INFORME

FABRICACION Y ESTUDIO DE MATERIALES SUPERCONDUCTORES EN COLOMBIA

Sabía usted que en Colombia se estudian los materiales superconductores hace más de diez años? ¿Y que los recientes materiales de alta temperatura crítica ya se fabrican aquí? ¿Sabe usted qué es la superconductividad? Cualquiera que sea su respuesta a estas preguntas, queremos informarle algunas generalidades sobre la superconductividad y sus aplicaciones, como también contarle un poco de la historia y perspectivas del Laboratorio de Bajas Temperaturas perteneciente al Departamento de Física de la Universidad Nacional, donde se estudia la superconductividad desde 1975 y se fabrican actualmente los nuevos materiales superconductores que muy probablemente revolucionarán la tecnología en un futuro cercano.

Qué es la superconductividad?

Por nuestra experiencia cotidiana estamos relativamente familiarizados con la **conducción y uso de la corriente eléc**ca. Si mira usted a su alrededor tal vez encuentre fácilmente cables, interruptores, bombillos y aparatos eléctricos en los cuales la corriente eléctrica, constituída por electrones, fluye a través de alambres metálicos y se utiliza para producir luz, calor, movimiento, sonido, etc. Estamos tan acostumbrados a las aplicaciones comunes de la electricidad que a veces hace falta un apagón o un corte súbito de la energía eléctrica para que percibamos hasta qué punto dependen nuestras actividades ordinarias del consumo de esa energía.

Los metales más utilizados para conducir las corriente eléctrica son el cobre, el aluminio y aleaciones de éstos que a pesar de llamarse "buenos conductores" **presentan** siempre resistencia al paso de la corriente. En realidad, otros materiales oponen mayor resistencia y no son útiles como conductores. Los que presentan la máxima resistencia, es decir, los que prácticamente no permiten el flujo de la corriente eléctrica se llaman "aislantes" y son materiales como el caucho, el vidrio y los plásticos, esenciales también en la tecnología eléctrica pues gracias a ellos podemos acercarnos y manipular los conductores sin que la corriente pase por nuestro cuerpo que es un conductor relativamenete bueno y sin que se produzcan cortos circuitos normalmente indeseables.

En el intermedio están los materiales llamados semiconductores como el germanio y el silicio, cuya resistencia podemos calificar de "mediana" pero que gracias a técnicas inventadas por los físicos pueden convertirse alternativamente en "casi conductores" o en "casi aislantes" por lo cual se utilizan para construir los diodos y transistores que son los elementos básicos de la tecnología electrónica y de los computadores actuales.

La resistencia que oponen los materiales al paso de la corriente hace que inevitablemente estos se calienten cuando fluye una corriente a través de ellos y entonces hablamos de disipación de la energía eléctrica en forma de calor, lo cual es deseable en una estufa o en un calentador eléctrico pero constituye por lo menos un desperdicio de energía en los cables de transmisión y distribución, en los motores eléctricos y en general en todo aparato o sistema cuya finalidad no sea la calefacción. Gran parte de las cuentas que pagamos por concepto de energía eléctrica corresponden a esa energía disipada inevitablemente en forma de calor, que en realidad no hemos consumido.

Es fácil notar entonces que si existieran materiales que no presentasen oposición al paso de la corriente, es decir, materiales **con resistencia nula, podríamos por lo menos ahorrar mucha energía. Pues** bien, estos materiales existen y son los superconductores. Pero, se preguntará **usted, ¿por qué no los estamos usando? ¿Por qué las Empresas de Energía Eléctrica no han puesto fin al desperdicio? ¿Cuáles son esos materiales?**

