



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

## **DISEÑO OPERACIÓN Y PROTECCIÓN DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES: “INFLUENCIA DE LOS SUPERCONDUCTORES EN LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS”**

**T R A B A J O   D E   S E M I N A R I O  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A:  
JOSÉ ANTONIO ACOSTA RAMÍREZ**

ASESOR: M.I. BENJAMIN CONTRERAS SANTACRUZ



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: José Antonio

Acosta Ramírez

FECHA: 08/11/03

FIRMA: [Firma]



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
 FACULTAD DE ESTUDIOS  
 SUPERIORES-CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE  
 EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
 PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
 Jefe del Departamento de Exámenes  
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:

Diseño operación y protección de instalaciones eléctricas industriales.

"Influencia de los Superconductores en las Instalaciones Eléctricas".

que presenta el pasante: José Antonio Acosta Ramírez

con número de cuenta: 9950046-9 para obtener el título de:

Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO.

ATENTAMENTE  
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx a 05 de agosto de 2004

MODULO	PROFESOR	FIRMA
<u>I</u>	<u>M. I. Benjamín Contreras Santacruz</u>	<u>[Firma]</u>
<u>II</u>	<u>M. C. Ricardo Ramírez Verdeja</u>	<u>[Firma]</u>
<u>III</u>	<u>Ing. María de la Luz González Quijano</u>	<u>[Firma]</u>

## AGREDECIMIENTOS

Agradezco a todas aquellas personas que me ayudaron a desarrollar el presente trabajo, que me apoyaron en todo momento y me dieron ánimos para seguir adelante, al M.I. Benjamín Contreras Santacruz por sus consejos y su tiempo que me brindó, Dr. Tatsuo Akachi Miyazaki por las facilidades que me brinda, así como sus puntos de vista. y al Instituto de Investigación en Materiales de la Facultad de Ciencias de la UNAM. A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por haberme brindado una educación.

## DEDICATORIAS

A Dios, A mis Padres, Hermanas, Familia y Amigos que siempre están en esos momentos especiales y difíciles.

A mi Padre, que me a enseñado mucho, y gracias a el sigo adelante...

A mi Madre que me brinda su apoyo y confianza incondicional...

A mis Hermanas que siempre están cuando las necesito...

A mi Familia que es una parte importante de mi vida...

Para mis Amigos que siempre cuento con ellos...

A todos, de verdad muchas gracias, los quiero son la razón por la que me esfuerzo día a día a ser mejor. Los quiero.

## INDICE

	Página
Introducción.	I
Problemática.	II
Objetivos.	II
Índice.	III
 <b>CAPITULO I HISTORIA DE LOS SUPERCONDUCTORES</b>	
1.1 Descubrimiento de la superconductividad.	1
1.2 Efecto Meissner – Oschenfeld.	6
1.3 La teoría BCS.	10
1.4 Pares de Cooper.	11
 <b>CAPITULO II APLICACIÓN DE LOS SUPERCONDUCTORES</b>	
2.1 Aplicaciones de la superconductividad.	13
2.2 Propiedades deseadas para la aplicación de superconductores.	14
2.3 Aplicaciones de los electroimanes superconductores.	15
 <b>CAPITULO III INVESTIGACIONES SOBRESALIENTES</b>	
3.1 En México.	21
3.2. En el extranjero.	26
 <b>CAPITULO IV PERSPECTIVAS FUTURAS EN LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS</b>	
4.1 Transformadores.	34
4.2 Generadores y Motores.	35

## INDICE

4.3 Limitadores de corriente.	36
4.4 Cables superconductores.	36
4.5 Almacenamiento de energía.	37
4.6 Semiconductores para su uso en electrónica de potencia.	38
4.7 Transporte eléctrico.	39
CAPITULO V CONCLUSIONES	41
CAPITULO VI ANEXOS	
6.1 Materiales superconductores	43
6.2 Fabricación de una pastilla superconductora	50
6.3 Mejoramiento de materiales haciendo uso de la nanotecnología	51
BIBLIOGRAFÍA	55

## INTRODUCCIÓN

En el siglo XIX una de las grandes inquietudes de los científicos era lograr la licuefacción de los gases conocidos en ese momento y así estudiar los fenómenos que se presentaban en los materiales a temperaturas muy bajas. Fue hasta 1908, cuando Heike Kamerlingh Onnes pudo por primera vez obtener helio líquido, a una temperatura de ebullición de 4.22° K (-273.16° C).

Onnes selecciono como objeto de sus investigaciones de bajas temperaturas a la resistencia eléctrica de los metales, ya que esta se podría medir con relativa facilidad a cualquier temperatura, y también, por que el tema de la resistividad eléctrica de los metales era ya de considerable importancia.

El primer metal con el que se trabajo fue el mercurio, ya que era el metal que se podía conseguir con más pureza. Los estudios de Onnes arrojaron importantes descubrimientos, estos eran, que las propiedades eléctricas del metal cambiaban con forme disminuía su temperatura, notó que la resistividad no disminuía de manera continua como se creía si no que desaparecía abruptamente a una temperatura de 4.15° K de igual forma notó que su comportamiento no se alteraba si introducía impurezas en la muestra de mercurio, a este estado que encontró en el que la resistividad eléctrica es nula le llama "estado superconductor" sus descubrimientos le valieron el premio Nóbel de física en 1913.

Una vez descubiertos los superconductores, las investigaciones en ellos se multiplicaron, encontraron que por sus características existen dos tipos de conductores: superconductores tipo I y superconductores tipo II, cada uno con características y propiedades diferentes.

A lo largo del desarrollo de los superconductores se ha tenido una gran expectativa por los alcances que pueden llegar a tener estos, en aplicaciones, médicas, militares, comunicaciones e instalaciones eléctricas, entre otras, estas últimas de importancia en el presente trabajo, las cuales trataremos, comentaremos y al final discutiremos y propondremos su comportamiento en un futuro no muy lejano y que es muy prometedor.

Ejemplo de esto son las cantidades de dinero y recursos que invierten las empresas privadas así como los gobiernos más importantes del mundo, para llegar a utilizar los superconductores en medios de transporte masivos, electroimanes, transformadores, generadores, motores entre otras aplicaciones que revisaremos a lo largo de este trabajo.

## PROBLEMÁTICA

El problema teórico que abordaremos en el siguiente trabajo será analizar el desarrollo de los superconductores en las instalaciones eléctricas, comprenderlo y con estas bases hacer una propuesta de la influencia que tendrán en un futuro, así como sus alcances y limitaciones que pueden llegar a encontrar.

## OBJETIVOS

### GENERAL:

- Analizar la influencia de los superconductores en las instalaciones eléctricas.

### ESPECIFICOS:

- Evaluar la viabilidad del uso de superconductores en instalaciones eléctricas.
- Impacto en el medio ambiente por el uso de superconductores.

## CAPITULO I

### HISTORIA DE LOS SUPERCONDUCTORES

#### 1.1 DESCUBRIMIENTO DE LA SUPERCONDUCTIVIDAD.

El descubrimiento de la superconductividad es uno de los más importantes de los últimos años para la ciencia y data desde el año de 1845 cuando Michael Faraday perfecciona su técnica para licuar gases, pero la cual tiene la desventaja de que no es útil para el helio, hidrogeno, oxígeno, nitrógeno, metano, monóxido de carbono ni el óxido nítrico, por lo tanto el aire tampoco podía ser licuado.

Fué en 1877 cuando el francés Luis Gailletet fue el primero en licuar el oxígeno a una temperatura de  $90.2\text{ }^{\circ}\text{K}$  ó  $-182.96^{\circ}\text{C}$ ; lo cual dio lugar a poder licuar el helio. Para 1898 James Dewar pudo licuar el hidrógeno.

Fue trece años después, en 1911, cuando Heike Kamerlingh Onnes (Fig. 1) en la Universidad de Leyden, Holanda; pudo por primera vez en el mundo obtener helio líquido a una temperatura de  $4.22\text{ }^{\circ}\text{K}$ . Con su descubrimiento Onnes dispuso de un baño térmico a muy bajas temperaturas y se propuso investigar las propiedades de la materia a esas temperaturas. Como objetivo de sus investigaciones fijó "la resistividad eléctrica de los metales a bajas temperaturas". Debido a que esta medición se podía realizar con cierta facilidad a cualquier temperatura, y por la importancia que tenía la resistividad eléctrica de los metales en esa época.

Con los primeros materiales que Onnes comienza a trabajar se encuentra el platino, lo cual le arroja lo siguiente, la resistencia del material disminuye linealmente, disminuyendo la temperatura, hasta un cierto valor donde la temperatura permanece constante, esta resistencia es conocida como residual, y es originada por la impurezas del metal.

En aquella época se sabía que los metales tenían una resistividad que disminuía de manera prácticamente lineal con la temperatura hasta unos  $20^{\circ}$  Kelvin, y se quería saber

que ocurría con esta resistividad en las proximidades del cero absoluto: ¿Seguía decreciendo linealmente? ¿Tendía, quizás, a un valor constante? O bien ¿Se remontaría hacia valores muy elevados, característicos de un comportamiento aislante en vez de conductor? Kamerlingh Onnes se dio cuenta muy pronto de que era necesario disponer de metales muy puros, si quería obtener resultados libres de toda ambigüedad. Eligió el mercurio, elemento que puede conseguirse con un alto grado de pureza mediante sucesivas destilaciones y que además es conductor en estado metálico. De este modo, y enfriando el mercurio a muy baja temperatura, pudo observar un fenómeno nuevo y totalmente inesperado: a una temperatura de 4.2 °K, el mercurio pasaba bruscamente a un estado en el que, repentinamente, no ofrecía resistividad alguna al paso de la corriente eléctrica. Esta transición se manifestaba por una caída muy brusca de la resistividad. De igual forma notó que el mercurio impuro observaba el mismo comportamiento. Kamerlingh Onnes había descubierto la superconductividad. Donde su principal característica era la de tener resistencia óhmica cero; a la temperatura donde se observa el valor de resistencia igual a cero se le denomina temperatura crítica ( $T_c$ ). Por encima de esta temperatura, al material se lo conoce como normal, y por debajo de  $T_c$ , se dice que es superconductor. Estudios posteriores revelaron que otros materiales como el plomo y el estaño eran también materiales superconductores. Su descubrimiento de la superconductividad le valió el premio Nobel de Física en 1913.



Fig 1. Kamerlingh Onnes.

Kamerlingh Onnes descubrió otra propiedad importante de los superconductores, cuando el metal se coloca en un campo magnético suficientemente fuerte, la superconductividad se destruía, mas sin embargo reaparecía cuándo se quitaba el

campo. En la figura 1.2 se muestra este efecto. El campo magnético mínimo para destruir la superconductividad se denomina campo crítico ( $H_c$ ).

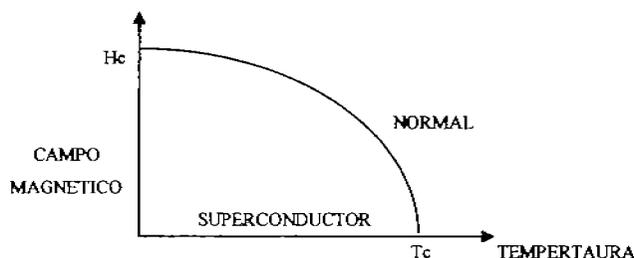


Fig. 2. Efecto del campo magnético al disminuir la temperatura en un material

Como se muestra en la figura 2 la curva  $H_c$ - $T_c$  divide el plano en dos regiones una para el estado superconductor y otra para el estado normal de los materiales estudiados por Onnes, lo que muestra las siguientes características:

- ◆ La pendiente es negativa
- ◆ La pendiente cuando  $T = T_c$ , con  $H_c = 0$  es finita
- ◆ La pendiente cuando  $T = 0$  es cero.

Heike Kamerlingh Onnes observó que a cualquier temperatura  $T$ , tal que  $T < T_c$  el estado superconductor podía ser destruido por la aplicación de un campo magnético con intensidad mayor que cierto campo magnético crítico. Por otro lado, también notó que a cualquier temperatura  $T < T_c$  en ausencia de un campo magnético, el estado superconductor podía destruirse aumentando la corriente por arriba de un valor crítico y, asimismo, que la temperatura de transición superconductor,  $T_c$  disminuía cuando la corriente que pasaba por el superconductor crecía. Los efectos de las corrientes eléctricas y de los campos magnéticos sobre el estado superconductor no son ajenos entre sí, ya que la disminución del valor de  $T_c$  con el aumento de la corriente, se debe al campo magnético que la corriente produce.

Experimentalmente se encuentra que el valor del campo crítico depende de la temperatura, cayendo de un valor  $H_0$ , a temperaturas muy bajas, hasta un valor de cero para la temperatura de transición  $T_c$ . Los datos experimentales revelan que la variación

del campo crítico con la temperatura queda bastante bien descrita (dentro de 2% o 3%) por una parábola de la forma:

$$H_c = H_0 \left[ 1.0 - \left( \frac{T}{T_c} \right)^2 \right] \quad (1)$$

donde  $H_c$  es el campo magnético crítico y  $H_0$  es el campo crítico extrapolado al cero absoluto. Cada material puede ser caracterizado por sus valores de  $T_c$  y de  $H_0$  y, conociendo éstos, se puede utilizar la ecuación (1) para encontrar el campo crítico a cualquier temperatura.

