

Figura 1: Estructura cristalina del $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ en la cual los átomos de Sr reemplazan a los átomos de La.

SUPERCONDUCTORES CERAMICOS DE ALTA TEMPERATURA CRITICA

ANTONIO
Daniel A. Esparza

Centro Atómico Bariloche, Comisión Nacional de Energía Atómica
8400 S.C. de Bariloche. R.N.
Argentina

RESUMEN

El descubrimiento de materiales cerámicos superconductores a temperatura por encima de la ebullición de nitrógeno líquido ha producido una revolución científica que promete convertirse en tecnología a breve plazo.

En el presente artículo se hace una breve descripción de la superconductividad y su historia. Se introducen los nuevos superconductores y se hace un análisis de sus propiedades más notables, su química cristalina, sus ventajas y limitaciones actuales.

Se describen las posibles técnicas de fabricación y se enumeran las aplicaciones propuestas.

ABSTRACT

The discovery of superconducting ceramic materials at temperature above the boiling point of liquid nitrogen caused a scientific revolution that promises to turn into a technological one in the near future.

In the present paper superconductivity and its history are briefly described. The new kind of ceramic superconductors are introduced and their remarkable properties, crystal chemistry and present advantages and limitations are analyzed.

Possible fabrication techniques are described. Proposed applications are enumerated.

Superconductividad

La superconductividad es una propiedad que tienen algunos materiales (metales puros, aleaciones metálicas, cerámicos y compuestos) de alcanzar un estado de resistencia eléctrica nula por debajo de una cierta temperatura llamada temperatura crítica, que depende del tipo de material.

Esta característica es reversible y al aumentar la temperatura se experimenta el efecto opuesto y el material retorna al estado resistivo, común a todos los materiales a temperatura alta. Es por eso que al estado resistivo se lo denomina habitualmente "normal" y al de resistencia nula "superconductor".

El estado superconductor se caracteriza además por su peculiar respuesta magnética. Por ser la conductividad infinita cualquier campo magnético exterior que intente establecerse en el dominio del superconductor inducirá en el material corrientes de magnitud adecuada que se oponen (según la ley de Lenz) a las variaciones del campo magnético aplicado, evitando en todo caso la penetración del campo, o lo que es lo mismo, provocando una expulsión del mismo. Este efecto se denomina Meissner y fue observado por primera vez por K. W. Meissner y R. Ochsenfeld en 1933. La expulsión de campo puede imaginarse como la aparición de un campo magnético imagen en el interior del superconductor que se opone al aplicado y consecuentemente aparece una fuerza de repulsión. Por ejemplo si acercamos un imán con su polo norte hacia la superficie del superconductor el resultado es equivalente a la aparición de un imán imagen en el superconductor con su polo norte orientado hacia el norte del imán real. Si invertimos el imán real también se invierte el imán imagen y siempre la fuerza es de repulsión. Este efecto es enteramente diferente al caso de repulsión de dos imanes pues al invertir uno de ellos la fuerza se convierte en atractiva. Esta propiedad de expulsar campos magnéticos convierte al material en un diamagneto perfecto. El efecto Meissner sugiere asimismo una aplicación tecnológica: una pista construida con un material superconductor repelería al campo magnético generado a bordo de un vehículo, flotando así éste sobre un colchón magnético, y por ello se desplazaría prácticamente sin fricción.

Sin embargo, si el campo es suficientemente intenso el campo comenzará a penetrar parcial o totalmente destruyéndose la superconductividad cuando la penetración es total. Este campo magnético que destruye la superconductividad se denomina "campo magnético crítico" H_c . Depende de la temperatura a la que está sometida el superconductor y siempre crece al bajar la temperatura, por lo que los campos críticos son máximos a 0°K (cero absoluto -273,16°K). También el superconductor está caracterizado por una densidad de corriente crítica I_c con una dependencia con la temperatura similar a la del campo crítico. Esto significa que existe una densidad de corriente (amperes/cm²) por encima de la cual la superconductividad desaparece.

