

LA MODULACION FM



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

BOGOTÁ, D.C.

MAYO 11 DE 2001

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION

OBJETIVOS

–INTRODUCCIÓN A LA SUPERCONDUCTIVIDAD ELECTRICA

QUE SON LOS SUPERCONDUCTORES?

ASPECTOS HISTORICOS IMPORTANTES

EL PROBLEMA DE LA TEMPERATURA

–TIPOS DE SUPERCONDUCTORES

SUPERCONDUCTORES TIPO I

SUPERCONDUCTORES TIPO II

–FABRICACIÓN DE SUPERCONDUCTORES

–COMPORTAMIENTO DE LOS SUPERCONDUCTORES

EFECTO MEISSNER

EFECTO JOSEPHSON

–TEORIAS MATEMÁTICAS SOBRE LOS SUPERCONDUCTORES

–APLICACIONES DE LOS SUPERCONDUCTORES

MEDICINA

CIENCIA

MEDIOS DE TRANSPORTE

ELECTRÓNICA

SISTEMAS ELÉCTRICOS Y DE POTENCIA

–EMPRESAS FABRICANTES DE SUPERCONDUCTORES

–IMÁGENES MOLECULARES DE SUPERCONDUCTORES Y DISPOSITIVOS

–CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

La superconductividad es uno de los descubrimientos mas fascinantes de la ciencia del siglo XX. Su gama de aplicaciones es amplísima, pero abarca generalmente tres tipos que se considerarán en este trabajo: La generación de campos magnéticos intensos, la fabricación de cables de conducción de energía eléctrica y la electrónica.

Su descubrimiento se remonta a principios del siglo XX, en 1911, y está íntimamente ligado a la obtención de muy bajas temperaturas(cercanas al cero absoluto)en el laboratorio, debido al hecho que algunos materiales presentan resistividad nula cuando están sometidos a temperaturas muy bajas.

En este trabajo se pretende describir de manera lo mas sencilla posible, lo que es el fenómeno de la superconductividad, con sus principales características y aplicaciones, las cuales ya se encuentran principalmente en medicina; en la electrónica es muy importante pensar en lograr circuitos integrados donde no se tenga en cuenta el calor producido debido a elementos conductores de resistividad nula.

Es necesario mencionar que el descubrimiento y estudio de los superconductores, ha llevado muchos años de investigación y es una de las tecnologías que requieren bastante inversión debido a la complejidad de procesos y materiales utilizados.

OBJETIVOS

- conocer la evolución de los elementos superconductores y las investigaciones precedentes.
- Identificar las aplicaciones modernas mas importantes que utilizan la tecnología de superconductores.
- Analizar el cambio radical que pueden producir en la electrónica el desarrollo de circuitos y computadores con dispositivos superconductores.
- Aprender los conceptos mas importantes acerca de los materiales superconductores.

Introducción a la superconductividad eléctrica

Los metales ofrecen una cierta resistencia: parte de la electricidad se transforma en calor y ello permite innumerables aplicaciones, como la plancha, la tostadora o el calefactor eléctrico. Pero, en otros usos de la electricidad, sobre todo en su transmisión a través de cables, no resulta económico que aquella se pierda en

forma de calor. En el año 1911 el físico holandés Heike Kamerlingh Onnes descubrió que ciertos metales conducen la electricidad sin resistencia siempre y cuando se los haga "tiritar" cerca de la temperatura mas baja posible, unos 273 grados centígrados bajo cero. Dado que conseguir temperaturas tan bajas resulta muy costoso, el gran objetivo de la ciencia es encontrar materiales superconductores que operen a temperaturas mas altas. Por ello, en el año 1986 se produjo un "boom" cuando los físicos K. A. Muller y J. G. Bednorz encontraron que un material cerámico podía ser superconductor a una temperatura un poco mas alta, unos 240 grados centígrados bajo cero. Desde entonces se han descubierto un gran numero de compuestos que presentan superconductividad si se los enfría solo con aire liquido, lo que permitirá aplicaciones tecnológicas prometedoras.

Para comprender la importancia del descubrimiento de la superconductividad hay que saber como fluye la electricidad. La electricidad es sencillamente un fenómeno producido por un flujo de electrones. A este flujo se le denomina corriente.

La resistencia es un obstáculo al flujo de la corriente sobre un material de ahí que el propósito de los superconductores es conducir la corriente de manera que no exista resistencia y así eliminar las pérdidas por calor y aumentar la velocidad de un dispositivo; a continuación explicaremos con detalle el desarrollo, materiales y aplicaciones del apasionante tema de los superconductores.



Figura 1. Heike Kamerlingh Onnes. Descubridor de la superconductividad en 1911.

QUE SON LOS SUPERCONDUCTORES ?

Los superconductores son unos materiales capaces de permitir el paso de la corriente eléctrica presentando una resistencia prácticamente nula. Cuando fluye corriente a través de un superconductor, no se produce ninguna pérdida de energía eléctrica.

Con un oscilador, por ejemplo un columpio, se puede hacer una buena analogía de la superconductividad. Por muy fuerte que se empuje un columpio, este siempre se acabará deteniéndose. La energía suministrada por nuestros brazos se perderá por rozamiento de columpio con el aire, y mas significativamente por fricción de las cadenas o engranajes con la estructura que soporta el columpio, y por efecto de la gravedad terrestre. Ahora imaginemos un columpio que nunca se detuviera. Una vez empujado seguiría oscilando eternamente. En un conductor convencional, un impulso de corriente eléctrica se atenuaría rápidamente hasta desaparecer debido a la resistencia. Sin embargo en un superconductor la corriente puede fluir eternamente, puesto que no hay nada que se ponga a ello.

Onnes, el físico holandés, continuó sus investigaciones buscando superconductividad en muchos materiales. En cada caso el material debía ser enfriado a temperaturas próximas al cero absoluto (cero Kelvin). Este enfriamiento se realizaba sumergiendo el futuro superconductor en helio liquido. El helio se licua a 4°k. Una vez el material se había refrigerado a esa temperatura, se convertía en un superconductor.

Aspectos Históricos importantes.

A pesar de la gran importancia de este efecto, no se desarrolló ninguna aplicación útil hasta unas décadas más tarde de su descubrimiento. El principal obstáculo que presentaba el desarrollo de aplicaciones era la necesidad de emplear temperaturas extremadamente bajas. El equipo necesario para hacer el helio líquido que enfriaba el superconductor a la temperatura requerida era caro y complejo, problema que se sigue presentando en la actualidad. Otro problema importante era la incapacidad del superconductor para resistir campos magnéticos intensos.

