

Dispositivos electrónicos

LEOPOLDO PARRA REYNADA

Red Tercer Milenio

DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS

DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS

LEOPOLDO PARRA REYNADA

RED TERCER MILENIO



AVISO LEGAL

Derechos Reservados © 2012, por RED TERCER MILENIO S.C.

Viveros de Asís 96, Col. Viveros de la Loma, Tlalnepantla, C.P. 54080, Estado de México.

Prohibida la reproducción parcial o total por cualquier medio, sin la autorización por escrito del titular de los derechos.

Datos para catalogación bibliográfica

Leopoldo Parra Reynada

Dispositivos electrónicos

ISBN 978-607-733-186-5

Primera edición: 2013

Revisión pedagógica: Germán Adolfo Seelbach González

Revisión editorial: Ma. Eugenia Buendía López

DIRECTORIO

Bárbara Jean Mair Rowberry
Directora General

Jesús Andrés Carranza Castellanos
Director Corporativo de Administración

Rafael Campos Hernández
Director Académico Corporativo

Héctor Raúl Gutiérrez Zamora Ferreira
Director Corporativo de Finanzas

Luis Carlos Rangel Galván
Director Corporativo de Mercadotecnia

Ximena Montes Edgar
Directora Corporativo de Expansión y Proyectos

ÍNDICE

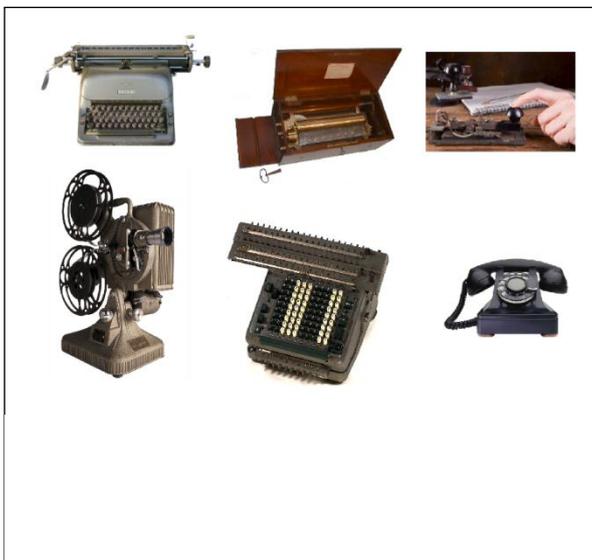
Introducción	4
Objetivo general de aprendizaje	6
Mapa conceptual general	7
Unidad 1. Introducción	8
Mapa conceptual	9
Introducción	10
1.1 Antecedentes históricos	11
1.2 Aplicaciones	15
1.3 Conceptos básicos	17
1.3.1 Señal eléctrica	17
1.3.2 Transductor	18
1.3.3 Señal analógica	18
1.3.4 Señal digital	19
1.3.5 Acoplamiento	20
1.3.6 Amplificación	21
1.3.7 Proceso de señal	21
Autoevaluación	23
Unidad 2. Concepto de física de semiconductores	26
Mapa conceptual	27
Introducción	28
2.1 Modelos de bandas	30
2.2 Semiconductores intrínsecos y extrínsecos	34
2.3 Conducción eléctrica en semiconductores	38
2.4 Unión P-N y características asociadas: densidad de carga, campo eléctrico, potencial electroestático, capacitancia y relación I-V	40
2.5 Unión PIN	46
Autoevaluación	48
Unidad 3. El diodo semiconductor y modelos	53
Mapa conceptual	54

Introducción	55
3.1 Diodo semiconductor	56
3.2 Modelos: ideal, exponencial, de señal grande y de señal pequeña	63
Autoevaluación	70
Unidad 4. El transistor de efecto de campo (FET)	73
Mapa conceptual	74
Introducción	75
4.1 Estructura, funcionamiento y curvas características de un FET	78
4.2 Modelos y polarización	82
4.3 El MOSFET como elemento de conmutación	86
4.4 El amplificador básico	90
4.5 Especificaciones de fabricante	92
Autoevaluación	97
Unidad 5. El transistor bipolar de juntura (TBJ)	101
Mapa conceptual	102
Introducción	103
5.1 Estructura, funcionamiento y curvas características	105
5.2 Modelos y polarización	109
5.3 El TBJ como inversor y compuertas lógicas	114
5.4 El amplificador básico	117
5.5 Especificaciones del fabricante	120
Autoevaluación	126
Unidad 6. El amplificador operacional	130
Mapa conceptual	131
Introducción	134
6.1 Modelo ideal	134
6.2 Análisis de circuitos lineales: inversor, no inversor, sumador, diferencial, integrador, derivador, convertidores de voltaje a corriente y corriente a voltaje	136
6.3 Análisis de circuitos no lineales: el rectificador de precisión, comparadores y amplificadores logarítmicos	148

Autoevaluación	145
Unidad 7: Reguladores de voltaje	160
Mapa conceptual	161
Introducción	162
7.1 El regulador de aire	164
7.2 Reguladores integrados y especificaciones del fabricante	166
7.3 Fuente de poder	176
7.3.1 Fuente regulada simple positiva	180
7.3.2 Fuente regulada simple negativa	181
7.3.3 Fuente múltiple	181
7.3.4 Fuente regulada variable	182
7.3.5 Fuente simétrica	183
Autoevaluación	186
Unidad 8: Otros dispositivos electrónicos	190
Mapa conceptual	191
Introducción	192
8.1 Tubos al vacío	193
8.2 SCR, triac y diac	197
8.3 Dispositivos optoelectrónicos	205
8.3.1 Diodos emisores de luz o LED	205
8.3.2 Diodo láser	208
8.3.3 Fotodetectores	208
8.3.4 Optoacopladores	211
Autoevaluación	217
<i>Glosario</i>	221
<i>Bibliografía</i>	225

INTRODUCCIÓN

Sería muy difícil imaginar qué sería del mundo actual si no existiera la tecnología electrónica. No habría televisores para disfrutar de programas internacionales, ni radio para escuchar las noticias; para lograr la

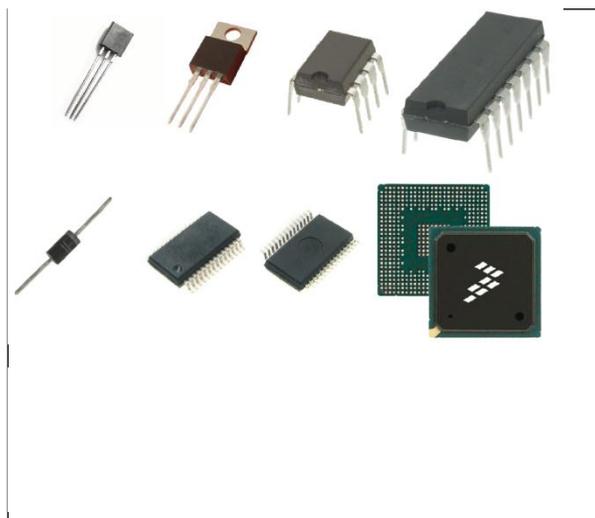


comunicación con familiares o amigos, se usaría un teléfono convencional, el telégrafo o el correo normal; no habría reproductores MP3 para escuchar música; en fin, una gran parte del trabajo, del entretenimiento, de los medios de comunicación, etcétera, simplemente no existirían o serían reemplazados por alternativas incómodas y poco

accesibles.

Resulta evidente entonces que la electrónica ha revolucionado al mundo, permitiendo la masificación del entretenimiento, de la información, de las comunicaciones, etcétera, incluso está invadiendo campos en los que hasta hace poco no se empleaban dispositivos electrónicos, como la iluminación, el control de aparatos electrodomésticos, el manejo de grandes cantidades de voltaje y corriente, etcétera.

Pero todo esto tuvo un inicio, y el edificio de la electrónica en general descansa sobre los cimientos de gran cantidad de años de investigación y desarrollo, que permitieron la elaboración de diversos componentes y dispositivos básicos, que constituyen los “ladrillos



funcionales” con los que está construido desde un reloj de cuarzo hasta la computadora más avanzada.

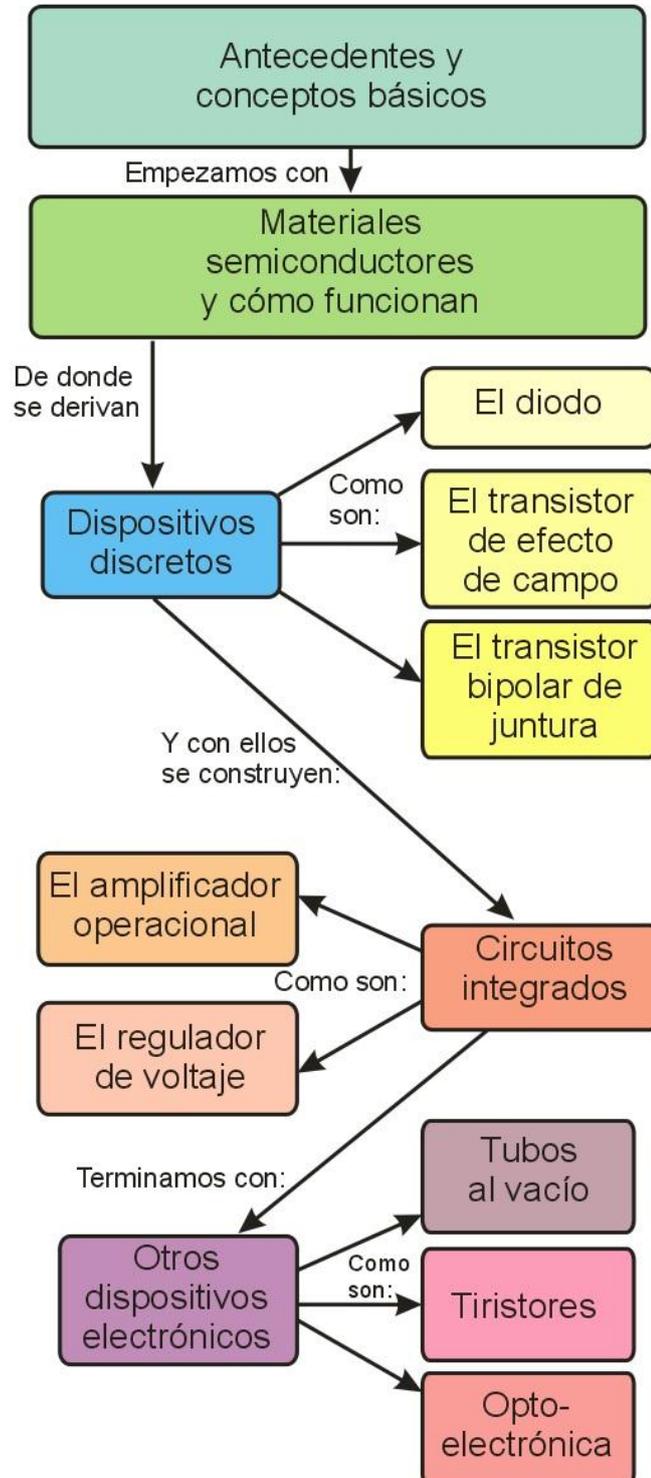
A lo largo de este libro se distinguirá que, en realidad, estos dispositivos son fáciles de entender y de aplicar, y al concluir su lectura, se tendrán las bases para enfrentar el diseño y construcción de circuitos más complejos y especializados.

OBJETIVO DE APRENDIZAJE GENERAL

Ofrecer una introducción a los principios de la electrónica, a sus fundamentos más importantes, a los dispositivos básicos, a sus aplicaciones y a la manera de combinarlos para obtener el resultado esperado.

MAPA CONCEPTUAL

DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS



UNIDAD 1

INTRODUCCIÓN

OBJETIVO

El estudiante conocerá los fundamentos básicos de la tecnología electrónica, así como sus orígenes y principales ramas de aplicación en la actualidad, además de los diferentes conceptos principales de la técnica, como una señal eléctrica, un transductor, las diferencias entre señal analógica y digital, etcétera.

