Pmmm, además se detectó en pequeñas proporciones las fases secundarias BaCuO_2 y CuO .

Con el refinamiento por el método de Rietveld, se propuso un modelo estructural usando el software Carine v3.1 en la que se colocó el oxianión borato $(\text{BO}_3)^{3-}$ en el sitio del Cu(1) de la cadena, además se encuentra que los parámetros de red son $a = 3.8651 \text{ \AA}$, $b = 3.8791 \text{ \AA}$ y $c = 11.6042 \text{ \AA}$.

La medida de la susceptibilidad magnética en el rango de temperatura de 10 – 100 K se realizó en condiciones de enfriamiento con campo cero (ZFC) y enfriamiento con campo (FC) y se usó el sistema MPMS (Magnetic Property Measurement System) que usa el sensor SQUID, y se pudo comprobar el comportamiento diamagnético del compuesto $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$ registrando una temperatura crítica de 76.8 K.

En la región normal, es decir en el rango de temperatura de 100 – 300 K, el compuesto $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$ es antiferromagnético siguiendo la Ley de Curie – Weiss, bajo un campo aplicado de 5 kOe.

2. INTRODUCCIÓN

Desde el descubrimiento de los óxidos superconductores de alta temperatura crítica tal como el $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ con temperatura crítica $T_c = 90 \text{ K}$, los estudios de las sustituciones de cationes o aniones en diferentes posiciones de la estructura cristalina han resultado ser muy útiles para comprender los aspectos básicos de la superconductividad. Este es el caso del superconductor tetragonal $\text{CaLaBaCu}_3\text{O}_7$ con temperatura crítica $T_c = 80 \text{ K}$ es obtenido a través del $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$ tetragonal al realizar múltiples sustituciones es decir Ca y La en el sitio de Y y Ca, Ba y La en el sitio de Ba.

También diversos estudios acerca de la sustitución de grupos oxianiones tales como $(\text{CO}_3)^{2-}$, $(\text{BO}_3)^{3-}$, $(\text{SO}_4)^{2-}$ y $(\text{PO}_4)^{3-}$ por cobre en los cupratos 123 han revelado que tales sustituciones suelen estar localizados en el sitio de la cadena de $\text{Cu}(1)\text{-O}$ para dar lugar a la estabilidad de la fase superconductora que es preparado únicamente a altas presiones. Entre algunas de las sustituciones realizadas se destacan los siguientes trabajos de investigación: “Producción y caracterización del nuevo superconductor $\text{YBa}_2\text{Cu}_{3-x}(\text{PO}_4)_x\text{O}_{7-\delta}$ ” de M. A. Uribe Laverde [1]; “Superconductivity in the system $[\text{Y}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}](\text{SrBa})\text{Cu}_{3-x}(\text{BO}_3)_x\text{O}_{7-\delta}$ with $0.1 \leq x \leq 0.5$ ” de Ángel Bustamante D. [2]; “Superconductivity in the system $\text{CaLaBaCu}_{3-x}(\text{PO}_4)_x\text{O}_{7-\delta}$ with $x = 0.1, 0.3, 0.5$ ” de V. L. De Los Santos [3].

En estos trabajos se destaca la importancia de la sustitución de grupos oxianiones en la estructura cristalina de un material para la formación de la fase superconductora y por

tanto, para las propiedades magnéticas del nuevo material superconductor. Los métodos empleados para sintetizar estos compuestos superconductores requieren de condiciones especiales de preparación por lo que resulta difícil sintetizar una muestra con buenas propiedades superconductoras. Algunos de los métodos son: el método SOL-GEL, el método RES, entre otros.

2.1 OBJETIVOS Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 OBJETIVO GENERAL

Sintetizar y realizar el estudio de las propiedades superconductoras del compuesto $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$. Estudiar el patrón de difracción de rayos-X del $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$, la superconductividad y los parámetros magnéticos en la región normal mediante la ley de Curie-Weiss.

2.1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- a) Sintetizar el compuesto superconductor $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$ usando el método de reacción de estado sólido.
- b) Identificar las fases presentes del compuesto $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$ mediante la difracción de rayos-X a temperatura ambiente.

- c) Determinar la susceptibilidad magnética del compuesto superconductor $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$ usando el sistema de detección SQUID.
- d) Determinar la constante y la temperatura de Curie en la región normal del compuesto $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$ mediante la ley de Curie-Weiss.

2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los principales problemas al hacer un estudio de las propiedades superconductoras de un compuesto superconductor como el $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$ radica en usar un método que permita sintetizar una muestra con buenas propiedades de superconductividad.

¿Es posible sintetizar un compuesto superconductor $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$ que presente buenas propiedades de superconductividad?

Ante esta pregunta surge la alternativa de la presente investigación: Es posible sintetizar un compuesto superconductor $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$ empleando el método de reacción de estado sólido (RES) lo que permitirá a su vez realizar un estudio de sus propiedades superconductoras.

2.3 IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación es importante porque abre el camino para futuros trabajos de investigación en las propiedades de los materiales superconductores que ya existen y porque no de los nuevos materiales superconductores. La investigación se justifica por las razones siguientes: 1) debido a los posibles usos de los nuevos materiales superconductores y al posible aprovechamiento de sus propiedades superconductoras, 2) por las aplicaciones a nivel tecnológico y experimental, 3) porque existe literatura teórica y experimental sobre el tema de investigación.

La importancia y el aporte científico de la presente investigación se sustentan en que el método de reacción de estado sólido resulta ser un método eficiente para sintetizar las muestras de materiales con propiedades superconductoras.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 EL DESCUBRIMIENTO DE LA SUPERCONDUCTIVIDAD

En el año 1911, el científico holandés Heike Kamerlingh Onnes de Leiden University logró bajar el mercurio a temperatura del helio líquido y observó una extraña característica en él. Se dió cuenta que la resistencia eléctrica del mercurio a esta temperatura repentinamente desapareció, como se muestra en la figura 1, lo que llamó como superconductividad.

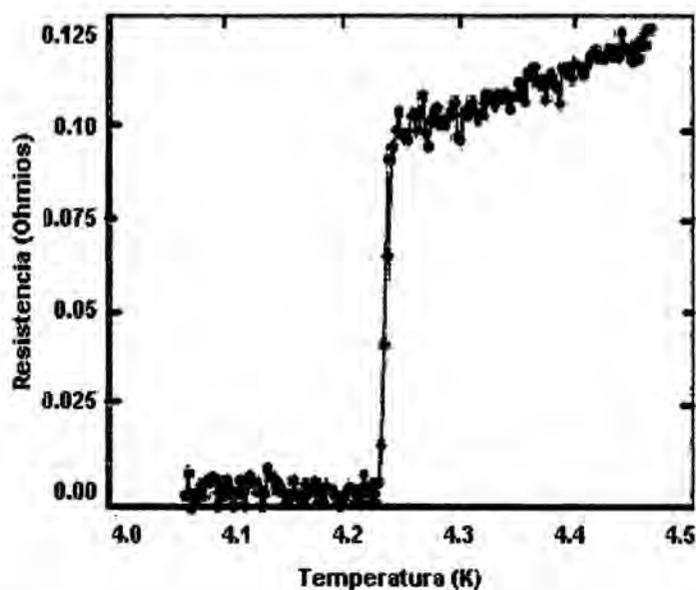


Figura 1. Resistencia eléctrica versus temperatura del mercurio.

Años más tarde, en 1933, los científicos W. Meissner y R. Ochsenfeld descubrieron que los materiales superconductores tienen la capacidad de repeler un campo magnético

actuando como material diamagnético. Esto fue llamado más tarde como el efecto Meissner y se ha descubierto que es tan fuerte que puede hacer levitar a un imán colocado sobre un material superconductor. Al correr de los años, se descubrieron otros materiales superconductores cada vez usando temperaturas superiores. Así es como en 1962 científicos de Westinghouse desarrollaron el primer cable superconductor comercial, el cual consistía en una aleación de Niobio y Titanio. El primer avance teórico ampliamente aceptado sobre la superconductividad fue hecho en el año 1957 por los físicos norteamericanos John Bardeen, Leon Cooper y John Schrieffer, el cual fue llamado la Teoría BCS y que les hizo merecedores del Premio Nobel en Física en el año 1972. Sin embargo esta teoría puede explicar la superconductividad de elementos y aleaciones simples con temperaturas cercanas al cero absoluto 0 K, pero no es capaz de explicar totalmente el fenómeno con temperaturas más altas.

Otro importante avance se realizó en el año 1962 donde Brian Josephson predijo que la corriente eléctrica podría fluir entre dos materiales superconductores incluso si ellos están separados por un aislador. Este efecto de túnel es hoy conocido como el Efecto Josephson y es aplicado en instrumentos capaces de detectar campos magnéticos muy débiles. B. Josephson fue ganador del Premio Nobel en Física por su predicción en el año 1973.

Un quiebre increíble en los descubrimientos sobre la superconductividad fue hecho en el año 1986, cuando Alex Muller y George Bednorz, investigadores del IBM Research Laboratory, crearon un compuesto cerámico superconductor con la más alta temperatura registrada hasta entonces 30 K. Este descubrimiento, que les hizo merecedores del

Premio Nobel de Física en el año 1987, fue notable, ya que generalmente las cerámicas son aisladoras y no conducen corriente eléctrica. Fue así como una nueva época en la historia de los superconductores nació dando paso a los superconductores de alta temperatura. Investigadores de todo el mundo empezaron a crear cerámicas de cualquier posible combinación para obtener superconductores de mayor temperatura.

