

## SUPERCONDUCTORES DE ALTA $T_C$ , DIEZ AÑOS DESPUÉS

A. Mariño Camargo  
Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Física  
Santafé de Bogotá D.C: Colombia

### Resumen

Esta contribución es una somera revisión del estado actual del conocimiento, acumulado durante casi diez años de investigación, de los superconductores de alta temperatura crítica. Inicialmente se resaltan algunas características comunes de estos nuevos materiales, se discuten algunos de los problemas más relevantes que limitan sus aplicaciones y finalmente se describen aspectos de la problemática relacionada con la determinación de las interacciones fundamentales responsables de la superconductividad de alta  $T_C$ .

### Abstract

This contribution is a short review of the current state of the high temperature superconductivity, after ten years of research in this field. A description of the common characteristics of the new superconducting materials is followed by the discussion of some relevant problems that limit their applications. Some aspects related to the determination of the mechanisms responsables for the high  $T_C$  superconductivity are mentioned.

### 1. Introducción

Un superconductor tiene dos características esenciales. Por debajo de una temperatura crítica característica ( $T_C$ ), dependiente de la naturaleza y estructura del material, los superconductores exhiben resistencia cero al flujo de electricidad y pueden expulsar el flujo magnético de su interior, dando lugar al fenómeno de levitación magnética. [1, 2]

El primer superconductor, mercurio, descubierto en 1911 por G. Holst y K. Onnes, sólo lo era a temperaturas inferiores a 4.2 K (-268 °C) y a principios de 1986 el récord de temperatura crítica estaba en 23 K correspondiente al compuesto  $Nb_3Ge$ . La rata de crecimiento había sido de 0.3 grados por año y los superconductores a temperatura ambiente parecían inalcanzables. A finales de 1986 la comunidad científica internacional fué sorprendida cuando J. G. Bednorz y K. A. Müller, del centro de investigaciones de la IBM en Zurich, observaron una  $T_C \sim 35$  K en el compuesto de óxido de Cobre. Bario y

Lantano (BaLaCuO) sintetizado con anterioridad (1983) por el grupo de B. Raveau y C. Michel en Francia. La euforia desatada por este descubrimiento condujo a que poco tiempo después, se descubriera que la  $T_c$  podía seguir subiendo lo que llevó al descubrimiento de nuevos materiales superconductores, con  $T_c$  por encima del punto de ebullición del nitrógeno líquido ( $\sim 77$  K). Se despertaron entonces atrevidas esperanzas que fueron sofocadas relativamente pronto por varias dificultades tanto en el plano teórico, donde los conocimientos acumulados sobre el estado superconductor hasta 1986 fueron incapaces de describir la superconductividad de alta  $T_c$ , como en lo referente a las aplicaciones, puesto que el estado superconductor se destruye al ser sometido a un campo magnético, cosa que debe hacerse en muchas de las aplicaciones concebibles.

Diez años después, cuando la euforia inicial ha cedido y las noticias de éxitos sensacionalistas se han vuelto escasas, muchas ideas novedosas relativas a las características de los nuevos cupratos superconductores se han decantado elevando significativamente el nivel del conocimiento, y a pesar de las dificultades anotadas anteriormente estos cupratos se utilizan ya en la microelectrónica, por ejemplo como sensores de campo magnético (SQUID: interferómetro cuántico superconductor), filtros, resonadores etc.[3]

