

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUÍS POTOSÍ



FACULTAD DE CIENCIAS

DETECTOR BOLOMÉTRICO BASADO EN YBCO

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS APLICADAS

PRESENTA
I.E. GERARDO GARCÍA LIÑÁN.

ASESOR DE TESIS:
DR. FRANCISCO JAVIER GONZÁLES CONTRERAS

SAN LUÍS POTOSÍ, S.L.P. OCTUBRE 2007

DETECTOR BOLOMETRICO BASADO EN YBCO

Por:

GERARDO GARCIA LIÑAN.

Tesis para obtener el grado de
Maestría en Ciencias Aplicadas.

Universidad Autónoma de San Luís Potosí
Facultad de Ciencias e
Instituto de Investigación en Comunicación Óptica.

San Luís Potosí, S.L.P., Octubre 2007

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUÍS POTOSÍ



FACULTAD DE CIENCIAS

I.E. GERARDO GARCÍA LIÑÁN.

SINODALES

DR. FRANCISCO JAVIER GONZÁLES CONTRERAS (ASESOR)

DR. RAUL BALDERAS NAVARRO

DR. LUÍS FELIPE LASTRAS MARTÍNEZ

SAN LUÍS POTOSÍ, S.L.P. OCTUBRE 2007

© 2007 Gerardo García Liñán.

AGRADECIMIENTOS

A través del tiempo tenemos muchos tropiezos y pérdidas pero pocos tienen la fuerza de levantarse. Doy gracias a dios por la vida que me ha dado, por la fuerza necesaria que le pedí un día de poder seguir con mi camino.

Hoy me encuentro en una etapa de crecimiento donde existen varias personas que han influido en tal proceso, por eso quiero dar un gran agradecimiento al Dr. Francisco Javier González por haberme dado la oportunidad de trabajar con él, por haberme asesorado en esta investigación de obtención de grado de maestría en ciencias, por el grandísimo ánimo y energías que siempre me contagio, por su ayuda, y comprensión, muchas gracias.

También agradezco a mis sinodales por ser parte de mi jurado calificador en mi obtención de grado de maestría en ciencias Dr. Luis Felipe Lastras y especialmente al Dr. Raúl Balderas que también gracias a sus pláticas de divulgación comenzó a agradarme la investigación y el trabajo en mi maestría.

Le quiero dar las gracias a esas personas que nos atienden siempre alegres en la biblioteca de esta institución (IICO).

Doy gracias a mis padres, a mis hermanos, a mi esposa y en general a toda mi familia que me ha estado apoyando en todos los momentos de mi vida.

Este trabajo fue realizado con mucho gusto y dedicación, en general quiero agradecer a todas esas personas que fueron colaboradoras en esta tesis, así como a algunos amigos y compañeros que me apoyaron cuando necesite de ellos.

Índice general

RESUMEN		I
LISTA DE FIGURAS		II
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN		
1.1	Fundamentos de los detectores infrarrojos	1
1.2	La radiación infrarroja en la actividad militar	2
1.3	Bolómetro	7
1.4	Caracterización de detectores bolométricos.	9
1.4.1	propiedades del ruido	9
1.4.2	Ruido	10
1.4.3	Ruido térmico	11
1.4.4	Ruido shot	11
1.4.5	Ruido 1/f	12
1.4.6	Relación señal – ruido	13
1.5	Responsividad	14
1.6	Nep	14
1.7	Detectividad	15
1.8	TCR	16
1.9	YBCO como semiconductor.	16
CAPITULO 2. FABRICACIÓN		
2.1	Cálculo de proporciones.	17
2.2	Fabricación.	18
2.3	Efecto Meissner	23
2.3	Prueba de superconductividad.	24

CAPITULO 3. CARACTERIZACIÓN

3.1	Análisis de rayos x de energía dispersa.	25
3.2	Microscopia de barrido electrónico	26
3.3	Análisis de resistencia contra temperatura	27

CAPITULO 4. RESULTADOS

4.1	Coefficiente de temperatura de la resistencia	36
4.2	Resultados obtenidos	39
4.3	Potencia Equivalente (NEP)	41
4.4	Detectividad	41
4.5	Detectividad normalizada	41
4.6	Detección de energía electromagnética	42

CAPITULO 5. CONCLUSIONES 44

REFERENCIAS 47

RESUMEN

El compuesto YBCO cuenta con poca historia sin embargo se podría decir que es rico en bibliografía, ya que a su poco tiempo de descubrimiento, diferentes científicos-investigadores han reportado diferentes trabajos respecto a este compuesto, donde mencionan el gran avance de la ciencia y la tecnología gracias a estos materiales.

En el presente trabajo de investigación se caracteriza un material que tiene cambios en su resistencia cuando cambia la temperatura. El material está fabricado de un compuesto de varios elementos, por esta razón es conocido como YBCO, por sus siglas en inglés, estos elementos son ytrio bario y cobre, la característica principal del YBCO es que tiene un cambio drástico en su resistencia cuando varía la temperatura, es decir cuando la temperatura decrece del material, disminuye su resistencia y cuando incrementamos la temperatura, la resistencia del material aumenta, de este modo se utiliza el YBCO como detector bolométrico.

La fabricación de este material no tiene gran complejidad, sin embargo se tiene que ser muy exacto en las cantidades a utilizar de material y sobre todo tener mucha limpieza, ya que algún agente contaminante dentro de la pastilla de YBCO puede ser el factor para que no funcione como bolómetro.

El YBCO tiene transiciones superconductor metal y metal semiconductor, por este motivo se sometió a cambios de temperatura desde -196°C hasta 80°C para poder observar las diferentes transiciones, siendo este uno de los principales experimentos, con ello se determinó que su etapa de transición fue en su estado semiconductor, pues en esta etapa es donde tiene una pendiente de TCR mas prolongada, en otras palabras es donde tiene mayor sensibilidad.

Lista de figuras.

Figura 2.1. Balanza digital.	18
Figura 2.2. Molino planetario.	19
Figura 2.3. Calentador.	19
Figura 2.4. Calcinado de compuestos.	19
Figura 2.5. Mortero de ágata	20
Figura 2.6 (a). Horno de dos rampas	20
Figura 2.6 (b). Horno de dos rampas abierto.	20
Figura 2.7. Molino planetario.	20
Figura 2.8. Reactivos molidos	20
Figura 2.9. Charola de cerámica con tamiz.	21
Figura 2.10. Troquel de 13mm.	21
Figura 2.11. Prensa con troquel.	21
Figura 2.12. Charola cubierta de alúmina con pastillas cerámicas.	22
Figura 2.13. Mapa del proceso.	22
Figura 2.14. Sinterizado de la mezcla para un superconductor cerámico.	22

Figura 2.15. Charola cubierta de alúmina y pastillas cerámicas.	23
Figura 2.16. Imanes flotando sobre pastilla superconductora.	24
Figura 2.17. Riel superconductor con base de unicel, y bobina	24
Figura 3.1. Espectro de los reactivos del compuesto YBCO.	26
Figura 3.2. Imagen en microscopio.	27
Figura 3.3. Respuesta de la resistencia por la temperatura	28
Figura 4.1. Estados de transición del compuesto YBCO	30
Figura 4.2 Comportamiento del YBCO de calor	30
Figura 4.3. Prensa de acrílico para medir la resistencia del YBCO	31
Figura. 4.4 Diagrama del experimento.	32
Figura 4.5 Comportamiento del YBCO al emitirle un haz de un diodo láser.	32
Figura 4.6. Termografía de la pastilla de YBCO	33
Figura. 4.7. Procedimiento experimental para enfriar el YBCO	33
Figura 4.8 Comportamiento del YBCO a temperatura de $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$	34
Figura 4.9 Comportamiento del YBCO caliente-frío	35
Figura. 4.10. Diagrama para la medición del ruido térmico.	36
Figura 4.11 Pendientes para obtención del TCR	37

Figura 4.12. Coeficiente de temperatura de la Resistencia del YBCO en Al	37
Figura 4.13. Mediciones de temperatura contra Resistencia.	37
Figura 4.14 Coeficiente de Temperatura de la Resistencia del compuesto YBCO.	38
Figura 4.15. TCR del compuesto YBCO.	38
Figura 4.16. Especificaciones de materiales bolométricos.	39
Figura 4.17. Comparación de materiales bolométricos	39
Figura 4.18. Emisión de luz de un diodo láser al compuesto YBCO	42
Figura 4.19. Pulso de reacción al calor.	43

CAPITULO 1.

INTRODUCCION.

1.1. Fundamentos de los detectores infrarrojos.

El objetivo de los detectores es medir la intensidad de la emisión infrarroja. Por lo tanto, tienen que estar contruidos de un material que cambie sus propiedades a medida que recibe la radiación.

Las primeras generaciones de detectores estaban basados en materiales que cambiaban su resistencia eléctrica en relación con la radiación que recibían. En consecuencia, el cambio en voltaje en un circuito originado por la variación en la resistencia se amplificaba miles de veces para luego ser almacenada la información.

En la década de los años cincuenta los astrónomos comenzaron a utilizar detectores de Sulfuro de Plomo (PbS, también conocido como galena) para detectar la radiación en el rango de 1 a 4 micras. Cuando la radiación en ese rango cae sobre una célula de PbS cambia su resistencia de manera directamente proporcional a la cantidad de radiación infrarroja que cae sobre ella. Para aumentar la sensibilidad del detector se enfría a una temperatura de 77 grados Kelvin, colocándolo en un recipiente lleno de nitrógeno líquido.[7].

En 1961 se desarrolló el bolómetro de germanio. Este dispositivo era varios cientos de veces mas sensitivo que otros detectores y capaz de trabajar sobre todas las longitudes de onda. Cuando la radiación infrarroja caía sobre una cinta de germanio, calentaba el metal, y cambiaba su conductividad eléctrica. Ese cambio es directamente proporcional a la radiación infrarroja. Cuanto mas frío se encuentra el bolómetro mejor es su funcionamiento. Dado que el germanio es sensitivo a todas las longitudes de onda en el infrarrojo, para estudiar una parte del espectro en particular se necesita el uso de filtros adecuados.[7]

El hecho que dificulta gran parte del desarrollo de los detectores infrarrojos es la emisión térmica que producen los diferentes elementos que forman algunos telescopios y los mismos detectores, así como el fondo producido por el cielo. Por ello ha sido necesario desarrollar observaciones utilizando cohetes y satélites. [7]

En épocas más recientes comenzaron a utilizarse detectores de InSb y HgCdTe en el rango de 1 a 5 micras. Estos operan de manera similar a los de PbS pero ahora son mucho más sensitivos. Al mismo tiempo, se pueden construir colecciones de detectores individuales, capaces de producir en conjunto imágenes bidimensionales. Los arreglos modernos más comunes utilizan 256x256 detectores, y aun hay dispositivos más grandes en el camino.[16]

Hacia 1994, Huggard y otros ampliaron el estudio y observaron que las películas de YBCO a temperatura ambiente son detectores efectivos de la radiación para longitudes de onda de 500 μm a 90 μm , es decir, el infrarrojo lejano, gran parte de estos estudios están orientados a la detección de la fotorespuesta.[20][23][25]

1.2. La Radiación Infrarroja en la actividad militar.

En 1856 astrónomos utilizando termopares (detectores que transforman el calor en corriente eléctrica) detectaron radiación infrarroja de la luna. Ya más tarde, en 1948, nuevas observaciones infrarrojas demostraron que la superficie de la Luna estaba cubierta con un polvo muy fino. De la misma manera, ya a principios de siglo se pudo detectar radiación infrarroja de los planetas Júpiter y Saturno, así como de algunas estrellas brillantes como Vega y Arturo.[9]

Pero la tecnología que requiere la construcción de detectores de radiación infrarroja es muy cara. Se precisan materiales especiales y un cuidadoso diseño para evitar detectar la misma radiación del medio que rodea el objeto a estudiar. Como en muchas ramas de la ciencia, fue la actividad militar la que colaboró en el desarrollo de la tecnología necesaria para la investigación de avanzada.[9]

Los astrónomos detectan radiación electromagnética que contiene información sobre las propiedades físicas de los objetos estudiados. Es un lugar común decir que la información es poder, a veces el poder que se requiere para ganar una batalla. Es por ello no extraño que la astronomía se haya beneficiado de avances en la investigación militar. La relación entre la ciencia y la actividad militar ha sido cercana, desde Galileo Galilei utilizando el telescopio al servicio de la República Veneciana para poder avistar buques enemigos con anticipación, hasta el Telescopio Espacial Hubble, diseñado en base a un sistema muy similar a los satélites militares de reconocimiento. No es extraño entonces que también que la astronomía infrarroja se haya beneficiado indirectamente de la actividad militar. Gran parte del desarrollo en los detectores se ha debido al avance en la tecnología de semiconductores aplicados a fines militares. [9]

El reconocimiento e inteligencia se logra a través de sensores electromagnéticos basados en tecnología de radar (activa) o infrarroja (pasiva). La idea de los sistemas de inteligencia es poder detectar y seguir el movimiento de aviones y barcos. Los sistemas pasivos son capaces de detectar el calor emitido por estos objetos. La tecnología infrarroja es en algunos casos dependiente de las condiciones atmosféricas, mientras que los radares no tienen ese problema. Esa es justamente la razón por la que se han desarrollado aviones con las condiciones necesarias para reflejar al mínimo la señal enviada por radares, creando geometrías y ángulos que eliminan en gran parte la reflexión de las ondas electromagnéticas.[9]

Una onda electromagnética se envía y refleja contra un blanco, retomando atenuada, y a través de sus características puede identificarse la posición, altitud, y velocidad del objeto a partir de diferencias entre la onda emitida y recibida, ya sea el blanco un avión militar o civil, o un automóvil en una autopista. Aviones como el F-117, el caza invisible, utilizan la tecnología invisible (*stealth*), que simplemente consiste en llevar la reflectancia de la señal de radar a valores mínimos. Se llega entonces a una forma de avión cuidadosamente diseñada, con un compromiso entre una forma aerodinámica que al mismo tiempo presente curvas y esquinas y un material que permita absorber gran parte de la emisión. [9]

La emisión infrarroja significa inteligencia, y significa conocer los planes y ubicación del enemigo. Su desarrollo comenzó al utilizarse fotografías en el infrarrojo cercano en la segunda guerra mundial para detectar camuflaje de objetivos militares que utilizara vegetación muerta o artificial. También radiómetros detectores de la emisión de calor fueron utilizados en la segunda guerra mundial y continuaron su desarrollo en los años posteriores a la contienda, hasta evolucionar hasta los modernos sistemas de detección satelital.[9]

La detección infrarroja militar se ejemplifica en muchos casos prácticos. Por ejemplo, en la detección de misiles balísticos, buscando la emisión que delata su lanzamiento, trazar su trayectoria, identificar la reentrada para cada uno de las cabezas nucleares que portan, y calcular su punto de impacto. Con tecnología infrarroja es posible detectar a larga distancia los misiles, seguir los blancos, y discriminar los diferentes sistemas. Aplicaciones más simples incluyen la detección de la emisión de calor de tropas enemigas ocultas en el espesor de la selva, o de la emisión del calor de los motores de un avión que sigue un misil con la intención de hacer blanco en él. Para cada uno de estas diferentes tareas existe un tipo de detector.

