


Superconductividad y magnetismo. Nociones básicas y aplicaciones

Superconductivity and magnetism. Basic Smattering and applications

- ¹ Isbel Garcés Ramírez  <https://orcid.org/0000-0003-2183-7275>
Universidad de Matanzas, Facultad de Ciencias Empresariales, Carrera de Ingeniería Industrial, Matanzas, Cuba
garcesisbe15@gmail.com
- ² Tomás Espinoza Achong  <https://orcid.org/0000-0002-7140-207X>
Universidad de Matanzas, Facultad de Educación
tomas.espinosa@umcc.cu
- ³ Thalía Pérez Ramos  <https://orcid.org/0000-0002-4220-6256>
Universidad de Matanzas, Facultad de Ciencias Empresariales, Carrera de Ingeniería Industrial, Matanzas, Cuba
thaliaperezr@gmail.com
- ⁴ Efraín Velasteguí López  <https://orcid.org/0000-0002-7353-5853>
Universidad Técnica de Babahoyo (UTB), Facultad de Ciencias de la Educación, Babahoyo, Ecuador
evelasteguil@utb.edu.ec



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 08/01/2022

Revisado: 23/01/2022

Aceptado: 05/02/2022

Publicado: 05/04/2022

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v6i2.2109>

Cítese:

Garcés Ramírez, I., Espinoza Achong, T., Pérez Ramos, T., & Velasteguí López, E. (2022). Superconductividad y magnetismo. Nociones básicas y aplicaciones. *Ciencia Digital*, 6(2), 72-86. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v6i2.2109>



Ciencia Digital
Editorial



CIENCIA DIGITAL, es una Revista multidisciplinaria, **Trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://cienciadigital.org>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons AttributionNonCommercialNoDerivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

Palabras claves:

superconductividad,
temperatura crítica,
electrón, cero
absolutos
.

Resumen

Introducción. El acelerado desarrollo alcanzado en la sociedad ha dado lugar a la incesante búsqueda de recursos factibles para evitar la contaminación ambiental, resulta que los materiales superconductores pueden ser precisos en la causa. Al perder resistencia pueden ser muchos más eficaces y eficientes posibilitando además que se expandan nuevas ramas del conocimiento. **Objetivo:** El objetivo de esta investigación es realizar una compilación de los aspectos más generales de la superconductividad, fenómeno físico que se torna cada día más relevante en la búsqueda del desarrollo ecológico. Además, de sentar las bases para futuras investigaciones que puedan desvelar los aspectos que aún no son conocidos en la superconductividad. **Metodología:** Para realizar el compendio de la superconductividad se menciona los aspectos más generales del tema y para ello fue consultada la bibliografía relacionada con el tema, consultándose a especialistas en diferentes materias cuya información fue la base para enriquecer este trabajo. **Resultados:** Cuando una muestra volumétrica pierda la resistencia a una determinada temperatura crítica (T_c) y en esa misma temperatura se aprecia el efecto Meissner-Ochsenfeld, la reconocemos (solo entonces) como un superconductor. Los materiales superconductores poseen una gran variabilidad en sus aplicaciones debido a las características propias que tienen. **Conclusiones:** Es característico de cada superconductor la pérdida la pérdida total de resistencia a cierta temperatura crítica. El efecto Meissner-Ochsenfeld, se basa en que un imán flota sobre una muestra a causa de que esta expulsa un flujo magnético, al pasar al estado superconductor. Existen dos tipos de superconductores: los superconductores de tipo I que no son los metales o elementos puros que presentan una exclusión de flujo completa (efecto Meissner) y que tiene valores de temperatura crítica (T_c) cercanos al cero absoluto, así como bajos valores de campo magnético crítico (H_c) y densidad de corriente crítica (J_c): y los superconductores de tipo II generalmente son aleaciones o metales en transición. Las bases de la superconductividad están sentadas en la teoría Bardeen, Cooper y Schrieffer (Teoría BCS).

Keywords:

Superconductivity,
temperature critical,
electron, absolute
zero

Abstract

Introduction. The accelerated development achieved in society has given rise to the incessant search for feasible resources to avoid environmental pollution, it turns out that the materials superconductors may be precise in the cause. Losing resistance can be many more effective and efficient, also allowing new branches of knowledge to expand.