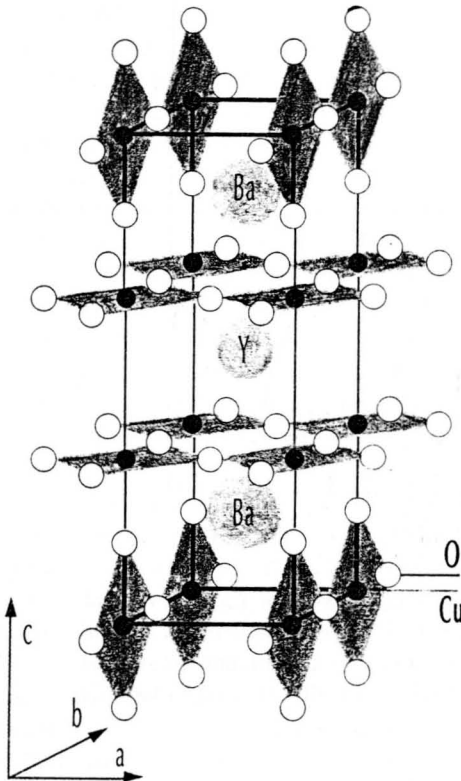
## 2. Características comunes

Todos estos nuevos superconductores a base de Cobre, pertenecen a la familia de las perovskitas, es decir, están formados por cristales constituidos por el apilamiento en todas las direcciones del espacio, de octaedros que contienen en su centro un átomo metálico, el cobre, con átomos de oxígeno en los vértices y otro átomo metálico ocupando los espacios entre los octaedros. Esta estructura cristalina, indicada en la figura 1, conduce a la formación de planos  $\text{CuO}_2$ , responsables de las propiedades electrónicas de los superconductores de alta temperatura crítica (HTS). Los demás átomos contribuyen al balance de carga y a la estabilidad de la estructura [3].

Los estados electrónicos, cerca de la energía de Fermi están formados por orbitales  $\text{Cu-}3d$  y  $\text{O-}2p$ , los cuales dan lugar a bandas híbridas con un carácter marcadamente cuasibidimensional. El carácter bidimensional de los electrones de conducción se refleja en parte en la extrema anisotropía de las propiedades físicas. La resistividad en la dirección  $c(\rho_{\perp})$  por ejemplo, llega a ser  $\sim 10^5$  veces mayor que la correspondiente en el plano  $ab(\rho_{\parallel})$ . Adicionalmente, el comportamiento con la temperatura de  $\rho_{\perp}$  y  $\rho_{\parallel}$  es esencialmente diferente: mientras  $\rho_{\parallel}$  decrece al disminuir la temperatura (comportamiento metálico),  $\rho_{\perp}$  aumenta al disminuir la temperatura (comportamiento semiconductor).

Por otra parte, a cada HTS conocido le corresponde un compuesto o "sistema de referencia" el cual, aunque difiere levemente en composición, se diferencia

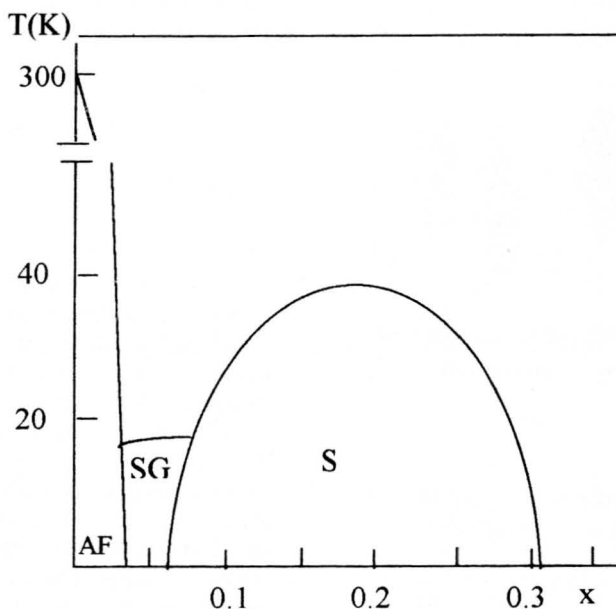
sustancialmente en sus propiedades físicas. Mientras los HTS son metálicos paramagnéticos y para  $T < T_c$  superconductores, los sistemas de referencia se comportan como semiconductores y, antiferromagnéticos y para  $T \rightarrow 0$  completamente aislantes. Un ejemplo de este comportamiento puede observarse en el compuesto  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ . El  $\text{La}_2\text{CuO}_4$  ( $x = 0$ ) es un aislante antiferromagnético con una  $T_{\text{Neel}} \sim 300$  K; por el contrario el  $\text{La}_{1.85}\text{Sr}_{0.15}\text{CuO}_4$  es un superconductor paramagnético con una  $T_c \sim 40$  K. Ver Figura 2.



