



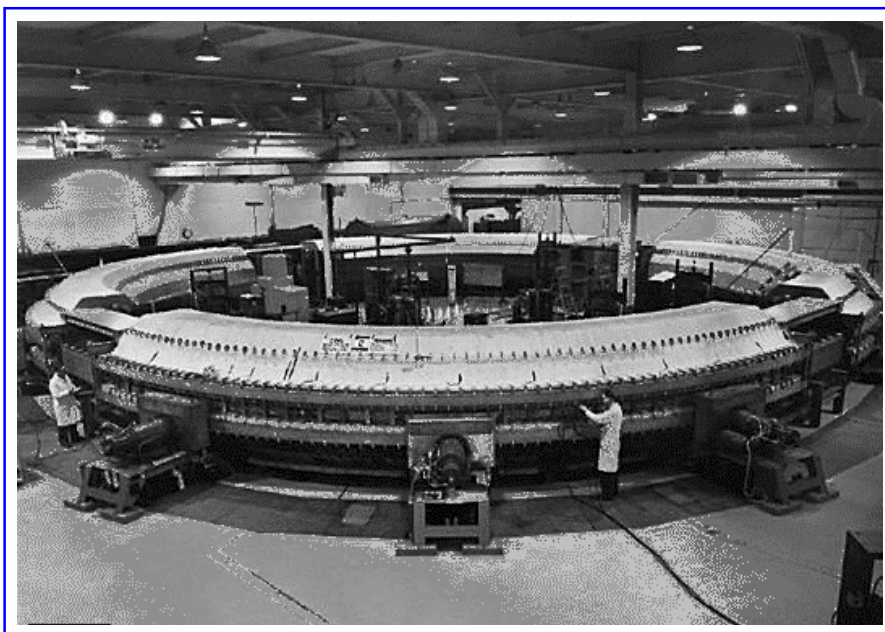
MINISTERIO DE EDUCACIÓN

DINFOCAD/UCAD

DINESST/UDCREES

PLANCAD
SECUNDARIA 2000

CIENCIA, TECNOLOGÍA Y AMBIENTE



Fascículo Autoinstructivo

4.5

**SEMICONDUCTORES
Y
SUPERCONDUCTORES**

Producción y Publicación:
MINISTERIO DE EDUCACIÓN
DINFOCAD/UCAD/PLANCAD
Van de Velde 160 San Borja
Lima.

Autoría:
UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA
Facultad de Educación

Equipo de Trabajo:
Alina Gómez Loarte
Luis Huamán Mesía
Carmen Lauro Guzmán
Daniel Quineche Meza
César Serra Guerra
Irma Zúñiga Estrada

Corrección de Estilo:
Juan Carlos Cruzado Castillo

Diagramación:
Miguel Incio Barandiarán
Rosa Támara Sarmiento

Revisión de textos:
PLANCAD:
Jorge Jhoncon Kooyip
UDCREES:
Elizabeth Quinteros Hajar
Héctor Yauri Benites

Índice

I.	Conductividad eléctrica	1
II.	Los semiconductores	4
2.1	Los semiconductores puros	5
2.2	Los semiconductores con impurezas	6
2.3	El transistor	9
2.4	El circuito integrado (chip)	11
2.5	Principales aplicaciones de los chips	13
III.	Los superconductores	14
3.1	Historia	15
3.2	Propiedades	16
3.3	Aplicaciones	18
	Autoevaluación	22
	Respuestas de ejercicios	24
	Respuestas de la autoevaluación	26
	Glosario	27
	Bibliografía	28

INTRODUCCIÓN A LOS MODULOS PLANCAD

En la actualidad, los docentes de educación secundaria, del área de ciencia, tecnología y ambiente, tienen que enfrentar muchas dificultades para acceder a información especializada reciente que les permita profundizar en contenido científico actualizado; y, en forma paralela, familiarizarse y manejar estrategias metodológicas dinámicas para facilitar a sus alumnos el aprendizaje del área.

Por ello, el Ministerio de Educación, a través del programa de Mejoramiento de la Calidad de la Educación Peruana y del Plan Nacional de Capacitación Docente 2000 (PLANCAD-MECEP), con la colaboración de la Universidad Peruana Cayetano Heredia, a través de la Dirección de Educación Continua, de su Facultad de Educación, ha elaborado cuatro módulos autoinstructivos para satisfacer esta necesidad y así contribuir al mejoramiento de la calidad de la educación nacional, vía el enriquecimiento personal y profesional del potencial humano que existe en el cuerpo docente del país.

Cada módulo consiste en ocho (8) fascículos monotemáticos¹, con contenidos seleccionados de entre aquellos que conforman la estructura curricular básica para educación secundaria, en el área de ciencia, tecnología y ambiente.

Cada fascículo, a su vez, ha sido desarrollado para cubrir dos aspectos fundamentales de la actividad educativa. Por un lado, contiene información científica actualizada, trabajada de manera accesible para ser asimilada con facilidad y, al mismo tiempo, adecuarla a las necesidades y posibilidades de acción en el aula. Por otro lado, y aunque este no es su objetivo central, ofrece algunas estrategias metodológicas dinámicas que promueven la participación activa en el análisis de los temas y materiales presentados en una situación de aprendizaje para facilitar, en los alumnos, la construcción de sus propios conocimientos.

La estructura del fascículo está diseñada para ser desarrollado a través de tres momentos de actividad en su manejo.

- Actividades iniciales o de entrada.
- Actividades de proceso, incluyendo acciones de investigación-experimentación
- Actividades de salida o finales

Al final de cada fascículo, se presenta una síntesis de los contenidos tratados, seguida de una autoevaluación final. Se incluye, también, un glosario básico que explica o define aquellos términos que son nuevos, o que aún siendo conocidos, son a menudo utilizados erróneamente. El fascículo se completa con unas referencias bibliográficas acerca de los materiales consultados o que pudieran servir para una mayor profundización en función del interés del docente usuario de este material.

Ahora, apreciado amigo y colega te invitamos a conocer este fascículo que ponemos en tus manos y a disfrutar con él, tratando de redescubrir y entender como funciona el universo y el mundo en que vivimos y enriquecerte, personal y profesionalmente, para cuidarlo mejor.

¹ Esto es, elegidos en un campo temático especial o referidos a un tema específico (de allí lo de monotemático) del saber humano, pero analizados desde varios de sus diferentes aspectos constitutivos, con el auxilio de instrumentos cognoscitivos y metodológicos de diferentes disciplinas curriculares.

I. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Actividad

¿Si quisieras hacer que la corriente eléctrica que tienes almacenada en un punto determinado, fluya hacia otro, que material(es) no utilizarías?

- a) cobre
- b) aluminio
- c) plata
- d) caucho

Por intuición, sabemos que entre todas las alternativas anteriormente presentadas, el caucho no lo elegiríamos para conducir la corriente de un lugar a otro, a este tipo de material lo llamamos, por ende, **mal conductor de la electricidad** (ver fascículo 4.3).