Existe una larga historia de detección militar desde satélites utilizando tecnología infrarroja, Estados Unidos tiene una serie de satélites militares en el espacio desde los años setenta, conocidos como DSP (*Defense Support Program*), que llevan detectores infrarrojos para proveer aviso de ataques por misiles balísticos a NORAD. Durante la operación conocida como Tormenta del Desierto en la Primera Guerra del Golfo Pérsico, fueron los satélites DSP los que se encargaban de la vigilancia para detectar el lanzamiento de misiles "Scuds" iraquíes.[9]

El DSP es el nombre general del programa que comprende un sistema de satélites que pueden sobrevivir a ataques en el espacio. Los detectores infrarrojos detectan el calor de misiles que se lanzan, discriminando la señal contra el fondo de emisión infrarrojo de la Tierra. Trabajan detectando e informando en tiempo real el lanzamiento de misiles tanto en

la tierra como en el espacio y detonaciones nucleares a NORAD y el US *Space Command* en Cheyenne Mountain.

Aunque mucha de la información sobre el sistema está clasificada, se sabe que existen cinco satélites DSP, tres en servicio operacional y dos como reserva, localizados en órbitas ecuatoriales geosincronicas y apuntando a la tierra. Los propósitos de los sensores son detectar, localizar, e identificar blancos de interés que son fuentes intensas de radiación infrarroja. La detección de la radiación de las fuentes infrarrojas se realiza con el telescopio y las llamadas *Photo-Electric Cell* (PEC). Los satélites más modernos permiten la visión por encima del horizonte. En el futuro DSP será reemplazado por el SBIR, *Space Based Infrared System*.

A diferencia de las investigaciones civiles, la gran ventaja de los sistemas militares es la mayor de fondos disponibles en gastos para investigación. Un ejemplo es el programa conocido como *Teal Ruby*. *Teal Ruby* fue un satélite diseñado para evaluar el uso de sensores infrarrojos en el espacio para la detección y seguimiento de aviones en vuelo. Después de gastar mas de 500 millones de dólares en el programa este fue cancelado. La idea era utilizar tecnología basada en silicio, utilizando más de 100.000 detectores para proveer con datos en el infrarrojo de alta resolución en 11 bandas de 2 a 16 micras. Técnicamente era capaz de resolver en las decenas de metros dentro de un campo de 2 grados desde una altitud de 260 millas náuticas.

Mucha de la información sobre los sistemas militares está clasificada, y la especificación de sus capacidades no es más que un juego de adivinanza educada. Poco puede conocerse de la información pública, tal como la escrita en un folleto de la compañía estadounidense Aerojet, que afirma que "*Aerojet's DSP satellite were in position in orbit to detect hostile missile launches*".

A pesar de estos inconvenientes es posible conocer indirectamente la capacidad de estos satélites. En 1997 hubo una colisión entre un avión militar de los Estados Unidos y otro de Alemania en la costa de Namibia. El flash de la explosión fue detectado,

posiblemente, por unos de los satélites DSP-64. Este tipo de satélite tiene telescopios infrarrojos con una línea de detectores de telurio de mercurio-cadmio. El satélite gira para crear imágenes bidimensionales a semejanza de un radar.

Pero los satélites no sólo son útiles para detectar explosiones y lanzamiento de misiles. También puede emplearse para estudiar la entrada de meteoros en la atmósfera terrestre. Cuando un meteorito de tamaño razonable entra la atmósfera se desintegra y emite una señal infrarroja que puede detectar el DSP. En el número del 25 de Febrero de 1995 del *Journal of Geophysical Research* se publicó un artículo describiendo el impacto de un meteorito sobre la atmósfera el 1 de Febrero de 1994, una explosión que liberó entre 34 y 630 kilotonnes. El meteorito fue detectado a una altitud de 54 kilómetros y los sistemas de defensa fueron capaces de seguirlo y calcular su ángulo de reentrada y posición. Esta información fue obtenida a través de "*infrared and visible wavelength sensors aboard platforms operated by the U.S. Department of Defense*". Según un artículo en *Scientific American*, la explosión fue tan grande que el Presidente Clinton fue despertado en el medio de la noche para informarle que un arma nuclear había sido detonada en la atmósfera.[9]

En 1995 fue publicado el libro *Hazards Due to Comets and Asteroids*. En el, Edward Tagliaferri y colaboradores analizaron 17 años de datos obtenidos por el *U.S. Air Force Space Command*. De su análisis dedujeron que los satélites militares habían detectado 136 explosiones atmosféricas desde 1975, cada una con una energía promedio de 1 kiloton. Por supuesto, el informe no detalla sistemas o detalles sobre los sensores, pero es lógico deducir que se trataba de los DSP.

Según la revista *Sky and Telescope*, un tipo de sensor infrarrojo en estos satélites observa continuamente al disco terrestre. Los flashes a alta altitud lucen breves y brillantes, que son detectados contra el fondo relativamente uniforme. Otros tipos de sensores utilizar ensambles de detectores enfriados para detectar señales a 2.78 micras. Esa banda es absorbida completamente por el vapor de agua a bajas altitudes de la atmósfera, pero puede ser detectada desde el espacio.

1.3. Bolómetro.

Un bolómetro es un instrumento que mide la cantidad total de radiación electromagnética que viene de un objeto en todas las longitudes de onda. La medida se realiza por medio de una medida de la temperatura de un detector iluminado por la fuente a estudiar. El bolómetro fue inventado por el astrónomo americano Samuel P. Langley alrededor del año 1880. Con él estudió la radiación infrarroja del Sol. Se puede definir la magnitud bolométrica de una estrella como su luminosidad en todo el espectro electromagnético. [1][2]

Un bolómetro consiste de un cuerpo absorbente de calor conectado a un sumidero de calor (un objeto mantenido a temperatura constante) a través de un material aislante. El resultado es que cualquier radiación absorbida por el detector aumenta su temperatura por encima del sumidero de calor que actúa de referencia. La radiación absorbida se mide por lo tanto a partir del contraste de temperatura entre el detector y la referencia. En algunos bolómetros el termómetro actúa también como absorbente mientras que en otros el termómetro y el detector son dispositivos diferentes. Este tipo de bolómetros se denominan de diseño compuesto. En bolómetros del primer tipo la temperatura se mide por medio de la variación de la resistencia del absorbente (metálico) en función de su temperatura.[1][2]

Aunque pueden ser utilizados para medir la intensidad de cualquier tipo de radiación electromagnética en la actualidad existen dispositivos más sensibles en la mayor parte del espectro lumínico. Sin embargo, en longitudes de onda submilimétricas (longitudes de onda entorno a $200\ \mu\text{m}$ - $1\ \text{mm}$), los bolómetros siguen siendo los dispositivos más sensibles de detección. En estas longitudes de onda se utilizan bolómetros que deben ser enfriados hasta temperaturas fracciones de 1 grado por encima del cero absoluto, típicamente entre 50 y 300 milikelvin. Por este motivo su utilización es técnicamente muy compleja. [1]

Esta invención se relaciona con un material bolométrico, el bolómetro, es conveniente para el uso en un elemento de detección infrarrojo que lea señales en

intensidad de la radiación de la radiación infrarroja por el uso de un material que absorbe la radiación infrarroja del incidente, cambia su temperatura de tal modo que cambia su resistencia eléctrica con el cambio de temperatura.[8]

La respuesta de los bolómetros IR de YBCO, fabricada de las películas finas que tienen resistencia de la temperatura ambiente de $500 \mu\text{-centímetros}$, de $d/dT=130 \mu\text{-cm/K}$ en el centro de la transición, y del comportamiento metálico lineal en el R contra T con la intercepción cero en $T=0$, se ha estudiado. Las películas con 150 al grueso de 550 nm en los substratos del MgO y de LaAlO del solo cristal fueron depositadas usando la técnica planar in situ de la farfulla del magnetrón. Las películas fueron modeladas por la fotolitografía convencional (vuelta en fotorresistencia y grabado de pistas ácido) en diversos diseños serpentinicos. La IR-respuesta contra frecuencia de la modulación, la temperatura, y la corriente diagonal de los bolómetros antedichos eran mecanismos que gobernaban medidas muy bajas de responsividad para la alta gama de frecuencia de la modulación, (0.5 Hz-100 kilociclo) fueron investigadas usando modelos existentes. Hemos observado una respuesta, orden dos de magnitud más arriba que los valores predichos por los modelos existentes en el radio de acción de frecuencia medio de algunos 100 hertzios a cerca de 10 kilociclos, que tiene potencial para el uso en IR-proyección de imagen. Un modelo de la respuesta del bolómetro es presentado que implica el responsividad en función de la corriente diagonal, y la estabilidad del punto diagonal (temperatura de funcionamiento del bolómetro) debido a la disipación de la energía por la corriente, así como la distribución de la radiación del incidente. Detectividad alto, D^* , en los bolómetros de HTSC se demuestran para ser obtenible basado sobre la medida en los bolómetros diseñados. El NEP alcanzable y D^* se discuten. Los valores del calor específico de LaAlO se deducen de nuestros estudios.[3]

La resistencia superficial lineal de los materiales de HTS es bajo bastante apoyar una variedad de usos que puedan sobrepasar tecnología convencional. Sin embargo, el no lineamiento en la forma de la distorsión de la intermodulación (IMD) es un efecto limitador serio para algunos usos. Los efectos no lineales se correlacionan solamente débil con la impedancia superficial de baja potencia, y la variación material considerable ha sido el sello de IMD. Con la mejora en calidad de la película, el no lineamiento intrínseco ahora se

parece ser la fuente más importante de IMD. Se presenta aquí una breve revisión de la situación experimental y de una comparación con las teorías del no lineamiento intrínseco. Las sugerencias para el trabajo adicional se dan.[23]

1.4. Respuesta y ruido

Los problemas causados por ruido eléctrico son evidentes en el dispositivo de salida de un sistema eléctrico, pero las fuentes del ruido son únicas a las porciones bajas del nivel de la señal del sistema. La nieve que se puede observar en una exhibición del receptor de televisión es el resultado del ruido internamente generado en las primeras etapas de la amplificación de la señal ruido, en el sentido más amplio, puede ser definido como cualquier disturbio indeseado que oscurezca o interfiera con disturbios deseados de una señal venga a menudo de las fuentes externas al sistema que es estudiado y pueda resultar del acoplador o electromagnético electrostático entre el circuito y las líneas de la corriente alterna, los radiotransmisores, o la interferencia fluorescente de las luces entre los circuitos adyacentes, el ronquido de fuentes de potencia dc, o el micrófono causado por la vibración térmica de componentes son todos los ejemplos de disturbios indeseados. Con la excepción de ruido de tormentas eléctricas y de la radiación galáctica, la mayoría de estos tipos de disturbios son causados por la radiación del equipo eléctrico; pueden ser eliminados por blindaje adecuado, filtrándose, o cambiando la disposición de los componentes del circuito. En casos extremos, se podría cambiar la localización física del sistema de prueba.[1]

1.4.1. Propiedades del ruido.

El ruido es una señal totalmente aleatoria, consiste en los componentes de la frecuencia que son al azar en amplitud y la fase. Aunque el valor del RMS puede ser medido, la amplitud exacta del ruido en algún instante de tiempo no se podría predecir.

Si la amplitud instantánea de ruido pudiera ser predecida, el ruido no sería un problema.

Es posible predecir la aleatoriedad del ruido. El ruido tiene una distribución normal o gaussiana de amplitudes instantáneas con tiempo. [1]

1.4.2. Ruido.

Existen tres tipos principales de mecanismos fundamentales del ruido, ruido térmico, ruido de disparo, y el ruido de baja frecuencia ($1/f$). El ruido térmico o térmico es lo más encontrado a menudo y es considerado el primero. [1][2][33]

El otro tipo de ruido se define en secciones más adelante. Un caso especial del ruido térmico limitado por ruido llamado capacitancia de la desviación kt/c es discusiones adicionales también definidas de los efectos de estos tipos de ruido en dispositivos.

