

Superconductividad

Superconductivity

La super conductivite

Recepción: 10-05-2010
Evaluación: 25-06-2010
Aceptación: 14-07-2010
Artículo de Revisión

*Sully Segura Peña
**Luis Carlos Reyes

Resumen

La Superconductividad es uno de los temas más interesantes y prometedores de la ciencia moderna. Actualmente está abriendo las puertas a una verdadera revolución tecnológica y es fácil entender el por qué esta ciencia ha saltado rápidamente desde los laboratorios a medios de divulgación masivos: un cable superconductor no consume energía al transportar corriente eléctrica, no se calienta y en las condiciones adecuadas, una corriente superconductor se puede mantener en un anillo durante años sin ningún suministro de energía. Hechos que indudablemente marcarán el camino de un gran desarrollo científico y económico de las comunidades que entiendan y manipulen esta nueva tecnología. El propósito de este artículo es ilustrar con un lenguaje sencillo el concepto y los avances en este campo, a su vez se presentará una recopilación de materiales superconductores hasta el momento, clasificados según la clase, la temperatura crítica alcanzada y en algunos casos se indicará el año en que fueron descubiertos. La presentación del artículo iniciará describiendo en qué consiste el efecto desde el punto de vista físico; a través de un breve resumen histórico y terminará nombrando las aplicaciones más relevantes en este campo.

Palabras clave: Superconductividad, temperatura crítica, efecto Meissner.

Abstract

Abstract: Superconductivity is one of the most interesting and promising topics of the modern science. Today, it is opening the door to a true technological revolution and it is easy to see why this science has jumped quickly from the laboratory to the mass media: a superconducting wire does not consume any energy carrying electric current, it does not get heated and under appropriate conditions, a superconducting current can be kept in a ring for years without any power supply. These facts undoubtedly will mark the path of a great scientific and economic development of communities that understand and handle this new technology. The purpose of this article is to illustrate, in a simple language, the concept and progress in this field, and it will present a collection of superconducting materials up to date, classified according to the type, the critical temperature reached and, in some cases, it will indicate the year these materials were discovered. The presentation of the article begins by describing the effect from the physical point of view, through a brief historical overview and ends by naming the most important applications in this field.

Key words: Superconductivity, critical temperature, the Meissner effect.

Résumé

La Super conductivité est l'un des sujets les plus intéressants et prometteurs de la science moderne. Elle ouvre actuellement les portes à une vraie révolution technologique et est facile d'entendre pourquoi cette science a rapidement sauté des laboratoires aux moyens massifs de divulgation: un câble un super conducteur ne consomme pas d'énergie après avoir transporté un courant électrique, ne se chauffe pas et dans les conditions adéquates, un courant super conducteur peut s'obstiner à un anneau pendant des années sans aucune approvisionnement d'énergie. Sans doute, faits qui marqueront le chemin d'un grand développement scientifique et économique des communautés qu'entendent et manipulent cette nouvelle technologie. L'objet de cet article est d'illustrer avec un langage simple le concept et les progressions sur ce champ, à son tour on présentera un résumé de super conducteurs matériels jusqu'au moment, classés selon la classe, la température une critique à court d'argent et dans quelques cas il sera indiqué l'année dans laquelle ils ont été découverts. La présentation de l'article commencera en décrivant en quoi l'effet consiste du point de vue physique; à travers d'un bref résumé historique et finira par nommer les applications les plus éminentes sur ce champ.

Mots-clés: La supraconductivité, la température critique, l'effet Meissner

Introducción

La conducción de corriente eléctrica por medio de alambres de cobre y aluminio desde las plantas generadoras a los lugares donde ésta se consume (industrias, hogares, oficinas, alumbrado público, etc.), produce una pérdida de energía cercana al 15%, causada por resistencia eléctrica en los cables conductores, originando que parte de la energía eléctrica se transforme en calor (Eguíluz, Benito, Lavandero, 1996). La Ley de Ohm (Reit, Milford, Christy, 1967), indica que la resistencia eléctrica está

determinada por la relación entre la diferencia de potencial y la cantidad de carga desplazada. Visto a nivel microscópico, la resistencia eléctrica es generada por las colisiones entre las cargas eléctricas con las imperfecciones de la red cristalina o con iones del material, cuando la carga es desplazada por una diferencia de

* Candidata a magíster en Ciencias Físicas de la Universidad Nacional de Colombia. Coordinadora de Investigación Ciencias Básicas, Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja. Grupo de Nanotecnología y Nuevos Materiales. ssegura@ustatunja.edu.co

** Estudiante Noveno Semestre de Ingeniería Electrónica, Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja. Grupo de Nanotecnología y Nuevos Materiales. luis.reyes@santoto.ustatunja.edu.co



Fuente:
Archivo fotográfico
de Dietter Numpaque

potencial. Al aumentar las colisiones, el tránsito libre de carga se hace cada vez más difícil, se aumenta la resistencia eléctrica y, por tanto, se aumenta la temperatura del material.