Los principios físicos de la superconductividad no se comprendieron hasta 1957, cuando los físicos estadounidenses John Bardeen, Leon N. Cooper y John R. Schrieffer propusieron una teoría que ahora se conoce como teoría BCS por las iniciales de sus apellidos, y por la que sus autores recibieron el Premio Nobel de Física en 1972. La teoría BCS describe la superconductividad como un fenómeno cuántico, en el que los electrones de conducción se desplazan en pares, que no muestran resistencia eléctrica. Esta teoría explicaba satisfactoriamente la superconducción a altas temperaturas en los metales, pero no en los materiales cerámicos. En 1962, el físico británico Brian Josephson estudió la naturaleza cuántica de la superconductividad y predijo la existencia de oscilaciones en la corriente eléctrica que fluye a través de dos superconductores separados por una delgada capa aislante en un campo eléctrico o magnético. Este fenómeno, conocido como efecto Josephson, fue posteriormente confirmado experimentalmente.

Los científicos han usado electroimanes para generar campos magnéticos desde hace mucho tiempo. Haciendo fluir corriente eléctrica por un anillo conductor se induce campo magnético. Sustituyendo el conductor por un superconductor y enfriándolo a la temperatura necesaria, podría ser posible generar campos magnéticos mucho más potentes debido a la falta de resistencia, y por tanto de generación de calor en el anillo. Sin embargo, esto no pudo hacerse en un principio. Cuando el campo magnético alcanzaba una determinada intensidad, el superconductor perdía sus propiedades y se comportaba como un conductor ordinario. Hasta la década de los cuarenta no se resolvieron los problemas de los campos magnéticos y solo muy recientemente se ha superado el problema de las bajas temperaturas.



Figura 2. John Bardeen, Leon N. Cooper y John R. Schrieffer ganadores del premio nbel de física en 1972.

El problema de la temperatura.

Refrigerar un material superconductor a temperaturas próximas al cero absoluto ha sido siempre una grave dificultad. El helio líquido se utiliza para enfriar los materiales a temperaturas del orden de 4°K.

Este elemento es muy caro, y las dimensiones del equipo de enfriamiento son considerables. Los gastos de refrigeración han sido siempre mayores que el ahorro de energía que podían ofrecer los superconductores frente a los conductores ordinarios, y por tanto no ha habido ningún incentivo económico que impulse a intentar sustituir los conductores convencionales por superconductores.

Por estas razones, la superconductividad se ha mantenido en el laboratorio, y para usos especiales en los que los conductores normales no son adecuados, como, por ejemplo, en electroimanes de alta potencia. Si la superconductividad ha de salir del laboratorio, los problemas de refrigeración deben ser superados.

Algunos científicos que trabajaban con superconductores similares a los empleados por Onnes, intentaron ligeramente subir la temperatura crítica mezclando compuestos para formar aleaciones superconductoras. Hacia 1933 la temperatura crítica fue duplicada a 10°K (aún muy baja). No fue hasta 1969 cuando la temperatura crítica volvió a duplicarse nuevamente, alcanzando los 20°K . Este avance fue muy importante puesto que el hidrógeno se licua a 20°K . Por primera vez podría utilizarse otro agente refrigerador.

Cuatro años más tarde, en 1973, la temperatura crítica subió unos pocos grados más, a 23°K . Durante aproximadamente una década, los científicos intentaron aumentar la temperatura crítica. Experimentaron sin éxito muchos compuestos y aleaciones.

Finalmente en 1986 dos investigadores de IBM en Zurich anunciaron haber conseguido subir la temperatura crítica a 30°K en un material completamente nuevo. Alex Muller y Georg Bednorz habían sintetizado un complejo material cerámico que presentaba superconductividad a 30°K . Este extraordinario descubrimiento impulsó a muchos investigadores a trabajar con materiales cerámicos similares.

Unos meses después la temperatura crítica fue aumentada a 39°K .

En febrero de 1987 Ching–Wu (Paul) Chu y su equipo de investigación de la universidad de Houston anunciaron haber desarrollado un superconductor con una temperatura de 98°K . Este descubrimiento causó un gran impacto en la comunidad científica mundial, pues una importante barrera había sido traspasada. El nitrógeno se licua a 77°K , una temperatura bastante inferior a la temperatura crítica alcanzada. El nitrógeno líquido es fácil de transportar en termos aislados, y es muy barato, mucho más que el helio. Ya era posible desarrollar dispositivos superconductores prácticos, eficientes y a bajo coste.

Sin embargo la carrera de la temperatura crítica aún no ha terminado. Los científicos sueñan con superconductores a temperatura ambiente, que no necesiten refrigerarse. La temperatura ambiente está alrededor de 293°K , y algunos laboratorios han anunciado ya haber conseguido superconductividad a temperaturas superiores a los 230°K .

Los nuevos superconductores plantean muchos problemas que están aún por resolver. A pesar de que sus temperaturas críticas son mucho mayores que las de los materiales antiguos, no pueden soportar corriente eléctrica tan altas, presentan problemas para generar campos magnéticos intensos, y son más difíciles de construir en cables, anillos y otras formas. Sin embargo los científicos piensan que estos problemas acabarán superándose.



Figura 3. Alex Muller y George Bednorz de IBM.

Tipos de superconductores

Existen diferencias importantes entre los superconductores que permiten clasificarlos en dos grandes grupos como veremos a continuación:

Superconductores tipo I: La categoría de superconductores tipo I está comprendida principalmente por metales puros los cuales presentan algún tipo de conductividad a temperatura ambiente; estos materiales requieren increíbles temperaturas de enfriamiento. Esta categoría de materiales fue

descubierta primero y a continuación tenemos una lista de estos materiales con su respectiva temperatura de transición.

ELEMENTO	TEMPERATURA DE TRANSICIÓN (TC) °k
PLOMO	7.2°K
LANTANO	4.9°K
TANTALIO	4.47°K
MERCURIO (PRIMER ELEMENTO SUPERCONDUCTOR DESCUBIERTO EN 1911)	4.15°K
ESTAÑO	3.72°K
INDIO	3.40°K
TALIO	1.70°K
RENIO	1.697°K
PROTACTINIO	1.4°K
TORIO	1.38°K
ALUMINIO	1.175°K
GALIO	1.10°K
GADOLINIO	1.083°K
MOLIBDENO	0.915°K
ZINC	0.85°K
OSMIO	0.66°K
ZIRCONIO	0.61°K
ELEMENTO	TEMPERATURA DE TRANSICIÓN (TC) °K
AMERICIO	0.6°K
CADMIO	0.517°K
RUTENIO	0.49°K
TITANIO	0.40°K
URANIO	0.20°K
HAFNIO	0.128°K
LUTECIO	0.1125°K
BERILIO	0.1°K
TUNGSTENO	0.026°K
PLATINO	0.0019°K
RODIO	0.000325°K

Tabla 1. Elementos superconductores tipo I

Otros elementos pueden ser llevados a estado de superconductividad por medio de la aplicación de alta presión cuyo valor puede ser de miles de atmósferas. En la tabla periódica vemos una lista de estos materiales así como los mencionados anteriormente.