El ruido de baja frecuencia o $1/f$ tiene varias características únicas. Si no fuera un problema esto podría ser muy interesante. La densidad espectral de este ruido incrementa los límites y la frecuencia los decrementa. Firlie y Winston, han medido el ruido $1/f$ tan bajo como $6 \cdot 10^{-3} \text{ Hz}$. Esta frecuencia está a pocos ciclos por día. Cuando primero observaron en tubos al vacío, este ruido fue llamado efecto parpadeo, probablemente porque se observó un parpadeo en la corriente de la placa. [1]

El descubrimiento de superconductores de alta temperatura ha conducido a los grandes esfuerzos de encontrar usos potenciales, incluyendo el desarrollo de los detectores del fotón. Repasamos las limitaciones de los diversos acercamientos propuestos para realizar detectores superconductores del fotón. La estructura y la operación de un nuevo cuántum superconductor el detector cinético de la inductancia (QSKID) con un circuito de lectura del CALAMAR se describe. El QSKID se hace de un lazo superconductor en respuesta a donde las foto señales generan una foto inductancia en cambios en la inductancia cinética del condensado. El QSKID funciona en el estado superconductor de la resistencia cero, de tal modo evitando el ruido de Johnson.[22][35]

1.4.3. Ruido térmico.

En telecomunicaciones y otros sistemas electrónicos, se denomina ruido térmico o ruido de Johnson al ruido producido por el movimiento de los electrones en los elementos integrantes de los circuitos, tales como conductores, semiconductores, tubos de vacío, etc. Se trata de un ruido blanco, es decir, uniformemente distribuido en el espectro de frecuencias. [1][22][34]

La densidad de potencia de ruido, expresada en W/Hz, viene dada por:

$$n_0 = k \cdot T \quad (1.1)$$

donde:

k = Constante de Boltzmann

T = Temperatura en Kelvin

1.4.4. Ruido de disparo.

El ruido de disparo o ruido shot es un tipo de ruido electrónico que tiene lugar cuando el número finito de partículas que transportan energía, tales como los electrones en un circuito electrónico o los fotones en un dispositivo óptico, es suficientemente pequeño para dar lugar a la aparición de fluctuaciones estadísticas apreciables en una medición. Este tipo de ruido resulta importante en electrónica, en telecomunicaciones y en la física fundamental.

El nivel de este ruido es tanto mayor cuanto mayor sea el valor promedio de la intensidad de corriente eléctrica o de la intensidad luminosa, según se trate de un dispositivo electrónico u óptico. Sin embargo, en tanto que el nivel de señal crece más rápidamente cuanto mayor es su nivel promedio, a menudo el ruido de disparo sólo supone un problema cuando se trabaja con intensidades de corriente o intensidades luminosas bajas. [1]

1.4.5. Ruido 1/f.

Se denomina ruido rosa a una señal o un proceso con un espectro de frecuencias tal que su densidad espectral de potencia es proporcional al recíproco de su frecuencia. Su contenido de energía por frecuencia disminuye en 3 dB por octava. Esto hace que cada banda de frecuencias de igual anchura (en octavas) contenga la misma energía total.[33]

Por el contrario, el ruido blanco, que tiene la misma intensidad en todas las frecuencias, transporta más energía total por octava cuanto mayor es la frecuencia de ésta. Por ello, mientras el timbre del ruido blanco es silbante como un escape de vapor, el ruido rosa es más apagado al oído.[33][34]

El perfil del espectro de un ruido rosa es plano y horizontal cuando el eje de las frecuencias sigue una escala logarítmica (graduada en octavas). Si el eje de frecuencias sigue una escala lineal, el perfil del espectro es una línea recta que baja hacia la derecha, con una pendiente de 3 dB/oct. [1]

Se usa mucho como señal de prueba en mediciones acústicas. El espectro del ruido rosa es semejante al espectro medio acumulado de la música sinfónica o de instrumentos armónicos como el piano o el órgano.

El nombre "ruido rosa" obedece a una analogía con la luz blanca (que es una mezcla de todos los colores) que, después de ser coloreada de forma que se atenúen las frecuencias más altas (los azules y violetas) resulta un predominio de las frecuencias bajas (los rojos). Así pues, el ruido rosa es ruido blanco coloreado de manera que es más pobre en frecuencias altas (sonidos agudos).

1.4.6. Relación señal – ruido (SNR).

La relación señal/ruido (en inglés *Signal to noise ratio* SNR o S/N) se define como el margen que hay entre el nivel de referencia (información significativa) y el ruido de fondo de un determinado sistema. Este margen es medido en decibelios.[33][34]

Rango dinámico y relación señal/ruido para referirse a este margen que hay entre el ruido de fondo y nivel de referencia, pueden utilizarse como sinónimos. No ocurre lo mismo, cuando el rango dinámico indica la distancia entre el nivel de pico y el ruido de fondo.[33][34]

Que en las especificaciones técnicas de un equipo, aparezca la relación señal/ruido indicada en dB, no significa nada si no va acompañado por los puntos de referencia utilizado y las ponderaciones. [1]

Para indicar correctamente el margen dinámico, la medida en dB debe ir acompañada por:

- la curva de ponderación.
- el nivel de referencia.

Por ejemplo, en el caso de un magnetofón en unas especificaciones técnicas encontraríamos:

60 dB, CIR 468-3 (ref. 1 kHz, 320 nWb/m-1).

- CIR 468-3 es la curva de ponderación
- 1 kHz es el nivel de referencia
- 320 nWb/m-1 es el nivel magnético en que se ha grabado el nivel de referencia.

Evidentemente, para poder comparar equipos en lo que se refiere a su respuesta en frecuencia, los equipos deben haber medido esta relación señal/ruido utilizando la misma curva de ponderación y nivel de referencia.

1.5. Responsividad.

La respuesta de un detector infrarrojo es definida como el cociente del valor del rms del componente fundamental de la señal de salida eléctrica del detector al valor del rms del componente fundamental de la energía de la radiación de la entrada. La respuesta espectral del voltaje se da por: [1]

$$R(\lambda) = \frac{V_s}{P_m(\lambda)} \quad (1.45)$$

Donde V_s es la señal de voltaje debido a $P_m(\lambda)$, y $P_m(\lambda)$ es la potencia incidente radiada en una longitud de onda del específica expresada en watts. Si la señal es una corriente entonces la respuesta se expresa en amperes/watt.

Una alternativa a la calidad monocromática antedicha es la respuesta de cuerpo negro esta definida por la ecuación:

$$R = \frac{V_s}{\int_0^{\infty} P_m(\lambda) d\lambda} \quad (1.10)$$

Donde la potencia incidente radiada es la integral sobre todas las longitudes de onda de la distribución de energía espectral de un cuerpo negro.

La respuesta es generalmente una función del voltaje de polarización V_{bias} , de la frecuencia de modulación de la radiación incidente f y de la longitud de onda λ .

1.6. Potencia equivalente de ruido NEP.

La potencia de ruido equivalente (NEP) es la potencia incidente en el detector generando una señal de salida igual al ruido de salida RMS. Es decir el NEP es la entrada

de potencia que producirá una señal a ruido (SNR) de 1. Puede ser escrito en términos de la respuesta como:

$$NEP = \frac{V_s}{R_v} \quad (1.11)$$

La unidad del NEP son los watts, como la respuesta es una función de la longitud de onda y frecuencia, entonces es NEP. También el NEP puede ser espectral o cuerpo negro, dependiendo del tipo de radiación del incidente.

La desventaja de usar NEP para describir el funcionamiento del detector es que depende de la raíz cuadrada del área del detector (A_d) y de la raíz cuadrada medida del ancho de banda (Δf) [1]

1.7. Detectividad.

La detectividad D es el recíproco del NEP

$$D = \frac{1}{NEP} \quad (1.12)$$

Esta fue encontrada por Jones, para muchos detectores es el recíproco de la raíz cuadrada de la señal del detector que es proporcional al área del detector. Esto significa que el NEP y la detectividad son funciones del ancho de banda y áreas detectoras, entonces una detectividad normalizada D^* sugerida por Jones esta dada por:[2]

$$D^* = D A_d \Delta f = \frac{A_d \Delta f}{NEP} \quad (1.13)$$

La importancia de D^* viene del hecho de que permite la comparación de detectores del mismo tipo pero de tener áreas diferentes y anchuras de banda de diferentes de medidas. D^* es definida como el cociente de la relación señal a ruido (signal-to-noise) del rms en una anchura de banda de 1 hertzio por energía radiante del incidente del rms de la unidad por la raíz cuadrada del área del detector. D^* es expresada en unidades de $\frac{cm^*}{W} Hz$ [1][17]

1.8. TCR.

El coeficiente de temperatura α es una propiedad intrínseca de los materiales la cual da una valoración de cuan grande es la variación de la resistencia eléctrica de dicho material cuando se le aplica una variación de temperatura de una unidad.[5]

Este coeficiente se expresa según el Sistema Internacional de Unidades en 1/K, esta dado por la ecuación siguiente: [4] [19][21][26]

$$\alpha = \frac{1}{R} * \frac{DR}{DT} \quad (1.14)$$

1.9. YBCO como semiconductor.

Usando un método de pulverización catódica de a altas presiones de oxígeno, se depositaron películas delgadas del sistema $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (YBCO) e YBCO+5% Ag, con diferentes contenidos de oxígeno, sobre sustratos de SrTiO_3 (100). Las películas se irradiaron con luz láser de una longitud de onda de 632.8 nm, a temperatura ambiente. Los cambios de la resistencia eléctrica causados por la iluminación indican que existen efectos de fotoconductividad persistente, seguramente debidos al hecho de que los electrones pueden ser atrapados en las cadenas de Cu-O de acuerdo con el modelo de captura inducida de vacancias, y efectos ocasionados probablemente por la modificación de las propiedades físicas de las fronteras de grano. [32]

CAPÍTULO 2.

FABRICACIÓN DE LA CERÁMICA YBCO.

2.1. Cálculo de proporciones.

En la fabricación del compuesto cerámico de alta temperatura se necesitan óxido de ytrio, carbonato de bario y óxido de cobre.

Se calculó la masa molecular de los compuestos mencionados.

El peso molecular del ytrio es de 88.9059 el del oxígeno es 15.99994 el compuesto es Y_2O_3 , se multiplica el ytrio por su subíndice y de igual forma el oxígeno, después se suman las cantidades obtenidas y nos da como resultado la masa molecular del compuesto Y_2O_3 .

Ejemplo: Y_2O_3

$$(88.9059 * 2) + (15.99994 * 3) = 225.8082 \text{ g/mol.}$$

El compuesto que se necesita es de proporciones [1:2:3] se multiplica por ½, 2,3 respectivamente cada uno.[14]

Esto es:

Óxidos	Masa molecular	Cantidad	Masa total
Y_2O_3	225.8082 g/mol	½ mol	112.9041 g
BaO	153.3394 g/mol	2 mol	306.6788 g
CuO	79.5394 g/mol	3 mol	238.6182 g
Masa total mezcla de óxidos =			658.2011 g

2.2. Fabricación

La mezcla de óxidos que se necesita es: $Y_1Ba_2Cu_3O_{6.5}$

Para obtener el porcentaje de compuestos se debe hacer una operación de la fracción del compuesto dividida entre la reacción de óxidos y si este resultado es multiplicando por 100, da como resultado su porcentaje de compuesto en el superconductor.

Fracción de óxido de ytrio con respecto a la mezcla de óxidos

$$F(Y_2O_3) = \text{masa}(\frac{1}{2}Y_2O_3) / \text{masa}(Y_1Ba_2Cu_3O_{6.5}) = 0.1715343 = 17.15344\%$$

Fracción de óxido de bario con respecto a la mezcla de óxidos

$$F(BaO) = \text{masa}(2BaO) / \text{masa}(Y_1Ba_2Cu_3O_{6.5}) = 0.4659348 = 46.59348\%$$

Fracción de óxido de cobre con respecto a la mezcla de óxidos

$$F(CuO) = \text{masa}(3CuO) / \text{masa}(Y_1Ba_2Cu_3O_{6.5}) = 0.3625308 = 36.25308\%$$

El resultado obtenido es para conseguir un gramo si se desea obtener 10 g serían 1.715343g, 4.659348g y 3.625308g pero en esta ocasión se hicieron 15 g entonces:

Y_2O_3 - 2.573016 g

$BaCO_3$ - 8.9949405 g

CuO - 5.437962 g

Se pesan los compuestos en una balanza digital y se introducen al molino planetario con alcohol etílico con el propósito de obtener un polvo pequeño.[29]



Figura 2 1 Balanza digital

Se pulverizan por ocho horas para asegurar que los tres compuestos sean polvo muy fino.

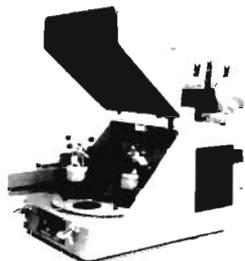


Figura 2.2 Molino planetario



Figura 2.3 Calentador

En este método se necesitará hacer una mezcla de óxidos, para esto tendremos que eliminar el bióxido de carbono.

Se revisa la mezcla, que no se encuentre polvo de tamaño irregular, la mezcla debe ser homogénea, después se introduce en el horno por 8 horas a 900°C , con el propósito de eliminar el bióxido de carbono, ver Figura 2.4 y así obtenemos BaO.