Es de hacer notar que las curvas experimentales de la variación del campo crítico con la temperatura no son exactamente parábolas y para describirlas de una manera más precisa de la ya señalada se requeriría un polinomio en potencias de la temperatura, que en general es de grado diferente de 2. Para la mayoría de los cálculos es suficiente con utilizar la ecuación (1).

<i>Sustancia</i>	<i>H<sub>0</sub> (Gauss)</i>
Ir	20
Cd	30
Ga	51
Zn	53
Os	65
Ru	66
Al	99
Th	168
Tl	171
Re	199
In	293

Sn	309
Hg ( fase $\beta$ )	340
Hg ( fase $\alpha$ )	411
Pb	803
Ta	830
W	1070
V	1370
Te	1410
La	1600
Nb	1944
U	2000
V <sub>3</sub> Ga	20.8 x 10 <sup>4</sup>
V <sub>3</sub> Si	17.10 x 10 <sup>4</sup>
Nb <sub>3</sub> Sn	18.30 x 10 <sup>4</sup>
Nb <sub>3</sub> Al	18.80 x 10 <sup>4</sup>
Nb <sub>3</sub> Ge	36.0 x 10 <sup>4</sup>
Nb <sub>3</sub> ( AlGe )	41.0 x 10 <sup>4</sup>
YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7</sub>	90.0 x 10 <sup>4</sup>
Bi <sub>2</sub> Sr <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>10</sub>	140.0 x 10 <sup>4</sup>
Tl <sub>2</sub> Ba <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>10</sub>	220.0 x 10 <sup>4</sup>

Tabla 1. Valores de campo crítico a  $T = 0$  K.

La tabla 1, muestra los valores del campo crítico de algunas sustancias para el valor extrapolado a  $T = 0^\circ$  K.

## 1.2 EFECTO MEISSNER-OSCHENFELD.

Existen diferencias importantes entre los superconductores, las cuales permiten clasificarlos en dos grandes grupos.

Primero, ciertos metales, particularmente los que tienen bajas temperaturas de fusión y son mecánicamente suaves y de fácil obtención en un alto grado de pureza y libres de esfuerzos mecánicos internos, presentan semejanzas en su comportamiento en el estado superconductor. Estos materiales superconductores reciben el nombre de superconductores ideales, superconductores Tipo I o suaves.

Por otro lado el comportamiento de muchas aleaciones y de algunos metales de los superconductores más refractarios es más complejo e individual, particularmente con respecto a la forma como resultan afectados en el estado superconductor en presencia del campo magnético. A estos superconductores se les da el nombre de superconductores Tipo II o si la superconductividad se conserva aun bajo la influencia de campos magnéticos intensos, se les conoce con el nombre de duros o de campo intenso.

Veamos como un campo magnético aplicado afecta a cada uno de los tipos de superconductores que hemos mencionado, para ello se explicará el efecto Meissner-Oschenfeld.

En 1933, W. Meissner y R. Oschenfeld encontraron experimentalmente que un superconductor se comporta de manera tal que nunca permite que exista un campo de inducción magnética en su interior. En otras palabras, no permite que un campo magnético penetre en su interior. El campo magnético en el interior de un superconductor no sólo está congelado, sino que vale siempre cero.

Una consecuencia inmediata de lo anterior es que el estado de magnetización del material que pasa por la transición superconductor no depende de los pasos que se hayan seguido al establecer el campo magnético. Esta consecuencia marca también la diferencia fundamental entre lo que es un conductor perfecto y lo que es un

superconductor. Por conductor perfecto entendemos un material cuya resistencia eléctrica es igual a cero. En tanto que un superconductor, además de presentar resistencia cero, presenta también el efecto Meissner-Oschenfeld. Se puede demostrar fácilmente que, en un conductor perfecto, el campo magnético tiene un valor constante, esto es, está congelado en su interior, pero no necesariamente vale cero, y esto trae como consecuencia que su estado de magnetización dependa necesariamente de los pasos, que se hayan seguido para magnetizarlo.

Analicemos qué ocurre cuando tratamos de magnetizar un conductor perfecto y cuando tratamos de magnetizar un superconductor.

Consideremos primero al conductor perfecto, esto es, pensemos que la transición nos lleva únicamente a un estado de resistencia cero sin el efecto Meissner-Oschenfeld.

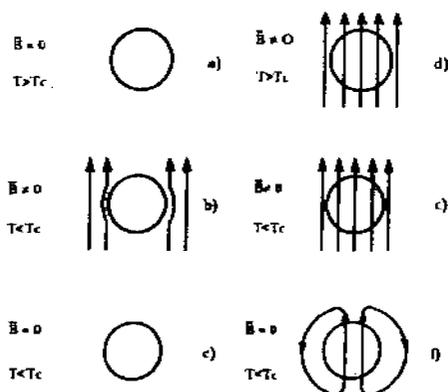


Figura 3. Penetración del campo magnético  $B$ , en el interior de un material considerado solamente como conductor perfecto (es decir que sólo presenta resistencia eléctrica igual a cero, pero no el efecto Meissner), al pasar por la temperatura de transición.

En ausencia de campo magnético externo, tomemos la muestra a una temperatura  $T$  mayor que la temperatura de transición,  $T_c$  al estado de resistencia cero del conductor perfecto (figura 3(a)). Luego, enfriemos la muestra a una temperatura  $T < T_c$ , e introduzcamos un campo magnético (figura 3(b)). Como en el instante en que ocurrió la transición al estado de conductor perfecto el campo magnético en el interior de la muestra era cero, permanecerá con ese valor y, por tanto, el campo magnético será excluido del interior de la muestra. Finalmente, suprimamos el campo magnético

aplicado, manteniendo la temperatura por debajo de  $T_c$  (figura 3(c)). Obtendremos que el campo magnético en el interior de la muestra sigue siendo cero.

Ahora tomemos la muestra nuevamente a una temperatura  $T > T_c$  pero con un campo magnético externo aplicado distinto de cero (figura 3(d)). Después, enfriemos la muestra a una temperatura  $T < T_c$  (figura 3(e)). El campo magnético en el interior de la muestra sigue siendo el mismo que había antes de enfriarla. Finalmente, suprimamos el campo magnético, aplicado (figura 3(f)). Lo que ahora ocurre es que se generan corrientes superficiales en la muestra de tal modo que el campo en el interior de ella tenga el mismo valor que tenía antes de bajar la temperatura a  $T < T_c$ .

Por lo anterior podemos afirmar que si la transición nos llevara simplemente a un conductor perfecto (esto es, a la ausencia del efecto Meissner-Oschenfeld en la transición), el estado de magnetización de la muestra dependerá de la manera en que se alcance el estado final.

Ahora consideremos que la transición, además de llevar la muestra a un estado de resistencia eléctrica cero, nos indica la existencia del efecto Meissner-Oschenfeld.

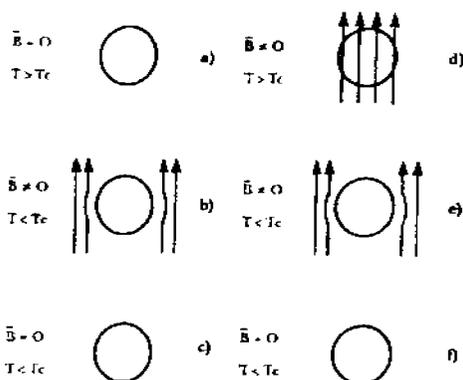


Figura 4. Penetración del campo magnético,  $B$ , en el interior de un material que es un superconductor (es decir, que presenta resistencia eléctrica igual a cero y además el efecto Meissner), al pasar la temperatura de transición.

Primeramente, tomemos la muestra a una temperatura  $T > T_c$  sin la presencia de un campo magnético aplicado (figura 4(a)). Después, enfriemos la muestra hasta  $T < T_c$  e

introduzcamos un campo magnético, como se indica en la (figura 4(b)). Por el efecto Meissner-Oschenfeld se inducirán corrientes superficiales en la muestra de manera tal que el campo en su interior sea cero. Posteriormente, suprimamos el campo magnético aplicado (figura 4(c)). Las corrientes superficiales desaparecen y el campo magnético en el interior de la muestra es cero.

Intentemos ahora el otro camino. Tomemos la muestra a una temperatura  $T > T_c$  en presencia de un campo magnético aplicado, como se ve en la figura 4(d). Después, enfriemos la muestra hasta una temperatura  $T < T_c$  (figura 4(e)). Tendremos que, por el efecto Meissner-Oschenfeld, se inducirán corrientes superficiales en la muestra de manera que el campo en el interior de ella sea cero. Posteriormente, suprimamos el campo externo (figura 4(f)); Tendremos que las corrientes superficiales desaparecen y que el campo magnético en el interior de la muestra vale cero.

Como acabamos de ver, debido al efecto Meissner-Oschenfeld, el estado de magnetización de la muestra *no* depende de la manera en que se llegue al estado final.

Es claro que un superconductor es, además de un conductor perfecto, una sustancia en un estado en el que se presenta el efecto Meissner-Oschenfeld. Figura 5.

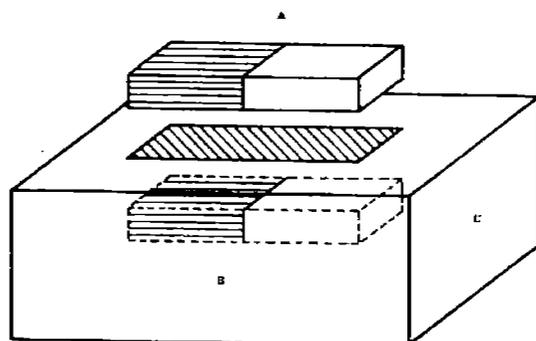


Figura 5. Aquí se presenta un esquema de cómo se produce el efecto Meissner. Al acercar un imán (A) a un superconductor (B), se produce en este una imagen magnética (C) que lo repele. La intensidad de la fuerza de repulsión determina la altura a la que puede "flotar" el imán.

### 1.3 LA TEORÍA BCS

La teoría microscópica de la superconductividad, también conocida, como, la teoría BCS, llamada así en honor a K. Bardeen, L. Cooper y J.R. Schrieffer, que la propusieron en 1957 (y por la cual les fue otorgado el premio Nóbel en 1972). Explica perfectamente las propiedades de los materiales superconductores habituales a baja temperatura crítica (superconductores por debajo de 23° K). El concepto básico de la teoría BCS es la idea del emparejamiento: a una temperatura lo suficientemente baja, los electrones del metal se asocian en pares, llamados pares de Cooper, análogos a moléculas. Para romper un par hay que suministrar una energía por lo menos igual a su energía de enlace. No es de extrañar, pues que el superconductor no pueda absorber energías inferiores a un cierto valor crítico (llamado banda prohibida del superconductor).

Cuando una corriente eléctrica pasa a través de un metal ordinario, los electrones en movimiento pueden ser desviados por impurezas o por los movimientos de la red cristalina. Estas colisiones son responsables de la resistencia eléctrica del metal. Pero cuando se hace pasar a un superconductor por una corriente eléctrica, los pares de Cooper se mueven de un modo coherente. Simplificado, todos ellos, efectúan el mismo movimiento (esta propiedad esta ligada al hecho de que, contrariamente a las moléculas ordinarias, los pares de Cooper se inter penetran ampliamente).

Un electrón no puede ser desviado individualmente y que desaparezca la resistencia eléctrica. Como en las moléculas ordinarias, los pares se forman porque hay una fuerza de atracción entre los electrones. En los superconductores de baja temperatura crítica, esta atracción se debe a la interacción de los electrones con las vibraciones de la red cristalina.

Los cuantos de estas vibraciones se llaman fonones; son los análogos de los fotones luminosos. Pero este mecanismo particular de la atracción entre dos electrones no es un ingrediente esencial de la teoría BCS. Se puede considerar también una interacción en que intervengan las fluctuaciones de los momentos magnéticos de los iones de cobre. Actualmente, hay sólidas pruebas en favor de la existencia de pares de Cooper en los

superconductores de alta temperatura crítica. Por contra, el mecanismo de formación de estos pares es objeto de gran controversia.

El cuanto (en latín *quantum*) de energía de vibración del arreglo tridimensional de osciladores recibe el nombre de *fonón*, en analogía al de *fonón*, que corresponde al cuanto de vibración del campo electromagnético que da origen a la radiación luminosa. De esta manera, cuando hablemos de fonones, nos estaremos refiriendo a la energía de vibración de la red de iones de la red cristalina.

#### 1.4 PARES DE COOPER

Consideremos primeramente un electrón que viaja a través de la red cristalina, como se muestra en la figura 6. Este electrón va tirando de cada Ión positivo a su paso, generando una onda de perturbación en la red. Este electrón moverá hacia él a los iones vecinos creando, localmente, un aumento en la densidad de carga positiva, de manera tal que otro electrón que pase por la vecindad de esta región podrá ser atraído por el desbalance de carga positiva existente. Tendremos así que la interacción efectiva entre los dos electrones es de atracción, por la mediación de la red. Podemos pensar que la interacción electrón-fonón-electrón puede ser responsable de una interacción de atracción entre dos electrones.

