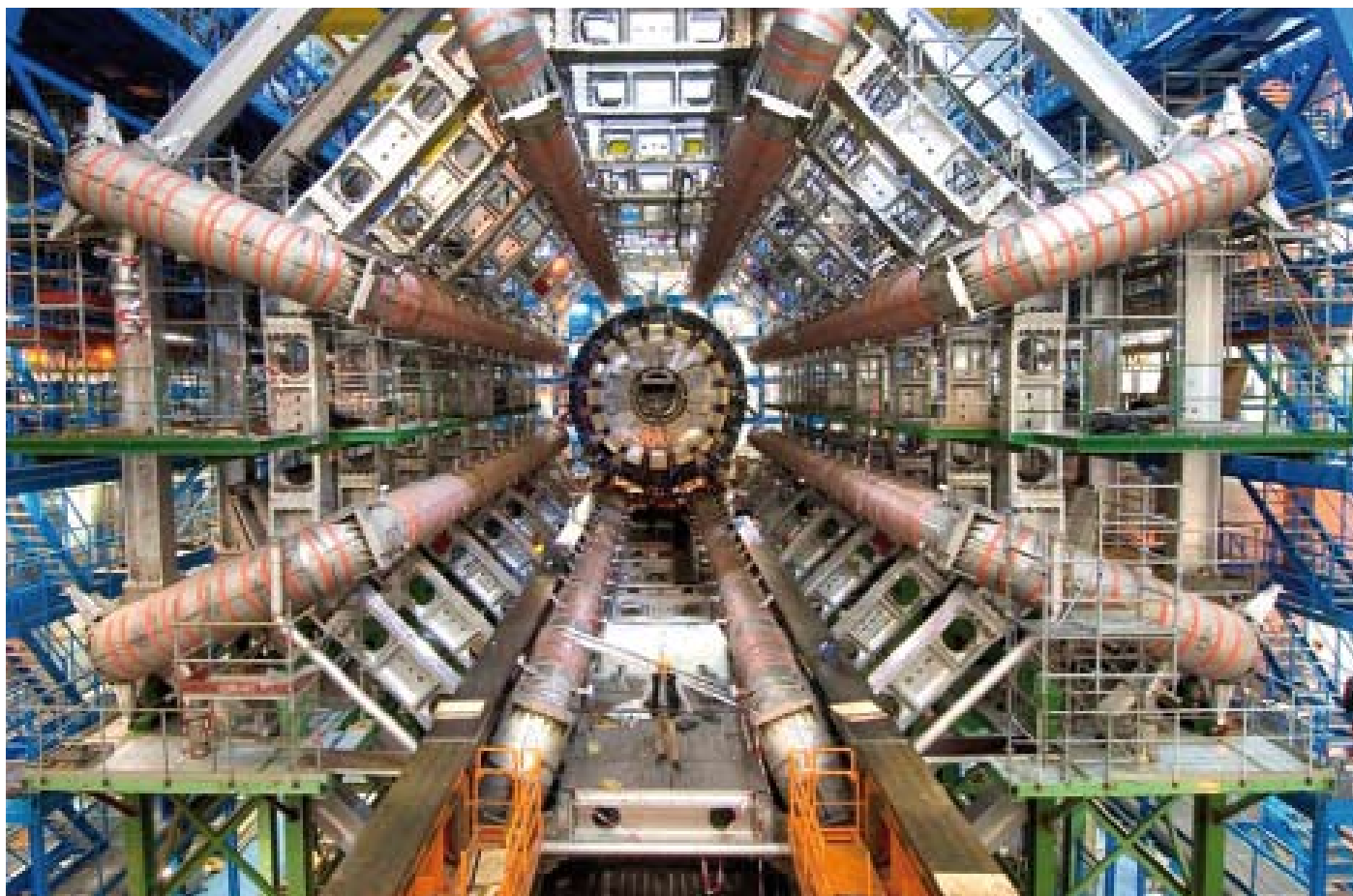


# Los superconductores

Francisco Enrique Sánchez-Lafuente Pérez,  
*Ingeniero Técnico de Telecomunicación*



*Imagen de las instalaciones del Cern.*

Los materiales superconductores no presentan en determinadas condiciones ninguna resistencia al paso de la corriente eléctrica, lo que hace que no se calienten por efecto Joule, por lo que no existen pérdidas de energía. Este fenómeno se produce al enfriarlo por debajo de su *Temperatura Crítica* ( $T_C$ ) en la que los electrones agrupados en parejas se desplazan por el conductor sin chocar con los átomos del material de que se trate (pares de Cooper). Esta temperatura como es sabido es característica de cada material superconductor.

En el inicio del descubrimiento de las características este tipo de materiales estuvo unido a la obtención de esas bajas temperaturas en el laboratorio a partir de

las cuales se pudo ensayar y conocer el comportamiento de sus parámetros. En su origen se utilizó helio líquido que licua a una temperatura de 4° K sumergiendo el material dentro del mismo y analizando sus propiedades.