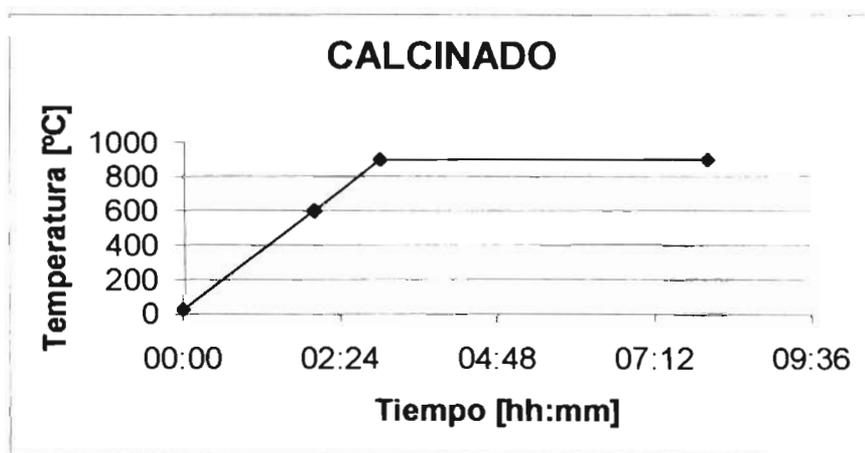


Figura 2.4 Calcinado de compuestos.



Figura 2.5 Mortero de ágata



Figura 2.6 (a) Horno de dos rampas

Una vez eliminado el CO_2 de la mezcla, se reduce a polvo muy pequeño con un mortero de ágata.

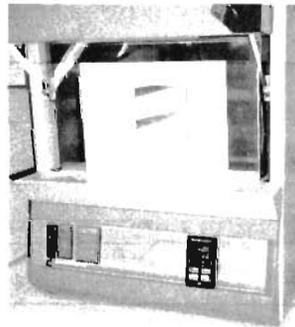


Figura 2.6 (b) Horno de dos rampas abierto

Al obtener polvo muy reducido, el paso a seguir será agregarles aglutinante.

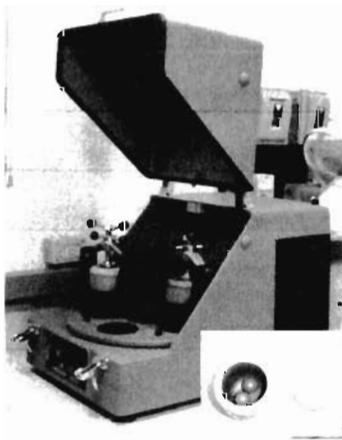


Figura 2.7 Molino planetario.



Figura 2.8. Reactivos molidos

Una vez que se calculó la fuerza a determinada presión se agrega alcohol polyvinílico como aglutinante, se pasa por un tamiz que se muestra en la figura 2.9, se colocan los compuestos en un troquel y comenzamos a aplicar las fuerzas calculadas en la prensa.[14]



Figura 2.9. Charola de cerámica con tamiz

Las presiones que se utilizaron son 1000kg/cm^2 , 1500kg/cm^2 , 2500kg/cm^2 con un troquel de 13mm., ver figura 2.10,2.11.

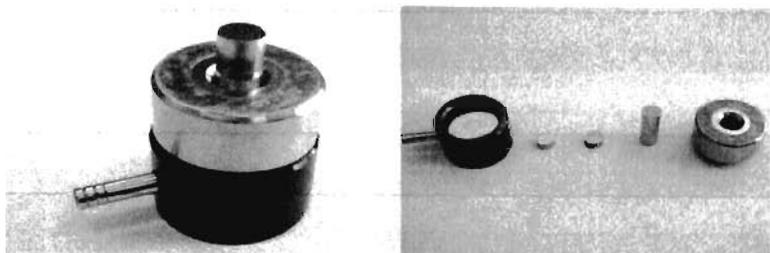


Figura 2 10 Troquel de 13mm



Figura 2 11. Prensa con troquel.

Obtenemos pastillas de entre 3 y 5 mm. de altura, ver figura 2.12.

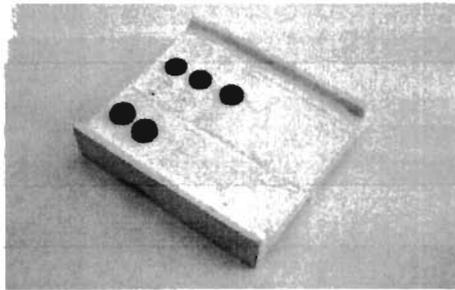


Figura 2.12 Charola cubierta de alúmina con pastillas cerámicas

Se traza un mapa sobre una charola cubierta con alúmina para saber donde se encuentra cada pastilla según las presiones utilizadas.

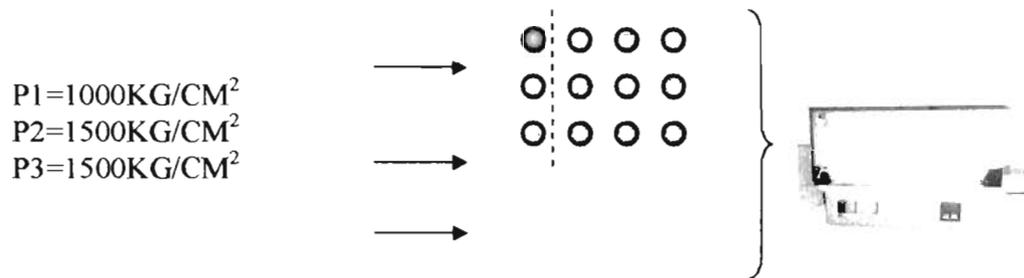


Figura 2.13. Mapa del proceso

En el proceso de sinterizado se utilizó un horno con dos rampas, la primer rampa a $3^\circ\text{C}/\text{min}$. hasta 800°C donde permaneció por 8 horas en la meseta y una vez finalizado este tiempo parte a la segunda rampa a $3^\circ\text{C}/\text{min}$. hasta obtener 900°C , y mantenerse 12 horas en la meseta a esta temperatura, ver gráfica de figura 2.14.[14][28][29]

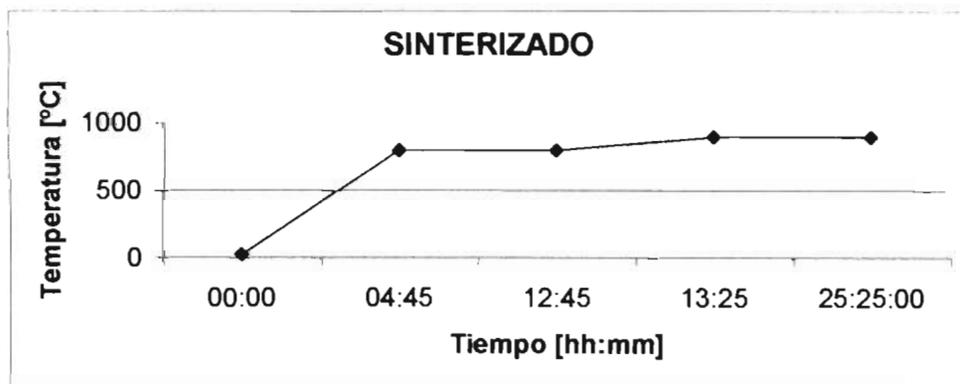


Figura 2.14. Sinterizado de la mezcla para un superconductor cerámico

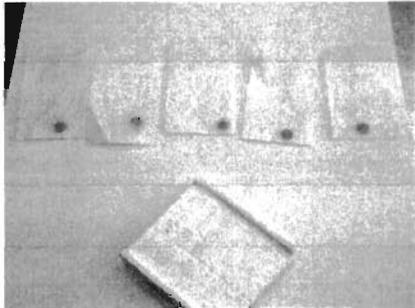


Figura 2.15. Charola cubierta de alúmina y pastillas cerámicas.

Con este proceso finalizamos la fabricación del material YBCO.

Se hicieron dos experimentos para saber si las pastillas de YBCO cumplían sus etapas, una de ellas es su estado superconductor y para saber si este material cumple con este estado, se hacen los experimentos que se muestran a continuación los cuales muestran el efecto Meissner, el cual consiste en reflejar los campos electromagnéticos de algún imán esto es, si el imán levita frente al compuesto YBCO, el material cumple el efecto Meissner el cual lo producen los superconductores.[12],[13],[18]

2.3. Efecto Meissner.

Se colocaron pastillas en un recipiente, el imán sobre la pastilla y al enfriar con nitrógeno líquido a 77K comienza a levitar el imán.

Las pastillas funcionaron adecuadamente, el imán levito un poco menos con una pastilla superconductor delgada esto probablemente es porque algunas líneas de campo atraviesan el superconductor y permite que levite menos.

El experimento se hace con el propósito de ver la funcionalidad del YBCO, este material funciona como superconductor a 77K.

Si deseamos no tener problemas al colocar el imán en el superconductor se recomienda fabricar unas pastillas de una pulgada con una altura aproximada de 4 a 5mm,

con un súper imán grande. El imán utilizado fue de 3mm de diámetro con unas pastillas superconductoras de 10 mm. de diámetro.



Figura 2.16 Imanes flotando sobre pastilla superconductoras.

2.4. Prueba de superconductividad.

Se experimentó con una vía de pastillas superconductoras en una superficie de unicef, se coloca una bobina al principio de la guía simulando un túnel por el cual pasa un imán, la bobina se orienta de modo que puede atraer el imán cuando se invierte el sentido de la corriente tiene un efecto de repulsión con el imán este experimento se hace con el propósito de tener un vehículo levitante como transporte en un futuro si se llega a realizar a gran escala, ver figura 2.17.[14]

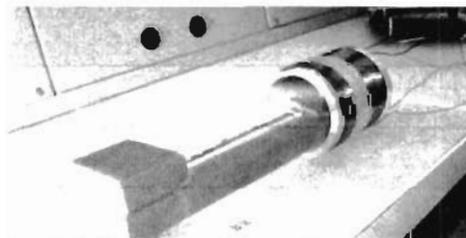


Figura 2.17 Riel superconductor con base de unicef, y bobina

CAPITULO 3.

CARACTERIZACION

Cuando necesitamos algún tipo de detector debemos tomar en cuenta sus propiedades, en el caso del material que tenemos YBCO, se cuenta con diferentes análisis, se requiere de una caracterización la cual debe ser analizada detalladamente de este modo, si se llegará a detectar un cambio en alguna de sus propiedades, podríamos saber si nos funciona para la aplicación que deseamos hacer, que es un detector bolométrico basado en YBCO.

3.1. Análisis de rayos x de energía dispersa.

El compuesto que tenemos de YBCO cuenta con análisis de rayos x de energía dispersa para saber si efectivamente tenemos el compuesto 1-2-3 de YBCO, una microscopía, un análisis de respuesta de resistencia contra temperatura y un análisis de ruido Johnson o ruido térmico.[14]

Con el análisis de rayos x de energía dispersa también llamado eds o edx por sus ciclos en ingles **Energy dispersive X-ray spectroscopy**, se obtuvo la caracterización química del compuesto, así se asegura tener el compuesto 1-2-3 de YBCO y en el caso de detectar algún contaminante no se utilizarían estas pastillas.[14]

En el grafico que se muestra a continuación se puede observar que las pastillas tienen cada uno de los compuestos como es el caso del óxido de ytrio, el óxido de bario y el óxido de cobre, ver figura 3.1.[14]

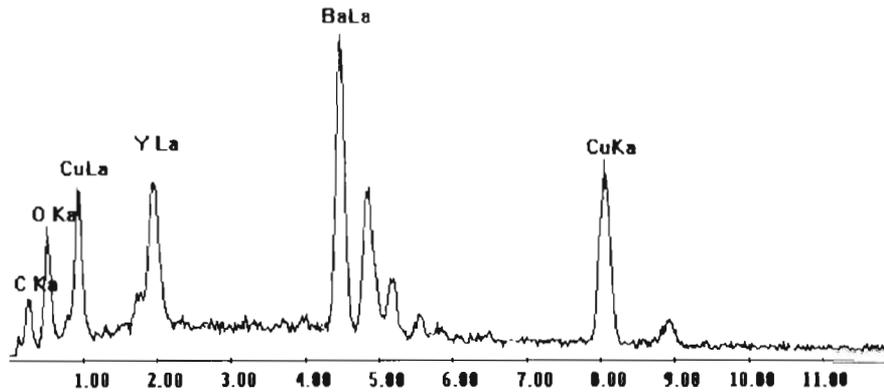


Figura 3.1. Espectro de los reactivos del compuesto YBCO.

3.2. Microscopía de barrido electrónico.

De acuerdo a la observación de nuestro compuesto la figura 3.1 muestra una microscopía de barrido electrónico, donde se puede observar la estructura interna del YBCO.[14]

En la figura 3.2 se puede observar pequeños grupos de nuestro compuesto, donde se pueden identificar que los huecos en negro son carbono, los grises son los elementos utilizados y si llegara a salir algún punto casi blanco puede ser alguna grasa.[14]

En esta microscopía también se puede observar el tipo de grano del material y su aglutinación, esto es importante ya que si en algún momento detectamos granos muy grandes puede afectar en la caracterización del material, pues sería irregular al igual que la aglutinación, porque si esta no fuera buena tendríamos un material de baja calidad y su respuesta no podría ser la adecuada.[14]

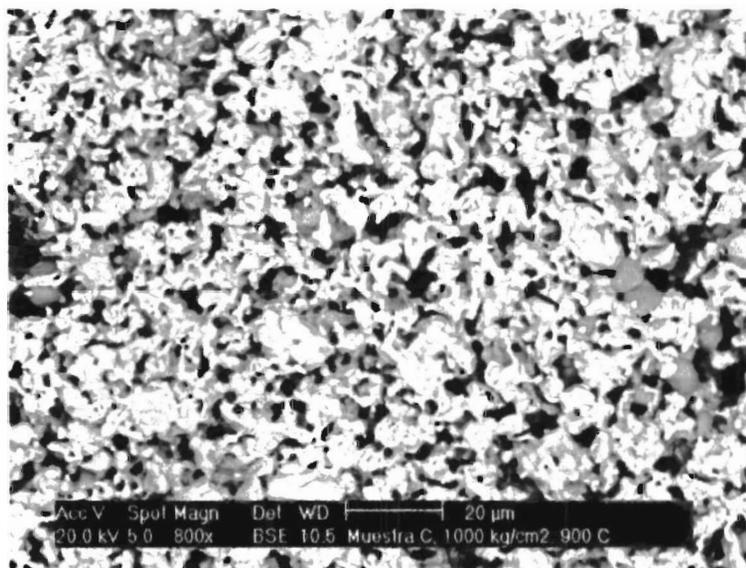


Figura 3.2. Imagen en microscopio.