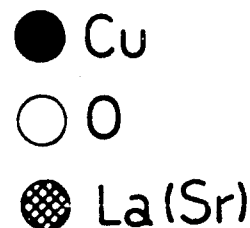
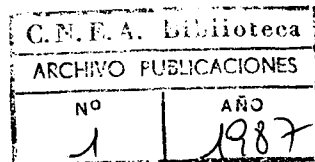
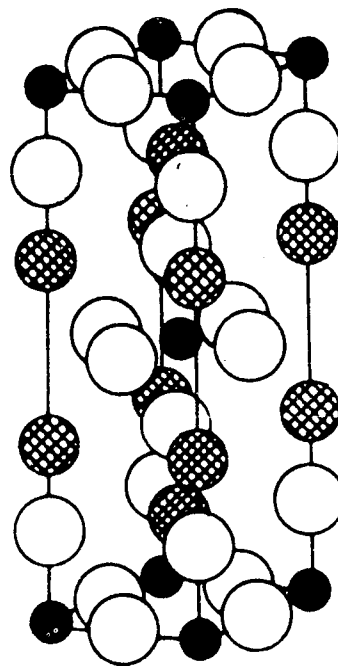


Figura 1: Estructura cristalina del $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ en la cual los átomos de Sr reemplazan a los átomos de La.

Un poco de historia

Desde el descubrimiento de la superconductividad en 1911 por Heike Kamerlingh Onnes y un ignoto colaborador en la Universidad de Leiden, Holanda, se la había considerado un fenómeno de temperaturas bajas. Fue la consecuencia de un hecho tecnológico trascendente: la licuación del helio. Este se condensa a la presión atmosférica, a la temperatura de 4,2°K, es decir -269°K. H. Kamerlingh Onnes usó el nuevo refrigerante para estudiar la resistividad de varios metales a temperaturas muy bajas. La resistencia eléctrica de los metales decrece normalmente con la temperatura y se había postulado que un metal de estructura cristalina perfecta debería perder su resistencia eléctrica al llegar al cero absoluto (-273,16°K). Sin embargo Kamerlingh Onnes descubrió que un hilo de mercurio perdía su resistencia a 4,2°K. Si bien es una temperatura muy baja, dista apreciablemente del cero absoluto. Un tiempo después los investigadores de Leiden descubrieron superconductividad en el plomo a 7,2°K y en el estaño a 3,7°K.

A medida que se descubrían nuevos superconductores la temperatura crítica crecía a razón de 0,3°K por año. Se han encontrado algunos superconductores con temperaturas críticas relativamente elevadas en sistemas metálicos aleados como el niobio-estaño (18°K) y en el año 1973 se descubrió el Nb_3Ge con una temperatura crítica de 23,2°K. A partir de allí se mantuvo ese récord durante 13 años llegándose a pensar en el mundo científico que se había llegado a un máximo imposible de superar. Incluso Williams McMillan de los laboratorios Bell formuló una teoría explicando por qué no cabría esperar sustancias con temperaturas críticas superiores a la del Niobio-Germanio.

Hasta que en 1986 Bednorz y Müller (1) descubren superconductividad en el sistema cerámico La-Ba-Cu-O a 25°K. El resultado pasó desapercibido durante algunos meses, tal vez debido al escepticismo reinante en la comunidad científica en lo que alguien definió correctamente como el límite psicológico de los 23°K, insuperable durante tantos años. Sin embargo la reacción no se hizo esperar demasiado y un grupo de la Universidad de Tokio liderado por S. Tanaka (2) reprodujo los resultados de Bednorz y Müller y aisló la monofase superconductor que resultó ser $\text{Ba}_x\text{La}_{2-x}\text{CuO}_4$ con una estructura del tipo de K_2NiF_4 . Desde entonces varios laboratorios del mundo comenzaron a trabajar febrilmente en este tipo de cerámicos incluyendo, a partir de febrero de 1987, a varios grupos del Centro Atómico Bariloche.

En la actualidad prácticamente todos los grandes centros de investigación están estudiando estos materiales, incluyendo a varios de nuestro país.

Oxidos superconductores

Desde hace tiempo se conocen algunos óxidos cerámicos que exhiben superconductividad. El titanato de estroncio TiSrO_3 a muy bajas temperaturas pierde su resistencia eléctrica. Más recientemente fue estudiado con detenimiento el sistema de óxidos $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$ y también el LiTiO_3 , pero la temperatura crítica no ha superado los 15°K por debajo de la temperatura crítica de ciertas aleaciones metálicas como el Nb_3Ge ($T_c=23,79\text{K}$), conocidas con anterioridad.