Objective: The objective of this research is to make a compilation of the most important aspects general principles of superconductivity, a physical phenomenon that becomes increasingly relevant to you in the search for ecological development. In addition, to lay the foundations for future research that can reveal the aspects that are not yet known in superconductivity.

Methodology: To conduct the compendium of superconductivity, the most general aspects of the subject and for this the bibliography related to the subject was consulted, consulting specialists in different subjects whose information was the basis to enrich this work.

Result s: When a volumetric sample loses resistance to a certain temperature critical (T_c) and in that same temperature the Meissner- Ochsenfeld effect is appreciated, we recognize it (only then) as a superconductor. Superconducting materials possess a gain variability in their applications due to their own characteristics.

Conclusions: It is characteristic of each superconductor the loss the total loss of resistance at a certain temperature review. The Meissner-Ochsenfeld effect consists in that a sample expels a magnetic flow and, as a result, it floats on a magnet, going into the superconducting state. There are two types of superconductors: Type I superconductors that are not the pure metals or elements that have a complete flow exclusion (Meissner effect) and have temperature values critical (T_c) close to absolute zero, as well as low values of critical magnetic field (H_0 and critical current density (J_c): and type II superconductors are alloys or transition metals. The bases of superconductivity are laid in the Bardeen, Cooper, Schrieffer theory (BCS Theory).

Introducción

La superconductividad fue descubierta en 1911 por el físico holandés K. Onnes que observó que el mercurio no presentaba resistencia eléctrica por debajo de 4,2 K. El fenómeno no se empezó a entender hasta que los alemanes Karl W. Meissner y R. Ochsenfeld en 1933 detectaron un acusado diamagnetismo en un superconductor. No fue hasta 1957, a más de 45 años de su descubrimiento que surgió una teoría capaz de explicar los principios físicos de este fenómeno. John Bardeen, León N. Cooper y John R. Schrieffer (notables físicos estadounidenses) propusieron su teoría BCS que describe la superconductividad como un fenómeno cuántico en el que se desplazan en pares los electrones de conducción que no presentan resistencia eléctrica. La misma describe cómodamente la superconducción a altas temperaturas en los metales, pero no de este modo en los materiales cerámicos. El físico Brian Josephson, en 1962, estudio la naturaleza cuántica de la superconductividad y enunció la presencia de oscilaciones en la corriente eléctrica, fenómeno conocido como efecto de Josephson.

En el año 1986 algo tremendo, impresionante, inusitado sucedió. Simplemente el ayudante de Müller en ese laboratorio, Berdnoz, retornó esa tarde a pesar de sus deseos de regresar a casa. Había dejado en función de la temperatura la medición de la resistividad, de un compuesto de lantano. Este se llevó la increíble sorpresa de que aparecía la superconductividad a 30K. Así fue como Berdnoz y Müller descubrieron en el 1986 la nueva superconductividad de alta temperatura, por lo que fueron galardonados con el Premio Nobel en el año 1987. Posteriormente, Chu descubrió el YBCO con una temperatura crítica de alrededor de los 90K, abriendo el camino para el descubrimiento de elementos de una mayor temperatura crítica.

La incesante búsqueda de materiales que presenten propiedades superconductoras a temperatura ambiente y el avance de las aplicaciones en que se pueden utilizar, han provocado que estos

materiales sean el centro de atención de centros de investigación y laboratorios universitarios alrededor del mundo, ya sea en colaboración o en competencia por el desarrollo tecnológico.

Hasta el momento, en Europa se trabaja en redes de investigación conformadas por casi cien laboratorios universitarios en varios países, que puedan beneficiarse unos a otros de los adelantos que dentro del campo se puedan lograr, un panorama parecido se encuentra en Estados Unidos y Japón. Si hay tanta inversión en el desarrollo de estas áreas en países de alto crecimiento tecnológico, es porque se ha entendido la necesidad de encontrar nuevas fuentes de energía. Hay estimaciones que de utilizando los superconductores en la generación y distribución de la energía, podría reducirse el consumo de una ciudad hasta un 20%. Esto significa no solo costos más bajos de

producción, sino también una disminución en la generación de contaminantes producto del actual sistema de generación de electricidad.

