

Elaborado por:  
Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón (ICMA)



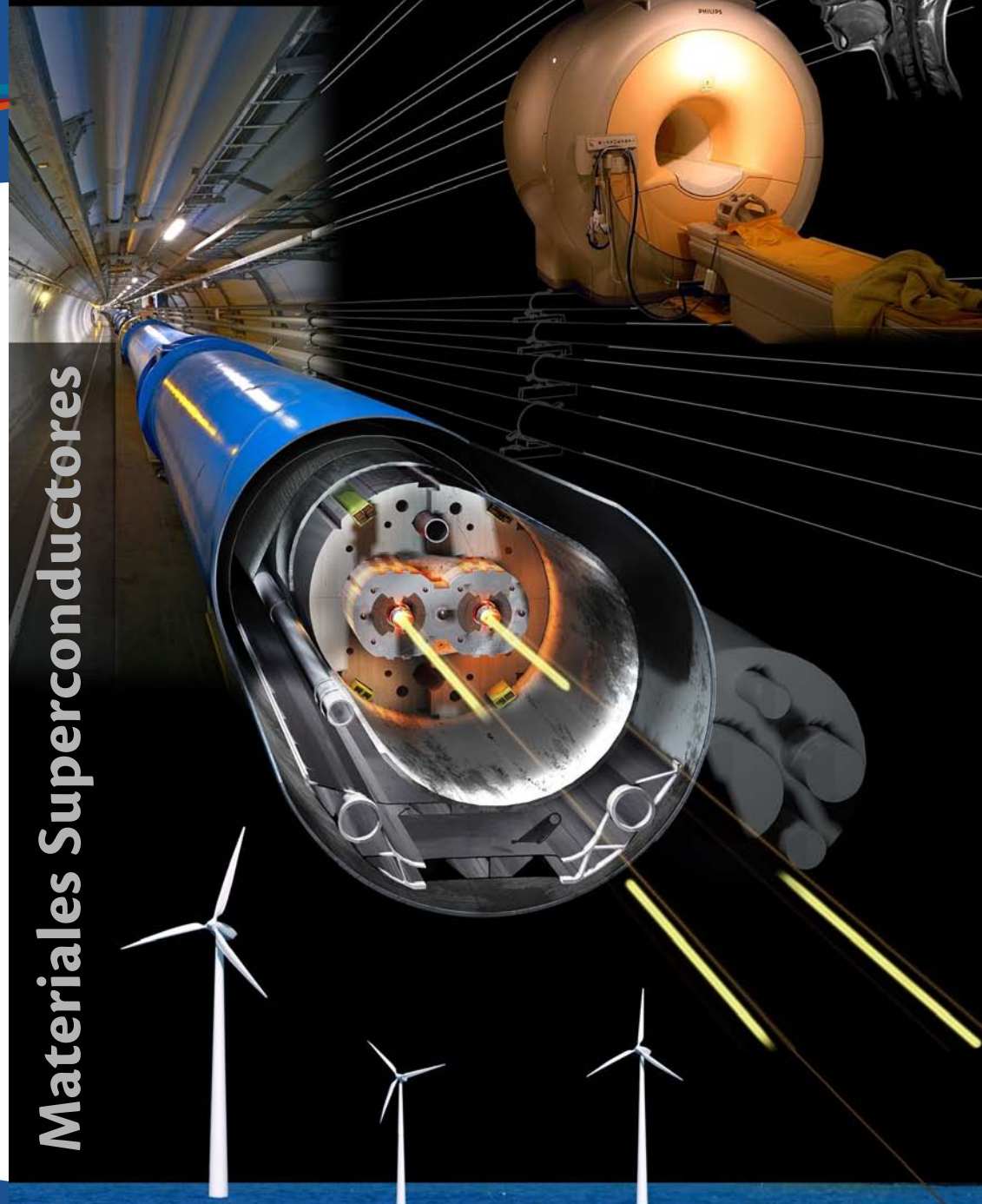
Sede Campus Plaza San Francisco  
Facultad de Ciencias  
Pedro Cerbuna, 12  
50009 Zaragoza

Sede Campus Río Ebro  
Edificio Torres Quevedo  
María de Luna, 3  
50018 Zaragoza