**Figura 1.** Estructura del  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . En espejo desde el átomo de Itrio se ven dos planos de átomos negros (Cobre) y blancos (Oxígeno). Sobre estos planos tiene lugar la super-conductividad (Efecto Bidimensional); sin embargo, las interacciones de estos planos con los planos externos es importante por lo que estrictamente se habla de un efecto cuasibidimensional. El mecanismo por el cual ocurre la superconductividad es aún objeto de controversia. Figura tomada de la referencia [6].

Aunque el entendimiento microscópico de este diagrama de fases no es todavía completo, parece existir consenso respecto a las causas del antiferromagnetismo y de la transición metal-aislante. Tales efectos estarían relacionados con una fuerte correlación electrónica, cerca de la energía de Fermi: la banda híbrida semillena  $\text{Cu-}3d\text{-O-}2p$  se desdobla por efectos de correlación en dos bandas llenas (bandas  $d$  y  $p$ ) y una banda  $d$  desocupada, dando lugar al comportamiento aislante. Mediante dopaje  $p$  o  $n$ , por ejemplo, al reemplazar  $\text{La}^{3+}$  por  $\text{Sr}^{2+}$ , el compuesto se convierte en metálico y para un adecuado valor ( $x, T$ ), en superconductor. Vale la pena resaltar que el sistema de referencia puede también hacerse metálico y superconductor adicionando

electrones a la banda superior  $d$ , originalmente vacía. Tal efecto se observó por primera vez en el compuesto  $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$  (superconductor tipo  $n$ , con una  $T_c \sim 25$  K) [4].



**Figura 2.** Diagrama de fases ( $x,T$ ), para el sistema  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  (AF: Antiferromagnético. SG: Spinglas. S: Superconductor).  $x$  es una medida del dopaje tipo  $p$ . Este diagrama es cualitativamente válido para los otros compuestos superconductores de alta  $T_c$ . Figura tomada de la referencia [4].

Aunque en forma un tanto arbitraria, los superconductores de alta  $T_c$  conocidos hoy en día con  $T_c \geq 35$  K, han sido clasificados en tres clases:

A la primera clase pertenecen los compuestos del tipo  $(\text{La-Sr})_2\text{CuO}_4$  (214) caracterizados por un único plano  $\text{CuO}_2$  y  $T_c \geq 30$  K. Prototipo de la segunda clase es el compuesto  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  (123) descubierto por Chu y colaboradores (1987), con una  $T_c \sim 95$  K y dos planos de  $\text{CuO}_2$ . Representantes de la tercera clase son los compuestos de  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_n\text{Cu}_{1+n}\text{O}_{6+2n}$  ( $n = 0, 1, 2$ ), es decir, compuestos del tipo Bi2201, Bi2212 y Bi2223 con  $T_c \sim 20$  K, 85 K y 110 K respectivamente descubiertos por Maeda en 1988; los compuestos estructuralmente casi idénticos de  $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_n\text{Cu}_{1+n}\text{O}_{6+2n}$  ( $n = 0, 1, 2$ ) con  $T_c \sim 125$  K (Tl 2223) descubiertos por Hermann y colaboradores en 1988 y los compuestos de la

serie homóloga del Mercurio  $\text{HgBa}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+2+\delta}$  ( $n = 1-4$ ) descubiertos en 1993 por Schilling-Ott, con el récord de temperatura crítica  $T_c \sim 136$  K (1223).

Como se observa, incrementando el número de planos de cobre se incrementa la  $T_c$ . Este comportamiento, válido hasta  $n = 3$ , llevó a la conclusión: "más planos adyacentes de  $\text{CuO}_2$  producen mayor  $T_c$ ", pero la idea de fabricar compuestos superconductores con más planos de cobre resultó sorprendentemente difícil ya que las estructuras se tornaban inestables.