El término *conductividad* nos hace pensar en un proceso cinético, es decir, un proceso en el cual hay movimiento de algo de un lugar a otro, en este caso hay movimiento de carga eléctrica de un lugar a otro, pero a través de un determinado material.

Cuando frotamos un trozo de caucho este queda cargado sólo en la región del frotamiento mientras que un trozo de metal al ser frotado va a cargar uniformemente toda su superficie, por ello los metales son **buenos conductores de la electricidad**, mientras que el caucho es mal conductor o **aislador o dieléctrico**.



Pregunta:

Si tomas una vara de metal y lo frotas con la intención cargarla eléctricamente para atraer un trozo de papel, que piensas que ocurrirá sí:

a) Tomas el trozo de metal sin guantes

b) Tomas el trozo de metal con guantes de caucho

Para poder resolver la pregunta anterior puedes recurrir a tus notas del fascículo de magnetismo (4.3).

No hay que olvidar que, en sentido estricto, todas las sustancias tienen la propiedad de conducir corriente eléctrica y que la diferencia final entre un mal conductor y un buen conductor de la electricidad es más de grado que de tipo. Es decir, los buenos conductores permiten el paso de la corriente a través de su superficie hasta en miles de millones de veces más que un mal conductor, lo cual tiene que ver con lo que denominamos **resistencia**.

Entonces podemos concluir que no existe el conductor perfecto pues todos los cuerpos ofrecen algún tipo de resistencia.

Y, ¿existirá el aislante perfecto?

Otra cosa que debes tener en cuenta es que la capacidad de conducir corriente eléctrica por un elemento puede variar en caso de hacerlo la temperatura.

Como vimos en el fascículo anterior (4.4), la resistencia de un conductor se puede definir como la razón entre la diferencia de potencial a través del conductor y la corriente:

$$R = \frac{V}{I}$$

Donde: R = Resistencia (Ohm)
V= diferencia de potencial (voltio)
I = intensidad (amperios)

$$1 \text{ Ohm } (\Omega) = 1 \text{ Voltio} / 1 \text{ Amperio}$$

Ahora, aplica tus conocimientos:

Averigua la resistencia del conductor que se encuentra conectado a una batería de 3 V que conduce una corriente eléctrica de 10 A hacia la bombilla de un lamparín.



Si bien la diferencia entre un buen conductor y un mal conductor está en el grado de conductividad eléctrica que pueden tener, deben existir grados intermedios entre ellos, ¿no crees que es lógico?

Es por ello que existe un tipo especial de material que conduce la corriente eléctrica mejor que los aislantes pero no son tan buenos como los conductores. A este tipo de material se le llama **semiconductor**.

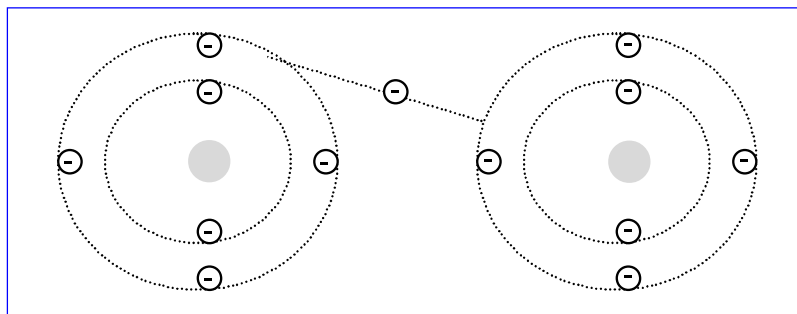
II. LOS SEMICONDUCTORES

Algunos elementos químicos como el Silicio, el Selenio y el Germanio actúan como excelentes semiconductores. Estos elementos pueden aumentar su conductividad¹ al variar ciertas condiciones como, por ejemplo, la temperatura.

A temperaturas muy bajas, los semiconductores puros² se comportan como aislantes. Sometidos a altas temperaturas, mezclados con impurezas o en presencia de luz, la conductividad de los semiconductores puede aumentar de forma espectacular y llegar a alcanzar niveles cercanos a la de los metales.

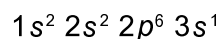
¿Y a qué se debe este comportamiento tan especial?

La capacidad de conducción de una sustancia se refiere a la capacidad que tienen los electrones de abandonar los átomos de los que forman parte, desplazándose a través del conductor constituyendo cargas en movimiento



Al suministrar energía a un átomo, los electrones pasan a otro cercano, esta es la explicación de lo que significa la corriente eléctrica

Los buenos conductores tienen una brecha de energía muy pequeña por ello es que necesitan poco calor o corriente eléctrica para que al ser excitados sus electrones puedan pasar del nivel de energía que se encuentra lleno al superior que está casi vacío, según se indica en el siguiente gráfico que corresponde al elemento Sodio, cuya cantidad de electrones es 11, por lo que su configuración electrónica se representa de la siguiente manera:

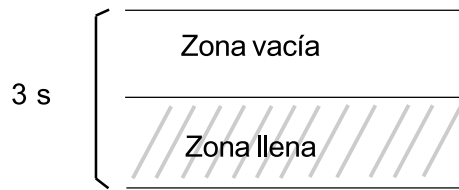


Por lo que para llenar sus estados electrónicos tendremos:

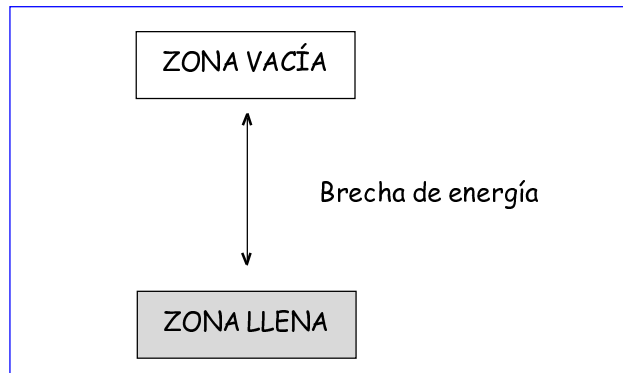


-
- 1 Es la capacidad de conducir carga eléctrica de un material
 - 2 En un semiconductor característico o puro como el silicio, los electrones de valencia (o electrones exteriores) de un átomo están emparejados y son compartidos por otros átomos para formar un enlace covalente que mantiene al cristal unido

Es así que su último nivel de energía se encuentra lleno a la mitad.



La zona vacía es la "banda de conducción" mientras que la zona llena es la "banda de valencia", la distancia entre ambas (brecha de energía) es muy corta permitiendo que los electrones al ser excitados puedan pasar sin problema de una zona a otra.



Siendo esta brecha de energía muy pequeña en el caso de los metales, como el sodio la que llega a 1 eV a 0°K.