3.2 LOS ÓXIDOS SUPERCONDUCTORES DE ALTA TEMPERATURA

Como es sabido la mayoría de los óxidos superconductores de alta temperatura crítica tienen propiedades metálicas. Por este motivo fue razonable estudiar la superconductividad. Así por ejemplo, tenemos algunos superconductores como $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, $\text{Bi}_2\text{Ca}_2\text{Sr}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$, $\text{Tl}_2\text{Ca}_2\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$, $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\gamma}$, $\text{CaLaBaCu}_3\text{O}_7$, etc. Pero sin lugar a duda una de las características en que se diferencian entre estos superconductores es su estructura cristalina que está formado por triples perovskitas, razón por la cual empezaremos a estudiar.

3.2.1 LA ESTRUCTURA PEROVSKITA

Las estructuras cristalinas de los superconductores cupratos de alta temperatura crítica, están caracterizados por planos superconductores CuO_2 separados por planos no superconductores. Estas estructuras están cercanamente relacionado a la estructura perovskita (ABO_3) [4]. Generalmente las perovskitas son cerámicas, que presentan una disposición atómica especial, en la cual los átomos A y B son cationes metálicos (iones

con carga positiva) y los átomos de oxígeno son aniones no metálicos (iones con carga negativa) [5]. Así por ejemplo tenemos a la estructura perovskita BaTiO_3 , en la cual los átomos A(Ba) y B(Ti) tienen coordinación 12 y 6 respectivamente. La celda unitaria $\text{Pm}3\text{m}$ de esta estructura puede ser descrita en dos maneras diferentes con A o B en el origen de coordenadas. Es decir cuando el átomo B está en el origen de coordenadas, el átomo A está en el centro de la estructura cristalina, con los oxígenos en el centro de cada arista de la estructura, como se muestra en la figura 2(a). Ahora con A en el origen, el átomo B es localizado en el centro de la estructura y los oxígenos localizados, en los 6 centros de las caras de la estructura como se muestra en la figura 2(b).

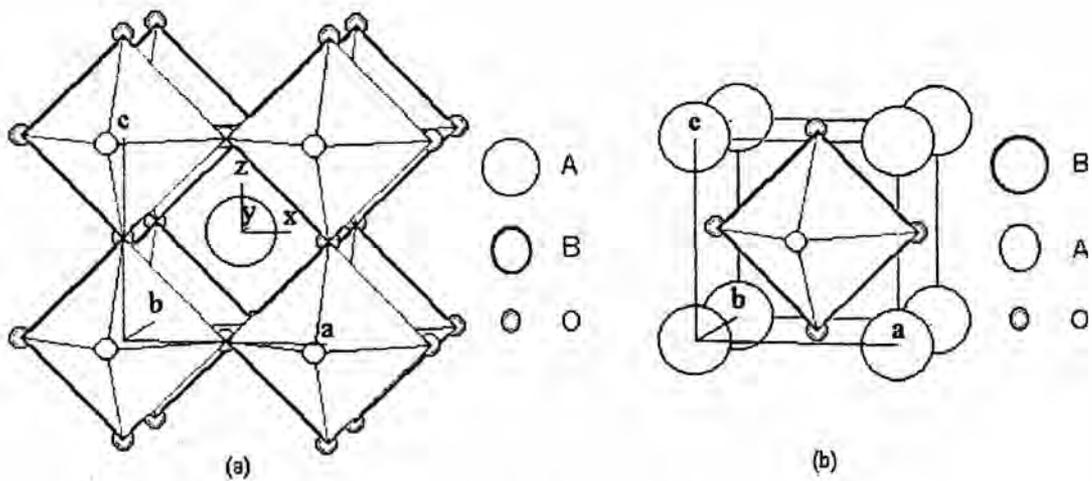


Figura 2. (a) Estructura perovskita con B en el origen, (b) estructura perovskita con A en el origen de coordenadas.

3.2.2 ESTRUCTURA DE $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$

Para principios de 1987, el grupo de investigadores de la Universidad de Houston encabezado por Paúl W. Chu, anunció que una nueva fase estable constituida por tierras raras a base de Y(ytrio), Ba(bario) y óxidos de cobre [6], presentaba propiedades superconductoras a 92 K, es decir, a una temperatura superior a la del Nitrógeno líquido que es 77 K. Esto ocurre cuando el superconductor LaBaCuO a 30 K de fase tetragonal es nuevamente estudiado, es decir se realiza sustituciones iónicas, así haciendo una serie de estudios de sustitución, se llega a saber que el átomo de La (Lantano) es reemplazado por un catión trivalente de tierra rara tal como el Itrio, Y^{3+} así se obtiene el superconductor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ siendo su estructura de tipo ortorrómbico con grupo espacial Pmmm, los parámetros de esta celda está dada por ($a = 3.822 \text{ \AA}$, $b = 3.891 \text{ \AA}$ y $c = 11.677 \text{ \AA}$) [7].

El incremento del T_c en el $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ posiblemente se deba a que el radio iónico del Y (0.93 \AA) es menor que el de La (1.06 \AA) y esto lleva pues a que la presión química interna en la red cristalina sea mayor [8], además la concentración de oxígenos juega un rol muy importante para el control del T_c , razón por la cual la estructura cristalina del $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ cambia continuamente desde ortorrómbico hasta tetragonal, cuando decrece el contenido de oxígeno.

Este cambio en la simetría del cristal es reversible y depende del contenido de oxígeno, la estructura es ortorrómbico (Pmmm) para $y > 6.5$ y tetragonal (P4/mmm) para $y < 6.5$

donde se anula completamente la superconductividad [9].

El superconductor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ es también conocido como el sistema 123 cuyos parámetros estructurales y la estructura cristalina, puede observarse en la Tabla 1 que se muestra en la siguiente página y en la Figura 3 respectivamente.

Tabla 1. Parámetros Cristalográficos del Superconductor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$.

Átomo	Oxidación	Wyckoff	X	Y	Z	Ocupancia
Y	+3	1h	0.5	0.5	0.5	1.00
Ba	+2	2t	0.5	0.5	0.1843	1.00
Cu1	+1	1a	0.0	0.0	0.0	1.00
Cu2	+2	2q	0.0	0.0	0.3556	1.00
O1	-1	1e	0.0	0.5	0.0	0.92
O2	-1	2s	0.5	0.0	0.3773	1.00
O3	-1	2r	0.0	0.5	0.3773	1.00
O4	-1	2q	0.0	0.0	0.1584	1.00

Referencia: Charles P. Poole [10]

Por lo que el superconductor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ está formado por átomos de Cu donde ocupan dos sitios sobre ambos lados de los planos Ba-O. Sobre un lado los planos superconductores CuO_2 son paralelos a los átomos de Y, mientras los átomos de Cu presentan una pirámide de base cuadrada con coordinación 5.

La estructura sobre el otro lado de los planos Ba-O depende sobre la estequiometría. En el caso del Y-123 [11] los átomos Cu-O forma una cadena lineal con átomos de Cu, teniendo una coordinación planar 4, que conduce para un cristal ortorrómbico. En el caso de Y-123 [4] que es tetragonal todos los oxígenos están ausentes en el plano basal y los átomos de Cu están paralelos a los planos Ba-O, con átomos de Cu teniendo coordinación lineal 2.

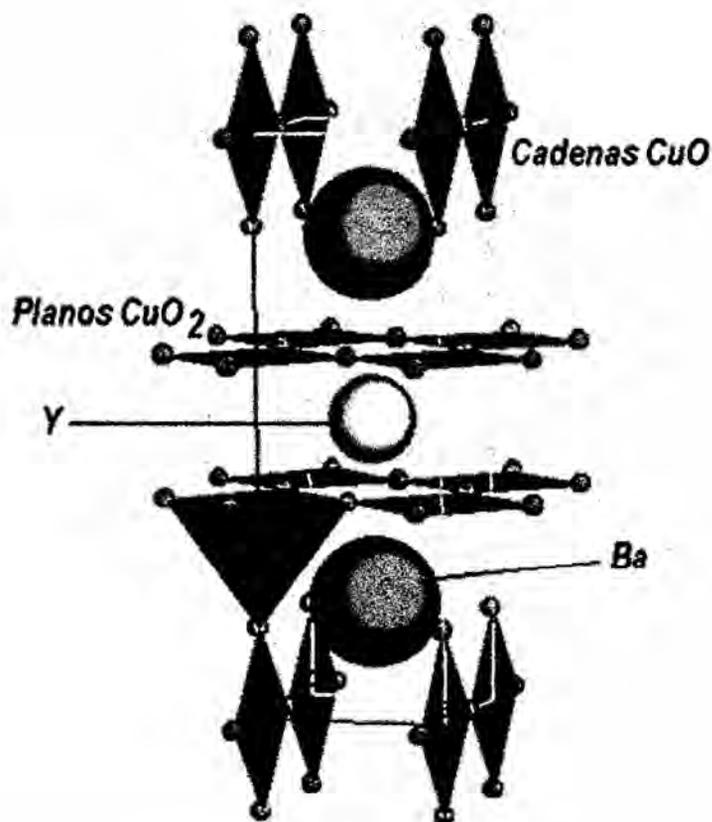


Figura 3. Estructura de $YBa_2Cu_3O_7$.

También es importante mencionar que la superconductividad, tiene lugar esencialmente dentro de los planos CuO_2 bi-dimensionales o también llamados los Bloques Activos (BA) en este superconductor Y-123.