Metodología

Se hace un resumen de los principales conceptos y experimentos básicos del tema para sentar las bases del entendimiento del tema en general. Además de realizar una explicación de las principales características que poseen los materiales superconductores, así como, las aplicaciones que se les dan a los mismos para resaltar su eficacia y eficiencia. Además de tocan temas que pueden despertar el interés en la población en general para la búsqueda de incógnitas que quedan abiertas hasta nuestros días.

Resultados

La superconductividad se manifiesta en sistemas de carácter metálico (en conjuntos que tienen estados activos en una banda de conducción). Se conocen un par de experimentos que reflejan la superconductividad en una muestra de volumen. En un inicio, podemos enunciar una característica común de cada superconductor: la pérdida total de resistencia a una cierta temperatura, que tiene el nombre de temperatura crítica (T_c). A continuación, se observa el instante que pasa al estado superconductor, como resultado de una medida de la resistencia contra la temperatura (Figura 1).

Figura 1

A una temperatura llamada crítica la resistencia de un superconductor va a cero



Fuente: Tomado de Vaquero Rafael (2014)

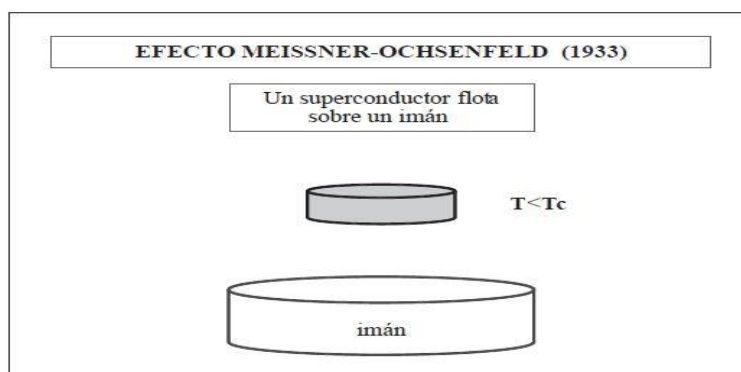
El segundo experimento es el que se aprecia es el efecto Meissner-Ochsenfeld que se basa en que

un imán flota sobre una muestra a causa de que esta expulsa un flujo magnético, al pasar al estado superconductor. Esta es una de las propiedades que han permitido la construcción de trenes que literalmente flotan sobre las vías al no existir rozamiento.

Este experimento se ilustra en la figura 2.

Figura 2

El efecto Meissner-Ochsenfeld define la superconductividad junto con la pérdida total de la resistencia



Fuente: Tomado de Vaquero Rafael (2014)

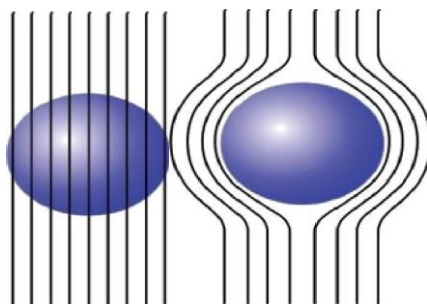
Por lo antes expuesto se concluye que:

Reconocemos (solo entonces) como un superconductor, cuando se aprecie el efecto Meissner- Ochsenfeld, donde a una determinado T_c y en esa misma temperatura, una muestra volumétrica pierda la resistencia

Según Baquero (2014): “Es importante distinguir entre un conductor perfecto y un superconductor ya que, de acuerdo con las Ecuaciones de Maxwell, un conductor perfecto, si bien tiene resistencia cero, es un sistema termodinámicamente metaestable y, por lo tanto, no se le puede aplicar las leyes de la termodinámica y de la estadística que requieren que el sistema esté o pueda llegar a un estado de equilibrio termodinámico. Las ecuaciones de Maxwell relacionan el campo eléctrico y la conductividad de acuerdo con la Ley de Ohm. Un conductor perfecto tiene una conductividad infinita y es fácil demostrar que esto implica una inducción magnética siempre constante. Un superconductor la tiene siempre, en toda circunstancia, igual a cero. Se puede mostrar que este hecho implica que se trata de un sistema en equilibrio termodinámico. Un superconductor expulsa el flujo magnético y constituye un diamagneto perfecto.” Como se ilustra en la figura 3:

Figura 3

Un superconductor excluye el flujo magnético de su volumen y constituye un diamagnético perfecto