3.3. Análisis de resistencia contra temperatura.

En la figura 3.3 se muestra un experimento donde el material cambia su resistencia cuando variamos la temperatura, esto lo convierte en lo que se estaba esperando, un bolómetro.

Este material presenta una gráfica con un fenómeno llamado histéresis, que es la tendencia de un material a conservar una de sus propiedades en ausencia del estímulo que la ha generado. Se puede decir que es un retardo de las propiedades del material para llegar a su estado inicial una vez que este fue alterado. Podemos encontrar diferentes manifestaciones del fenómeno.

En física se encuentra, por ejemplo, histéresis magnética, si al magnetizar un ferromagneto, éste mantiene la señal magnética tras retirar el campo magnético que la ha inducido. También se puede encontrar el fenómeno en otros comportamientos electromagnéticos, o los elásticos.[27]

La histéresis magnética es el fenómeno que permite el almacenamiento de información en los imanes de los discos duros o flexibles de los ordenadores: el campo

induce una magnetización en el pequeño imán, que se codifica como un 0 o un 1. Esta codificación permanece en ausencia de campo, y puede ser leída posteriormente, pero también puede ser invertida aplicando un campo en sentido contrario.

Esta parte experimental del trabajo es muy importante, en ella fue posible la transición del material que se encuentra en el rango de los $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ y los $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, en esta etapa se procederá a realizar una aplicación donde el material se mantiene a una temperatura constante y al aplicarle una fuente externa de calor, tenderá a crear un pico en la gráfica, esto sucede porque el calor emitido de una fuente externa cambia la resistencia del material.

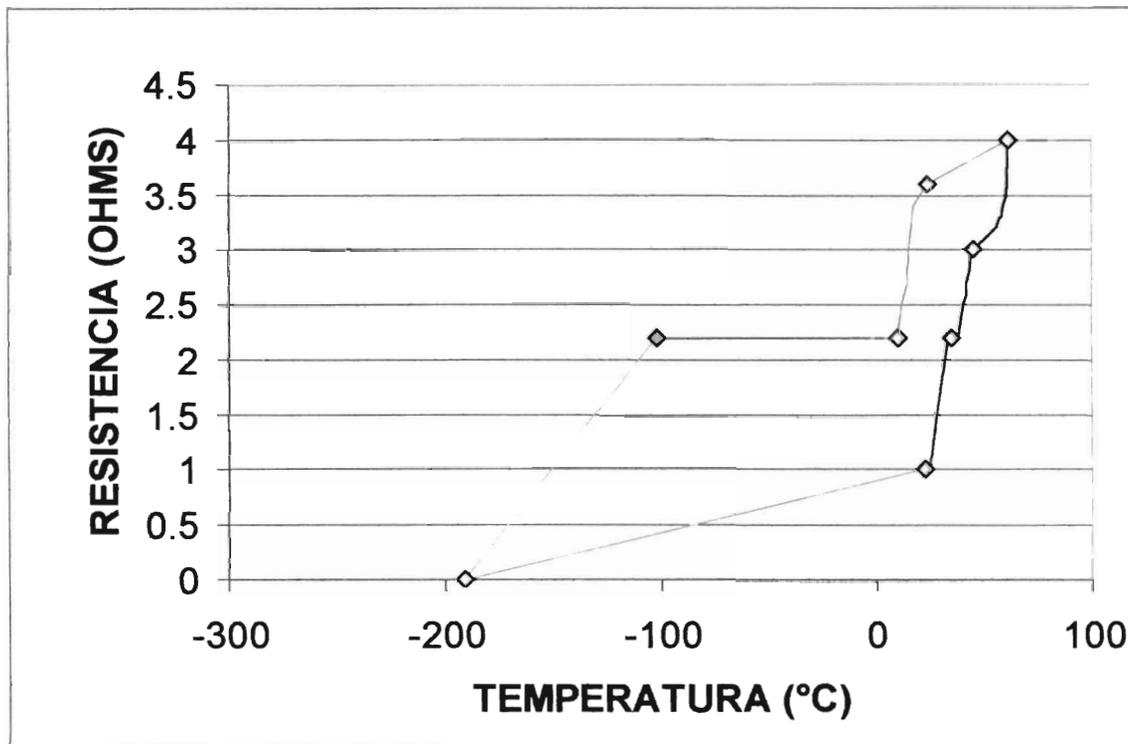


Figura 3.3. Respuesta de la resistencia por la temperatura

CAPITULO 4.

RESULTADOS

Se realizaron varios experimentos que fueron parte de una investigación de un material que tiene cambios en su resistencia cuando cambia la temperatura, el material está fabricado de un compuesto de varios elementos, estos elementos son ytrio bario y cobre, por esta razón es conocido como YBCO, la característica principal del YBCO es que tiene un cambio drástico en su resistencia cuando varía la temperatura, es decir cuando bajamos la temperatura del material, disminuye su resistencia y cuando incrementamos la temperatura, la resistencia del material aumenta, de este modo se utiliza el YBCO como detector bolométrico.

El óxido de ytrio, óxido de bario y óxido de cobre (YBCO) tiene una fase 123 ($YBa_2Cu_3O_{6+x}$), este compuesto tiene diferentes transiciones una de ellas es superconductor metal, su estado superconductor es cuando alcanza temperaturas de -190°C e inferiores, la otra transición es metal semiconductor como se puede observar en la figura 4.1, dependiendo la temperatura en la cual se encuentra, es su estado de transición, nosotros lo sometimos a diferentes experimentos: el primero de ellos fue variar la temperatura y medir resistencia contra temperatura, partiendo de 22°C que es la aproximación de la temperatura ambiente y calentarlo a 98°C , una vez que llega a esta temperatura lo dejamos enfriar a temperatura ambiente hasta llegar a los 22°C que fue su estado inicial, así podemos observar su transición de metal semiconductor, consecutivamente se hace un experimento similar en su transición metal superconductor de igual forma partiendo de una temperatura ambiente de aproximadamente 22°C hasta -191.6°C y recupera su temperatura inicial de aproximadamente 22°C sin que alguna fuente de calor altere su respuesta, en otras palabras de -191.6°C se calienta a 22°C a temperatura ambiente sin fuentes de calor.

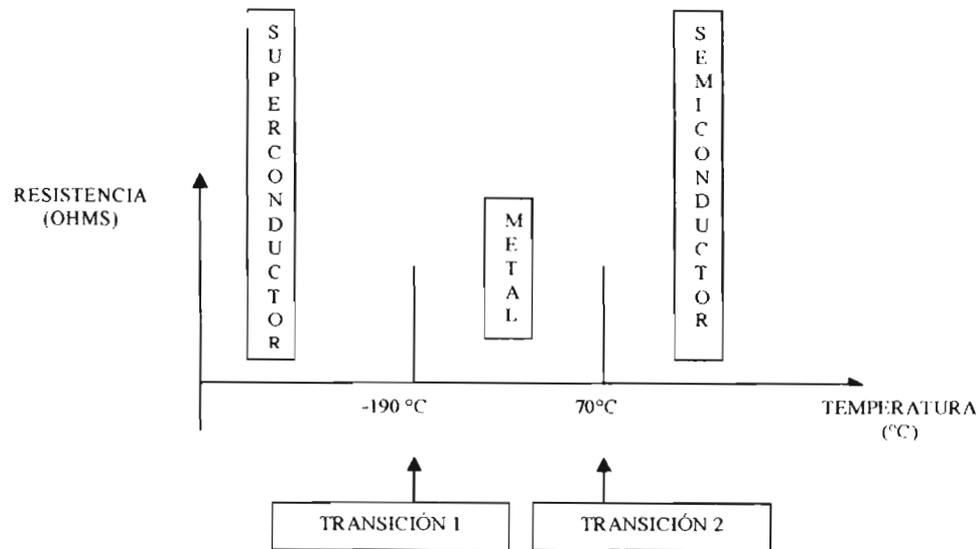


Figura 4 1 Estados de transición del compuesto YBCO

Se puede observar en los resultados del experimento, que en la gráfica 3.2. existen dos pendientes muy pronunciadas, si hacemos un corte y maximizamos los resultados como se muestra a continuación en la gráfica de la figura 4.2 podemos ver claramente que la pendiente más pronunciada es cuando desciende la temperatura de aquí tomamos estos resultados para obtener un coeficiente de temperatura de la resistencia (α), ya que α es la sensibilidad del material.

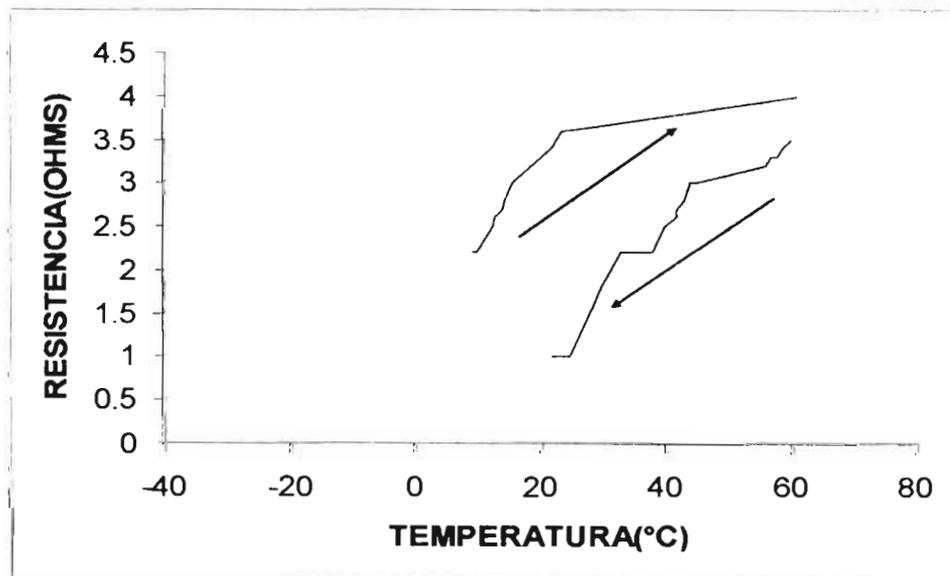


Figura 4 2 Comportamiento del YBCO de calor

Se fabricó una pequeña prensa la cual se muestra en la figura 4.3, la cual tiene dos láminas de cobre, los cuales van conectados a un multímetro y entre las láminas se encuentra la pastilla de YBCO para tener lecturas más exactas. A continuación se presenta una gráfica la cual nos muestra la reacción del material al calor, ver gráfico 4.2 en este experimento se observa una grafica donde inicialmente se mantuvo constante la temperatura por esta razón el grafico comienza en un estado lineal se prosiguió a variar la temperatura ligeramente con una fuente externa de calor, así la resistencia incrementa un poco, y cuando ya no se aplica calor, disminuye la resistencia haciendo que la curva baje ligeramente.

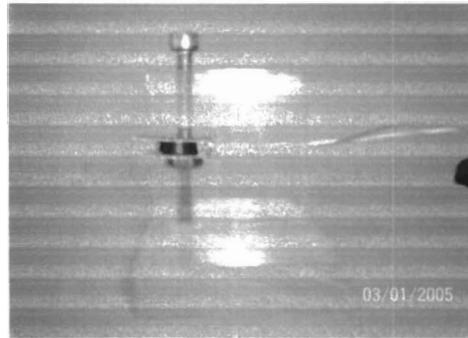


Figura 4.3. Prensa de acrílico para medir la resistencia del YBCO

Se realizó un circuito de dos resistencias en serie, conectadas a un multímetro Fluke modelo 189A que se encarga de mandar los datos al software Fluke View Forms que esta instalado en una computadora hp Pentium 4 HT, una de las resistencias, es una resistencia de potencia y la otra es la resistencia del compuesto YBCO que tenemos conectado a la prensa, de este modo suministrando un voltaje al circuito, el material se calienta y podemos observar como varia la resistencia, el circuito se puede observar en el diagrama de la figura 4.4.

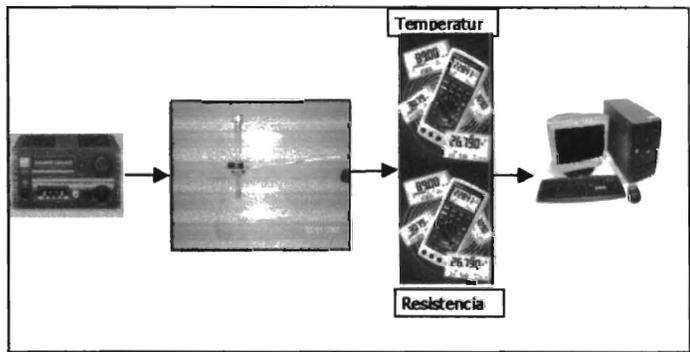


Figura. 4.4 Diagrama del experimento.

Una vez que se experimenta con el circuito anteriormente mostrado y sabiendo que el material obtuvo una respuesta, el siguiente paso fue experimentar con el compuesto YBCO conectado a un medidor donde obtenemos las lecturas de resistencia y temperatura las cuales son adquiridas por una computadora con el software del medidor fluke 189 en el se grafica la respuesta del material, inicialmente mantenemos el YBCO a temperatura ambiente, una vez capturados los datos a temperatura ambiente, se emite luz de un diodo láser, en ese momento la resistencia tiene un cambio y mientras se apunta con el láser la resistencia del compuesto se mantiene, una vez que se deja de aplicar el haz del diodo láser, la resistencia del compuesto tarda mucho tiempo en regresar a su estado inicial como se muestra en el gráfico de la figura 4.5.