Su inquietud puede aumentar cuando sepa que los superconductores se descubrieron a comienzos del siglo, en 1911, y que pueden ser materiales ordinarios como el estaño, el plomo o el indio. Sin embargo, usted puede ir respondiendo a sus preguntas al enterarse de que estas sustancias, que son conductores de la electricidad a temperaturas ordinarias, sólo se vuelven superconductores cuando se someten a muy bajas temperaturas ordinarias, sólo se vuelven superconductores cuando se someten a muy bajas temperaturas. Y aquí hablamos del frío **extremo. Mientras los lugares más fríos** del planeta tienen temperaturas registradas de menos de 50 grados centígrados, las temperaturas necesarias para que algunos materiales pasen al estado superconductor son inferiores a menos 250 grados centígrados. Tales condiciones se logran sumergiendo los materiales en helio líquido, un refrigerante escaso y relativamente costoso que normalmente tiene una temperatura de menos 269 grados centígrados, es decir que se acerca **al** llamado cero absoluto de temperatura (-273°C).

Fue así como el físico Kammerlingh Onnes en su laboratorio de Leiden (Holanda) descubrió que un pedazo del metal mercurio perdía completamente la resistencia eléctrica al sumergirlo en helio líquido. Lentamente fueron descubriéndose otros elementos metálicos e inclusive semiconductores que presentaban un comportamiento semejante. De todos estos el que presentó la temperatura crítica o temperatura límite menos baja para perder su resistencia fue el metal niobio, con menos 264°C. Se halló en**tonces que fabricando aleaciones de** elementos era posible elevar un poco más la temperatura crítica y fue así como hasta mediados de siglo se descubrieron las aleaciones a base de niobio o de vanadio que pasan al estado superconductor a temperaturas un poco menos bajas, llegando hasta menos 250°C para el compuesto niobio-germanio que se encontró en 1973. Desde entonces hasta el año pasado y a pesar del gran esfuerzo investi**gativo realizado en diversos laboratorios e institutos del mundo ningún material superó esa temperatura y la superconductividad se mantuvo en el dominio del helio líquido y sus fríos vapores.**

Conviene precisar aquí que la resistencia nula es sólo una de las propiedades de un superconductor. Otra característica importantísima de tales materiales consiste en que expulsan de su interior los cam**pos magnéticos, mientras estos no so**brepasen un valor límite, denominado campo crítico, que en los elementos puros alcanza valores hasta de unos mil

Gauss, como en el caso del niobio, y en las aleaciones a base de niobio o de vanadio llega hasta doscientos mil Gauss o un poco más. Para efectos de comparación, recordemos que el campo magnético medio de la tierra es de aproximadamente medio Gauss en su superficie. Por otra parte en los conductores normales el campo magnético penetra fácilmente en su interior y permanece allí.

El comportamiento magnético que acabamos de descubrir, llamado el efecto Meissner en honor a su descubridor en 1933, impone otra limitación a los superconductores: además de bajas temperaturas, requieren campos magnéticos de intensidad menor que el campo crítico. Nos encontramos así con un estado superconductor de la materia, relativamente frágil ya que puede ser destruído por elevación de la temperatura o por aumento del campo magnético e inclusive por un exceso de corriente eléctrica que produzca un campo muy elevado. Al destruir el estado superconductor, el material recobra sus propiedades de conductor normal.

La explicación física detallada de la superconductividad fue realizada por John Bardeen, Leon Cooper y Robert Schrieffer en 1957, trabajo que les mereció el Premio Nobel de física varios años después. Hasta el momento su teoría, basada en la suposición de la existencia de "pares de electrones" como las "partículas" que constituyen la corriente eléctrica en los superconductores, es la más satisfactoria para explicar los fenómenos observados en estos materiales, aunque sucesivos perfeccionamientos de la misma se han producido.

La teoría anterior permitió que Brian Josephson descubriera en 1962 otra notable propiedad de los superconductores, consistente en la posibilidad de que los "pares de electrones" pasen a través de una capa de material aislante que separe dos superconductores. Este paso puede ser permitido o prohibido, es decir controlado, usando campos magnéticos extremadamente débiles, del orden de millonésimas de Gauss. Tal efecto de Josephson constituye la base de una de las aplicaciones más importantes de la superconductividad.

