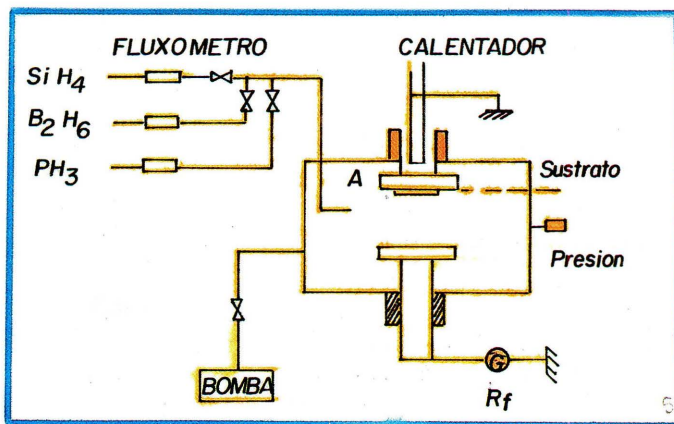


to. Hoy se fabrican transistores de películas delgadas, rodillos para fotocopiadoras, transistores para pantallas de computación de cristal líquido y sólido, para el caso de televisores a color.

LA INVESTIGACION EN LA UNIVERSIDAD DEL VALLE

El grupo de Películas Delgadas del Departamento de Física ha venido desarrollando durante los últimos cuatro años el proyecto *Diseño y construcción de un sistema de glow discharge para la producción de celdas solares de silicio amorfo*. Ya se ha logrado producir capas de a-Si:H que muestran alta fotoconductividad y buena estabilidad; asimismo se han caracterizado por métodos ópticos, eléctricos y estructurales por microscopía electrónica y resonancia paramagnética, obteniéndose resultados favorables.

Esquema de un equipo de G.D. para deposición y dopaje de a-Si:H.



Mantener una investigación permanente en la producción de películas delgadas semiconductoras en Colombia, que sea capaz de estar al día con los adelantos que en este campo se hacen a nivel internacional, es de gran importancia para el país, no sólo por los aspectos científicos sino porque

también permite adquirir experiencia para fortalecer nuestra capacidad de negociación tecnológica. En este sentido se está estudiando la posibilidad de emprender a nivel andino un programa de investigación y desarrollo para la fabricación de películas delgadas semiconductoras. □

LA CARRERA DE LOS SUPERCONDUCTORES A NUEVAS TEMPERATURAS

Con los descubrimientos realizados recientemente en el campo de los superconductores se avecina una gran revolución tecnológica, quizás tan importante como el invento del transistor.

Ver un tren a velocidades 6 veces mayores que las que actualmente conocemos, suspendido a 15 centímetros del aire; motores de las más alta potencia, del tamaño de una máquina de escribir; redes que transmiten energía sin pérdida alguna; sitios para almacenamiento energético como cualquier bodega más; carros con motores muy livianos y pequeños; mini-mini computadores y muchas

cosas más, podrá ser una realidad gracias al empleo de los llamados nuevos materiales superconductores.

¿QUE ES LA SUPERCONDUCTIVIDAD?

Aunque por nuestra experiencia cotidiana estamos relativamente familiarizados con la conducción y uso de la corriente eléctrica, así como con sus aplicaciones comunes, muy pocos sabemos qué es la

superconductividad y cuáles sus usos.

Los metales más utilizados para conducir la 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. Los que ofrecen 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 relativamente bueno, y sin que se produzcan corto circuitos normalmente indeseables.

En el intermedio se hallan los 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".

Finalmente, se hallan los materiales que no oponen resistencia alguna al paso de la corriente, es decir, materiales con resistencia nula, con los cuales se puede ahorrar la energía que se disipa en forma de calor con los otros conductores. Estos materiales son los *superconductores*. Conviene precisar que además de lo anterior, los superconductores tienen otra característica muy importante que consiste en que expulsan de su interior los campos magnéticos mientras éstos no sobrepasen un valor límite, que en los elementos puros alcanza valores hasta de unos mil Gauss (dos mil veces el campo magnético terrestre). Este comportamiento magnético impone a los superconductores otra limitación: 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 destruido 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. Otra notable propiedad de los superconductores, consiste en la posibilidad de que "pares de electrones" pasen a través de una capa de material aislante que separe dos de ellos, que es lo que se denomina el efecto de Josephson. Esta propiedad se utiliza en la fabricación de elementos

para computador o de instrumentos de altísima sensibilidad.

HISTORIA

La superconductividad no es un fenómeno nuevo; fue descubierto en 1911 en Holanda, cuando el físico Kamerlingh Onnes logró enfriar metales por debajo de los 4 grados Kelvin (-269°C.). Pero, para lograr estas temperaturas era necesario poner las muestras en contacto con helio líquido, elemento difícil de obtener y que requiere de procesos complicados para mantenerlo en su fase líquida. Desde entonces se inició una búsqueda inintermitente para encontrar aleaciones que alcanzaran la fase superconductor a temperaturas más elevadas.