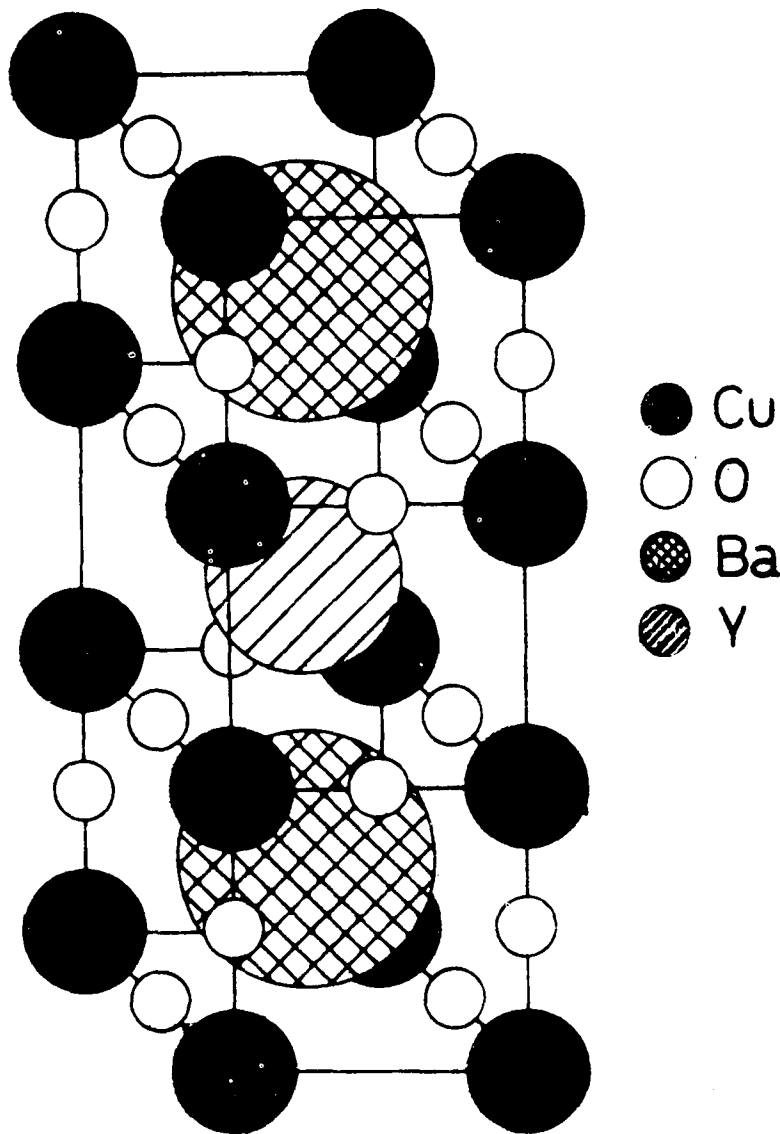
El descubrimiento de superconductividad en los sistemas tierra rara-metal alcalino térreo-cobre-oxígeno ha ampliado el rango de temperaturas críticas de transición normal-superconductor hasta los 100°K con perspectiva de incrementarse aún más.

El primer compuesto de esta serie fue el La-Ba-Cu-O con temperaturas críticas del orden de los 25°K ya por encima de las mejores aleaciones metálicas.

Reemplazando el Ba por el Sr la temperatura crítica se eleva a los 40°K, a su vez reemplazando el La por el Y se consiguen temperaturas alrededor de los 90°K.

SUPERCONDUCTORES CERAMICOS

Figura 1: Estructura cristalina del $Y_1 Ba_2 Cu_3 O_7$ propuesta por Beno et al. ref. 4.



Existen al menos dos clases de compuestos con referencia a la proporción entre la tierra rara y el alcalino térreo. Uno de ellos consiste en dos átomos de tierra rara respecto a uno de cobre con pequeñas adiciones de alcalino térreos para estabilizar una estructura cristalina de tipo tetragonal y al mismo tiempo provocar un apartamiento de la estequiometría.

La estructura es similar a la del compuesto $K_2 Ni F_4$. Los átomos de cobre forman octaedros con 6 átomos de oxígeno y uno de los Cu ocupa el centro del tetragono mientras que los La ocupan los centros del tercio superior e inferior de la estructura.

Pudiendo asimilarse esta disposición a dos cubos de estructura perovskita separados por una capa intermedia de estructura diferente. En la figura 1 se muestra un esquema de tal estructura con la distribución de los átomos que la constituyen.

El otro tipo de compuestos se caracteriza por poseer un átomo de tierra rara más dos átomos de alcalino térreo, más tres átomos de cobre combinados con oxígeno. La cantidad de oxígeno es variable dependiendo del tratamiento térmico y de la presión parcial de O en la atmósfera. De los 6,5 átomos de O correspondiente a las proporciones estequiométricas, el tratamiento en una atmósfera oxidante puede aumentar a 7, los átomos de oxígeno.

La estructura cristalina, ligeramente ortorrómbica, se muestra en la figura 2 para el $Y_1 Ba_2 Cu_3 O_7$. Los parámetros de red de esta estructura cristalina son de acuerdo con la ref. 4: $a=3,82\text{Å}$, $b=3,89\text{Å}$ y $c=11,68\text{Å}$.