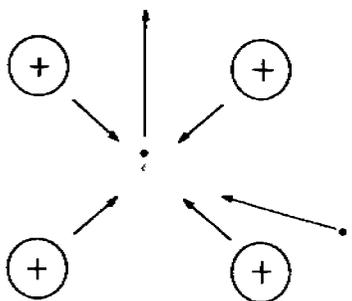


Figura 6. Electrón que, al viajar, puede atraer a otro electrón por medio de la red de iones con lo cual puede dar lugar a un par de Cooper.

De hecho, en 1956 L. N. Cooper demostró que, de existir una interacción atractiva entre dos electrones en un metal, estos electrones pueden permanecer ligados el uno con el otro. También demostró que el radio del estado ligado de los dos electrones es del orden de  $10^{-4}$  (varios miles de distancias inter iónicas en la red cristalina), que es, prácticamente, una magnitud microscópica.

Si pudiéramos llegar a un estado del material en que existieran pares de Cooper, es claro que tendríamos un superconductor ya que, por su enorme tamaño, habría una enorme cantidad de traslapes entre los pares de Cooper, creándose gigantescos enjambres de electrones unidos que no verían resistencia a su paso.

Para los nuevos materiales superconductores cerámicos no se sabe con certeza el mecanismo que lleva a la formación de los pares de Cooper. Se tiene ya evidencia de que, al menos en parte, los fonones contribuyen a la formación de los pares de Cooper. Esto es por la presencia de un débil efecto isotópico. También es claro ya que los fonones no son los únicos posibles responsables de la formación de los pares de Cooper y que todo parece indicar que hay varias contribuciones para la formación de éstos. Para los materiales cerámicos superconductores no existe aún una teoría satisfactoria acerca del origen de la superconductividad en ellos. Aunque hay varias propuestas, la controversia no está resuelta.

Actualmente se piensa que todos los metales, que son buenos conductores de electricidad, pueden en principio convertirse en superconductores a temperaturas suficientemente bajas.

## CAPITULO II

### APLICACIÓN DE LOS SUPERCONDUCTORES

#### 2.1 APLICACIONES DE LA SUPERCONDUCTIVIDAD.

Las aplicaciones actuales de los superconductores, si bien es cierto, que la gran mayoría es destinado a tratar de mejorar dichas aplicaciones, su uso comercial es restringido por el elevado precio del refrigerante, que el superconductor debe tener para que presente dichas características que le permitan su mejor uso y eficiencia dentro de sistemas específicos.

Puede decirse que existen tres tipos de aplicaciones de la superconductividad:

1) *La producción de grandes campos magnéticos.* Al decir grandes nos referimos tanto a una gran intensidad del campo magnético como al espacio en el cual se crea el campo.

2) *La fabricación de cables de transmisión de energía.* Aunque éstos ya se manufacturan a partir de los superconductores convencionales, actualmente no son competitivos comercialmente con respecto a los cables aéreos normales, a menos de que cubran una gran distancia (de cientos de kilómetros). En los casos en que las líneas de transmisión deben ser subterráneas, habría cierta ventaja económica con la utilización de los cables superconductores.

3) *La fabricación de circuitos electrónicos.* Estos dispositivos electrónicos fueron ideados originalmente con la intención de utilizar la transición de estado normal a estado superconductor como un interruptor, mas resultaron decepcionantes con respecto a los logros alcanzados por los transistores de películas delgadas y se ha abandonado su uso en este aspecto. Este panorama puede cambiar con el descubrimiento de los nuevos materiales superconductores cerámicos. Cabe mencionar que son de gran interés los dispositivos basados en la utilización del llamado efecto Josephson (que es el efecto de "tunelamiento" conocido por la mecánica cuántica, pero de corriente de superconductividad aun en ausencia de un voltaje aplicado). Resultan superiores a otras tecnologías y tienen un gran campo de aplicación que va desde la detección de señales

del infrarrojo lejano que provienen del espacio exterior, hasta pequeñísimos campos magnéticos que se producen en el cerebro humano. También la corriente Josephson a voltaje cero depende fuertemente de un campo magnético aplicado, lo que lleva a la posibilidad de tener un interesante interruptor para circuitos lógicos en las computadoras.

La aplicación más importante, en cuanto a la cantidad de material empleado, es y será por mucho tiempo la producción de campos magnéticos, que se emplean, principalmente, en los laboratorios de física con fines de investigación, y es común ver pequeños electroimanes superconductores que sirven para producir campos magnéticos con intensidades del orden de  $10^3$  Oersted. Dentro de la investigación en el campo de la física, también se utilizan electroimanes superconductores para generar campos magnéticos altamente estables, útiles en los estudios de la resonancia magnética nuclear y la microscopía electrónica de alta resolución. Son muy utilizados en las cámaras de burbujas que sirven para la detección de partículas y que requieren campos magnéticos muy intensos.

Por otro lado, se espera que los motores y generadores superconductores tengan enormes consecuencias en lo social y económico, en unos años más, pues para su elaboración se utilizan campos magnéticos intensos. También se desea utilizar electroimanes superconductores para la levitación de trenes de transporte de pasajeros o de carga.

## 2.2 PROPIEDADES DESEADAS PARA LA APLICACIÓN DE SUPERCONDUCTORES.

Es conveniente señalar las propiedades que se requieren en los superconductores comerciales:

1) *La mayor temperatura crítica posible.* Esto se debe a que, cuanto mayor sea, más elevada podrá ser la temperatura de operación del dispositivo fabricado, reduciéndose de esta manera los costos por refrigeración requeridos para alcanzar el estado superconductor en operación.

2) *El mayor campo magnético crítico posible.* Como se pretende utilizar el superconductor para generar campos magnéticos intensos, mientras mayor sea el campo

magnético que se quiere generar, mayor tendría que ser el campo crítico del material superconductor.

3) *La mayor densidad de corriente crítica posible.* A mayor densidad de corriente crítica que la muestra pueda soportar antes de pasar al estado normal, más pequeño podrá hacerse el dispositivo, reduciéndose, de esta manera, la cantidad requerida de material superconductor y también la cantidad de material que debe refrigerarse.

4) *La mayor estabilidad posible.* Es muy común que los superconductores sean inestables bajo cambios repentinos de corriente, de campos magnéticos, o de temperatura, o bien ante choques mecánicos e incluso por degradación del material al transcurrir el tiempo (como ocurre en muchos de los nuevos materiales superconductores cerámicos). Así que, si ocurre algún cambio súbito cuando el superconductor está en operación, éste podría perder su estado superconductor. Por eso es conveniente disponer de la mayor estabilidad posible.

5) *Facilidad de fabricación.* Un material superconductor será completamente inútil para aplicaciones en gran escala si no puede fabricarse fácilmente en grandes cantidades.

6) *Costo mínimo.* Como siempre, el costo es el factor más importante para considerar cualquier material utilizado en ingeniería y deberá mantenerse tan bajo como sea posible.

### 2.3 APLICACIONES DE LOS ELECTROIMANES SUPERCONDUCTORES

Se han propuesto muchas aplicaciones industriales a gran escala de los imanes superconductores. En la actualidad existen algunos métodos alternativos que emplean campos magnéticos pero, si se aplica la superconductividad en estas áreas, se espera obtener un ahorro considerable en costos de operación. En algunas otras áreas el uso de electroimanes superconductores ha hecho la idea técnica y económicamente posible.

Algunas de las aplicaciones más importantes de los electroimanes superconductores, sin que la lista pretenda ser exhaustiva, es la siguiente:

1) *Aplicaciones biológicas.* Se sabe desde hace mucho tiempo que los campos magnéticos intensos afectan el crecimiento de plantas y animales. Así, se han utilizado

electroimanes superconductores para generar campos magnéticos intensos y estudiar sus efectos en el crecimiento de plantas y animales y, además, analizar su efecto en el comportamiento de estos últimos.

2) *Aplicaciones químicas.* Es un hecho conocido que los campos magnéticos pueden cambiar las reacciones químicas y ser utilizados en la catálisis.

3) *Aplicaciones médicas.* Se han aplicado campos magnéticos para arreglar arterias, sacar tumores y para sanar aneurismas sin cirugía. También se estudia la influencia de los campos magnéticos en las funciones vitales del cuerpo humano.

4) *Levitación.* Una aplicación muy importante es en el transporte masivo, rápido y económico. La idea de usar una fuerza magnética para hacer "flotar" vehículos de transporte ha estado en la mente de los científicos por casi un siglo y la posible aplicación de la superconductividad a este problema lo ha renovado y actualizado. Hay, esencialmente, dos métodos posibles para conseguir la levitación. Uno corresponde a la utilización de un sistema atractivo y el otro a un sistema repulsivo. Describiremos muy brevemente los principios de funcionamiento de cada uno.

El sistema atractivo ha sido investigado, principalmente, en Alemania y Estados Unidos. Como es sabido, la fuerza magnética entre un material ferromagnético colocado en el seno de un campo magnético y la fuente que genera al campo magnético es siempre atractiva. El peso del vehículo es sostenido por esta fuerza atractiva. Figura 7. Las características básicas de este sistema son:

a) el campo magnético necesario puede ser generado por electroimanes convencionales hechos de metales normales, a causa de la presencia de material ferromagnético;

b) el uso de electroimanes de metal normal requiere una pequeña brecha de alrededor de 1 cm entre el material ferromagnético y los electroimanes. Aun con un diseño óptimo, utilizando metal normal, el costo es mucho menor cuando se utilizan electroimanes superconductores;

c) la fuerza magnética aumenta cuando la brecha se hace más pequeña y disminuye cuando aumenta, lo cual significa que el sistema es inherentemente inestable, y para

lograr su estabilización es necesario que tenga un mecanismo de retroalimentación que le permita regular la corriente y, por tanto, la fuerza atractiva.

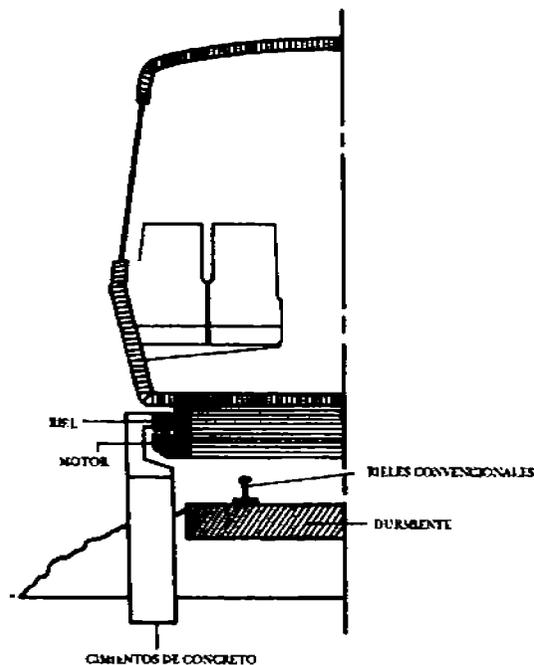


Figura 7. Esquema del sistema de *levitación* por atracción.

Aunque no se puede hacer ninguna conclusión negativa acerca del sistema atractivo, éste presenta, al menos, dos desventajas cuando se trata de velocidades superiores a 250 km/h. La primera es la pequeña brecha en la cual debe operar. Una razón fundamental por la que el tren convencional de ruedas y rieles no puede viajar a velocidades superiores a 300 km/h es que su posición vertical tiene que ser mantenida dentro de una variación no mayor de 2 milímetros sobre una distancia de 10 metros. La segunda razón es que el sistema es intrínsecamente inestable con respecto al movimiento vertical. Estas dos desventajas, si bien no hacen imposible la operación a alta velocidad, si requieren una gran cantidad de energía eléctrica para lograr mantener una brecha del tamaño adecuado para velocidades mayores que 250 km/h. Figura 8. Se ha sugerido que los electroimanes de metal normal sean sustituidos por electroimanes superconductores

para que sea posible construir una brecha de mucho mayor tamaño. La contraparte de este beneficio radica en la dificultad de controlar las corrientes necesarias para estabilizar la posición vertical.

En lo que se refiere al sistema de levitación por repulsión se puede decir que presenta mejores perspectivas. Este sistema funciona como una aplicación de la ley de Lenz de inducción de corrientes eléctricas al tener campos magnéticos que varían con el tiempo, en cuyo seno existe una espira de material conductor. El campo magnético que genera la corriente inducida da lugar a un campo magnético que tiene una polaridad opuesta al campo magnético original, creándose una repulsión entre ambos campos magnéticos.

Un aspecto importante del sistema repulsivo es la disipación de energía que se da en el conductor; es una pérdida por la resistencia eléctrica del material conductor. Esta disipación depende de la frecuencia de excitación y tiene un máximo para cierto valor de la frecuencia. Sin embargo, tiende a cero conforme la frecuencia de excitación crece hacia valores más grandes.

La característica más importante del sistema repulsivo, en lo que se refiere a transportación masiva, es la utilización de electroimanes superconductores para proporcionar los campos magnéticos requeridos. Los electroimanes superconductores hacen posible generar un campo magnético intenso en un volumen grande y esto tiene profundos efectos en el diseño del sistema. Los puntos sobresalientes del sistema son:

a) La brecha entre los electroimanes y el material conductor puede ser, al menos, de una magnitud mayor que para el caso atractivo. Esto es fundamental para el diseño de operación de vehículos de alta velocidad.

b) Un campo magnético intenso, generado sobre un gran volumen por los electroimanes superconductores, puede incorporarse fácilmente a un mecanismo de propulsión y de esta manera los mecanismos de suspensión (o levitación) y los de propulsión son compatibles.