Además las cadenas CuO_x pueden ser considerados como Reservorios de Cargas (RC), que son necesarias para transferir las cargas dentro de los planos CuO_2 . Esto nos posibilita considerar los superconductores HTSC como siendo formado de planos CuO_2 separados por los reservorios de cargas (RC).

Pero sin lugar a duda muchos de los óxidos superconductores de alta temperatura crítica son compuestos del cobre (Cu) y presentan características muy importantes, excepto para algunos materiales como $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{BiO}_3$. Razón por la cual la primera característica de estos compuestos es la presencia de los planos superconductores CuO_2 que determina muchas de las propiedades de estos materiales y la segunda característica más importante de estos óxidos es su propiedad metálica.

3.2.3 ESTRUCTURA DE $\text{CaLaBaCu}_3\text{O}_7$

Después de una serie de estudios de sustitución en el $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ se obtiene el superconductor $\text{CaLaBaCu}_3\text{O}_7$ con T_c de 80 K cuya estructura cristalina presenta una simetría de tipo tetragonal, es decir es una triple perovskita ($a = 3.87 \text{ \AA}$ y $c = 11.71 \text{ \AA}$, con grupo espacial $P4/mmm$) [12].

Este superconductor es obtenido al reemplazar simultáneamente los iones de $\text{Ca}(1/4)$ y $\text{La}(3/4)$ por iones de Ytrio (Y) y además los iones de $\text{Ca}(3/8)$, $\text{Ba}(1/2)$ y $\text{La}(1/8)$ por

iones de Ba, del mismo superconductor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ en la Tabla 2 que se muestra en la siguiente página, se indican los parámetros estructurales así como también en la figura 4 se indica la estructura de este material superconductor $\text{CaLaBaCu}_3\text{O}_7$.

Tabla 2. Parámetros Cristalográficos del Superconductor $\text{CaLaBaCu}_3\text{O}_7$.

Átomo	Oxidación	Wyckoff	X	Y	Z	Ocupancia
Ca	+2	1d	0.5	0.5	0.5	0.25
La	+3	1d	0.5	0.5	0.5	0.75
Ba	+2	2h	0.5	0.5	0.18	0.5
Ca	+2	2h	0.5	0.5	0.18	0.37
La	+3	2h	0.5	0.5	0.18	0.13
Cu1	+1	1a	0.0	0.0	0.0	1.00
Cu2	+2	2q	0.0	0.0	0.3556	1.00
O1	-1	2f	0.0	0.5	0.0	0
O2	-1	4i	0.5	0.0	0.3773	1.00
O3	-1	4i	0.0	0.5	0.3773	1.00
O4	-1	2g	0.0	0.0	0.1584	1.00

Referencia: Charles P. Poole [10]

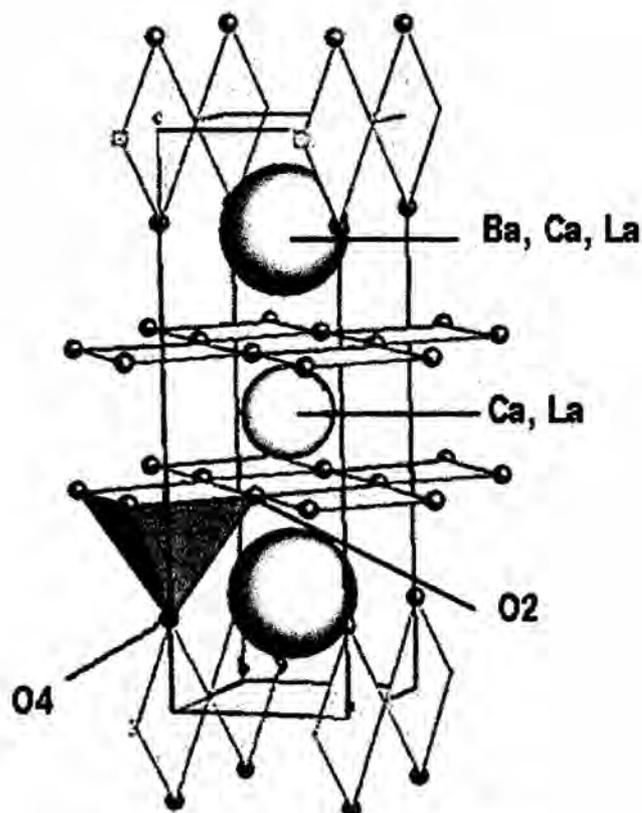


Figura 4. Estructura de $\text{CaLaBaCu}_3\text{O}_7$.

Como es sabido en todas las estructuras cristalinas de los superconductores de óxido de cobre contienen siempre uno o más planos superconductores CuO_2 (denominados bloques activos), los cuales están conectados a regiones (denominados los bloques de reservorio de carga) que no participan directamente en la superconductividad, estos bloques de reservorios de carga proveen los requerimientos electrónicos para la aparición o supresión de la superconductividad dentro de los bloques activos.

3.3 LA DIFRACCIÓN DE RAYOS X

La técnica de Difracción de rayos X, tiene su fundamento en la Ley de Bragg, en la que un haz de rayos X dirigido después de interactuar con los átomos de una red cristalina, tal como se muestra en la Figura 5, son reflejados sin que se modifique su longitud de onda, es decir con la misma longitud de onda, pero con una diferencia de fase que depende de la posición de los átomos en la red.

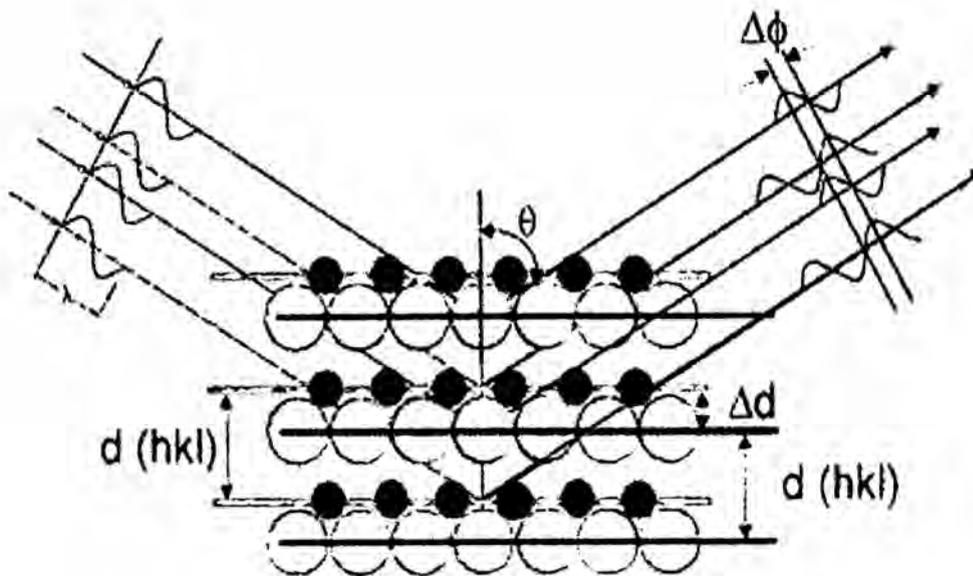


Figura 5. Haces incidentes reflejados en los planos $d(hkl)$ correspondientes a un arreglo de átomos.

Desde luego la Ley de Bragg establece la relación entre la longitud de onda λ de los rayos X, la distancia interplanar d de los planos o redes iónicas que tiene el cristal y el ángulo de difracción θ mediante la ecuación:

$$\lambda = 2d_{hkl}\text{sen}\theta_{hkl} \quad (1)$$

Donde el valor de la distancia interplanar d_{hkl} es característica de la estructura de los cristalitos y de los parámetros de red de la muestra que se analiza. El valor de θ_{hkl} obviamente depende de la longitud de onda λ de los rayos que inciden en el plano hkl . Esta representación fue empleada por Bragg para describir la difracción, donde los rayos X inciden desde el lado izquierdo y se reflejan en cada uno de los planos atómicos con índices (hkl) .

Un difractograma de rayos X como se indica en la Figura 6, registra la intensidad de rayos X difractados (reflejados según Bragg) I en función del ángulo de barrido 2θ , que es el ángulo difractado formado por la dirección del rayo difractado por el cristal con el rayo transmitido [13].

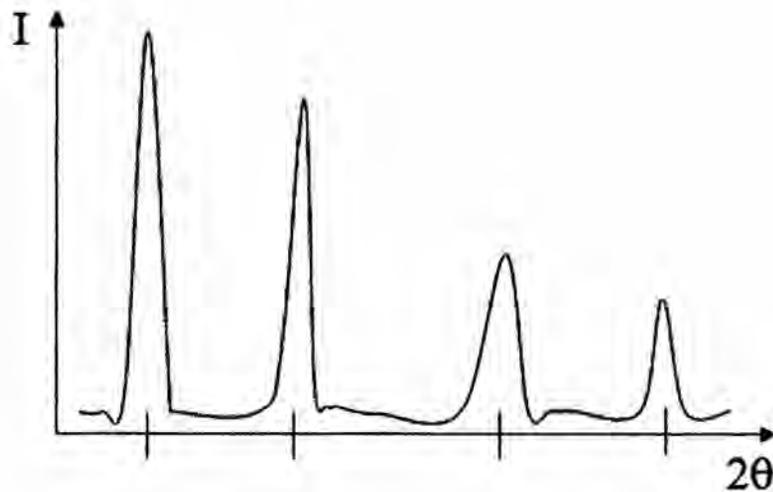


Figura 6. Difractograma de rayos X.