Por otro lado los aisladores presentan una brecha de energía grande ($E_b = 10 \text{ eV}$ a 0°K).



Los semiconductores tienen una brecha de energía aproximadamente de 1 eV a 0°K, así estos materiales son malos conductores a bajas temperaturas pero a una temperatura de 300°K (23°C), esta conductividad aumenta grandemente. Así, los electrones pasan rápidamente de la del campo donde se encuentran los electrones en reposo (zona llena o banda de valencia) a la zona llena o banda de conducción.

Esta característica de los semiconductores, lo diferencia de los metales, cuya conductividad disminuye conforme aumenta la temperatura.

Responde brevemente:

Cuál es la relación entre conductividad eléctrica y

a) Brecha de energía:

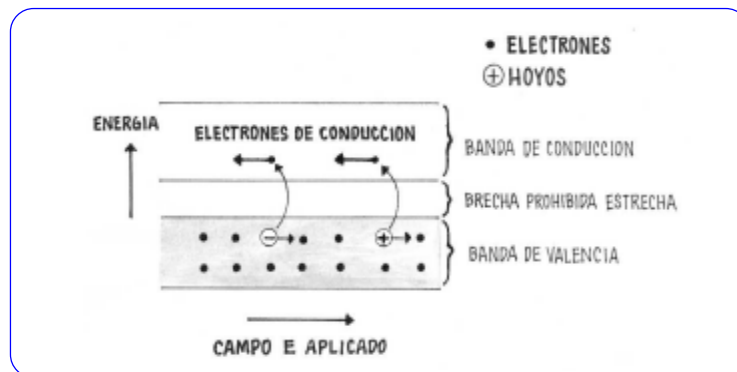
b) Temperatura:

2.1 LOS SEMICONDUCTORES PUROS

Cuando un electrón excitado en un semiconductor, se mueve de una zona a otra deja un sitio de cristal vacío, que recibe el nombre de hueco u hoyo, el cual aparece como una carga positiva actuando como portador de carga en el sentido de que un electrón de valencia de un sitio cercano puede transferirlo dentro del hoyo. Así, daría la impresión como un hoyo que se desplaza por toda esta zona.

En un cristal puro (compuesto por un solo elemento como el Silicio), hay igual número de electrones y hoyos, estas combinaciones de pares se llaman electrón-hoyo, denominándose así a los semiconductores con estas características, semiconductor intrínseco. Éste es el origen físico del incremento de la conductividad eléctrica de los semiconductores a causa de la temperatura.

Esto ocurre de la siguiente manera:



Donde: el hoyo se representa con una cruz dentro de un círculo (+), y los electrones con (●). Los electrones pasan de la banda de valencia a la banda de conducción donde se dirigen en sentido contrario.

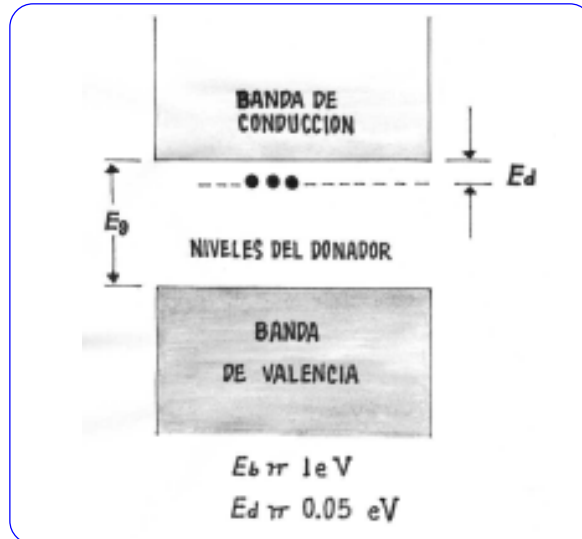
2.2. LOS SEMICONDUCTORES CON IMPUREZAS

Al agregar átomos de otro elemento (impureza) a semiconductores puros se produce el incremento de su conductividad, debido a que los electrones de esta impureza quedan en la brecha estrecha, haciendo que su distancia disminuya, necesitando menor cantidad de energía para lograr la excitación del semiconductor.

El término **dopar** se aplica a este proceso de adición de impurezas o **dopaje**.

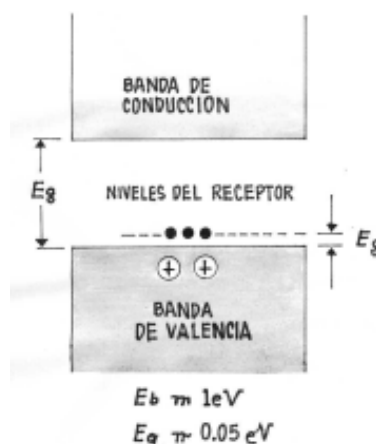
Existen dos tipos de dopaje. Para explicarlo mejor tomaremos como cristal base al Silicio³, al cual doparemos:

- Si un átomo de 5 electrones en su capa de valencia (como el Fósforo), se añade a un semiconductor, cuatro participan en el enlace covalente quedando uno fuera, ubicándose justo debajo de la banda de valencia:



En este caso la impureza dona un electrón por lo que se le denomina **átomo donador**. En la gráfica se observa que existe un espacio muy pequeño entre la banda de conducción y los niveles del donador (aprox. 0.05 eV), por lo que se necesita una pequeña cantidad de energía térmica para que el electrón se introduzca en la banda de conducción. A los semiconductores dotados con átomos donadores se les conoce como **semiconductores tipo n**

- El otro caso es aquel en el que la impureza posee 3 electrones de valencia (puede ser el Aluminio), en este caso los tres electrones forman el enlace covalente con sus vecinos, dejando una deficiencia de carga u hoyo en el cuarto enlace. La banda sin embargo, cuenta con suficiente energía a temperatura del ambiente para llenar estos espacios vacíos dejando en su banda hoyos los cuales conducen a los electrones, como se aprecia en la figura:



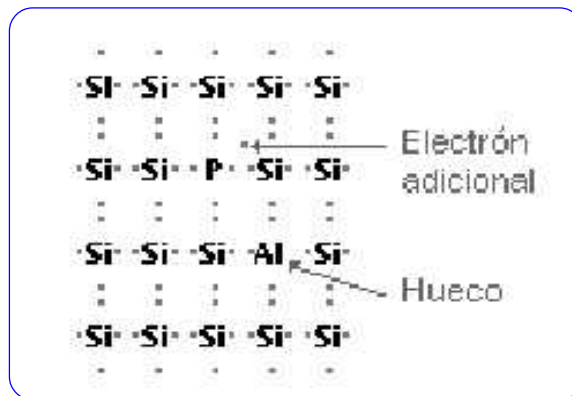
3 El Si, con número atómico 14, presenta 2 electrones en su nivel de valencia *p*, le hace falta 4 electrones para completar un enlace.