TEMARIO

1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

1.2 APLICACIONES

1.3 CONCEPTOS BÁSICOS

1.3.1 Señal eléctrica

1.3.2 Transductor

1.3.3 Señal analógica

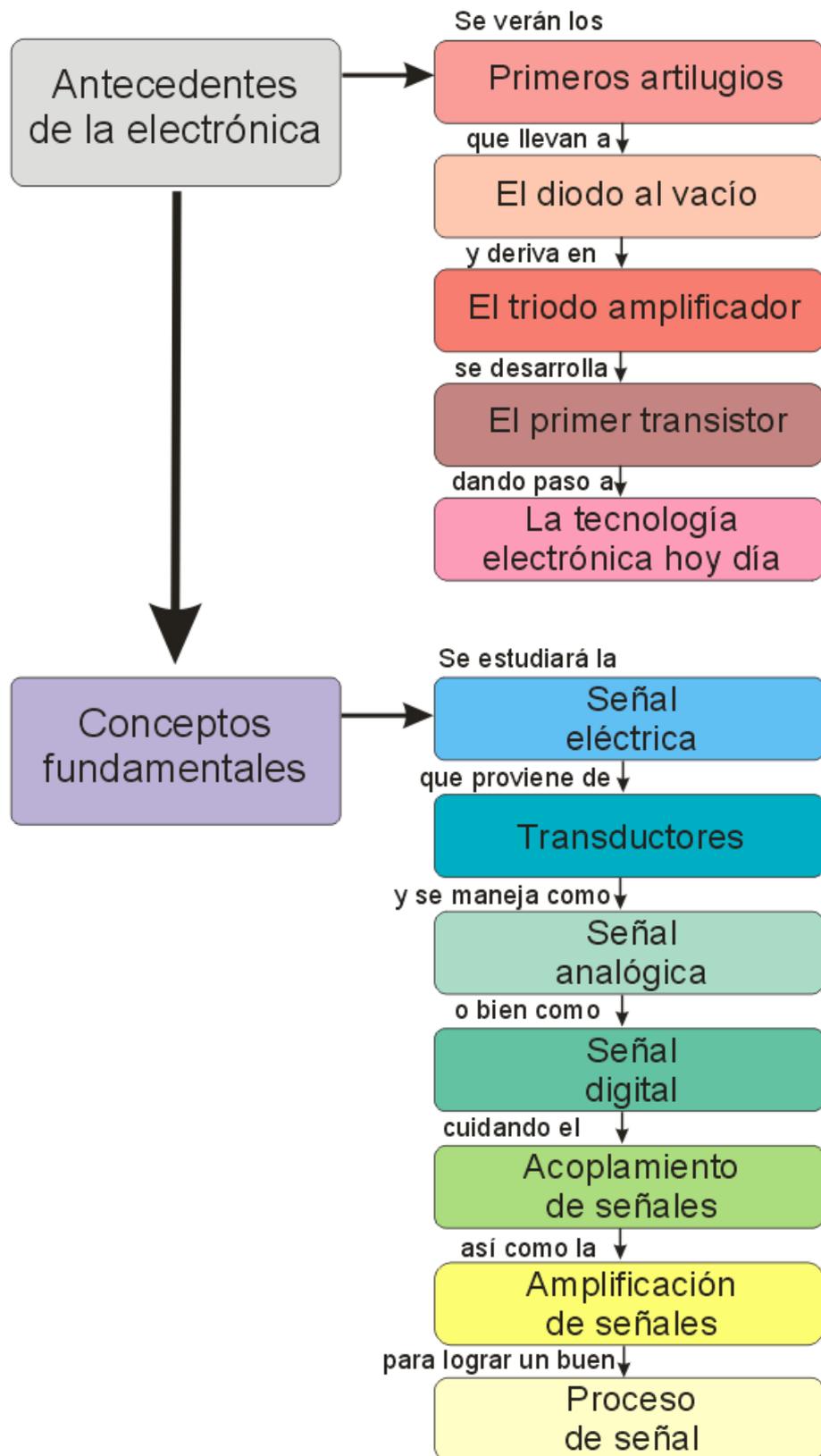
1.3.4 Señal digital

1.3.5 Acoplamiento

1.3.6 Amplificación

1.3.7 Proceso de señal

MAPA CONCEPTUAL



INTRODUCCIÓN

Dice la sabiduría popular: “el viaje más largo comienza por un primer paso”; y este refrán puede aplicarse perfectamente al desarrollo de la tecnología electrónica, que descansa sobre el trabajo de gran cantidad de investigadores que, cada uno por su lado, contribuyó con su “grano de arena” para la edificación de una tecnología que ha revolucionado por completo la forma de trabajar, de descansar, así como de comunicación, de diversión, etcétera, de la mayoría de las personas.

Los inicios de la electrónica fueron muy modestos, y seguramente nadie imaginó que se convertiría en la industria multimillonaria que es actualmente. Precisamente en esta primera unidad, se tratarán los primeros pasos en el desarrollo de la tecnología electrónica, y cómo fue evolucionando hasta llegar a lo que se tiene en la actualidad. Además, se tratarán algunos conceptos básicos fundamentales para la correcta comprensión de los temas tratados en unidades posteriores, por lo que una lectura cuidadosa es importante para entender adecuadamente los conceptos que se describirán a lo largo del presente libro.

1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

De manera estricta, y considerando el sentido amplio del término “electrónica” como “la ciencia de la manipulación de señales eléctricas”, se tiene que esta tecnología es muy antigua. Se remonta a finales del siglo XIX, cuando apenas se encontró que el átomo no era tan indivisible como se había pensado originalmente, y se fueron descubriendo sus tres partículas más importantes; a saber, protones, neutrones y electrones. Estos últimos



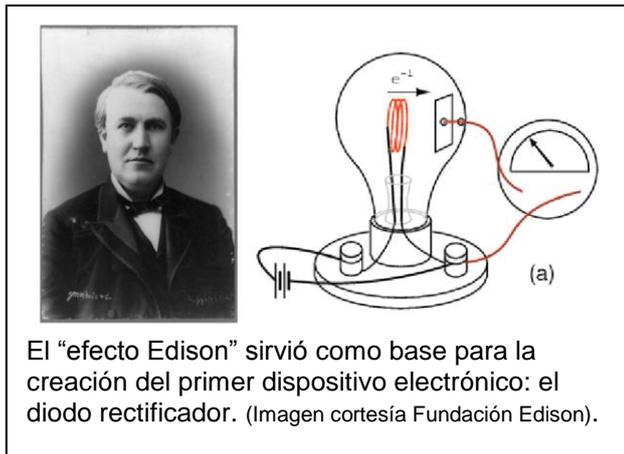
llamaron la atención de muchos investigadores, quienes intentaron aprovecharlos para diversas aplicaciones, pero el que se considera el primer artilugio electrónico de la historia, es el tubo de Crookes, desarrollado en 1895 por el científico inglés William Crookes. Este tubo es una especie muy primitiva de

cinescopio, y precisamente aprovecha los electrones para crear una imagen burda sobre una superficie recubierta de fósforo.

Dos años después, el científico alemán Karl F. Braun desarrolló el primer osciloscopio, adaptando un tubo de Crookes de modo que produjera un haz delgado de electrones, y colocando placas de deflexión horizontal y vertical, con lo que en la pantalla del tubo aparecía un trazo equivalente a la señal eléctrica que se estuviera estudiando. La aparición de este aparato fue pieza clave para acelerar el desarrollo de la tecnología electrónica, ya que por primera vez se tenía una forma confiable de observar el comportamiento de ciertos fenómenos, a pesar de que ocurrieran a muy altas frecuencias.

Sin embargo, tanto el tubo de Crookes como el osciloscopio aprovechan los electrones producidos por un electrodo, pero no los manipulan en sentido estricto. El primer dispositivo electrónico que sí modifica el comportamiento de una señal eléctrica aplicada, se produjo a raíz de una investigación completamente distinta, y en un principio, ni siquiera se apreció el potencial que tenía.

En 1873, el investigador inglés Frederick Guthrie descubrió que un electrodo caliente cargado positivamente, podía descargarse si se le acercaba una laminilla con polaridad negativa, pero no sucedía lo mismo si la laminilla tenía polaridad positiva. Esto demostró que la corriente sólo fluye en una dirección; pero en ese momento no se encontró ninguna aplicación práctica para el fenómeno.



De forma independiente, en la década de 1880, cuando Tomás Alva Edison estaba haciendo investigaciones para mejorar su bombilla, en uno de sus experimentos colocó una laminilla metálica en la proximidad del filamento

incandescente, y encontró que cuando se aplicaba un voltaje positivo al filamento y uno negativo a la laminilla, se establecía un flujo de corriente entre ambos elementos, pero si el voltaje se invertía no pasaba nada. Edison tampoco encontró aplicación a este fenómeno, pero como buen comerciante que era, lo patentó y se olvidó de él. Años más tarde, en 1904, un grupo de investigadores de la compañía Marconi, comandado por John A. Fleming, rescató este principio para la elaboración del que se considera el primer dispositivo electrónico de la historia: el diodo rectificador.

Este dispositivo se creó con el objetivo de servir como pieza fundamental en la recepción y recuperación de señales de radio en amplitud modulada, ya que su característica de sólo conducir en una dirección y no en la opuesta, lo hacía ideal para recortar la señal de AM recibida, por lo que bastaba colocar un filtro a su salida, para recuperar la señal de audio transmitida.



Esto permitió la fabricación de receptores de radio más precisos, lo que le dio un impulso muy importante a esta industria.



Radio de galena, muy popular durante el primer cuarto del siglo XX. (Foto: Museo de la radio).

También, a principios de siglo, apareció el primer dispositivo electrónico de estado sólido: el diodo de cristal, desarrollado alrededor de 1906 con base en las investigaciones hechas por Karl F. Braun con cristales de un material denominado galena. Las radios de galena fueron muy populares en el primer cuarto del siglo XX, ya que no necesitaban fuente de

energía adicional para funcionar, recuperando la señal que llegaba a través de las ondas de radio, y con su misma energía alimentaban un altavoz pequeño, normalmente en un audífono.

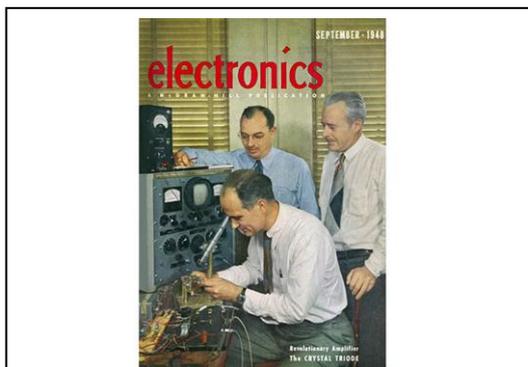
Sin embargo, un problema al que se enfrentaban los productores de radio es que la señal que se recibía en las antenas era de muy baja intensidad, por lo que se requería con urgencia, alguna forma de aumentar su potencia. Los experimentos realizados con los diodos de vacío demostraron que, si se coloca una rejilla entre los electrodos del mismo, y en esta rejilla se aplica una señal



Durante bastante tiempo, los triodos fueron los amplificadores de señal por excelencia. (Foto: Museo del tubo).

de

bajo nivel, a través de los electrodos principales de este dispositivo aparece la misma señal, pero amplificada. Así surgió el triodo, inventado por Lee DeForest en 1907, considerado el primer amplificador electrónico y que es la base para una enorme cantidad de circuitos, que incluso en la actualidad se siguen utilizando.



Portada de la revista "Electronics", donde se anuncia oficialmente el desarrollo del transistor. (Foto: revista "Electronics").

Durante la primera mitad del siglo XX, los tubos de vacío (diodo, triodo y demás variantes) dominaron la tecnología electrónica, al grado que las primeras computadoras estaban formadas por cientos o miles de estos dispositivos; sin embargo, esto cambió radicalmente a partir de 1947, cuando tres científicos que trabajaban en los laboratorios Bell, Bardeen, Shockley y Brattain, descubrieron el primer “triodo de cristal”, que después recibiría el nombre de “transistor”. A partir de ese momento, la tecnología electrónica ha evolucionado a pasos agigantados, pasando de grandes y estorbosos tubos de vacío, a componentes semiconductores discretos, luego a los circuitos integrados, y finalmente a la situación actual, donde existen chips que incluyen en su interior cientos de millones de transistores individuales, trabajando en conjunto para hacer más cómoda la vida diaria, tanto en el trabajo como en el entretenimiento.

En la actualidad, es difícil encontrar algún aparato o mecanismo que no utilice algún tipo de dispositivo electrónico; ya sea en labores de control, de rectificación, en el encendido o apagado de señales, en el proceso de las mismas, etc., la electrónica está invadiendo todas las ramas de la tecnología, como se describirá a continuación.

ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE 1A

Responde las siguientes preguntas:

- a) ¿Quién inventó el que se considera el primer artilugio electrónico de la historia?
- b) ¿En qué consiste el “efecto Edison”?
- c) ¿Qué personaje inventó el primer diodo rectificador?
- d) ¿De qué material se hacían los primeros diodos de cristal para los receptores de radio?
- e) ¿Quién inventó el triodo?
- f) ¿Cuál fue la principal aplicación de los triodos?
- g) ¿Cuáles científicos desarrollaron el primer transistor?

1.2 APLICACIONES

En la actualidad, la tecnología electrónica es tan popular, que es difícil llegar a algún sitio en donde no se encuentren varios aparatos que la aprovechan ampliamente para su funcionamiento. A continuación se muestran algunos ejemplos:



En el hogar, la electrónica está detrás de dispositivos tan simples como el reloj despertador, en una calculadora electrónica, en un receptor de radio, en el reproductor de discos compactos, en el equipo de sonido, en el televisor, en la computadora, en el teléfono (ya sea fijo o móvil), incluso ya invadió aplicaciones que tradicionalmente se controlaban con elementos electromecánicos, como la lavadora de ropa, el refrigerador, la cafetera, los ventiladores y el aire acondicionado, etc. En realidad, resulta difícil encontrar algún sitio en el hogar donde no se apliquen circuitos electrónicos.

En la oficina, las tradicionales máquinas de escribir han sido reemplazadas por computadoras e impresoras, las cuales también sirven para llevar la contabilidad, mantener comunicación con los amigos a través de correo electrónico o mensajería instantánea, compartir fotos y una amplia variedad de usos. También se puede encontrar electrónica en el reloj

checador de la entrada hasta en las lámparas fluorescentes que iluminan el área de trabajo. La calculadora, el interfono, el teléfono sobre el escritorio, el horno de microondas, la copiadora, en fin, prácticamente todos los aparatos que se encuentran en una oficina moderna están impulsados por circuitos electrónicos.