Se ha comprobado, además, que la cantidad de oxígeno es fuertemente dependiente de la atmósfera y del tratamiento térmico pudiéndose variar en forma reversible con este tratamiento. Asimismo en este tipo de compuestos se ha demostrado que la conductividad eléctrica y la forma de la transición normal-superconductor depende del tratamiento de oxidación o reducción al punto de que preparando el compuesto en condiciones no oxidantes el material no es superconductor. En la figura 3 se presentan tres curvas de resistividad correspondientes al mismo compuesto $La_{1,8} Sr_{,2} Cu O_4$ con diferentes grados de oxidación (3). La identificada LSC 1 fue preparada en aire a 1130°C . Las otras dos, LSC2 y LSC3, fueron además recocidas a 1000°C en oxígeno por 6 y 12 horas respectivamente. Se observa que a medida que el tratamiento es más oxidante la resistividad en el estado normal disminuye y la transición normal-superconductor se hace más angosta, aunque la temperatura del comienzo de la transición prácticamente no se altera. En la figura 4 se presenta una curva de resistividad vs. temperatura del material $Y_1 Ba_2 Cu_3 O_7$.

La importancia del Cu en ambos tipos de compuestos y los planos y cadenas que éste forma con los O parecen ser puntos claves para el entendimiento del mecanismo que da origen a este tipo de superconductividad, reforzado por el hecho que aún no se ha encontrado un sustituto del Cu que produzca efectos similares. Debe tenerse presente que la característica común a ambos tipos de compuestos lo constituye la presencia de planos completos de Cu O y cadenas Cu-O. Hay evidencias de que la conducción tipo metálica en el estado normal y la conducción superconductor se produce en estos complejos Cu-O basándose en el hecho que los otros iones intervinientes Y, Ba, Sr, La, etc. están en su estado único de valencia estable y en configuración electrónica de gas inerte.

Hasta el presente se conocen solamente estos dos sistemas que poseen estos planos y cadenas de Cu-O y tal vez no sean únicos. Es interesante observar que la superconductividad del compuesto $La_{2-x} Ba_x Cu O_4$ fue descubierta por casualidad habiéndose aislado de una composición multifásica de La Ba Cu O y que las composiciones La Sr Cu O y Y Ba Cu O fueron consecuencia de reemplazos lógicos por cationes vecinos equivalentes, al igual que los reemplazos posteriores del Y por lantánidos trivalentes puros como el Sm, Gd, Eu, etc.

Haciendo un análisis comparativo de ambas estructuras cristalinas básicas, puede inferirse que un nuevo compuesto superconductor debería reunir al menos las siguientes dos condiciones:

- Poser una estructura cristalina con planos y/o cadenas cobre-oxígeno.
- Poseer sitios vacantes en la red para incorporar oxígenos adicionales o permitir reemplazos de algún catión por otro de menor valencia que permitan una oxidación localizada en los complejos Cu-O.

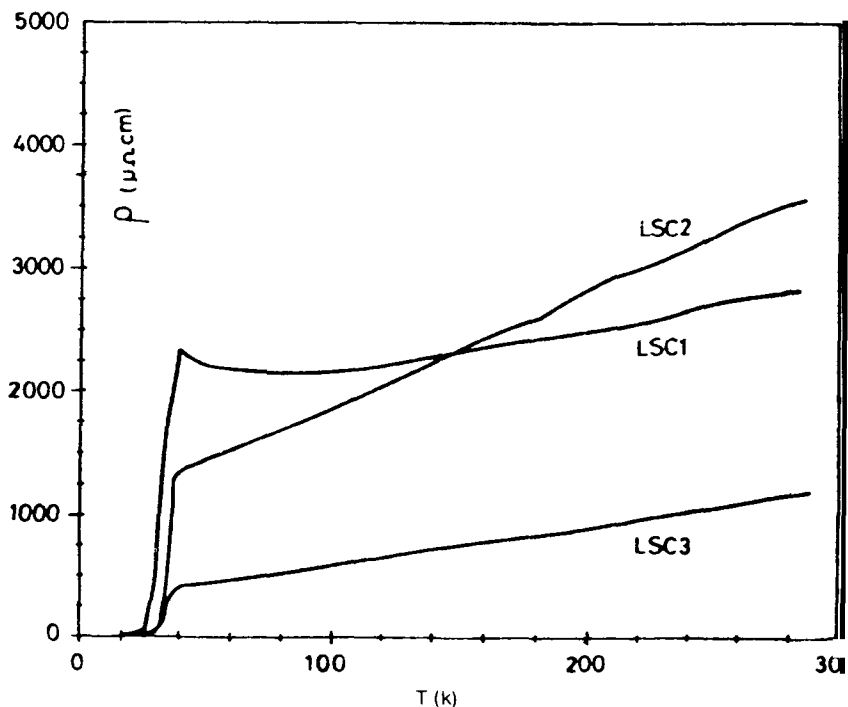
Los otros cationes parecen estar más relacionados con la formación de la estructura cristalina y con el control del defecto o exceso de O por lo que permiten un mayor grado de libertad.