A menos que investigaciones posteriores indiquen lo opuesto, parece que no existen problemas técnicos fundamentales con este sistema. Sin embargo, se requieren algunas innovaciones técnicas antes de poder completar un diseño comercial.

El descubrimiento de materiales superconductores cerámicos con una elevada temperatura crítica hace aún más atractiva la idea de la utilización de materiales superconductores para la transportación masiva. Cuando menos ya no se requerirá enfriar a temperatura de helio líquido, bastará con la refrigeración que proporciona el nitrógeno líquido. Claro que aún sigue la búsqueda de materiales cerámicos superconductores de temperatura crítica superior a la temperatura ambiente y, si se logra hallarlos, ya no será necesaria la refrigeración del sistema, reduciéndose así los costos de construcción y operación.

5) *Generación de energía.* Utilización de imanes superconductores para lograr “botellas magnéticas” que sirvan para la generación de energía nuclear por fusión que no presenta problemas de desechos radiactivos, como sucede con los actuales generadores de energía nuclear por fusión.

6) *Separación magnética.* Ésta se aplica comercialmente para separar materiales paramagnéticos y materiales ferromagnéticos: en la industria del caolín, para separar sustancias magnéticas de la arcilla; para la limpieza magnética selectiva del carbón, o sea, separar sustancias minerales de sustancias orgánicas.

7) *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.

8) *Blindaje y modelaje de campos magnéticos.* Puede lograrse por medio de planos superconductores que ya han sido utilizados para este fin en sistemas de producción de energía.

9) *Aceleradores de mucha energía.* Se han podido desarrollar electroimanes bipolares y cuadrupolares oscilantes de materiales superconductores, capaces de generar los campos magnéticos más intensos de la historia para su utilización en aceleradores de partículas de energía muy grandes.



Figura 8. Tren levitado de la empresa Transrapid Internacional.

## CAPITULO III

## INVESTIGACIONES SOBRESALIENTES

## 3.1 EN MÉXICO

En México se han hecho grandes investigaciones y adelantos tecnológicos en cuanto a la superconductividad, en específico, los superconductores, el lugar más importante, pero no el único es el Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM. , donde un grupo de investigadores se enfocaron en el estudio de materiales a bajas temperaturas, lograron en un par de meses: superconductores de alta temperatura crítica a 90 °K, lo que coloca a México a la cabeza de América Latina en esta materia.

En el instituto, importantes investigaciones, son realizadas por el Dr. Tatsuo Akachi Miyazaki, entre los cuales destacan:

*Superconductores de alta temperatura crítica:* El objetivo del proyecto es la síntesis de materiales superconductores de alta temperatura crítica y la caracterización de sus propiedades superconductoras estructurales, eléctricas y magnéticas. Los sistemas superconductores que actualmente se estudian son: (1)  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ , (2)  $\text{MgB}_2$  y (3)  $\text{GaSr}_2\text{RuCu}_2\text{O}_x$ , con diferentes sustituciones catiónicas. Estos materiales se preparan bajo diferentes condiciones de presión y temperatura y se estudian por medio de: (a) curvas de resistencia eléctrica en función de la temperatura, (b) curvas de susceptibilidad magnética en función de la temperatura, (c) difractogramas de rayos X, (d) análisis de Rietveld de la estructura cristalina y  $\epsilon$  espectroscopia Mössbauer, en colaboración con los miembros del laboratorio FAM de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

*Preparación de materiales superconductores con propiedades y formas adecuadas para sus aplicaciones:* Los materiales superconductores para sus aplicaciones requieren, fundamentalmente, que soporten: altas densidades de corriente eléctrica y campos magnéticos intensos en el estado superconductor y que tengan temperaturas críticas lo

más altas posibles. Además se requiere darles las formas adecuadas para sus usos prácticos; en forma de películas delgadas para la industria eléctrica, manteniendo las características apropiadas. Los requerimientos tan severos que deben cumplir, para sus usos prácticos, han hecho que de los miles de materiales superconductores conocidos solo unos cuantos sean utilizados en aplicaciones tecnológica.

El objetivo de este proyecto es el estudio de las características adecuadas de síntesis y sinterizado de nuevos materiales superconductores que permitan que puedan soportar altas densidades de corriente eléctrica; también se busca darles la forma de pequeños alambres con características adecuadas y estudiar sus propiedades estructurales, de transporte eléctrico y superconductoras.

En la actualidad todas las investigaciones, experimentos y publicaciones corren a cargo del Instituto de Física de la UNAM, el cual ha dado un gran avance en cuanto a resultados se refiere obteniendo lo siguiente:

#### *Modificación y creación de materiales por medio de la implantación de iones*

La modificación de las superficies de los sólidos por medio de la implantación de iones ha sido ampliamente utilizada en las últimas décadas en metales y semiconductores para modificar sus propiedades físicas y químicas. Recientemente, el uso de la implantación de iones se ha extendido con gran éxito a materiales dieléctricos o aislantes, cerámicas y superconductores de alta temperatura crítica. Gran parte de los primeros trabajos fueron puramente fenomenológicos, relacionados con la observación de propiedades macroscópicas tales como la dureza o la actividad química provocada por los iones implantados en el material. Sin embargo, estos cambios en las propiedades macroscópicas se deben a alteraciones estructurales microscópicas en la matriz. En el corto, mediano y largo plazo, uno de los objetivos importantes para nuestro grupo es el estudio de estos procesos microscópicos utilizando las técnicas de origen nuclear instrumentadas en nuestros laboratorios, así como técnicas complementarias disponibles en otros laboratorios. Es importante hacer notar que los haces de iones que se utilizan para analizar y modificar materiales tienen una penetración típica del orden de 10  $\mu$ m, dependiendo del tipo de Ion, su energía y del material. A continuación describiremos brevemente el tipo de materiales que se estudian en los diferentes proyectos del grupo.

### *Superconductores.*

Las irradiaciones con iones pesados (iones de plata, por ejemplo) sobre películas superconductoras del tipo  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-d}$  nos permiten estudiar los cambios en las propiedades superconductoras y la estructura cristalina en función de la afluencia. Además, utilizando la técnica de canalización de iones estudiamos los daños por radiación tomando en cuenta los defectos y el desorden creados por el bombardeo iónico. Nos interesa saber hasta que punto la irradiación puede hacer crecer la densidad de corriente crítica sin degradar la temperatura crítica  $T_c$  de estas películas. Este método es importante para aumentar el número de centros de amarre de las líneas de flujo  $f$ , ya que éstos disminuyen con la creciente calidad cristalina del material. Por otro lado, estudiamos igualmente los cambios en las propiedades de transporte en función de la dirección cristalina de la muestra (eje  $a$  o  $c$  perpendiculares al plano del sustrato), del ángulo de incidencia y de la masa del ion. Los estudios estructurales (simetría cristalina, parámetros de malla) nos permiten estudiar la transición ortorrómbica-tetragonal y verificar si está ligada a la pérdida de la superconductividad.

El instituto cuenta con un laboratorio de magnetismo y superconductividad

### *Infraestructura*

- Magnetómetro de vibración para medir entre 300 a 15 K y campos magnéticos entre 0.5 y 3600 Oersted. El sistema fue configurado y ensamblado con componentes de las compañías JANIS, Lake Shore, Keithley, EG&G Princeton applied, y un electroimán prestado por la FESC-UNAM. El software de control y de análisis para este equipo se desarrolló durante más de dos años en lenguaje C.

- Sistema para medir conductividad eléctrica de materiales conductores y superconductores en el rango de temperaturas entre 300 y 15 K. El sistema fue configurado y ensamblado con componentes de la compañía JANIS, Lake Shore y Keithley.

*Actividades*

Medición de las propiedades magnéticas de muestras en polvo o sólidas, estas últimas son geométrica y cilíndrica con un diámetro menor a 4 mm y una altura menor a 6mm. El software de control que se desarrolló para este equipo permite obtener curvas de magnetización como función de la temperatura, del campo externo, y del tiempo. Mediciones de conducción eléctrica de materiales conductores o superconductores en el rango de temperaturas entre 300 y 15 K

En este laboratorio además de los diversos experimentos y fenómenos encontrados en la actualidad también se han encontrado nuevos materiales superconductores desarrollados totalmente en México.

Su trabajo esta enfocado a la obtención de nuevas aleaciones en estado cristalino, tales como compuestos superconductores de alta temperatura, aleaciones mono-cuasicristalinas y materiales foto-ópticos, así como al diseño y construcción de hornos para el crecimiento de cristales.

Su trabajo ha sido publicado tanto en artículos como en congresos nacionales e internacionales. Los responsables de este laboratorio son el Dr. Héctor Riveros y el M. en C. Jesús Armando Lara.

“En este laboratorio hacemos crecer cristales superconductores de alta temperatura y mono cuasicristales, estudiamos la obtención de silicio a partir de  $\text{SiO}_2$ , y de carbono amorfo. Hacemos tratamientos térmicos en diversas sustancias. Estamos estudiando la obtención de carbono amorfo requerido para la fabricación de crisoles. Todos los hornos han sido diseñados y contruidos por nosotros. Los cristales superconductores los hacemos crecer en hornos cilíndricos de cuarzo basados en las propiedades reflectivas de una capa de oro depositada como pintura, Fig. 9. Los cuasicristales los hacemos crecer en un horno de baja inercia térmica hecho con espejos elípticos de aluminio y una lámpara de cuarzo-halógeno. Contamos también con hornos de arco y carburo de silicio para obtener altas temperaturas, y hornos resistivos de muy alta inercia térmica para tratamientos de recocido para eliminar esfuerzos.” Subraya el Dr. Héctor Riveros.

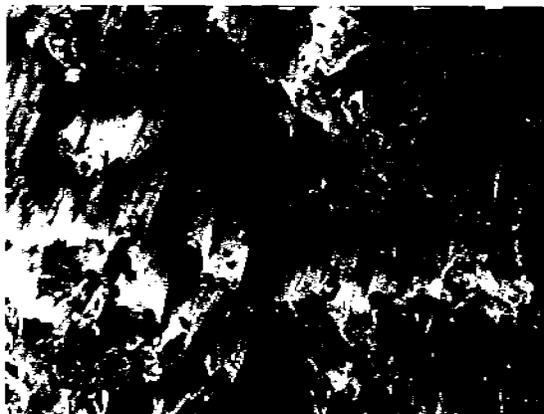


Figura 9. Cristales superconductores de alta temperatura

México es uno de los principales países productores de plata en el mundo y fundamentalmente ha hecho uso de ella como materia prima en la industria fotográfica y en la fabricación de piezas de joyería y orfebrería. Ahora, gracias a los adelantos tecnológicos, científicos mexicanos descubrieron que la plata después de ser sometida a tratamientos mecánicos y de temperatura tiene un valor aplicable en la industria eléctrica, pues representa un soporte útil en la elaboración de alambres superconductores de electricidad que mejoran la transmisión de este tipo de energía.

Este adelanto fue desarrollado por investigadores del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), en colaboración con la industria Peñoles, una de las principales productoras de plata en el país y en el mundo. Se tiene como objetivo dar un valor agregado a este metal para que ya no sólo sea visto como materia prima, refieren los ingenieros Ricardo Benavides Pérez y Ariel González Ramírez, ambos de la industria citada. Los alambres superconductores han sido útiles en la fabricación de cables de transmisión eléctrica, motores, generadores y transformadores eléctricos, señala el responsable de la investigación, Dr. Ciro Falcony Guajardo.

La plata por sí misma no es superconductora, y lo que le brinda esa capacidad es una película que se deposita en ella. No obstante, se eligió este metal porque tiene gran afinidad con los materiales que conforman la película, de tal manera que en su unión se obtienen características óptimas de conducción de electricidad y fortaleza mecánica.

Para lograr lo anterior es necesario que la plata sea sometida a un proceso mecánico-térmico denominado texturización, que permite elaborar cintas utilizables en la fabricación de alambres. Este procedimiento inicia a partir de una barra de plata, la cual es aplastada mediante la ayuda de rodillos que la presionan y con ello es posible obtenerla en forma de láminas, y bajo procesos de temperatura adquiere una orientación cristalina preferencial, describe el doctor Gerardo Cabañas Moreno, colaborador del Departamento de Ciencia de los Materiales de Escuela Superior de Física y Matemáticas del IPN.

Luego de ello, se realiza el depósito de la película, en el que se emplea una solución que contiene sustancias necesarias para la formación del material superconductor basado en un elemento llamado talio, el cual tiene características específicas de superconductividad viables para el desarrollo de alambres. La aplicación se realiza mediante el rocío de esta solución sobre el metal a una temperatura específica, se forman pequeñas gotitas que al entrar en contacto con la superficie de la plata se evaporan y queda el residuo de las sustancias, detalla el Dr. Falcony Guajardo. Este proceso es como rociar agua con sal de mesa sobre un comal caliente, se evapora el líquido y queda una capa muy delgada del mineral.