Sin embargo, el resultado de continuar la investigación alrededor de esta idea condujo a que en 1993 el francés M. Laguès y su equipo de investigación, usando el método de epitaxia molecular por secuencia impuesta de capas atómicas, lograra producir materiales en forma de películas delgadas con temperaturas críticas alrededor de 250 K. Las películas producidas por este método pertenecen a la familia denominada "fase infinita", cuya estructura cristalina es una alternancia de dos planos atómicos: un plano de óxido de Cobre ( $\text{CuO}_2$ ) responsable de la superconductividad y un plano agregado cuya función principal es imponer al plano de Cobre una estructura cristalina y una carga eléctrica susceptible de volverlo superconductor.

Naturalmente esta base es, mucho más simple que la de otros HTS como el YBCO cuya base contiene seis capas atómicas, o el  $\text{HgBaCaCuO}$  con una base compuesta por ocho planos atómicos [5]. Desafortunadamente, las muestras preparadas por el método de epitaxia molecular se degradan rápidamente tornándose semiconductoras y hasta la fecha no se tiene conocimiento de que se haya podido aislar la fase superconductora que permita identificar de forma inequívoca el compuesto superconductor. Nosotros mismos en el grupo de Películas Delgadas del Departamento de Física hemos tenido indicios de temperaturas críticas alrededor de los 200 K. Las muestras en forma de película delgada de  $\text{BiSrCaCuO}$  producidas por pulverización catódica (Sputtering) y depositadas sobre Si cristalino presentaron resistencia cero a una  $T \sim 200$  K, precedida por una transición al estado superconductor  $\sim 30$  K, la cual disminuyó hasta  $\sim 10$  K cuando el sustrato de Si se recubrió previamente con una fina capa de oro. Nuestra idea (trabajada en conjunto con R. Baquero del CINVESTAV de México) es que en la interfase la interacción de los electrones de un material con los fonones de otro, sería la responsable de las altas  $T_c$ . Consideramos sin embargo, que antes de echar las campanas al vuelo se debe trabajar más en el aislamiento y caracterización de dicha fase superconductora. La calidad de las interfases y de las superficies de la capa superconductora no están bien controladas y al igual que las muestras producidas por M. Laguès, nuestras películas se degeneran mostrando al poco tiempo un comportamiento semiconductor [6, 7].

### 3. Aspectos de las aplicaciones

La atmósfera en el mundo de la superconductividad ha cambiado bastante en el último tiempo, en virtud no sólo de la complejidad para producir los nuevos materiales superconductores sino por sus características técnicas que los hacen inferiores en todo caso a los superconductores convencionales.

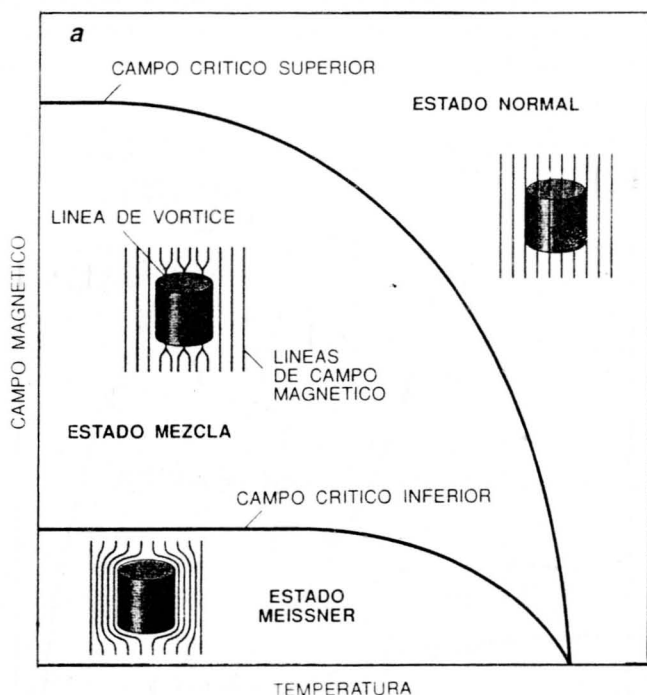
En especial, vale la pena mencionar dos dificultades inherentes a los nuevos superconductores cerámicos, que limitan en alto grado el flujo de corriente transportada y por ende sus aplicaciones: la existencia de uniones débiles entre granos (Weak-Links) y el movimiento de vórtices [8, 9].

