

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA**Carrera:** Ingeniería Electromecánica, **Curso:** Electrónica Analógica, **Unidad 1:** El diodo semiconductor.**Autor:** Dr. David Lara Alabazares

1.2. Descripción de la Operación de la Unión PN

Competencias a desarrollar	
Comprender la teoría de operación del Diodo Semiconductor.	Evaluar el comportamiento del Diodo semiconductor
Actividades de aprendizaje	
• Enunciar la principal teoría atómica en la que se basa la electrónica de potencia. • Clasificar los materiales de acuerdo a su conductividad eléctrica. • Puntualizar el dopado de semiconductores, así como el tipo de unión que se genera. • Diferenciar el comportamiento de la unión P-N, al aplicar diferentes polarizaciones.	• Identificar las terminales del diodo semiconductor para probar su resistencia en diferentes tipos de polarización. • Obtener la curva de voltaje y corriente del diodo. • Comprobar la operación del diodo semiconductor.

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA
Carrera: Ingeniería Electromecánica, **Curso:** Electrónica Analógica, **Unidad 1:** El diodo semiconductor.

Autor: Dr. David Lara Alabazares

1.2.1 El átomo

La materia puede estar formada mediante sustancias simples llamadas elementos, o sustancias compuestas llamadas moléculas, las cuales son la combinación química de elementos. Se conocen hasta el momento 118 elementos y cada uno posee características físicas y químicas únicas. Los elementos están constituidos de átomos, los cuales son las partículas más pequeñas que retienen dichas características. Según Bohr, los átomos tienen un núcleo (formado por protones y neutrones) y partículas llamadas electrones orbitando alrededor de éste, tal como se muestra en la figura siguiente.

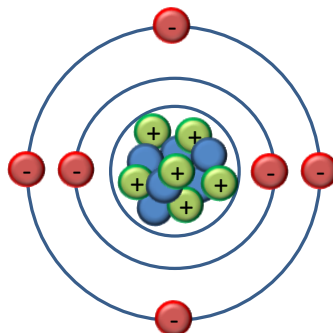


Figura 2.1 Modelo atómico de Bohr

Cada una de estas partículas posee un tipo de carga eléctrica expresada en Coulombs tal como se indica en la tabla siguiente.

Tabla 2.1 Partículas y sus cargas

Partícula	Tipo de Carga	Valor en Coulombs
Protón	Positiva	1.602×10^{-19}
Neutrón	Neutra	0
Electrón	Negativa	-1.602×10^{-19}

Los elementos están clasificados en la tabla periódica según su número atómico el cual se define como el número de electrones que es igual al número de protones; ya que cada átomo es eléctricamente neutro. Los átomos se mueven en orbitas, donde cada una posee un nivel de energía específico que mantiene a los electrones ligados al núcleo. Según su energía las orbitas se designan en capas y el número máximo de electrones N_e , en cada capa n , se calcula como:

$$N_e = 2n^2$$

Conforme aumenta el número de capas, los electrones que orbitan en la de orden superior tendrán más energía, sin embargo, estos están débilmente enlazados al átomo debido a que según la ley de Coulomb la fuerza eléctrica de atracción hacia el núcleo disminuirá debido a que la distancia se incrementa. Los electrones que están en la última capa se conocen como electrones de valencia y la capa se denomina banda de valencia. Si se aplica energía suficiente los electrones de valencia pueden desprenderse de la capa externa y escapar de la influencia del átomo. Se dice entonces que átomo pierde electrones o se ioniza positivamente. Entonces, un ión es un átomo con carga eléctrica ya sea positiva o negativa.

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA

Carrera: Ingeniería Electromecánica, **Curso:** Electrónica Analógica, **Unidad 1:** El diodo semiconductor.

Autor: Dr. David Lara Alabazares

1.2.2 Clasificación de los materiales según su conductividad eléctrica

Los electrones de valencia definen las propiedades eléctricas de los materiales, y estos se clasifican en tres grupos:

Aislantes: Son los materiales que no conducen corriente eléctrica en condiciones normales. En estos materiales los electrones de valencia están fuertemente ligados al núcleo del átomo. El hule, plástico y el vidrio son ejemplos de aislantes.

Conductores: Permiten el paso de la corriente eléctrica con facilidad. Los materiales conductores son los metales tales como el oro, la plata y el cobre. Los mejores metales conductores son los que tienen un solo electrón de valencia.

Semiconductores: Estos materiales en su estado puro, conocido como intrínseco, presentan las propiedades de los conductores y aislantes. Estos elementos tienen cuatro electrones de valencia tales como el carbón, el silicio y el germanio.