Fuente: Tomado de Vaquero Rafael (2014)

Entre sus clasificaciones podemos encontrar: los superconductores de tipo I que no son los metales o elementos puros que presentan una exclusión de flujo completa (efecto Meissner) y que tiene valores de temperatura crítica (T_c) cercanos al cero absoluto, así como bajos valores de campo magnético crítico (H_c) y densidad de corriente crítica (J_c); es decir, son diamagnetos ideales siempre y cuando no se rebasa una determinada intensidad llamada punto crítico diferente a cada superconductor. El material pierde sus cualidades superconductoras una vez que cualquiera de las tres propiedades ha rebasado su valor crítico regresando a su estado normal. (Son nombrados superconductores ideales o suaves).

Los superconductores de tipo II generalmente son aleaciones o metales en transición, estos materiales pueden permitir la introducción del campo magnético y simultáneamente seguir siendo superconductores. Los parámetros de temperatura, campo magnético y densidad de la corriente críticos se presentan en dos etapas: por debajo del H_c el material se comportará como los superconductores de tipo I, pero al ir aumentando la fuerza del campo, el flujo empieza a penetrar material en las líneas de flujo y al llegar al segundo valor crítico perderá las propiedades superconductoras.

La razón por la que existe un estado mixto entre los superconductores de tipo II es la presencia de interfaces entre la regiones normal y superconductoras; esto se explica mejor de la siguiente forma: una vez que el campo magnético se ha incrementado más allá del H_c el compuesto es atravesado por líneas de flujo, alrededor de cada línea, pequeñas corrientes circularán como vórtices diminutos, entonces el centro de cada vórtice deja de ser superconductor; cada vórtice captura e introduce en el superconductor una línea de campo equivalente a la introducción de un cuanto de flujo. Si las fuerzas del campo van aumentando, el tamaño de los vórtices no cambiará, pero el número de estos aumentará; cada vez serán más próximos hasta que fluyan uno junto a otro y la transición al estado normal ocurra. La J_c en un superconductor de tipo I

depende no solo del número de vórtices, sino también de la habilidad para moverse.

Como resultado de los diferentes comportamientos entre los superconductores de tipo I y II, se produce una levitación que se presenta de dos formas distintas: en el primer tipo al haber una completa exclusión de flujo magnético, un imán puede permanecer levitando por sobre una muestra superconductora por efecto de la repulsión (efecto Meissner); mientras que en los del tipo II habrá dos formas de levitación: por efecto de la repulsión para mantener levitando encima un imán y uno de atracción, que pueda sostener un imán por debajo, permaneciendo en levitación al estar sujeto con las líneas de flujo.

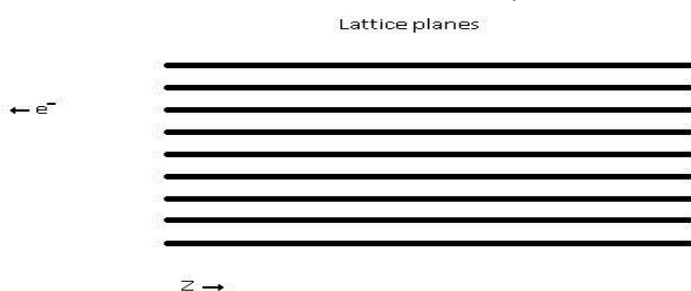
Ahora bien, se conoce que la Ley de Inducción Magnética describe en general la relación entre los campos magnéticos y eléctricos, y es sabido que una variación en el campo magnético induce una corriente; sin embargo, para que exista una corriente continua en un superconductor no es necesario un campo eléctrico, y en una situación de equilibrio este sería igual a cero. Un conductor perfecto se caracteriza porque su campo eléctrico interno desaparece y su campo magnético es constante. En los superconductores, el campo magnético disminuye hasta cero, de ahí son diamagnetos ideales.