El depósito del citado material ha permitido la obtención de películas superconductoras con temperaturas críticas relativamente altas (de 112 grados Kelvin que en centígrados serían -160), mediante las cuales se pierde la resistencia y por ende se libera el paso a los electrones. Actualmente los investigadores trabajan en la declaración de patente a fin de proteger lo referente al proceso de depósito de la película superconductoras, que es la parte innovativa del proyecto.

### 3.2 EN EL EXTRANJERO

Las aplicaciones de la superconductividad en el mundo son diversas y de gran magnitud se mencionaran sólo algunas, no queriendo decir que otras sean menos importantes.

En la actualidad las aplicaciones que más llaman la atención son las enfocadas al uso de superconductores en el uso del sistema de transporte masivo. Países que apuestan por esta tecnología son Japón, Alemania, China y recientemente Estados Unidos de

América, donde se realizan estudios y pruebas. El tren experimental "magneto-levitante" (maglev) MLX01 actualmente en etapa de pruebas en el Instituto de Investigaciones Técnicas en Vías (Railway Technical Research Institute) de Japón, utiliza superconductores de baja temperatura "modelo antiguo" que requieren helio líquido como refrigerante. Los superconductores de alta temperatura pueden utilizar nitrógeno líquido, el cual es más barato, más abundante, y más fácil de manejar.

Los superconductores se pueden utilizar en el transporte levitado, figura 10, por electroimanes. Cuando se utilizan electroimanes para levitar un vehículo, por ejemplo trenes, para eliminar la fricción y alcanzar altas velocidades, los electroimanes pierden energía en calor. Utilizando superconductores, además de no perder energía en calor por su nula resistencia, el tamaño disminuiría notablemente.



Figura 10. El Yamanashi MLX01 MagLev train.

Otra de las grandes apuestas de la ciencia y aplicaciones de los superconductividad son los cables superconductores, los cuales serán usados en la generación, distribución y transformación de la energía eléctrica. Su desarrollo a lo largo de la historia ha sido muy lento y se han encontrado con la desventaja que los materiales superconductores de alta temperatura (HTS), son cerámicos, esto es, que no son tan fáciles de manejar como un alambre de cobre normal. Ahora, gracias a años de investigación que incluyen experimentos a bordo del Transbordador Espacial, esto está a punto de cambiar. El alambre HTS de "segunda generación" puede transportar la misma cantidad de corriente que un alambre de cobre cientos de veces más grueso.

El Centro para Superconductividad y Materiales Avanzados de Texas (TcSAM) en la Universidad de Houston (patrocinado por la NASA) se ha unido con MetOx para producir “el golpe definitivo” que los científicos han estado buscando desde los ‘80: un alambre HTS de “segunda generación” que obtenga un aumento de capacidad 100 veces mayor que la del cobre y cuya producción cueste igual a la de este metal.

La dificultad que pueden presentar los cables superconductores es que necesitarían de una cubierta refrigerante que los cubriera para mantenerlos a una temperatura inferior a la temperatura crítica del material del que está fabricado.

Uno de los objetivos principales sería el de construir un cable que trabajara a la temperatura ambiente, pero eso aún no se ha logrado. Como se observa en la figura 11, el aislamiento y el conductor se fabrican con tubos rígidos. Ahora se mencionará algunas desventajas que tendrían estos cables:

- La longitud máxima de manufactura de este cable sería solamente de 25 metros debido a sus condiciones de rigidez.
- Se necesitaría de una gran cantidad de uniones que lo harían muy costoso.

Por el contrario las ventajas que tendrían estos cables:

- todos los conductores podrían acomodarse en una envoltura térmica rígida común, lo que reduciría en una disminución de las pérdidas térmicas.
- La capacidad de transmisión de corriente sería mucho mayor que los métodos convencionales.



Figura 11. Cables superconductores

Las organizaciones que desarrollaron y utilizaron los superconductores a altas temperaturas son Pirelli y la Corporación de Alambres del Sur (Southwire) EEUU, Siemens Pirelli y BICC en Europa y Sumilomo Electric Corporation Furukawa y Fujikura en Japón.

Por su parte la compañía Pirelli ha desarrollado el uso de superconductores de alta temperatura (HTS), y ha desarrollado nuevas tecnologías que prometen el uso de estos cables en un futuro no muy lejano y con un costo realmente competitivo.

Las cintas para los Superconductores de Alta temperatura (High Temperature Superconductor ó HTS) constituyen un elemento fundamental para los sistemas de cables superconductores. Estos elementos deben ser manufacturados en grandes longitudes continuas y deben poseer características eléctricas para permitir la operación de los cables y satisfacer su potencial para una elevada y eficiente densidad de transferencia de la corriente eléctrica. Desde 1987 Pirelli ha estado activamente involucrada en el desarrollo de materiales HTS con la idea de identificar y desarrollar los productos más aptos para la realización de cables superconductores.

Elementos HTS necesarios para las aplicaciones de cables:

- Largas longitudes continuas
- Elevadas propiedades de transporte: corriente crítica ( $I_c$ ) y densidad de corriente crítica de ingeniería ( $J_e$ ) sobre el rango de temperaturas de operación
- Propiedades de transporte uniformes
- Características dimensionales uniformes (ancho, espesor y resistencia)
- Fortaleza mecánica a temperatura ambiente para permitir las operaciones de manufactura e instalación
- Resistencia mecánica a bajas temperaturas para permitir su enfriamiento y la operación del cable durante su ciclo de vida
- Estabilidad bajo ciclos térmicos
- Bajas pérdidas en corriente alterna (low a.c. losses)

El grupo de Superconductividad del Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) ha iniciado su participación en

un proyecto de investigación europeo, Supercoated Conductor Cable (SUPER3C), cuyo objetivo es fabricar cables superconductores de segunda generación y desarrollar sus aplicaciones prácticas. El proyecto tiene un coste total de 4,4 millones de euros, de los cuales la Unión Europea aporta 2,7 millones, y tendrá una duración de tres años.

El cable superconductor que se prevé construir tendrá una longitud de 30 metros y transportará una potencia de 10 millones de vatios-hora, cinco veces más que un cable convencional con las mismas dimensiones. La complejidad del proyecto exige integrar conocimientos muy diversos, tanto de ciencia de materiales, como de ingeniería eléctrica y criogenia.

Los cables de segunda generación se basan en una cinta recubierta con capas cerámicas, una de las cuales es superconductora. El proyecto SUPER3C aspira no sólo a mejorar las prestaciones de los cables actuales, sino también a reducir los costes de producción. Los cables superconductores de primera generación, conectados a la red eléctrica en varios países (EEUU, Japón, Dinamarca), están basados en una estructura de múltiples hilos y requieren una matriz de plata, por lo que su coste de producción es mayor que el del nuevo sistema.

El equipo del Instituto de Ciencia de Materiales vinculado al proyecto ha liderado en los últimos tres años un proyecto europeo previo (SOLSULET), gracias al cual se cuenta en la actualidad con una metodología química de bajo coste para obtener cables superconductores de segunda generación. Su participación en SUPER3C convertirá a este grupo del CSIC en proveedor de ese material de bajo coste ya desarrollado.

El proyecto SUPER3C, coordinado por la compañía multinacional de producción de cables para el transporte de energía eléctrica Nexans y cofinanciado por la UE, forma parte del programa europeo Sistemas para una energía sostenible. SUPER3C contará con la cooperación de cinco empresas y tres centros de investigación pertenecientes a seis países (Alemania, Eslovaquia, España, Finlandia, Francia y Noruega).

En Japón, Tepco está trabajando con Sumitomo Electric Industries y Furukawa Cabling Systems en el desarrollo de un sistema con cable HTS capaz de transmitir 1 000 MVA a

6 kV (tensión de distribución actual de la ciudad de Tokio) con la meta final de construir un anillo alrededor de la capital japonesa para satisfacer sus crecientes necesidades.

En el área de computación tienen aplicaciones sorprendentes. Se pretende construir computadoras "petraflop", las cuales pueden realizar mil trillones de operaciones por segundo, figura 12, mientras que la más avanzada tecnología en computadoras sólo puede realizar 12.3 trillones de operaciones por segundo. Para alcanzar estas velocidades, el tamaño del sistema sería del orden de alrededor de 50 nanómetros y basados en el efecto Josephson, en vez del sistema de switch en microchips convencionales.

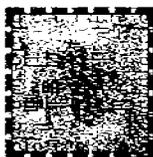


Figura 12. UCB microchip

Militarmente, los superconductores también tienen importantes aplicaciones. SQUIDS con superconductores de alta temperatura se han usado para detectar submarinos y minas. Además, se han utilizado reducidos, en tamaño, motores para barcos navales. La más grande aplicación militar de los superconductores está en las "E-bombs", las cuales podrían crear un fuerte campo magnético con superconductores que generarían un pulso electromagnético de gran intensidad que deshabilitaría cualquier equipo eléctrico enemigo.

En el plano médico, los superconductores también aportan, en el biomagnetismo. La resonancia magnética ya existe, pero puede ser mejorada con un campo magnético más fuerte derivado de electroimanes superconductores. Además de esto, existen dispositivos llamados SQUIDS (Superconductor Quantum Interference Device), que pueden detectar un cambio en el campo magnético 100 billones de veces menor a la fuerza que mueve a una aguja en una brújula. Con esto, se pueden examinar profundidades del cuerpo sin necesidad de fuertes campos magnéticos.

Los seres vivos producimos campos magnéticos extremadamente pequeños. En particular, los del cuerpo humano son diferentes para cada órgano. Además, cambian si el órgano está enfermo, es decir, que avisan de una enfermedad no detectada por síntomas externos. Esto resulta muy conveniente y no es nuevo. En el pasado se ha mencionado la existencia de estos campos en el cuerpo humano y la curación de enfermedades por medio de lo que se llamaba *pases magnéticos*; jugó un papel situado entre lo desconocido, la magia y la brujería. Es curioso, sin embargo, que esa idea haya sido concebida, ya que la magnitud medida de esos campos es tan pequeña que sólo llega, en el cerebro, por ejemplo, a los  $10^{-9}$  Gauss. El campo magnético de la tierra es de 0.5 Gauss, ¡mil millones de veces mayor! Sólo puede tratarse de una intuición admirable.

Se le conoce por sus siglas en inglés, superconducting quantum interference device (SQUID), lo cual, traducido a nuestro idioma, es dispositivo superconductor de interferencia cuántica (DISIC). Este tipo de aparatos se usan ya en algunos hospitales y han generado grandes esperanzas en el campo del estudio del funcionamiento del cerebro. Pero esto no es todo. Muy popularizada está ya la tomografía axial computarizada que permite tomar una vista transversal de cualquier parte del cuerpo para análisis médico, Es como laminar un ser humano en forma parecida a la presentación de algunos tipos de pan y examinar el estado de cada uno de esos cortes del cuerpo, pero sin tocarlo, La detección temprana de tumores es una obvia aplicación. Esta posibilidad es también hija de la superconductividad. En varios hospitales de México existe este equipo. Esta es una aplicación de la posibilidad de generar grandes campos magnéticos

Los superconductores se pueden utilizar en aceleradores de partículas de muy alta energía. Estos podrían acelerar las partículas a velocidades cercanas a la de la luz. Con electroimanes superconductores esto podría ser posible. Estas investigaciones son realizadas en el CERN.

El CERN es el Centro Europeo de Investigación Nuclear o Laboratorio de Física de Partículas Elementales. Sus siglas provienen de su antigua denominación Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire. Su sede está situada en Ginebra (Suiza). Actualmente, está considerado como el laboratorio de investigación básica más

importante del mundo. Más de la mitad de todos los investigadores que desarrollan una actividad científica en el campo de la física de partículas elementales o física de altas energías trabajan en este centro.

El CERN es una organización internacional e intergubernamental, constituida por veinte estados miembros: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, República Checa, Dinamarca, Eslovaquia, España, Finlandia, Francia, Grecia, Holanda, Hungría, Italia, Noruega, Polonia, Portugal, Reino Unido, Suecia y Suiza. Además, India, Israel, Japón, la Federación Rusa, Estados Unidos y Turquía. La Comisión Europea y la UNESCO poseen el estatus de observadores.

El LHC es un acelerador de partículas que tratará de profundizar en el estudio de la materia como nunca antes se había hecho. Utilizará las tecnologías de imanes (superconductores) y aceleradores más avanzadas. Se pretende poner en funcionamiento en el año 2007, y ya están colisionando haces de partículas a una energía de 14 TeV. También se pretenden acelerar los haces de las cabezas nucleares, que chocan entre sí con una energía de colisión de 1.150 TeV.

El LHC se ha diseñado para que utilice el túnel del LEP (Large Electron Positron Machine) de 27 km, y para que su fuente de alimentación sea de partículas y pre-aceleradores existentes. Este acelerador va a tener una enorme importancia en el desarrollo de la física de partículas en todos sus ámbitos: investigación, técnica y educación. Con este experimento, el CERN se mantiene a la cabeza de la investigación en física de partículas al menos durante el primer cuarto del siglo XXI.

## CAPITULO IV

### PERSPECTIVAS FUTURAS DE LA INSTALACIONES ELECTRICAS

#### 4.1 TRANSFORMADORES

Se estima una reducción importante en el peso de los transformadores de potencia: por ejemplo, un transformador de 30 MVA que pesa actualmente 48 toneladas puede reducirse a 16 (70% más ligero). Su capacidad de sobrecarga podrá ser de 200% sin reducción de su vida útil.