Al enfriar el material superconductor por debajo de  $T_C$  situándolo en el interior de un campo magnético, se generan en este una corriente de apantallamiento cuyo campo generado se opone al aplicado hasta un valor denominado *campo crítico* en el que vuelve a comportarse como en su estado normal.

Fue H. Kamerling Omnes de la Universidad de Leiden quien investigo primero la producción de helio líquido en 1908. Tres años más tarde, investigando

sobre las variaciones de las propiedades del Hg con la temperatura, descubrió la superconductividad en este metal al enfriarlo a una temperatura de  $-269^{\circ}\text{C}$ . Es importante señalar que al ser en un superconductor el valor de  $R = 0$ , una vez aplicada una corriente ésta fluye por el conductor de forma permanente sin que se precise diferencia de potencial aplicada.

El descubrimiento del fenómeno de la superconductividad se debe pues a este físico holandés. De su biografía, decir que de 1871 a 1873 estudió en la Universidad de Heidelberg, donde fue alumno de los físicos alemanes Robert Bunsen y Gustav Kirchhoff, y se doctoró en la Universidad de Groninga (1879). De 1878 a 1882 fue profesor en la Escuela Politécnica de Delft, puesto que dejó ese mismo año para ocupar el de profesor de física en la Universidad de Leiden hasta que se retiró en 1923

Así pues la mayoría de los superconductores manifiestan sus propiedades solo a temperaturas muy bajas y próximas al cero absoluto.

Al subir la temperatura y llegar a la temperatura crítica empiezan a perder sus propiedades características y vuelven a recuperar las propias del material de que se trate.

Por el contrario, cuando la temperatura desciende por debajo del punto crítico disminuye su resistencia y la corriente puede llegar a circular por el material sin resistencia alguna.

## CAMPOS MAGNÉTICOS

En principio la superconductividad puede considerarse como una transición de fase que se produce bien por aumento de la temperatura, por variación del campo magnético aplicado hasta un valor determinado, o por el paso de una densidad de corriente mayor de un determinado valor a causa de los cuales el superconductor pasa de nuevo a estado normal en el que va a conducir de nuevo con un cierto valor de resistencia.

El estado superconductor no solo se caracteriza por una resistencia nula, sino también por la respuesta de a los campos magnéticos que se le aplican. El campo magnético aplicado puede tener la suficiente intensidad para alcanzar la transi-



El tren magnético Maglev.

ción de fase y penetrar en el material, o bien que el superconductor se proteja del campo magnético aplicado y aparezcan corrientes superconductoras internas que apantallen el campo externo y le impidan penetrar en el material.

Por lo anterior decir que un material superconductor no solamente no presenta resistencia al paso de corriente, sino que también tiene otra propiedad importante que es su *capacidad para apantallar un campo magnético*.

Si enfriamos el superconductor por debajo de su temperatura crítica y lo colocamos en presencia de un campo magnético, éste crea corrientes de apantallamiento capaces de generar un campo magnético opuesto al aplicado. Esto ocurre hasta que el campo magnético alcanza un valor, llamado campo crítico, momento en el que el superconductor deja de

apantallar el campo magnético y el material transita a su estado normal.

En estas condiciones de temperatura no solamente son capaces de transportar energía eléctrica sin ningún tipo de pérdidas, sino que además poseen la propiedad de rechazar las líneas de un campo magnético aplicado. Se denomina "*Efecto Meissner*" a esta capacidad de los superconductores de rechazar un campo magnético que intente penetrar en su interior; de manera que si acercamos un imán a un superconductor, se genera una fuerza magnética de repulsión la cual es capaz de contrarrestar el peso del imán produciendo así la sobreelevación (levitación) del mismo. Hoy día el uso más extendido de ese fenómeno se da en los trenes de levitación magnética.

El hecho de que el superconductor pueda apantallar totalmente el campo magnético de su interior se conoce como *superconductividad tipo I*. Lamentablemente el campo crítico de estos materiales es tan pequeño que no se pueden desarrollar aplicaciones tecnológicas con ellos.

Los de "*Tipo I*" y como se ha dicho son aquellos que no permiten en absoluto que penetre el campo magnético externo. Algunos elementos metálicos como el plomo, estaño, mercurio y el aluminio pertenecen a este grupo. Son conocidos como "perfectos". Al superar la temperatura crítica que es muy baja (no superior a los 7 Kelvins), se produce una ruptura brusca del estado superconductor al contrario que los del tipo II que tienen dos temperaturas críticas  $T_{c1}$  y  $T_{c2}$  entre las cuales se halla mezclado el estado superconductor y el estado normal.