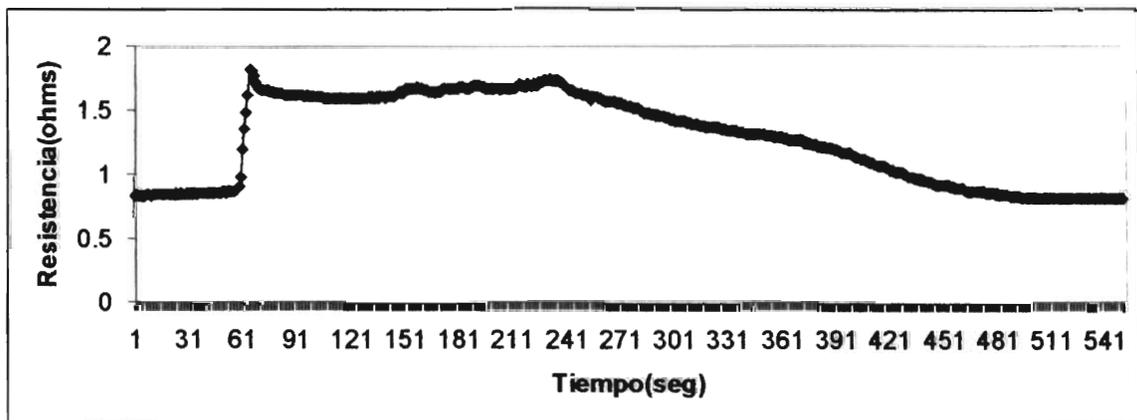


Figura 4.5 Comportamiento del YBCO al emitirle un haz de un diodo láser.

A continuación es posible observar una termografía que se le hizo al material cuando se suministra un voltaje al circuito en la figura 4.6, el YBCO que se encuentra en la prensa, efectivamente se calienta, de este modo podemos ver que el calor se concentra en la

pastilla y que cuando medimos la resistencia del YBCO efectivamente su resistencia incrementa por el calor.[24]



Figura 4.6. Termografía de la pastilla de YBCO

La segunda parte de la caracterización del YBCO fue enfriarlo teniendo como temperatura inicial 25°C hasta -196°C de este modo se obtendría un gráfico el cual nos podría indicar si existe un buen detector bolométrico, tiene dos transiciones, una de metal semiconductor y metal superconductor, después de haber realizado varios muestreos y diferentes experimentos podemos decir que el mejor funcionamiento de este detector de luz, es en su estado semiconductor.

El procedimiento lo podemos observar en la siguiente figura.

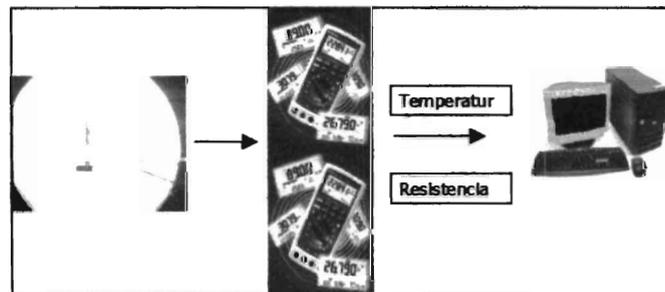


Figura. 4.7. Procedimiento experimental para enfriar el YBCO

Como se puede observar es muy similar el procedimiento actual al anterior, sin embargo ahora se coloca la prensa dentro de un recipiente para poder enfriarlo en nitrógeno líquido y que alcance una temperatura de -196°C ., En la gráfica de la figura 4.8 podemos

observar que las pendientes no son tan pronunciadas como en el experimento anterior donde se calentó el compuesto, sin embargo tomando estos datos se hace un análisis de sensibilidad que se muestra más adelante.

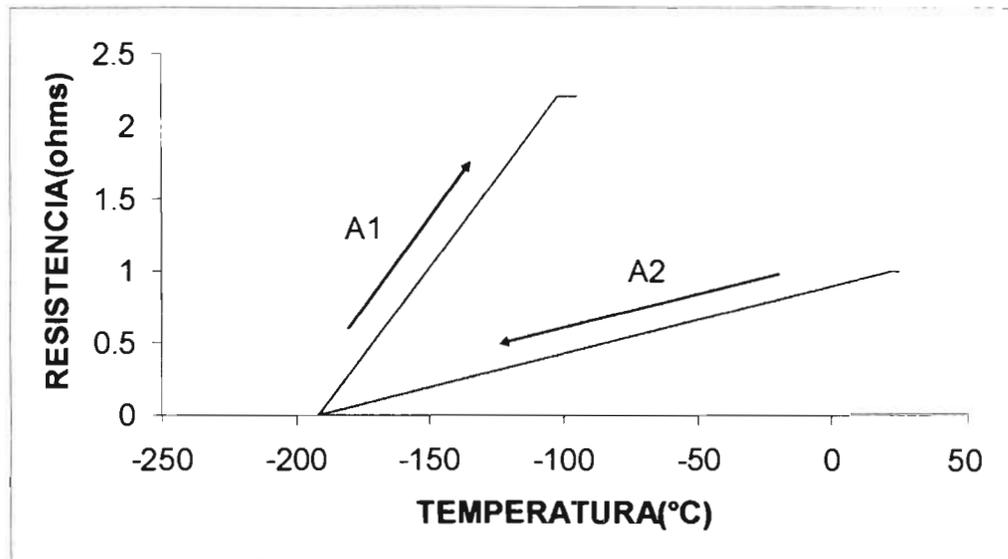


Figura 4 8 Comportamiento del YBCO a temperatura de -196 °C

En el primer experimento, cuando la temperatura aumenta, la resistencia tiende a ser mas grande y al bajar la temperatura, disminuye su resistencia. En este segundo experimento se observa un fenómeno similar porque al disminuir la temperatura, decrece la resistencia, esto se muestra en varias réplicas del experimento.

EL siguiente experimento fue sumar los experimentos realizados para obtener un solo resultado. Primero se calentó el material a 80°C y luego se enfrió a -196°C, la gráfica de la figura 4.9 nos muestra el resultado del experimento.

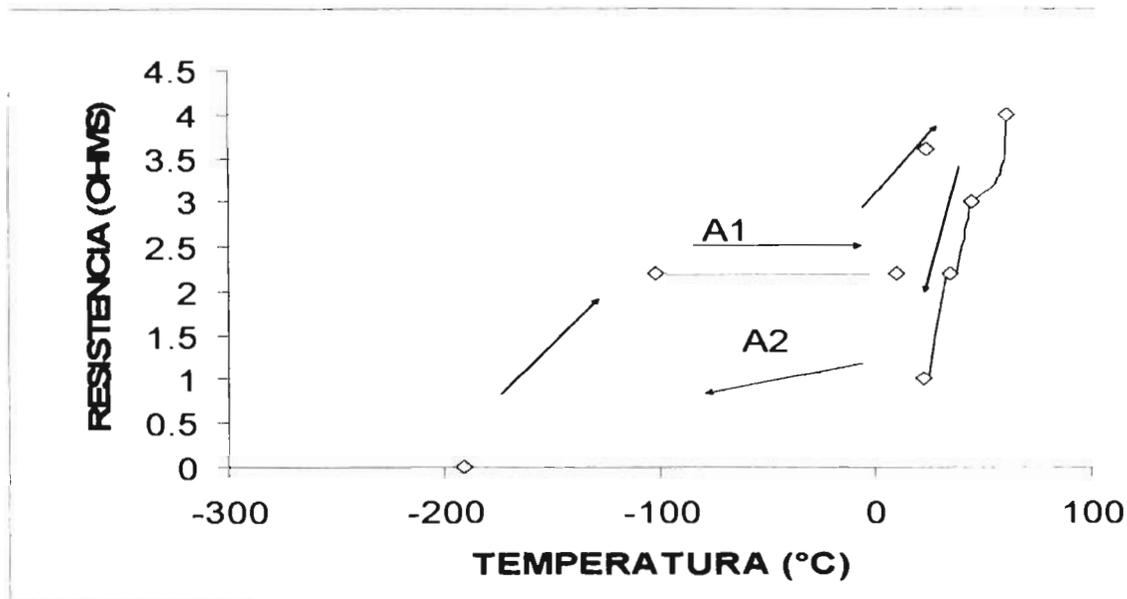


Figura 4.9 Comportamiento del YBCO caliente-frío

Para estudiar un poco más este material también se hacen mediciones de ruido térmico o ruido Johnson, la ecuación que utilizamos es $E = 4KTR\Delta f$ que es la ecuación característica del ruido térmico, aquí también hicimos varias mediciones de ruido.

Primero se mide el ruido del analizador de señales, se utilizó un amplificador a 100 y de igual forma se midió el ruido y por último, al material a diferentes temperaturas, en la figura 4.10 se observa el diagrama que se utiliza para las mediciones de ruido térmico.

Se utilizó el YBCO, un multímetro fluke 189, un amplificador con ganancia 100, un analizador dinámico de señales 3562A y una computadora hp Pentium 4 ht.

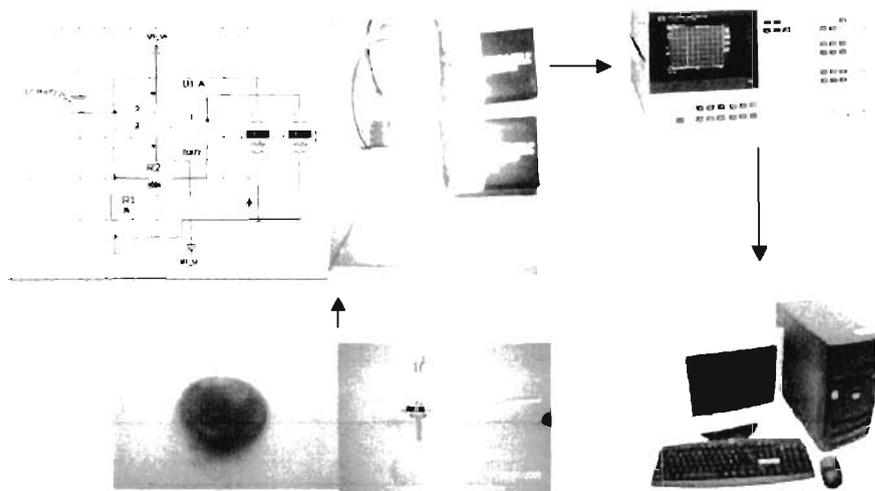


Figura. 4.10. Diagrama para la medición del ruido térmico

4.1. Coeficiente de Temperatura de la Resistencia.

EL coeficiente de temperatura de una resistencia está dado por la ecuación 1.15.

A continuación podemos $\alpha = \frac{1}{R} * \frac{DR}{DT}$ observar una de las dos líneas de la pendiente que tiene la grafica de la figura 4.9.

Dividiendo los resultados obtenidos en la gráfica de la figura 4.9 en A1 de temperatura de ascenso y A2 de temperatura de descenso podemos obtener el TCR de la grafica de la figura 4.11 y como resultado obtenemos el coeficiente de temperatura de la resistencia (TCR) en el gráfico de la figura 4.12 que es aproximadamente un 3% de la división A1 de ascenso.

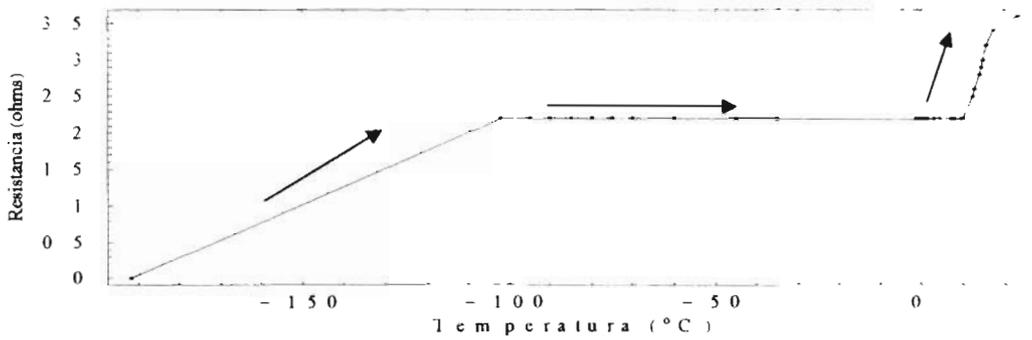


Figura 4.11 Pendientes para obtención del TCR

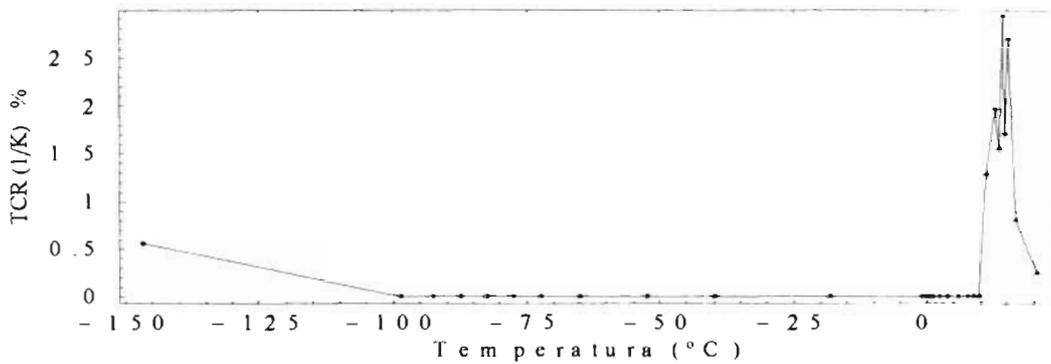


Figura 4.12. Coeficiente de temperatura de la Resistencia del YBCO en A!