De igual manera que en los semiconductores tipo n, el espacio entre los niveles de la impureza la banda de valencia, en este caso, es pequeño (por lo general es 0.05 eV), ubicándose los niveles de la impureza justo sobre la banda de valencia del semiconductor.

Debido a que la impureza acepta un electrón de la banda de valencia a estas impurezas se conocen como **aceptadores**, y a un semiconductor dopado con este tipo de impurezas se le denomina **semiconductor tipo p**.

A los semiconductores dotados con aceptores o donadores se les conoce como semiconductores **extrínsecos**.

La representación bidimensional de la introducción de impurezas en el Silicio se puede graficar de la siguiente manera:



Responde brevemente:

¿Cuál es la diferencia entre un semiconductor puro y un semiconductor con impurezas?

¿A qué se refiere el término “dopar” y para qué se realiza?

¿Cuál es la diferencia entre un semiconductor tipo p y otro tipo n?

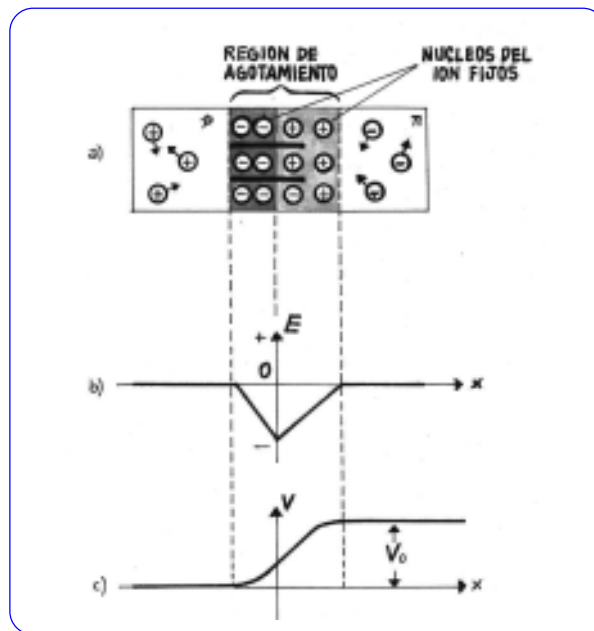
Por otro lado:

¿Qué ocurre cuando se une un semiconductor tipo p con otro semiconductor tipo n?

Cuando ciertas capas de semiconductores tipo p y tipo n son adyacentes, forman un diodo de semiconductor, y la región de unión se llama unión $p-n$, la cual está formada por 3 regiones. La región tipo p , la región tipo n y la región de agotamiento.

Las dos primeras están conformadas por los semiconductores extrínsecos, surge al unirse ambas mitades, donde los electrones de la región n se difunden hacia el lado p , dejando iones positivos inmóviles. Mientras tanto, los hoyos del lado p difunden hacia el lado n dejando atrás una región cargada con iones positivos fijos.

Así en la región de agotamiento realmente se agotan los portadores de carga móvil, según el siguiente esquema:



Este diodo que es un dispositivo de dos terminales tiene la propiedad de pasar corriente eléctrica en una sola dirección, además de poseer una gran resistencia al paso de la corriente eléctrica en una zona y una baja resistencia en la otra.

Las propiedades de conductividad de la unión pn dependen de la dirección del voltaje, que puede a su vez utilizarse para controlar la naturaleza eléctrica del dispositivo. Algunas series de estas uniones se usan para hacer transistores y otros dispositivos semiconductores como células solares, láseres de unión $p-n$ y rectificadores.

Los dispositivos semiconductores tienen muchas aplicaciones en la ingeniería eléctrica. Los últimos avances de la ingeniería han producido pequeños chips semiconductores que contienen cientos de miles de transistores. Estos chips han hecho posible un enorme grado de miniaturización en los dispositivos electrónicos. La aplicación más eficiente de este tipo de chips es la fabricación de circuitos de semiconductores de metal-óxido complementario o CMOS, que están formados por parejas de transistores de canal p y n controladas por un solo circuito. Además, se están fabricando dispositivos extremadamente pequeños utilizando la técnica epitaxial de haz molecular.

Ahora, responde:

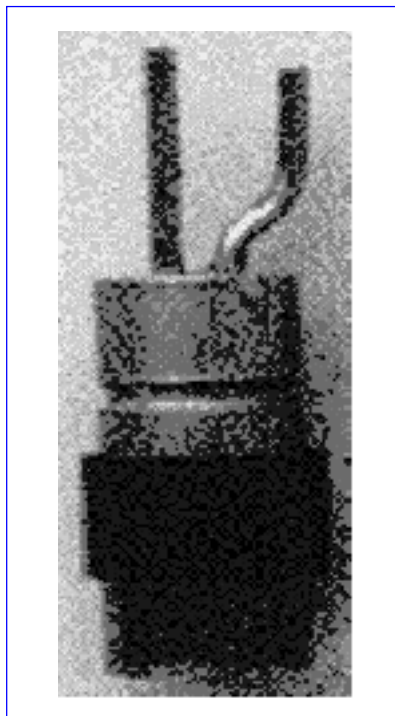
¿En qué radica la eficiencia de conductividad eléctrica de un diodo?

2.3 EL TRANSISTOR

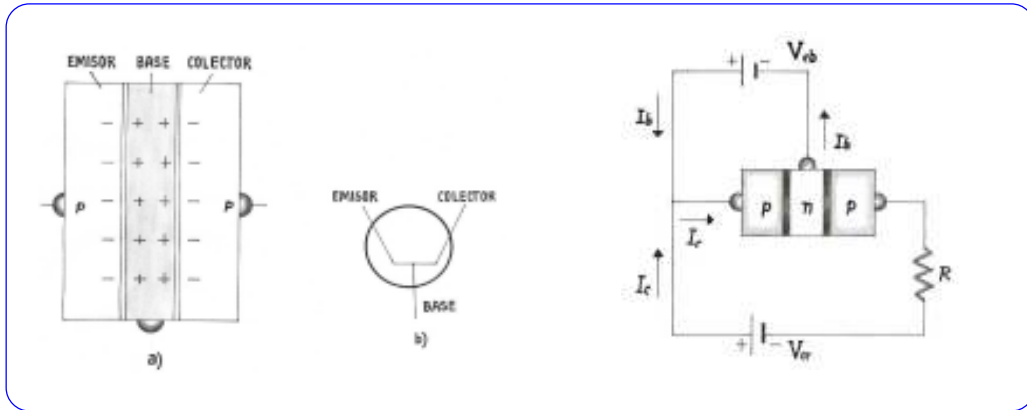
En 1948 tres científicos de la compañía Bell Telephone Laboratories en Murray Hill, New Jersey, John Bardeen, Walter Brattain y William Shockley, estaban abocados a la búsqueda de un semiconductor que permitiera cambiar los tubos de vacío que los aparatos en telecomunicaciones utilizaban por ese entonces para ampliar el sonido, pues tenían el inconveniente que requerían mucha energía, se calentaban rápidamente y se quemaban por lo que necesitaban un mantenimiento continuo.