Incluso al caminar por la calle, difícilmente se puede estar ajeno a la electrónica que nos rodea. Los semáforos, los anuncios luminosos de las tiendas, las lámparas de iluminación urbana

que se encienden automáticamente al atardecer y se apagan cuando amanece, los múltiples circuitos electrónicos que invaden los automóviles modernos, los sistemas de control del transporte público, los cajeros de los bancos, las cajas registradoras de los comercios, las cámaras de seguridad, el reloj de la esquina, todo eso está controlado por circuitos electrónicos. Incluso, los aviones y aeronaves se controlan mediante circuitos electrónicos; y los satélites artificiales, de los cuales dependen en gran parte las comodidades que tenemos, tampoco podrían existir si no existiera esta tecnología.

Entonces, resulta obvio que la electrónica está por todos lados, interactuando de forma sutil o directa con las personas, y permitiéndoles realizar actividades que, de otra forma, serían mucho más complejas, tardadas o costosas.

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE 1B

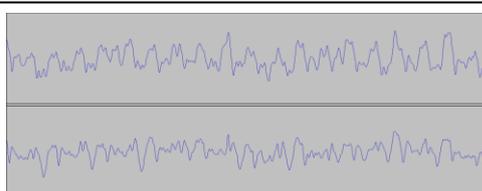
- a) Realiza un inventario rápido de todos los artículos que utilicen circuitos electrónicos que tengas a tu alcance en este momento. No olvides incluir el teléfono celular, el reloj de cuarzo, el reproductor MP3 y en general, cualquier objeto que use componentes electrónicos para funcionar. Te sorprenderá la cantidad de electrónica que tienes disponible cotidianamente sin darle mayor importancia.
- b) Repite lo anterior en la sala de tu casa, y trata de imaginar qué pasaría si no contaras con todos esos aparatos electrónicos.
- c) Ahora imagina cómo sería el trabajo en una oficina sin equipo electrónico. El objetivo es que consideres la importancia que tiene

1.3 CONCEPTOS BÁSICOS

Antes de comenzar con el estudio de los dispositivos electrónicos propiamente, es conveniente establecer ciertos conceptos básicos, que se utilizarán desde este momento para explicar el comportamiento de estos elementos. Estos conceptos básicos son de aplicación general en el área de la electrónica, así que es muy importante comprenderlos perfectamente, para que a su vez los conceptos derivados de ellos también queden lo más definidos posible.

1.3.1 Señal eléctrica

Así se denomina a un flujo de corriente eléctrica o a la variación de un voltaje, a través del cual se está transmitiendo algún tipo de información o parámetro. Esto significa que, por ejemplo, en una línea de CA (corriente alterna) común como la que llega a los hogares, está circulando electricidad, pero no se considera señal eléctrica, porque no lleva una información aparejada; por el contrario, una señal de radio de



La característica principal de una señal eléctrica, es que lleva aparejada cierta información relevante, misma que se desea aprovechar de una u otra forma.

amplitud modulada sí es una señal eléctrica, ya que una vez que ha sido captada y procesada, puede recuperarse de ella la información de audio transmitida. Esto es lo que hace especiales a las señales eléctricas: su capacidad de transportar cierta información en ellas; y de ahí surge la necesidad darles un manejo especial para que la información viaje de un punto a otro, se almacene, se despliegue de alguna forma, etc.

1.3.2 Transductor

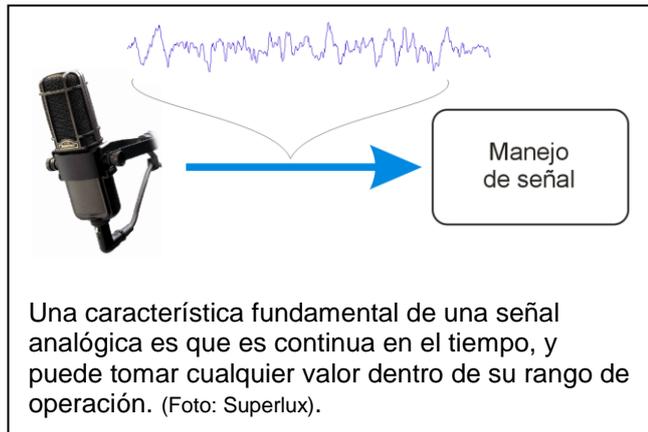
Un transductor es un dispositivo capaz de tomar algún parámetro físico en uno de sus extremos, y expedir como salida una señal eléctrica que, de alguna forma u otra, representa al parámetro que se está monitoreando. Por ejemplo, un termistor es un dispositivo electrónico cuya conductividad varía conforme cambia la temperatura ambiente; una fotocelda capta la luz que incide sobre ella y produce a su salida un voltaje equivalente a la cantidad de luz recibida; un micrófono percibe los sutiles cambios en la presión de aire que provocan las ondas sonoras, y las transforma en una variación



eléctrica que represente fielmente a ese sonido; en resumen, un transductor sirve para captar el fenómeno que se desea medir, y producir a su salida una señal eléctrica equivalente, misma que ya puede ser manejada como mejor convenga.

1.3.3 Señal analógica

Una señal eléctrica puede tomar varios aspectos, pero a grandes rasgos, se pueden dividir estas señales en dos grandes grupos: señales analógicas y señales digitales. Las señales analógicas se caracterizan porque siempre están presentes (esto es, son continuas en el tiempo), y pueden tomar un número de valores infinito, dentro de sus rangos de operación. Por ejemplo,

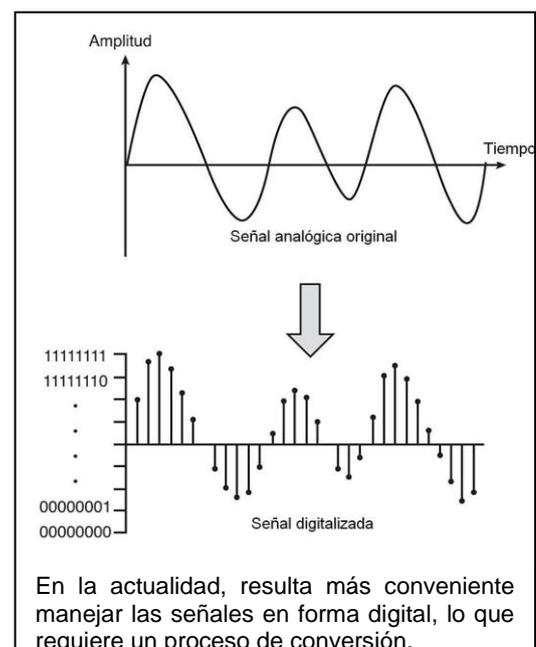


si se tiene un termistor monitoreando la temperatura de cierta región, su voltaje de salida siempre está presente, indicando la temperatura en ese preciso momento; no importa si se toma la lectura a cierta hora, o con

algunos segundos o minutos de retraso, siempre habrá un voltaje a su salida representando la temperatura detectada. Si se coloca un micrófono captando los sonidos del ambiente, también se tendrá siempre una salida, que puede ser tan animada o tan aburrida como lo sea el sonido que capta el dispositivo, pero siempre habrá una salida que observar. No sólo eso, una señal análoga puede tomar cualquier valor dentro de su rango de operación, incluyendo valores fraccionarios. Esto significa que una señal análoga es la representación más fiel del comportamiento de un fenómeno que se pueda tener.

1.3.4 Señal digital

Debido a la popularidad del procesamiento digital de señales, en la actualidad se prefiere transmitir, almacenar, manejar y expedir una señal en forma digital y no en forma analógica. Una señal digital sólo está presente en momentos muy precisos, y sólo puede tomar un cierto número de valores, determinados por la resolución (en bits) que se esté manejando. Un ejemplo de esto es el audio grabado en un disco compacto, que se captó como una señal analógica, pero después se transformó en una señal digital con una

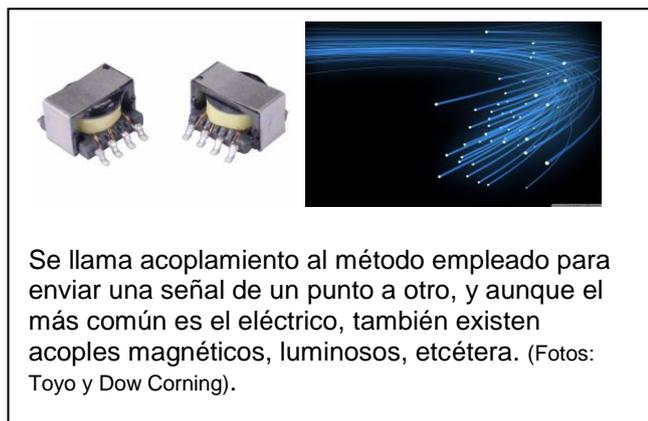


frecuencia de muestreo de poco más de 40KHz, y una resolución de 16 bits,

para así ser grabada en la superficie del disco. Esto significa que al momento de recuperar esta información, se captan los “unos” y “ceros” almacenados en el CD, se procesan, se reconstruye la señal digital primigenia, y a partir de ella se reproduce la señal análoga original, misma que se envía hacia el amplificador de audio y hacia las bocinas. Resulta indudable que en el proceso de transformar una señal de análoga a digital se pierde parte de la información original, pero esta pérdida se compensa por la facilidad y precisión con que se puede almacenar y manejar una señal digital.

1.3.5 Acoplamiento

Así se llama a la forma como se transmite una señal eléctrica de un punto a otro. En la mayoría de los casos, se tienen acoplamientos de tipo eléctrico



directo, esto es, los electrones de un circuito fluyen de forma directa hacia el circuito siguiente, a través de conductores colocados con ese fin; sin embargo, existen otros tipos de acoplamiento muy empleados en tecnología

electrónica, y se usan para garantizar la mejor transmisión de la información que se desee manejar; por ejemplo:

- *Acoplamiento magnético:* cuando una señal eléctrica se convierte en un flujo magnético, que a su vez induce una corriente eléctrica en otra parte del circuito. Para ello se usan los transformadores de acoplamiento.
- *Acoplamiento óptico:* una señal eléctrica se convierte en un flujo luminoso, que es captado por un sensor especial, y vuelto a convertir en señal eléctrica. Es el caso típico de las transmisiones a través de fibra óptica.

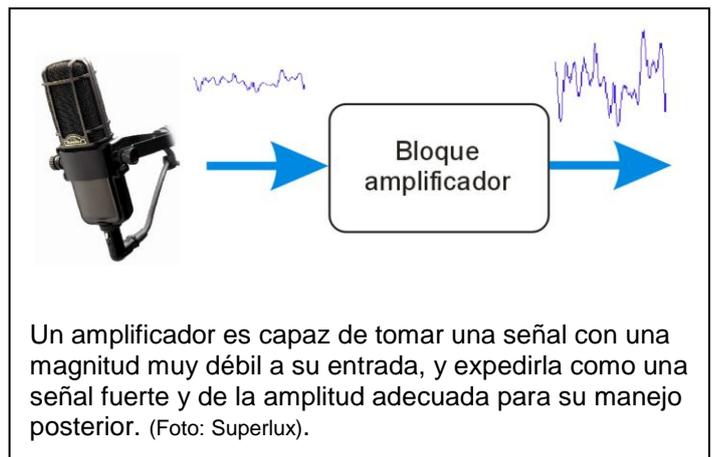
- *Acoplamiento piezoeléctrico*: una señal eléctrica se convierte en una serie de vibraciones mecánicas inducidas en un cristal piezoeléctrico, para que unas terminales en el otro extremo capten esas vibraciones y las conviertan nuevamente en señal eléctrica. Es el principio de funcionamiento de los filtros cerámicos, muy usados en prácticamente todas las aplicaciones que usen ondas de radio para transmitir información.

Como estos ejemplos, hay algunos otros tipos de acoplamiento entre circuitos que se describirán más adelante conforme sea necesario.

1.3.6 Amplificación

Casi siempre, cuando se obtiene una señal eléctrica de un transductor, ésta resulta demasiado débil como para aplicarse directamente a otros circuitos. Esto implica que uno de los primeros bloques que deberá encontrar en su camino esta señal es un

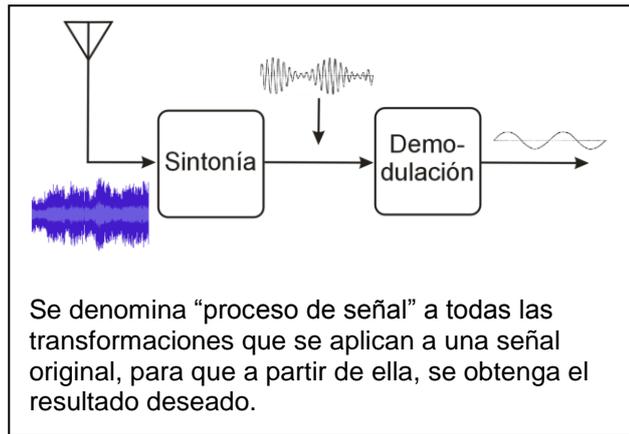
amplificador, que como su nombre lo indica, toma a su entrada una señal con una magnitud muy débil, y la expide a su salida sin haber cambiado en absoluto su forma, pero aumentando su voltaje, su corriente, su



potencia o lo que sea necesario para su posterior manejo. La amplificación de señales fue uno de los principales retos que se tuvieron en los inicios de la electrónica, y hasta la fecha sigue siendo una de las aplicaciones más utilizadas en los ámbitos más diversos.