Teléfono: 976 761231  
Fax: 976 762453  
<http://www.icma.unizar-csic.es>



Financiado por:



Materialles Superconductores

## Un poco de Historia...

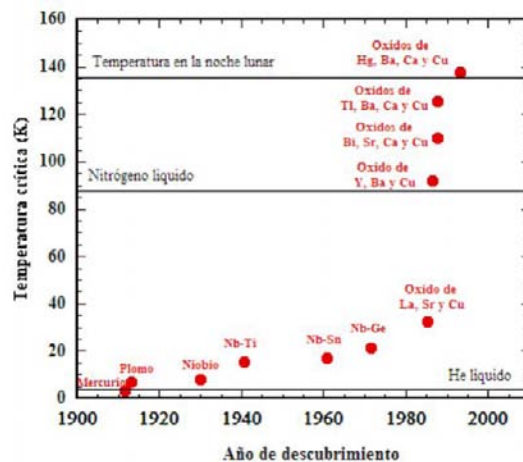


Autorretrato de Kamerlingh Onnes.  
AIP Emilio Segre Visual Archives.

H. Kamerlingh Onnes, tras licuar helio por primera vez en 1908, dedicó su laboratorio de la Universidad de Leiden (Holanda) a la medida de las propiedades de la materia desde  $-271\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-259\text{ }^{\circ}\text{C}$ . La medida de la resistencia eléctrica era una de las que más le interesaban y en 1911 observó que la del mercurio desaparecía por debajo de una cierta temperatura crítica. Al poco tiempo tras verificar el fenómeno en plomo y estaño fue consciente de que se trataba de un nuevo comportamiento de la materia, acababa de descubrir la superconductividad. Por su labor en la investigación a bajas temperaturas obtuvo el Premio Nobel de Física en 1913.

En 1957, J. Bardeen, L. Cooper y R. Schrieffer enunciaron su teoría, conocida como BCS, que por primera vez explicó casi todas las propiedades de los materiales superconductores y mereció el Premio Nobel de Física en 1972. La teoría BCS postula que, en el estado superconductor, hay una interacción atractiva entre electrones a través de las deformaciones de la red metálica que los acopla formando parejas (pares de Cooper). Estas parejas son capaces de transportar corriente sin que aparezca resistencia eléctrica.

En 1986, J.C. Bednorz y K.A. Müller descubrieron superconductividad en materiales cerámicos y a temperaturas superiores al límite de la teoría BCS. Este resultado les valió el Premio Nobel de Física en 1987 e inició una revolución en el campo ya que rápidamente se encontraron materiales capaces de trabajar a temperaturas superiores a la de ebullición del nitrógeno líquido ( $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), que permite enfriarlos con mucha más facilidad y economía. Estas familias de materiales, que reciben el nombre de superconductores de alta temperatura, SAT, han logrado incrementar el interés tecnológico.



Evolución del récord de temperaturas críticas en los materiales superconductores.

## ¿Qué hacemos en el ICMA?

### Fabricación y caracterización de superconductores para aplicaciones eléctricas

Se trabaja en el desarrollo de materiales superconductores para aplicaciones eléctricas. Se fabrica el material, se estudian sus propiedades eléctricas, magnéticas y térmicas y se realizan simulaciones numéricas para predecir su comportamiento.

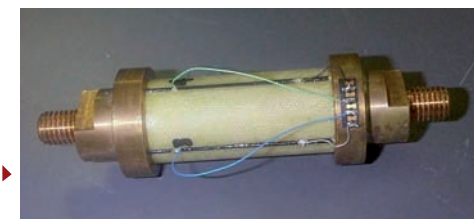
Se utilizan técnicas de fusión zonal inducida con láser para fabricar barras y recubrimientos de materiales superconductores de alta temperatura. Con esta tecnología se han fabricado barras de 1 mm de diámetro con las que es posible transportar más de un centenar de amperios en nitrógeno líquido.

También se han fabricado hilos con la técnica de polvo en tubo que consiste en rellenar un tubo metálico con polvo superconductor y trefilarlo y laminarlo manteniendo un alma superconductora en su interior.



◀ Cortes con láser sobre un superconductor texturado para formar meandros para un limitador resistivo de corriente.