La teoría cuántica de la superconductividad tuvo sentadas sus bases en 1957 por Bardeen, Cooper y Schrieffer. En secuencia se numeran los aspectos más generales de dicha teoría:

-Interacción electrón-fonón-electrón: Los ensayos reflejan que se encuentra una banda prohibida en los materiales superconductores justo alrededor del nivel de Fermi a $T = 0$ K, donde el ancho de esta es del orden de $3 k_B T_C$. Debe existir un mecanismo para que los electrones de un superconductor deban rebajar su energía para provocar el surgimiento de una banda de energía prohibida. Como es casi despreciable el ancho de la banda (10^{-4} eV), tendrá muy disminuida la interacción atractiva. La misma es el resultado de una interacción atractiva entre la red y los electrones (según la teoría BCS) de la manera siguiente (Figura 4):

Figura 4

Interacción atractiva entre la red y los electrones



-Pares de Cooper. Un conjunto conformado por dos electrones con contrario e igual cantidad de movimiento y spins y que constituyen un estado ligado por intercambio de fonón se denomina: par de Cooper y se le representa $(+k, -k)$; además, se comporta como un Bosón poseyendo un momento neto y spin igual a cero. Esto provoca que haya un estado energético único en el cero absoluto y pares de Cooper u ocupen igual estado energético todos los pares de electrones, denominado estado fundamental BCS. Este estado posee tanto por encima como por debajo de la energía de Fermi (e_f) mezclas de orbitales correspondiendo con el estado normal del material para $T=T_c$. Únicamente sobre e_f está un gran número de estados desocupados que deben hallarse para que los 2 electrones de un par ingresen en ellos una vez modificado su impulso mediante el intercambio de un fonón estableciendo la razón por la cual se necesita que los electrones estén por encima de e_f para encontrarse libres de constituir pares de Cooper. Por lo cual, concordando con la hipótesis ad hoc declarado por London y que daba lugar al efecto Meissner; solo una parte de los electrones $n_s \gg E_g/E_f$ formará pares de Cooper; permitiendo una mayor energía cinética e incremento energético en el estado de BCS, compensándose con la disminución provocada por la interacción atractiva. La ocupación electrónica en dicho estado se realiza por pares.

En un superconductor, en los pares de Cooper, si se produce una corriente permite que el vector de onda neto " d " sean iguales $((k+d), (-k+d))$, es decir, los pares que están formados por electrones pueden desplazarse conjuntamente. La energía requerida para separar un par de Cooper es representada por la banda de energía prohibida (E_g), permitiendo que el estado esencial superconductor, menos una energía superior a la de la banda prohibida pueda soportar cualquier alteración o desarreglo. Una corriente eléctrica en el superconductor ocasiona un desplazamiento en los pares de Cooper explicando la resistividad cero del superconductor. Ahora bien, se precisa un cambio a un estado excitado por el quiebre del par de Cooper del que es parte, en la separación de un electrón en la anomalía de la red, realizándose sin rozamiento o fricción en el desplazamiento antes expuesto, por lo que la dispersión de los electrones sea elementalmente inhibida al precisar de una energía superior que el ancho de banda prohibida.

-Longitud de coherencia: Este concepto reside en la idea de que la superconductividad es causada por la correlación del comportamiento y la interacción mutua de los electrones, extendida a grandes separaciones; a la más grande se le conoce como longitud de coherencia intrínseca, ξ_0 , en la cual los pares de electrones están vinculados para generar pares de Cooper y superconductividad. Al ser una interacción de gran alcance, los pares de electrones pueden distanciarse repetidos miles de espaciados atómicos.

Se le nombra volumen de coherencia (ξ) a la correlación de electrones contenidos en

un volumen x , x^3 de las que se desprenden las propiedades de un superconductor. En la que la transición es extremadamente abrupta con un rango de 10^{-3} K o menor puesto que los electrones en un volumen trabajan íntegros en el estado superconductor de una manera asociativa.

Ante los conocimientos que se adquieren en la actualidad tomando base de los grandes aportes y descubrimientos que se produjeron en los pasados siglos se hace creciente el auge de la búsqueda de aplicaciones basadas en las propiedades de materiales que puedan llamarse superconductores. Todo por evitar la caída libre que ha alcanzado el bienestar de nuestro planeta.