Bajo este concepto, los materiales pueden clasificarse de la siguiente forma: metales, aislantes, semiconductores y superconductores. Los metales son buenos conductores, ya poseen electrones no muy ligados a sus núcleos, creando un gas de electrones fácilmente desplazado por diferencias de potenciales pequeños. El mejor conductor metálico conocido hasta el momento es el oro, pero su implementación en los productos electrónicos y eléctricos sería muy costosa; le sigue el cobre, este metal es el que se utiliza para la mayoría de las conexiones eléctricas, se estima que para un cubo de cobre de 1cm. de lado hay alrededor de 2.4×10^{24} electrones dispuestos para producir corriente eléctrica. El caso contrario a estos materiales conductores son los aislantes, sus electrones están sujetos fuertemente a cada uno de sus núcleos, dificultando de esta forma su desplazamiento y en los semiconductores los electrones necesitan de una energía apropiada para liberarse de sus núcleos. (Sear, Zemansky & Young. 1996).

En 1911, se descubrió la superconductividad, un estado en el cual la resistencia eléctrica

disminuye de forma repentina hasta llegar a cero, cuando el material se enfría a una temperatura apropiada conocida como temperatura de transición o crítica T_c . en el estado superconductor se produce transporte de carga eléctrica perfectamente sin ninguna clase de colisiones, campos magnéticos muy intensos, disminución de la permeabilidad y la conductividad térmica aumenta rápidamente. Los experimentos de rayos X han demostrado que al pasar de un estado normal a un estado superconductor la estructura cristalina no se altera, por lo cual se puede concluir que las propiedades elásticas y de expansión térmica no cambian. La existencia de estas propiedades universales implica que la superconductividad es una fase termodinámica y, por tanto, posee ciertas propiedades distintivas que son independientes de los detalles microscópicos. (Magaña 1997).

Los metales fueron los primeros materiales que se postularon para hacer pruebas de superconductividad, pero al pasar el tiempo se encontró que también podían ser superconductores los óxidos cerámicos, las aleaciones metálicas y algunos materiales orgánicos que más adelante se mencionarán. Actualmente, los superconductores han salido ya del ámbito de los laboratorios y se han introducido en cuatro grandes sectores comerciales como:

- Electrónica
- Instrumentación médica y científica
- Procesos industriales
- Energía eléctrica y transporte.

Y a pesar de los esfuerzos realizados por los investigadores para llevar los superconductores a todos los campos con precios más económicos, estos materiales se han postulado como los responsables de una nueva generación tecnológica (Llano; Solís. 2007).

Desarrollo Histórico

La superconductividad fue descubierta a principios del siglo XX, cuando la disponibilidad de sistemas criogénicos y de gases licuados permitió realizar mediciones de la resistencia eléctrica a temperaturas cada vez más bajas, próximas al 0K. Kamerlingh Onnes fue quien en 1908 logró licuar y conservar helio líquido, empleando este baño para alcanzar temperaturas de hasta 10K. Por aquellas fechas se quería averiguar qué ocurría con esta resistividad en las proximidades del cero absoluto. Eligió el mercurio, elemento que podía conseguirse con un alto grado de pureza. De este modo, enfriando el mercurio a muy baja temperatura con la ayuda del helio líquido, pudo observar un fenómeno nuevo y totalmente

inesperado: a una temperatura crítica T_c de 4,2 oK (ver Figura 1), el mercurio pasaba bruscamente a un estado donde repentinamente, no ofrecía resistividad alguna al paso de la corriente eléctrica. Kamerlingh Onnes había descubierto la superconductividad.

Poco después se observó que la misma transición al estado de superconductor se producía en otros metales, como el plomo y el niobio. En todos los casos la temperatura que se requería era sólo un poco mayor que la del cero absoluto que, en la práctica, únicamente podía conseguirse sumergiendo un trozo del material en helio líquido.

En 1933, W. Meissner y R. Ochsenfeld observaron un fenómeno adicional: la exclusión del flujo magnético externo cuando el superconductor era enfriado por debajo de su temperatura crítica T_c , se comportaba como un diamagnético perfecto, efecto conocido como Efecto Meissner - Ochsenfeld (Meissner, Ochsenfeld. 1933), típicamente este efecto se asocia a imágenes de "levitación", (ver Figura 2), el imán cilíndrico que se muestra en la figura se encuentra suspendido por fuerzas magnéticas. La pastilla cerámica que se encuentra en la parte inferior, está inmersa en nitrógeno líquido para mantenerla en el estado superconductor. Al acercar un imán a la cerámica superconductora se genera, magnéticamente, una imagen de él como si el superconductor fuera un espejo. De

esta manera, el imán es siempre repelido por el superconductor. La fuerza de repulsión es capaz de contrarrestar el peso del imán, produciendo la levitación.

Los hermanos Fritz y Heinz London desarrollaron en 1935 una teoría fenomenológica de la superconductividad, demostraron que el campo magnético decae en el interior del superconductor con una longitud característica conocida como longitud de penetración. Además, Fritz London sugirió que la superconductividad es una manifestación de la mecánica cuántica operando a escala microscópica (London.1935).

En la década de los 50 se hacen enormes progresos, especialmente en los laboratorios americanos como los de General Electric, Bell Telephone, Westinghouse, etc., dieron lugar a la aparición de superconductores que dejan de ser diamagnéticos perfectos, permitiendo la penetración de flujos magnéticos en aleaciones intermetálicas que poseen temperaturas críticas más altas y campos magnéticos más intensos que los superconductores metálicos.