▶ Prototipo de barra de alimentación de 600 A desarrollada en el ICMA



### Bobinas superconductoras

El ICMA colaboró en el diseño, fabricación y puesta en funcionamiento de la primera bobina superconductora solenoidal fabricada en España.



### Utilización de superconductores en metrología

El ICMA ha desarrollado un patrón de voltaje basado en el efecto Josephson, un efecto que aparece en uniones débiles entre dos superconductores, y que mejora 1000 veces la precisión de los patrones anteriores. Posteriormente se ha realizado un patrón de resistencia basado en el efecto Hall cuántico que utilizaba una bobina superconductora y un comparador criogénico de corriente basado en detectores SQUID.

### Sensores superconductores

En la actualidad se trabaja en el desarrollo de nuevos detectores de rayos X basados en superconductores. Una de sus posibles aplicaciones serán los nuevos telescopios de rayos X que la Agencia Espacial Europea planea poner en órbita en el futuro.



# Algunas aplicaciones de los superconductores

Los materiales superconductores se encuentran en la base de muchas aplicaciones de nuestra sociedad. Entre ellas podemos citar:

## Generar y conducir corrientes eléctricas con pérdidas de energía muy bajas

Los cables superconductores pueden transportar corriente continua sin pérdidas. Trabajando con corriente alterna siempre hay pérdidas de energía pero son órdenes de magnitud más bajas que en el caso de los conductores convencionales de cobre o aluminio.

Cable superconductor fabricado por Sumitomo. Cortesía de SuperPower, Inc.



Conexiones de un cable superconductor instalado en Long Island. Cortesía de American Superconductors

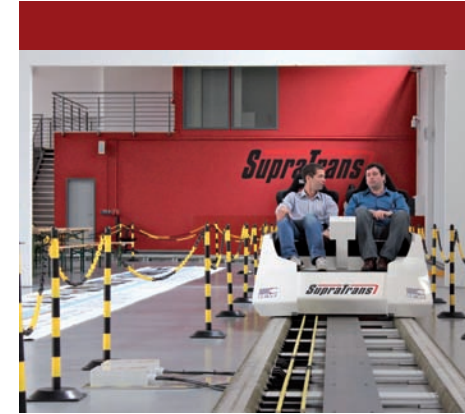
En diferentes lugares se han empezado a instalar cables superconductores en la red eléctrica. Con ellos es posible transportar la misma potencia con menores secciones y costes energéticos lo que beneficia al medio-ambiente.

Se están diseñando máquinas eléctricas mucho más pequeñas y ligeras. Ello ha abierto, por ejemplo, la posibilidad de diseñar motores superconductores para la propulsión de barcos o su uso en aerogeneradores.

## Nuevos sistemas de transporte

Los altos campos magnéticos que se pueden generar con superconductores ha permitido construir trenes que levitan y que alcanzan velocidades de hasta 580 km/h puesto que desaparece el rozamiento con la vía. Se ha previsto que la primera línea comercial entre en servicio en 2025 entre Tokyo y Osaka.

En otros casos, se está utilizando la capacidad de levitar un superconductor sobre un imán para construir vehículos que se desplazan levitando sobre un circuito de imanes permanentes.



Vehículo basado en la levitación de superconductores. Cortesía de Evico GmbH/IFW Dresden.

## Diseño de nuevos dispositivos electrónicos

Los materiales superconductores se utilizan en diferentes dispositivos electrónicos de altas prestaciones. Los más comunes son los llamados SQUID, que permiten detectar campos magnéticos muy pequeños y se utilizan en instrumentos científicos de precisión para la medida de diversas magnitudes.

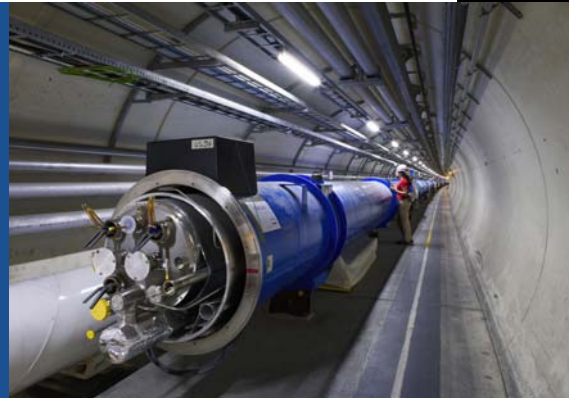
Son capaces de detectar los campos magnéticos inducidos por las transmisiones entre grupos de neuronas del cerebro y se han comenzado a utilizar para obtener magneto-encefalogramas.