El grupo de trabajo ya estaba por desistir cuando hicieron la prueba con cristales más puros de Germanio, con el que realizaron el llamado punto de contacto y así el transistor de "punto de contacto" fue inventado, lo cual revolucionó el mundo de la electrónica, además de darle el Premio Nobel en 1956 a sus inventores.

Un transistor es un aparato compuesto de un semi-conductor con propiedades que puede presentar tanto conducta de conductor y aislante. Los primeros transistores de circuitos digitales eran tubos del vacío. El transistor era el primer aparato diseñado para actuar en ambos sentidos: como un transmisor (convierte ondas de sonido en ondas electrónicas) y resistencia (controla la corriente eléctrica), el nombre del transistor viene del 'trans' de transmisor y 'sisto' de resistencia.

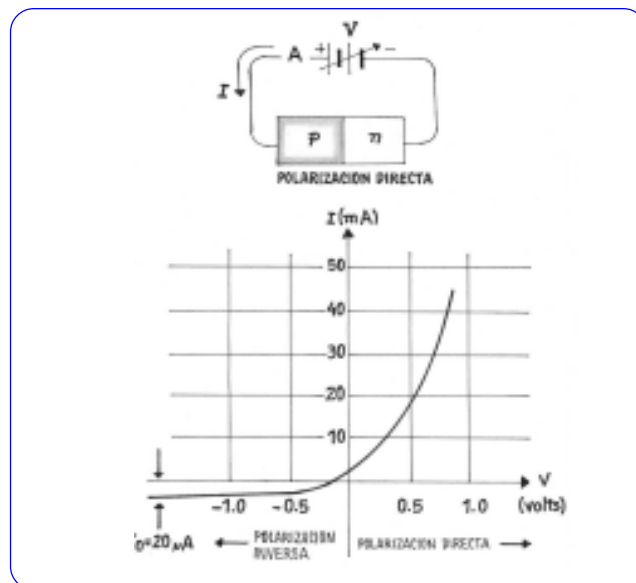


El transistor consta de una región *n* muy estrecha, en medio de dos regiones *p*, pudiéndose encontrar también transistores con 2 partes *n* (transistor *pnp*) y una central *p* formando el transistor *npn*, ambos funcionan de la misma forma. En un transistor *pnp* tiene la siguiente estructura:



Los semiconductores *p* son colectores y el *n* es el emisor denominándose también base, con dos interfases emisor-base y colector-base.

Al aplicar un voltaje al transistor la corriente se incrementa cuando pasa directamente hacia de *p-n* (polarización directa) y se reduce también rápidamente al pasar de *n-p* (polarización inversa), actuando como un amplificador de corriente. Así el transistor amplifica una señal pequeña variable en el tiempo.



La señal de entrada dependiente del tiempo produce una pequeña variación en la corriente de la base, lo cual produce un cambio considerable en la corriente del colector y consecuentemente un incremento en el voltaje a través de la resistencia de salida.

Ya en 1960, los transistores transformaron el mundo de la electrónica, en sustitución del tubo de vacío en muchas aplicaciones, creando industrias de millones de dólares, como los radios portátiles, las calculadoras de bolsillo y el diseño de las computadoras.

Responde:

¿Cuál es la ventaja entre los transistores y los tubos de vacío?

2.4 EL CIRCUITO INTEGRADO (CHIP)

El circuito integrado fue inventado independientemente por Jack Kilby en Texas Instruments en 1958 y por Robert Noyce en Fairchild Camera and Instruments en 1959 en Los Estados Unidos de América.

Según las propias palabras de Kilby: “No nos dimos cuenta que el circuito integrado reduciría el costo de las funciones eléctricas en un millón a uno, nada alguna vez había hecho esto por alguna otra cosa”.

Y efectivamente, el circuito integrado es considerado “la más extraordinaria tecnología que ha creado la humanidad”.

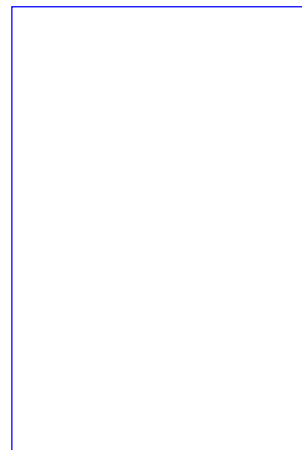


La figura muestra el primer dispositivo de Kilby.

En términos generales, un circuito integrado es una colección de transistores, diodos, resistores y capacitadores interconectados que se fabrican sobre un trozo de Silicio, conocido familiarmente con el nombre de **chip**. Actualmente los más modernos tienen cientos de miles de componentes en un área de un centímetro cuadrado.

Los transistores cuando fueron inventados tenían problemas de interconexión, lo cual fue solucionado con la invención de los circuitos integrados. Recordemos que los transistores facilitaron la posibilidad de tener en un espacio menor varios componentes que no podía realizar la tecnología anterior denominada tubo al vacío, por ser muy grandes, pero aún los transistores tenían los problemas de alambrear juntos tantos componentes, lo cual se hizo evidente en las computadoras que tenían que miles de componentes que tenían que ser soldados y probados uno a uno.

Los circuitos integrados le dan la ventaja de la miniaturización y de la rápida respuesta, lo cual es fundamental en las computadoras modernas. Esto se basa en que la respuesta de

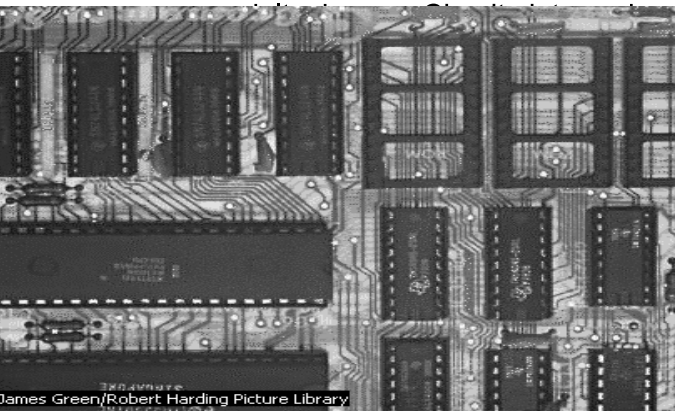


un circuito depende del tiempo que tardan las señales eléctricas en viajar a casi 0.3/ns para pasar de un componente a otro. Este tiempo se reduce claramente por el empaque compacto de los componentes.

Ilustraciones de chips

En 1961, Fairchild Corporación fue el primero en sacar al mercado el circuito integral, así todas las computadoras entonces comenzaron a usar 'chips' en lugar de los transistores individuales. Por su parte Texas Instruments usó los 'chips' el mismo año en computadoras de las fuerzas aéreas de los Estados Unidos de Norteamérica y el Minuteman Proyecto en 1962, y más tarde usó los 'chips' para producir las primeras calculadoras electrónicas portátiles.