«La mayoría de los superconductores manifiestan sus propiedades solo a temperaturas muy bajas»



*Espacio que ocupan las instalaciones subterráneas del Cern.*

Igualmente tienen un solo campo magnético crítico  $H_c$  y de un valor relativamente bajo (aproximadamente 0.2 Teslas) y todos ellos son superconductores convencionales, es decir que se pueden explicar mediante la teoría BCS.

*La superconductividad solo existe por debajo de una temperatura crítica y de un campo magnético crítico.*

Los de “Tipo 2” son superconductores “imperfectos”, en el sentido que el campo realmente penetra a través de pequeñas canalizaciones, denominadas vórtices de Abrikosov, o fluxones.

Es un grupo heterogéneo constituido por aleaciones, cerámicas o elementos puros; entre estos últimos encontramos tan sólo cuatro: el carbono (pero sólo los fullerenos y los nanotubos, pues cuando se encuentra en forma de diamante o grafito nunca alcanza el estado superconductor), el niobio, tecnecio y vanadio.

Tienen dos temperaturas críticas en el que el material está en un estado mixto en el que conviven el estado superconductor y el normal (mientras que en los superconductores de tipo I el paso de un estado a otro es discontinuo). Si partiendo de un valor inicial vamos aumentando el campo

magnético, estas dos temperaturas van siendo cada vez más bajas, y si es el campo es lo suficientemente grande, el material no es conductor ni siquiera en el cero absoluto.

Tienen igualmente dos campos magnéticos críticos: a una misma temperatura y aplicando un campo magnético a partir de un cierto valor  $H_{c1}$  el campo comienza a poder penetrar el material, y si lo aumentamos hasta un valor  $H_{c2}$  el estado superconductor desaparece por completo. Al aumentar el campo magnético externo aumenta su magnetización (imanación), para contrarrestarlo y consecuentemente en su interior dicho campo sea nulo, lo que da lugar al efecto Meissner.

La mayoría de ellos no son convencionales, es decir que sus propiedades no pueden explicarse con la teoría BCS excepto en el caso del niobio  $T_c = 9\text{ K}$  o el diboruro de magnesio.

De este último decir que sus propiedades no son particularmente destacables, pero son químicamente muy distintos a cualquier otro superconductor en que no es un complejo de óxido de cobre ni un metal. Debido a esta diferencia se espera que el estudio de este material conduzca

a un mejor conocimiento del fenómeno de la superconductividad.

La característica más importante de un superconductor, desde el punto de vista de las aplicaciones prácticas, es la máxima densidad de corriente que el superconductor es capaz de transportar sin resistencia.

Los máximos valores de temperatura, densidad crítica de corriente y campo magnético están relacionados entre sí. Cuando son representados en una gráfica en tres ejes forma la llamada “superficie crítica”.

La imagen muestra la superficie crítica para un superconductor Tipo II, frontera entre las condiciones superconductoras y las de resistividad normal, en el espacio de tres dimensiones. El campo aplicado ( $B$ ), la temperatura ( $T$ ) y la densidad de corriente ( $J$ ) deben quedar bajo la superficie crítica para mantener la superconductividad.

## EFFECTO MEISSNER

En realidad los superconductores se comportan como un diamagnético perfecto.



Imagen del Transrapid.

Crean un *campo magnético* opuesto al aplicado y no permiten que el campo magnético penetre en su interior. Si el campo aplicado alcanza un determinado valor el superconductor deja de apantallar el campo magnético y el material recobra sus características anteriores. Esto es lo que se conoce como *efecto Meissner*.

El flujo magnético del interior de un superconductor es expulsado al exterior cuando la temperatura es  $T < T_c$ . La inducción magnética en el interior de un superconductor pasa a ser cero cuando  $T < T_c$ . El flujo magnético se expulsa al exterior del superconductor quedando una pequeña parte en el interior. La longitud de esta penetración es lo que se conoce como profundidad de penetración ( $\lambda$ ).

Con una densidad de electrones de  $n_s = 10^{23}$  electrones por  $\text{cm}^3$  obtenemos una profundidad de penetración  $\lambda_L \sim 1700 \text{ \AA}$ .

Al ir aproximando escalonadamente la temperatura de una muestra a la temperatura crítica va disminuyendo el número de electrones que se encuentran en estado superconductor formando pares de Cooper y aumentando los que están en estado normal, es decir desapareados. La densidad de unos y otros depende pues de la temperatura.

## LA TEORÍA BCS

Sus autores: John Bardeen, Leon Cooper y Robert Schrieffer.

La teoría BCS explica el comportamiento de los materiales superconductores a temperaturas próximas al cero absoluto.

Según esta teoría cuando determinados materiales se encuentran a esas temperaturas y sin que estas varíen, los electrones se van a unir en parejas formando pares de electrones “pares de Cooper” que serán los responsables de transportar la carga eléctrica a través de la red molecular sin presentar resistencia eléctrica alguna.