El primer intento para explicar lo que ocurría con los superconductores, se debe a Frölich en 1950; él se basó en experimentos que pusieron de manifiesto la dependencia de la temperatura crítica con la masa de los iones del material, revelando un comportamiento muy particular de la capacidad calorífica de estos materiales para

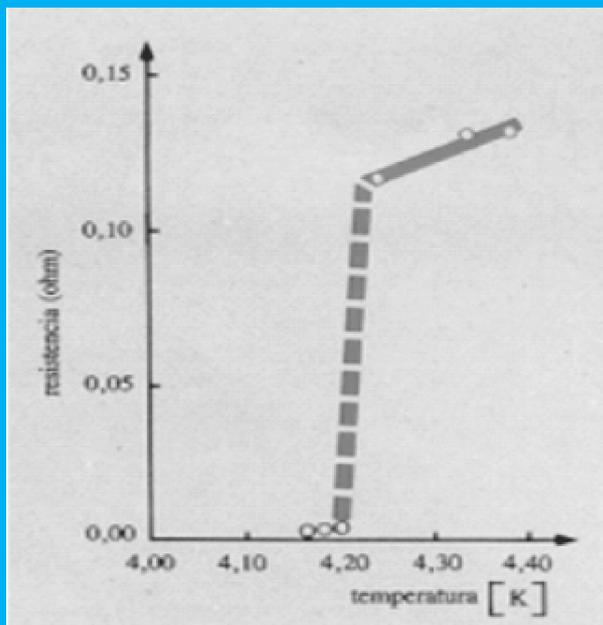


Figura.1. La gráfica representa una curva de resistencia, en ohms, de una muestra de mercurio, en función de la temperatura en Kelvin. Esta gráfica de Kamerlingh Onnes señaló que la resistencia desaparece a 4,2oK, el descubrimiento de la superconductividad en 1911. Fuente: Kittel, 1984.

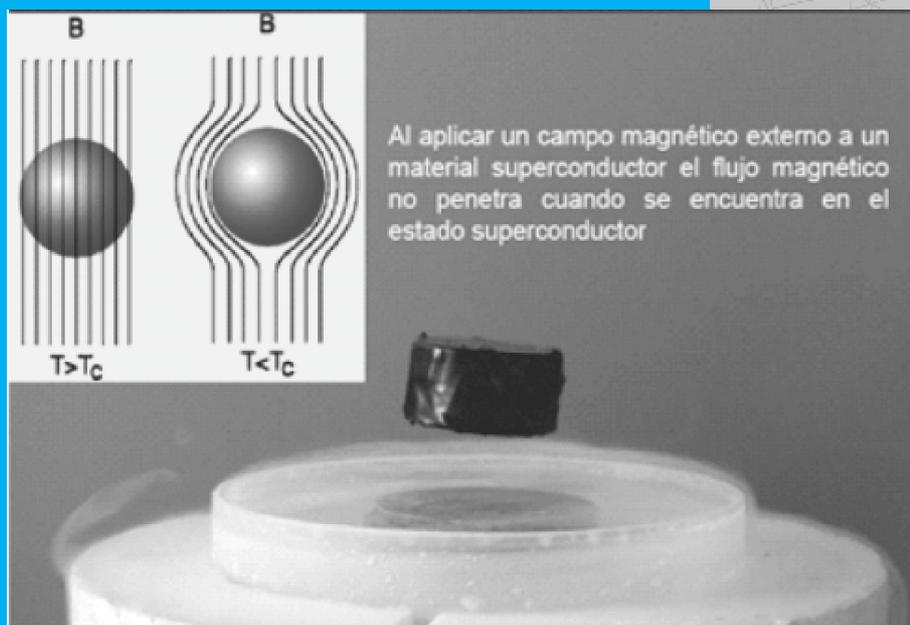


Figura 2. El cuadro amarillo muestra el efecto Meissner en un esfera superconductora enfriada en presencia de un campo magnético B constante; al llegar por debajo de la temperatura crítica las líneas del campo magnético B son expulsadas del interior de la esfera. En el cuadro azul se muestra el efecto de Meissner de un imán levitando sobre un superconductor. Fuente: Baquero, 2004.

temperaturas inferiores o iguales a la transición superconductor. (Poole, Farach & Creswick, 1995). Aunque la teoría básica del comportamiento de un superconductor respecto de un campo magnético externo fue descrita por el físico ruso Alexei A. Abrikosov en los años cincuenta, con base en los trabajos de Ginzburg y Landau, hizo falta esperar a 1957 para que J. Bardeen, L. Cooper y J. R. Schrieffer elaboraran una teoría conocida como BCS, por las iniciales de sus apellidos.

La teoría BCS logró explicar, a nivel microscópico, muchas de las propiedades observadas experimentalmente del fenómeno de la superconductividad, aplicando las leyes de la mecánica cuántica; con ello demostraron que la superconductividad es una manifestación macroscópica de propiedades cuánticas de la materia. Esta teoría sostiene que existe una fuerza de atracción entre electrones con aproximadamente la misma energía, y en las circunstancias correctas, esto conlleva que se desplacen por parejas. Esta fuerza de atracción debe ser mayor que la de repulsión natural de los electrones, y surge porque en la red de iones positivos, un electrón produce una pequeña distorsión al atraer dichos iones hacia sí, por lo que la red es más densa en su proximidad y es capaz de atraer a otro electrón que pase; usualmente a esta interacción electrón-fonón-electrón se le conoce como: Pares de Cooper. (Cooper, Baarden & Schrieffer 1957).

