

# Preparación de una cerámica superconductora de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}$

Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM-UNAM)

Universidad Nacional Autónoma de México. A.

Postal 70-360. México, CDMX. 04510 MÉXICO

Departamento de materia condensada y criogenia

Laboratorio L-A-005

Laboratorio L-A-003

Jesús Javier Ortiz Amezcua

Universitario Tecnológico Universitam

Postal 22203 Tijuana, B.C. Cucapah 22004.

## Resumen

La preparación de la cerámica superconductora  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}$  se realizó de acuerdo con procedimientos conocidos.

En este proceso se busca crear un material que tenga una temperatura crítica aproximada de 92 Kelvin y presente características superconductoras como el blindaje magnético y la conducción eléctrica perfecta.

# 1. Introducción

El estado superconductor<sup>1</sup> se descubrió en 1911 y desde entonces ha revolucionado el mundo tecnológico con diversas invenciones como máquinas de resonancia magnética, los imanes que guían las partículas en un acelerador (LHC) y hasta en la industria ferroviaria.

En la década de los 80s el tema de la superconductividad tomo mayor relevancia con el descubrimiento de las cerámicas superconductoras, con base en Cobre sintetizadas por Georg Bednorz y Alex Müller a quienes les otorgaron en 1987 el premio nobel<sup>2</sup> debido a sus aportaciones a la física de materiales, dando así inicio a la carrera por los superconductores de alta temperatura crítica<sup>3</sup>.

Actualmente existen muchos tipos de superconductores con una gran variedad de composiciones químicas.

El valor  $\kappa$  Oscila entre 0.1 y 0.5

Al enfriarse los compuestos por debajo de su temperatura crítica el material entra en estado superconductor, debido al cual la resistencia eléctrica del material decrece hasta un punto cercano a cero y se genera una reacción en presencia de un campo magnético exterior y lo repele, a este fenómeno se le conoce como efecto Meissner, que además es responsable de la conocida levitación magnética en los superconductores.

Los superconductores tienen límites en cuanto al campo magnético que pueden repeler y la corriente que pueden conducir los cuales se conocen como campo magnético crítico  $B_c$  y corriente eléctrica crítica  $I_c$ , cuando uno de estos dos valores se sobrepasa el estado superconductor desaparece.<sup>4</sup>

Existen dos tipos de materiales superconductores:

Tipo I: Dentro de esta clasificación usualmente encontramos metales que son sometidos a temperaturas de Helio líquido:

-Hg (Mercurio) con una  $T_c \approx 4.2$  Kelvin

-Es (Estaño) con una  $T_c \approx 3.7$  Kelvin

-Pb (Plomo) con una  $T_c \approx 7.2$  Kelvin

-Zn (Zinc) con una  $T_c \approx 0.9$  Kelvin

---

<sup>1</sup> Estado superconductor:

Se define como el estado en el cual un compuesto presenta conducción perfecta de la corriente eléctrica y un blindaje contra campos magnéticos. (REF. Introducción a los superconductores: Yesenia Arredondo León, Pág. VII)

<sup>2</sup> The Nobel Prize in Physics 1987. NobelPrize.org. Nobel Prize Outreach AB 2023. FRI. 30 jun 2023. <<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1987/summary/>>

<sup>3</sup> Es la temperatura debajo de la cual se realiza la transición de estado normal a superconductor.

<sup>4</sup> <https://wp.icmm.csic.es/superconductividad/superconductividad/parametros-criticos/#:~:text=Corriente%20cr%C3%ADtica%3A%20La%20corriente%20en,material%2C%20la%20>

Tipo II: Entre los materiales que entran en esta clasificación se encuentran:

-cerámicas de Cupratos;

$\text{La}_{2-x}\text{BaCuO}$  con una  $T_c \approx 30$  Kelvin

$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}$  con una  $T_c \approx 92$  Kelvin

-Otros;

NbTi (Neobio-Titanio) con una  $T_c \approx 10$  Kelvin y  $B_c$  de 10 Teslas.

Esta disciplina ha buscado durante décadas una ecuación unificada que explique el estado superconductor.

Durante más de 40 años no existía una teoría que explicara el estado superconductor, pero con la introducción de los conceptos de la mecánica cuántica surgió una herramienta que ayudó a los científicos a comprender este extraño estado de la materia.