El Circuito Integrado original tenía solo un transistor, tres resistencias y un condensador y era el tamaño del dedo meñique de un



ce, con dieciséis patentes a su nombre, quien fundó Intel en 1968, la compañía responsable de la invención del microprocesador.

Hoy, casi todos los productos tecnológicos modernos tienen un 'chip', considerándose esta invención una segunda revolución industrial.

Responde:

¿Cuál es la ventaja de los chips con respecto a los transistores?

2.5 PRINCIPALES APLICACIONES DE LOS CHIPS

Como ya se mencionó anteriormente, la principal utilización que se le da a los famosos chips es en los microprocesadores de información los cuales son los componentes fundamentales de las computadoras, estos microprocesadores gracias al microchip cada vez son de menor tamaño, facilitando muchísimas labores. Estos constan de varias secciones diferentes. La unidad aritmético-lógica (ALU, siglas en inglés) efectúa cálculos con números y toma decisiones lógicas; los registros son zonas de memoria especiales para almacenar información temporalmente; la unidad de control descodifica los programas; los buses transportan información digital a través del chip y de la computadora; la memoria local se emplea para los cómputos realizados en el mismo chip. Los microprocesadores más complejos contienen a menudo otras secciones; por ejemplo, secciones de memoria especializada denominadas memoria *cache*, que sirven para acelerar el acceso a los dispositivos externos de almacenamiento de datos. Las computadoras más populares y más modernas en este momento son las llamadas *Pentium*, las cuales fueron lanzadas por la compañía INTEL. El *Pentium* es un microprocesador de 32 bits, que contiene 3.100.000 transistores y coprocesador matemático incorporado

En el terreno de la ofimática⁴, se puede encontrar que todos los aparatos que se utilizan en una oficina moderna están compuestos por microprocesadores, tal es el caso de máquinas de escribir, dictáfonos, fotocopadoras, equipos telefónicos y calculadoras.

En el campo de la robótica, donde desde una computadora se ordenan los movimientos de estos aparatos, cuyos componentes en su gran mayoría están conformados por microprocesadores. Los robots han permitido que se realicen labores que muchas veces el ser humano no podría realizar con la misma perfección por largos períodos de tiempo. En la gran mayoría de industrias sobretodo en la de alta precisión, como es el caso la producción de los mismos microchips, se utilizan robots, en los aviones, en los viajes espaciales y últimamente hasta para hacer compañía al ser humano como mascotas.

4 Equipo que se utiliza para generar, almacenar, procesar o comunicar información en un entorno de oficina

III. SUPERCONDUCTORES

Las tarjetas de crédito ahora están incorporando microchips con información respecto al propietario de la misma, lo cual muchas veces es algo beneficioso pero también puede constituir una desventaja en caso de pérdida.

Investiga:

¿Qué otras aplicaciones pueden tener los microchips?

Si un material fuera un conductor perfecto, las cargas circularían sin ninguna resistencia; por su parte, un aislante perfecto no permitiría que se movieran las cargas por él. No se conoce ninguna sustancia que presente alguno de estos comportamientos extremos a temperatura ambiente. A esta temperatura, los mejores conductores ofrecen una resistencia muy baja (pero no nula) al paso de la corriente y los mejores aislantes ofrecen una resistencia alta (pero no infinita). Sin embargo, la mayoría de los metales pierden toda su resistencia a temperaturas próximas al cero absoluto; este fenómeno se conoce como superconductividad.

Se dice que el descubrimiento de este fenómeno es de tanta importancia como la invención del transistor.

Contesta brevemente:

¿Cuál es la diferencia fundamental entre un superconductor y un semiconductor?

5 Esto está relacionado con el término criogenia, que es una rama moderna de la física se trata del estudio de los materiales y sus propiedades a bajas temperaturas.

3.1 HISTORIA

En 1908, el físico holandés Heike Kamerlingh Onnes, licúa por primera vez el Helio, este acontecimiento se considera el inicio de la física de bajas temperaturas⁵, el que hirvió a 4.2°K.

¿Pero que tiene que ver esto con la superconductividad?

Pues, al profundizar en el estudio de las propiedades de resistividad este metal descubren la superconductividad. Estudiaron al platino y encontraron que su resistividad, al encontrarse a 0°K dependía de su pureza, en contraste al estudiar el mercurio es que comprueban que su resistividad baja a cero a 4.15°K llamando a esta temperatura **temperatura crítica**. De allí dedujo que el platino no tenía superconductividad y el mercurio, si, ya que baja abruptamente su resistividad y llega a cero, por debajo de la temperatura crítica y tiene las propiedades de un metal normal por encima de este.

En 1933 W. Hans Meissner y Robert Ochsenfeld estudiaron que el comportamiento magnético de los superconductores por debajo de la temperatura crítica expulsa el flujo magnético del interior de su estructura, además pierden su característica de superconductor por encima de un cierto campo magnético crítico.

1935: Fritz London y Heinz London desarrollan una teoría fenomenológica de los superconductores.

1957: John Bardeen, Leon N. Cooper y J. Robert Schrieffer, explican por primera vez la naturaleza y origen real del estado del superconductor.

1962: Brian D. Josephson predijo que podría haber un flujo de corriente entre dos superconductores separados por una pequeña distancia.

1986: J.Georg Bednorz y Karl Alex Müller informaron la presencia de superconductividad en una cerámica de aleación de óxido de lantano, bario y cobre a una temperatura de 35° K, lo cual inicia la superconductividad a alta temperatura.

Hoy los científicos están abocados a la búsqueda de materiales que puedan tener superconductividad a temperatura normal (300°K), lo cual cambiaría por completo la tecnología actual.

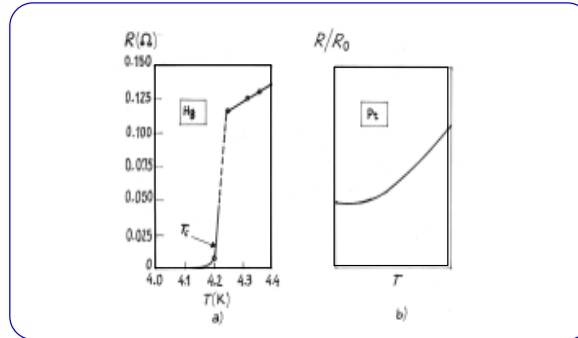
Actividad:

Desarrolla una línea de tiempo donde coloques los hechos más importantes en la historia de los superconductores, incorporando otros hechos de importancia nacional e internacional que ocurrieron en forma simultánea.