La elevación de las temperaturas críticas fue prosiguiendo a lo largo de los años, con un avance lento pero bastante regular. Hacia 1962, Josephson predijo la aparición de corrientes

eléctricas por efecto túnel entre dos superconductores separados. El efecto túnel se da a escala nanoscópica y explica cómo los electrones pueden atravesar barreras que la física clásica consideraba como infranqueables. Cuando dos superconductores están separados por una capa aislante muy delgada, los electrones pueden atravesar el aislamiento, aun cuando no haya ninguna fuerza electromotriz que los impulse. Si se aplica una tensión de excitación, se producen oscilaciones a una frecuencia que depende únicamente de la tensión y de dos constantes físicas bien conocidas, la constante de Planck y la carga de un electrón. Una consecuencia de esto es que, si se mide la frecuencia, puede calcularse la tensión aplicada. Posteriormente, esta teoría fue confirmada experimentalmente y los dispositivos que poseen esta particularidad, permiten la medida extremadamente precisa de campos magnéticos muy pequeños (Josephson, 1962).

En 1973, D.C. Johnston y sus colegas obtuvieron, mediante óxido de titanio y litio (Li-Ti-O), una temperatura crítica de 13,7°K. En 1975, la temperatura crítica más elevada fue de 23,3°K, con una aleación de niobio y germanio (NbGe) (Johnston 1973). En 1986, Alex Muller y George Bednorz (ganadores del Nobel de Física en 1987) detectaron superconductividad en una nueva cerámica, óxido de bario/lantano/cobre (LaBa)₂CuO₄ a una temperatura T_c superior a 35°K (Müller, Bednorz 1986), En 1987, descubrieron una cerámica de óxido de itrio, bario y cobre, conocida abreviadamente como YBaCuO o los HTSC, superconductores de óxido de cobre con alta temperatura crítica T_c a 93°K, que se refrigerarán con nitrógeno líquido, que es más barato que el helio líquido. (Chu; Gao; Chen; Huang; Meng; Xue; 1993).

En 1986, se descubrió que los fullerenos C₆₀; una nueva forma cristalina del carbono, con una temperatura crítica a 450K; aunque no compiten con los superconductores de alta temperatura, los fullerenos constituyen un sistema molecular mucho más simple, ésto puede ofrecer un mejor entendimiento del mecanismo superconductor (Robert, Smalley & Richard, 1991). El 6 de marzo del 2008 se encontró que el compuesto (Sn_{1.0}Pb_{0.5}In_{0.5}) Ba₄Tm₅Cu₇O₂₀ tiene propiedades superconductoras alrededor de 185.60K. Es el primer material con características superconductoras a temperatura ambiente. (Mick J. 2008.). En la figura 3, se muestran estructuras moleculares de los superconductores nombrados en este documento.

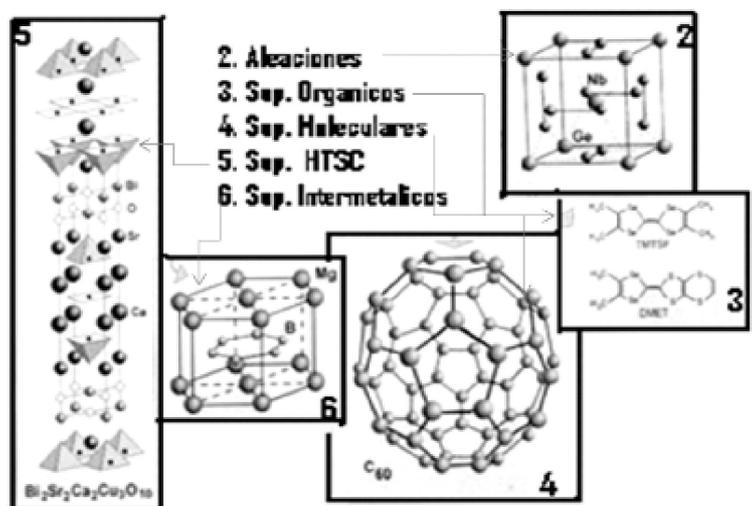


Figura 3. Estructura cristalina de diferentes clases de Superconductores.

Fuente: Buzea y Yamashita. 2001.

Clasificación de los Superconductores

Los superconductores se suelen clasificar atendiendo a distintos criterios:

El comportamiento de un superconductor en un campo magnético aplicado.

Bajo este criterio se ha dividido a los superconductores en dos grupos: tipo I y tipo II.

- Tipo I.** Presentan un valor de temperatura crítica T_c y de campo magnético crítico H_c demasiado bajos para cualquier aplicación práctica, aunque son perfectos conductores de electricidad por debajo de T_c . Algunos elementos metálicos representativos de este grupo son: plomo, estaño, mercurio y el aluminio. Un comportamiento habitual de un superconductor de tipo I es presentar el Efecto Meissner. En la Figura 4, en la parte superior izquierda se representa un superconductor tipo I sumergido en un campo magnético, las líneas de flujo H son repelidas (efecto Meissner). En la parte superior derecha se muestra una gráfica del Campo Magnético H en función de la temperatura crítica para un superconductor tipo I. La sección que lleva la letra S es la sección donde el material se comporta como superconductor y está limitada por la temperatura crítica del material, la sección que lleva la letra N es la sección donde el material está en su estado normal.