Así surgió la teoría de los físicos soviéticos Vitaly Ginzburg y Lev Landau del año 1950 la cual nos explica el funcionamiento de la transición de fase que sufre un superconductor al enfriarse por debajo de su temperatura crítica.<sup>5</sup>

Esta teoría se ve complementada con la teoría BCS<sup>6</sup> llamada así en honor a sus creadores J. Bardeen, L. N. Cooper\* y J. R. Schrieffer la cual logró explicar el comportamiento de los superconductores creados hasta entonces con el modelo teórico de una nueva cuasipartícula llamada fonón, la cual corresponde a las vibraciones colectivas de los átomos de un sólido cristalino en un medio de pares de Cooper.

Conjuntas estas dos teorías logran explicar bien la superconductividad de tipo I, pero presenta fallas al intentar explicar la superconductividad de tipo II.

Por último, tenemos la teoría del doctorando de Lev Landau; En 1957 Alexéi Abrikosóv teorizó que sabiendo que en un superconductor de tipo II existen zonas que son superconductoras y zonas que no lo son, teniendo esto en mente Abrikosóv utilizó los conceptos de la topología<sup>7</sup> para explicar los vórtices de campo magnético que penetran el superconductor de tipo II y como se mueven a lo largo del material bajo la influencia de un campo magnético externo.<sup>8</sup>

En las cerámicas de YBCO existe una estructura cristalina periódica de tipo perovskita-ortorrómbica con planos de  $\text{CuO}_2$  Ordenados los cuales nos permiten explicar su estado superconductor de la siguiente manera:

---

<sup>5</sup> Physics 127c: Statistical Mechanics Superconductivity: Ginzburg-Landau Theory

<sup>6</sup> <https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.108.1175>

<sup>7</sup> "estudio de las figuras geométricas debido a sus propiedades y posiciones respectivas, sin considerar su forma o tamaño"

<https://etimologias.dechile.net/?topologi.a#:~:text=La%20palabra%20%22topolog%C3%ADa%22%20est%C3%A1%20formada,considerar%20su%20forma%20o%20tama%C3%B1o%22.>

<sup>8</sup> TYPE II SUPERCONDUCTORS AND THE VORTEX LATTICE Nobel Lecture, December 8, 2003, by Alexei A. Abrikosóv.

El YBCO es un compuesto anisotrópico debido a su estructura laminar. Está formado por un ordenamiento de planos conductores de cobre y oxígeno ( $\text{CuO}_2$ ), por donde fluye la corriente superconductora, separada por bloques de reserva de carga que permiten modificar el número de portadores en los planos de  $\text{CuO}_2$ . Esta estructura da lugar a un comportamiento anisotrópico, tanto en el estado normal donde tenemos una resistividad en la dirección c mayor que la que tenemos en el plano ab ( $r_c / r_{ab} \sim 50$ ) como en las propiedades superconductoras. La cantidad de corriente que puede circular paralela a los planos de  $\text{CuO}_2$  (planos ab) es mayor que la que puede atravesar el eje-c.<sup>9</sup>

Al realizar los tratamientos térmicos se pierde una parte importante del oxígeno en la composición, debido a esto debemos realizar las oxigenaciones para ajustar la estequiometría.<sup>10</sup>

Al realizar la síntesis del material se utilizaron dos tanques de oxígeno diferentes lo cual puede darnos una razón a las diferencias en la oxigenación entre las dos muestras.

En la muestra 1 se utilizó un tanque viejo de aproximadamente 3 años de uso mientras que en la segunda se utilizó un tanque nuevo que se adquirió dos días antes de utilizarse.

Además de la XRD<sup>11</sup> se determinó si el material tenía deficiencias o sobra de oxígeno en su composición observando su coloración:<sup>12</sup>

Azulada: deficiencia de oxígeno en su composición (Presencia de cationes).

Verdosa: Sobra de oxígeno en la muestra (presencia de aniones).

## 2. Metodología

Se deben pesar los siguientes reactivos e incorporarlos en un mortero de Agatha:

- ❖ CuO: 0.7157g
  - 99.0% de pureza
  - Comp. Carbono: 0.01%
  - Comp. Cloruro: 0.005%
  - Comp. De Nitrógeno: 0.002%
  - Comp. De Azufre: 0.022%

---

<sup>9</sup> PREPARACIÓN DEL ÓXIDO SUPERCONDUCTOR  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  POR EL MÉTODO SOL-GEL A. Bustamante, A. Osorio, J.C. González, M. Carhuacho, N. Salas, L. De Los Santos, N. De La Cruz y A. Díaz Facultad de Química e Ingeniería Química. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

<sup>10</sup> <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/5368/199726P47.pdf?sequence=2&isAllowed=y>  
Caracterización de muestras superconductoras de YBCO. - Mtro. José Sergio Duran Niconoff.