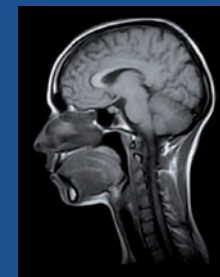
Circuito electrónico mostrando un SQUID.

## La producción de grandes campos magnéticos:

El hecho de que por hilos superconductores de menos de un milímetro de diámetro puedan circular cientos de Amperios sin pérdidas, los hace ideales para construir y operar bobinas para generar campos magnéticos muy intensos (superiores a 2 Teslas). Esta característica es la que permite su utilización en los equipos de resonancia magnética nuclear instalados en los hospitales o los grandes imanes empleados en aceleradores de partículas como el LHC del CERN.



Anillo del Large Hadron Collider del CERN. Cortesía del CERN.



Resonancia de la cabeza de una persona.



Sistema de resonancia magnética nuclear fabricado por Philips.

## Demostrador de levitación con superconductores

El ICMA ha construido un demostrador que ayuda a entender los procesos de anclaje de flujo que aparecen en los superconductores tipo II y que rigen la levitación.

En un primer experimento se trabaja con tres bloques superconductores de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  con grandes granos orientados. Por debajo de  $-179^\circ\text{C}$  es un superconductor tipo II. Uno se enfría sin ningún imán encima y los otros dos con imanes colocados a diferentes alturas sobre ellos. Mientras se mantengan por debajo de su temperatura crítica los superconductores mantendrán el campo magnético que tenían en su interior en el momento que se enfriaron. El primero repelerá cualquier imán que se quiera acercar y en los otros dos casos los imanes que estaban inicialmente sobre el superconductor podrán levitar sobre el mismo.



Kit de levitación desarrollado por el ICMA mostrando la levitación y la suspensión de un superconductor en un campo magnético.



Estas propiedades se han utilizado para construir una vía para un tren y para un teleférico superconductor. Las vías están fabricadas con imanes de Nd-Fe-B y en el fondo de la máquina hay dos pastillas superconductoras. Si el sistema se enfría separado unos milímetros sobre la vía, podrá permanecer levitando o suspendido sobre la misma.

Como la configuración de imanes es la misma a lo largo de la vía, cualquier punto es equivalente y el vehículo puede desplazarse libremente sin ningún tipo de rozamiento con la vía.

## Pero ... ¿qué es la superconductividad?

### RESISTENCIA CERO

Al circular una corriente eléctrica por un hilo conductor se calienta, como lo demuestra el cambio de color en las resistencias de las estufas o de los filamentos de las bombillas. Este fenómeno llamado efecto Joule, se debe a la resistencia eléctrica y se produce porque los electrones cuando se mueven chocan con los átomos del material. En un superconductor, los electrones forman pares de Cooper que se desplazan a través del material sincronizados entre sí y a las oscilaciones de los átomos, lo que les permite transportar la corriente eléctrica sin que aparezca resistencia.



Hilo de una bombilla de incandescencia calentado al rojo vivo por el paso de corriente. Foto de John C. Shaw.

### EFFECTO MEISSNER

Un superconductor no sólo es capaz de transportar corrientes eléctricas sin resistencia, sino que también puede apantallar campos magnéticos, fenómeno que se conoce como efecto Meissner. Todos los superconductores pueden apantallar completamente el campo magnético, hasta un cierto valor llamado campo crítico. Algunos pasan al estado normal con valores muy bajos del campo, son los superconductores tipo I. En otros, llamados del tipo II, el campo magnético, a partir de un cierto campo crítico inferior, penetra en su interior a través de delgados tubos en estado normal que contienen un flujo magnético cuantificado mientras que el resto sigue siendo superconductor y se mantiene como tal hasta alcanzar un campo crítico superior que puede ser millones de veces superior al campo magnético terrestre.