Aplicaciones actuales de los superconductores

A pesar de las dificultades que conlleva la producción del helio líquido y su mantenimiento a baja temperatura, las extraordinarias propiedades de los superconductores motivaron una creciente investigación tendiente a convertirlos de curiosidad exótica de laboratorio en materiales utilizables tecnológicamente. Fue así como en la segunda mitad del siglo, después del descubrimiento de aleaciones con elevados campos críticos y del efecto Josephson, aparecieron las primeras aplicaciones importantes de la superconductividad, cuya evolución permanente las ha llevado a usos como los descritos a continuación.

La posibilidad de conducir altas corrientes sin resistencia ha permitido la construcción de líneas para transmisión de energía eléctrica sin pérdidas desde el generador hasta los consumidores. Debido a los elevados costos de estas líneas, sólo se consideran rentables para muy altas potencias (gigawatios) y para distancias superiores a los 500 kilómetros. Por otra parte ya se han fabricado motores eléctricos superconductores de gran potencia y eficiencia que funcionan prácticamente sin desperdicio de energía. Pero la aplicación más notable en esta área es la construcción de electroimanes superconductores para producir campos magnéticos tan elevados y estables que hasta ahora eran casi imposibles de generar. Estos enormes campos magnéticos producidos por la circulación de la corriente en bobinas superconductoras se usan ya en el Tevatrón, el más grande acelerador de partículas del mundo, construido en Chicago y destinado a estudios muy fundamentales de la materia. El confinamiento del plasma, necesario para activar las reacciones de fusión nuclear controlada en los reactores llamados Tokamaks, se logra también con electroimanes superconductores. La energía liberada por la fusión, cuando ésta puede controlarse con seguridad, será un recurso casi inagotable para las generaciones del siglo XXI. Los trenes de levitación magnética, capaces de viajar a 500 kilómetros por hora, flotando sobre "colchón" de campo magnético producido con superconductores, están ensayándose ya en el Japón y pueden llegar a ser trenes comerciales en poco tiempo. Los mismos electroimanes han permitido el desarrollo de los equipos de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) con los cuales se logran imágenes espectaculares del interior del cuerpo humano cuyo uso para estudios médicos tiende a ser común en la actualidad.

El efecto Josephson descrito antes, junto con otras características inherentes a la superconductividad están en la base de otra serie de aplicaciones, quizá las más extendidas por ahora, de los superconductores. Las corrientes y potencias involucradas en estos casos son muy pequeñas ya que se trata de mecanismos para la detección, medición y control de diversas magnitudes. El interferómetro cuántico superconductor, también llamado "SQUID", es el núcleo de estas aplicaciones y con él se han construido aparatos para observar y estudiar la actividad magnética del cerebro y del corazón, como también instrumentos ultrasensibles para medir pequeñísimos voltajes, corrientes, resistencias, campos magnéticos, etc. Gracias a estos dispositivos es hoy más fácil la búsqueda de yacimientos minerales, el estudio del magnetismo terrestre, la detección de señales en astrofísica e inclusive la eventual predicción de terremotos. Como los interferómetros pueden fabricarse en dimensiones microscópicas, ha sido posible construir con ellos memorias y procesadores para computadoras digitales. En efecto, algunas industrias e institutos de investigación, principalmente en los Estados Unidos y en el Japón, buscan actualmente perfeccionar el funcionamiento de estos circuitos con el fin de producir computadores superconductores ultrarrápidos y mucho más pequeños que los usados ahora, basados en materiales semiconductores. Se necesitan tales computadores para el manejo rápido de grandes cantidades de información, en áreas como la predicción confiable y oportuna del tiempo, la inteligencia artificial, etc.

No obstante lo anterior, las aplicaciones de la superconductividad, aunque muy importantes, siguen siendo relativamente restringidas, especializadas y costosas. ¿Llegarán a ser "populares" algún día?