1.3.7 Proceso de señal

Se ha mencionado bastante el término “manejo de señal”; pero ¿qué significa este manejo? Una vez que se tiene una señal representando un fenómeno, por lo general es necesario modificarla de alguna forma para hacerla más adecuada para lo que se requiera; por ejemplo, en el caso de



un micrófono, si se desea captar el audio del ambiente, y sabiendo que el oído humano sólo capta sonidos entre los 20 y los 20,000 Hz, sería conveniente aplicar un filtrado a la señal resultante para eliminar cualquier sonido por debajo de 20 y

por arriba de 20,000 Hz, ya que de todos modos casi nadie puede escucharlos. Cuando se recibe una señal de radio AM, se debe sintonizar por medio de un proceso de heterodinación, luego se filtra para obtener sólo la señal de la estación deseada, se recorta la mitad de la señal y se aplican una serie de filtros paso-bajos, para finalmente recuperar la señal de audio transmitida. Pues bien, a todos estos pasos que hay desde la obtención inicial de una señal eléctrica y su aprovechamiento final, se denominan "proceso de señal", y este proceso puede ser tan simple o tan complejo como lo amerite el caso en particular.

Estos son los conceptos básicos que se deben considerar al estudiar los dispositivos electrónicos; conviene tenerlos presentes, porque se mencionarán constantemente de aquí en adelante.

ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE 1C

- ¿Cuál es la principal característica que distingue a una señal eléctrica?
- ¿Qué es un transductor y para qué sirve?
- Define una señal analógica:
- Define una señal digital:
- ¿Por qué se acostumbra convertir una señal de analógica a digital?
- ¿Qué es el acoplamiento de señales?
- Indica tres ejemplos de acoplamientos de señales:
- ¿Por qué se necesita la amplificación de señales?
- ¿A qué se llama "proceso de señal"?

AUTOEVALUACIÓN

1. ¿Cuál fue el primer artilugio electrónico y quién lo inventó?
2. ¿Quién inventó el primer dispositivo electrónico, y en qué efecto se basó?
3. Menciona el nombre del primer dispositivo de amplificación electrónica, y quién fue su creador:
4. ¿Quiénes inventaron el primer transistor?
5. ¿Qué es una señal eléctrica, y cuál es su principal característica?
6. ¿Qué es un transductor?
7. Define una señal analógica y una señal digital:
8. ¿Por qué en la actualidad se prefiere convertir las señales analógicas en señales digitales?
9. ¿Qué es el acoplamiento de señal? Menciona dos ejemplos:
10. ¿A qué se llama “proceso de señal”?

RESPUESTAS

1. El tubo de Crookes, inventado por William Crookes.
2. John A. Fleming desarrolló el diodo, basado en el efecto Edison.
3. El triodo, inventado por Lee DeForest.
4. Brattain, Bardeen y Shockley.
5. Es un flujo eléctrico que lleva aparejado consigo cierta información necesaria para el usuario.
6. Es un dispositivo que transforma un fenómeno físico en una señal eléctrica.
7. Las señales analógicas están presentes todo el tiempo y pueden tomar cualquier valor dentro de su rango de operación, mientras que las señales digitales sólo están presentes en momentos específicos, y pueden tomar únicamente ciertos valores predeterminados, dependiendo del número de bits empleado.
8. Porque el proceso digital de señales ha mostrado muchas ventajas sobre el proceso análogo de las mismas.
9. Es el método que se usa para transmitir una señal de un circuito a otro. Existen acoplamientos eléctricos, magnéticos, ópticos, piezoeléctricos, etc.
10. A toda transformación que se aplica a una señal, desde su punto de entrada a un circuito hasta la obtención del resultado deseado.

RESPUESTAS A LAS ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Actividad de aprendizaje 1A:

- a) El científico inglés William Crookes.
- b) Si se coloca una laminilla metálica en la cercanía de un filamento incandescente, y se aplica un voltaje negativo a esa laminilla, habrá flujo de electrones entre el filamento y la laminilla, pero si se aplica un voltaje positivo, no existirá flujo.
- c) John A. Fleming.
- d) De galena.
- e) Lee DeForest.
- f) Como amplificador electrónico de señales.
- g) Brattain, Bardeen y Shockley.

Actividad de aprendizaje 1C:

- a) Que lleva aparejada cierta información útil para el usuario.
- b) Es un dispositivo que toma algún fenómeno físico (temperatura, sonido, presión, etc.) y lo convierte en una señal eléctrica a su salida.
- c) Es aquella que es continua en el tiempo y que puede tomar cualquier valor posible dentro de su rango de operación.
- d) Es aquella que sólo está presente en momentos muy específicos, y sólo puede tomar cierto número predefinido de valores, dependiendo del número de bits empleado.
- e) Porque el proceso digital de señales ha demostrado ser más efectivo, veloz, flexible y económico que el procesamiento analógico.
- f) Es la transmisión de una señal de un circuito a otro, procurando siempre que esa señal se reciba de la mejor forma posible.
- g) Eléctrico, magnético, luminoso, piezoeléctrico, etc.
- h) Porque muchas veces, la señal original tiene una magnitud muy pequeña, lo que implica que se necesita ampliar para poderla manejar adecuadamente.
- i) A todas las transformaciones que se aplican a una señal, desde su inicio hasta obtener el resultado final deseado.

UNIDAD 2

CONCEPTO DE FÍSICA DE SEMICONDUCTORES

OBJETIVO

El estudiante comprenderá el concepto de semiconductor y los principios físicos que existen detrás de su comportamiento eléctrico, analizando sus propiedades básicas, la forma como conducen, y cómo se obtienen los semiconductores P y N, y así tener los cimientos necesarios para el posterior estudio de los principales dispositivos electrónicos.

TEMARIO

2.1 MODELOS DE BANDAS

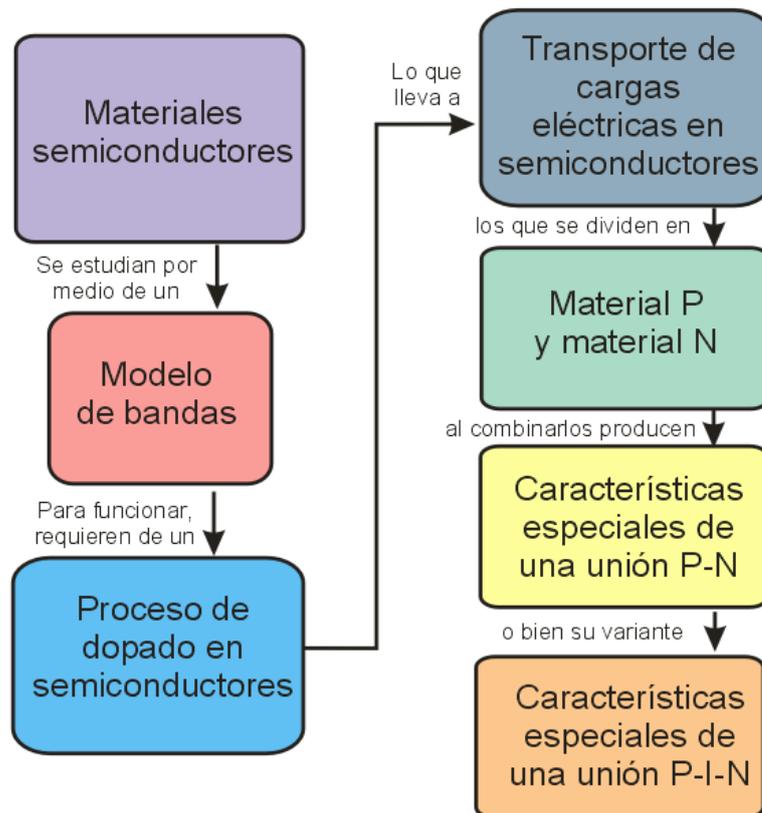
2.2 SEMICONDUCTORES INTRÍNSECOS Y EXTRÍNSECOS

2.3 CONDUCCIÓN ELÉCTRICA EN SEMICONDUCTORES

2.4 UNIÓN P-N Y CARACTERÍSTICAS ASOCIADAS: DENSIDAD DE CARGA, CAMPO ELÉCTRICO, POTENCIAL ELECTROESTÁTICO, CAPACITANCIA Y RELACIÓN I-V

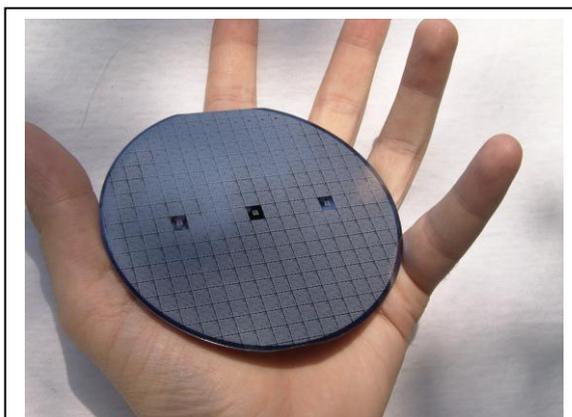
2.5 UNIÓN PIN

MAPA CONCEPTUAL



INTRODUCCIÓN

Antes de comenzar con el estudio detallado de los dispositivos electrónicos, es conveniente conocer el material del que están hechos y sus peculiares



Los materiales semiconductores son pieza clave para el desarrollo de la tecnología electrónica. (Foto: DHD galleries).

propiedades eléctricas, sin las cuales la electrónica tal y como se conoce no existiría. Se trata de los materiales semiconductores, que son pieza clave en el desarrollo de diodos, transistores, circuitos integrados y demás componentes que se utilizan en los modernos circuitos electrónicos. Qué son y cuáles son las propiedades de

los principales semiconductores, es lo que se describirá en esta unidad.

¿Por qué es importante estudiar el comportamiento de los semiconductores? Precisamente, porque es debido a las propiedades físicas tan particulares que tienen estos materiales, que se pueden construir dispositivos diminutos que funcionen como interruptores de paso, amplificadores, rectificadores, sensores, indicadores, etcétera. Los dispositivos semiconductores marcan un cambio en el desarrollo de la electrónica, ya que antes de ellos prácticamente todo se tenía que hacer con voluminosas, frágiles y poco eficientes válvulas de vacío o bulbos, lo que limitaba seriamente las aplicaciones en que podían utilizarse estos elementos. Con los dispositivos semiconductores, ahora esos bulbos



Antes del desarrollo de los dispositivos semiconductores, la electrónica se basaba casi en su totalidad en válvulas de vacío o bulbos. (Foto: National).

han sido sustituidos por pequeñísimos transistores o circuitos integrados, y

esto ha permitido que la electrónica invada prácticamente todas las actividades humanas, desde el trabajo más complejo hasta el entretenimiento.

Para comprender de forma adecuada cómo es que los dispositivos electrónicos pueden hacer todo lo que realizan, es necesario profundizar en el mundo de las propiedades físicas de la materia, entender cómo se lleva a cabo la conducción eléctrica, y qué es lo que hace tan especiales a los materiales conocidos como semiconductores.

2.1 MODELOS DE BANDAS

Una de las propiedades físicas intrínsecas de todo material, es su conductividad eléctrica; y es bien sabido que básicamente, los materiales se dividen en dos grandes grupos, dependiendo de su capacidad para



transportar o no energía eléctrica. Se tienen así por un lado a los conductores, que son materiales capaces de transmitir sin problemas la corriente eléctrica con mínimas pérdidas; y en el extremo opuesto están los aislantes, cuya capacidad de conducir electricidad es casi nula. Casi todos los materiales

en la naturaleza pueden clasificarse en uno u otro grupo, pero existen algunos cuyo comportamiento no está tan definido, así que resulta un poco difícil ubicarlos como un conductor o como un aislante.

Así está por ejemplo el carbono; desde que se comenzaron a hacer experimentos con la electricidad, se encontró que ciertas variedades de carbono, como el grafito, presentaban algunos comportamientos curiosos, como tener distinta conductividad eléctrica dependiendo de en qué sentido circulara la corriente. Tiempo después se encontró que el grafito en realidad está formado por una serie de capas superpuestas, y que la electricidad fluía distinto si corría en el sentido de las capas o si trataba de pasar a través de ellas. Por este comportamiento, se considera al carbono como el primer material de conductividad variable conocido, pero no fue el único.

A finales del siglo XIX se hicieron importantes descubrimientos en el área de la electricidad, y entre ellos están las investigaciones de W. Smith, que en 1873 descubrió que la conductividad eléctrica del silicio variaba si se le aplicaba una iluminación intensa; esto significa que el material conducía mejor si estaba iluminado que si estaba a la sombra, lo cual resultó muy curioso si se compara con el resto de los metales, que conducen bien sin importar las condiciones de iluminación.