<sup>11</sup> Difractometría por R-X por sus siglas en inglés.

<sup>12</sup> Desde la antigüedad se han utilizado los compuestos de aniones y cationes de cobre para su elaboración de pigmentos: Eastaugh, N. y col: "Pigment Compendium: A Dictionary and Optical Microscopy of Historical Pigments". Butterworth-Heinemann, 2008.

❖ Y2O3: 0.339g  
99.99% de pureza

❖ BaCO3: 1.1840 g  
99.999% de pureza

*Para conseguir superconductividad se debe someter al material a un tratamiento térmico a su temperatura de recristalización (950 grados Celsius) buscando así la nucleación y crecimiento de nuevos granos que contienen pocas dislocaciones y por tanto una reducción en la distancia entre los planos conductores Cobre-Oxígeno tipo perovskita.<sup>13</sup>*

1. Se incorporan los materiales en un mortero de Agatha.
2. Se comprimen a alta presión para formar una pastilla.
3. Se realizan de uno a dos tratamientos térmicos a 950 grados Celsius.
4. Se realizan de dos a tres oxigenaciones a 450 grados Celsius.

### 3. Síntesis

Se realizaron mediciones por medio de XRD confirmando que los reactivos eran aptos para la síntesis del material.

#### Muestra 1

Se realizó molienda de los reactivos durante 30 minutos y posteriormente se pelletizó a alta presión por un periodo de 20 minutos.

Se realizó un primer ciclo de tratamiento térmico a 950° Celsius por 24 horas y posteriormente realizó un intento de oxigenación a 950° Celsius (abortado a las 16 horas).

Para suplir las deficiencias de oxígeno realizaron dos ciclos de oxigenación a 450° Celsius durante 24 horas (Oxígeno viejo).

Al probar la cerámica y no presentar efecto Meissner se realizó XRD mostrando que el superconductor se encuentra en fase.

Posteriormente se realizó un ciclo de tratamiento térmico a 950° Celsius y por último se realizó un ciclo de oxigenación a 450° Celsius durante 24 horas (Oxígeno nuevo).

#### Muestra 2

Se preparó una segunda cerámica superconductora con la misma estequiometría.

Se realizó molienda de los reactivos durante 30 minutos para posteriormente pelletizarla a alta presión durante 20 minutos.

---

<sup>13</sup> Idea basada en el libro Ciencia e ingeniería de los materiales. -Ronald. D Askeland (pags.191-192).

Se realizó un ciclo de tratamiento térmico a 950° Celsius por 24 horas y posteriormente un ciclo de oxigenación a 450° Celsius durante 24 horas (Oxígeno nuevo).

## 4. Resultados

Muestra 1: Al finalizar se retiró de la mufla y se realizó una prueba a temperaturas criogénicas para verificar si existía efecto Meissner.

La muestra presentó una coloración azulada y ausencia de efecto Meissner al someterla a temperaturas criogénicas.

Se infiere por la coloración azulada que la cerámica presenta una deficiencia de oxígeno.