KNOWN SUPERCONDUCTIVE ELEMENTS

■ BLUE = AT AMBIENT PRESSURE
■ GREEN = ONLY UNDER HIGH PRESSURE

1	2																	10					
1	2																	10					
3	4																	5	6	7	8	9	10
11	12																	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36						
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54						
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86						
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112												

* Lanthanide Series	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
+ Actinide Series	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103

figura 4. Elementos superconductores conocidos

Los superconductores tipo I son llamados superconductores ideales.

Kamerling Onnes también observó que al cualquier temperatura T , tal que $T < T_c$, el estado superconductor podía ser destruido por la aplicación de un campo magnético de intensidad mayor que cierto campo magnético crítico.

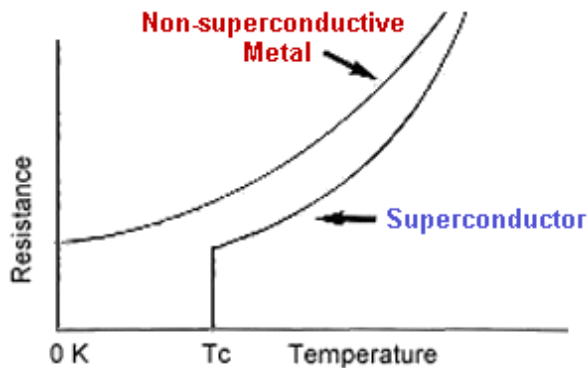


figura 5. Gráfica de T_c VS R de un material superconductor tipo I

Superconductores tipo II. El comportamiento de muchas aleaciones y de algunos de los metales superconductores más refractarios es complejo e individual, particularmente con respecto a la forma como resultan afectados en el estado superconductor en presencia de un campo magnético. A estos superconductores se les ha dado el nombre de superconductores tipo II.



figura 6. Curva de respuesta T vs R de un material superconductor tipo II

En 1957 por primera vez, el científico soviético Abrikosov Publicó un estudio teórico en el que señalaba que podía haber otra clase de superconductores con propiedades diferentes de los estudiados hasta entonces. Daba como característica esencial de estos materiales el hecho de que presentan una energía superficial negativa para fronteras que separan la parte que se encuentra en estado normal de la parte que se encuentra en estado superconductor del material.

Es muy importante distinguir entre lo que es el estado mixto y lo que es el estado intermedio. Recuérdese que el estado intermedio aparece en los superconductores tipo I que lleva a asignarle un valor de factor de desmagnetización diferente de cero ; el estado mixto por otra parte, es una característica intrínseca de los superconductores tipo II y que aparece aún si la forma de la muestra es tal que lleve a asignarle un valor de factor de desmagnetización diferente de cero.

aleacion	TEMPERATURA DE TRANSICIÓN (TC) °k
Hg _{0.8} Tl _{0.2} Ba ₂ Ca ₂ Cu ₃ O _{8.33}	138°K
HgBa ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₈	133°K–135°K
HgBa ₂ Ca _{1-x} Sr _x Cu ₂ O ₆	123°K–124°K
HgBa ₂ CuO ₄	94°K–98°K
Tl _{1.6} Hg _{0.4} Ba ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₁₀	130°K
Tl ₂ Ba ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₁₀	127°K
TlBa ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₉	123°K
Bi _{1.6} Pb _{0.6} Sr ₂ Ca ₂ Sb _{0.1} Cu ₃ O _x	130°K
Bi ₂ Sr ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₁₀	110°K
Bi ₂ Sr ₂ CaCu ₂ O ₈	80°K

Tabla 2. Algunos superconductores tipo II

Fabricación DE SUPERCONDUCTORES

FABRICACIÓN por medio de reacciones en estado sólido de cerámicas superconductoras.

Los materiales con características de superconductividad, presentan muy buenas expectativas respecto a su utilización en áreas donde los materiales tradicionales han encontrado sus límites. Durante 1995 se desarrolló un proyecto titulado "Conformado por Extrusión de Materiales Superconductores", donde se precisó cuantitativamente la dependencia de la estructura de la solución sólida $Nd[1+x]Ba[2-x]Cu_3O_{[7+d]}$ y

$\text{Bi}_2\text{Sr}_{[2+x]}\text{Ca}_{[1+x]}\text{Cu}_2\text{O}_n$ para diferentes contenidos de oxígeno $1 \leq n \leq 0$ y para algunos x selectos ($0 \leq x \leq 0.5$).

Las propiedades eléctricas y estructurales de estos compuestos, dependen fuertemente de la cantidad de oxígeno que contienen; muestras muy desoxigenadas, presentan más de una fase cristalina.

Luego de la obtención de los polvos con las características requeridas, se procedió a la manufacturación de elementos para comprobar sus propiedades de superconductividad.

El método de conformado fue la extrusión en matrices de acero, considerando los parámetros reológicos para la preparación adecuada de la mezcla y los de trabajo que permiten la obtención de cuerpos cerámicos manipulables, así como las condiciones de sinterización del cuerpo cerámico.

Desarrollo y fabricación de piezas a base de carburo de silicio: materiales permeables, materiales compuestos, materiales tixotrópicos.

Los avances logrados en las operaciones minero–metalúrgicas, han generado una demanda de materiales con propiedades únicas que soporten las severas condiciones de trabajo impuestas por las exigencias de mayor productividad en dichas faenas. Los materiales compuestos, cerámicos de matriz metálica, son los que satisfacen estos nuevos requerimientos de productividad y menores costos específicos de operación. El objetivo en este desarrollo fue la producción de cermets de carburo de silicio infiltrado con aleaciones de cobre. El problema esencial que se debió resolver, fue la compatibilidad de la fase cerámica con el metal o su aleación de tal forma que la infiltración ocurra ocupando debidamente los poros contenidos en la microestructura cerámica, sin que ocurra una reacción y, sin embargo, se logre una apropiada adhesión cerámica–metal. La configuración de la porosidad.

COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES SUPERCONDUCTORES

La capacidad de un superconductor de permitir el flujo electrónico sin ofrecer resistencia no es su única propiedad. A continuación se explican otros fenómenos importantes asociados a los superconductores.

El efecto Meissner

Si un superconductor se refrigera por debajo de su temperatura crítica en el seno de un campo magnético, el campo rodea al superconductor, pero no penetra en él. Este fenómeno se conoce con el nombre de Efecto Meissner y fue descubierto en 1933. Sin embargo, si el campo magnético es demasiado intenso, el superconductor vuelve a su estado normal incluso estando a una temperatura inferior a su temperatura crítica.



figura 7. imán levitando sobre un material superconductor a causa del efecto Meissner

Tomando como criterio la capacidad de un superconductor para repeler un campo, es posible clasificar los superconductores en los dos tipos mencionados anteriormente. Los superconductores tipo I son simples metales puros, tales como el plomo o el estaño. Estos repelen el campo magnético hasta que alcanza determinada intensidad. Esta intensidad se denomina campo crítico, y es distinto para cada superconductor. Una vez que el campo magnético ha alcanzado su valor crítico, el superconductor vuelve a su estado normal

perdiendo sus propiedades.