Acontecimientos recientes

Aunque el confinamiento del estado superconductor al dominio de bajos campos magnéticos comenzó a superarse en los años 50 hasta lograr los materiales con alto campo crítico que han permitido numerosas aplicaciones, la restricción al rango de bajas temperaturas apenas empieza a levantarse. Cuando los investigadores parecían conformarse con los materiales conocidos, en vista de los infructuosos esfuerzos por elevar las temperaturas críticas, sucedió lo inesperado: Georg Bednorz y Karl Müller de la IBM en Zürich (Suiza) anunciaron en abril de 1986 que posiblemente habían observado superconductividad a menos 238°C en un óxido metálico hecho de lantano, bario, cobre y oxígeno, con características de material cerámico. La noticia, publicada oficialmente en sep-

tiembre por una revista europea, fue recibida con escepticismo por los especialistas y muchos no prestaron mayor atención a la misma, recordando otros anuncios anteriores que resultaron falsas alarmas. Sin embargo, antes de terminar el año un laboratorio japonés, otro chino y uno norteamericano habían confirmado el anuncio y reproducido e inclusive mejorado los resultados de Bednorz y Müller que comenzaron entonces a despertar mayor interés en la comunidad científica.

El grupo de Paul Chu y sus colaboradores en las universidades de Houston y Alabama (Estados Unidos) ha presentado el avance más rápido a partir de entonces. Usando las cerámicas de cuatro componentes pero reemplazando el bario por estroncio y aplicando altas presiones al material observaron superconductividad a -219°C. Luego cambiaron el lantano, que pertenece a los elementos llamados "tierras raras", por otro de éstos conocido como el itrio y así en febrero del presente año lograron un resultado sensacional: el material compuesto de itrio, bario, cobre y oxígeno presentó superconductividad a -175°C.

La noticia, publicada en una revista especializada a comienzos de marzo, provocó gran revuelo entre científicos y técnicos y disparó una febril actividad en muchos laboratorios alrededor del mundo con el fin de reproducir y superar los resultados. El especial significado de este hallazgo consiste en que por primera vez aparece la superconductividad a temperaturas mucho menos bajas que las del helio líquido. Las nuevas temperaturas pueden lograrse fácilmente con nitrógeno o con aire líquido, sustancias muy abundantes en nuestra atmósfera para las cuales los métodos de licuefacción y preservación son ya convencionales.

Así pues, la aplicación de la tecnología masiva de los superconductores parece aproximarse, con un enorme impacto sobre casi todas las formas de generación y consumo de la energía eléctrica, las aplicaciones de la electrónica, los computadores, el transporte y muchas otras áreas de la tecnología que probablemente cambiarán de manera notable. Sin embargo hay muchos problemas por resolver, mucho trabajo investigativo por realizar antes de que estos sueños se realicen. Es necesario, por ejemplo, comprender cómo funcionan los nuevos materiales, fabricar con ellos alambres flexibles y películas delgadas útiles, hacer circular altas corrientes a través de los mismos, construir dispositivos prácticos y confiables, etc.; en otras palabras, desarrollar la ciencia y tecnología de estos materiales. Pero al ritmo con que están sucediendo las cosas actualmente, es posible que los pasos necesarios se den en poco tiempo y que tanto los superconductores como su tecnología pasen a ser componentes de nuestra vida cotidiana muy pronto.

Las noticias de las últimas semanas alientan estas expectativas pues ya se ha informado sobre indicios de superconductividad a -48°C, a -33°C e inclusive a temperatura **ambiente!** Por otra parte se anunció el éxito de un experimento para hacer pasar una elevada densidad de corriente por una cerámica superconductora. También se sabe de interferómetros fabricados con los nuevos materiales. Como lo han expresado algunos expertos, seguramente muchas cosas van a cambiar y desde ahora podemos imaginarlas, pero los cambios más espectaculares no podemos siquiera imaginarlos todavía.

Estudio de la Superconductividad en Colombia

Los antecedentes directos de las bajas temperaturas y del estudio de superconductores en el país se remontan a la década del 60 cuando se instalaron en el Departamento de Física de la Universidad Nacional las primeras máquinas para producir aire líquido destinado a diversos laboratorios de la Universidad y de otras entidades. El único licuador de helio que existe en Colombia, llegó en 1969 a través de un préstamo del BID y fue instalado en 1973 con el apoyo de la Misión Técnica de Cooperación Alemana, la cual auspició dos años después el establecimiento en el mismo Departamento de un primer laboratorio de Bajas Temperaturas para observar las propiedades del helio líquido y de los materiales que se convierten en superconductores a temperaturas próximas al cero absoluto (-273°C).