Recordemos que los nuevos materiales superconductores son ante todo cerámicos, es decir, la fragilidad es una de sus características, lo que hace especialmente difícil su utilización en la fabricación de alambres y circuitos eléctricos. Adicionalmente, ellos son de naturaleza granular, lo que da lugar al fenómeno denominado de uniones débiles entre granos superconductores que dificulta el paso de corriente de un grano a otro por no estar éstos siempre acoplados de manera apropiada; es así como cualquier defecto de alineación, aún de unos pocos grados, inhibe el flujo de corriente sin resistencia reduciendo la cantidad de corriente transportada en dos o más órdenes de magnitud. Los esfuerzos por superar dichas dificultades han llevado a los investigadores en el campo a seguir diversos caminos que, si bien no solucionan del todo los problemas existentes, permiten bordearlos y abren perspectivas para la utilización de los nuevos materiales.

Los problemas debidos a la existencia de uniones débiles y movimiento de vórtices son bastante apreciables en las aplicaciones de las cerámicas superconductoras en bloque, es decir, en usos como alambres para motores, bobinas, líneas de transmisión, etc. sin embargo, estas dificultades son menos dramáticas en las aplicaciones de los nuevos materiales en forma de películas delgadas, utilizadas específicamente en el campo de la microelectrónica y en técnicas que utilizan microondas. Películas delgadas fabricadas con Itrio (YBCO), por ejemplo, pueden conducir corrientes entre  $10^6$  y  $10^7$  A/cm<sup>2</sup>; esto es posible porque en películas delgadas las uniones débiles no son un serio impedimento ya que los granos pueden alinearse con el sustrato sobre el que crece la película. Tales muestras epitaxiales son, además, pequeñas en comparación con el material en bloque de tal manera que existen relativamente pocas fronteras de grano que impidan el flujo de corriente. En general, se ha encontrado que las películas superconductoras con alto grado de textura y epitaxiales, reducen o anulan completamente la influencia de las uniones débiles, lo que permite un mejor aprovechamiento de la capacidad intrínseca de transporte de corriente de los granos superconductores [10].

Un reto aún más difícil de resolver proviene del movimiento de los vórtices producidos por la aplicación de un campo magnético suficientemente intenso:

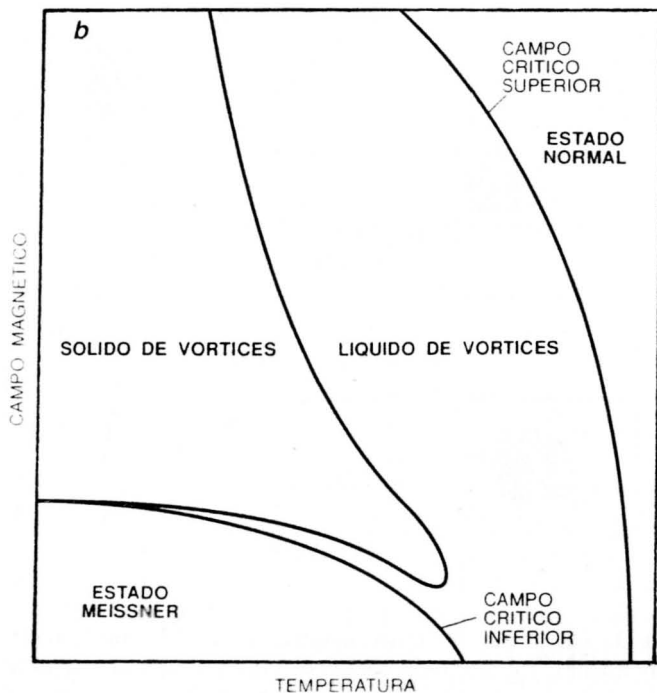
este movimiento es el causante de fenómenos de disipación y del comportamiento resistivo presente en los HTS. Veámoslo en más detalle: en los años cincuenta A. Abrikosov publicó la teoría básica del comportamiento de los superconductores convencionales de tipo II en un campo magnético [2]. La respuesta magnética de un superconductor de tipo II por debajo de  $T_c$  depende de la intensidad del campo magnético aplicado y de la temperatura. Tal relación es similar a la mostrada en el diagrama de fases magnético de la figura. 3, en donde se muestra que un superconductor convencional presenta tres estados magnéticos diferentes.