A medida que varíen esas condiciones en el sentido de adquirir energía, la unión de una parte de los electrones se rompe pasando a transformarse en energía cinética y transformando los electrones que estaban agrupados en parejas en electrones libres, mientras que otros continúan



Heike Kamerling.

en forma de pares coexistiendo ambas situaciones dentro del material superconductor. Esta energía se denomina “energía de gap” y como se ha dicho está relacionada con la temperatura.

Esta teoría explica algunos hechos conocidos hasta ese momento y que son: la *existencia de una temperatura crítica*, igualmente la *existencia de una discontinuidad al pasar al estado superconductor* (en este estado su valor es 2,43 veces superior al de su valor normal a la temperatura crítica), *el efecto Meissner* y *el efecto isotópico* descubierto 7 años antes, y según el cual

$$T_c \propto \frac{1}{\sqrt{A}}$$

es decir, para distintos isótopos de un elemento superconductor dado, la temperatura crítica es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del número másico.

El comportamiento de los materiales cerámicos se explica mediante el denominado efecto Josephson.

## EFFECTO JOSEPHSON

El *efecto Josephson* es un efecto físico que se manifiesta por la aparición de una corriente eléctrica por efecto túnel entre dos superconductores separados por una capa de aun medio aislante o un metal no superconductor de algunos nanómetros de espesor. Debido a la estrechez de esta capa, los pares de Cooper y por efecto túnel si van a poder atravesarla guardando además su coherencia de fase.

El descubrimiento de Josephson consiste en comprobar como una corriente eléctrica distinta de cero puede fluir de un bloque a otro a través del aislante sin que sea preciso que exista diferencia de potencial ni campo magnético aplicado entre uno y otro.

Se distinguen dos tipos de efecto Josephson, el efecto *Josephson continuo* (D.C. Josephson effect) y el efecto *Josephson alterno* (A.C. Josephson effect).

El *efecto Josephson alterno* (AC-Josephson) tiene lugar cuando se aplica una *tensión eléctrica continua* a una unión Josephson, generándose una corriente alterna cuya frecuencia es:  $f_{\text{Josephson}} = 2eV/h$ , siendo  $e$  la carga del electrón,  $h$  la constante de Plank y  $V$  la tensión aplicada (1 V produce 483.597,9 GHz).

De manera inversa, al aplicar una radiofrecuencia se genera una tensión eléctrica de valor:  $V = h f \text{Josephson} / 2 e$ . Esta propiedad se emplea, por ejemplo, para elaborar patrones de tensión eléctrica.

En el efecto *Josephson continuo* se manifiesta como un efecto túnel superconductor en el que una corriente continua fluirá a través de la junta túnel en ausencia de voltaje o campo magnético aplicado.

El efecto Josephson continuo se aprovecha en los SQUIDs (Superconducting Quantum Inteference Device) para medir los campos magnéticos.

## SUPERCONDUCTORES DE ALTA TEMPERATURA

Este tipo de superconductividad fue descubierto en 1986 por Karl Alexander Müller y Johannes Georg Bednorz.

Trataron la superconductividad en materiales (óxidos de cobre o cupratos) a temperaturas superiores a 35 K (-238 °C) y más allá del punto de ebullición del nitrógeno líquido (-196 °C). El hallazgo de superconductividad a esta temperatura se produjo en una nueva cerámica, un óxido de bario/lantano/cobre (LaBa)<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub>.

De esta forma se empezaron a diferenciar los superconductores convencionales y los de alta temperatura. Mientras los primeros necesitan helio líquido para enfriarse, los segundos se pueden enfriar con nitrógeno líquido, un refrigerante mucho más accesible y barato y que permitió numerosas nuevas aplicaciones.

Otra característica que los distingue es la *anisotropía* que demuestra que hay planos en lo que se refiere a la estructura atómica que presentan mejor conductividad que otros.

YBCO es la sigla del nombre inglés Yttrium Barium Copper Oxide, que es famoso por ser el primer material des-



*Aleksei Abrikosov saludando al rey de Suecia.*

cubierto mostrando la superconductividad por encima del punto de ebullición del nitrógeno líquido.

Todos los superconductores de alta temperatura son de tipo II y no convencionales.

El YBCO tiene la misma estructura cristalina que la *perovskita*, razón por la cual se dice que tiene *estructura de perovskita*. Téngase en cuenta que, no obstante, la perovskita es un óxido de titanio y calcio, por lo que su composición es bien distinta de la del YBCO: lo único que comparten ambos es la misma estructura cristalina, es decir, la posición relativa en la que están colocados los átomos de que están compuestos.

La síntesis de YBCO a pequeña escala está al alcance de algunos Institutos de Enseñanza Secundaria.