La existencia de una infraestructura experimental y humana en el Departamento de Física permitió la conformación de un grupo de trabajo que comenzó a diseñar e instalar un nuevo laboratorio para la investigación de las propiedades y aplicaciones de los materiales superconductores. Gracias al apoyo de Colciencias y la Universidad Nacional, principalmente, pudo iniciarse el proyecto de "Estudio de las propiedades superconductoras y de sus aplicaciones en los metales estaño, plomo e indio", que condujo al montaje del Laboratorio en 1978 y la realización posterior de varios trabajos de tesis a nivel de Magister sobre temas como: películas delgadas superconductoras, destrucción de la superconductividad por una corriente, el efecto Josephson, construcción de un electroimán superconductor de alto campo, etc.

De acuerdo con los resultados positivos del primer proyecto en el que se estudiaron elementos puros, el Grupo decidió emprender la fabricación y estudio de compuestos superconductores, ya que éstos ofrecen mayores posibilidades de aplicación tecnológica. En 1984 se presentaron los proyectos de investigación: "Estudio de fenómenos superconductores en metales y aleaciones" y "Propiedades físicas de metales y aleaciones a bajas temperaturas", proyectos que con financiación de la Universidad Nacional, Colciencias e Icfes están actualmente en desarrollo. Se ha logrado ya la readecuación de las instalaciones del Laboratorio que permitan el montaje de los nuevos equipos necesarios para el proyecto y que se encuentran en etapa de licitación, y con la infraestructura existente se han producido y analizado aleaciones a base de niobio. Además se inició el estudio a nivel teórico de la superconductividad.

El reciente descubrimiento de materiales superconductores con alta temperatura crítica en otros laboratorios del mundo, motivó al Grupo de Bajas Temperaturas para iniciar la fabricación y estudio de tales compuestos, logrando el mes pasado los primeros resultados exitosos. Se han producido ya varias muestras de material cerámico a base de itrio, bario, cobre y oxígeno que presentan superconductividad a la temperatura del aire líquido (-190°C). En estos momentos el Grupo dirigido por Eduardo Posada e integrado por Ana Mercedes Castellanos, Eduardo Forero, Guillermo Franco, Gustavo Holguín, Alvaro Mariño, Virgilio Niño y Darío Rodríguez, está trabajando en la optimización de los procedimientos de fabricación del material y en el estudio detallado de las propiedades superconductoras y de otras propiedades físicas de las muestras, buscando obtener las características adecuadas para la fabricación de dispositivos a partir de los nuevos materiales.