El estado de oxidación de los elementos también es importante para las propiedades eléctricas. En la composición $Y Ba_2 Cu_3 O_7$, por ejemplo, tanto el Y como el Ba, tienen valencias fijas mientras que el Cu está principalmente como bivalente aunque podría existir una parte mono o trivalente dependiendo del grado de oxidación del tratamiento.

Ventajas y dificultades

Los nuevos materiales superconductores tienen un potencial tecnológico enorme debido a su posible empleo en aire líquido. Sin embargo la fragilidad inherente de los cerámicos plantea problemas para darle formas adecuadas para su empleo. Por otra parte la densidad corriente crítica I_c es aún baja y dista mucho de los valores típicos de los superconductores metálicos convencionales, aunque se está demostrando que al mejorarse los métodos de fabricación este parámetro podría ascender a valores razonables para aplicaciones de altas potencias. En cambio los campos críticos H_{c2} definidos como el campo magnético al que se rompe la superconductividad a una temperatura dada, son muy elevados y se presenta el inconveniente de que no existen campos magnéticos de laboratorio suficientemente fuertes como para poder medirlos a temperaturas bajas (recordemos que los campos críticos crecen al bajar la temperatura). Extrapolaciones muy groseras a temperaturas del cero absoluto ubican el valor de H_c en la fabulosa cifra de 350 T, es decir 3.500.000 de Gauss.

Figura 3: Dependencia de la resistividad con la temperatura para una muestra de $La_{1,8} Sr_{,2} Cu O_4$ con tres diferentes tratamientos en atmósfera oxidante (ref. 3).



Técnicas de fabricación

A este tipo de cerámicos son aplicables todos los procesos usuales en cerámica técnica. Para la preparación de piezas sinterizadas se emplean las operaciones de mezclado, presinterizado, molienda, conformado y sinterizado.

La temperatura de presinterizado y sinterizado de estos materiales es relativamente baja estando en un rango entre 900° y 1100° C. dependiendo del compuesto. Esto a pesar de la presencia de óxidos refractorios como el de Y y Ba, sin embargo la presencia de OCu forma compuestos de bajo punto de fusión con el Ba (y en menor medida con el Sr) que constituye una fase líquida que reacciona con el óxido de tierra rara bajando drásticamente la temperatura de sinterizado. El comportamiento cerámico del material depende, entonces, mucho de la composición elegida; por ejemplo el superconductor $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ se comporta en forma bastante similar a otras cerámicas electrónicas, en cambio el $YBa_2Cu_3O_7$ tiene el inconveniente que si la temperatura es muy baja no se alcanza a descomponer el Co_3Ba , usado como precursor del Ba, y si la temperatura es un poco más alta el BaO reacciona con el OCu formando calcinados casi licuados que dificultan la molienda posterior.

Estamos llevando a cabo en estos momentos un estudio sistemático de la sinterización de este último compuesto. Los presinterizados que se obtienen de estos materiales son bastantes duros y requieren un especial cuidado durante la molienda para evitar la contaminación, siendo necesario el uso de cuerpos molientes de alta dureza.

Otra dificultad inherente a estos materiales, pero no ausente en otras cerámicas electrónicas es el control de la atmósfera. Se requieren atmósferas muy oxidantes, preferentemente de oxígeno puro. Por el mismo motivo el enfriamiento debe hacerse lentamente para favorecer la reoxidación, exactamente el caso opuesto a las ferritas de $Mn-Zn$.

Sin embargo, por el uso particular que se pretende dar a estos materiales destinados principalmente a la conducción eléctrica es necesario apartarse del proceso mencionado anteriormente. Deben desarrollarse técnicas para la fabricación de hilos o cintas flexibles y además desarrollar un proceso para la deposición de láminas delgadas de cerámico superconductor para su uso en microcircuitos.