Poco tiempo después, en 1874, Karl Ferdinand Braun descubre que cuando ciertos metales hacen contacto con algunos materiales, como la galena, conducían de forma distinta si se polarizaban en un sentido o en otro; surgen así los primeros “diodos de galena”, usados extensivamente en los



Las curiosas propiedades de la galena sirvieron para elaborar los primeros diodos rectificadores de cristal. (Foto: Fabre minerals).

primeros receptores de radio, y que se consideran por algunos el primer dispositivo semiconductor; sin embargo, en realidad aquí se estaban aprovechando algunas propiedades de la galena sin comprender muy bien qué estaba sucediendo, así que estrictamente, aún no se llega al primer dispositivo semiconductor.

Uno de los estudios más importantes sobre estos materiales, lo realizó E. H. Hall en la década de 1930, cuando descubre que ciertos elementos, como el germanio y el silicio, tienen una cantidad muy baja de portadores eléctricos, pero que eso podía modificarse cambiando ligeramente las condiciones del material, por ejemplo, incrementando su temperatura externa. Esto originó diversos estudios sobre esos elementos, lo que finalmente resultó en el descubrimiento de sus propiedades semiconductoras, y su aprovechamiento para el desarrollo de la electrónica.

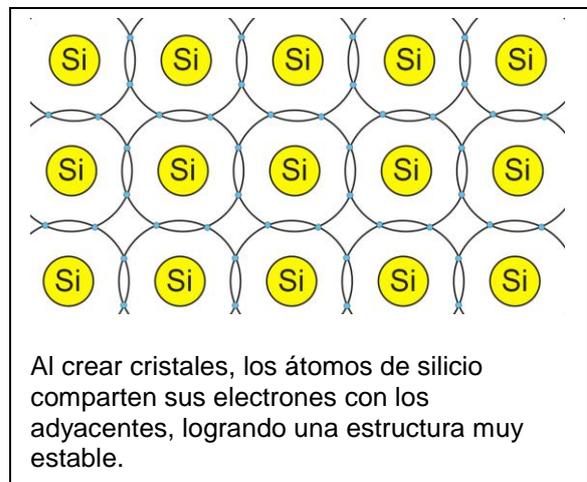
¿Por qué el germanio y el silicio se comportan como semiconductores? En primer lugar, se debe mencionar que los materiales metálicos, que en su mayoría son excelentes conductores, tienen algo en



El germanio y el silicio fueron los primeros elementos que demostraron propiedades semiconductoras. (Fotos: Wikimedia).

común entre ellos: las órbitas de valencia de sus átomos tienen muy pocos electrones libres, lo que permite que un incremento en el potencial eléctrico externo fácilmente haga que estos electrones comiencen a saltar de átomo en átomo, estableciéndose una corriente eléctrica. Conviene recordar de los cursos de química que, para que un elemento se considere como “estable”, en su órbita de valencia debe tener 8 electrones; si se tienen unos cuantos (entre 1 y 2), estos electrones fácilmente pueden saltar al átomo colindante, y es esta propiedad de que sus electrones viajen fácilmente, lo que distingue a los buenos conductores eléctricos.

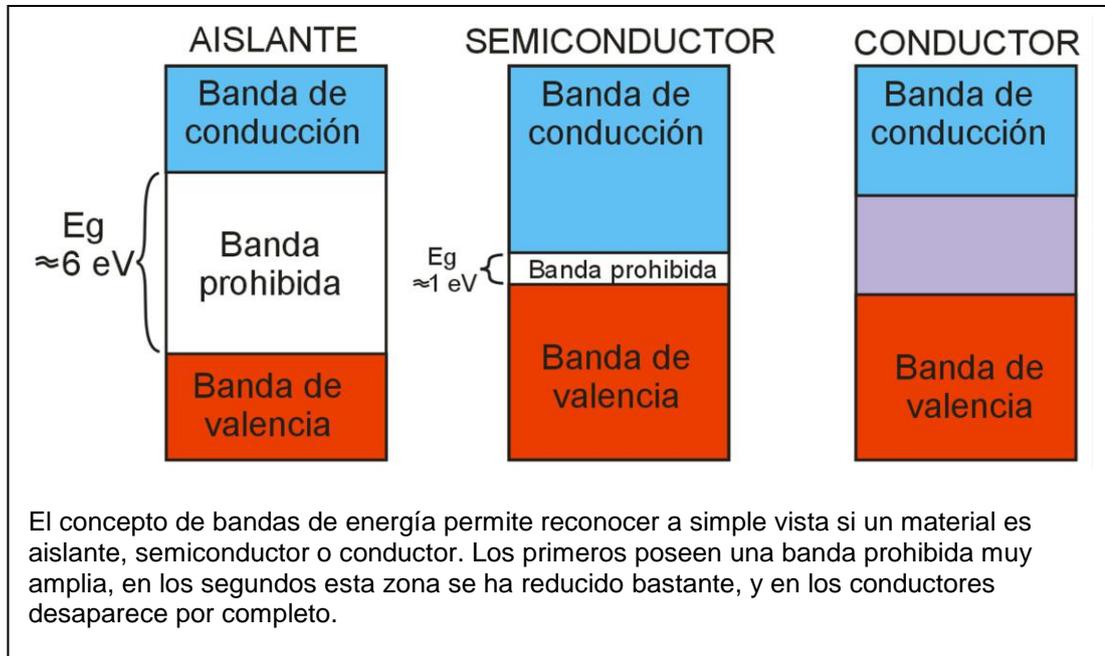
En el caso del germanio y el silicio, existe una situación muy peculiar: cada uno tiene 4 electrones en su órbita de valencia, lo que teóricamente tendría que convertirlos en aceptables conductores eléctricos; el problema es que ambos materiales de forma natural tratan de acomodarse en cristales, lo que significa que cada átomo se rodea de otros 4 iguales,



y aparece un fenómeno interesante: los átomos colindantes “comparten” sus electrones de modo que, viéndolos de forma instantánea, cada uno parece tener 8 electrones en su órbita de valencia, lo que le da una gran estabilidad a la estructura, evitando que los electrones “salten” de forma espontánea de un átomo a otro, e impidiendo casi por completo la circulación de electricidad; sin embargo, bajo ciertas condiciones esto puede reducirse o eliminarse, haciendo que el material comience a conducir.

Este fenómeno puede explicarse por medio del concepto de “bandas de energía”, según el cual un material puede clasificarse dependiendo del número de electrones libres que tenga disponibles para el transporte de electricidad. Por ejemplo, los aislantes poseen muy escasos electrones libres, lo que hace que la circulación de corriente eléctrica a través de ellos sea casi nula. Los semiconductores poseen una mayor cantidad de electrones libres, y esta cantidad puede variar por influencias externas, como añadir otros elementos, la presencia de luz o calor, etcétera, esto quiere

decir que los semiconductores pueden funcionar como aislantes o como conductores, dependiendo de factores adicionales. Finalmente, los conductores poseen una gran cantidad de electrones libres, lo que facilita la circulación de corriente en ellos.



Esta situación puede representarse por medio de un gráfico con tres bandas, como se muestra en la figura anexa: se tiene una banda de conducción, una banda prohibida y una banda de valencia. Se puede observar que los aislantes tienen bandas de conducción y de valencia reducidas, separadas por una muy amplia zona prohibida; esto significa que se necesitaría una tensión muy alta para hacer que este material entrara en su modo de conducción, así que para fines prácticos, impide el flujo de corriente eléctrica.

Los semiconductores, por su parte, poseen amplias bandas de conducción y valencia, separadas por una zona prohibida muy reducida; esto implica que a estos materiales no se les dificulta saltar de “modo conductor” a “modo aislante”, dependiendo de distintos factores internos y/o externos. Si se habla de los materiales semiconductores más conocidos, es decir, el germanio y el silicio, el primero tiene una banda prohibida de apenas 0.7eV, mientras que el segundo tiene una banda prohibida de 1.1eV, lo que significa que basta con aplicar cierto voltaje o reunir algunas características especiales, para que el material entre en estado de conducción.

Finalmente, los conductores poseen bandas muy amplias de conducción y valencia, tan grandes que se superponen entre sí, eliminando la zona prohibida; esto significa que en un conductor no se necesita prácticamente de ningún esfuerzo para hacer que el material conduzca la electricidad. Este modelo de las bandas de energía, permite visualizar de forma rápida y directa si un material es aislante, conductor o semiconductor.

ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE 2A

- ¿Cuál fue el primer elemento de conductividad variable conocido?
- ¿Cuál es el primer indicio sobre la semiconductividad del silicio?
- ¿Cuántos electrones posee el silicio y el germanio en su órbita de valencia?
- ¿Qué sucede cuando estos materiales forman cristales?
- ¿Cuáles son las tres “bandas de energía” que maneja el modelo de bandas?
- ¿De qué valor es la banda prohibida del silicio? ¿y del germanio?

2.2 SEMICONDUCTORES INTRÍNSECOS Y EXTRÍNSECOS

Sabiendo que el silicio es uno de los elementos más comunes en el planeta, y que los investigadores que sentaron las bases para el desarrollo de la tecnología eléctrica y electrónica experimentaron con toda clase de materiales, incluso los más exóticos, ¿cómo fue que las propiedades semiconductoras de este elemento no se descubrieron antes? Si bien algunos fenómenos relacionados si fueron encontrados (como el hecho de que conduce mejor en presencia de luz que en su ausencia), la verdad es que el silicio metálico es un elemento difícil de localizar en la naturaleza, ya que normalmente está combinado con otros elementos para formar distintas sustancias, de las cuales la más



A pesar de ser uno de los elementos más abundantes en el planeta, el silicio normalmente está mezclado con otros elementos. (Foto: Pacific Agregates).

abundante es la arena común.

Además, las propiedades semiconductoras del silicio se manifiestan



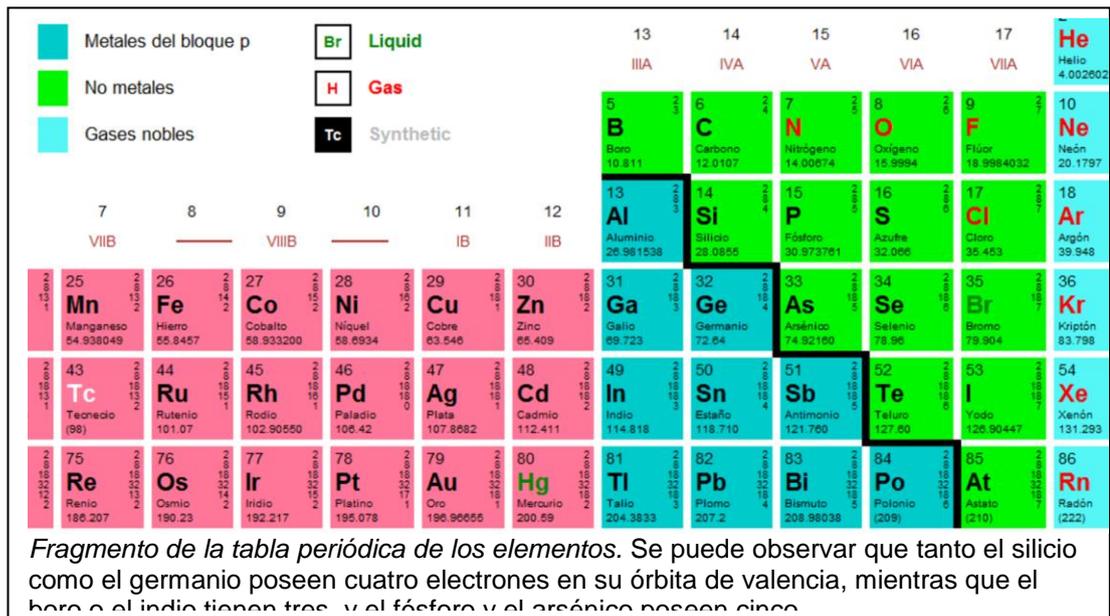
en plenitud cuando está en forma cristalina, pero incluso cuando el silicio se separa y se refina, normalmente forma micro-cristales que se mezclan entre sí para crear una masa algo amorfa, donde no se manifiestan al 100% las curiosas propiedades eléctricas de este material. Fue hasta que se comenzó a experimentar con silicio fabricado artificialmente en

forma de un cristal uniforme y continuo, que las características especiales de este elemento salieron a la luz.

Entonces se concluye que existen dos tipos de semiconductores según si se encuentran o no en forma natural: los *semiconductores intrínsecos* son materiales que por sí mismos tienen propiedades semiconductoras. El silicio y el germanio son buenos ejemplos, aunque el efecto semiconductor no sea tan pronunciado debido al crecimiento desordenado de sus cristales en forma natural. Esto significa que en una barra de silicio o germanio puro, si se aplica un voltaje entre sus extremos, lo más probable es que sí circule una corriente eléctrica, la cual dependerá de factores como la temperatura externa, si hay una fuente luminosa cerca, etcétera. Por tanto, y en forma general, un semiconductor intrínseco es aquel material que, tal y como se encuentra en la naturaleza, puede comportarse como aislante o como conductor, dependiendo de las características de la prueba.