Perspectivas y posibles aplicaciones en el país

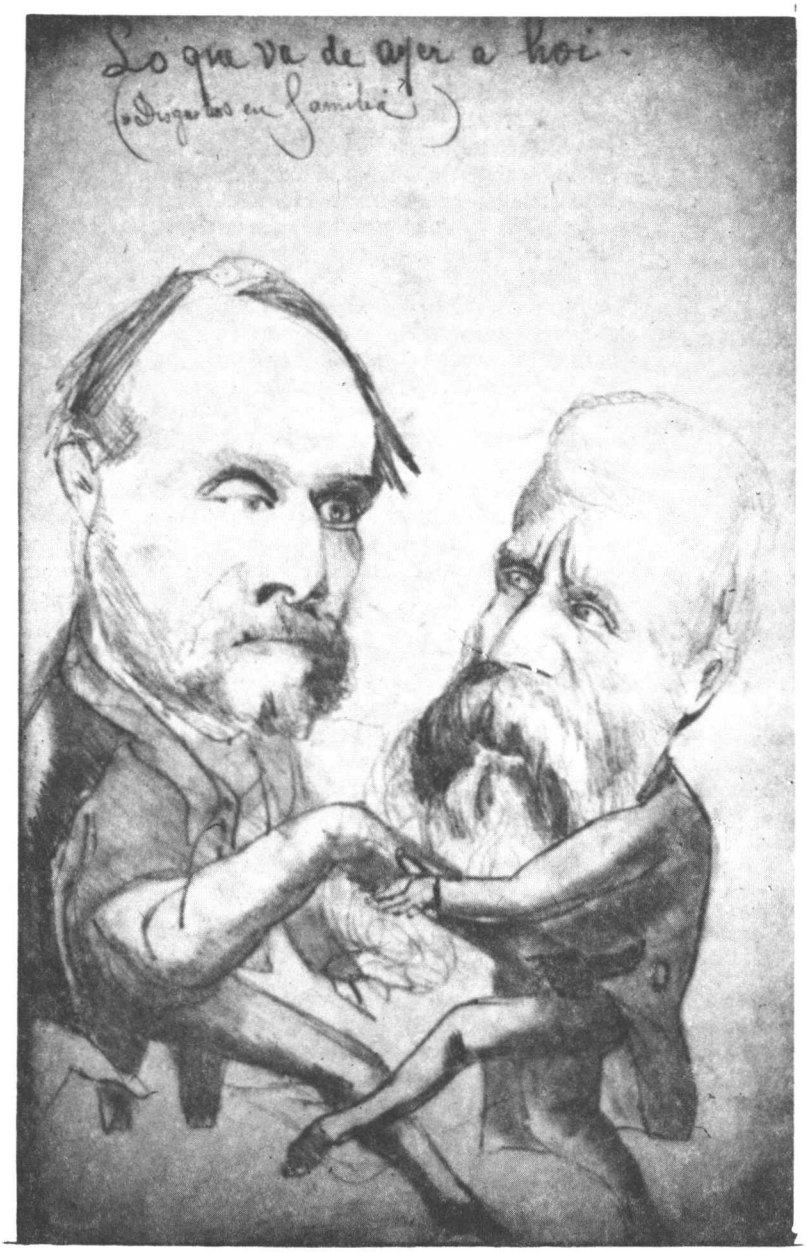
Dentro del amplio espectro de aplicaciones de los superconductores, el área que presenta mejores perspectivas para el Grupo de Bajas Temperaturas es actualmente la de instrumentación de alta sen-

sibilidad que puede conducir a la fabricación de interferómetros superconductores útiles para la construcción local de equipos biomédicos de análisis y diagnóstico, eliminando así una posible dependencia tecnológica para el país.

Ciertamente los beneficios derivados de la investigación y el desarrollo en este o en otros campos de la ciencia y la tecnología no son únicamente los aparatos, procedimientos, bienes o servicios que se produzcan. Mucho más importante que éstos es la formación y capacitación de personal especializado y el afianzamiento de la infraestructura que permiten obtener los resultados mencionados. Los conocimientos, experiencia y recursos que se vayan adquiriendo constituyen un invaluable patrimonio nacional que puede colocar al país en condiciones más ventajosas de negociación tecnológica con otros países, facilitar la toma de algunas decisiones importantes, y que puede contribuir a la solución de diversos problemas colombianos.

Pocas veces puede preverse como ahora la inminencia de una revolución científica y tecnológica de amplias consecuencias. Participar en ella o esperar a que nos llegue el conocimiento e importar la tecnología puede tener trascendencia económica, social y cultural para el desarrollo del país. Continuar y apoyar la investigación en esta y en otras áreas de la ciencia y la tecnología exige ante todo conocer nuestra realidad, creer en nuestras posibilidades y respaldar decididamente los esfuerzos tendientes a promover el desarrollo nacional, Naturalmente que estas consideraciones competen no solamente a los organismos del estado y a la industria nacional, sino también a todos los colombianos, ya que nuestro futuro y el de las generaciones venideras depende de lo que hagamos ahora.

Grupo de Bajas Temperaturas
Departamento de Física
Universidad Nacional



Rafael Núñez y Aquileo Parra se disputan las elecciones de 1876.