Para el primer caso ya varias compañías están fabricando hilos por diferentes métodos. Se han extendido procesos ya conocidos a los nuevos materiales. Usando la técnica empleada para la fabricación de fibras cerámicas para aislación térmica, IBM de U.S.A. ha preparado fibras superconductoras de pocos micrones de diámetro. Algunas empresas ya dedicadas a la fabricación de alambres superconductores convencionales han usado una técnica similar obteniendo alambres superconductores recubiertos con cobre de fracción de milímetro. Hasta el presente estos alambres y fibras adolecen del problema general de la baja densidad de corriente crítica.

Es notable, sin embargo, que en tan sólo unos meses se haya podido superar, al menos experimentalmente, el problema de la fragilidad intrínseca de los materiales cerámicos.

En lo que respecta al segundo caso se sabe que han sido empleadas con éxito las técnicas de serigrafía para la preparación de pistas superconductoras sobre diferentes sustratos. También se menciona que se ha aplicado la técnica de "sputtering" para la preparación de películas delgadas de estos materiales lo que constituye la base de la construcción de microcircuitos para la microelectrónica.

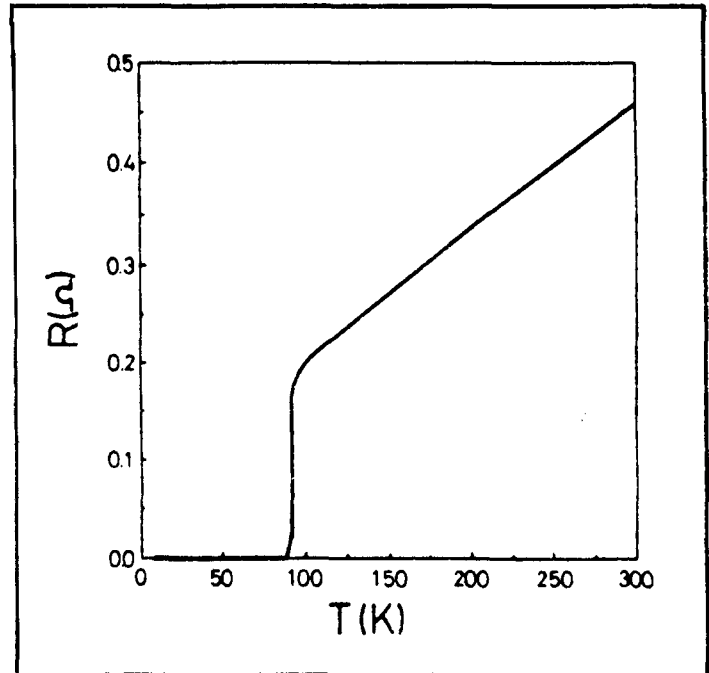
Por último no deben descartarse las técnicas cerámicas convencionales cuando es necesario la fabricación de piezas voluminosas, por ejemplo, para su empleo en repulsión de campo (levitación magnética) o como blindaje de campo magnético para generar regiones sin perturbaciones magnéticas exteriores.

APLICACIONES

La mayoría de las aplicaciones de estos nuevos materiales ya hablan sido propuestas o concretadas con los superconductores tradicionales. Sin embargo al reducirse drásticamente los costos de refrigeración muchas aplicaciones que eran hasta ahora casi utópicas pueden convertirse en realidad en corto plazo.

Entre las aplicaciones principales podemos distinguir equipos para la generación, transformación y transporte de altas potencias eléctricas, la generación de campos magnéticos intensos, etc. Aplicaciones en el dominio de las

Figura 4: Curva típica de resistividad vs. temperatura para una muestra de $YBa_2Cu_3O_7$.



bajas corrientes como ser en compuertas y memorias rápidas para supercomputadoras que no consumen potencia y que pueden hacerse más compactos y rápidos; en instrumental de medición, en blindajes magnéticos, etc. Un tercer campo se refiere al empleo de la propiedad de expulsión de campo que exhiben los superconductores al comportarse como diamagnetos ideales y que por consiguiente pueden repeler imanes, lo que conduce a su empleo como colchón magnético para eliminar el rozamiento. Se resumen a continuación las principales aplicaciones:

ALTAS CORRIENTES

- Líneas de transmisión
- Generadores
- Motores
- Transformadores
- Interruptores
- Imanes de alto campo

BAJAS CORRIENTES

- Compuertas y memorias
- Instrumentos

EXPULSION DE CAMPO

- Blindajes magnéticos
- Levitación magnética

Antes de afirmar la viabilidad de algunas de estas posibles aplicaciones es necesario hacer un análisis comparativo entre los métodos convencionales y los propuestos con la nueva tecnología superconductor. Es fundamental analizar los costos constructivos, los costos de los materiales, los costos de desarrollo cuando se impone cambiar la filosofía de diseño para su mejor adaptación y los costos de refrigeración y aislación térmica para el caso superconductor. Del balance global económico y del presente estado de la tecnología se podrá decidir la conveniencia de la implementación.