Es de interés destacar las propiedades que se piden para que un superconductor sea comerciable:

- La máxima temperatura crítica concebible: Para disminuir los gastos por refrigeración requeridos para llegar al estado superconductor en ejecución; a consecuencia de que, mientras más elevada sea la T_c , mayor será la temperatura de maniobra del dispositivo.
- El más elevado campo magnético crítico concebible: A manera de que se intenta utilizar el superconductor para generar campos magnéticos intensos, mientras más fuerte sea el campo crítico del material superconductor, más elevado deberá ser el campo magnético que se quiere producir.
- La máxima densidad de corriente crítica posible: Para lograr esto se debe mantener mayor la densidad de corriente crítica que la muestra logre aguantar antes de pasar al estado normal, y así más pequeño podrá hacerse el dispositivo.
- La mayor estabilidad posible: Ante cambios súbitos es común que sean volátiles los superconductores. Pierde su estado superconductor cuando al estar en operación enfrenta un cambio repentino, de allí lo favorable de contar con la más grande estabilidad posible.
- Simplicidad de producción: Se deben producir en mayor número, grandes escalas para aplicar un material superconductor. Un material superconductor para aplicaciones en gran escala debe de fabricarse en grandes cantidades.
- Menor costo posible: Este es el factor más significativo que se debe considerar para cualquier material utilizado en ingeniería, conservando siempre el precio más bajo.

A partir de las características que presentan los materiales superconductores se hace

más que evidente el amplio campo que posee para la innovación y aprovechamiento en aplicaciones que puedan facilitar la vida actual y contribuyan al desarrollo mundial.

La superconductividad se puede manifestar a través de las siguientes aplicaciones

- La fabricación de grandes campos magnéticos: Se refiere a que haya gran espacio en el cual se crea el campo y a la vez gran intensidad del campo magnético.
- Producción de cables transmisores de energía: se confeccionan a partir de superconductores convencionales, es decir no son de cerámicos, que no son una competencia para los cables aéreos normales. Para los casos en que las líneas de transmisión deban ser subterráneas, son de más ventaja económica la utilización de los cables superconductores.
- La fabricación de componentes circuitos electrónicos: Los dispositivos electrónicos fueron supuestos inicialmente con el propósito de utilizar la transición de estado normal a estado superconductor como un interruptor, los cuales resultaron decepcionantes. Se puede señalar que son de gran interés los dispositivos que se basan en la utilización del llamado efecto Josephson que no es más que el efecto de "tunelamiento" destacado por la mecánica cuántica, pero de corriente de superconductividad aun con la falta de un voltaje aplicado. Abarca desde la localización de señales del infrarrojo distante que vienen del espacio exterior hasta insignificantes campos magnéticos que surgen en el cerebro humano, poseyendo un gran campo de aplicación.

Existe la probabilidad que los generadores y motores superconductores tendrán graves daños sociales y económicos, ya que para su producción se utilizan campos magnéticos intensos.

Algunas aplicaciones de los electroimanes superconductores.

Son diversas las aplicaciones industriales que se han planteado a escala de los imanes superconductores. Hoy coexisten algunos métodos variados que emplean campos magnéticos, pero, si se emplea la superconductividad en estas áreas, se espera obtener un ahorro en costos de operación.

Algunas de las aplicaciones más importantes de los electroimanes superconductores son:

-Aplicaciones biológicas: Desde hace mucho tiempo los campos magnéticos intensos perturban el crecimiento de plantas y animales, para ello se han utilizado electroimanes superconductores para estudiar su efecto en el comportamiento de estos últimos.

-Aplicaciones químicas: Los campos magnéticos pueden cambiar las reacciones

químicas y ser utilizados en la catálisis.

-Aplicaciones médicas: Se han aplicado campos magnéticos para componer arterias, sacar tumores y para curar aneurismas sin cirugía.

-Levitación: La idea de utilizar una fuerza magnética para hacer "flotar" vehículos de transporte ha existido en la mente de los científicos casi un siglo y la posible aplicación de la superconductividad a esta dificultad lo ha restaurado. Para adquirir la levitación se corresponde a la utilización de un sistema atractivo o a un sistema repulsivo.

-Generación de energía: No es más que la utilización de imanes superconductores para conseguir "botellas magnéticas" que valgan para la generación de energía nuclear por fusión que no muestre problemas de desechos radiactivos.

-Separación magnética: Ésta se emplea comercialmente para apartar materiales paramagnéticos y materiales ferromagnéticos.

-Limpieza de aguas contaminadas: A través de los campos magnéticos se logran separar las impurezas que al estar disueltas en agua quedan ionizadas y al fluir mediante un campo magnético pueden ser descarriadas por éste y ser separadas del agua.