- Tipo II.** En la figura 4, en la parte inferior derecha se representan los superconductores de tipo II, estos son diamagnéticos, como los superconductores de tipo I, en un valor específico del campo magnético aplicado llamado: Campo Crítico Inferior H_{c1} (como se observa en la gráfica), el flujo magnético es rechazado por el material. Por encima de H_{c1} , el campo magnético penetra en forma de flujos cuantizados e individuales llamados: fluxoides, representados en la figura 4 en la parte inferior izquierda. El propósito de los fluxoides, en un estado superconductor, es disminuir la energía del sistema y aumentar la penetración de los campos magnéticos externos, de tal forma que se alcanza el campo crítico superior H_{c2} donde el material vuelve a su estado normal (ver Figura 4).

En el intervalo entre H_{c1} y H_{c2} , conviven electrones en estado superconductor y electrones en estado normal. Este estado es llamado Mixto y el superconductor puede conducir corriente eléctrica dentro del núcleo del

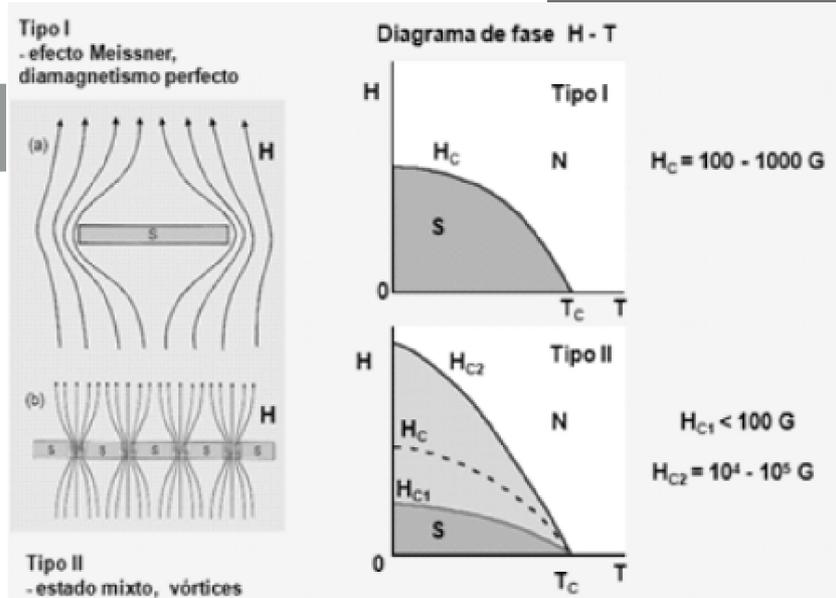


Figura 4. Representación de Superconductores Tipo I y Tipo II. Fuentes: Kittel, 1984, Magaña 1997

material, propiedad usada para superconductores de alto campo y alta corriente. Los compuestos más representativos de este grupo II son: el NiTi y Ni₃Sb.

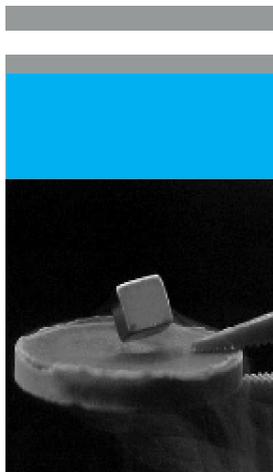
Por la teoría que los explica.

Existen los Superconductores convencionales descritos por la teoría BCS y los no convencionales que suelen emplear las teorías fenomenológicas. En la mayoría de los casos, los superconductores de tipo I son a su vez convencionales, pero hay algunas excepciones, como por ejemplo el niobio o el diboruro de magnesio, que son a la vez convencionales y de tipo II.

Por su temperatura crítica.

Se dice que un superconductor posee baja temperatura crítica, si está por debajo de los 77°K y es de alta temperatura crítica, si está por encima de los 77 °K. La razón por la que se suele tomar dicha temperatura reside en que el material se puede enfriar con nitrógeno, neón o hidrógeno líquido que son métodos criogénicos más baratos que helio líquido.

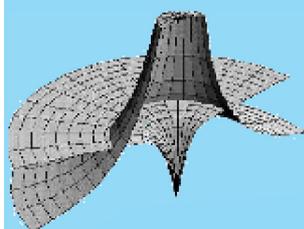
A continuación se presentan tres tablas, las cuales poseen tres columnas que contienen la siguiente información: nombre o símbolo químico del superconductor, la segunda columna contiene la temperatura crítica y la tercera el año en que se reportó la superconductividad de ese material.



Fuente: <http://cache.gizmodo.es/wp-content/uploads/2010/07/superconduc.jpg>

La tabla No. 1 contiene la información de superconductores convencionales de elementos puros.

La tabla No. 2 contiene la información de algunos materiales conocidos como tierras raras y aleaciones.