Referencias

- [1] J.G. Bednorz, K.A. Müller, Z. Phys. B, **64**, 189 (1986)
- [2] S. Uchida, H. Takagi, K. Kitazawa y S. Tamaka, Jap. J. Appl. Phys. Lett. en prensa.
- [3] Esparza, D'Ovidio, Guimpel, Osquiquil, Civale, De la Cruz, "Solid State Communications" en prensa.
- [4] Beno, Soderholm, Capone, Hinks, Jorgensen y Schuller, Appl. Phys. Lett. en prensa.

EDUARDO DERO S.R.L. IMPORTADORES
 O'HIGGINS 1785, 6° (1426) BUENOS AIRES
 Tel.: 784-9706 553-1167
COBALTO - SULFATO - CARBONATO
-OXIDO
OXIDOS DE COBRE Y CADMIO

FABRICACION DE LIMAS.
 ABRASIVAS PARA BRUÑIDO
 DE CILINDROS Y MATRICERIA
FEDERAL PANES - COPAS - RUEDAS ETC
POLVOS ESMERILES
Especialidades
Abrasivas sa.c.if.
 FABRICA Y VENTAS:
 INT. A. AVALOS 2651 - MUNRO (Alt. Av. MITRE al 2600) 762-4982

DERIZINC SRL.
 Fábrica: Perú 2165 (1870) AVELLANEDA Tel.: 208-4264
 208-4240/3409
OXIDO DE CINC
POLVO DE CINC SUBLIMADO
DESTILACION DE CINC
ANODOS DE CINC PARA GALVANOPLASTIA

MOLINOS A BOLAS
 En hierro y acero inoxidable
 Revestimientos de porcelana y granito
 Ollas de porcelana - Bolas de todo tipo
ESTABLECIMIENTOS FITEX
ELEMENTOS PARA MOLINERIA E INDUSTRIA
 PIEDRAS 333 - 1070 - CAP. FED. - TEL.: 34-8071/5

CLASIFICACION Y CALIDADES DE VAJILLA

C. Cermák, Z.A. Engelthaler y Sr. Novy para el programa conjunto UNIDO-Checoslovaquia para la cooperación internacional en el campo de la cerámica, materiales de construcción e industrias basadas en materiales no metálicos, Pilsen, Checoslovaquia.

RESUMEN

Este documento se refiere a la clasificación de servicio de mesa y pruebas de control de calidad. Presenta los más importantes tipos de servicio de mesa, sus características y ejemplos de composición de cuerpos de baja. Se mencionan controles de calidad y métodos de pruebas.

Introducción

El programa conjunto UNIDO Checoslovaquia para colaboración internacional en el campo de la cerámica, materiales para construcción de industrias basadas en minerales no metálicos, en Pilsen, informe requerido a UNIDO Viena por TIRDO de Tanzania, con una información sobre pruebas de calidad en los servicios de mesa. Se presenta la clasificación de los servicios de mesa y sus propiedades características como asimismo la inspección de las calidades a probar. Este documento puede ayudar a los fabricantes de los países en desarrollo en el tema de pruebas de vajilla bajo el enfoque del control de calidad.

I - CLASIFICACION DE VAJILLA

La vajilla cerámica puede ser fabricada en variedades extensas de las cuales las más importantes son:

1.— Servicios de mesa en loza

Es producida con un cuerpo opaco vitrificado. La liga contiene arcillas vitrificadas naturalmente tales como arcillas duras o plásticas. Se pueden agregar componentes no plásticos para controlar la contracción y regular el coeficiente de dilatación térmica del cuerpo crudo y flujo para reducir la temperatura de cocción y ahorrar energía durante la cochura. Los servicios de mesa de loza pueden ser fabricados con tecnología de cochura simple o cocción doble. La temperatura del bizcocho oscila entre 800 y 1000°C mientras que la temperatura del esmalte llega usualmente a 1250°C. Agregando fundentes la temperatura del esmaltado puede reducirse a 1180-1200°C.

Actualmente la loza se fabrica generalmente en escala comercial como algunos servicios de mesa y utensilios culinarios con bajo contenido de plomo, esmaltes brillantes o mate que son casi todos de color opaco o raramente translúcidos. Los servicios de mesa de loza muestran propiedades mecánicas altas, porosidad baja y una resistencia excelente contra el cuarteado.

La tabla I indica dos tipos de vajilla de loza con la posible composición de cuerpos y correspondientes temperaturas de cocción.