Los transformadores superconductores desarrollados hasta la actualidad se pueden clasificar en cuatro clases:

La clase a: Transformadores de construcción de corriente con devanados hechos de un superconductor de tipo II o de una película superconductora, y por lo tanto, deben enfriarse hasta la temperatura de 4.2 K. El circuito magnético se halla a temperatura ambiente para que las pérdidas en él no creen cargas adicionales al refrigerador que elimina las pérdidas provocadas por la corriente alterna y procedentes del exterior.

La clase b: difiere de la clase a en que las capas de los devanados de alta y bajas tensiones se alternan al fin de disminuir la dispersión. En este caso los campos magnéticos de los devanados primario y secundario se compensan mutuamente y el superconductor se halla en un campo magnético de dispersión muy débil, lo que permite utilizar como material de devanados a los superconductores de tipo I, en los cuales la c.a. provoca menos pérdidas que en los superconductores de tipo II.

La clase c: se distingue por la falta de núcleo ferromagnético y, por lo tanto, tampoco se registran pérdidas en el acero para transformadores. Por lo común en los transformadores sin núcleo surgen fuertes flujos de dispersión.

La clase d: No tienen núcleo ferromagnético, para disminuir la dispersión colocan los devanados uno dentro del otro, enrollando ambos sobre armazones toroidales no magnéticas

El futuro de los transformadores con materiales superconductores es muy prometedor, es de los campos más investigados y desarrollados a lo largo del mundo, esto también tiene una gran repercusión en el impacto ambiental, ya que se dejaría de usar aceite en los transformadores, reduciendo considerablemente su demanda, si pensamos en la cantidad de litros que el mundo destina para el uso exclusivo de transformadores, en dichos equipos se tendría una reducción muy considerable de igual forma su tamaño disminuirá y por el contrario su capacidad y eficiencia aumentarán.

#### 4.2 GENERADORES Y MOTORES

En el caso de los generadores síncronos, la primera aplicación de los superconductores consistió en la sustitución de chumaceras para eliminar pérdidas por fricción y, en una segunda etapa, se introdujo un devanado de campo basado en superconductores enfriados con nitrógeno líquido. Las principales compañías fabricantes de generadores en el mundo están en la etapa de desarrollo de estos productos y se estima que en una década serán puestos en operación comercial. En Osaka, Japón, se espera probar durante el presente año un generador superconductor de dos polos con una potencia de salida de 70 MW.

Los generadores eléctricos hechos con cables superconductores son mucho más eficientes que los construidos a base de un cable normal. En efecto su eficiencia es superior al 99% y su tamaño es de la mitad de los generadores convencionales. Estas aseveraciones hacen que muchas compañías en el mundo apuesten por desarrollar y conseguir la patente que dominará en el futuro. Una de estas compañías es General Electric la cual estima que el mercado potencial en el mundo de generadores alrededor del mundo será de entre \$20 y \$30 billones de dólares, es por eso que General Electric destino a sus últimos estudios la cantidad de \$ 12.3 millones de dólares, estudios que realiza con la ayuda del departamento de energía de Estados Unidos de América. Actualmente la empresa American Superconductor fabrica un motor superconductor síncrono HTS de 5000 hp, el cual resulta ser muy confiable en pruebas hechas por la empresa con carga máxima, así como la eficiencia que entrega el mismo motor.

### 4.3 LIMITADORES DE CORRIENTE

Estos dispositivos que sirven para limitar las corrientes de cortocircuito cuando ocurre una falla en una red eléctrica sustituirán a los relevadores electromecánicos de protección que tienen tiempos de operación largos, que no evitan las grandes corrientes que se generan en una falla y que requieren mucho mantenimiento. Entre las ventajas que ofrecen están una mayor confiabilidad y flexibilidad en la operación de las redes eléctricas. Se ha construido un prototipo de limitador de corriente para voltajes de 15 kV, el cual puede interrumpir corrientes de 20 kA en menos de medio ciclo. Esta ventajas además de la capacidad brindarían confianza y protección extra al activarse de una forma más rápida y tener una confiabilidad de funcionamiento y protección muy alta, donde intervienen temas de mantenimiento, disponibilidad así como tasas de falla.

Actualmente existen en nuestro país ciudades con una gran concentración de habitantes en donde la densidad de carga es muy alta si se compara con otras regiones de México. Un ejemplo es el área metropolitana de la ciudad de México, donde la alta densidad de carga ha tenido como consecuencia una elevación de los niveles de cortocircuito en algunas subestaciones. En muchas instancias, dichos niveles rebasan la capacidad interruptiva del equipo de protección existente e incluso están próximos a exceder la capacidad de los interruptores de potencia que se fabrican en la actualidad. Seguramente una solución a mediano plazo podría ser la aplicación de limitadores de corriente superconductores con las ventajas que se mencionan anteriormente.

### 4.4 CABLES SUPERCONDUCTORES

Los cables superconductores de alta temperatura podrán llevar entre cinco y diez veces más potencia que los cables convencionales. Por la necesidad de enfriamiento en todo su largo, se emplearán más en distancias cortas. Con esta tecnología podrán utilizarse mejor los derechos de vía, especialmente en las zonas urbanas. En la actualidad se tienen prototipos de superconductores del tipo dieléctrico criogénico con capacidad para conducir hasta cuatro veces la corriente de un cable convencional con pérdidas menores a 30%. Se espera que en el futuro cercano se logre transportar hasta diez veces más la potencia que con un cable convencional.

El uso de los superconductores en México tendrá un gran impacto en la configuración de la red tanto en la generación como en la transformación y en la transmisión de energía. Para ilustrar con un ejemplo la repercusión que puede tener en la transmisión de energía, con la tecnología de los cables HTS sería posible la transmisión de toda la energía que produce la central termoeléctrica de Valle de México: 750 MVA al voltaje de generación, que es de 20 kV, el cual también sería el voltaje de distribución en la ciudad de México, eliminando los pasos actuales de transformación (de 20 a 230 kV, de 230 a 115 kV y de 115 a 23 kV).

Los cables superconductores serán la base de muchas aplicaciones y desarrollos en un futuro, ya que sobre ellos recae un peso por ser pieza fundamental en el desarrollo de nuevas tecnologías, como son motores, generadores, transformadores, todos superconductores, y es en los cables superconductores donde se ha tenido un avance significativo en los últimos años.

Para analizar el impacto que tendrán las nuevas tecnologías en nuestro país es necesario establecer una escala de tiempo (tabla 3).

Año	Acontecimiento.
1986	Aplicación de los superconductores de alta temperatura.
2000	Desarrollo de prototipos con superconductores a escala comercial.
2010	Puesta en servicio y afinación de tecnologías.
2015	Equipos disponibles comercialmente.
2020	Presencia establecida en el mercado.

Tabla 3. Escala de tiempo para las nuevas tecnologías

#### 4.5 ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

El almacenamiento de alta potencia y baja energía en bobinas superconductoras está empezando a entrar en el mercado. Estos dispositivos pueden sustituir a las baterías como elementos de almacenamiento para mantener la operación de equipos o procesos críticos. Para las compañías eléctricas, y en un horizonte de unos diez años, puede servir para almacenar energía que debe usarse en las horas de alta demanda, sin necesidad de

aumentar la potencia instalada de generación. En la industria, la aplicación de este tipo de almacenamiento sería ventajosa para aquellos procesos en donde cualquier interrupción significa una pérdida económica importante, pues incluso las más pequeñas y breves depresiones de voltaje no afectarían al proceso. Esta idea de poder almacenar energía y disponer de ella cuando se desee, proviene desde los inicios de las investigaciones con superconductores, ya que para valores adecuados del campo magnético se pueden almacenar densidades de energía muy altas comparadas con otros sistemas de almacenamiento de energía. Esto de, que en esencia en una bobina hecha con un material superconductor se deja circulando una corriente. Como no hay disipación de energía al no existir resistencia eléctrica, La corriente permanecerá circulando por mucho tiempo. Al momento de necesitarse la energía almacenada en la bobina, se toma, esto con ayuda de limitadores de corriente y transformadores superconductores para su mejor aprovechamiento y uso, sería de gran ayuda almacenar energía y utilizarla en horas pico o cuando la demanda de esta fuera muy grande. Esto tendría un gran impacto en el ambiente y en el ahorro de costos de generación ya que no se desperdiciaría energía producida, y cuando se requiera de excedentes se dispondría de ella de inmediato.

#### 4.6 SEMICONDUCTORES PARA USOS EN ELECTRÓNICA DE POTENCIA

Recientemente se han dado desarrollos en elementos de estado sólido para aplicaciones en electrónica de potencia que permiten el manejo de altas corrientes y altos voltajes.

Con dispositivos electrónicos será posible disponer de una mejor administración y configuración del sistema de potencia. Estos dispositivos sufren mucho menos desgaste que los dispositivos mecánicos actualmente empleados en la conmutación eléctrica y, por lo tanto, requerirán menos labores de mantenimiento.

Para los voltajes de distribución, la electrónica de potencia será la base para satisfacer la demanda de alta calidad del servicio eléctrico y también ayudará a integrar las fuentes distribuidas de energía, incluidas las renovables.

Por otra parte, el uso de dispositivos electrónicos conmutables permite la variación de los niveles de voltaje sin un transformador convencional de núcleo magnético. La conversión de energía se realiza con alta eficiencia y sin generar armónicos. Esta tecnología permitirá crear dispositivos de bajo peso y volumen para efectuar el proceso de elevación de voltaje, así como la transformación a distintos niveles de corriente directa sin requerir la transformación a través de transformadores de corriente alterna. También facilitará la interconexión de sistemas de diferentes frecuencias.

Lo que obliga a tener un sistema de transmisión flexible y confiable. Lo anterior también es posible mediante la aplicación de semiconductores de potencia para el control de los parámetros que intervienen en la transferencia de potencia. Con el crecimiento histórico, de entre 5 y 7% anual, en la longitud de las líneas de transmisión, basado en los volúmenes de transferencia de potencia limitados por la potencia natural de las mismas, en los próximos veinte años será necesario duplicar la infraestructura de transmisión actual. Una alternativa para este crecimiento se podrá obtener si se hace uso de la electrónica de potencia, buscando incrementar la transferencia de potencia tanto de la infraestructura actual de transmisión como la de las nuevas líneas que se construyan. La aplicación de la electrónica de potencia en los medios de compensación de potencia reactiva, compensación serie y compensación serie/paralelo podrá permitir incrementos de aproximadamente 35% en la capacidad de transferencia de potencia de las líneas de transmisión. Otra opción será utilizar líneas de corriente directa que permitirían incrementar entre 35 y 50% de potencia transferida a través de los corredores de derechos de vía similares a los de las líneas de corriente alterna.

#### 4.7 TRANSPORTE ELÉCTRICO

El transporte eléctrico reduce la contaminación y la producción de gases con efecto invernadero. El mayor uso del transporte eléctrico, masivo o individual afectará de manera importante la demanda de energía eléctrica.

El desarrollo de los vehículos eléctricos individuales ha estado limitado por el desarrollo de las baterías que usan para almacenar energía. Por otra parte, y como competencia de los vehículos eléctricos, ha surgido el desarrollo de vehículos "híbridos" que generan la energía eléctrica en el propio vehículo, ya sea con celdas de combustible

o con motores de combustión interna de alta eficiencia. En esta sección se comentarán sólo los vehículos eléctricos sin generación propia.

Las cuatro características principales que deben tener las baterías para que permitan el uso extensivo de los vehículos eléctricos son los siguientes: alta capacidad de almacenamiento de energías (alcance), alta densidad energética (tamaño), alta potencia (aceleración) y ciclo de vida largo (costo).

Otro aspecto importante a tener en cuenta es el uso de transporte eléctrico, pero con el uso de superconductores, y su aplicación más directa hoy en día apuesta hacia el uso de trenes magnético levitante con el uso de superconductores, donde se ganaría en tiempo, servicio, contaminación y últimamente se ve la posibilidad más cercana de que sean costeables comparándolo con otro tipo de transportes, ya sea por mantenimiento, disponibilidad y tiempo.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES

Como se ha explicado a lo largo de este trabajo la superconductividad ha jugado un papel muy importante en la vida del hombre desde que la llegó a conocer, primero fue como un reto por llegar a la licuefacción de los gases, y de ahí al estudio de las propiedades de la electricidad a bajas temperaturas.

Cuando comenzaron con estos estudios no se tenía en cuenta el avance que se ha logrado tanto en la ciencia como en la tecnología, la cual no es sólo desarrollada por los llamados países del primer mundo, sus avances y descubrimientos han sido muy diversos y con aplicaciones que hasta el día de hoy no eran factibles hace unos 40 años, desde la medicina, pasando por la ecología, hasta llegar a las instalaciones eléctricas.

En las instalaciones eléctricas si bien es cierto su uso, solo es hasta el momento desarrollado por inversionistas privados, ya que ellos tienen la visión y creen en un futuro muy prometedor que les redituará grandes ganancias al desarrollar la tecnología y ser los primeros en lograr la patente. Por eso no es de extrañar que países como Japón, Estados Unidos de Norte América así como la Unión Europea, destinen una fuerte cantidad de su gasto anual y creen laboratorios o institutos de investigación 100% dedicados al estudio y desarrollo de la superconductividad.