En los resultados obtenidos de la división A2 del gráfico 4.9 podemos observar el comportamiento cuando desciende la temperatura, del gráfico de la figura 4.13 se analizó el TCR y produce un coeficiente de temperatura de la resistencia del YBCO de aproximadamente 3.5% como lo podemos observar en el gráfico de la figura 4.14.

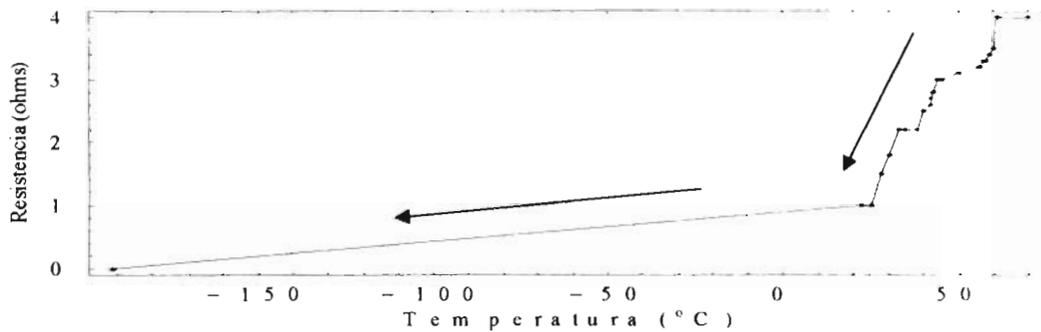


Figura 4.13. Mediciones de temperatura contra Resistencia.

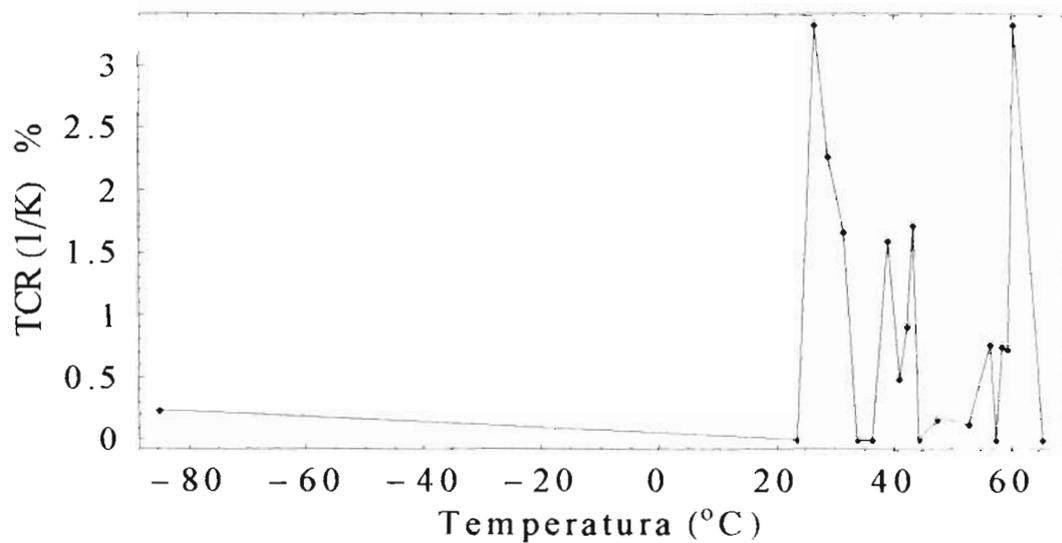


Figura 4.14 Coeficiente de Temperatura de la Resistencia del compuesto YBCO.

Hacemos un análisis tomando en cuenta todos los datos obtenidos para tener un promedio del TCR donde tenemos A1 sumado a A2, De la gráfica de la figura 4.9 se obtiene este promedio, el coeficiente de temperatura de la resistencia para el compuesto YBCO nos muestra un resultado de 3.8% 1/K, como se puede observar en la gráfica de la figura 4.15.

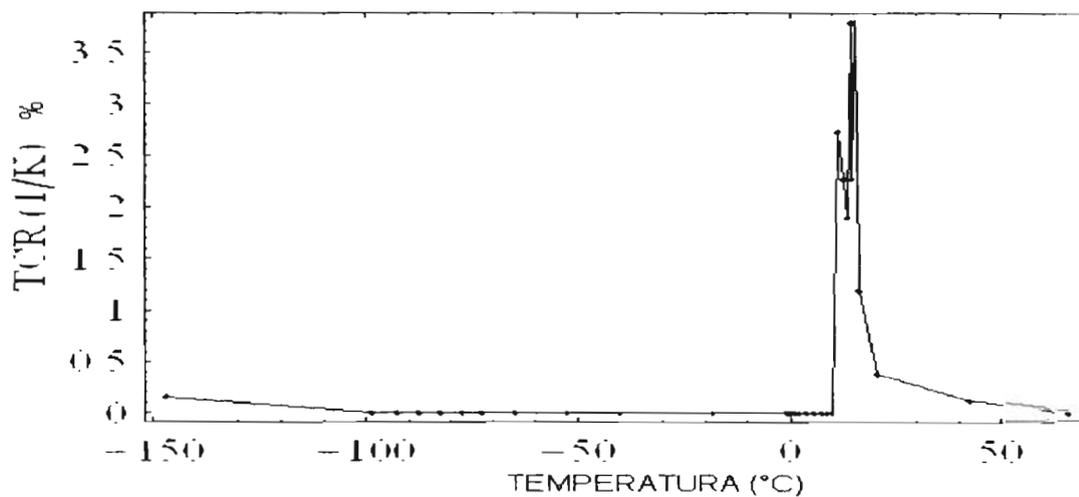


Figura 4.15. TCR del compuesto YBCO

En la siguiente tabla podemos encontrar algunas especificaciones de materiales bolométricos como son el óxido de vanadio, el YBCO y silicio amorfo, podemos comparar el TCR de cada uno de los compuestos y tomando el TCR del YBCO podemos darnos cuenta que es el mismo TCR obtenido.[15]

	Configuración	TCR	Resistencia (KΩ)
VOx	50 nm VOx sobre 0.4 μm SiNx	2.7%	20
YBCO	0.4 μm YBCO con 0.1 μm Ti	3.5%	360
a-Si	0.7 μm a-Si sobre 0.2 μm SiNx	3 %	50

Figura 4.16. Especificaciones de materiales bolométricos.

En la siguiente tabla podemos observar que el semiconductor YBCO es comparado con el óxido de vanadio y silicio amorfo ya que la sensibilidad de estos tres materiales es de las más altas. [16]

Material	TCR (% 1/K)	Potencia normalizada Ruido 1/f
Semiconductor YBCO	De 2.8 a 4 Típico de 3.5	$4.4 * 10^{-13}$
VOx	De 1.5 a 2	$1.2 * 10^{-13}$
Silicio Amorfo	típicamente 2.8	$4.0 * 10^{-12}$

Figura 4.17 Comparación de materiales bolométricos

4.2. Resultado obtenidos.

El análisis de ruido del circuito mostrado en la figura 4.10 es de la siguiente manera, el ruido térmico total es igual al cuadrado, de la suma de cada uno de los componentes en raíz cuadrada, esto es:

$$n_1 = \sqrt{R_s^2 + n_2^2 + n_3^2} \quad (5.1)$$

Teniendo la relación SNR de:

$$\text{SNR} = \text{signal power} / \text{noise power}$$

Emitiendo luz de un diodo láser de 5mW al detector, hubo un cambio de resistencia de 0.3Ω , teniendo este resultado y aplicando una corriente de 1mA al compuesto YBCO, obtenemos un voltaje aplicando ley de ohm $V=RI$ el cual es de 30 mV.

Tenemos que la relación SNR es V_s/V_r donde V_s es el voltaje de la señal multiplicado por 100 que es la ganancia amplificada y V_r es el voltaje de ruido del compuesto.

$$\text{De este modo tenemos que } \frac{V_s}{V_r} = \frac{(300\mu V)(100)}{15.52\mu V} = 2000$$

Recordando la ecuación de ruido térmico y sustituyendo valores, tenemos la siguiente tabla:

$$\text{De } V_n = 4KTR\Delta f$$

donde:

V_n es el voltaje de ruido térmico.

K es la constante de Boltzmann.

T es la temperatura en kelvins = 17°C o 290 K.

R es la resistencia del material en ohms.

Δf es la frecuencia de trabajo.

Fuente de Ruido	Valor de Ruido	Ganancia	Salida de Ruido	Entrada de Ruido
Johnson	Johnson		Johnson	Johnson
$R1=1\Omega$	$0.12\text{nV} / \text{Hz}^{1/2}$	100	$12\text{nV} / \text{Hz}^{1/2}$	$0.12\text{nV} / \text{Hz}^{1/2}$
$R2=1\text{K}\Omega$	$4\text{nV} / \text{Hz}^{1/2}$	100	$400\text{nV} / \text{Hz}^{1/2}$	$4\text{nV} / \text{Hz}^{1/2}$
V_n	$15\text{nV} / \text{Hz}^{1/2}$	100	$1500\text{nV} / \text{Hz}^{1/2}$	$15\text{nV} / \text{Hz}^{1/2}$
			$1552\text{nV} / \text{Hz}^{1/2}$	$15\text{nV} / \text{Hz}^{1/2}$

4.3. Potencia Equivalente de Ruido (NEP).

El NEP es la potencia incidente sobre el detector que genera una señal de salida de ruido RMS, en otras palabras el NEP es la entrada de los niveles de potencia que podrían producir una relación señal – ruido igual a 1, esto puede ser escrito en términos de responsividad como lo menciona la ecuación 1.11:

$$NEP = \frac{P_{inc}}{P_R}$$

Entonces multiplicando la potencia incidente por el voltaje de ruido total y dividido entre la diferencia de voltaje con el cambio de resistencia en el compuesto de YBCO producimos el NEP. Sustituyendo valores, obtenemos un NEP de 2.58 μ W.

4.4. Detectividad.

La detectividad es el recíproco del NEP de este modo tenemos que la ecuación es:

$D = \frac{1}{NEP}$ y como obtuvimos un NEP de 2.58 μ W el resultado es de $3.8 * 10^5$ 1/W una vez teniendo este resultado podemos proseguir a obtener la detectividad normalizada.

4.5. Detectividad normalizada D*.

Par obtener la detectividad normalizada debemos de tener A_d que es el área del detector, una frecuencia que es el ancho de banda Δf que fue de 100 Hz, el NEP del detector y utilizando la siguiente ecuación podemos obtener los resultados de D*

$$D^* = D \cdot A_d \Delta f = \frac{A_d \Delta f}{NEP}$$

$$D^* = 3.4 * 10^6 \frac{cm \cdot Hz}{W}$$

4.6. Detección de energía electromagnética.

De acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente podemos hacer un pequeño sistema de adquisición de datos del compuesto YBCO, en la figura 4.18 podemos observar una grafica realizada en un muestreo con un multímetro fluke 189, una tarjeta de adquisición de datos 6009-usb y el software labview 7.1 donde se muestran pulsos, estos pulsos, son una reacción del material al elevar su resistencia cuando es expuesto al calor emitido por un láser.

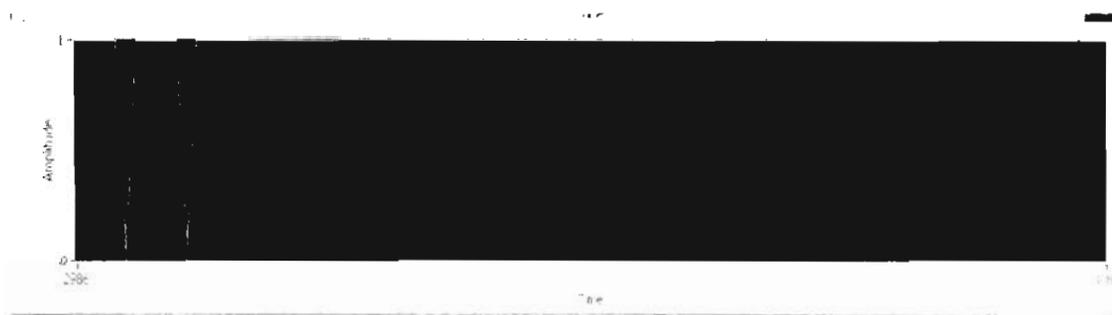


Figura 4.18. Emisión de luz de un diodo láser al compuesto YBCO

Cuando se comenzó a experimentar con el YBCO, tuvo una resistencia inicial de 0.86 ohms y según se fueron haciendo experimentos fue aumentando su resistencia inicial hasta tener una resistencia inicial de 5 ohms, tuvo un pequeño deterioro en su comportamiento, conforme se fue utilizando el material, fue teniendo un desgaste que provocó una oxidación y así fue aumentando su resistencia, sin embargo el YBCO a pesar de tener una resistencia de 5 ohms, tiene el mismo comportamiento de detección de calor siempre y cuando no se le aplique un calor de más de 70 °C, pues se perdería la composición por exceso de óxido.

En la figura 4.19 se puede observar un poco más detalladamente el comportamiento del YBCO, este programa detecta la señal de un diodo láser que emite su haz al bolómetro a una distancia de 10 cm, este se encuentra conectado a un medidor de resistencia el cual manda la señal al software de labview 7.1 de una computadora, en este experimento el material tiene una resistencia inicial de 4.7 ohms, cuando se aplica luz del diodo láser, el

material aumenta su resistencia, se puede decir que el material esta detectando radiación así la gráfica en el programa hecho en labview obtiene un dato que la hace tomar un valor, en este caso, uno, cuando no se emite luz del diodo láser, el material baja su resistencia y el gráfico en el programa cambia a su estado inicial, creando pulsos que dependen de la fuente de radiación emitida.