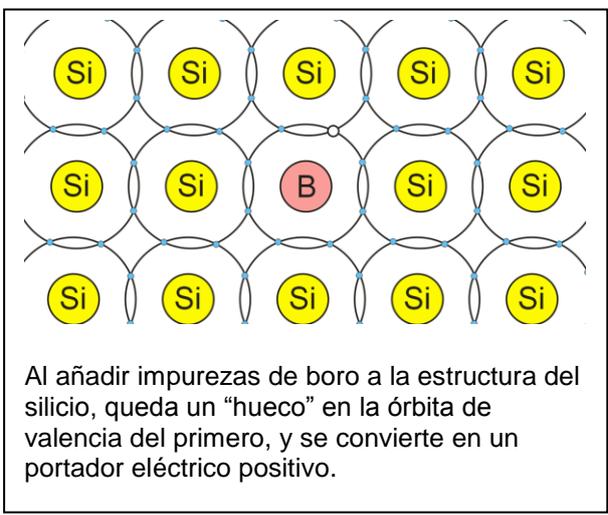
Estos materiales por sí mismos ya representan un gran avance en el manejo de la energía eléctrica, pero su propia naturaleza poco predecible los hace no muy convenientes al tratar de construir dispositivos que presenten siempre el mismo comportamiento ante casi cualquier circunstancia. Es por ello que se desarrollaron los *semiconductores extrínsecos*, que son materiales a los cuales se les obliga a comportarse como semiconductores

por medios externos, el más común de ellos es la adición de pequeñas cantidades de impurezas de otros elementos.



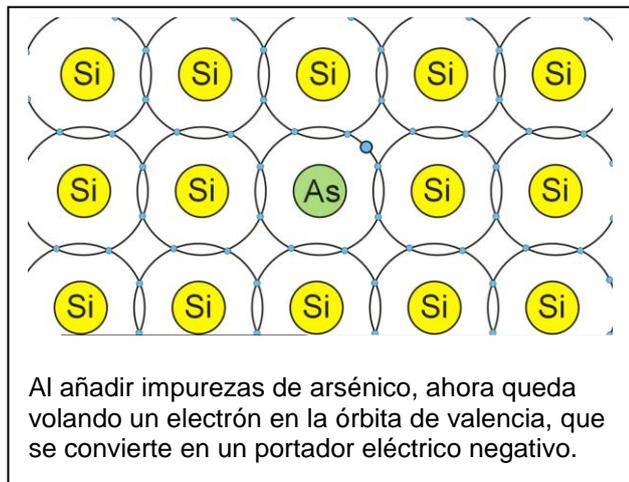
Por ejemplo, para fabricar los transistores y circuitos integrados modernos, se utilizan cristales de silicio de enorme pureza, al grado que se considera que los residuos no deseados en estos cristales equivaldrían a menos de una cucharada de sal mezclada con un vagón de ferrocarril lleno de azúcar; sin embargo, y como ya se mencionó, el silicio cristalino no es un buen conductor eléctrico, así que durante el proceso de fabricación de los dispositivos electrónicos se añaden algunas impurezas de elementos como el arsénico o el boro, para que el material resultante se comporte de forma muy específica.

Si se consulta la tabla periódica de los elementos, se puede observar que el boro posee sólo tres electrones en su órbita de valencia, mientras que el arsénico posee cinco electrones. Cuando se mezclan estos átomos en la estructura cristalina del silicio, como se observa en el primer caso, queda un “huevo” que fácilmente puede atraer a un electrón adyacente, haciendo



que circule corriente al momento en que ese “hueco” comienza a pasar de un átomo al contiguo conforme es atraído por algún campo eléctrico externo. Debido a que este “hueco” implica la ausencia de un electrón, para fines prácticos se considera que es una carga positiva, y al silicio al que se le han añadido impurezas de boro se le conoce entonces como “semiconductor tipo P”.

Por su parte, si ahora se añaden impurezas de arsénico, al tener éste



cinco electrones en su órbita de valencia, esto significa que al entrar a la estructura cristalina del silicio, un electrón queda “volando”, y fácilmente se le puede hacer circular de átomo en átomo, para establecer una corriente eléctrica. Debido a que en este material se

puede decir que hay un electrón que “sobra”, al silicio con impurezas de arsénico se le conoce como “semiconductor tipo N”, debido a la carga negativa de los electrones “sobrantes”.

Este tipo de materiales que son diseñados por el ser humano, no se encuentran de forma natural en el planeta, sino que son elaborados por medio de complejos procesos industriales; de ahí su nombre de *semiconductores extrínsecos*, ya que sus propiedades semiconductoras han sido potenciadas debido a la intervención humana. En la práctica, todos los dispositivos electrónicos están elaborados con semiconductores extrínsecos, ya que la adición de cantidades controladas de impurezas externas le da al silicio (o al germanio, u otras sustancias semiconductoras) propiedades muy particulares, que se aprovechan para la construcción de un simple diodo hasta el más avanzado circuito integrado.

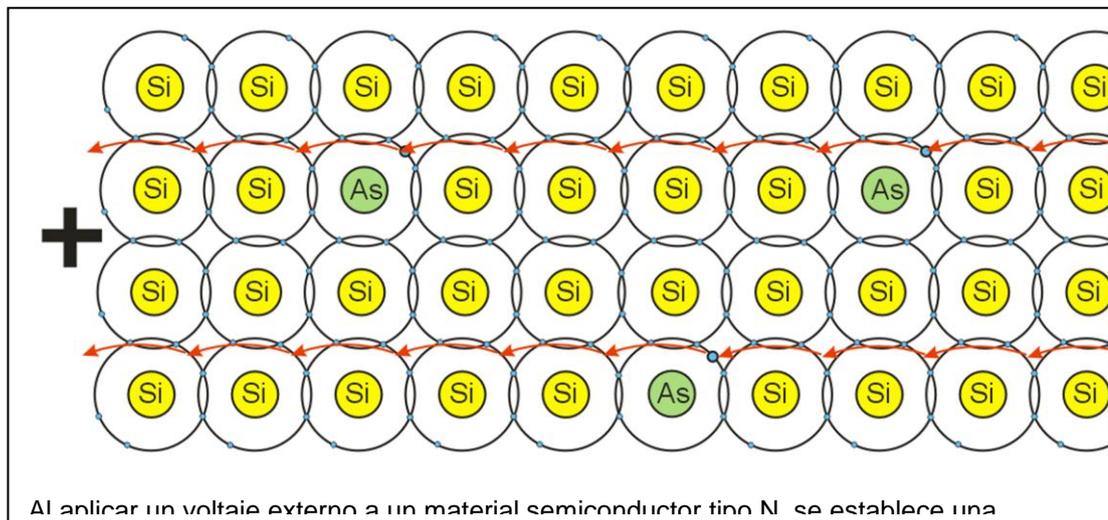
ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE 2B

a) ¿Qué es un semiconductor intrínseco?

- b) ¿A qué se le llama semiconductor extrínseco?
- c) ¿Cuáles son los semiconductores más usados en la electrónica moderna?
- d) ¿Qué elementos se utilizan regularmente como impurezas para fabricar semiconductores?
- e) ¿Cuál es la característica que hace especiales a estos elementos?

2.3 CONDUCCIÓN ELÉCTRICA EN SEMICONDUCTORES

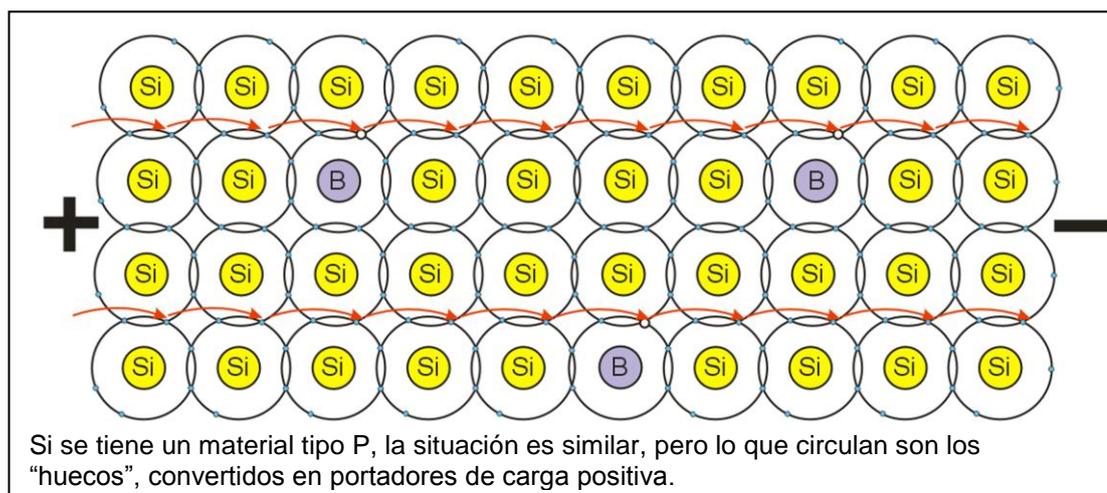
Ahora que se conoce la estructura de un cristal de silicio al que se le han añadido impurezas de otros elementos (a este proceso se le denomina “dopado”), ha llegado el momento de identificar cómo se establece una corriente eléctrica dentro de un semiconductor de este tipo. En la figura anexa se muestra un cristal de silicio con una impureza de arsénico, lo que implica que se trata de un material tipo “N”. Es evidente que en el átomo de arsénico, uno de sus electrones no establece un enlace molecular con los átomos adyacentes, así que se puede considerar que se trata de un electrón “libre”, con poca atracción a su átomo original, por lo que basta con un pequeño impulso externo para obligarlo a salir de esa posición, y empezar a viajar a través del material.



Ese impulso externo generalmente aparece en forma de una diferencia de potencial (un voltaje externo aplicado), con lo cual el electrón es rechazado por el extremo negativo del voltaje y atraído por el positivo, con lo que comienza a “saltar” de átomo en átomo de la estructura cristalina, pero como en cada átomo que llega sigue teniendo el papel de “electrón

libre”, es difícil que pueda mantenerse demasiado tiempo en una posición, así que continúa su viaje hasta alcanzar el extremo positivo del voltaje aplicado. Una vez que sucede esto, se podría pensar que el material se queda sin electrones libres y se tendría que convertir en un aislante, pero como la fuente de voltaje por lo general está inyectando más electrones al material, entonces se establece un flujo constante de corriente, aunque la magnitud de ese flujo estará limitada por factores como el porcentaje de dopado, la temperatura del material, la iluminación externa, etcétera.

Si el material es tipo “P”, esto es, un cristal de silicio con impurezas de boro, entonces se tiene lo que se muestra en la figura adyacente: es obvio aquí que en la posición del átomo de boro se tiene una situación no estable donde sólo se tienen siete electrones en la órbita de valencia; y como ya se mencionó, para lograr la estabilidad es necesario que hayan ocho electrones en esta órbita; esto significa que en este átomo existe un “hueco” en esa órbita.



En condiciones normales, no habría circulación de corriente, pero cuando se aplica un estímulo externo en forma de un voltaje, entonces el átomo de boro trata de “robar” un electrón a los átomos contiguos, para lograr la estabilidad en su órbita de valencia; pero este robo a su vez deja con siete electrones al átomo afectado, el cual también tratará de arrebatarse un electrón al que sigue, y así sucesivamente; estableciéndose una circulación de “huecos” que viajan desde el extremo positivo hacia el negativo del voltaje aplicado. De ahí la denominación de “material tipo N” o “material tipo P”: en el tipo “N”, los portadores de electricidad son los

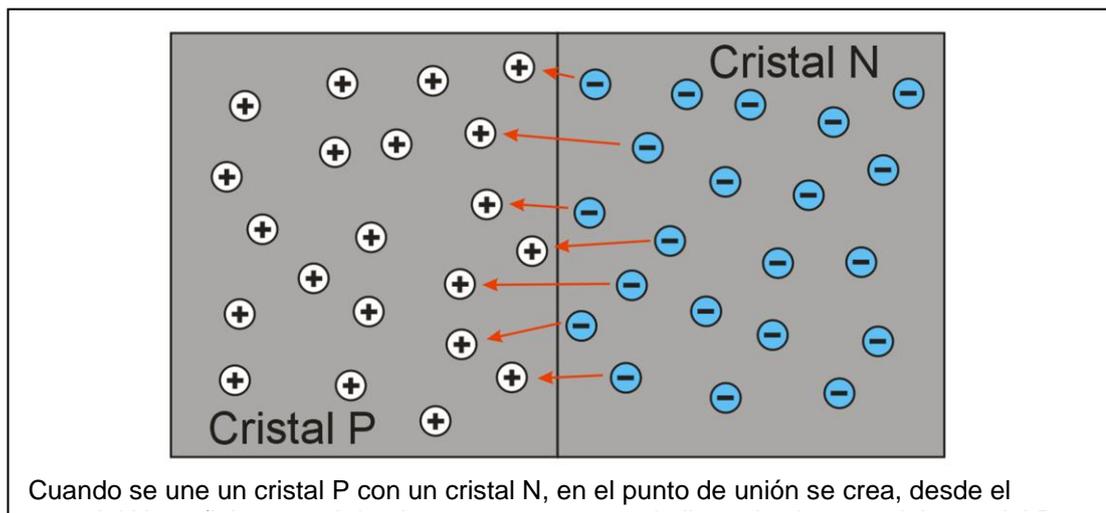
electrones negativos, mientras que en el tipo “P” los portadores son los huecos positivos. Se debe tener esto en cuenta, ya que resulta muy importante para comprender el principio de operación de los dispositivos semiconductores.

ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE 2C

- Menciona la característica de los materiales semiconductores tipo “N”:
- Señala las características de los materiales semiconductores tipo “P”:
- ¿Cómo se establece una corriente eléctrica dentro de un semiconductor “N”?
- ¿Cómo se denominan los portadores eléctricos en un semiconductor tipo “P”?

2.4 UNIÓN P-N Y CARACTERÍSTICAS ASOCIADAS: DENSIDAD DE CARGA, CAMPO ELÉCTRICO, POTENCIAL ELECTROESTÁTICO, CAPACITANCIA Y RELACIÓN I-V

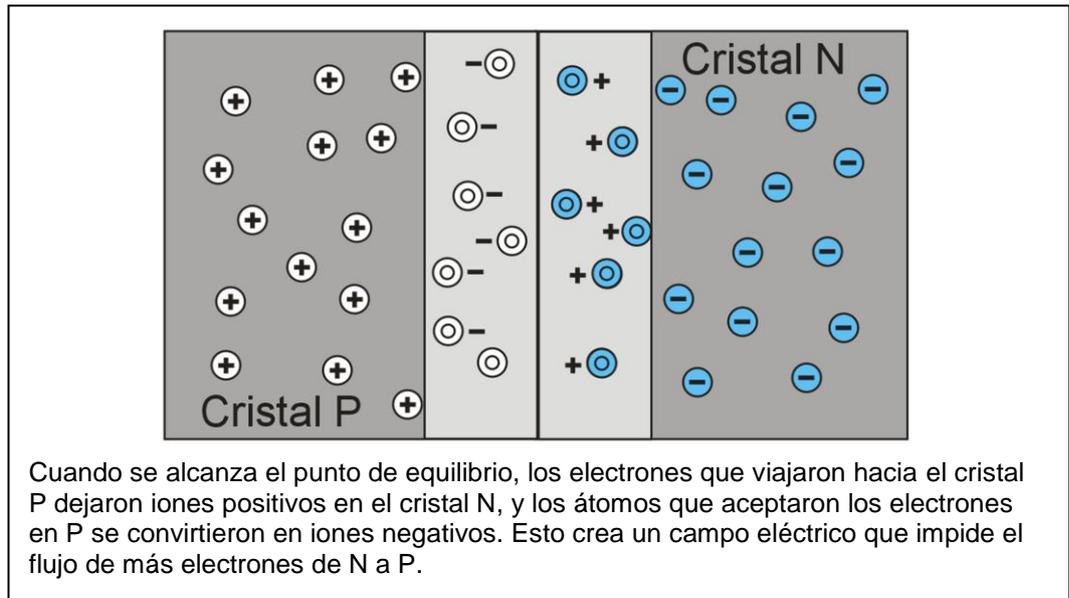
Si ya se tienen dos materiales semiconductores distintos, uno tipo P y otro tipo N, ¿qué sucede si se juntan? Se forma lo que se conoce como una “unión P-N”, y esta zona donde hacen contacto ambos materiales posee características muy particulares, que se describirán enseguida.



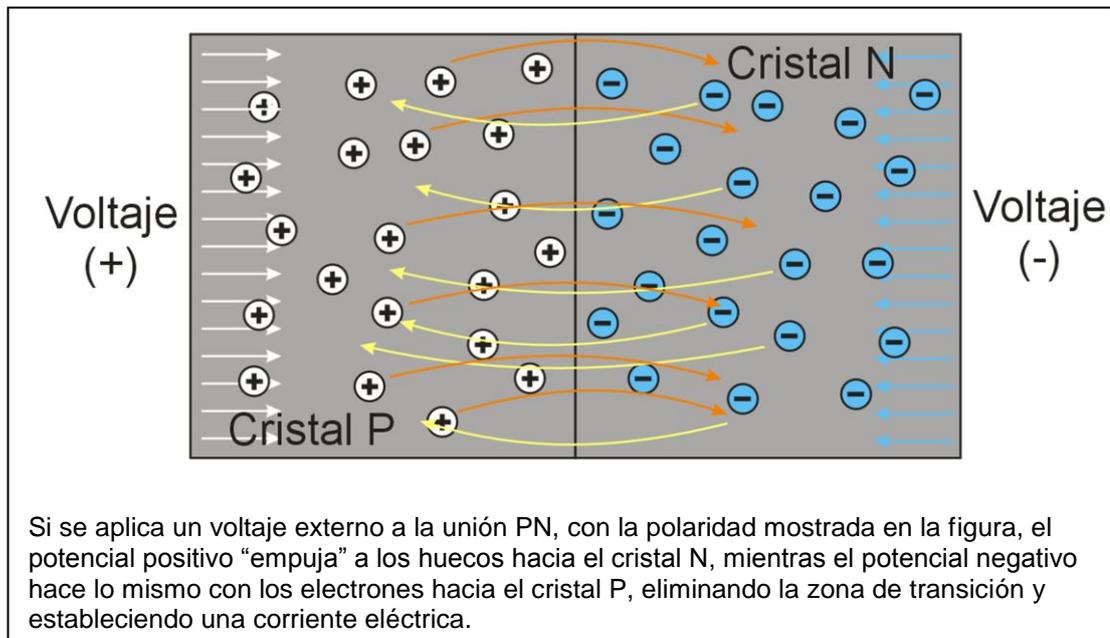
En la figura anexa se presenta un diagrama simplificado de lo que sucede en una zona de unión P-N; es importante recordar que el material P tiene exceso de “huecos” o cargas positivas disponibles, mientras que el “N”

tiene un exceso de electrones o cargas negativas. En condiciones de reposo, y dado que un cristal con “huecos” trata naturalmente de atraer a electrones libres para cubrir esos huecos, algunos de los electrones del cristal N pasan al P, lográndose un equilibrio de potencial en esa zona de contacto, que recibe el nombre de “zona de transición”, en la cual no habrá portadores libres, y que para fines prácticos se comporta como una delgada capa aislante. Esta capa es tan amplia como lo sea el dopado de los materiales N y P (a mayor dopado, más amplia será la zona de transición), pero llega un momento en que se alcanza el equilibrio y ya no existe más traslado de cargas de un cristal al otro.

Sin embargo, aquí se presenta un problema: esos huecos y electrones que viajaron hacia el material contiguo, dejaron en sus respectivos cristales núcleos con exceso o falta de protones (esto es, átomos ionizados), lo que significa que aparece una pequeña diferencia de potencial (un voltaje) en esa zona de transición. Este campo eléctrico se opone a la difusión de los electrones y huecos en el material adyacente, y es lo que impide que todos los huecos libres del material P se vayan al cristal N y viceversa. Esto significa que en una unión P-N en reposo, se tiene una capa amplia de material P aun con sus portadores positivos intactos, luego aparece la capa de transición neutra, que impide el viaje de nuevos electrones o huecos hacia el material adyacente, y finalmente se tiene una capa de material N con sus electrones libres listos para comenzar a transportar carga. Este equilibrio se consigue cuando el campo eléctrico provocado por los átomos ionizados en los cristales, es suficiente para impedir el traslado de más electrones o huecos de un cristal a otro; esto es, la densidad de carga en las zonas de contacto P y N se contraponen entre sí, creando una zona de no conducción.

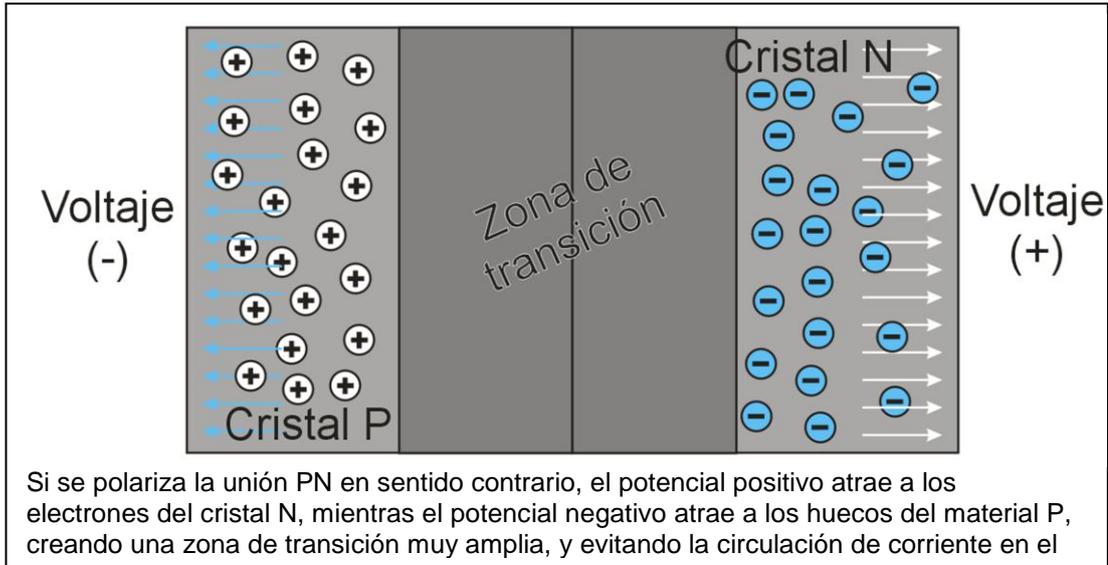


¿Qué sucede si se desea hacer circular una corriente a través de la unión PN? Para lograrlo, es necesario eliminar la condición de reposo y aplicar un estímulo externo que movilice a los portadores de carga internos, siendo generalmente este estímulo un voltaje aplicado entre los extremos P y N del material. Para lograr que los huecos del material P y los electrones del material N “salten” la zona de transición, es necesario aplicar un voltaje mínimo, ligeramente superior al campo eléctrico formado por los átomos ionizados de esa zona intermedia. Este voltaje varía dependiendo del material semiconductor empleado; por ejemplo, para el germanio es de aproximadamente 0.3 voltios, mientras que para el silicio es de alrededor de 0.7 voltios; mientras no se alcance ese voltaje entre los extremos P y N, el material no podrá entrar en conducción; y este voltaje no se puede aplicar en cualquier dirección, tiene que conectarse el extremo positivo de la fuente hacia el cristal P y el negativo hacia el N, ya que de lo contrario el material tampoco dejará fluir la corriente eléctrica.

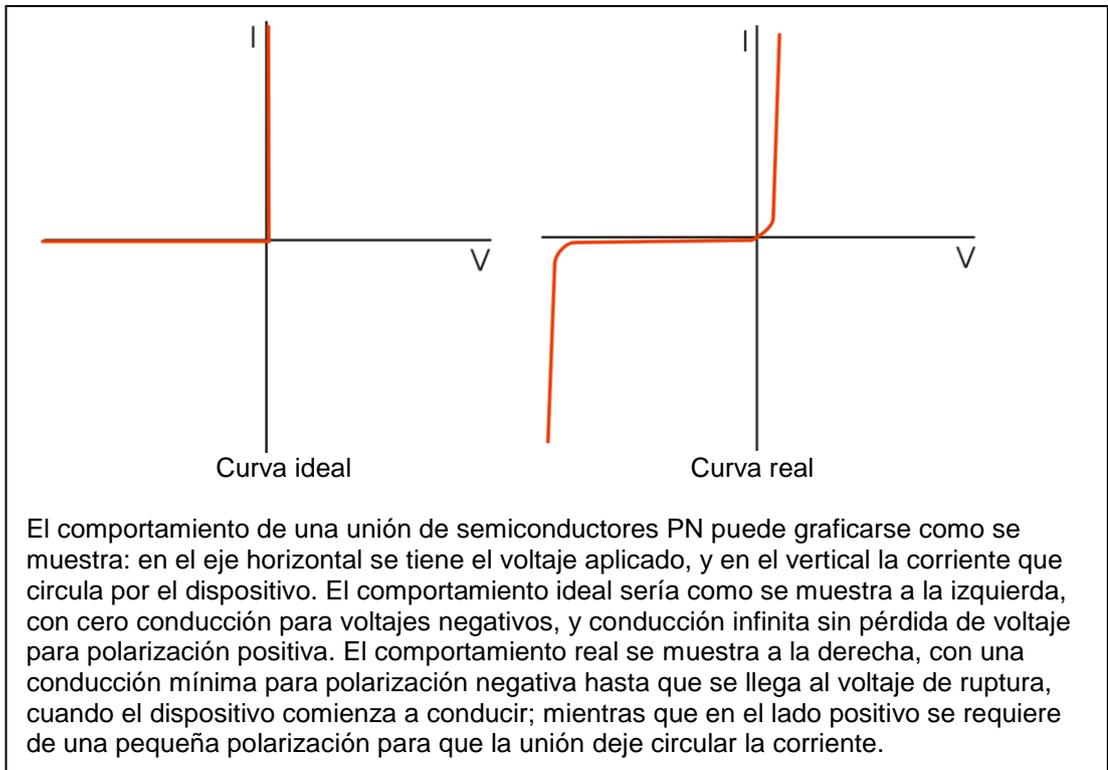


Cuando se aplica un voltaje de modo que el extremo positivo de la fuente vaya a P y el negativo a N, se produce el fenómeno ilustrado en la figura anexa: el potencial positivo de la fuente “empuja” a los huecos del material P hacia el material N, y el potencial negativo aplicado a N “empuja” a los electrones hacia el material P; si el voltaje es suficiente como para “romper” el campo creado en la zona de transición, se establecerá un flujo de huecos desde P hacia N y un flujo de electrones de N hacia P, con lo que la corriente eléctrica podrá fluir desde el extremo positivo hacia el negativo de la fuente externa, estableciéndose un circuito eléctrico.