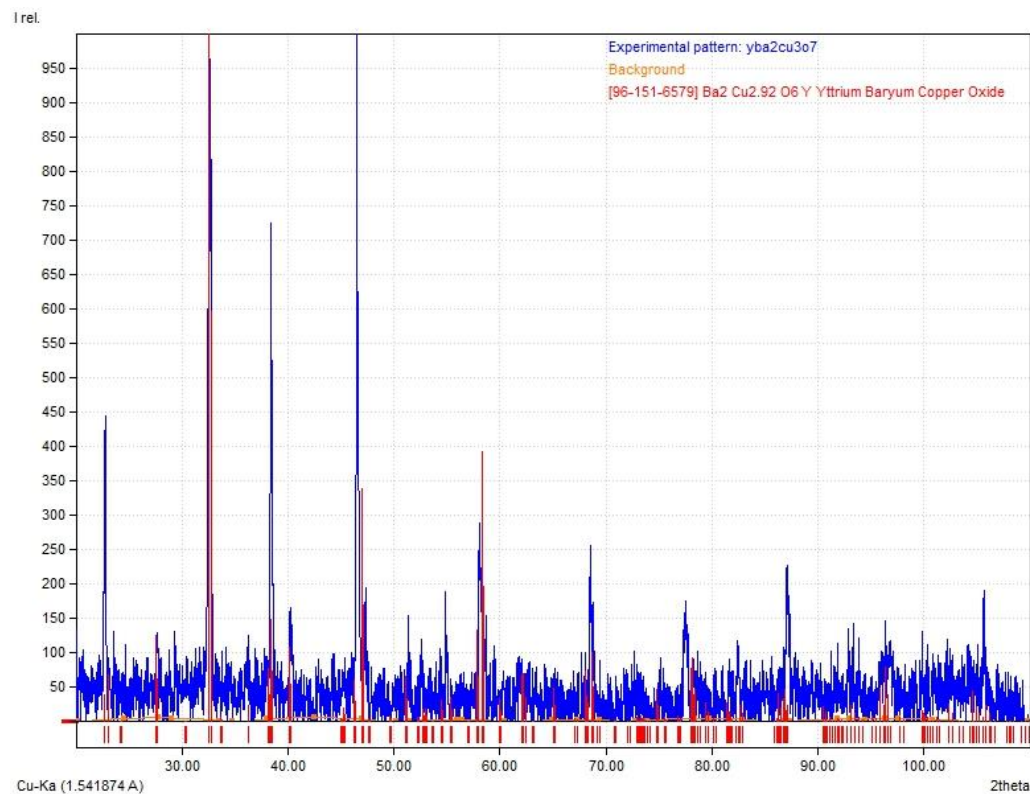
Muestra 2:

Este proceso nos dio una cerámica con una morfología irregular.

Se realizó una prueba a temperaturas criogénicas sobre un riel de imanes presentando una levitación magnética con una duración de 29 segundos.

D R-X:

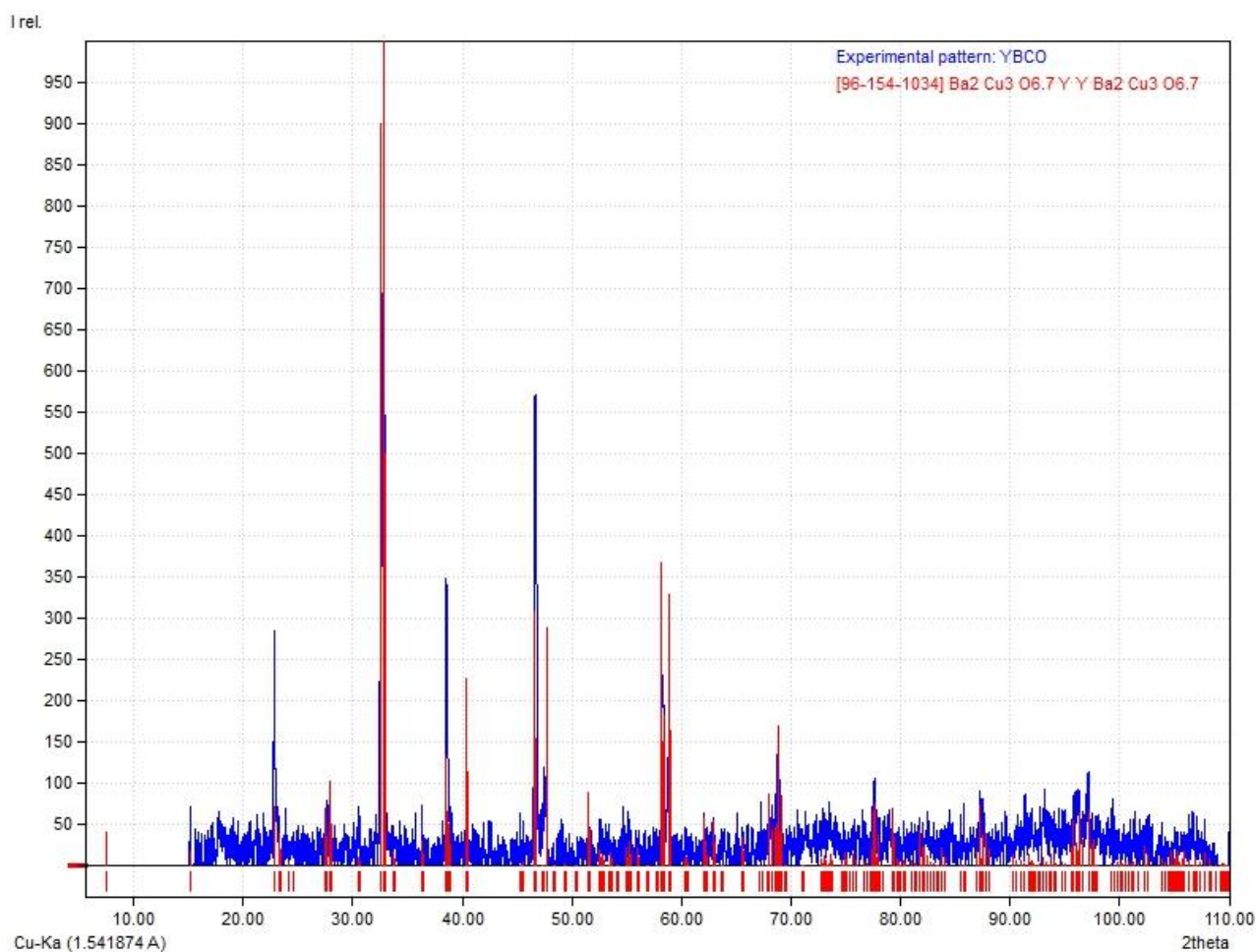
Muestra 1:



(Fig.1 El patrón de difracción se encuentra en fase con el del  $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2.92}\text{O}_6$  por lo que se clasifica como deficiente de oxígeno).

Al realizar la XRD en la muestra 1 el análisis nos da patrones que coinciden con un YBCO deficiente de oxígeno lo cual se confirma debido a la coloración presentada al finalizar su sintetizado, además debido a la ausencia del efecto Meissner confirmamos la ausencia de estado superconductor en la muestra.

Muestra 2:



(Fig.2 El patrón de difracción concuerda con fase del  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  por lo tanto se confirma su presencia en la muestra analizada).

En la muestra 2 presento estado superconductor, confirmado visualmente por la presencia de efecto Meissner y al realizar el análisis de XRD encontramos en la muestra celdas de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ .

Los análisis se realizaron con un difractómetro de R-X Bruker D8.

## 6. Discusión/conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos se observa que el método empleado produce cerámicas con capacidad superconductora, al sintetizar la muestra 2 no presenta la morfología deseada algo que puede explicarse debido a que solamente se realizó un tratamiento térmico.

Al realizar el XRD en la muestra 1 el análisis nos da patrones que coinciden con un YBCO deficiente de oxígeno lo cual se confirma debido a la coloración presentada al finalizar su sintetizado, además debido a la ausencia del efecto Meissner confirmamos la ausencia de estado superconductor en la muestra.

En la muestra 2 presento estado superconductor, confirmado visualmente por la presencia de efecto Meissner y al realizar el análisis de XRD encontramos en la muestra celdas de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ .

Se llega además a una conclusión importante sobre el oxígeno ya que en la muestra oxigenada con el primer tanque no se presencié efecto superconductor, mientras tanto en la muestra oxigenada con el tanque nuevo se observó el estado superconductor tras solamente una oxigenación.

### **Para la elaboración de muestras se recomienda:**

Realizar análisis de los reactivos antes de realizar la reacción para verificar su pureza.

Homogeneizar bien los reactivos durante la primera molienda.

Revisar el estado del oxígeno antes de iniciar.

## Agradecimientos

Agradecido siempre de mi madre, compañía incondicional sin la cual este artículo nunca hubiera sido posible.

A la Mtra. Ana Bobadilla por la guía que me proporciono al realizar este trabajo.

Y por último a mis colegas de laboratorio:

Dr. Rodolfo López

Lic. Francisco Dávila

Lic. Isaac Téllez

Lic. Sebastián Hernández Ruiz

Por sus comentarios y ayuda en el laboratorio que ayudaron a dar forma a este artículo.

Al Dr. Roberto Escudero por la oportunidad de trabajar en su laboratorio y por sus consejos útiles consejos de laboratorio.