En el 2008, con el descubrimiento de una nueva familia de superconductores a alta temperatura crítica basados en hierro y arsénico (AsFe), llega la segunda gran revolución en el universo de la superconductividad. Los nuevos compuestos, sin cobre

(Cu) y con oxígeno (O), flúor (F) o arsénico (As), amplían las perspectivas de los científicos para resolver incógnitas abiertas en el mundo de la física del estado sólido.

Entre los 10 descubrimientos científicos del año 2008 se incluye esta *nueva familia* de superconductores de alta temperatura, según la revista 'Science'.

## APLICACIONES DE LOS SUPERCONDUCTORES

### *Tren de levitación magnética de alta velocidad*

El transporte de *levitación magnética*, o Maglev (*Magnetically Levitated*), es un sistema de transporte que incluye la suspensión, guía y propulsión de vehículos, principalmente trenes, utilizando un gran número de imanes para la sustentación y la propulsión a base de levitación magnética (sobreelevación sobre el elemento guía).

Dentro de este tipo de transporte, además del tren, se incluyen también las montañas rusas y la propulsión de naves espaciales que actualmente se encuentran en estudio.

Un tren de levitación magnética es un vehículo que viaja suspendido sobre el carril (algunos de estos trenes van a 1 cm por encima de la vía y otros pueden levitar hasta 15 cm) y que se desliza a lo largo del mismo.

Potencialmente *puede alcanzar en vacío la velocidad de 6.400 km/h* pero debido al rozamiento del aire la velocidad registrada hasta ahora es de 581 km/h, logrado en Japón en 2003, aunque se sabe pueden alcanzar los 650 km/h,.

Su principio de funcionamiento se basa en la atracción/repulsión entre dos campos magnéticos:

Sistema *EMS* (electromagnetic suspension): En la parte inferior del tren e inferior también del rail se sitúan unos electroimanes que al circular por ellos una corriente eléctrica sobreelevarán el tren haciendo que este quede en suspensión 1 cm sobre los rieles.

Unos imanes guía (repulsión), situados en la vía y el tren se encargan de centrar la Unidad en los rieles.

«Los trenes magnéticos utilizan un gran número de imanes para la sustentación y propulsión en levitación»



La fuerza de tracción se realiza en ambos lados y simultáneamente mediante imanes electromagnéticos situados en la vía y en los laterales del tren de forma que mientras en un instante determinado una pareja de los citados electroimanes situados en un lateral se repele entre sí, otra ejerce una fuerza de atracción haciendo que el conjunto de ambas impulse la Unidad hacia delante. Añadido a lo anterior, además se hace que en su desplazamiento los imanes vayan cambiando la polaridad lo que permitirá además que el movimiento sea continuado.

El sistema de frenado se realiza mediante electroimanes asistido por frenos aerodinámicos tipo flash. Al reducir su velocidad a 10 Km/hora se desprenden unos patines con un coeficiente de fricción determinado que hace que el tren se detenga.

Este sistema se utiliza en el *Transrapid* de tecnología alemana que presta servicio en China y que hace el recorrido entre Shanghai y el aeropuerto de Pudong transportando pasajeros a lo largo de 30 km en tan solo 7 minutos y 20 segundos, consiguiendo habitualmente una ve-

locidad punta máxima de 431 km/h y una media de 250 km/h en el trayecto.

Su construcción se realizó en el periodo 2001 a 2004, fecha esta última en la que se realiza el primer servicio comercial, siendo el coste aproximado del proyecto 1.000 millones de euros, distribuidos en dos años y medio de línea trazada casi en su totalidad en un alzado de unos ocho metros sobre el nivel del resto de

con la anterior pero que al mismo tiempo resulta más costosa. Este sistema se basa en la propiedad de ciertos materiales superconductores que rechazan cualquier campo magnético que intente penetrar en ellos (efecto Meissner).

La suspensión, por tanto, consiste en que el superconductor rechazará las líneas de campo magnético de manera que no pasen por su interior, lo que provocará

## «El tren transrapid, cuya tecnología es alemana, presta servicio entre Shanghai y el aeropuerto de Pudong»

construcciones urbanas, y en el coste de la infraestructura motriz (locomotoras maglev), sistemas energéticos electromagnéticos de generación, distribución y redundancia, e instalaciones de mantenimiento.

Sistema EDS (electrodinamic suspensión): se trata de una tecnología con la que se puede alcanzar más velocidad que

la elevación del tren. En diversos prototipos de suspensión EDS se ubica un material superconductor a los lados de la parte inferior del vehículo, tal como puede verse en la figura.

Al desplazarse el vehículo a lo largo del carril se inducirá una corriente en las bobinas de este que actuarán entonces

como electroimanes. Al interactuar con los superconductores montados en el tren, se producirá la levitación. La fuerza de levitación será cero cuando el vehículo se encuentre detenido e ira aumentando a medida que vaya creciendo la velocidad del tren hasta producirse la sobre elevación del mismo sobre el carril y consecuentemente las ruedas quedar fuera de servicio.