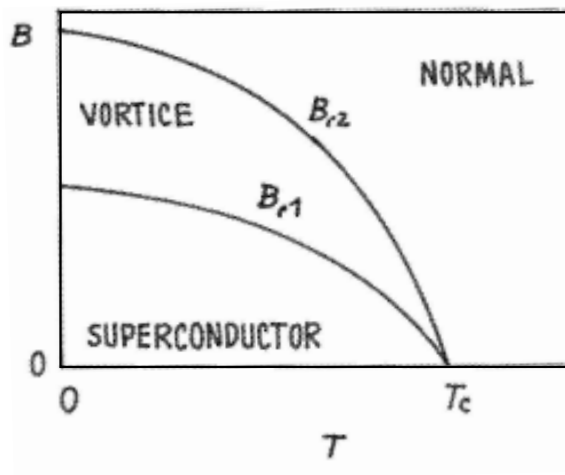
3.2 PROPIEDADES

A continuación un listado de las propiedades más importantes de los superconductores:

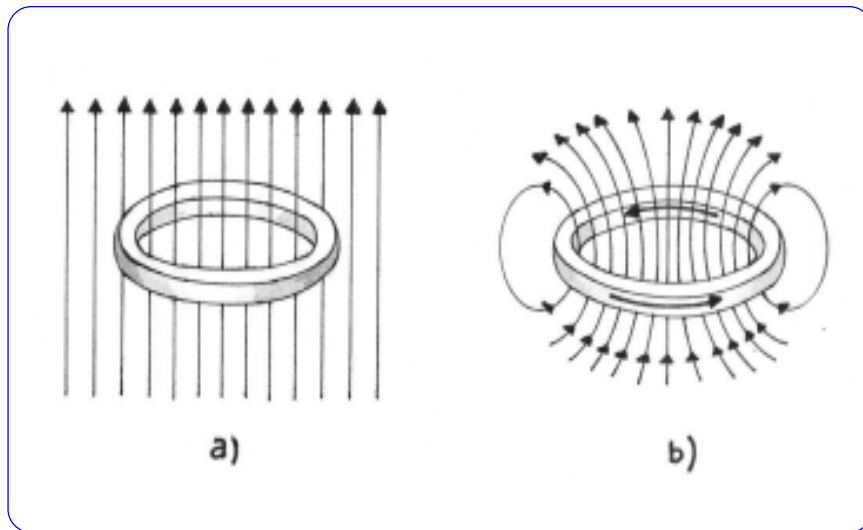
- A cierta temperatura, denominada temperatura crítica tienen resistencia a la corriente eléctrica igual a cero.



- A temperatura por debajo de la temperatura crítica el flujo magnético aplicado es expulsado, se comporta entonces como un diamagneto perfecto.
- Existen 2 tipos de superconductores:
 - Superconductores tipo I, como son: Al, Ga, Hg, In, Nb, Pb, Sn, Ta, Ti, V, W, Zn, quienes sólo tienen un campo magnético crítico.
 - Superconductores tipo II: como son, Nb_3Al , Nb_3Sn , Nb_3Ge , NbN , $NbTi$, $Nb_3(AlGe)$, V_3Si , V_3Ga , $PbMoS$, los cuales tienen 2 campos magnéticos críticos, por encima del campo magnético superior se comporta como metal normal y por debajo del inferior como un superconductor I.



- Si tenemos un superconductor en anillo y se le aplica un flujo de energía se generará una corriente persistente, la cual puede circular en el anillo por varios años sin pérdidas medibles y sin aplicarsele más corriente.



- En un estado base todos los electrones de un superconductor forman pares que tienen momentos iguales, los cuales se denominan pares de Cooper.
- Si bien la mayoría de superconductores trabajan a temperaturas muy pequeñas, existen algunos que pueden trabajar a temperaturas de 35°K , lo ideal sería encontrar superconductores que trabajen a temperatura ambiental de 300°K .

3.3 APLICACIONES

Por ausencia de resistencia, los superconductores se han utilizado para fabricar electroimanes que generan campos magnéticos intensos con bajas pérdidas de potencia eléctrica. Cuando una corriente eléctrica pasa por un conductor normal una fracción considerable de la misma se pierde en forma de calor, al reducirse a cero la pérdida habría considerable ahorro de energía y dinero.

Los superconductores podrían utilizarse en la construcción de chips lo cual traería consigo la reducción en el tamaño de este elemento y las velocidades de las computadoras podrían incrementarse mucho más. Así también, más chips podrían caber en un tablero y se podría almacenar mucha más información

Aprovechando los efectos cuánticos de la superconductividad se han desarrollado dispositivos que miden la corriente eléctrica, la tensión y el campo magnético con una sensibilidad sin precedentes.

Los reactores de fusión nuclear en los que el plasma se mantenga confinado por campos magnéticos, sería una aplicación bastante importante en cuanto a la aceleración de partículas de alta energía en la producción de energía nuclear, los cuales podrían reducir su tamaño y producir mayor energía.

Los imanes superconductores se han utilizado en estudios de materiales y en la construcción de potentes aceleradores de partículas. Los elementos de levitación magnética se puede utilizar en el transporte como se hace en el Japón con los trenes que viajan sin tocar la superficie de las vías.



Su aplicación en la técnica de diagnóstico en la Medicina Humana como son las Imágenes de resonancia magnética, la cual se utiliza en lugar de los rayos X. Esta técnica se basa en la generación de un campo electromagnético, pero cuyo uso de energía es muy alto, lo cual eleva los costos. La utilización de superconductores podría traer la reducción en el costo de esta técnica.

Las comunicaciones deberían de presentar una transmisión más eficiente de gasto de la energía eléctrica.

El Premio Nobel de Física de 1987 se concedió al físico alemán J. Georg Bednorz y al físico suizo K. Alex Mueller por su trabajo sobre la superconductividad a altas temperaturas.

Responde brevemente:

¿Cuál es la diferencia entre un superconductor tipo I y otro del tipo II?

¿Qué ocurre si a un conductor en anillo se le aplica un flujo de energía?

¿En qué están abocados actualmente los investigadores en superconductividad?