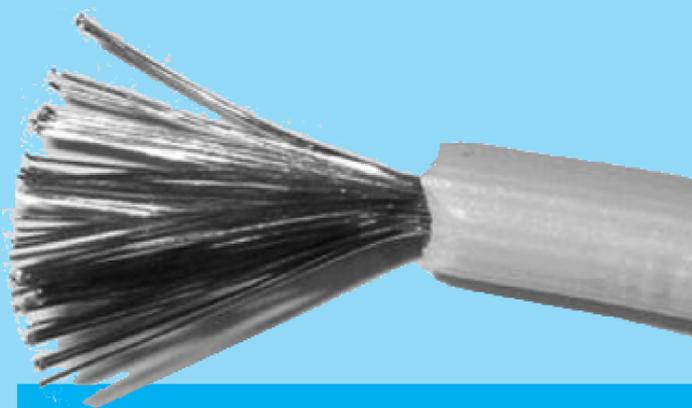
Fuente: http://www.fisicanet.com.ar/tecnicos/tecnologia/te01/superconductividad_02.jpg

Nombre	Temperatura °K	Año
Molibdeno Mb	0.92	1913
Aluminio Al	1.19	1913
Indio In	3.4	1913
Estroncio Sr	3.7-5.3	1913
Helio He	4.2	1908
Mercurio Mg	4.2	1911
Talio Ta	4.4	1913
Plomo Pb	7.2	1913
Vanadio V	5.3	1914
Niobio Nb Metal puro	9.2	1914
Niobio nitrado Nb	16	1941
Nitrógeno líquido Ni	77	1986

Nombre	Temperatura °K	Año
Titanato de estroncio SrTiO	0.3-0.8	1960
Ti ₂ Co	3.44	
NbTi Cable	10	
La ₃ In	10.4	
Óxido de bario, plomo y bismuto BaPbBiO	13	1975
Óxido de titanio y litio LiTiO	13.7	1973
Niobio Germanio Nb ₃ Ge	23.3	1973
Nb ₃ Sn Cable	18.07	
Platino antimonio PtSb	21	--
V ₃ Ga	16.5	
NbN	16.02	
V ₃ Si	17.1	
Nb ₃ Al	17.5	
V ₃ Si	17.5	1953
Óxido de bario, lantano y cobre YBCO	33	1986
Diboruro de magnesio MgB ₂	40	2001

Tabla N°3. Superconductores de alta Temperatura.

Nombre	Temperatura °K	Año
La _{1,85} Ba _{0,15} CuO ₄	35	1986
Rutenato de estroncio Sr ₂ RuO ₄	90	
Grafano p-dopado	90	
YBa ₂ Cu ₃ O _{6,9}	92	1987
YBaCuO	95	
Bi ₂ Sr ₂ CaCu ₂ Cu ₃ O _{8+d}	110	1988
Tl ₂ Ba ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₁₀	125	1988
HgBa ₂ Ca ₂ Cu ₃ O _{8+d}	133,5	1993
TiSrBaCuO	125	1988
BiCaSrCu ₂ O ₉	110	1987
(Tl ₄ Ba)Ba ₂ Ca ₂ Cu ₇ O ₁₃	254	
(Sn ₅ In)Ba ₄ Ca ₂ Cu ₁₁ O _y	218	2008



Fuente: <http://ko2.kn3.net/3C7F3B757.jpg>

Aplicaciones

La tecnología superconductor puede dividirse en dos sectores: aplicación a gran escala y aplicaciones electrónicas a pequeña escala. La mayoría de las aplicaciones a gran escala involucra la producción de campos magnéticos intensos. La posibilidad de hacer circular corrientes altas a través de un material posibilita la elaboración de bobinas superconductoras que producen altos campos magnéticos, para cuya aplicación se requieren superconductores tipo II, cuyos campos magnéticos críticos son muy intensos y otra razón de utilizar este tipo es porque utilizan métodos de refrigeración económicos.

Pero el carácter cerámico de superconductores tipo II, ha hecho difícil la elaboración de los cables, ya que para poder elaborarlos se necesita dopar los materiales con un 70 % de plata, elevando los costos; sin embargo, éstos han sido utilizados en varios campos como en la medicina, en scanner de resonancia magnética (siglas en inglés, MRI) utilizados para tomar imágenes del cuerpo por medio de magnetos superconductores, los cuales pueden reforzar significativamente la sensibilidad del aparato y con ello observar en detalle el interior del cuerpo del paciente, ahorrándose la peligrosa radiación de rayos X o rayos gama (ver Figura 5), (Tyszka, Fraser & Jacobs, 2005).