El progreso fue lento y frustrante hasta 1941 cuando se encontraron aleaciones de niobio que se volvían superconductoras a 15°K. Hacia 1971, los mejores superconductores eran aleaciones de niobio-aluminio y niobio-germanio que alcanzaban esta fase a 23°K. Esta temperatura, equivalente a -250°C, se consideró lo suficientemente "tibio" como para realizar algunos desarrollos tecnológicos importantes que podrían ofrecer una ventaja económica. Tal era el caso de los imanes superconductores, capaces de establecer los enormes campos magnéticos necesarios en los aceleradores de altas energías y en los dispositivos de resonancia magnética nuclear que revolucionaron la ciencia médica al producir imágenes nítidas de tejidos vivos, equivalentes a las que obtendría un cirujano en un corte transversal del tejido en cuestión.

En 1972 se concedió el Premio Nobel de Física a J. Bardeen, L.N. Cooper y J.R. Schriffer por sus trabajos realizados a finales de la dé-

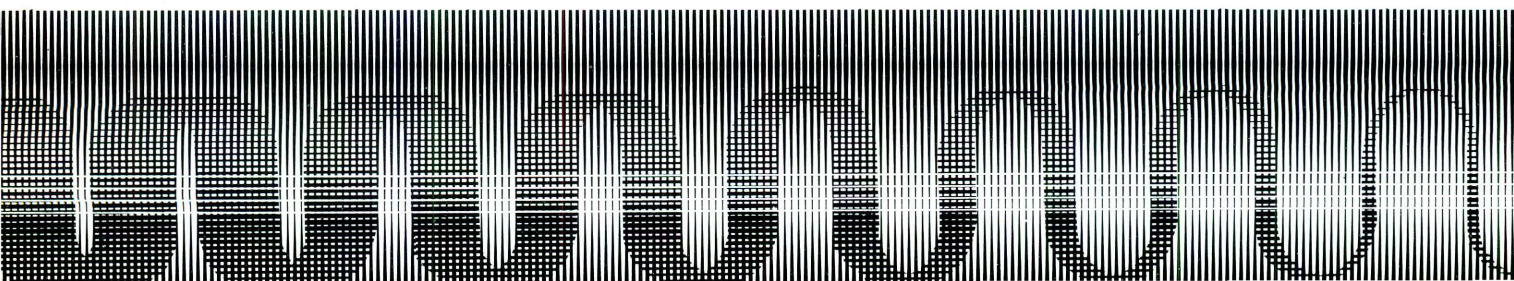
cada de los años cincuenta, que daban cuenta del origen microscópico de la superconductividad. En esta teoría, conocida como BCS, los electrones responsables del fenómeno de la conducción eléctrica en un metal, interactúan con los átomos que forman la red cristalina del material. Bajo ciertas condiciones, incluyendo la de mantener al metal por debajo de una temperatura crítica, esta interacción con los átomos produce una débil atracción entre ciertos electrones específicos que pasan a formar lo que se denomina un par de Cooper. Este par es el responsable del transporte de la corriente eléctrica.

NUEVOS SUPERCONDUCTORES

No obstante el gran éxito de la teoría BCS sobre la superconductividad en metales, parece existir un consenso general entre los físicos teóricos de que éste no es el mecanismo que explica la superconductividad a altas temperaturas recientemente descubierta. El gran éxito" llegó en 1986 con el hallazgo de los *nuevos materiales superconductores* que no son aleaciones metálicas sino cerámicas hechas a base de óxido de cobre mezclados con bario o estroncio y alguno de los elementos conocidos como tierras raras (lantano, itrio y neodimio).

Durante varias décadas, los esfuerzos por encontrar superconductores a altas temperaturas se concentraron en aleaciones de metales y ni siquiera se sospechaba que alguna cerámica podría tener las propiedades características de estos materiales.

El primer artículo sobre los nuevos superconductores apareció en abril de 1986 escrito por K. A. Müller y J.G. Bednorz del labora-



torio de investigación de la IBM en Zurich en donde reportaban que una mezcla de lantano, bario y óxido de cobre comenzaba a perder la resistencia eléctrica a 30°K. Estos autores habían estudiado durante varios años, cientos de compuestos aislantes que también mostraban propiedades metálicas inesperadas. A pesar que la noticia fue poco difundida, hacia finales de 1986 diversos grupos de EE.UU., China y Japón ya realizaban intensos trabajos experimentales con estas sustancias. Finalmente, en enero de 1987, el grupo de C.W. Chu de la Universidad de Houston y Alabama anunció un descubrimiento verdaderamente revolucionario: la obtención de superconductores a 98° K.