HP.

Con respecto a los factores que determinan la forma de los picos de un difractograma de rayos X estos son: el factor de absorción, factor de polarización, factor de temperatura, factor de estructura, factor de Lorentz y la multiplicidad de los sitios de Bragg.

3.4 EL SQUID

El SQUID DC es una de las aplicaciones más exitosas de los superconductores a pequeña escala. Consiste de un anillo superconductor, interrumpido por dos uniones llamadas Uniones de Josephson. Este combina dos fenómenos: la cuantización del flujo [14] y el efecto Josephson [15]. Si un flujo magnético es aplicado al SQUID, aparecerán corrientes que circulan por el anillo debido a la cuantización del flujo, luego estas corrientes son convertidas en voltaje sobre las uniones de Josephson.

EL SQUID DC es un convertidor de flujo magnético a voltaje eléctrico y su voltaje de salida es una función periódica del flujo aplicado. Para linealizar la salida de voltaje con el flujo aplicado, un SQUID está usualmente implementado con un circuito de realimentación.

El SQUID es el sensor más sensible de flujo magnético que actualmente existe. Mide un cambio de campo magnético con una extremada alta resolución, en unidades de cantidad de flujo cuantizado igual a $2.0 \times 10^{-15} \text{Wb}$. Una medida típica de la magnetización con un SQUID consiste en mover una muestra dentro de una bobina sensora causando un cambio de flujo a través de la bobina, ver la Figura 7.

La corriente inducida producida por este cambio de flujo $\Delta\Phi$, es pasada luego a una bobina de muchas vueltas, situada sobre el lado izquierdo de la figura, donde es amplificada por el número de vueltas de esta segunda bobina. El anillo de SQUID con sus uniones de Josephson detecta este cambio de flujo. El cambio de flujo provee el momento magnético dado por la expresión:

$$4\pi\mu = \Delta\Phi \quad (2)$$

Donde μ es el momento magnético, y la susceptibilidad magnética por unidad de volumen estará expresada por:

$$\chi = \frac{4\pi\mu}{VB_{ext.}} \quad (3)$$

La que podemos escribir como:

$$\chi = \frac{\Delta\Phi}{VB_{ext.}} \quad (4)$$

Donde V es el volumen de la muestra.

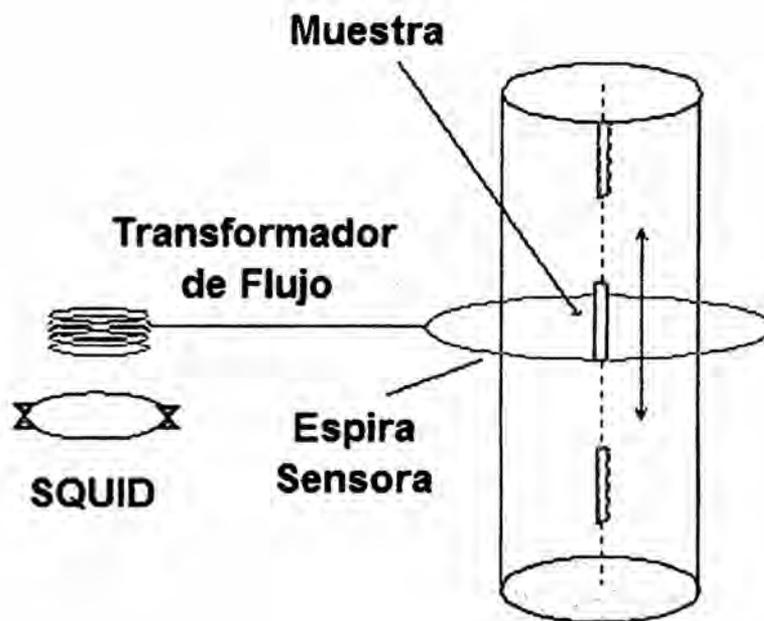


Figura 7. Esquema de una medida mediante un SQUID.

La medida de la susceptibilidad magnética por unidad de volumen, χ , para un campo aplicado H_{ext} y a una temperatura, T , determinada en la región superconductor en particular, depende de la trayectoria seguida en el plano (H, T) que la muestra sigue para alcanzar los valores de campo y temperatura particulares. Existen dos tipos de medidas que son usualmente realizadas para cuantificar esta dependencia sobre la trayectoria:

1. Enfriamiento con campo cero (ZFC): Esta primera medida consiste en enfriar la muestra debajo del T_c en ausencia del campo aplicado H_{ext} . Posteriormente se aplica un campo pequeño H_{ext} , típicamente de algunos Oersted y luego se mide χ . Bajo esta condición, el superconductor muestra lo que es llamado el blindaje diamagnético o exclusión de flujo, que significa que el campo aplicado H_{ext} , no

penetra en el material. La χ medida tiene un valor fuertemente negativo, idealmente $-1/4\pi$ en magnitud para una completa exclusión del flujo.

2. Enfriamiento con campo (FC): Esta segunda medida consiste en encender el campo $H_{ext.}$ mientras la muestra está aún en el estado normal, enfriándola por debajo de su T_C en presencia del campo aplicado $H_{ext.}$ y midiendo la χ para varias temperaturas durante el proceso de enfriamiento. Bajo esta condición el superconductor exhibe lo que es referido como el efecto Meissner o expulsión del flujo.

3.5 MAGNETISMO DEPENDIENTE DE LA TEMPERATURA

El diamagnetismo es una característica intrínseca de un superconductor. Los superconductores exhiben otros tipos de comportamiento magnético en su estado normal.

La susceptibilidad magnética mide lo susceptible que es una muestra a la magnetización, para temperaturas sobre el T_c puede tener una contribución independiente de la temperatura, χ_0 , que es debida a los electrones de conducción en la superficie de Fermi junto con un termino denominado Curie – Weiss dependiente de la temperatura debido a la presencia de iones paramagnéticos.

$$\chi = \chi_0 + \frac{N_A \mu_{eff}^2}{3k_B(T-\theta)} \quad (5)$$

$$\chi = \chi_0 + \frac{C}{T-\theta} \quad (6)$$

Donde μ_{eff} es el momento magnético efectivo de los iones paramagnéticos presentes en la muestra que incorpora la concentración de los iones paramagnéticos por mol, N_A es el número de Avogadro, C es la constante de Curie y k_B la constante de Boltzmann. La temperatura de Curie - Weiss, θ , es negativa para un acople paramagnético entre los iones magnéticos y es positiva para un acople antiferromagnético, ver figura 8.

Debajo del T_c la señal diamagnética generalmente sobrelapa al término debido a los electrones de conducción, este último resulta muy pequeño y difícil de detectar.

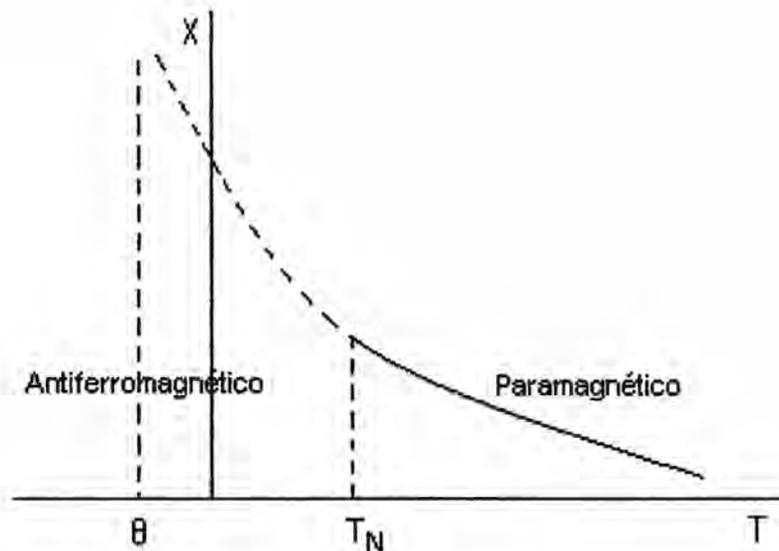


Figura 8. La extrapolación de la curva paramagnética debajo de $T = 0$ provee la temperatura de Curie - Weiss.

44

4. MATERIALES Y MÉTODOS

El objetivo fue preparar una muestra superconductora de óxido de cobre correspondiente al sistema $\text{CaLaBaCu}_{3-x}\text{O}_{7.5}$ conteniendo el oxianión borato, $(\text{BO}_3)^{3-}$ con $x = 0.1$. Se hizo los respectivos cálculos estequiométricos a fin de estabilizar la estructura dopándola con un oxianión por celda unitaria, se sustituyó el sitio de Cu(1) por $(\text{BO}_3)^{3-}$. Las propiedades superconductoras de los compuestos de óxido de cobre son sensibles al método de preparación y al tratamiento térmico. Existen dos principales métodos que se utilizan para la preparación de estos compuestos, la reacción de estado sólido y la técnica del Sol-Gel. El método escogido en el presente trabajo es el método de reacción de estado sólido RES. La calcinación sigue el mismo procedimiento que la utilizada para el $\text{CaLaBaCu}_3\text{O}_7$ substituido con Ni y Ga [16]. Para el tratamiento térmico se utilizó un horno tubular LENTON LTF & PTF 16/610. Se tomó el respectivo difractograma de rayos X, con un equipo Rigaku modelo HGZ usando la radiación $K\alpha$ del Cu ($\lambda=1,5406\text{\AA}$), para encontrar las fases secundarias y refinar la estructura mediante el método Rietveld, DBWS-9807 [17]. La temperatura crítica superconductora de la muestra se encontró a partir de las medidas de susceptibilidad magnética versus temperatura mediante el equipo MPMS DC-SQUID.