Los superconductores tipo II se comportan de una forma ligeramente distinta. Estos superconductores son más complejos, a menudo aleaciones de metales de transición (Son un grupo específico de la tabla periódica). En un superconductor tipo II, existe un segundo campo crítico más intenso que el primero. Una vez que el campo magnético ha alcanzado su primer valor crítico, el superconductor ya no repele completamente el campo, pero sigue conduciendo sin ofrecer resistencia. Cuando el campo alcanza un segundo valor crítico, el material presenta resistencia eléctrica. La mayoría de superconductores de interés actual son de tipo II.

El efecto Josephson

Otra propiedad interesante de los superconductores es el efecto Josephson. El efecto Josephson está basado en otro fenómeno que recibe el nombre de efecto túnel. En una unión formada por una delgada barrera de óxido colocada entre dos superconductores, se puede producir efecto túnel. Las caras externas de los dos superconductores se unen entre sí, y se mide la corriente que pasa a través de la unión. Cuando la unión se expone a campos magnéticos o radiación, el flujo de corriente cambia debido a que algunos electrones atraviesan la barrera de óxido (efecto túnel). Este efecto puede emplearse en circuitos de ordenadores, y para detectar campos magnéticos muy débiles.

Estudios muy recientes han demostrado que el efecto Josephson puede producirse a temperaturas muy superiores a las temperaturas críticas del material superconductor.

TEORIAS MATEMÁTICAS ACERCA DE LOS SUPERCONDUCTORES

Desde el descubrimiento de la superconductividad en 1911, los científicos han intentado explicar el funcionamiento de los superconductores. La elaboración de una teoría que desvele los misterios de la superconductividad podría permitir a los científicos desarrollar nuevos y mejores superconductores, y aprender más acerca de su comportamiento.

En 1957 tres investigadores, John Bardeen, Leon Cooper y J.R Schrieffer, publicaron una teoría que intentaba explicar como funcionaban los superconductores. Esta teoría recibió el nombre de teoría BCS, y los tres investigadores recibieron el premio Nóbel por este trabajo.

La teoría BCS afirma que los electrones que fluyen a través de un superconductor se agrupan en pares (llamados pares de Cooper). Estos pares electrónicos se producen debido a los fonones, que crean una especie de pegamento subatómico. El par de electrones deja una estela al moverse a través de la estela cristalina. Esta estela es aprovechada por los pares siguientes como camino a través de la red cristalina, evitando colisiones con otras partículas, lo que obstaculiza el flujo y generaría resistencia eléctrica (como ocurre en los conductores normales).

Recurriendo un poco a la matemática aplicada en electromagnetismo, encontramos la teoría clásica la cual matemáticamente explicaría el efecto meissner:

La fuerza que experimenta un electrón superconductor en un campo E es

según la ley de Newton:

La densidad de corriente de los electrones superconductores es:

entonces encontramos la primera ecuación de London :

Aplicando el rotacional a la ecuación anterior y teniendo en cuenta que

Rot $E = B$ obtenemos :

Si consideramos que J y B no dependen del tiempo, $\text{Rot } H = J$, $\text{uot} H = B$

encontramos la segunda ecuación de London.

La solución de esta ecuación es de la forma:

Para campos que varían con el tiempo tendremos las siguientes relaciones

La teoría explica el efecto Meissner, El campo solo puede penetrar una distancia d y existe J_s solo en la superficie.

Analicemos ahora la teoría cuántica de los superconductores:

La teoría cuántica de la superconductividad fue desarrollada inicialmente por Ginzburg–Landau pero fueron Bardeen–Cooper–Schrieffer quienes desarrollan el actual modelo estándar de la superconductividad. Pero la teoría BCS aun no esta completa y el descubrimiento de nuevos materiales superconductores a altas temperaturas la están poniendo a prueba.

Sea Ψ la función de onda de los electrones superconductores y n_s la densidad de electrones superconductores. Entonces :

Para un material en un campo H mucho menor a H_c las ecuaciones anteriores se reducen a las de London, pero para H cercano al campo H_c la densidad de electrones superconductores no permanece constante $n_s = f(T, T_c)$.

En la teoría se definen los siguientes conceptos:

• Interacción Electrón–Red–Electrón:

La interacción indirecta electrón–red–electrón conduce a un estado fundamental separado de los estados excitados mediante una banda prohibida de energía. En el estado superconductor cuando un electrón interactúa con la red la deforma, un segundo electrón se ajusta a la deformación así el segundo electrón interactúa con el primero a través de la deformación de la red.

• Banda Prohibida de Energía:

La banda prohibida de los superconductores es de un origen y naturaleza diferente que la banda prohibida de los aislantes. En un aislante la banda prohibida es originada por la interacción electrón–red. En un superconductor la interacción es electrón–red–electrón y ordena a los electrones en el espacio separando a los electrones superconductores de los electrones conductores.

• Longitud de Penetración y de Coherencia:

La longitud de penetración es el camino que ha penetrado un campo en el superconductor. La longitud de coherencia es una medida de la distancia en la cual la concentración de electrones superconductores no varia debido a la variación espacial de un campo.

• Parámetros Característicos: La respuesta de los superconductores a los campos electromagnéticos son caracterizados por ciertos parámetros que se definen como la relación entre la longitud de penetración del campo y la longitud de coherencia. Para campos magnéticos k es el parámetro y clasifica a los

superconductores en tipo I si hay destrucción total de la superconductividad para $H = H_c$ y tipo II si la destrucción es gradual para H entre H_{1c} y H_{2c} . Para campos eléctricos se define un parámetro análogo l y mide la influencia de E en el superconductor, si es menor a 1 los efectos de E son disipados en el material y si es mayor a 1 E afecta sensiblemente a la concentración de los electrones superconductores.

δ Cuantización del Flujo:

El flujo de un campo electromagnético a través de un superconductor esta cuantizado.

La interacción de campos electromagnéticos en superconductores se resume en la siguiente tabla:

Campo Magnético Eléctrico

Penetración

Parámetro

Cuanto e

La superconductividad es un fenómeno cuantico y aun no se ha terminado de desarrollar una teoría que explique los fenómenos observados en los nuevos materiales superconductores de alta temperatura. La estructura particular de estos materiales es la responsable de este comportamiento y este factor es ahora fundamental para el desarrollo de una teoría completa de la superconductividad.