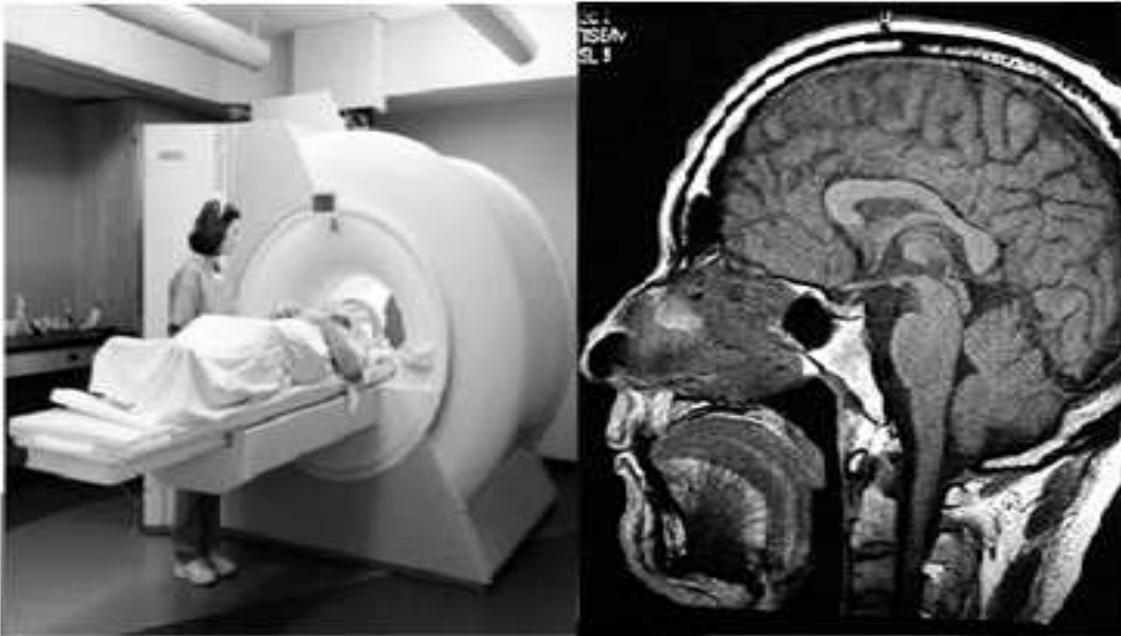


Figura 5. Imagen de un equipo de resonancia magnética nuclear y escáner MRI, Fuente: Tyszka, Fraser, Jacobs, (2005)

Otra de las aplicaciones a gran escala, es el desarrollo de trenes de levitación magnética (MAGLEV) (ver Figura 6). Al inicio de 2004 se realizó el primer viaje de tren de levitación magnética con una velocidad máxima de 450 kilómetros por hora. El tren de levitación magnética, o maglev, es un tren suspendido en el aire por encima de una vía, entre 10mm y 15 cm, siendo propulsado hacia adelante por medio de las fuerzas magnéticas. La ausencia de contacto físico entre el carril y el tren hace que la única fricción sea la del aire, por lo que se pueden conseguir altas velocidades con un consumo de energía razonable, el 40% del consumo normal para un vehículo. La línea que une Shanghái con su aeropuerto tarda 7 minutos y 20 segundos en recorrer los 30 kilómetros a una velocidad máxima de 431 km/h y una media de 250 km/h.(ver Figura 6) (Camarero, 2006).

Las aplicaciones a pequeña escala se han implementado en los aparatos electrónicos. Tal es el caso de las "Uniones Josephson". En ella dos alambres superconductores están unidos por una capa muy fina de material aislante, como es el caso de la alúmina (Al_2O_3). La capa aislante tiene sólo un grosor de unos pocos átomos, y a través de ella pueden pasar pequeños flujos de corriente. Pero si la corriente excede un valor crítico, la unión se cambia a un nivel de alta resistencia y se interrumpe. De esta forma, una unión Josephson puede actuar como un interruptor eléctrico. Lo interesante es que es muy rápido y

se demora unos pocos segundos en cambiar (10-12 segundos). Estos interruptores pueden ser usados en lugar de transistores, lo que permite construir supercomputadoras que pueden ser 20 veces más rápidas que las computadoras que se conocen hoy día.

La unión Josephson tiene también otra aplicación electrónica: "El Aparato Superconductor de Interferencias" (siglas en inglés, SQUID), se usa como un instrumento extraordinariamente sensible para medir campos magnéticos (hasta 100 mil millones de

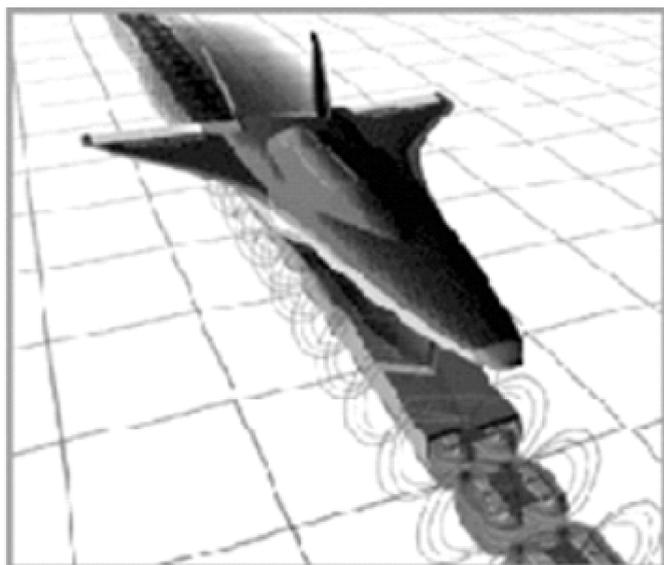


Figura 6. Tren MEGELEV. El principio de levitación magnética se utilizará como catapulta para que las lanzaderas espaciales venzan la atracción gravitatoria terrestre. Fuente: (Camarero, 2006).



veces más débiles que el campo geomagnético de la Tierra), lo que ha dado lugar a varias aplicaciones prácticas, por ejemplo: los geólogos usan el SQUID en la búsqueda de minerales, los químicos lo usan para monitorear la corrosión, mientras los biofísicos miden los campos magnéticos que se generan en el cuerpo humano, con lo que consiguen imágenes de actividad del cerebro y el corazón (Tinkahm, 1996).

Aplicaciones futuras incluyen transformadores de alto rendimiento, dispositivos de almacenamiento de energía, la transmisión de energía eléctrica, motores eléctricos y dispositivos de levitación magnética. Están apareciendo nuevos mercados donde la relativa eficiencia, el tamaño y el peso de los dispositivos basados en los superconductores de alta temperatura son superiores a los gastos adicionales que ellos suponen.