Actividad

Imagina qué otras aplicaciones le darías a los superconductores:

AUTOEVALUACIÓN

Marque la (las) respuesta(s) correcta(s):

1. *¿Qué resistencia tendrá un conductor cuya fuente de energía tiene 110 V y su flujo de energía es de 5 A?*
 - a) 550' Ω
 - b) 22' Ω
 - c) 0.045' Ω
 - d) 115V
 - e) 105 V
2. *¿Cuál tiene la brecha de energía más pequeña?*
 - a) Superconductores
 - b) Semiconductores puros
 - c) Semiconductores impuros
 - d) Aisladores
 - e) Conductores
3. *Cuando se dopa a un semiconductor tipo p, la carga positiva queda en lugares especiales que se asocian a los electrones. Estos lugares se llaman:*
 - a) Cation
 - b) Neutrón
 - c) Hoyo
 - d) Brecha
 - e) Anión
4. *Los diodos son más eficientes que un conductor común porque*
 - a) Tienen brecha más grande
 - b) Conducen un solo tipo de carga
 - c) Conducen en una sola dirección
 - d) Conducen indefinidamente
 - e) Tienen electrones
5. *¿Qué tecnología utilizaron los primeras radios y computadoras?*
 - a) Banda vibratoria
 - b) Tubos al vacío
 - c) Transistor
 - d) Circuito integrado
 - e) Chip

6. *Un conductor perfecto, es:*
- a) *Aquel que presenta resistencias*
 - b) *Un semiconductor*
 - c) *Un superconductor*
 - d) *Un semiconductor tipo I*
 - e) *Un semiconductor tipo II*
7. *Un microprocesador esta formado por:*
- a) *Computadoras*
 - b) *Tubos de vacío*
 - c) *Circuitos integrados*
 - d) *Pantallas*
 - e) *CPU*
8. *La temperatura en la cual los superconductores se comportan como tales, se denomina*
- a) *Temperatura de magnetismo*
 - b) *Temperatura de superconductor*
 - c) *Temperatura de equilibrio*
 - d) *Temperatura crítica*
 - e) *Temperatura de resistividad*
9. *En 1986 con los experimentos de J.Georg Bednorz y Karl Alex Müller se inicia:*
- a) *La era de la informática en superconductividad*
 - b) *La era de la superconductividad a alta temperatura*
 - c) *La era de las computadoras con superconductores*
 - d) *La era de la superconductividad dieléctrica*
 - e) *La era de los trenes superconductores*
10. *¿Qué tipo de superconductor puede mantener un flujo de energía en su estructura por años, sin que se le aplique más energía ni baje su intensidad*
- a) *Superconductor tipo I*
 - b) *Superconductor tipo II*
 - c) *Superconductor dieléctrico*
 - d) *Superconductor en anillo*
 - e) *Superconductor en pares*

RESPUESTAS

Pag. 1.

- a) El trozo de papel no se atraerá por la vara de metal debido a que el cuerpo humano actúa como buen conductor de la corriente eléctrica dirigiendo la carga hacia la tierra.
- b) El trozo de papel es atraído por la barra de metal debido a que, usted se ha aislado de éste mediante los guantes de caucho, por esta razón la vara de metal permanece cargada y puede atraer el trozo de metal.

Pag. 3.: Respuesta $R = 3 \text{ V} / 10 \text{ A} = 0,3 \text{ W}$

Pag. 4: No existe el aislante perfecto pues todos los cuerpos conducen corriente eléctrica en mayor o en menor grado.

Pag. 7:

- a) La relación entre conductividad eléctrica y brecha de energía es indirecta, a más brecha menor conductividad.
- b) Los semiconductores tienen una relación directa entre la conductividad eléctrica y la temperatura, a más temperatura más conductividad. Los conductores tienen una relación inversa, a más temperatura menos conductividad.

Pag. 10:

- a) Un semiconductor puro está formado por un solo tipo de elemento, mientras que un semiconductor impuro, presenta inclusiones de otros elementos.
- b) El término "dopar" se refiere a la inclusión de impurezas a un semiconductor puro, convirtiéndolo en impuro, y se realiza para aumentar la conductividad del semiconductor
- c) Un semiconductor tipo p está dopado con un elemento con mayor cantidad de electrones en su nivel de valencia lo que los que necesita el elemento base para hacer formar un enlace covalente, lo que crea espacio u hoyos en el nivel base, mientras que un semiconductor tipo n, está dopado con un elemento al que le falta un electrón para completar el enlace covalente con el elemento base, lo que le da un plus de carga negativa.

Pag. 12:

Los diodos son eficientes porque al estar constituido por una zona positiva y negativa que dirigen su carga en una dirección, además de presentar una gran resistencia en una zona y una muy baja en la otra.

Pag. 14:

Los tubos al vacío además de ocupar mucho espacio requerían un mantenimiento muy continuo ya que se recalentaban y “quemaban” en corto tiempo, lo que no ocurre con los transistores, que son mucho más pequeños y duran más tiempo, lo que permitió hacer más pequeños los aparatos que requerían corriente eléctrica como las radios.

Pag. 17:

Los chips miniaturizaron las conexiones y componentes de los transistores, haciéndolos más eficientes. Esto debido sobretodo a la menor distancia entre sus componentes lo que ha permitido ganar espacio y velocidad en la ejecución de funciones.

Pag. 20:

La diferencia fundamental es que los superconductores a bajas temperaturas no ofrecen ninguna resistencia al flujo de carga eléctrica, mientras que los semiconductores, sí.

Pag. 24:

- a) Los superconductores tipo I sólo tienen un campo magnético crítico, sobre el cual actúan como cualquier otro metal, mientras que los superconductores tipo II, tienen 2 campos magnéticos críticos sobre el superior actúa como cualquier metal y por debajo del inferior como un semiconductor tipo I.
- b) Al aplicar un flujo de corriente eléctrica a un superconductor en anillo, esta corriente puede permanecer en él por años, sin bajar su intensidad ni aplicar más energía.
- c) Los investigadores en superconductividad están abocados a la búsqueda de material que actúe como superconductor a temperatura ambiental (300°K)

RESPUESTAS DE LA AUTOEVALUACIÓN

1. b
2. a y e
3. c
4. c
5. c
6. c
7. c
8. d
9. b
10. d

GLOSARIO

Brecha de energía: espacio entre el nivel básico y el nivel de valencia de un átomo.

Conductividad: es la propiedad de que posee todo material de poder transmitir el calor y la electricidad.

Conductor: todo material que tiene la propiedad de permitir el paso de carga eléctrica a través de él. Todo conductor tiene ofrece poca resistencia a esta propiedad.

Corriente eléctrica: es el flujo de partículas eléctricas en un campo eléctrico lo que hace que tanto los electrones negativos como los huecos positivos se desplacen a través del material. eléctrica.

Ofimática: equipo que se utiliza para generar, almacenar, procesar o comunicar información en un entorno de oficina.

Resistividad: resistencia específica de una sustancia.

Robótica: conjunto de estudios y técnicas que aspiran a construir sistemas capaces de sustituir al hombre en sus funciones motrices e intelectuales.

Semiconductor: material capaz de conducir la electricidad mejor que un aislante, pero peor que un metal.

BIBLIOGRAFÍA

HEWITT, Paul G. 1995. *Física Conceptual*. Addison Wesley Iberoamericana.

LEHNINGER, Albert L. 1975. *Bioenergética*. Fondo Educativo Interamerican S.A.

Mac DONALD, Simon G.G., y Burns, Desmond M. 1996. *Física para las ciencias de la vida y de la salud*. Fondo Educativo Interamericano S.A.

MICROSOFT. 1999. *Enciclopedia Electrónica Encarta*. USA.

ROJAS, Ausberto S. F1994. *Física II*. Editorial San marcos.

SERWAY, Raymond A. 1997. *Física*. Tomo II. Saunders College Publishing.