Aplicaciones de la superconductividad

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

- La producción de grandes campos magnéticos. Al decir grandes nos referimos tanto a una gran intensidad del campo magnético como al espacio en el cuál se crea el campo.
- La fabricación de cables de transmisión de energía. Aunque ya estos se manufacturan a partir de los superconductores convencionales (no de los nuevos superconductores cerámicos), 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 en la utilización de cables superconductores.
- La fabricación de componentes para circuitos electrónicos. Estos dispositivos electrónicos fueron ideados originalmente con la intención de utilizar la transición de estado normal a estado superconductor como un interruptor, pero 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 aún 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 computadoras.

La aplicación mas 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. 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 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 tendrán enormes consecuencias en lo social y económico, 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.

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

- 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.
- 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 tendrá que ser el campo crítico del material superconductor.
- La mayor densidad de corriente crítica posible. A mayor densidad de corriente crítica que la muestra pueda soportar antes de pasar al estado normal, mas pequeño podrá hacerse el dispositivo, reduciéndose, de esta manera, la cantidad requerida de material superconductor y también la cantidad de material que debe refrigerarse.
- 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 o incluso por degradación del material al transcurrir el tiempo (como ocurre en muchos de los nuevos dispositivos 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.
- facilidad de fabricación. Un material superconductor será completamente inútil para aplicaciones en gran escala si no puede fabricarse fácilmente en grandes cantidades.
- Costo mínimo. Como siempre, el costo es el factor mas importante para considerar cualquier material utilizado en la ingeniería y deberá mantenerse tan bajo como sea posible.



figura 8. magneto superconductor

La superconductividad en la medicina

La mayoría de las aplicaciones actuales de la superconductividad se encuentran en los campos de la ciencia y la medicina. Históricamente la ciencia ha sido la primera en aprovechar la tecnología de superconductores. Los dispositivos desarrollados hasta ahora han dado lugar a importantes avances en la comprensión científica de la superconductividad, y lo que están en fase de desarrollo prometen enseñarnos mucho mas.

En la ciencia, la superconductividad se emplea en investigaciones teóricas y aplicadas, al igual que en instrumental de laboratorio y otros dispositivos. Las aplicaciones de la superconductividad no están limitadas a ningún área específica de la ciencia. La superconductividad ha entrado en el mundo de la medicina, proporcionando nuevos métodos y mas fiables en exploraciones médicas, diagnósticos y tratamiento de pacientes.

Sin duda la aplicación mas importante es la obtención de imágenes por resonancia magnética cuyas siglas en

inglés son (MRI). Los métodos emplean esta expresión para designar una técnica científica llamada Espectroscopia por resonancia magnética nuclear (NMR). MRI es , en esencia, un método no invasivo que permite observar el interior del cuerpo humano.

MRI es una técnica de diagnóstico por imagen que utiliza los principios de la resonancia magnética nuclear (RMN). Aunque las imágenes de resonancia magnética se han producido en las dos últimas décadas, la investigación básica en este campo se inició en las décadas de 1930 y 1940, y comprendió investigaciones fundamentales de físicos sobre la interacción del núcleo atómico con campos magnéticos. Hacia 1950 se desarrolló la física básica sobre la que se apoyaban las imágenes de resonancia magnética. Sin embargo, se precisaron otras tres circunstancias: la disponibilidad de un ordenador o computadora potente y rápido, el desarrollo de un imán estable del tamaño del cuerpo humano con radiofrecuencias electrónicas asociadas, y la idea de que se podían obtener imágenes del interior humano con fines diagnósticos. P. C. Lauterbur, Raymond Damadian y Peter Mansfield demostraron la posibilidad de llevar a cabo esta idea empleando los principios físicos de la resonancia magnética nuclear. Las primeras imágenes de resonancia magnética se publicaron a principios de la década de 1970 y sus aplicaciones médicas se han acelerado en laboratorios y centros médicos de todo el mundo desde 1983 hasta 1993.

El observador ocasional se puede ver desbordado por la multitud de técnicas de imagen médicas y aplicaciones disponibles utilizando las imágenes de resonancia magnética. La resonancia magnética es considerada por muchos como la modalidad de diagnóstico por imagen más versátil, poderosa y sensible disponible en la actualidad. Su importancia médica se puede resumir brevemente como la capacidad de generar finas secciones de modo no invasivo, imágenes funcionales de cualquier parte del organismo desde cualquier ángulo y dirección en un periodo relativamente corto. Además, las recientes técnicas han permitido la visualización del corazón con exquisito detalle anatómico desde cualquier ángulo y dirección empleando la técnica del trazado electrocardiográfico. Otros avances en esta técnica permiten la visualización de las arterias y venas empleando la técnica denominada angiografía por resonancia magnética. Es más, las imágenes espectroscópicas de resonancia magnética permiten rastreos de componentes bioquímicos que corresponden a cualquier corte anatómico del cuerpo humano. Esto produce una información biomédica y anatómica básica con un gran potencial para el conocimiento fundamental y el diagnóstico precoz de múltiples enfermedades.

El principio de la resonancia magnética es aplicable al cuerpo humano porque está lleno de pequeños imanes biológicos, de los cuales el más abundante y que mejor responde es el núcleo del átomo de hidrógeno, el protón. Los principios de la resonancia magnética tienen ventaja sobre la distribución aleatoria de protones que poseen propiedades magnéticas fundamentales. Este proceso comprende tres pasos básicos. En el primero, esta técnica genera una condición de estado regular dentro del cuerpo al colocar al mismo en un campo magnético potente y seguro (30.000 veces más fuerte que el campo magnético de la Tierra). En segundo lugar, cambia el estado de orientación constante de los protones al estimular el organismo con la energía de radiofrecuencia. En tercer lugar, la estimulación de la radiofrecuencia finaliza y `oye' al cuerpo transmitir la información sobre sí mismo en esta frecuencia `resonante' especial mediante una antena diseñada para tal efecto. La señal transmitida se detecta y sirve de base en la construcción de imágenes internas del cuerpo empleando principios de ordenadores similares a los que fueron desarrollados por los rayos X, la TAC (tomografía axial computerizada) y los escáneres TC.

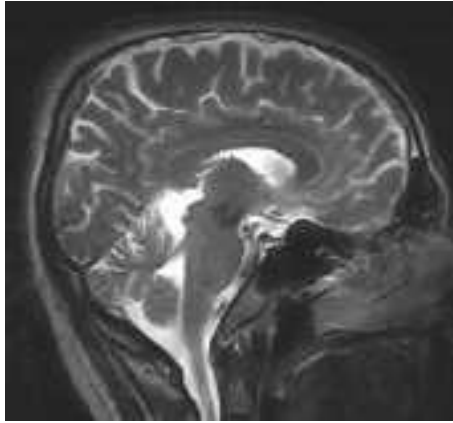


figura 9. Imagen del cerebro obtenida por MRI

El sistema MRI funciona aplicando al cuerpo humano un campo magnético intenso generado por una bobina electromagnética superconductora. Cuando el cuerpo humano se expone a este campo magnético, las moléculas de agua y los tejidos se orientan siguiendo la dirección del campo. Se aplica entonces un pulso de radio-ondas con la frecuencia de resonancia apropiada, haciendo que los átomos pasen a estados excitados. Cuando el pulso decae, los átomos vuelven a su estado anterior, liberándose energía. Esta energía es detectada y empleada para generar una imagen. Aplicando campos de distinta intensidad, se pueden obtener distintas secciones anatómicas del cuerpo.