Cuando el electrón escapa de la banda de valencia, este pasa a una banda de energía conocida como banda de conducción; a la diferencia entre la banda de conducción y la banda de valencia se le conoce como banda prohibida. Esta banda es diferente para cada tipo de material, tal como se ilustra en forma simplificada en la figura 2.2.

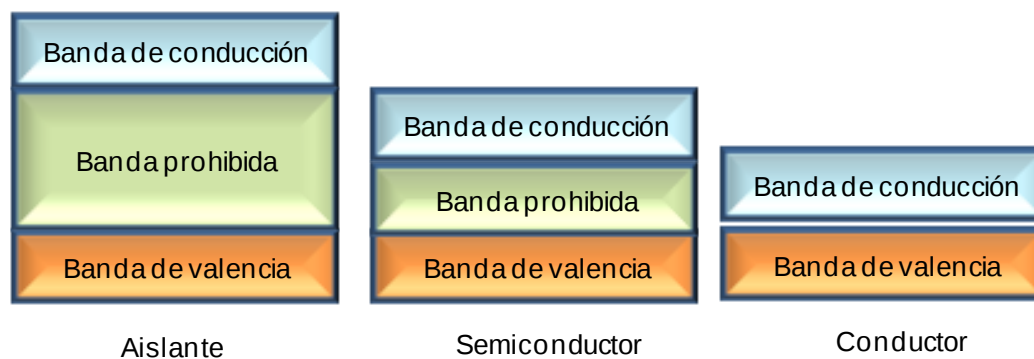


Figura 2.2 Bandas de energía para cada tipo de material

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA

Carrera: Ingeniería Electromecánica, **Curso:** Electrónica Analógica, **Unidad 1:** El diodo semiconductor.

Autor: Dr. David Lara Alabazares

1.2.3 Corriente en un semiconductor

Los semiconductores tales como el silicio y el germanio tienen cuatro electrones de valencia, y en su forma pura están unidos mediante enlaces covalente formando cristales; es decir, cada átomo se une a cuatro átomos adyacentes compartiendo un electrón con cada uno de los átomos vecinos, de esta forma completa sus ocho electrones de valencia haciéndolo estable, tal como se muestra en la figura 2.3-a.

El cristal de silicio intrínseco a temperatura de 0°K conserva su estructura covalente. Sin embargo a temperatura ambiente hay suficiente energía como para que algunos electrones salten a la banda de conducción, generando una pequeña corriente; estos electrones se conocen como electrones de conducción. Los electrones de conducción al saltar de la banda de valencia dejan un espacio llamado hueco, y por cada electrón que salta a la banda de conducción se forma un par electrón-hueco, tal como se muestra en la figura 2.3-b. .

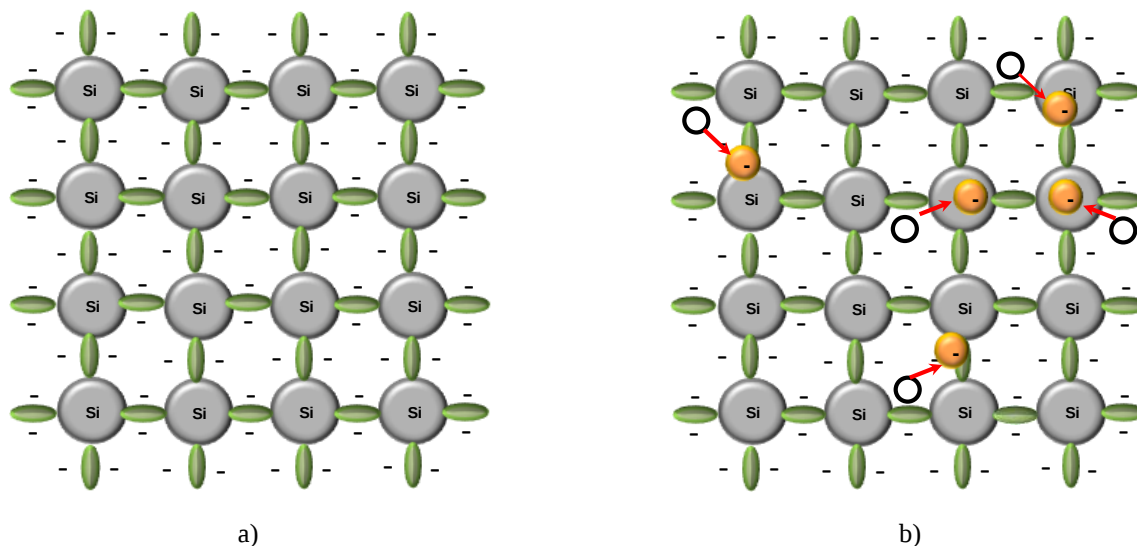


Figura 2.3. a) Enlaces covalentes en el cristal de silicio,

b) Formación de huecos cuando el electrón sale de la banda de valencia.