TABLA I
SERVICIO DE MESA - COMPOSICION DEL CUERPO
TEMPERATURAS DE COCCION CORRESPONDIENTES

Tipo	Contenido %			Fundentes como talco, feldespato y dolomita	Temperat. de cocción °C
	Arcillas duras	Silice	Feldespato		
Cuerpo I	40-50	45	5-15	—	1250-1280
Cuerpo II	60	15	—	25	1200

El aumento en el contenido de arcillas duras bien vitrificables, menor contenido de silice y mayor contenido de fundentes, (además del feldespato se indican otros fundentes), disminuye la temperatura de cocción de 1250-1280°C.

2.— Servicio de mesa de semi-loza

Esta se fabrica con cuerpos opacos, no vitreos, blancos o de color. Se pueden desarrollar cuerpos de distinta composición en los cuales además del caolín, arcilla plástica y silice, tradicionales los feldespatos sódicos o potásicos son los fundentes que prevalecen o cuerpos de arcillas silice.

Se pueden agregar fundentes no tradicionales como las fonolitas para reducir la temperatura de cocción.

Los servicios de mesa de semi-loza se fabrican siempre con tecnología de doble cocción. En caso de decorarse, hacen falta tres o más cocciones para

obtener el producto deseado. La temperatura del bizcocho puede oscilar entre 980-1280°C. La temperatura del esmalte 900-1120°C. Actualmente, los servicios de mesa de semi-loza se producen en distintos países en desarrollo y presentados como vajilla pero fabricados con la composición de la semi-loza. Habitualmente, para cubrir el color del cuerpo, se utilizan opacos. La vajilla fabricada con composición de semi-loza debe ser perfectamente balanceada para evitar el cuarteado o descascarado del esmalte debido a su cuerpo poroso. Este tipo de vajilla siempre muestra un alto peso usualmente arriba de 400 gramos promedio por pieza.

La tabla 2 indica composiciones de cuerpos de semi-loza con sus temperaturas de cocción. La vajilla I representa el llamado tipo duro mostrando una porosidad baja pero sus temperaturas de cocción son más elevadas. El cuerpo compuesto de silice-cal, tipo II, es de mayor porosidad. El tipo III es un compuesto aplicable en todos los casos en que se dispone de buenas arcillas plásticas y caolines de tal calidad que, una vez realizada la cochura, el color resultante es el blanco o claro.

TABLA 2

Composiciones de los cuerpos de vajilla de semi-loza y temperaturas de cocción

Tipo	Contenido %				Temp. del Bizcocho	Temp. del Esmalte
	Caolines y arcillas	Silice	Feldespato	Cal		
I	50-55	35-45	6-12	—	1280	1120
II	50-55	35-45	—	5-10	1080	980
III	75-85	15-20	0-5	—	1160	1020
						960
						1020

Nota del traductor: La palabra "earthenware" se traduce literalmente por "vajilla de barro", vajilla realizada en cerámica roja o sea con arcillas y tierras muy plásticas, en su composición. La palabra "stoneware" se traduce literalmente "vajilla de piedra", "loza piedra" o gres, o sea vajilla realizada en cerámica blanca pero con arcillas muy duras.

De allí la denominación en plaza de material de cerámica roja, loza y cerámica.

3 — Vajilla de porcelana china

Se produce con cuerpos totalmente vitrificados y de alta calidad. La liga está compuesta por una mezcla de caolines lavados, arcillas de cocción color blanca —las mejores— y cuarzo y fundentes de malla muy fina. Esta vajilla se fabrica generalmente con la tecnología de cocción simple pero también se usa la doble cocción. Si se fabrica bizcocho, su temperatura es de 1180-1250°C mientras que el esmaltado va a 1180-1280°C. La monococción es más racional para productos de alta calidad.

Actualmente la vajilla de porcelana china se fabrica en masa especialmente en el continente americano donde se presenta como un tipo común de vajilla de bajo precio y como vajilla hotelera de mayor espesor y menos frágil que la porcelana y por lo tanto con mayor resistencia a las roturas. Se aplican esmaltes semiopacos, opacos o transparentes en decoraciones sobre o bajo cubierta con variado colorido. La porcelana china tiene propiedades mecánicas muy altas; cuerpo opaco totalmente vitrificado y buena resistencia al cuarteo del esmalte.

La tabla 3 indica las composiciones del cuerpo de la vajilla china con sus correspondientes temperaturas de cocción.

Los cuerpos I y II son compuestos de arcillas naturales y caolines conteniendo silice. La diferencia en las temperaturas de cocción depende del tipo de fundentes y cantidades. El cuerpo III tiene componentes puros y por lo tanto la silice es agregada en forma de cuarzo.