Las máquinas MRI han ganado popularidad rápidamente. Existen actualmente centenares de estas unidades funcionando en todo el mundo.

Esta tecnología tiene muchas aplicaciones en el diagnóstico y tratamiento de apoplejías y otros accidentes cerebro-vasculares.

Esta técnica MRI se llama *angiografía de proyección*. Cuanto mas rápido es el flujo de sangre a través de un vaso capilar, mas brillante aparece éste en la pantalla del MRI. Si un vaso sanguíneo no aparece tan brillante como debería, el flujo de sangre es anormalmente lento. Esto podría indicar la presencia de un obstáculo que está obstruyendo el paso de sangre, como en una arterioesclerosis. La ventaja de esta técnica es que el circulatorio puede ser observado desde todos los ángulos posibles, sin siquiera mover al paciente.



figura 10. Mujer entrando a un cilindro de resonancia magnética.

La superconductividad en la ciencia

Los cuerpos humanos no son los únicos organismos vivos que se pueden beneficiar de las técnicas MRI. Los científicos de la compañía General Electric y el departamento de agricultura de los Estados Unidos emplean sistemas MRI para desvelar los misterios del crecimiento de las plantas. Con ayuda del MRI que tiene el centro de investigación y desarrollo de General Electric, un equipo de científicos está estudiando la estructura y funcionamiento de raíces de plantas vivas, en un intento de hallar formas de optimizar las condiciones de crecimiento. El MRI permite a los científicos observar a través de la maceta y la tierra el crecimiento de las raíces y la absorción del agua.

La superconductividad en los medios de transporte

En el futuro, la superconductividad afectará a muchos de los métodos que empleamos para trasladarnos. Los trenes ya hacen uso de la superconductividad y posiblemente pronto se modifiquen también los autos y barcos.

Trenes Maglev:

Maglev es la abreviatura de levitados magnéticamente, estos trenes ofrecen grandes posibilidades en el transporte terrestre de alta velocidad. Los trenes convencionales llevan ruedas y se mueven sobre rieles, por tanto la velocidad máxima posible de los trenes tradicionales está limitada por la fricción generada por las ruedas sobre los rieles; en cambio los Maglev son más rápidos que cualquier otro tren porque flotan sobre un colchón magnético a unos 10 cm del riel. Eliminando las ruedas y haciendo levitar el tren, la velocidad ya no está limitada por la fricción de los rieles.

El principio de funcionamiento de los trenes Maglev se basa en una ley del magnetismo bien sencilla: los polos magnéticos iguales se repelen, mientras que los opuestos se atraen. Un sistema de electroimanes que varía según el tipo de diseño es colocado sobre los rieles y en los coches de los trenes.

Unos imanes se emplean para elevar el tren, y otros para impulsarlo hacia delante. Actualmente existen trenes

Maglev en Japón y Alemania. Los diseños Japoneses incorporan electroimanes superconductores. En 1979 los Alemanes abandonaron los electroimanes superconductores para sustituirlos por otros convencionales. Los electroimanes Japoneses son capaces de proporcionar potentes campos magnéticos con un consumo de electricidad mínimo. Los costes que los Japoneses se ahorran en electricidad los Alemanes se lo ahorran en equipos de refrigeración criogénicos.

El diseño Japonés incorpora 8 imanes superconductores en cada coche. Miles de bobinas metálicas son construidas en el fondo de un riel en forma de U. El tren se mueve sobre sus ruedas al arrancar y al detenerse. A medida que va adquiriendo velocidad, los imanes superconductores del coche inducen corrientes eléctricas a las bobinas de los rieles. Estas corrientes inducidas hacen que las bobinas generen un campo magnético. Los campos generados por los electroimanes del tren y los del riel se repelen entre si haciendo que el tren levite sobre el riel.

En las paredes del riel en forma de U se instalan dos hileras de electroimanes. Estos electroimanes conmutan si polaridad repetidamente, atrayendo y repeliendo los electroimanes superconductores del tren, que es así impulsado hacia delante.

El diseño Alemán incorpora electroimanes convencionales en todo el sistema. Este diseño difiere del Japonés en muchos aspectos. Los coches no levitan por repulsión sino por atracción. Los electroimanes se instalan en unas estructuras acopladas en la base de los coches que rodean el riel, que tiene forma de T. Cuando se activan el tren es atraído por lo electroimanes instalados en lo alto del riel. La propulsión se produce por otro sistema de electroimanes instalados en el riel y en la base del tren.



figura 11. Tren de Levitación Magnética MLX01 de Yamanashi

Los superconductores aplicados a la Electrónica

La superconductividad promete adelantos muy significativos en la industria electrónica. Ya existen muchas aplicaciones prácticas en la electrónica de superconductores que se han llevado a cabo con éxito. Sin embargo, aún quedan muchos problemas por resolver, especialmente con la nueva generación de superconductores.

La aplicación mas importante sin duda está orientada al mejoramiento de los circuitos integrados, ya que cuanto mayor es el número de componentes que pueden ser empacados juntos en un mismo circuito integrado, menor es el tiempo que necesita una señal eléctrica para viajar de un componente a otro. Esto permite a los circuitos integrados funcionar a velocidades mucho mayores que los circuitos con elementos discretos. Los Ics actuales operan a velocidades extremadamente altas, lo que ha generado un nuevo problema.

Los componentes de los circuitos integrados son capaces de operar a velocidades superiores a las que una interconexión puede transmitir la señal eléctrica de un componente a otro. Las interconexiones llevan la señal y la potencia eléctricas a los distintos componentes del IC.

Los superconductores serían un material ideal para hacer interconexiones. Dado que carecen de resistencia eléctrica, pueden disminuir notablemente la disipación de calor que se produce en los circuitos integrados y transistores.

Los superconductores podrían también aportar ventajas adicionales, tales como la eliminación de los problemas causados por las interferencias magnéticas, debido a su peculiar propiedad de repeler campos de este tipo.

Empleando conexiones superconductoras se podrían empaquetar los componentes más juntos, permitiendo también aumentar el número de componentes en un solo circuito integrado.



figura 12. Grabado de un microchip con hilos superconductores

La superconductividad aplicada a la electricidad y sistemas de potencia

Una de las aplicaciones de la superconductividad que se predijo con más antelación es el área de los sistemas eléctricos de potencia. Hace ya tiempo que los ingenieros y científicos confían que algún día los superconductores mejorarán los sistemas de potencia, aumentando su eficacia en la generación, distribución y consumo de electricidad, con un importante beneficio económico como resultado.