-Blindaje y modelaje de campos magnéticos: Puede conseguirse por medio de planos superconductores que hayan sido empleados para este fin en sistemas de producción de energía.

-Aceleradores de mucha energía: Se han logrado desarrollar electroimanes dipolares y cuadrupolares oscilantes de materiales superconductores, que sean competentes de crear los campos magnéticos más intensos de la historia para su utilización en aceleradores de partículas de energía muy grandes.

Conclusiones

- La superconductividad es presentada en sistemas que tienen estados ocupados en una banda de conducción, o sea, en sistemas de carácter metálico.
- Existen dos experimentos que definen la superconductividad en una muestra de volumen. Primeramente, podemos mencionar la pérdida total de resistencia a una cierta temperatura que es característica de cada superconductor y que tiene el nombre de temperatura crítica: el segundo es el que se aprecia es el efecto Meissner-Ochsenfeld, que consiste en que una muestra expulsa un flujo magnético y, como resultado, flota sobre un imán, al pasar al estado superconductor.
- Un conductor perfecto se caracteriza porque su campo eléctrico interno desaparece y su campo magnético es constante. En los superconductores, el

campo magnético disminuye hasta cero, de ahí son diamagnetos ideales.

- Los materiales superconductores son un innovador catalizador en el impulso al desarrollo además de reducir los efectos de la contaminación ambiental llegando a ser unos de los más priorizados en la actualidad.

Referencias bibliográficas

- Arambulo Almendariz, C. D., Carrera Almendáriz, L. S. (2021). *Técnicas experimentales para caracterizar materiales fotoconductores*. ConcienciaDigital, 4(3), 196-210. <https://doi.org/10.33262/concienciadigitalv4i3.1793>
- Baquero Rafael (2014). *La superconductividad. sus orígenes, sus teorías, sus problemas candentes hoy*.
- Carlson, W. Bernard (2013). *Tesla. Inventor of the Electrical Age*. Princeton University Press.
- Colectivo de autores (2007). *Álgebra lineal*. Editorial Félix Varela.
- Galarza Galarza, C., Mayorga Ases, M. J., Hernández Dávila, C. A., Mayorga Ases, L. A. (2021). *Matemática y física. 'Una mirada a la especialidad en la educación*. ConcienciaDigital, 4(3.2), 48-65. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i3.2.1843>
- Halliday David; Resnick Robert; Krane Kenneth. (2003). *Física Tomo I*
- Halliday David; Resnick Robert; Krane Kenneth. (2003). *Física Tomo II*
- E. Hirsch Jorge (2019.) *La superconductividad bien entendida empieza con H*.
- Kozak, Ana María; Pompeya Pastorelli, Sonia; Verdaneza, Pedro Emilio (2007). *Nociones de Geometría Analítica y Álgebra Lineal*. McGraw-Hill.
- Magaña Solís (1988). *Los superconductores*.
- Marcelo Alonso, Edward J. Finn (1976). *Física*. Fondo Educativo Interamericano. ISBN 84-03- 20234-2.
- Rego Pereira, L., Ulloa Felipe, A.B., Espinosa Achong, T., Pérez Santana, L. (2021). Propagación de onda en una interfaz. ConcienciaDigital, 4(1), 47-64. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i1.1524>
- Richard Feynman (1974). *Feynman lectures on Physics Volume 2 (en inglés)*.

Addison Wesley Longman. ISBN 0-201-02115-3.

Serway, R.A.; Vuillee, C. (2018). *Fundamentos de física. Volumen I* Serway, R.A.; Vuillee, C. (2018). *Fundamentos de física. Volumen II* Serway, R.A.; Jewett, J.W., Jr (2018). *Física para ciencias e ingeniería*.

Usca Veloz, R. B., Muyulema Allaica, J. C., Velasteguí Bósques, G. A. (2021). *Integrando electricidad, ondas y calor en la enseñanza de la física antes y después del confinamiento por COVID-19*. *ConcienciaDigital*, 4(1.2), 405-422. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i1.2.1607>

Young, Hugh D; Freeman Roger (2008). *Física universitaria. Tomo I* Young, Hugh D; Freeman Roger (2008) *Física universitaria Tomo II* Young, Hugh D; Freeman Roger. (2008). *Física universitaria Tomo III*

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.



Indexaciones