A la llegada del tren se produce el proceso inverso. A la velocidad de 10 km/h. volverá a descansar de nuevo sobre el carril (de forma voluntaria), sobre ruedas neumáticas y utilizando desde ese momento frenos hidráulicos hasta detenerse. Así pues la velocidad inicial suficiente para sobre elevarse (levitar), se consigue haciéndolo circular inicialmente sobre ruedas y hasta que se produce la elevación del mismo sobre el carril.

En este caso (EDS), la elevación sobre el carril puede sobre elevar (levitar) el tren hasta unos 15 cm lo que supone ciertas ventaja sobre el sistema anterior en cuanto no es necesaria tanta precisión sobre las guías y permite además en los trayectos de curvas compensar la aceleración lateral produciendo menos efecto sobre los viajeros que el anterior.

El sistema de propulsión es el mismo que en el anterior caso.

Como desventajas cabe citar los fuertes campos magnéticos producidos por las bobinas y el elevado coste de superconductores y equipo de refrigeración para mantener éste a tan baja temperatura (Nitrógeno a  $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

El guiado lateral se efectúa en el sistema EMS mediante imanes laterales que actuarán cuando el tren se desplace irregularmente hacia uno de los lados corrigiendo la distancia que más se haya alejado de la vía.

En el sistema EDS son los superconductores y las bobinas de levitación que se encuentran conectadas mediante un lazo los elementos encargados del guiado lateral del tren. Cuando se desplaza lateralmente se induce una corriente en el lazo que obliga al vehículo a centrarse.

Si el tren por alguna causa se hundiese en el carril-guía, éste respondería con un aumento de la fuerza repulsiva, lo cual equilibraría este acercamiento; en contraste con el sistema EMS en el cual la fuerza atractiva aumenta si el vehículo se acerca a la guía.



Walther Meissner.

La regulación de la velocidad del tren se logra, bien regulando la frecuencia de la onda magnética (o sea, variando la frecuencia de la corriente alterna), o bien, variando el número de espiras por unidad de longitud en el estator y el rotor.

Añadir que en este sistema de transporte la energía que mueve al tren no la provee el mismo tren, sino que se suministra a través de las vías, estando activos únicamente los tramos por los que esté circulando el tren.

**SQUIDS** (Superconducting Quantum Interference Devices)

Inventado en 1962. Es un dispositivo superconductor de interferencia cuántica



Karl Alexander Müller.

y una de las primeras aplicaciones comerciales de la superconductividad.

Hay dos tipos de SQUID, DC y RF (o AC). Los SQUIDS RF sólo tienen una *unión de Josephson*, mientras que los SQUIDS DC tienen dos o más. Esto los hace más difíciles y caros de producir, pero también mucho más sensibles.

Una de las aplicaciones más conocida es la *Magnetoencefalografía* (MEG). Esta prueba se realiza mediante un aparato denominado magnetómetro que incorpora varios Squids (entre 100 y 150) dispuestos de forma que rodean simultáneamente sin contacto físico con la cabeza del sujeto o paciente.

El método se basa en la captación del campo magnético que sale del cerebro al exterior a través del cráneo (el campo eléctrico es retenido por la materia orgánica), permitiendo así investigar las relaciones entre las estructuras cerebrales y sus funciones.

La señal es analizada por un ordenador donde aparece la imagen del encéfalo, obtenida mediante resonancia magnética, y sobre ella se observan las regiones encefálicas que poseen una gran actividad eléctrica.

La capacidad de la MEG, tanto en análisis como en organización de la información recibida, es tan grande que permite valorar en milisegundos la actividad cerebral y organizar mapas funcionales cerebrales con delimitación de la estructura cerebral en espacio de pequeños centímetros, e incluso, milímetros cúbicos. Esto permite generar mapas funcionales de la actividad cerebral capaces de ser organizados y representados temporal y espacialmente.

En particular la MEG registra la actividad postsináptica generada por las dendritas apicales de las células piramidales cuya justificación desde el punto de vista neurofisiológico la podemos encontrar en los potenciales postsinápticos (PPS) que son potenciales con una cinética más lenta, durando entre 10 y más de 100 ms. Los PPS originan la actividad neuromagnética de baja frecuencia (entre 10 y 100 Hz).

Comparándola con técnicas que estudian o miden procesos bioeléctricos como la Electroencefalografía (EEG), la cual tiene una resolución temporal cercana a la MEG, pero la resolución espacial

es muy limitada. Por otro lado, las señales registradas por la EEG se ven afectadas por los diferentes grados de resistencia de los tejidos que traspasan hasta alcanzar el electrodo externo, lo que conlleva dificultades e imprecisiones al interpretar la localización de las diferentes fuentes cerebrales generadoras de la señal electroencefalográfica. Por el contrario la MEG registra la actividad eléctrica primaria, cuyos campos magnéticos asociados no sufren problemas de atenuación, distorsión o modificación de la conductividad.