4.1 PREPARACIÓN DEL COMPUESTO $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$

La preparación del compuesto $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$ se realizó utilizando el método de la reacción de estado sólido RES a condiciones normales de presión y temperatura,

los ingredientes con 99.99 % de pureza utilizados para dicha preparación fueron los siguientes: CaCO_3 (0.1631g), La_2O_3 (0.2655g), BaCO_3 (0.3216g), CuO (0.3759g) y H_3BO_3 (0.0101g). Cabe mencionar que estas cantidades mencionadas fueron obtenidas a través de los cálculos estequiométricos.

Antes de formar la pastilla superconductor que se necesita para luego realizar la calcinación, procedemos a continuación a mezclar y triturar los ingredientes que se mencionaron, en la cual este proceso consiste en moler en un mortero de ágata como se indica en la figura 9, para hacer una masa muy fina de polvos, ayudando a la reacción de estado sólido mediante el uso de metanol de alta pureza esto para homogenizar mejor la muestra dejando luego la mezcla secar.

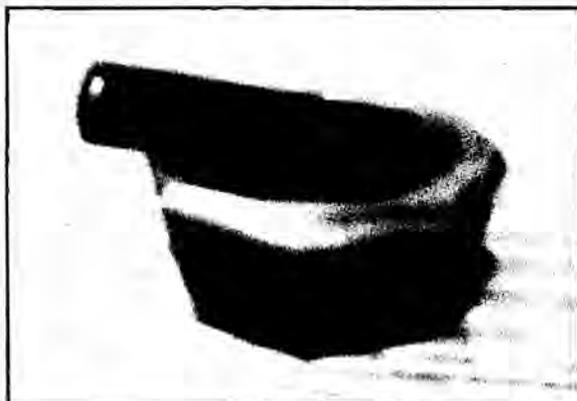


Figura 9. Mortero de ágata.

Luego procedemos a empastillar esta muestra, para esto utilizamos una prensa empastilladora, en esta etapa utilizamos una presión de 5 ton./cm^2 por 5 minutos. La pastilla obtenida es colocada en una barqueta de alúmina para su posterior tratamiento térmico.

24.

4.2 EL TRATAMIENTO TÉRMICO

El tratamiento térmico es la etapa más importante del proceso de preparación de las muestras. Para nuestro trabajo la preparación de la pastilla $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$ se utilizó el siguiente proceso de tratamiento térmico.

Primer tratamiento térmico: La pastilla se introduce en un horno tubular LENTON de la Facultad de Ciencias Físicas de la UNMSM, equipo especial de altas temperaturas con controladores automáticos digitales, ver figura 10, y recocidas a una temperatura de $975\text{ }^\circ\text{C}$ por 24 h con un flujo de aire, seguido de un enfriamiento lento a una razón de $60^\circ\text{C}/\text{h}$ hasta llegar a la temperatura ambiente. A continuación se molió uniformemente la pastilla finalizando en esta etapa con un empastillamiento del polvo, utilizando una presión de 5 ton./cm^2 por 5 minutos .

Segundo tratamiento térmico: Se recoció nuevamente la pastilla hasta alcanzar los $975\text{ }^\circ\text{C}$ por 12 h con un flujo de aire, como en el primero, se enfrió, molió y empastilló nuevamente como en el primer tratamiento.

Tercer tratamiento térmico: De manera similar a los dos casos anteriores, se procede a sinterizar la pastilla, es decir esta debe de alcanzar los $575\text{ }^\circ\text{C}$ por 24 h en una atmosfera de O_2 .

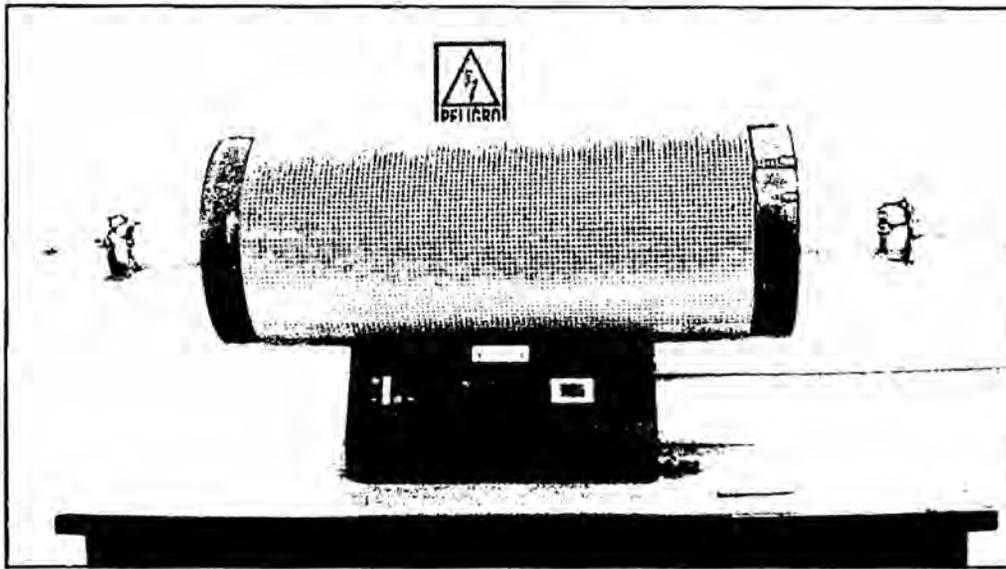


Figura 10. Horno tubular LENTON.

4.3 LA DIFRACCIÓN DE RAYOS X

El equipo más esencial para la caracterización de muestras en polvo es el difractómetro de rayos X. La fácil accesibilidad a la difracción de rayos X lo convierte en una técnica de gran ayuda no solo para la identificación de las fases presentes, también para la identificación de la estructura de la red cristalina y para el modelamiento de la celda unitaria básica. Así con el conocimiento de la composición química de un sólido y de los tamaños de los radios iónicos, los modelos estructurales pueden ser construidos y utilizados en los procedimientos de refinamiento del patrón de difracción de rayos X. En este trabajo el patrón de difracción de rayos X del compuesto $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$ fueron registrados por un Difractómetro de Rayos X, de marca Rigaku, modelo Miniflex del Laboratorio de Rayos X, de la Facultad de Ciencias

Físicas de la UNMSM de longitud de onda $\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$ de la radiación K- α del Cu, con voltaje de 30 KV e intensidad de corriente 15 mA y filtro de Níquel, con un barrido de ángulo 2θ de 10° a 80° y un paso de ángulo de 0.02° .

Para ello se trituró la muestra en forma de polvo y colocada en una portamuestra especial de 15 mm de radio, adherida con una luna de vidrio para preservar la uniformidad superficial de la distribución del polvo. Luego es colocado en el interior del equipo montada en el centro del goniómetro. En la figura 11, se aprecia el modelo del Difractómetro de Rayos X, donde los datos son almacenados en un computador que se encuentra conectado al equipo.

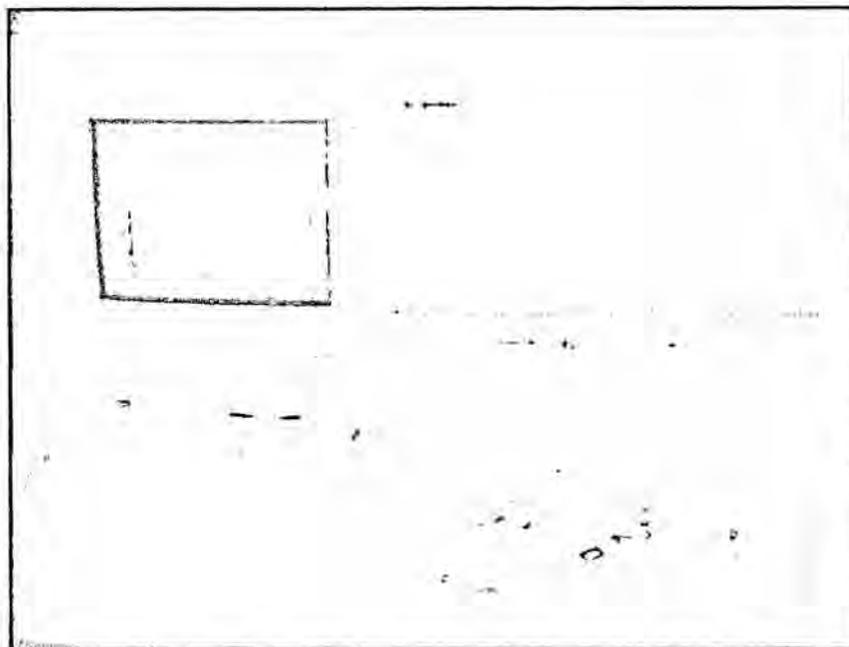


Figura 11. Difractómetro de Rayos X, de marca Rigaku, modelo Miniflex.

4.4 LAS MEDIDAS DE MOMENTO MAGNÉTICO

Las mediciones del momento magnético en función de la temperatura de la muestra $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$ se hicieron en los laboratorios del Departamento de Física de la Universidad de Cambridge (Inglaterra) gracias a la colaboración del Dr. Luis de Los Santos, para estas mediciones se ha empleado un sistema de medida MPMS (Magnetic Property Measurement Systems) con un sensor SQUID de la Quantum Design, ver la Figura 12.