**Figura 3.** Diagrama de fases magnético de los superconductores convencionales. En el estado Meissner (ángulo inferior izquierdo), se expulsa el campo magnético. En el estado de vórtices (o mezcla), el campo penetra en forma de haces discretos de líneas de flujo. En el estado normal el campo destruye la superconductividad y penetra en el material uniformemente. Figura tomada de la referencia [9].

Un campo magnético suficientemente intenso puede penetrar el superconductor en forma de haces discretos de líneas de flujo magnético denominados vórtices. Ahora bien, los HTS desafortunadamente no se comportan según el modelo de

Abrikosov. Sometidos a campos magnéticos de unos 10 T, la resistencia de algunos de estos nuevos materiales sólo disminuyó hasta que su temperatura descendió al 20 o 30% de la  $T_c$ . En ciertos casos la resistencia en presencia de un campo magnético, en algunos materiales, se mantuvo 100 veces mayor que la del cobre. La razón parece ser que las líneas de vórtice se comportan de manera inusual y no siempre se organizan en una red triangular rígida. Se halló que la red de vórtices se "funde" como consecuencia de las fluctuaciones térmicas de las líneas de vórtice, creándose un estado adicional parecido al líquido: el líquido de vórtices. (el fenómeno es similar al de la fusión del hielo a causa de las vibraciones térmicas de las moléculas de agua), como se indica en la figura 4. Un estado tal, permite el movimiento de los vórtices por todo el material impidiendo el flujo de corriente.



**Figura 4.** Diagrama de fase magnético para los HTS. Las fases son similares a las presentes en superconductores convencionales, excepto por la existencia de un régimen de líquido de vórtices que se presenta por la fusión del sólido de vórtices, debido a las fluctuaciones térmicas. El sólido de vórtices es reticular en los superconductores limpios y vítreo en los sucios. Figura tomada de la referencia [9].



El comportamiento del estado líquido de vórtices continúa siendo hoy en día un interrogante; en lo que parece existir consenso es en que hay una variedad de razones por las cuales este nuevo estado de la materia debe obstaculizar el paso de corriente en los superconductores de alta temperatura. Recordemos que una línea de vórtice consiste en corrientes eléctricas que circulan alrededor de un núcleo normal. Cuando una corriente eléctrica adicional fluye por la muestra, se suma a la corriente que circula a un lado del vórtice y se resta de la corriente del lado opuesto, resultando una fuerza que tiende a mover el vórtice en una dirección simultáneamente perpendicular a la línea de vórtice y a la de la corriente aplicada. Si las líneas de vórtice se mueven en respuesta a esta fuerza, disiparán energía de la corriente, es decir, se induce un voltaje en la muestra y, por tanto, resistencia. En los superconductores convencionales de tipo II, caracterizados por una longitud de coherencia larga y una longitud de penetración corta, la fuerza que impide que las líneas de vórtice vibren con amplitud cada vez mayor (fuerza restauradora) es dominante y mantiene las líneas de vórtice rectas y cortas impidiendo que vibren con amplitud cada vez mayor al aumentar la temperatura, por efecto de las fluctuaciones térmicas. Los HTS por el contrario, tienen características prácticamente opuestas: la longitud de coherencia es corta y la de penetración es larga, es decir, una fuerza recuperadora pequeña, lo que conduce a que las líneas de vórtice sufran grandes fluctuaciones térmicas. En efecto, a temperaturas elevadas las líneas vibran tanto que la red de vórtices se funde presentándose el estado líquido de vórtices. Por desgracia, la temperatura de "fusión" en los óxidos de cobre está por debajo de la temperatura del nitrógeno líquido. Investigaciones de la resistencia en función de la temperatura, realizadas en muestras de YBCO sometidas a un campo magnético, indican que a altas temperaturas (en la fase de líquido de vórtices) la resistencia es alta y desaparece al bajar la temperatura, cuando el líquido de vórtices se congela y entra al estado reticular de vórtices en donde las líneas ya no tienen libertad de movimiento [8, 9, 13, 14].