Así pues, el elemento diferencial de la MEG es que aporta una medida directa de la actividad electromagnética neuronal, combinando una resolución temporal de milisegundos (en tiempo real) con una resolución espacial de milímetros.

## LA PRODUCCIÓN DE GRANDES CAMPOS MAGNÉTICOS:

*Resonancia Magnética.* Un ejemplo de la aplicación de estos grandes campos magnéticos son los equipos de *resonancia magnética* que se utilizan habitualmente en investigación, hospitales y centros de diagnóstico.

Explicado de una forma muy simple, la RMN consiste en orientar el momento magnético de ciertos átomos (hidrógeno) en la dirección de un campo magnético constante aplicando una emisión de radiofrecuencia a su frecuencia de resonancia para orientar su momento en un sentido distinto del inicial. Al cesar el impulso, los átomos van a liberar energía en forma de onda de radiofrecuencia (relajación) que se capta desde el exterior mediante una antena.

Finalmente y mediante un sistema informático se transforman las señales pro-

venientes de cada volumen elemental de la zona en una escala de grises, según la intensidad de emisión de la señal de radiofrecuencia en el proceso de relajación.

Se aplica en estudios del *sistema nervioso central* (detección de tumores del cerebro o metástasis cerebrales selectivas, así como de enfermedades desmielinizantes como la esclerosis múltiple, malformaciones arteriovenosas y aneurismas o dilataciones de los vasos sanguíneos cerebrales, alteraciones congénitas y adquiridas del SNC y lesiones o enfermedades de la médula espinal, entre otras.

*Sistema músculo-esquelético* (buenas posibilidades en la detección de alteraciones de los meniscos, ligamentos, tendones y cartílagos de las grandes articulaciones como la rodilla, el hombro, el tobillo o la cadera. En el estudio de los tumores del esqueleto y de las partes blandas (músculos, etc.) también ha demostrado ventajas respecto a otras técnicas.

*Abdomen* (lesiones del hígado, bazo, páncreas, glándulas suprarrenales, riñones y órganos de la pelvis como los órganos ginecológicos, la vejiga de la orina o la próstata) y *tórax* (bronquios, pulmones, corazón y grandes vasos).

En su conjunto, la RMN presenta ventajas importantes sobre otras técnicas de imagen. *No utiliza radiaciones ionizantes*, permite la obtención de imágenes en todos los planos del espacio y alcanza un gran contraste entre los tejidos corpo-

rales, mayor que el obtenido con cualquier otra técnica de imagen. Esta última característica permite diferenciar unos tejidos de otros, caracterizar tejidos y lesiones y determinar con precisión su extensión.

*Aceleradores de partículas.* Dispositivos que utilizan campos electromagnéticos para acelerar partículas (electrones, iones o protones) cargadas y a muy altas velocidades hacerlas colisionar con otras, generando así otras nuevas generalmente inestables y de muy corta duración

El LHC utiliza materiales superconductores (Niobio y Titanio a  $-271\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) para generar los campos magnéticos lo que implica una instalación de dimensiones más pequeñas y un consumo además más reducido.

*Magnetómetros superconductores.* El desarrollo de magnetómetros de alta sensibilidad por interferencia cuántica (SQUID) está basado en las uniones Josephson superconductor-aislante superconductor.

Éste demostró, como se ha dicho, que los pares superconductores podían atravesar la zona aislante, si ésta era suficientemente delgada, por efecto túnel con una diferencia de potencial nula. Además se mantiene la coherencia de fase en ambos lados.

Los SQUID llevan utilizándose ininterrumpidamente desde los años 60 en multitud de aplicaciones:

Comprobación no destructiva de tuberías y puentes (la fatiga del metal produce una firma magnética peculiar),

Paleomagnetismo, sensores geológicos para prospecciones petrolíferas, etc.

Dentro de estos y con resoluciones de 10-21 Wb, en diagnóstico médica, detección submarina ó de movimiento ó evaluación de materiales.

*Separación magnética.* Es un proceso utilizado para concentrar minerales que poseen diferencias en su susceptibilidad

## «Un ejemplo de la aplicación de los superconductores son los equipos médicos de resonancia magnética»

## «Esta tecnología médica es muy útil para el estudio del sistema nerviosos central y la detección de tumores»



magnética, es decir, que responden en forma diferente ante la aplicación de un campo magnético.

La selectividad de la separación magnética está determinada por el balance de las fuerzas que interactúan sobre cada una de las partículas a separar, estas son: Fuerza magnética, Fuerza de gravedad, Fuerza centrífuga, Fuerzas hidrodinámicas, Fuerzas interparticulares (de atracción o repulsión).

Se utiliza en la industria del caolín, para separar sustancias magnéticas de la arcilla (materiales paramagnéticos y materiales ferromagnéticos). Para separar para la limpieza magnética selectiva del carbón, o sea, separación de sustancias minerales de sustancias orgánicas.