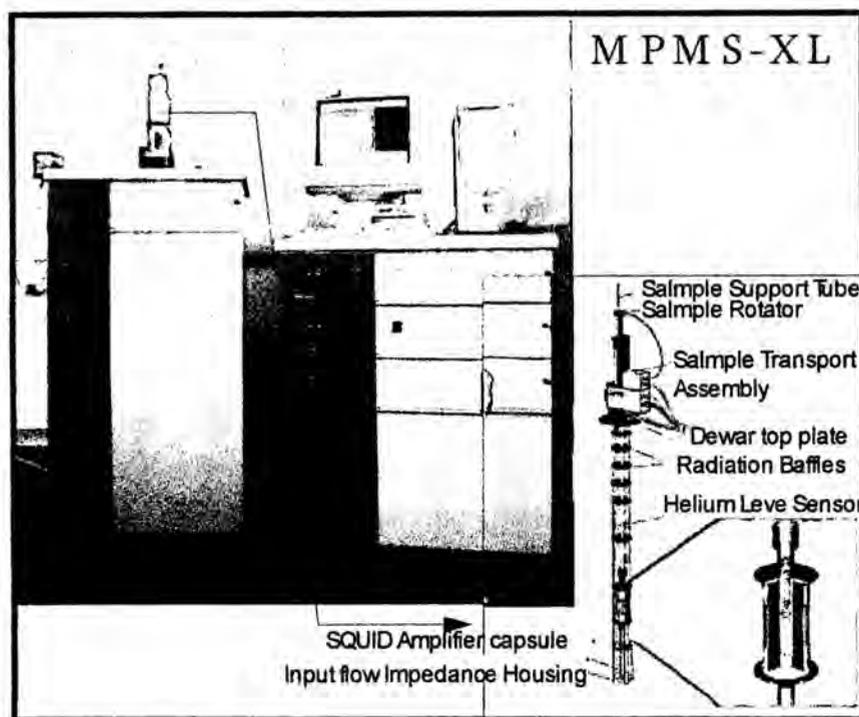


Figura 12. Equipo de Magnetización MPMS – XL con sistema de detección SQUID.

Para esto una pequeña cantidad de 25.2 mg de la muestra $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$ es colocado en una capsula para luego introducirla en el sensor del equipo SQUID del MPMS-XL, mediante el computador se programa el campo magnético, una primera medida con enfriamiento con campo cero (ZFC) y una segunda medida con enfriamiento con campo (FC) con un campo externo de 100 Oe dentro de un rango de temperaturas de 10 K a 100 K se obtienen en la región de superconductividad.

Además una medida con enfriamiento con campo cero (ZFC) con un campo externo de 5 kOe dentro de un rango de temperaturas de 100 K a 300 K se obtiene en la región normal.

5. RESULTADOS

5.1 PATRÓN DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X DEL $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$

La figura 13, muestra los primeros resultados del presente trabajo, que se obtiene al someter el compuesto preparado a la técnica de Difracción de rayos X. También podemos apreciar unos picos bien definidos y que son típicos en este tipo de compuestos.

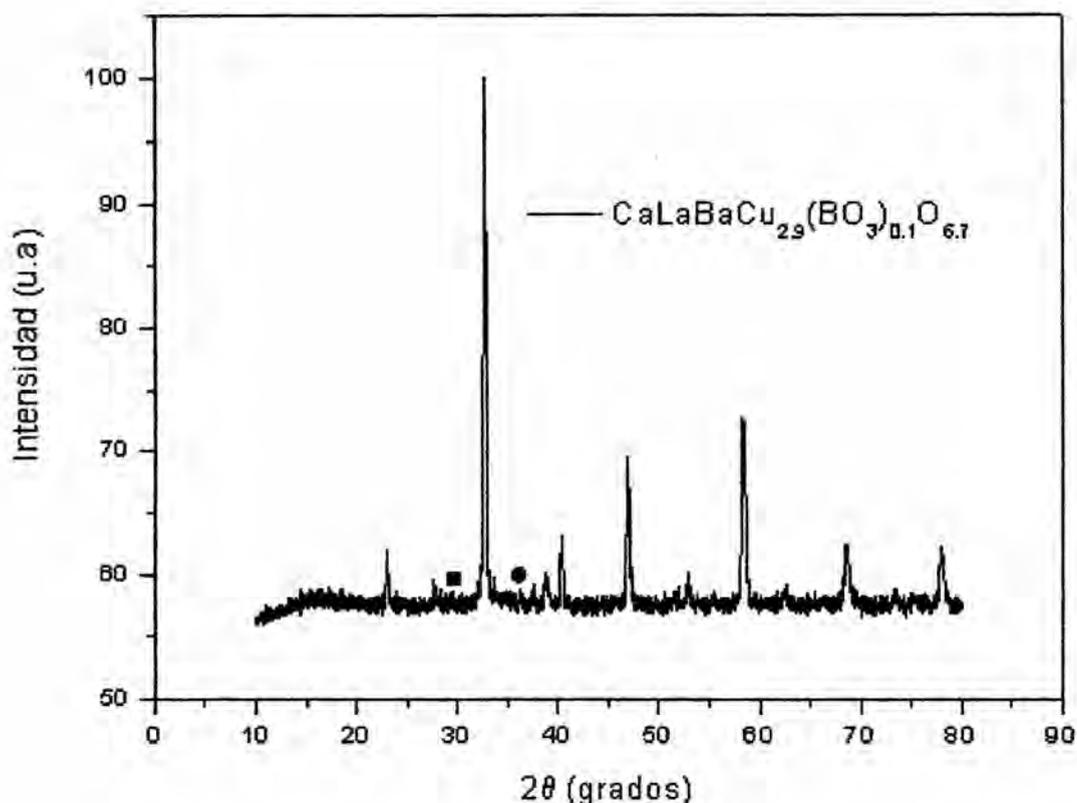


Figura 13. Patrón de difracción de rayos X del $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$. Resultados obtenidos en la presente investigación.

44.

5.2 ESTRUCTURA DEL $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$

En la figura 14, se presenta la estructura del $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$, estructura que se pudo determinar en base a un modelo estructural del $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ortorrómbico y a la vez con ayuda del software Carine v3.1. Con los datos del patrón de difracción de rayos X y el método Rietveld se puede deducir que la estructura cristalina del $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$ es similar al $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ortorrómbico. En la tabla 3, se presenta los parámetros cristalográficos de este compuesto.

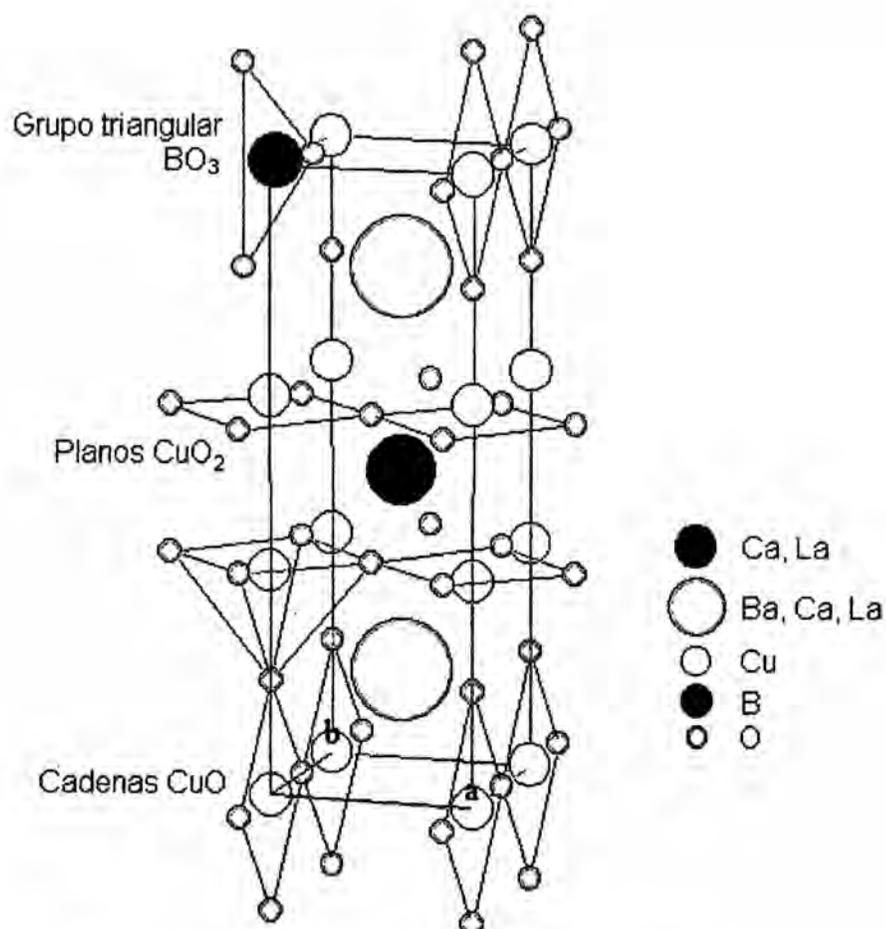


Figura 14. Estructura del $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$. Resultados obtenidos en la presente investigación.

Tabla 3. Parámetros cristalográficos del $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$.