18 DE MARZO DE 1987: EL WOODSTOCK" DE LOS FISICOS

Finalmente, el 18 de marzo de 1987, el hotel Hilton de la ciudad de Nueva York atestiguó uno de los eventos más importantes de las últimas décadas, durante una sesión especial del congreso de la división de materiales de la Sociedad Estadounidense de Física. Una hora antes del inicio de la sesión programada para las 19:30 horas, bajo el poco ostentoso título de *Oxidos de alta Tc*, cerca de 2500 científicos abarrotaban el recinto cuyo cupo máximo era de 1500 personas. Fue necesario instalar circuitos cerrados de televisión en salones contiguos para informar a los impacientes asistentes. Al día siguiente, la primera plana del *New York Times* calificaba este congreso como el "Woodstock" de los físicos.

El programa se inició con una discusión a cargo de K.A. Muller; S. Tanaka, de la Universidad de Tokio; C.W. Chu; Z.X. Zhao de la Academia Sínica de Pekín y B. Batlogg de los Laboratorios Bell.

Más de cincuenta intervenciones siguieron a la presentación original durante ocho horas continuas, en las cuales se mostró toda la evidencia experimental acumulada sobre nuevos materiales que alcanzan la fase superconductor a temperaturas muy superiores a la de los superconductores conocidos con anterioridad.

La velocidad a la que evoluciona la investigación en este campo quedó perfectamente ilustrada más tarde, ya por la noche, cuando un grupo de IBM informó que solamente en una semana había conseguido preparar finas capas de estos materiales superconductores por encima de la temperatura del nitrógeno líquido. La superconductividad a 90°K había quedado bien establecida.

A partir de aquel histórico momento los informes sobre temperaturas de transición cada vez más altas, se suceden uno tras otro. Ya hay quien asegura haber encontrado un material que se vuelve superconductor a los -23°C.

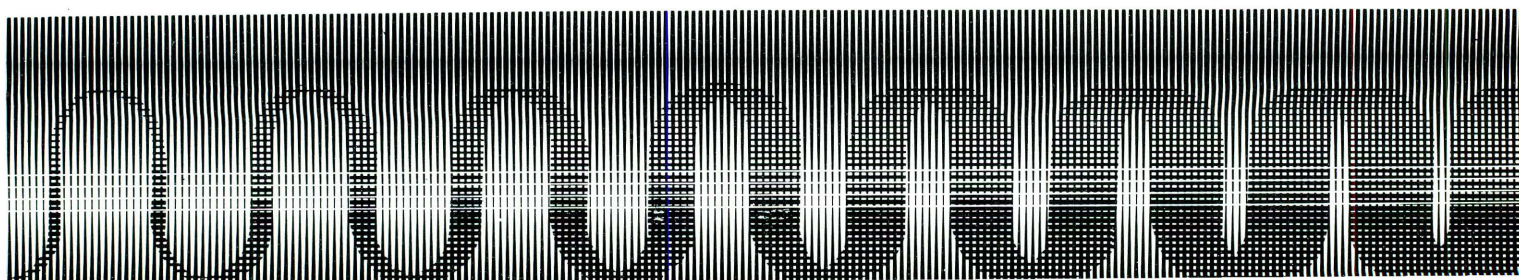
LA REVOLUCION TECNOLOGICA

Pero si la superconductividad se conoce desde hace más de siete décadas, entonces por qué calificar de revolucionario este descubrimiento e inclusive como el desarrollo más importante de este siglo en voz de una comunidad de físicos que siempre ha evitado el uso de los superlativos? La respuesta es muy simple: porque, en última instancia, tiene mucho que ver con la economía. El nitrógeno se licúa a 77°K al nivel del mar; es un gas muy abundante y fácil de enfriar. El costo de un litro de nitrógeno líquido es más bajo que el de un litro de leche, mientras que el helio líquido cuesta de diez a veinte veces más. Y el frenético trabajo que se está realizando en todo el mundo en torno a estos ma-

teriales sugiere que la obtención de superconductores a temperatura ambiente (300°K) es factible, a pesar que un par de años atrás esta afirmación se hubiera considerado una locura. Existen algunas evidencias —aunque sin confirmación— de superconductores que alcanzan esta fase a 130°K y parece no haber ningún límite que impida aumentar la temperatura crítica.

Las implicaciones tecnológicas rebasan las fronteras de nuestra imaginación. En primer lugar, se pueden reducir drásticamente los costos de los dispositivos superconductores que ya existen, particularmente aquellos destinados a la ciencia médica. El transporte por ferrocarril se vería enormemente beneficiado al utilizar la levitación magnética para hacer "flotar" los vagones a pocos centímetros del suelo y la máquina requeriría de motores menos potentes y mucho más pequeños para impulsar los carros. Y, dicho sea de paso, cualquier motor eléctrico que utilice bobinas superconductoras sería más pequeño en virtud de los grandes campos magnéticos que alcanzan estos materiales.