Los superconductores tienen una gran expectativa a lo largo del mundo, por sus capacidades teóricas, que se han ido corroborando con la práctica. En el futuro será muy normal ver instalaciones generadoras de electricidad, donde su base sean los superconductores, plantas que respeten y tengan una gran conciencia del impacto ambiental que tendrán, así como los mantenimientos reducidos y programados adecuadamente y su alta eficiencia comparado con las plantas generadoras de la actualidad, se contarán con reservas de energía que estarán a la disposición del país, en el momento y cantidades, que se necesiten, en la distribución de dicha energía no se tendrán pérdidas de ningún tipo y su cableado podrá ser reducido hasta en un 50 % y los

usuarios finales, dispondrán de material eléctrico superconductor, mas eficiente lo que les representará menor mantenimiento y mas ganancias, y el tema del transporte quedará reducido a un vehículo eficiente, confiable, amigable con el medio ambiente y a un costo accesible para todas las personas de este mundo.

No es de extrañarse que estos adelantos se den primero en los países llamados del primer mundo, pero por su impacto e importancia serán bien recibidos en países en vías de desarrollo, no hay que olvidar que, por ejemplo, en México es el país latinoamericano que más desarrollo e investigación tiene en el tema de superconductores. Como ejemplo esta el uso masivo de la computadora, tecnología que hace 20 años no estaba al alcance de muchas personas que hoy en día la utilizan de manera cotidiana.

Como se explicó el futuro de las instalaciones eléctricas con los superconductores que hasta hace unos 10 años era inalcanzable por los altos costos que representaba, hoy en día tienen un auge muy grande y con aplicaciones mas realistas y cada vez son palpables ya no son sólo teorías como es el caso de los trenes levitante, cables conductores, entre muchos mas.

En este país el Instituto de Física de la UNAM. es el que más investigaciones registra al respecto, y de muy alta calidad. Creo que debería tener más apoyo por parte del gobierno para que México estuviera entre los países más desarrollados en cuanto a este tema.

Este trabajo se realiza con el fin de dar a conocer como serían las instalaciones eléctricas en un futuro no muy lejano, que al final traerá mejoras en la vida del ser humano como reducción de costos, confiabilidad de los sistemas propuestos y una gran reducción en la contaminación entre otros.

## CAPITULO VI ANEXOS

### 6.1 MATERIALES SUPERCONDUCTORES

La transición del estado normal al estado superconductor puede ser tan bien marcada como que el cambio tenga lugar en un intervalo de un diezmilésimo de 1 K. En la tabla 4 se muestra un conjunto de materiales superconductores con sus correspondientes temperaturas de transición.

Nótese el enorme salto en el valor de  $T_c$  cuando empezaron a prepararse aleaciones con tierras raras (como el itrio), con cobre y oxígeno.

Hay algunas características de los materiales superconductores del tipo metálico (primera parte de la tabla 4, que no cambian con la transición al estado superconductor, entre ellas podemos señalar las siguientes:

- 1) El patrón de difracción de los rayos X no cambia. Esto indica que no hay cambio en la simetría de la red cristalina. Tampoco hay cambio en la intensidad del patrón de difracción, lo que indica que prácticamente no hay cambio en la estructura electrónica.
- 2) No hay cambio apreciable en las propiedades ópticas del material, aunque éstas están usualmente relacionadas con la conductividad eléctrica.
- 3) En ausencia de un campo magnético aplicado sobre la muestra, no hay calor latente en la transición.
- 4) Las propiedades elásticas y de expansión térmica no cambian en la transición.

Por otro lado, hablando de los materiales de la primera parte de la tabla 4, hay algunas propiedades que cambian en la transición al estado superconductor como: *a)* Las propiedades magnéticas (que cambian radicalmente). En el estado superconductor puro prácticamente no hay penetración de flujo magnético en el material; *b)* el calor específico, que cambia discontinuamente a la temperatura de transición. En presencia de un campo magnético se produce también un calor latente de la transformación; *c)* todos los efectos termoeléctricos desaparecen en el estado superconductor, y *d)* la

conductividad térmica cambia discontinuamente cuando se destruye la superconductividad en presencia de un campo magnético.

<i>Sustancia</i>	<i>Temperatura crítica (K)</i>
W ( wolframio )	~0.01
Ir ( iridio )	0.014
Ti ( titanio )	0.39
Ru ( rutenio )	0.49
Zr ( zirconio )	0.55
Cd ( cadmio )	0.56
Os ( osmio )	0.66
U ( uranio )	0.68
Zn ( zinc )	0.88
Mo ( molibdeno )	0.92
Ga ( galio )	1.09
Al ( aluminio )	1.19
Th ( torio )	1.37
Re ( renio )	1.70
In ( indio )	3.40
Sn ( estaño )	3.72
Hg ( mercurio )	4.15
Ta ( tantalio )	4.48
V ( vanadio )	5.30
La ( lantano )	5.91
Pb ( plomo )	7.19
Tc ( tecnecio )	8.20
Nb ( niobio )	9.46

*Aleación*

V <sub>3</sub> Ga	15.00
V <sub>3</sub> Si	17.10
Nb <sub>3</sub> Sn	18.30
Nb <sub>3</sub> Al	18.80
Nb <sub>3</sub> Ga	20.30
Nb <sub>3</sub> Ge	23.30
Ba La <sub>4</sub> Cu <sub>5</sub> O <sub>13.4</sub>	35.00
YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7</sub>	90.00
YBa <sub>4</sub> Cu <sub>5</sub> O <sub>x</sub>	98.00
Tl <sub>2</sub> Ba <sub>2</sub> Ca Cu <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	99.00
Bi <sub>2</sub> Sr <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>10</sub>	110.00
Tl <sub>2</sub> Ba <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>10</sub>	125.00
Hg Ba <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>8+x</sub>	133.00

Tabla 4. Materiales superconductores y sus temperaturas críticas en °K.

La clase de aleaciones que se señalan en los últimos lugares de la tabla 4 son del tipo cerámico y de reciente descubrimiento. No se esperaba que materiales de este tipo pudieran tener temperaturas de transición al estado superconductor tan elevadas. Por ello es que no se habían explorado con anterioridad. A principios de 1987 comenzó a informarse sobre temperaturas de transición tan altas como las mostradas al final de la tabla 4, a partir del compuesto cerámico BaLa<sub>4</sub> Cu<sub>5</sub> O<sub>13.4</sub>, que había sido sintetizado y dado a conocer en 1986. Estos nuevos materiales son bastante complicados, en su estructura y propiedades. Su estudio y comprensión se ha ido realizando con bastante dificultad desde su descubrimiento. Aún, no se entiende claramente cómo ocurre la transición al estado superconductor. Parece ser que el oxígeno desempeña un papel crucial en la aparición del estado superconductor y en el alto valor de la temperatura crítica, junto con el cobre. También se empieza a tener la certeza de que el efecto de dimensionalidad es muy importante. Esto quiere decir que en estos materiales los

fenómenos dominantes para la superconductividad ocurren en dos dimensiones. Este espacio bidimensional corresponde a las capas de la estructura del material donde se encuentran el cobre y el oxígeno.

La obtención de este tipo de materiales superconductores se inició en Suiza, China y EUA, la tecnología que implica su preparación es sencilla y está al alcance de los países del llamado Tercer Mundo, esto es, países que, como México, no tienen gran desarrollo industrial. Sin embargo, la investigación relacionada con la creación de nuevos materiales cerámicos superconductores de una temperatura de transición al estado superconductor cada vez más alta requiere una gran inversión y un esfuerzo conjunto y coordinado de científicos de diversas especialidades. Esta conjunción y coordinación de esfuerzos es difícil de lograr en nuestro país por el número relativamente bajo de científicos que tenemos.

En abril de 1986 se anunció el descubrimiento de unos nuevos materiales superconductores que eran cerámicos y que presentaban una temperatura de transición superior a cualquiera de los materiales existentes en esas fechas. Al escribir estas líneas la temperatura crítica de transición superconductor más alta reportada es de alrededor de 135K, bastante arriba de la temperatura de ebullición del nitrógeno líquido, que es un refrigerante de precio muy económico y fácil de obtener en México. También hay indicios muy prometedores de que se podrán lograr temperaturas de transición quizá por arriba de 200K.

El descubrimiento de este nuevo tipo de superconductores fue realizado por J. C. Bednorz y K. A. Müller en un laboratorio de investigación de la compañía IBM en Zurich, Suiza. Por vez primera, después de más de 12 años fue posible encontrar una sustancia con una temperatura de transición superior a 23.3 Kelvin. En su investigación leyeron un artículo científico que resulta pieza clave en su trabajo. Se debía a los científicos franceses C. Michel, L. Er-Rakho y B. Raveau, y en él se presentaba un nuevo material cuyas características de ser un óxido metálico nuevo de cobre de valencia mixta lo convertían en candidato ideal para presentar superconductividad, de acuerdo con las hipótesis de trabajo de Bednorz y Müller. La composición de este material es:  $BaLa_4Cu_5O_{13.4}$ . Bednorz y Müller empezaron a explorar sus propiedades, variando la concentración de Ba. En la primavera de 1986 publicaron su artículo anunciando la superconductividad a una temperatura de 35 Kelvin en esta clase de

compuestos. En éstos, el arreglo de los iones corresponde a una geometría típicamente conocida como perovskita y que es muy común entre los materiales llamados ferroeléctricos.

El rápido progreso que se ha alcanzado para encontrar materiales de este tipo, con temperaturas de transición superconductoras cada vez más altas, ha sido realmente sorprendente. Muy pocos avances científicos, si es que ha habido alguno, han generado tal flujo de actividad científica casi frenética en todo el mundo y, al mismo tiempo, un interés inmediato y muy grande entre el público en general. Lo que la inmensa mayoría pensaba ya como algo imposible es ahora algo real y palpable: tener superconductividad a temperaturas mayores que las del nitrógeno líquido.

El trabajo de Bednorz y Müller les valió el premio Nóbel de Física de 1987. Es interesante notar que es la segunda vez que se otorga un premio Nóbel a temas relacionados con la superconductividad.

Casi inmediatamente después del anuncio del descubrimiento de Bednorz y Müller, muchos grupos de científicos en el mundo se lanzaron a tratar de obtener temperaturas de transición más altas. Uno de los grupos más exitosos ha sido el del doctor Paul Chu, de la Universidad de Houston, uno de los primeros en darse cuenta de la importancia del descubrimiento de Bednorz y Müller, quien se dedicó de lleno a la investigación de este tipo de materiales. Pronto encontraron que la temperatura crítica podía ser aumentada a 57 Kelvin aplicando presión al material. Tanto la magnitud del cambio en  $T_c$ , como el hecho de que aumentara con la presión aplicada eran anormales si se comparan con los superconductores conocidos con anterioridad a estos nuevos materiales. Con esto en mente, Chu y sus colaboradores empezaron a buscar maneras de simular una "presión interna" en estos materiales reemplazando el lantano (La) con iones parecidos, como el de itrio (Y). A fines de febrero de 1987, Chu anunció que había encontrado un compuesto que tenía una temperatura de transición al estado superconductor mayor de 90 Kelvin. La composición de este material está dada por  $YBa_2Cu_3O_x$ . Casi simultáneamente se anunció la obtención de un material de composición semejante y propiedades similares en China. En unos pocos días, con composiciones que eran variantes de la reportada por Chu y sus colaboradores, una docena de grupos alrededor del mundo informaron sobre la obtención de materiales superconductores cerámicos con temperaturas de transición arriba de los 90 Kelvin, que ya han sido preparados en la

Universidad Nacional Autónoma de México; la manera de sintetizarlos es muy sencilla y puede efectuarse con la tecnología que está al alcance de los países del llamado Tercer Mundo.

Es muy claro que disponer de materiales superconductores de temperatura crítica por arriba del nitrógeno líquido es una realidad en nuestro país y en muchas otras naciones tercermundistas. También comienza a ser muy claro que con ellos el mundo no volverá a ser el mismo. Es muy probable que, una vez más, la física cambiará nuestra manera de vivir como ocurrió con el advenimiento del motor eléctrico, del transistor, etcétera.

Vale la pena señalar que las perovskitas de cobre y oxígeno, los nuevos materiales superconductores, habían sido muy estudiadas en la última década, especialmente por Raveau, Michel y colaboradores. Gran parte de su trabajo sentó las bases para alcanzar un rápido progreso inmediatamente después del descubrimiento de Bednorz y Müller. El interés inicial por estos materiales radicó en la alta movilidad del oxígeno a temperaturas elevadas, lo que altera su comportamiento eléctrico, de manera tal que se había sugerido, como una de sus posibles aplicaciones, la de sensor de oxígeno. Muchos estudios han dejado bien claro ahora que las propiedades superconductoras del compuesto de itrio (Y), bario (Ba) y cobre (Cu) (muy ampliamente conocido como el 1-2-3, por su composición:  $YBa_2Cu_3O_x$ ) dependen críticamente en la cantidad y en el ordenamiento de oxígeno, que a su vez depende de los detalles del proceso para su obtención.