Ahora bien, quienes trabajan con superconductores convencionales introducen en éstos defectos de manera controlada, pues cuanto más "sucio" sea un superconductor más corriente puede transportar. Tales impurezas "anclan" los vórtices e impiden que se muevan. En consecuencia, existe la posibilidad de introducir anclajes del flujo magnético (ya sea añadiendo impurezas atómicas o por bombardeo con iones energéticos), teniendo en cuenta que los mejores son aquellos que se ajustan al tamaño de la longitud de coherencia [11, 12]. Observaciones recientes han demostrado, además, la importancia del desorden, producido por el anclaje, en la modificación de la dinámica de la transición de fusión. El líquido de vórtices de un cristal desordenado se condensa en un estado de vidrio de vórtices, caracterizado por una distribución irregular y desordenada de vórtices, en vez de hacerlo en una red regular de vórtices; en consecuencia, la resistencia y las corrientes en el material disminuyen

regularmente hasta cero, a medida que la temperatura se va acercando a la temperatura de congelación del líquido. En cristales limpios, por el contrario, la transición de fase es brusca y presenta histéresis. Queda pendiente aún, naturalmente, el reto de traducir este nuevo conocimiento en aplicaciones prácticas, es decir, conocer cómo se mueven y organizan estos vórtices a distintas temperaturas y en campos magnéticos diversos para controlar de esta manera el fenómeno y mantener el flujo superconductor.

#### 4. Estado BCS ?

Se afirma con frecuencia que la teoría BCS (teoría microscópica de la superconductividad debida a J Bardeen, L Cooper y R Schrieffer) no estaría en capacidad de describir las altas temperaturas de transición de los HTS, en los cuales sin embargo se presenta un estado de pares coherente para  $T < T_c$ . Esta afirmación no es completamente cierta: en principio, la teoría BCS puede describir cada temperatura de transición siempre y cuando la escala de energía utilizada sea suficientemente grande (la teoría BCS puede describir incluso materia nuclear, en donde las temperaturas de transición son de un orden de magnitud mayor). Si hasta hoy no ha sido posible calcular correctamente las temperaturas de transición para los HTS, con esta teoría, la razón no radica en una falla de la teoría misma, sino más bien en el desconocimiento de los parámetros que caracterizan el estado normal del material. Estos parámetros hacen parte del integrando de la ecuación BCS y con ellos se determina el mecanismo de acoplamiento. La argumentación anterior no pretende, sin embargo, dar la impresión de que cada resultado obtenido con los HTS tendría su explicación en la teoría BCS aún teniendo en cuenta que ciertos experimentos relevantes, como los realizados con espectroscopía de fotoelectrones, la dispersión de Andreev, etc., han sido explicados satisfactoriamente con la teoría BCS. A este respecto vale la pena mencionar que dos preguntas claves permanecen aún sin respuesta luego de casi diez años de investigación en el campo: ¿cuál es el mecanismo de apareamiento y cuál la simetría del parámetro de orden? Las nuevas tendencias apuntan a que posiblemente una combinación de diversos mecanismos (electrón-fonón, excitones, polarones, plasmones, fluctuaciones de spin, etc.) podría llevar a la solución. Sin embargo todavía no se han ideado experimentos que permitan determinar los mecanismos de apareamiento o al menos no hay consenso con ninguno. En cuanto a la simetría del estado superconductor se ha progresado bastante más. Hasta hoy casi todos los teóricos están en uno de dos campos: un grupo es partidario de los mecanismos que generan estados de onda *s*; la mayoría de estas teorías, aunque no todas, tienden a ser modificaciones de la teoría BCS basada en la mediación de fonones; otros teóricos creen en mecanismos que generan estados de onda *d*, en donde la teoría dominante quizá sea el modelo de ondas de spin. A pesar de que la determinación de la

simetría no establece por sí misma el mecanismo, sin embargo su identificación sí permitirá a los físicos teóricos depurar sus modelos. Por ejemplo, si se demuestra inequívocamente que el estado superconductor no tiene la simetría de onda  $d$ , las ondas de spin quedarían descartadas como mecanismo de apareamiento [15, 16, 17].