Átomos	Wyckoff	Est. de oxidación	X	Y	Z	Ocupancia
Ca	1	2+	0.5	0.5	0.5	0.27
La	1	3+	0.5	0.5	0.5	0.73
Ba	2	2+	0.5	0.5	0.17789	0.52
Ca	2	2+	0.5	0.5	0.17789	0.32
La	2	3+	0.5	0.5	0.17789	0.16
Cu1	1	1+	0.0	0.0	0.0	0.87
B	4	0	-0.02	0.16	0.0	0.13
Cu2	2	2+	0.0	0.0	0.36135	1.04
O1	1	1-	0.0	0.5	0.0	1.0
O2	2	1-	0.5	0.0	0.36480	1.0
O3	2	1-	0.0	0.5	0.38641	1.0
O4	2	1-	0.0	0.0	0.16610	0.21
O5	4	1-	-0.13	0.0	0.160	0.78
O6	4	1-	0.09	0.42	0.0	0.06

11.

5.3 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA DEL $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$

Con el propósito de presentar la susceptibilidad magnética versus temperatura se hace uso de la ecuación $\chi = M * \bar{M} / H * m$, donde χ es la susceptibilidad magnética, M el momento magnético, \bar{M} el peso molecular, H el campo magnético externo y m la masa del compuesto.

En la figura 15, se presenta las curvas de la susceptibilidad magnética en enfriamiento con campo magnético cero (ZFC) y enfriamiento con campo (FC) bajo un campo magnético externo aplicado de 100 Oe en el rango de 10 – 100 K mediante el uso de un sistema de detección SQUID, el cual es considerado para determinar la temperatura crítica del $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$ con peso molecular aproximadamente de 613.6871 g/mol.

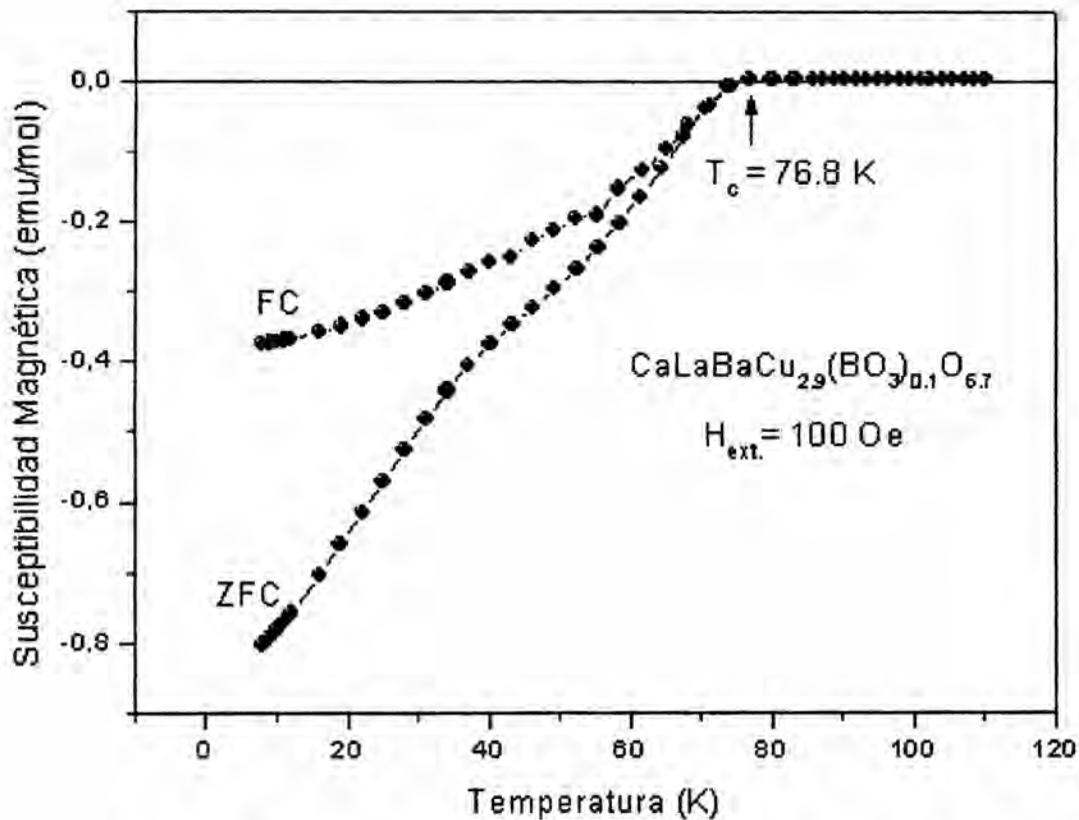


Figura 15. Susceptibilidad magnética del $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$. Resultados obtenidos en la presente investigación.

5.4 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA EN LA REGIÓN NORMAL DEL $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$

La curva de la susceptibilidad magnética dependiente de la temperatura para el compuesto $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$ se presenta en la figura 16, donde el compuesto está en la región normal no superconductora, para el rango de temperatura de 100 - 300 K. Es decir la susceptibilidad magnética versus temperatura, esencialmente sigue el comportamiento de la Ley de Curie-Weiss, dado por la ecuación

44.

$$\chi = \chi_0 + C/(T - \theta).$$

Donde C es la constante de Curie, desde el cuál el momento magnético efectivo μ_{eff} es obtenido, θ es la temperatura de Curie - Weiss y χ_0 es la susceptibilidad magnética independiente de la temperatura.

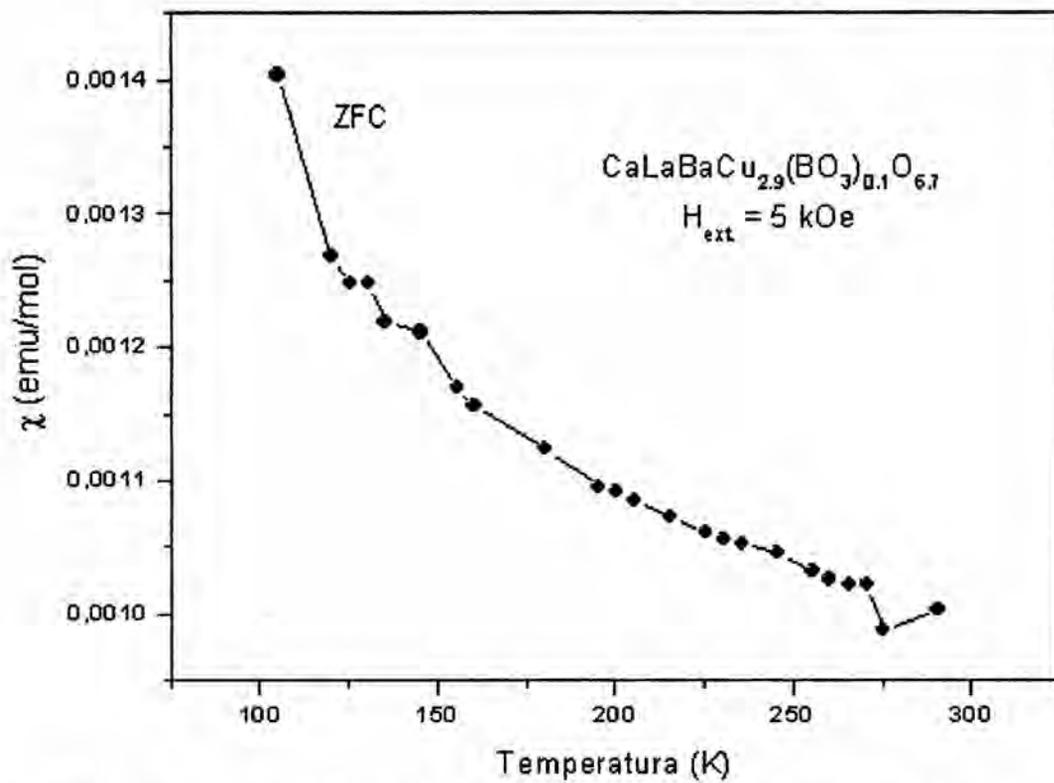


Figura 16. Susceptibilidad en la región normal del CaLaBaCu_{2.9}(BO₃)_{0.1}O_{6.7}. Resultados obtenidos en la presente investigación.

44.

5.5 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA INVERSA DEL

CaLaBaCu_{2.9}(BO₃)_{0.1}O_{6.7}

Con el propósito de encontrar los parámetros de la susceptibilidad magnética independiente de la temperatura χ_0 , la constante de Curie C y la temperatura de Curie - Weiss θ , que se dan en la Ley de Curie - Weiss, se hace una grafica χ^{-1} versus T , teniendo en cuenta los datos de la susceptibilidad magnética en la región normal dados en la gráfica 16. Por ello en la gráfica 17, se presenta la susceptibilidad magnética inversa del CaLaBaCu_{2.9}(BO₃)_{0.1}O_{6.7} versus temperatura, siguiendo así un comportamiento de acuerdo a la Ley de Curie-Weiss. En la tabla 4, se presenta los parámetros de la curva $\chi^{-1}(T)$ para el compuesto CaLaBaCu_{2.9}(BO₃)_{0.1}O_{6.7}.