Por considerarlo de interés, general y para exhibir la sencillez de la preparación de estos materiales, vamos a dar un pequeño resumen de la manera más usual de prepararlos.

Se trata de una reacción de estado sólido que se prepara mezclando polvos de tres materiales: óxido de itrio ( $Y_2O_3$ ), carbonato de bario ( $BaCO_3$ ) y óxido de cobre, (Cu O). Las proporciones de la mezcla son de 1:2:3, tomadas en el orden que las hemos mencionado. Se muele la muestra en un mortero (de ágata, por ejemplo), hasta obtener un grano muy fino. Luego se procede a hornear este polvo para lograr una buena oxidación. Se pueden utilizar crisoles de cuarzo, alúmina o platino. La alúmina parece permanecer inerte, siempre que la temperatura no sobrepase los 1 000°C durante demasiado tiempo. La reacción de estado sólido tiene lugar suavemente en un lapso de 10 a 12 horas, manteniendo la temperatura constante en 900°C. Posteriormente, el polvo

se vuelve a moler y se preparan por compresión unas pastillas que luego son horneadas, volviendo a calentarlas por varias horas. El proceso es simple y a veces ha de repetirse varias veces hasta conseguir la formación del compuesto. Hay que tener cuidado de que la presión parcial de oxígeno durante el calentamiento del polvo no sea demasiado baja, de que no se saquen las muestras del horno demasiado pronto, pues de ser así no se encontrará la superconductividad por arriba de la temperatura del nitrógeno líquido.

Las temperaturas de transición más altas y mejor definidas se obtienen cuando la muestra se calienta en una atmósfera de oxígeno y se deja enfriar lentamente desde 900°C hacia la temperatura ambiente en un proceso de varias horas.

La preparación de la muestra 1-2-3 en el seno de una atmósfera inerte evita totalmente la obtención de una muestra superconductora.

En cuanto a las mediciones de las propiedades superconductoras de estas muestras es conveniente señalar lo siguiente.

Las caídas abruptas de la resistividad eléctrica a cero constituyen un indicador pobre, y además peligroso, de la presencia del estado superconductor. Este comportamiento, puede provenir de muchas situaciones que no corresponden a un estado superconductor y que tienen que ser cuidadosamente exploradas antes de emitir conclusión alguna acerca de si se tiene o no un superconductor. Por ejemplo, es común que se encuentre que las caídas abruptas del valor de la resistencia hacia cero se deban a problemas de corto circuitos o, en la técnica de las cuatro puntas que es tan usual para este tipo de mediciones, al problema de las fases eléctricas. En la práctica se encuentra que las muestras que han sido sobre procesadas y que contienen muchas fases distintas del material son más susceptibles de presentar este tipo de problemas, ya que son tan heterogéneas en su comportamiento eléctrico que pueden llevar a trayectorias alternativas para la corriente entre los electrodos y a resistencias de contacto que varían grandemente con la temperatura.

## 6.2 FABRICACIÓN DE UNA PASTILLA SUPERCONDUCTORA.

Conociendo un poco acerca de los superconductores y sus propiedades que los distinguen de los conductores puros ahora analizaremos como es la fabricación de una pastilla superconductora.

Teniendo perfectamente balanceados los porcentajes de los componentes que constituirán la pastilla superconductora se realiza el siguiente proceso:

1.- Teniendo la mezcla el primer paso es moler la sustancia en un mortero de ágata automático por un tiempo aproximado de 30 minutos hasta lograr una mezcla homogénea.

2.- Posteriormente se procede a hornear el polvo fino obtenido el cual puede ser horneado en un horno de cuarzo. Este procedimiento lleva alrededor de 10 y 12 horas y se debe hacer a una temperatura de 900 °C, cuidando la presión de oxígeno.

El horno presenta las siguientes características:

Esta formado por dos tubos de cuarzo, ambos, de diámetros, y longitudes diferentes, el más largo esta colocado dentro del otro. En la parte central el tubo externo tiene enrollada una resistencia de Cantal, posteriormente tienen un recubrimiento refractario hecho de fibra de vidrio, entre los dos tubos (en el centro del horno) se encuentra un termopar de cromo-aluminio, por el cual se controla la temperatura mediante un multímetro digital. Los tubos se encuentran sobre una base de ladrillo refractario. La corriente que circula a través de la resistencia se controla con un variac, con lo que se varía la temperatura.

3.- Contando con la mezcla se procede a su compactación para formar las pastillas que debe ser a temperatura ambiente y más o menos a una presión de  $6.9 \times 10^7$  Pa; por media hora aproximadamente. Se deja enfriar la mezcla dentro del horno por si sola.

El dispositivo para compactar la mezcla es hidráulico, de esta manera se le proporciona una presión al sistema. Consta de un cilindro hueco, dentro del cual se colocan los

polvos que provienen de la molienda; además consta de un embolo, que es el que realiza la presión sobre los polvos dentro del cilindro, cuyo diámetro es de 1.27 cm; aproximadamente.

4.- Se pueden repetir los pasos del 1 al 3 varias veces hasta conseguir la formación del compuesto. Y por último se realizan las mediciones de temperatura crítica del compuesto así como su resistencia y por último la levitación magnética, como se muestra en la figura 13.



Figura 13. El efecto Meissner. En esta figura se muestra la "levitación" de un imán por la presencia de un superconductor.

### 6.3 MEJORAMIENTO DE MATERIALES HACIENDO USO DE LA NANOTECNOLOGÍA.

La palabra nanotecnología es usada extensivamente para definir las ciencias y técnicas que se aplican a un nivel de nanoescala, esto es, una medida extremadamente pequeña que permite trabajar y manipular las estructuras moleculares y sus átomos. En síntesis nos llevaría a la posibilidad de fabricar materiales y máquinas a partir del reordenamiento de átomos y moléculas. El desarrollo de esta disciplina se produce a partir de las propuestas de Richard Feynman.

Definiremos a la Nanotecnología como el estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas funcionales a través del control de la materia a nano escala, y la explotación de fenómenos y propiedades de la materia a nano escala.

Cuando se manipula la materia a una escala tan minúscula de átomos y moléculas, demuestra fenómenos y propiedades totalmente nuevas. Por lo tanto, científicos utilizan la nanotecnología para crear materiales, aparatos, sistemas novedosos y poco costosos con propiedades únicas

Nos interesa, más que su concepto, lo que representa potencialmente dentro del conjunto de investigaciones y aplicaciones actuales, como lo son los superconductores, cuyo propósito es crear nuevas estructuras y productos que tendrían un gran impacto en la industria, la medicina, etc.

La nanociencia está unida en gran medida desde la década de los 80 con Drexler y sus aportaciones a la "nanotecnología molecular", esto es, la construcción de nanomáquinas hechas de átomos y que son capaces de construir ellas mismas otros componentes moleculares. Desde entonces Eric Drexler, se le considera uno de los mayores visionarios sobre este tema. Ya en 1986, en su libro "Engines of creation" introdujo las promesas y peligros de la manipulación molecular.

El padre de la "nanociencia", es considerado Richard Feynman, premio Nóbel de Física, quién en 1959 propuso fabricar productos en base a un reordenamiento de átomos y moléculas. En 1959, el gran físico escribió un artículo que analizaba cómo los ordenadores trabajando con átomos individuales podrían consumir menos energía y conseguir velocidades asombrosas.

Supondrá numerosos avances para muchas industrias y nuevos materiales con propiedades extraordinarias (desarrollar materiales más fuertes que el acero pero con solamente diez por ciento del peso), nuevas aplicaciones informáticas con componentes increíblemente más rápidos o sensores moleculares capaces de detectar y destruir células cancerígenas en las partes más delicadas del cuerpo humano como el cerebro, entre otras muchas aplicaciones.

Podemos decir que muchos progresos de la nanociencia estarán entre los grandes avances tecnológicos que cambiarán el mundo.

Se aplicarán técnicas de ingeniería a escala nanométrica para la creación de materiales y componentes. El objetivo es desarrollar nuevos materiales funcionales y estructurales de rendimiento superior a través del control de su nanoestructura. Se incluirán las tecnologías necesarias para su producción y procesamiento.

La nanotecnología se aplicará en: aleaciones y compuestos nanoestructurados, materiales poliméricos funcionales avanzados y materiales funcionales nanoestructurados y la incorporación de sistemas moleculares ordenados o de nanopartículas en los sustratos adecuados.

Esto con el fin de poder conocer que es lo que pasa en realidad para que exista o se de la superconductividad en un metal, como es que la red cristalina del material se alinea para que no exista pérdida de energía, y conocer la situación de las moléculas y sus orientaciones con respecto de las cargas para así desarrollar nuevos materiales superconductores, y que estos tengan las características deseadas en cada investigación o desarrollo, la cual principalmente es su temperatura, con la ayuda de la nanotecnología se pueden obtener estos resultados.

En el Instituto de Investigación de Materiales de La UNAM se realizan importantes investigaciones sobre nanotecnología que siempre tratan de ligar con una aplicación importante en estos días, la cual es, la superconductividad, así lo afirma el Dr. Horacio Navarro Chávez.

Así con la ayuda de la nanotecnología, se desarrollarían materiales con compuestos ideales en cuanto a su composición y estructura nanométrica, figura. 14, con el fin de lograr los avances requeridos, en la actualidad la nanotecnología tiene muchas aplicaciones, pero una de ellas se centra en la investigación de nuevos materiales, compuestos y aleaciones para poder mejorar el material superconductor, y este llegue a tener propiedades como maleabilidad flexibilidad y temperatura hasta ahora deseadas.



Figura 14. Estructura nanométrica.

Con lo expuesto anteriormente, se propone con la ayuda de la nanotecnología, estudios y desarrollos de nuevos materiales aplicables en los superconductores, para que estos, tengan, la estructura molecular deseada para que su uso sea cada vez más extenso así como sus aplicaciones, donde se buscan películas delgadas y flexibles de superconductores, y a la vez trabajar a nivel de la estructura molecular del material para hacer que la densidad de corriente, así como, la capacidad de campo magnético que soporte un superconductor sea cada vez mayor. En la actualidad una de las aplicaciones de la nanotecnología en el Instituto de investigación de materiales de la UNAM, es la síntesis de películas delgadas, ya que se cuenta con la tecnología para sintetizar una gran diversidad de materiales nano-estructurados en forma de películas delgadas. Espesores menores a los 100 nm, como en el caso de los recubrimientos de cuasi-diamante.

Tamaños de grano nanométricos: recubrimientos de nitruros metálicos con alta resistencia a la corrosión y propiedades mecánicas no alcanzables para el material en bulto.

Películas de carbono y nitruro de carbono amorfo nano-estructuradas, donde las propiedades opto-electrónicas dependen de la distribución de cúmulos de enlaces tipo grafito dentro del material. Así se tendrán compuestos, aleaciones y materiales superconductores cada vez mejores.

## BIBLIOGRAFÍA

- McDevitt J T, Jurbergs D C y Haupt S G June 1994 "Superconducting Composite Films As Chemical Sensors" Chemtech
- Laguës M 1994 "Películas Superconductoras" Investigación y Ciencia
- Holguín E 1993 Fenomenología y Problemas Actuales de los Superconductores Calientes Comunicación privada
- Kirtley J R y Tsuei C C Octubre 1996 "Superconductividad a Altas Temperaturas" Investigación y Ciencia
- Ortolí Sven y Klein Jean Historia y Leyendas de la Superconductividad. Gedisa
- Orlando T P y Delin K A 1991 Foundations of Applied Superconductivity Addison-Wesley
- Timkham M 1980 Introduction to Superconductivity R E Krieger Publishing
- Giraldo J 1995 "Algunos Problemas Conceptuales Y Metodológicos La Superconductividad De Alta Temperatura Crítica" Momento
- Magaña, Luis Fernando. Los superconductores. FCE. México: 1988
- W. Goldacker, R. Heller, A. Hofmann. Development of superconducting and cryogenic technology in the Institute for Technical Physics (ITP) of the Research Center Karlsruhe, 22 November 2002.
- Makan Chen, Lise Donzel, Martin Lakner. High temperature superconductors for power applications. Journal of European Ceramic Society 2004.

- Itaru Ishii, Umezono, Tsukuba. Review of the electrical insulation of superconducting generators. Japan 20 August 1998.
- P. Tixador. Superconducting electrical motors. France 1999.
- Donald U. Gubser. Superconducting motors and generators for naval applications. February 2003.
- George Marsh. Time ripe for the superconductivity. April 2002.
- Atsutaka Maeda, Ryoji Matsuo, Haruhisa Kitano. Electrical conduction of  $(\text{NH}_3)_x\text{NaRb}_2\text{C}_{60}$  7 November 2002.
- M. Gazda, B. Kusz, S. Chudinov. Electrical conductivity and superconductivity in (Bi-Pb)-Sr-Ca-Cu-O glass ceramics during the first minutes of crystallization. Elsevier Science 2003.
- Miho Nakashima, Kanehito Tabata, Arumugam Thamizhavel. High-pressure effect on the electrical resistivity in  $\text{CeNiGe}_3$  and  $\text{CeNi}_2\text{Al}_5$ . Japan 2005.
- Starowicz, A. Szytula. Mechanisms of electrical conductivity in  $\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.1}$  system. 26 April 2005.