Fuente: <http://www.izasa.es/wsite/images/productos/p/lead3.jpg>

Conclusiones

Desde el principio, la superconductividad ha sido un fenómeno con grandes posibilidades; sin embargo, a pesar de haberse logrado grandes avances en el entendimiento de las propiedades características de estos nuevos materiales, hoy en día no existe una teoría que logre explicar el mecanismo que produce y confiere las propiedades del estado superconductor. Esta indefinición permite aún soñar con la posibilidad de que se puedan tener aplicaciones de un material superconductor a temperatura ambiente, ya que no existe en este momento un límite teórico que impida que esta nueva superconductividad se desarrolle a temperaturas aún mayores que la temperatura ambiente, y los industriales esperan que los costos bajen más adelante y se llegue a una producción masiva.

Muchas de las investigaciones hoy día se centran en entender las propiedades de los materiales superconductores ya conocidos, y se opta por mejorar los sistemas de refrigeración empleados para enfriarlos. Los precios actuales de los superconductores es alrededor de dos a tres veces superior con relación a un cable de cobre del mismo poder; se estima que los cables superconductores pueden ser una alternativa económica, especialmente cuando los cables convencionales no tienen la capacidad de satisfacer la demanda por corriente; un cable superconductor puede llevar por lo menos tres veces más poder que el cable de cobre. Se espera que en un futuro cercano se pueda disfrutar y aprovechar las bondades de la superconductividad; llevando electricidad a todos los rincones a bajo costo y con un más óptimo rendimiento.

Referencias

- EGUÍLUZ, L.I; Benito, P.; lavandero J.C. "Propuesta de una nueva normativa para la penalización del consumo de energía reactiva". III Congreso Nacional de Energía. La Serena. 1996.
- REIT R.J; Milford. F.J; Christy R.W. Fundamentos de la teoría electromagnética. Cap. 7, pp.167-172. Addison-Wesley Iberoamericana. Massachusetts. 1967.
- SEAR. F.W; Zemansky M.W & Young E.A. Física Universitaria. Cap1. pp. 676. Addison-Wesley Longman. México. 1996.
- LLANO. M.; Solís. A.M. Superconductores de Altas Temperaturas. Algunas Aplicaciones. Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, n.d.088. p.p. 46-48. Distrito Federal. México. 2007.
- KITTEL. C, Introduction to solid state physics. cap 12. pp.416. Reverte. Barcelona.
- MEISSNER. W. & Ochsenfeld. Meissner and Ochsenfeld Effect. 21, 667. Naturwiss. 1933.
- BAQUERO R.P. Historia de la superconductividad, sucesos imprescindibles en el desarrollo tecnológico. <http://www.fis.cinvestav.mx/~rbaquero/histscrocio.pdf>.
- LONDON H. The electromagnetic equations of the supraconductor. Proceedings of the Royal Society. Clarendon Laboratory of London, p.p 1- 71. Oxford. 1935.
- POOLE C. P. Farach, H. A. & Cheswick R. J. Superconductivity. Academic Press. San Diego, 1995.
- COOPER L.N. Baarden. J & Schrieffer J.R. Phys. Rev. 108:1175, 1957.
- JOSEPHSON. B.D, Possible New effects in superconductive tunneling, vol.1, issue 7, pp. 251-253. Physics Letters, 1962.
- JOHNSTON D.C, Prakash H., Zachariasen W.H, High temperature superconductivity in the Li-Ti-O ternary system. Materials Research, vol. 8, pp. 777-784, Pergamon Press. Printed in the United States. 1973.
- MÜLLER K.A, Bednorz J.G, Possible high t_c superconductivity in the Ba- La- Cu- O system. vol. 64, pp. 189-193. no. 2. j Zeitschrift für Physik B Condensed Matter, 1986.
- CHU, CW; Gao, L.; Chen, F.; Huang, Z. J.; Meng, R; Xue, Y. Preparation and characterization of $YBa_2Cu_3O_7$ delta/polypyrrole bilayer structures. 365323. Nature 1993.
- BUZEA, C. & Yamashita. T. Review of superconducting properties of MgB_2 . Supercond. Sci. Tech. 14 (11):115-146. 2001.
- MAGAÑA S. L. Los superconductorers. La ciencia para todos, 1997. [Http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/104/htm/sec_8.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/104/htm/sec_8.htm).
- ROBERT C.; Smalley F.; Richard E.; Fullerenes. Scientific American, 1991, vol. 265, no.4, pp. 54.
- MICK J. blog: science retraction: room temperature superconductors- march 24, 2008. [Http://www.dailytech.com/retraction+room+temperature+superconductors/artic1e11213.htm](http://www.dailytech.com/retraction+room+temperature+superconductors/artic1e11213.htm)
- TYSZKA, J. M; Fraser, S. E; & Jacobs, R. E. Microscopia de la resonancia magnética: avances y usos recientes. Opinión actual en biotecnología, 16(1): 93-99. 2005.
- TINKAHM M., Introduccion to superconductivity, McGraw-Hill Ed. 2da ed. 1996.
- CAMARERO C. C. Propiedades magnéticas de los Superconductores. 20 de enero de 2006. <http://www.alumnos.unican.es/cc66/physics/superconductores.pdf>