Los sistemas eléctricos de potencia abarcan todos los sistemas utilizados para producir y distribuir electricidad. Desde los generadores en las centrales eléctricas hasta los consumidores individuales, pasando por la red de distribución, la superconductividad podría ahorrar mucha energía y dinero frente a los sistemas convencionales. Unos generadores que tuvieran bobinados de hilos superconductores en lugar de hilos convencionales de cobre podrían generar la misma cantidad de electricidad con menor trabajo y equipamiento más pequeño. Una vez generada la electricidad, podría distribuirse a través de una red de líneas de alta tensión superconductoras. Los sistemas actuales de distribución gastan hasta el 20 por 100 de la energía que reciben a causa de su resistencia.

La energía que llega al consumidor podría ser utilizada más eficientemente si los electrodomésticos tuvieran motores con bobinados superconductores y circuitos electrónicos con materiales del mismo tipo.

Actualmente, un cable superconductor necesita de una cubierta refrigerante a su alrededor para mantenerlo a una temperatura inferior a la temperatura crítica del material que lo forma.

Con respecto a la construcción mecánica existen tres tipos de cables superconductores:

1. Rígidos. El aislamiento y el superconductor se fabrican con tubos rígidos.

La longitud máxima transportable es de 20 metros, Además Se necesitan componentes corrugados para compensar las contracciones térmicas.

2. Semiflexibles. En este caso el conductor es flexible y puede consistir en un tubo corrugado, o con alambres doblados en forma helicoidal sobre un soporte cilíndrico hueco. Estos cables superconductores pueden

fabricarse en longitudes de 200 a 500 metros.

3. Completamente flexibles. En este tipo de cable el aislamiento térmico también es flexible. El cable está construido con tubos corrugados, de manera que no hay problemas con respecto al transporte y las contracciones térmicas.

FABRICANTES DE SUPERCONDUCTORES

ð [Oxford Instruments](#) | El mayor fabricante mundial de superconductores.

ð [BICC General Superconductors](#) | Cables superconductores

ð [American Superconductor Corp.](#) | Distribuidores para la industria eléctrica

ð [Applied Physics Systems](#) | SQUIDS y magnetómetros superconductores.

ð [Cryomagnetics, Inc.](#) | imanes superconductores

ð [ARS Associates](#) | Equipos semiconductores y superconductores

ð [Everson Electric Co.](#) | imanes y cables superconductores

ð [THEVA](#) | Fabricante Alemán

ð [Cryogenic Electronic Systems Corp.](#) Fabricante de sistemas magnetocardiógrafos

ð [CSIRO Telecom](#) | Australia

ð [Microcoating Technologies](#) | Thin-Film Deposition Technology

ð [Marketech](#) | Productos HTSC

ð [Sumitomo Electric Industries](#) | Imanes y cables superconductores – Japón

ð [Hypres](#) | Compañía electrónica de superconductores

ð [Nordic Superconducting Technologies](#) | Dinamarca

ð [Metal Manufacturers](#) | Superconductores Australianos

ð [Pirelli Cable](#) | Cables y alambres superconductores

ð [EURUS Technologies, Inc.](#) | Superconductores EURUS

ð [Southwire](#) | Cables superconductores

ð [ETH Materials](#) | Aplicaciones de Potencia – Suiza

ð [Power Superconductor Applications Corp.](#) | Criogenia aplicada a la electrónica

ð [Superconductor Materials, Inc.](#) Materiales especiales

δ Wintici | Superconductores de alta temperatura para las telecomunicaciones – Francia

δ Daesung | Cables superconductores. –Korea

IMÁGENES MOLECULARES DE SUPERCONDUCTORES Y DISPOSITIVOS

figura 13. Base cerámica de un superconductor cerámico

figura 14. Superconductor orgánico

figura 15. Cable superconductor de Niobio



FIGURA 16. Unidad de resonancia magnética



figura 17. Imágenes obtenidas con resonancia magnética

CONCLUSIONES

- Los materiales superconductores presentan un gran desafío para la ciencia, ya que aún deben ser superados muchos problemas para lograr mejor eficiencia de estos nuevos materiales.
- La medicina principalmente ha sido la rama de la ciencia mas beneficiada con el desarrollo de los materiales superconductores seguida por los sistemas de transporte.
- Es de notar la gran cantidad de posibilidades disponibles para las aplicaciones de los materiales superconductores.

- Debido a la complejidad de estos materiales su desarrollo como pudimos ver fue lento y aún se siguen haciendo investigaciones para obtener materiales cada vez mas fáciles de manipular a temperaturas mas cercanas a las del ambiente .

BIBLIOGRAFIA

- Solís Luis Fernando. Los superconductores. México 199

INTRODUCCIÓN

El sistema de transmisión de radio en el que la onda portadora se modula de forma que su frecuencia varíe según la señal de audio transmitida es denominado frecuencia modulada. El primer sistema operativo de comunicación radiofónica fue descrito por el inventor norteamericano Edwin H. Armstrong en 1936.

La frecuencia modulada posee varias ventajas sobre el sistema de modulación de amplitud (AM) utilizado alternativamente en radiodifusión. La más importante es que al sistema FM apenas le afectan las interferencias y descargas estáticas. Algunas perturbaciones eléctricas, como las originadas por tormentas o sistemas de encendido de los automóviles, producen señales de radio de amplitud modulada que se captan como ruido en los receptores AM. Un equipo de FM bien diseñado no es sensible a tales perturbaciones cuando se sintoniza una señal FM de suficiente potencia. Además, la relación señal–ruido en los sistemas FM es mucho mayor que en los AM.

La señal FM puede ser escuchada en stereo a través de un receptor y la señal a su vez es muy nítida, esto es una ventaja para el oyente.

MODULACIÓN DE FRECUENCIA (FM).

La modulación de amplitud tiene en la práctica dos inconvenientes: por un lado , no siempre se transmite la información con la suficiente calidad , ya que el ancho de banda en las emisiones está limitado; por otra parte, en la recepción es difícil eliminar las interferencias producidas por descargas atmosféricas , motores, etc. La modulación de frecuencia consiste en variar la frecuencia de la onda portadora de acuerdo con la intensidad de la onda de información . La amplitud de la onda modulada es constante e igual que la de la onda portadora.

La frecuencia de la portadora oscila más o menos rápidamente , según la onda moduladora, esto es , si aplicamos una moduladora de 100 Hz , la onda modulada se desplaza arriba y abajo cien veces en un segundo respecto de su frecuencia central , que es la portadora; además el grado de esta variación dependerá del volumen con que modulemos la portadora, a lo que denominamos índice de modulación.