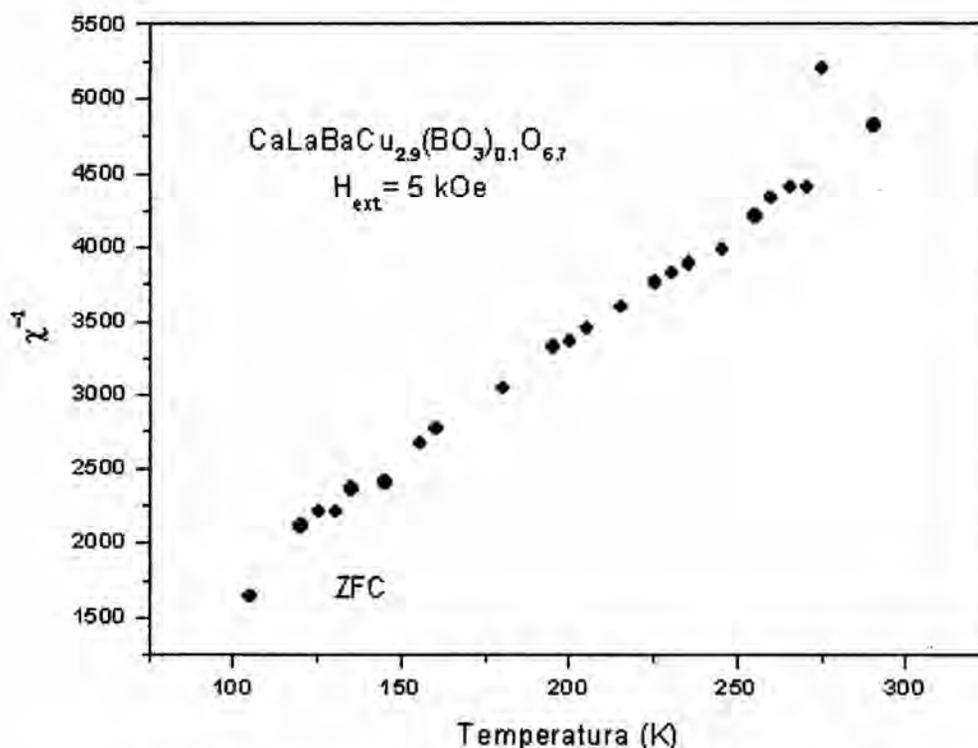


Figura 17. Susceptibilidad magnética inversa del CaLaBaCu_{2.9}(BO₃)_{0.1}O_{6.7}. Resultados obtenidos en la presente investigación.

44.

Tabla 4. Parámetros de la curva $\chi^{-1}(T)$ del $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$.

$\chi_o(\text{emu/mol})$	$C(\text{emu.K/mol})$	$\theta(\text{K})$
7.95×10^{-4}	0.0639	-14.06

6. DISCUSIÓN

6.1 PATRÓN DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X DEL $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$

En la figura 13, se presenta el patrón de difracción de rayos X del $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$ el cual muestra picos bien definidos, lo que demuestra una buena cristalización de este compuesto. Además el pico principal se encuentra en torno de $2\theta = 32.74^\circ$ y presenta fase ortorrómbica correspondiente al grupo espacial Pmmm similar al $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ortorrómbico. También se detectó en pequeñas proporciones la presencia de fases espúreas (impurezas) tales como: BaCuO_2 y CuO que se indican por un cuadrado y círculo sombreado respectivamente.

6.2 ESTRUCTURA DEL $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$

En la figura 14, se indica la estructura cristalina de este compuesto el cual el cambio de simetría tetragonal a ortorrómbica en comparación con la estructura del $\text{CaLaBaCu}_3\text{O}_7$ se debe a la incorporación del oxianión borato $(\text{BO}_3)^{3-}$ en la estructura.

Con el refinamiento por el método de Rietveld se pudo encontrar los parámetros cristalográficos que se indican en la tabla 3, así como también los parámetros de red $a = 3.8651 \text{ \AA}$, $b = 3.8791 \text{ \AA}$ y $c = 11.6042 \text{ \AA}$ para este compuesto de simetría ortorrómbica correspondiente al grupo espacial Pmmm.

Como se puede apreciar el parámetro de red c decrece y esto se debe a la incorporación del oxianion borato $(\text{BO}_3)^{3-}$ en el sitio del Cu(1) de la cadena de la estructura cristalina del $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$. También los parámetros de red a y b variaron, esto en comparación con la estructura del superconductor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$.

Además con la inclusión del oxianión borato $(\text{BO}_3)^{3-}$ en el sitio de Cu(1) crea el plano cuadrangular CuO_4 con coordinación 4 y la pirámide cuadrangular CuO_5 con coordinación 5 para Cu(2) en la estructura cristalina.

6.3 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA DEL $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$

En la figura 15, se puede observar la ocurrencia de la superconductividad en el compuesto $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$ a la $T_{c(\text{onset})} = 76.8 \text{ K}$, temperatura en el cual el compuesto empieza a mostrar sus propiedades superconductoras.

La disminución de la T_c del $\text{CaLaBaCu}_{2.9}(\text{BO}_3)_{0.1}\text{O}_{6.7}$ con respecto a la del $\text{CaLaBaCu}_3\text{O}_7$ ($T_c = 80 \text{ K}$) se debe a que el oxianion $(\text{BO}_3)^{3-}$ entra en el sitio de Cu(1) de la estructura cristalina del $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ortorrómbico creando así un desorden en la estructura, por tal situación es afectado el oxígeno apical.

44.

6.4 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA INVERSA DEL

CaLaBaCu_{2.9}(BO₃)_{0.1}O_{6.7}

En la región normal es decir en la región no superconductora el compuesto CaLaBaCu_{2.9}(BO₃)_{0.1}O_{6.7} sigue un comportamiento según la Ley de Curie – Weiss. En la figura 17, la presencia del antiferromagnetismo de este compuesto es debido a que el valor encontrado para la temperatura de Curie – Weiss es negativo lo que indica un acople antiferromagnético entre los iones del compuesto. Además el magnetismo en el compuesto CaLaBaCu_{2.9}(BO₃)_{0.1}O_{6.7} es debido únicamente a los momentos magnéticos que están localizados en los sitios de Cu(2), puesto a que los demás átomos que contienen al compuesto no son magnéticos.

También como la constante de Curie – Weiss es pequeño esto implica pues que no existe interacción magnética entre los momentos magnéticos del cobre ya que estos átomos se encuentran distribuidos en los sitios de la cadena de Cu(1) y del plano de Cu(2) para este compuesto.

7. REFERENCIAS

- [11] Akinaga M. *Physica C* 282-287 (1997) 1139 – 1140.
- [16] Awana V. P. S, Horvat J, Liu H. K, Dou S. X, Rajvir Singh, Narlikar A. V, Das M. P. *Physica C* 301 (1998) 205 – 214.
- [7] Beno M. A, Soderholm L, Capone D. W, Hinks D. G, Jorgensen J. D, Grace J. D and Schuller I. K. *Appl. Phys. Lett.* Vol 51, N° 1, 6 July 1987, p. 57-59.
- [2] Bustamante A. “Superconductivity in the system $[Y_{0.8}Ca_{0.2}](SrBa)Cu_{3-x}(BO_3)_xO_{7-\delta}$ with $0.1 \leq x \leq 0.5$ ”. *Physica C*, 2004, 884 – 885.
- [5] Bustamante A. Tesis Doctoral. CBPF. Río de Janeiro - Brasil. 1995.
- [13] Cullity, BD (1978). *Elements of x-ray diffraction*. (20 Ed.). Addison-Wesley Reading, Massachusets.
- [3] De Los Santos L. “Superconductivity in the system $CaLaBaCu_{3-x}(PO_4)_xO_{7-\delta}$ with $x = 0.1, 0.3, 0.5$ ”. *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 67, 2006, 605-609.
- [14] Eisberg R. y Resnick R. “Física Cuántica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos y Partículas”. Cap. 14, pág. 564. Ed. Limusa. 1999.

H.

- [12] Gunasekaran R. A, Yakhmi J. V. and Iyer R. M. *Physica C* 208 (1993) 143-148.
- [6] Guzmán O, Paz Del Ángel, Montoya A, Bosch P, Acosta D. R, Ruano A, Rojas H, Domínguez J. M, Falcony C. *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*. Vol. XIX, N° 4, Octubre 1987, p.50-58.
- [15] Kittel Ch. "Introducción a la Física del Estado Sólido" Cap. 12, pág. 406. Ed. Reverte S.A. 1998.
- [9] Koji Ikeda, Masakatsu Nagata, Minoru Ishihara, Shintaro Kumazawa, Takashi Shibayama, Akihiko Imagawa, Tohru Sugamata, Hiroyuki Katoh, Nobuyuki Momozawa, Kikuo Umezawa and Kohtaro Ishida. *Japanese Journal of Applied Physics* Vol. 27, N° 2, February 1988, pp. L202 - L205.
- [4] Park Ch. and Snyder R. L. "Structures of High-Temperature Cuprate Superconductors". *J. Am. Ceram. Soc.* 78(12), 1995, 3171-94.
- [10] Poole Ch. P, Farach H. A, Creswick R. J. "Superconductivity" Editorial Academic Press, Elsevier. San Diego, California, USA 2007.
- [1] Uribe M. A. "Producción y caracterización del nuevo superconductor $\text{YBa}_2\text{Cu}_{3-x}(\text{PO}_4)_x\text{O}_{7-\delta}$ ". *Rev. Col. Física*, 2007, Vol. 39 N° 2.

[17] Young R. A, Allen C. Larson and C. O. Paiva - Santos. "DBWS-9807a User's Guide". 1999.

[8] Wu M. K, Ashburn J. R, Torng C. J, Hor P. H, Gao R. L, Huang Z. J, Wang Y. Q y Chu C. W. Phys. Rev. Lett. 58, 908 (1987).

44.