¿Qué ocurre si se invierte la polaridad del voltaje aplicado? En la figura anexa se muestra qué sucede si se aplica el extremo negativo de la fuente al cristal P y el positivo al N; los huecos del material P serán atraídos por el potencial negativo de la fuente, y los electrones lo serán por el extremo positivo, pero una vez que los huecos y electrones se concentren en los extremos del cristal, ya no habrá más portadores en el resto del material para llevar carga de un extremo a otro, y la zona de transición no conductora en la unión PN crecerá de forma considerable. Esto significa que si se polariza en este sentido una unión PN, no existirá circulación de corriente dentro del material, ya que todos los portadores de carga se concentran en sus extremos y no fluyen de un lado a otro.



Este comportamiento puede representarse en una gráfica de voltaje aplicado contra corriente circulando (gráfica I-V), la cual se muestra enseguida. Se tienen aquí las gráficas ideal y real: se puede observar que en la ideal no importa el valor del voltaje negativo aplicado, la unión PN nunca conducirá, mientras que basta que el voltaje sea ligeramente positivo, para que la unión entre en conducción de forma ilimitada.



En la realidad, el comportamiento es ligeramente distinto: en la zona negativa, por lo general una unión PN sí permite cierta circulación de

corriente, pero es tan pequeña, que para fines prácticos se considera despreciable; sin embargo, si el voltaje aplicado es demasiado alto, ocurre un fenómeno llamado “avalancha”, en el cual los portadores internos de la unión PN comienzan a circular rompiendo el potencial opuesto de la zona de transición. Esto normalmente implicaría la destrucción del material, aunque el fenómeno de avalancha también puede aprovecharse dopando cuidadosamente los materiales P y N.

En el extremo positivo del voltaje aplicado, se puede observar que la unión PN no comienza a conducir de inmediato, sino que es necesario aplicar un voltaje de polarización capaz de cancelar el campo eléctrico intrínseco de la zona de transición. Una vez alcanzado este voltaje, el material comienza a conducir, pero entre más corriente conduce, mayor voltaje se necesita para mantener ese flujo.

De este modo, se tienen un par de comportamientos muy peculiares de una unión PN: puede funcionar como un interruptor que sólo deje pasar corriente cuando el voltaje aplicado sea en un cierto sentido, bloqueándola cuando se polarice en sentido contrario; esto es, sirve para rectificar un voltaje a su entrada. Por otra parte, la imagen de un par de capas metálicas con carga eléctrica, separadas por una zona aislante, recuerda de inmediato la estructura básica de un condensador, y de hecho, las uniones PN también poseen una capacitancia intrínseca, la cual se puede aprovechar para ciertos dispositivos. Todo esto se detallará en la siguiente unidad al describir a los diodos.

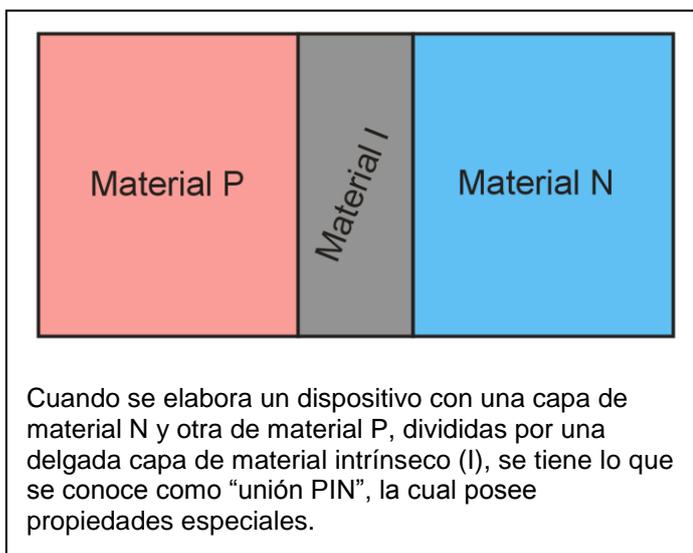
ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE 2D

- a) ¿Qué sucede cuando se unen un material P y un material N?
- b) ¿Cómo se le denomina a la zona de no conducción entre ambos materiales?
- c) ¿Qué es lo que impide que los electrones del material N sigan viajando hacia el material P?
- d) ¿Qué ocurre si se aplica un voltaje positivo al cristal P y uno negativo al cristal N?
- e) ¿Qué sucede cuando se invierte la polaridad?

f) ¿Para qué sirve la gráfica I-V?

2.5 UNIÓN PIN

Es importante también mencionar un tipo de unión muy particular, que fue la que se utilizó cuando comenzaron a producirse los primeros dispositivos electrónicos semiconductores comerciales; se trata de la unión PIN, que son las siglas de P-intrínseco-N, y que significa que se tiene un material que posee una zona P en un extremo, una zona N en el opuesto, pero en su centro se tiene una delgada capa de material que no es ni P ni N, sino que es cristal sin dopaje o "intrínseco" (I). Este tipo de uniones fueron comunes al principio de la electrónica, ya que el proceso de fabricación implicaba hacer delgadas láminas de silicio o germanio, y colocarlas en una cámara donde se aplicaba vapor de arsénico o boro para inducir las impurezas, pero esto provocaba que a veces se creara precisamente una estructura P-I-N, en lugar de una unión PN estricta. A continuación se indican las características especiales de este tipo de unión.

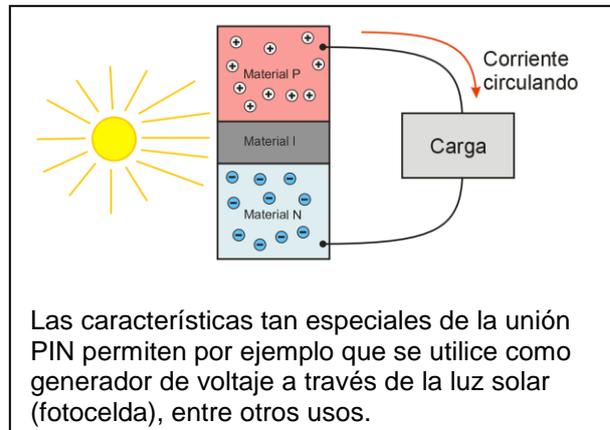


En la figura anexa se muestra: un material con una capa de cristal tipo P, una capa de material sin dopar, y una capa de material N. En este caso, se produce un fenómeno similar al explicado en la unión PN, de huecos viajando hacia el material N y electrones

viajando hacia el P, pero en este caso, al tener una capa de cristal sin dopar entre ambos tipos de material, la zona de transición se hace mucho más amplia. Esto crea una concentración de cargas eléctricas en los extremos de la unión, la cual se encuentra en estado inestable, dispuesta a saltar ante cualquier estímulo externo.

Éste puede darse de distintas formas: un aumento en la temperatura o, de forma más común, una exposición a una luz brillante. Cuando sucede

esto, los portadores internos de los materiales P y N se incrementan y tratan de alcanzarse uno al otro, pero al existir una zona de transición tan amplia, no pueden viajar de forma directa a través de la unión P-I-N; pero ¿qué ocurre si se coloca un conductor externo entre los materiales P y N?, sucederá que los huecos de P tratarán de llegar a N a través de ese conductor, lo mismo que los electrones de N tratarán de alcanzar a P. Esto



significa que se establece una corriente eléctrica entre ambos, producida por la excitación que provoca la exposición a la luz de la unión P-I-N; y este es precisamente el principio básico de operación de las fotoceldas. Este fenómeno también se aprovecha en algunos otros dispositivos electrónicos.

De este modo, el estudio de los materiales semiconductores y su funcionamiento interno resulta fundamental para comprender cómo trabajan los distintos dispositivos electrónicos, lo cual se describirá a partir de la siguiente unidad.

ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE 2E

- ¿Qué significado tienen las siglas PIN?
- ¿Por qué eran comunes estas estructuras en los primeros procesos de fabricación de semiconductores?
- ¿Qué sucede si se da una excitación externa a una unión PIN?
- ¿Por qué es necesario colocar un conductor externo entre los extremos P y N de esta estructura?
- ¿Cómo se le llama al dispositivo semiconductor que convierte la luz en electricidad?

AUTOEVALUACIÓN

1. ¿Por qué se le denominan “semiconductores” a los materiales base para la electrónica?
2. ¿Cuál fue el primer semiconductor descubierto?
3. ¿Qué es el modelo de bandas de energía?
4. ¿Cuáles son los elementos más empleados en la electrónica moderna?
5. Menciona la diferencia entre un semiconductor intrínseco y uno extrínseco:
6. Menciona las características especiales de los materiales tipo “P” y tipo “N”:
7. ¿Qué sucede cuando se une un material P con uno N?
8. ¿Qué ocurre si se aplica un voltaje (+) en el extremo P y uno (-) en el extremo N?
9. ¿Qué pasa si se invierte la polaridad?
10. ¿Qué tiene de especial la unión PIN y para qué puede servir?

RESPUESTAS

1. Porque pueden comportarse como conductores o como aislantes, dependiendo de características internas y externas.
2. El silicio.
3. Es un modo de visualizar rápidamente si un material es aislante, semiconductor o conductor, trazando sus bandas de conducción, prohibida y valencia.
4. El silicio y el germanio.
5. El intrínseco se encuentra en la naturaleza tal cual es, y el extrínseco requiere de manipulación humana para potenciar sus propiedades semiconductoras.
6. En los materiales tipo N, por el elemento usado como dopaje se tienen algunos electrones “libres”, mientras que en el material P, por falta de electrones, se tienen “huecos”; ambos tipos de portadores son capaces de transportar corriente eléctrica, si se dan las condiciones adecuadas.
7. Se establece un intercambio de electrones desde N hacia P hasta alcanzar una condición de equilibrio.
8. El campo eléctrico entre (+) y (-) obliga a los portadores dentro de los cristales a desplazarse, estableciendo una corriente eléctrica.
9. El campo eléctrico tiende a concentrar a los portadores de los cristales en sus extremos, impidiendo el flujo de corriente.

10. Que puede usarse para convertir alguna excitación externa en energía, como en el caso de las fotoceldas.

RESPUESTAS A LAS ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Actividad de aprendizaje 2A:

- a) El carbono o grafito.
- b) Que conduce mejor cuando está iluminado que en la oscuridad.
- c) Cuatro electrones.
- d) Comparten sus electrones con los átomos adyacentes logrando estabilidad atómica.
- e) Banda de conducción, banda prohibida y banda de valencia.
- f) Silicio: 1.1 eV; germanio: 0.7eV

Actividad de aprendizaje 2B:

- a) Es aquel que tiene propiedades semiconductoras tal y como se encuentra en la naturaleza.
- b) Son aquellos producidos de forma artificial, esto es, que necesitan de algún proceso industrial adicional para potenciar sus propiedades semiconductoras.
- c) Los semiconductores extrínsecos.
- d) Boro, indio, fósforo y arsénico.
- e) Los dos primeros sólo tienen tres electrones en su órbita de valencia, y los dos segundos poseen cinco electrones

Actividad de aprendizaje 2C:

- a) Que debido a sus impurezas, poseen electrones algunos libres en sus órbitas de valencia.
- b) Que debido a sus impurezas, tienen “huecos” o electrones faltantes en sus órbitas de valencia.
- c) Los electrones libres comienzan a circular de un átomo al siguiente, impulsados por un voltaje externo.
- d) Los portadores positivos reciben el nombre de “huecos”, porque implican la ausencia de un electrón.

Actividad de aprendizaje 2D:

- a) Los electrones libres de N comienzan a viajar a P, hasta lograr una condición de equilibrio.
- b) Zona de transición.
- c) El campo eléctrico formado por los iones de los átomos que aceptaron o cedieron un electrón.
- d) El potencial positivo empuja los huecos de P hacia N, mientras que el potencial negativo empuja a los electrones de N hacia P, estableciéndose una corriente eléctrica dentro del material.
- e) Los huecos de P son atraídos por el potencial negativo, mientras que los electrones de N son atraídos por el potencial positivo, concentrándose ambas cargas en los extremos, y creando una zona de no conducción entre ambos cristales.
- f) Para ver de forma rápida el comportamiento de una unión P-N cuando se varía el voltaje aplicado entre sus extremos.

Actividad de aprendizaje 2E:

- a) Material P – Material Intrínseco – Material N
- b) Porque originalmente se aplicaban gases de boro y arsénico a delgadas laminillas de silicio o germanio, dopando ambas caras y quedando una ligera capa sin dopar al centro.
- c) Los huecos de P y los electrones de N tratan de alcanzar el material contrario, pero no pueden hacerlo por la presencia de la capa I.
- d) Para que los portadores de carga de P y N puedan alcanzar al cristal contrario.
- e) Fococelda.