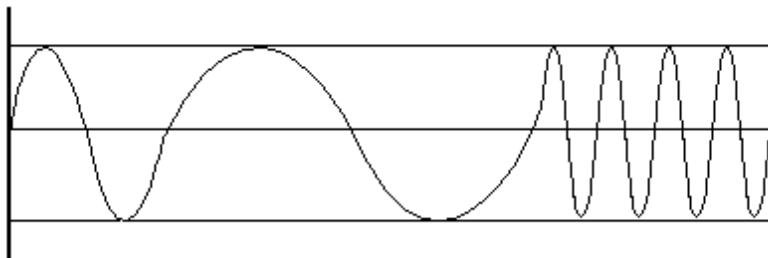
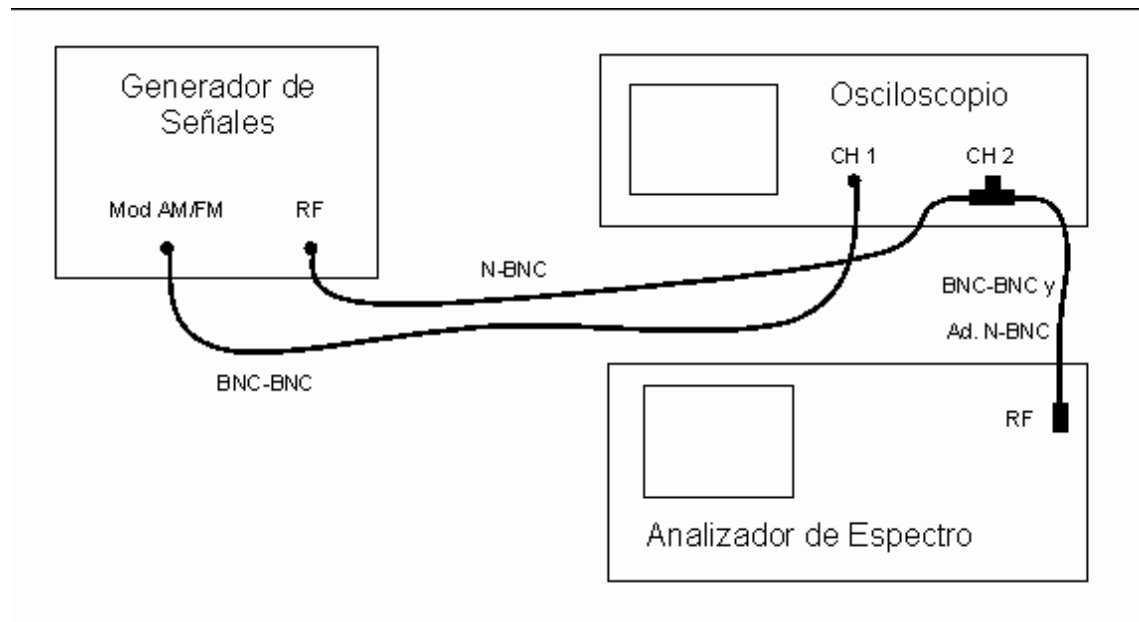


fig 5. Onda modulada en frecuencia.

Debido a que los ruidos o interferencias que se mencionaron anteriormente alteran la amplitud de la onda, no afecta a la información transmitida en FM, puesto que la información se extrae de la variación de frecuencia y no de la amplitud, que es constante.

Como consecuencia de estas características de modulación podemos observar cómo la calidad de sonido o imagen es mayor cuando modulamos en frecuencia que cuando lo hacemos en amplitud o banda lateral. Además al no alterar la frecuencia de la portadora en la medida que aplicamos la información, podemos transmitir señales sonoras o información de otro tipo

(datos o imágenes), que comprenden mayor abanico de frecuencias moduladoras, sin por ello abarcar mayor ancho de banda. Éste es el motivo por el que las llamadas radiofórmulas utilizan la frecuencia modulada, o dicho de otro modo, el nacimiento de las estaciones que a mediados de los sesenta eligieron este sistema para emitir sus programas con mayor calidad de sonido dio origen a la radiodifusión musical. Otros usos de la frecuencia modulada son la telefonía móvil, televisión y servicios de comunicación entre los trabajadores de empresas de paquetería, talleres, comercios... etc.



Montaje práctico para observar la modulación en frecuencia

La frecuencia modulada (FM) produce más de un par de bandas laterales para cada frecuencia de modulación, gracias a lo cual son posibles las complejas variaciones que se emiten en forma de voz o cualquier otro sonido en la radiodifusión, y en las alteraciones de luz y oscuridad en las emisiones televisivas.

En la FM, la frecuencia de la onda portadora se varía dentro de un rango establecido a un ritmo equivalente a la frecuencia de una señal sonora. Esta forma de modulación, desarrollada en la década de 1930, presenta la ventaja de generar señales relativamente limpias de ruidos e interferencias procedentes de fuentes tales como los sistemas de encendido de los automóviles o las tormentas, que afectan en gran medida a las señales AM. Por tanto, la radiodifusión FM se efectúa en bandas de alta frecuencia (88 a 108 MHz), aptas para señales grandes pero con alcance de recepción limitado.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA MODULACION FM

Las emisoras de FM pueden trabajar en bandas de frecuencias muy altas, en las que las interferencias en AM son importantes; las estaciones o emisoras comerciales de radio FM tienen frecuencias entre 88 y 108 Mhz. El alcance en estas bandas está limitado para que pueda haber emisoras de la misma frecuencia situadas a unos cientos de kilómetros sin que se interfieran entre ellas.

Estas características, unidas al coste relativamente bajo de los equipos, originaron un rápido incremento de las estaciones o emisoras FM en los años posteriores a la Segunda Guerra Mundial. En los tres años siguientes

había 600 emisoras FM en los Estados Unidos y a finales de los años 80 había más de 4.000. Los demás países han conocido una evolución similar. Debido a la saturación en la banda de emisión AM y a la incapacidad de los receptores AM para eliminar los ruidos, la fidelidad tonal de las estaciones normales se limita intencionadamente. La FM no presenta estos inconvenientes y por tanto puede utilizarse para transmitir reproducciones musicales de actuaciones en directo con un grado de fidelidad inalcanzable en la banda AM. La emisión FM en estéreo ha atraído un número creciente de oyentes tanto de música popular como clásica, de forma que las estaciones o emisoras FM comerciales poseen unos índices de audiencia más elevados que las emisoras AM.

La FM, la televisión y demás emisiones con frecuencias muy elevadas exigen antenas muy altas si se pretende conseguir un cierto alcance y no resulta aconsejable colocarlas cerca del estudio de emisión.

CONCLUSIONES

- La modulación FM tiene lugar a frecuencias muy altas comparando con AM.
- La señal transmitida en frecuencia modulada es mucho mas compleja y lleva una información mas detallada de la señal.
- La modulación directa de frecuencia tiene lugar cuando la frecuencia de la señal modulada varía directamente con la amplitud de la señal moduladora.
- La modulación FM se utiliza en medios tan importantes como la televisión.