*Limpieza de aguas contaminadas.* por medio de campos magnéticos se pueden separar las impurezas que al estar disueltas en agua quedan ionizadas y al fluir a través de un campo magnético pueden ser desviadas por éste y ser apartadas del agua.

## OTRAS APLICACIONES

*Cables de superconductores de alta temperatura* HTS (High-Temperature Superconductor). Son cables de transporte de la electricidad que se enfrían con nitrógeno líquido para conseguir la propiedad de la superconductividad, lo que les permite tener un precio asequible para proyectos industriales, obras públicas e investigación.

Añadido a lo anterior, decir que presentan una resistencia eléctrica casi nula a su temperatura de funcionamiento de aproximadamente  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pueden transportar corrientes más altas con secciones considerablemente reducidas en relación a los cables clásicos en aluminio o cobre. Pueden transportar cinco veces más potencia eléctrica que los cables actuales (Nexans) en un espacio cinco veces inferior, sin emitir campos electromagnéticos, ni calor, permitiendo situar las diferentes fases más cerca unas de otras, lo que se traduce en más espacio subterráneo para ser usado con más eficacia.

## CONCLUSIONES

Actualmente, el objetivo sigue siendo conseguir materiales superconductores a temperatura ambiente, lo que haría posible ampliar enormemente su uso en distribución de electricidad y en otras áreas como Tecnología y Electrónica, que en su conjunto probablemente harían cambiar significativamente nuestras vidas.

Consiguientemente se trataría de conseguir materiales superconductores con la mayor temperatura crítica posible, mayor campo magnético crítico posible, mayor densidad de corriente crítica posible, mayor estabilidad y facilidad de fabricación posible y todo ello con un coste mínimo. ●

## BIBLIOGRAFÍA

### Direcciones y Bibliografía utilizadas:

<http://www.wikipedia.org/>  
[http://www.unizar.es/icma/divulgacion/pdf/pdflevitsupercon.pdf\\_técnica](http://www.unizar.es/icma/divulgacion/pdf/pdflevitsupercon.pdf_técnica)  
<http://www.biblioteca.org.ar/libros/90080.pdf>  
<http://www.monografias.com/trabajos82/materiales-superconductores/materiales-superconductores2.shtml#tipodemata>  
<http://fundamental.fis.ucm.es/trabajosFinMaster/trabajos0809/jonathan-correa.pdf>  
[http://www.investigacionyciencia.es/Archivos/06-07\\_Vicent.pdf](http://www.investigacionyciencia.es/Archivos/06-07_Vicent.pdf)  
<http://usuarios.fceia.unr.edu.ar/~fisica3/MagLev.pdf>  
<http://www.transrapid.de/>  
[http://biologiaemocional.blogspot.com/2011/09/la-magnetoencefalografia-como-tecnica\\_02.html](http://biologiaemocional.blogspot.com/2011/09/la-magnetoencefalografia-como-tecnica_02.html)  
<http://genaltruista.com/notas2/g111077.pdf>  
<http://www.textoscientificos.com/fisica/superconductividad/almacenamiento-energiahttp://www.hola.com/salud/enciclopedia-salud/2010050145472/deporte-ejercicio/lesiones-deportivas/resonancia-magnetica-nuclear-rmn/1/>  
[http://www.tecnun.es/asignaturas/PFM\\_Mat/Prog/Supercv2.pdf](http://www.tecnun.es/asignaturas/PFM_Mat/Prog/Supercv2.pdf)  
<http://www.nexans.es/>

### Libros:

#### Ingeniería e Infraestructura de los Transportes

Autor: Daniel Álvarez Mántaras y Pablo Luque Rodríguez

#### Superconductividad

Autores: Miguel Ángel Alario Franco y Jose Luis Vicent.

Editorial: Eudema

### Videos:

[http://www.dailymotion.com/video/x797n2\\_magnetoencefalografia-meg\\_school](http://www.dailymotion.com/video/x797n2_magnetoencefalografia-meg_school)  
[http://www.youtube.com/watch?feature=player\\_embedded&v=IT-mVT-ORww#](http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=IT-mVT-ORww#)

### Agradecimientos:

Agradecimiento al doctor Rafal Nowak por su aportación en la parte de Magnetoencefalografía.

# DÍA INTERNACIONAL DE CONCIENCIACIÓN SOBRE EL RUIDO 2012



*“Cuidemos el  
ambiente  
sonoro que  
nos rodea”*

Miércoles, 25 de abril de 2012



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE FOMENTO

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN  
Y MEDIO AMBIENTE



CONSEJERÍA DE EDUCACIÓN  
Comunidad de Madrid



Consejo Estatal de  
Regulación de Telecomunicaciones

[www.sea-acustica.es](http://www.sea-acustica.es)