Finalmente y a manera de conclusión quisiera solamente resaltar el hecho de que a pesar de las dificultades que presentan los nuevos materiales superconductores para su correcta comprensión y aplicación, la superconductividad de alta  $T_c$ , se ha convertido en este corto tiempo en un campo de trabajo e investigación del estado sólido y de la ciencia de materiales en el que se invierten a nivel mundial grandes recursos humanos y financieros [14]. Adicionalmente, se puede afirmar que el descubrimiento de los HTS le ha proporcionado al estado sólido un impulso enorme que va más allá de la superconductividad y le ha planteado a la comunidad científica internacional un problema no sólo fundamental, que ha permitido incluso mejorar el conocimiento que se tenía de los superconductores convencionales, sino también en extremo excitante por las futuras perspectivas de aplicación.

## Bibliografía

- [1] Orlando T P y Delin K A 1991 *Foundations of Applied Superconductivity* Addison-Wesley.
- [2] Timkham M 1980 *Introduction to Superconductivity* R E Krieger Publishing.
- [3] McDevitt J T, Jurbergs D C y Haupt S G June 1994 "Superconducting Composite Films As Chemical Sensors" *Chemtech* 24-30
- [4] Rietschel H 1990 "Hochtemperatur-Supraleitung Vier Jahre Nach Der Entdeckung" *Phys. Bl.* **46** 419-424
- [5] Laguës M 1994 "Películas Superconductoras" *Investigación y Ciencia* 70-77
- [6] Baquero R 1994 "¿ Superconductores a Temperatura Ambiente ?" *Ciencia y Desarrollo* **20** (116) 30-33
- [7] Mariño A y Baquero R 1995 *Very High  $T_c$  Superconductors: Is There Something Worth Analysing?* Comunicación Privada.
- [8] Huse D A, Matthew, Fisher P A 1992 "Are Superconductors Really Superconducting?" *Nature* **358** (6387) 553-559
- [9] Bishop D J, Gammel P L y Huse D A Abril 1993 "Resistencia de los Superconductores de Alta Temperatura Crítica" *Investigación y Ciencia* 18-25
- [10] Mariño A, Yasuda T, Holguin E and Rinderer L 1993 "Preparation And Electrical Properties of (Bi,Pb)-Sr-Ca-Cu-O Single Phase High  $T_c$  Films" *Physica C Superconductivity* **210** 16-20

- Rodríguez H. Sánchez H y Mariño A 1996 "Critical Current Versus Substrate Type In BscCo Single Phase High Tc Films" *Czechoslovak Journal of Physics* **46** 1703-1704
- [11] Sánchez A. Sánchez H y Mariño A 1996 "Electrical Properties of Si-Doped (BiPb)SrCaCuO Superconducting System" *Czechoslovak Journal of Physics* **46** 1487-1488
- [12] Holguín E 1993 *Fenomenología y Problemas Actuales de los Superconductores Calientes* Comunicación privada.
- [13] Levi B G February 1994 "There's Still Some Resistance to Reports of Extra-High Tc Superconductors" *Physics Today* 17-18
- [14] Yam P December 1993 "Trends In Superconductivity" *Investigación y ciencia*. 85-93
- [15] Giraldo.J 1995 "Algunos Problemas Conceptuales Y Metodologicos La Superconductividad De Alta Temperatura Critica" *Momento* No 9 64-78
- [16] Kitazawa K 1994 "Materials and properties" *Physica C* **235-240** 23-30
- [17] Kirtley J R y Tsuei C C Octubre 1996 "Superconductividad a Altas Temperaturas" *Investigación y Ciencia* No241 48-53