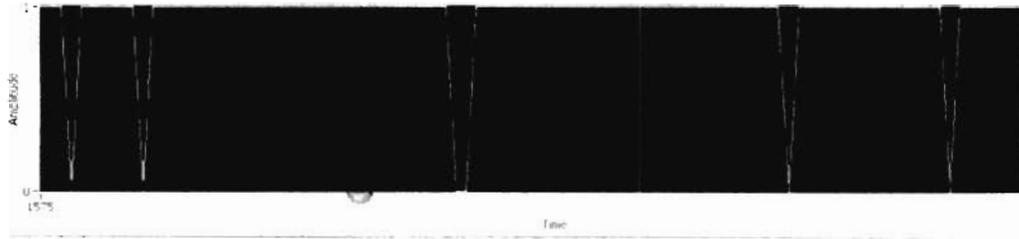


Figura 4.19. Pulso de reacción al calor

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

El YBCO utilizado en esta investigación son pastillas de 1 cm de diámetro por 0.5 de grosor, obtuvieron el funcionamiento esperado según lo investigado, el material fue sometido a diferentes experimentos para su caracterización y absolutamente todos los experimentos realizados mantienen el mismo comportamiento, lo cual nos dice que coinciden tanto la investigación realizada de este material como los resultados obtenidos.

Fue posible constatar que el material es altamente sensible al calor, por lo tanto podemos utilizarlo como un detector bolométrico, sin embargo depende mucho la sensibilidad del material si es grueso o delgado, porque si el YBCO es grueso, tiende a cambiar más lentamente su resistencia una vez que se ha calentado y que lo tenemos a una temperatura más alta que la temperatura ambiente, sin embargo utilizándolo a una temperatura ambiente no tendría retardos en su respuesta, por otro lado mientras el material sea más delgado, será mejor y mucho más sensible que uno grueso, este puede ser una razón muy grande por la cual existen películas delgadas de YBCO como microbolómetros.

El material tiene dos transiciones, una de ellas es metal superconductor, en esta etapa el material tiene que estar a una temperatura de -196°C , que es la temperatura del nitrógeno líquido, el YBCO a esta temperatura es sensible al detectar algún tipo de radiación, en esta etapa lo podemos usar como detector, dentro de las ventajas podemos decir que no tiene oxidación, tampoco existe el problema de algún agente contaminante que pueda alterar el material, sin embargo los costos en mantenerlo a esta temperatura son demasiado altos, unido a que el nitrógeno líquido pueda alterar alguna señal de entrada al material, por otro lado, el funcionamiento en su transición metal semiconductor es mejor ya que cuenta con la grandísima ventaja que puede ser un buen detector de radiación a temperatura ambiente, o bien tendría un buen funcionamiento en alguna temperatura entre 75°C y 22°C , que es donde tiene una pendiente mas prolongada, si llegamos a tener una

temperatura mayor a 75°C, tendríamos problemas porque el material comienza a oxidarse con el tiempo a partir de ésta temperatura, por lo tanto no podríamos adquirir una buena lectura del detector bolométrico de YBCO. Con este experimento podemos deducir que el material tiene desgaste al calentarlo, ese es motivo suficiente para recomendar utilizarlo a una temperatura de 30°C,

El material tiene una degradación con la alta temperatura ya que conforme aumenta la temperatura sus compuestos de óxido de ytrio, óxido de bario y óxido de cobre van perdiendo su fase 1-2-3, si teníamos inicialmente $Y_1Ba_2Cu_3O_{6.5}$ con el desgaste de las altas temperaturas su fase se perderá y se tendría algo muy diferente en este caso podría ser que el óxido de ytrio se mantiene, el óxido de bario aumenta y el de óxido de cobre se degrada ligeramente.

Este tipo de material cuenta con una resistencia de aproximadamente 1 ohm a temperatura ambiente lo cual se considera una resistencia baja, por lo tanto el ruido térmico o ruido Johnson, que pueda producir no es muy alto como para que altere una señal, sin embargo mientras menor sea la temperatura a la que se encuentre el YBCO este tenderá a disminuir la resistencia. El ruido térmico depende de la resistencia; así se indica en la ecuación 1.11 mientras menor sea su resistencia, el ruido térmico tenderá a ser menor, de los resultados de SNR, NEP y D^* podemos decir que fueron buenos resultados ya que si los comparamos con los bolómetros comerciales son características muy similares. Así podemos llegar a decir que el material cuenta con alto grado de sensibilidad como para no haberlo fabricado en una atmósfera ideal, por ejemplo los bolómetros de VOx tiene una D^* de $1 \cdot 10^9$ o $1 \cdot 10^8$ y el resultado de este detector nos produjo una sensibilidad de $3.4 \cdot 10^6$, dentro del ruido Johnson, no tiene mucho ruido. Puede llegar a sustituir otros materiales bolométricos pues cuenta con algunas ventajas sobre los demás materiales.

El TCR del YBCO es uno de los principales coeficientes de temperatura dentro de los materiales bolométricos ya que cuenta con una alta sensibilidad, el TCR tiene una variación de 1.5 a 3.4 (1/K) dependiendo de la temperatura a la cual se encuentre.

La sensibilidad de los bolómetros es mayor cuanto mayor sea su coeficiente de resistencia con la temperatura en otras palabras, mientras más grande sea su TCR más sensible será el detector. En la actualidad existen cámaras de infrarrojos las cuales cuentan con VOx como material bolométrico por su alto TCR, anteriormente se menciona que el YBCO es más sensible que el VOx, sin embargo las cámaras de infrarrojos son más comerciales en VOx porque el comportamiento es un poco más estable.

REFERENCIAS.

- [1] Low Noise Electronic System Design, C.D. Motchenbacher, J.A. Connelly. Ed. Wiley Interscience.
- [2] F. J. González. *Antenna-Coupled Infrared Focal Plane Array*. PhD thesis, University of Central Florida, Orlando, Florida, USA, 2003.
- [3] M. Fardmanesh, M. Ihsan, K. Scoles, and A. Rothwarf Thin film YBCO infrared detector design and characterization Superconductivity and its applications AIP Conference Proceedings -- February 10, 1992 -- Volume 273, pp. 142-154 Drexel University, Electrical & Computer Engineering Department, and Ben Franklin Superconductivity Center, Philadelphia, Pennsylvania 19104
- [4] http://www.imse.cnm.es/~gloria/documentos/CURSO_0506/ELECTRONICA/BOLETIN/NES/Resolucion_Boll_05.pdf
- [5] http://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_temperatura
- [6] <http://www.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/ir/irtech.html>
- [7] <http://www.iac.es/galeria/hcastane/iso/08.htm>
- [8] Bolometer and method for producing bolometer, U.S. Patent Issued on December 28, 2004, United States Patent 6836677.
- [9] <http://www.iac.es/galeria/hcastane/iso/07.htm>
- [10] Temperature dependence of the infrared optical properties of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$: A plasmon damping model

Publicación Journal of Superconductivity Editor Springer Netherlands ISSN 0896- 1107
(Print) 1572-9605 (Online)

Fascículo/ejemplar/número Volume 7, Number 2 / abril de 1994 DOI 10.1007/BF00724594
Páginas 481-483

[11] Overview of Nonlinearity in HTS: What Learned and Prospects for Improvement,
publicación Journal of Superconductivity and Novel Magnetism, Editor Springer, New
Cork, ISSN 1557-1939, Volumen 20, numero 1 / enero 2007. pag. 3-12

[12] Michel Cyrot y Davor Pavuna. Introduction to superconductivity and High Tc
Materials
Singapore, World Scientific Publishing Co, 1992

[13] Rose-Innes, A.C.; Rhoderick, E.H. Introduction to superconductivity, Oxford,
Pergamon, 1976

[14] G, García, Fabricación de un Superconductor de Cerámica de YBCO, tesis, Fac-
Ciencias-UASLP, San Luis Potosí, S.L.P., México, 2005

[15] F.J. González, Noise measurements on optical detectors, revista mexicana de fisica, 52
(6) 550–554 diciembre 2006.

[16] **Infrared Detector**, Antoni Rogalski, ISBN 9056992031, publicado 2000
CRC Press.

[17] P. C. Shan, Z. C, elik-Butler,a) D. P. Butler, A. Jahanzeb, and C. M. Travers,
Investigation of semiconducting YBaCuO thin films: A new room temperature bolometer
Department of Electrical Engineering, Southern Methodist University, Dallas, Texas
75275-0338 W. Kula and Roman Sobolewski, Department of Electrical Engineering and
Laboratory for Laser Energetics, University of Rochester, Rochester, New York 14627
Received 3 April 1996; accepted for publication 5 September 1996!

[18] Ali Bozbey, YBCO edge transition bolometers: effect of superconductivity transition on the phase and magnitude of the response, M.S. thesis, department of electrical and electronics engineering and the institute of engineering and science of bilkent university, Ankara, Turkey 2003

[19] Roman Sobolewski, Donald P. Butler and Zeynep Çelik-Butler, Cooled and uncooled infrared detectors based on yttrium barium copper oxide, Department of Electrical and Computer Engineering and Laboratory for Laser Energetics, University of Rochester, Rochester, NY 14627-0231, Electrical Engineering Department, Southern Methodist University Dallas, TX 75275-0338

[20] F.A. Pérez, L.F. Castro, E. Baca, E. Solarte, efectos de la irradiación con luz láser infrarroja en las propiedades de películas superconductoras de YBaCuO, Universidad del Valle, AA 25360 Cali, Colombia

[21] Butler, Donald P.; Jahanzeb, Agha; Shan, Pao C.; Travers, Christine M.; Celik-Butler, Zeynep, IR detection at room temperature using semiconducting YBaCuO, Proc. SPIE Vol. 2816, p. 46-57, Infrared Detectors for Remote Sensing: Physics, Materials, and Devices, Randolph E. Longshore; Jan W. Baars; Eds.

[22] M. Tinkham, introduction to superconductivity McGraw-Hill(1996)

[23] M, Leung, Appl. Phys. Lett. 51 (1987) 2046

[24] Gilbert Gaussorgues, in "La thermographie infrarouge: principes technologies applications," 4th ed. Ed. New York, Londres Paris: TEC&DOC, pp. 570-580, 1999.

[25] D. A. Giratá, Estudio de los efectos de la radiación infrarroja sobre las propiedades

eléctricas y características morfológicas, tesis de Doctorado en Ciencias-Física, Cali, 1997.

[26] Large temperature coefficient of resistance material

US Patent Issued on January 8, 2002

United States Patent 6337991

[27] Z. Adamus¹, Marta Z. Cieplak¹, A. Abal'oshev¹, M. Kończykowski,

X. M. Cheng³, L.Y. Zhu³, C. L. Chien Flux penetration in a ferromagnetic/superconducting bilayer, *Department of Physics and Astronomy, The Johns Hopkins University, Baltimore, Md. 21218 USA.*

[28] Nieva, Enrique Nicolás, Estudio de interfases durante la fabricación de películas gruesas superconductoras sobre diferentes sustratos, M.C. tesis, 1995, Jul 27

[29] E.R. Benavidez, C.J.R. González Oliver, Centro Atómico Bariloche - C.N.E.A. R. Caruso y O. de Sanctus, estudio de la densificación de capas y compactos superconductores de YBaCuO E YBaCuO/Ag, *Laboratorio de Materiales Cerámicos, F.C.E.I.yA.-U.N.R., I.F.I.R., C.O.N.I.C.E.T.*

[30] A Koblischka-Veneva¹, F Mücklich¹, M R Koblischka², N Hari Babu³, D A Cardwell, EBSD characterisation of Y₂Ba₄CuUO_x phase in melttextured YBCO with addition of depleted uranium oxide, Institute of Functional Materials, University of Saarbrücken, P.O. Box 151150, D-66041 Saarbrücken, Germany, Institute of Experimental Physics, University of Saarbrücken, P.O. Box 151150, D-66041 Saarbrücken, Germany, IRC in Superconductivity, University of Cambridge, Madingley Road, Cambridge CB3 0HE,U.K.

[31] Shen, Wenpin Peter, II-VI Compound Semiconductor and High Critical Transition Temperature Superconductor Thin Films Grown by Pulsed Laser Deposition, Thesis (PH.D.)--State University of New York at buffalo, 1994.

[32] J. H. Ballesteros, D. Giratá, W. Lopera, G. Bolaños, J. Osorio, fotorrespuesta de películas delgadas de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ dopadas con plata, REVISTA COLOMBIANA DE FÍSICA, VOL. 33, No. 2. 2001, Instituto de Física, Universidad de Antioquia, A. A. 1226, Medellín, Antioquia, Departamento de Física, Universidad del Cauca, Calle 5 No. 4-70, Popayán, Cauca Departamento de Física, Universidad del Valle, A. A. 25360, Cali, Valle, boundaries properties by Ag doping.,

[33] Simon R Schultz, Imperial College London, Signal-to-Noise Ratio in Neuroscience

[34] C. E. Shannon (1949). Communication in the presence of noise. *Proceedings of the IRE*, 37(1):10-21. Reprinted in *Proceedings of the IEEE*, 86(2):447-458, Feb. 1998.

[35] L. A. Sarmiento Reyes, L. Hernández Martínez y Próspero López Sánchez. Uso del Espectro de Densidad de Potencia para la Optimización del Ruido en Amplificadores (INAOE), Departamento de Electrónica, A.P. 72000 Puebla Puebla.