# Referencias

## -Anexo I.

La susceptibilidad magnética en materiales superconductores; revista de investigación de física. Vol. 12 N2 (2009) (J.C. González, A. Osorio, A. Bustamante)

La licuefacción del Helio (Ciencias No.82 junio 2008)

Efecto túnel y coyunturas Josephson (Roberto Escudero)

Bulk superconductivity at 91 K in single-phase Oxygen-deficient perovskite  $\text{Ba}_2\text{YCu}_3\text{O}_{9-d}$  (AT&T Bell laboratories: R. J Cava, R. B van Dover, D. W Murphy, S. Sunshine, T. Siegrist, J. P. Remeika, E.A Rietman, S. Zahurak and G.P. Espinosa 5/March/1987)

History of SQUID (B.D Josephson)

Me fueron proporcionados apuntes sobre teoría de orbitales moleculares, conceptos básicos de conductividad y bandas de fermi, además de contenido y apuntes que dan indicaciones sobre el sinterizado de muestras de  $\text{YBaCuO}$  (Síntesis de un superconductor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}$  y caracterización de sus propiedades magnéticas: Prof. Esmeralda Lizet Martínez Piñero. IIM, Laboratorio A-005), notas de estudiantes

## -Resumen

### -Introducción

#### Estado superconductor:

Se define como el estado en el cual un compuesto presenta conducción perfecta de la corriente eléctrica y un blindaje contra campos magnéticos. (REF. Introducción a los superconductores: Yesenia Arredondo León,

#### Temperatura crítica:

Es la temperatura bajo la cual sucede la transición de estado normal a superconductor.

#### Teoría Ginzburg-Landau:

Physics 127c: Statistical Mechanics Superconductivity: Ginzburg-Landau Theory

#### Teoría BCS

<https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.108.1175>

#### Topología:

"estudio de las figuras geométricas debido a sus propiedades y posiciones respectivas, sin considerar su forma o tamaño"

<https://etimologias.dechile.net/?topologi.a#:~:text=La%20palabra%20%22topolog%C3%ADa%22%20est%C3%A1%20formada,considerar%20su%20forma%20o%20tama%C3%B1o%22.>

#### Teoría Abrikosóv:

TYPE II SUPERCONDUCTORS AND THE VORTEX LATTICE Nobel Lecture, December 8, 2003, by Alexei A. Abrikosóv.

#### Superconductividad y estructura tipo perovskita:

PREPARACIÓN DEL ÓXIDO SUPERCONDUCTOR  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  POR EL MÉTODO SOL-GEL A. Bustamante, A. Osorio, J.C. González, M. Carhuacho, N. Salas, L. De Los Santos, N. De

La Cruz y A. Díaz Facultad de Química e Ingeniería Química. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

XRD:

Difractometría por R-X por sus siglas en inglés.

Coloración por aniones y cationes de cobre:

Desde la antigüedad se han utilizado los compuestos de aniones y cationes de cobre para la elaboración de pigmentos: Estaugh, N. y col: "Pigment Compendium: A Dictionary and Optical Microscopy of Historical Pigments". Butterworth-Heinemann, 2008

**-síntesis**

Mufla:

"Una mufla es un horno destinado normalmente para la cocción de materiales cerámicos y para la fundición de metales a través de la energía térmica." ("Mufla: Que son y para qué sirven - Tipos y Aplicaciones") Este horno es utilizado cuando se requiere alcanzar temperaturas mayores a 350 °C. Es necesario mencionar que dentro del horno de mufla solamente puede utilizarse materiales especiales, Por ejemplo: Un crisol de porcelana, cuarzo o inoxidable de alta calidad, debido a las altas temperaturas que el horno puede alcanzar 1800 °C. y las condiciones de la atmósfera que esta pueda generar en el proceso. <https://www.cislab.mx/mufla-que-son-y-para-que-sirven/>

El nitrógeno líquido tiene una temperatura de ebullición de 77.33 Kelvin.

La temperatura crítica del YBaCuO es de 92 Kelvin.

Síntesis de un superconductor YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-d</sub> y caracterización de sus propiedades magnéticas:  
Prof. Esmeralda Lizet Martínez Piñero. IIM, Laboratorio A-005.

**-Metodología**

Idea basada en el libro Ciencia e ingeniería de los materiales. -Ronald. D Askeland (pags.191-192).

**-Resultado de la síntesis**

**-Resultados**

**-Discusión y conclusiones**