La capacidad que tienen los superconductores para almacenar energía en forma de campos magnéticos y supercorrientes en espiras, convierte a estos materiales en excelentes baterías. Así, la energía solar vuelve a ser una opción importante al tener un depósito prácticamente ilimitado para almacenar la corriente que proviene de una celda fotovoltaica, y lo mismo se aplica en cualquier otra fuente alternativa de energía como la eólica, mareas, etc., así como la proveniente de fuentes convencionales. Incluso se puede concebir un automotor que funcione durante una semana con estas baterías: el refrigerador de aire que necesitaría este curioso automóvil actua-



ría como un separador de los elementos contaminantes en la atmósfera, de manera que se tendrían vehículos que “descontaminaran” el aire.

Pero quizás la aplicación más inmediata de estos materiales está en el campo de la computación y de las comunicaciones. Aquí no se trata solamente de una gran ganancia en la rapidez de los circuitos y en incrementar la densidad de elementos en un *chip*, sino en la concepción de nuevas arquitecturas y configuraciones de los propios elementos electrónicos. No es accidental, entonces, que sean los Laboratorios Bell (donde se inventó el transistor) y los Laboratorios IBM los que están a la vanguardia de estos logros.

RECETA PARA CERAMICAS SUPERCONDUCTORAS

La fabricación de las cerámicas superconductoras es un método cerámico convencional que se sigue como una receta de cocina: “tome óxidos de cobre, bario y lantano; muélos hasta formar un polvo tan fino como el talco; comprímalo con una prensa hidráulica para formar pequeñas pastillas; caliéntelos en un horno a 1000°C en una atmósfera rica en oxígeno; repita la operación unas cinco veces y eso es todo. Experimente con otras tierras raras y varíe las concentraciones y pureza de los materiales.

La anterior receta no significa que la investigación básica se reduzca a eso. Es necesario trabajar mucho con grupos, interdisciplinarios para resolver problemas de frontera que se traducirán en dar el gran paso tecnológico en un futuro cercano o lejano. En primer lugar, existen, además de la temperatura, dos parámetros importantes en la fase superconductor: el campo magnético y la densidad de corriente (cantidad de corriente que atraviesa un área transversal del material). Todos los superconductores soportan un campo mag-

nético por debajo de un valor crítico, así como una densidad de corriente menor a cierto valor, también crítico. Por encima de cualquiera de ellos, el material realiza una transición a su estado normal. Entonces, las aplicaciones que se mencionaron en los párrafos anteriores requieren de materiales que cumplan con características prácticas específicas. Además, están las propiedades mecánicas que son fundamentales para cualquier aplicación práctica. Como se sabe, las cerámicas son materiales rígidos y frágiles, de manera que no se prestan fácilmente para la construcción de, por ejemplo, conductores de corriente a escala industrial. Para ello, es necesario inventar, ya sea un sustrato con las características mecánicas apropiadas que no destruya la fase superconductor de la cerámica, o un nuevo superconductor con la resistencia y maleabilidad apropiadas.

SUPERCONDUCTIVIDAD EN COLOMBIA

El estudio de las bajas temperaturas se remonta en el país a la década del 60, cuando se instalaron en el Departamento de Física de la Universidad Nacional las primeras máquinas para producir aire líquido.

El único licuador de helio que existe en Colombia llegó en 1969 y 2 años más tarde se estableció el primer laboratorio de bajas tempe-

raturas para observar las propiedades del helio líquido y de los materiales que se convierten en superconductores a temperaturas próximas al 0 absoluto (-273°C).

Posteriormente, gracias al apoyo de Colciencias y la Universidad Nacional, se inició el proyecto “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 a la realización de varios trabajos sobre “películas delgadas superconductores”, y “destrucción de la superconductividad por una corriente”, entre otras.

En 1984, se iniciaron proyectos de investigación sobre el “estudio de fenómenos superconductores en metales y aleaciones” y “propiedades físicas de metales y aleaciones a bajas temperaturas”, que actualmente están en ejecución. Ya se produjeron y analizaron aleaciones a base de niobio y, además, se inició el estudio a nivel teórico de la superconductividad.

También se han logrado resultados exitosos con los materiales superconductores con alta temperatura crítica. En este campo se han producido muestras de materiales cerámico a base de itrio, bario, cobre y oxígeno que presentan superconductividad a temperaturas del aire líquido (-190°C) y materiales en los cuales la tierra rara es reemplazada por bismuto.