Si un electrón al perder energía es atrapado nuevamente en un hueco, se dice que ocurre una recombinación

Cuando se aplica un potencial a un cristal de silicio los electrones de conducción son atraídos a la terminal positiva, formándose de esta forma una corriente de electrón. Por otro lado, los electrones de valencia que siguen ligados a los átomos pueden saltar a los huecos cercanos, dejando de esta forma otro hueco, el cual será ocupado por otro electrón de valencia. Este fenómeno da la apariencia de que los huecos circulan en dirección opuesta a la que circulan los electrones y es ejemplificado en la figura 2.4

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA

Carrera: Ingeniería Electromecánica, **Curso:** Electrónica Analógica, **Unidad 1:** El diodo semiconductor.

Autor: Dr. David Lara Alabazares

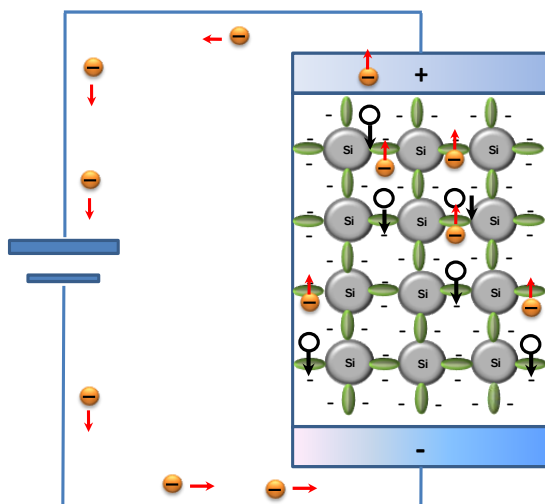


Figura 2.4. Corriente de electrones y corriente de huecos

1.2.4 Dopado de semiconductores

Las características de los materiales semiconductores pueden alterarse de modo considerable mediante la adición de ciertos átomos de impurezas en el material semiconductor relativamente puro. La cantidad de impureza es tan pequeña como 1 PPM, pero suficiente como para alterar la estructura de las bandas de conducción y alterar así las propiedades de conducción del material. Un material que se ha sometido a este proceso de impurificación se denomina material extrínseco, y al proceso de impurificación se le conoce como dopado del semiconductor. Existen dos tipos de materiales extrínsecos de importancia para la fabricación de dispositivos semiconductores:

- El tipo N, con exceso de electrones
- El tipo P, con exceso de huecos.

Material tipo N: Este tipo de material se forma agregando átomos de impureza pentavalentes tales como el arsénico (As), fósforo (P), bismuto (Bi) y antimonio (Sb) al silicio; de tal forma que cada átomo pentavalente se enlaza a cuatro átomos de silicio adyacentes en forma covalente utilizando solo cuatro electrones de valencia, quedando libre un electrón el cual se convierte en electrón de conducción, el cual no deja hueco en la banda de valencia del material semiconductor, tal como se muestra en la figura 2.5-a. En el material tipo N, los átomos de impureza se conocen como átomos donadores ya que ceden un electrón de conducción a la estructura. Los electrones producidos por los átomos pentavalentes se conocen como portadores mayoritarios de corriente. Sin embargo también se generan huecos debido a los electrones que saltan por efecto de la temperatura, estos huecos se conocen como portadores minoritarios.

Material tipo P: Este material se forma impurificando un cristal semiconductor puro de germanio o silicio con átomos de impureza que tengan tres electrones de valencia, tal como el boro (B), el galio (Ga) y el indio (In). Los tres electrones de valencia de los átomos de impureza se utilizan en la red cristalina para

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA

Carrera: Ingeniería Electromecánica, **Curso:** Electrónica Analógica, **Unidad 1:** El diodo semiconductor.

Autor: Dr. David Lara Alabazares

formar los enlaces covalentes con cuatro átomos adyacentes del material semiconductor, y como se necesitan cuatro electrones queda un hueco por cada átomo trivalente, tal como se muestra en la figura 2.5-b. En el material tipo P, los átomos de impureza se conocen como átomos receptores ya que pueden tomar un electrón de conducción para completar los cuatro enlaces covalentes. Los huecos producidos por el dopaje se conocen como portadores mayoritarios y al igual que en el material tipo N, existen desprendimiento de electrones debido al calor, estos electrones ahora pasan a ser portadores minoritarios.

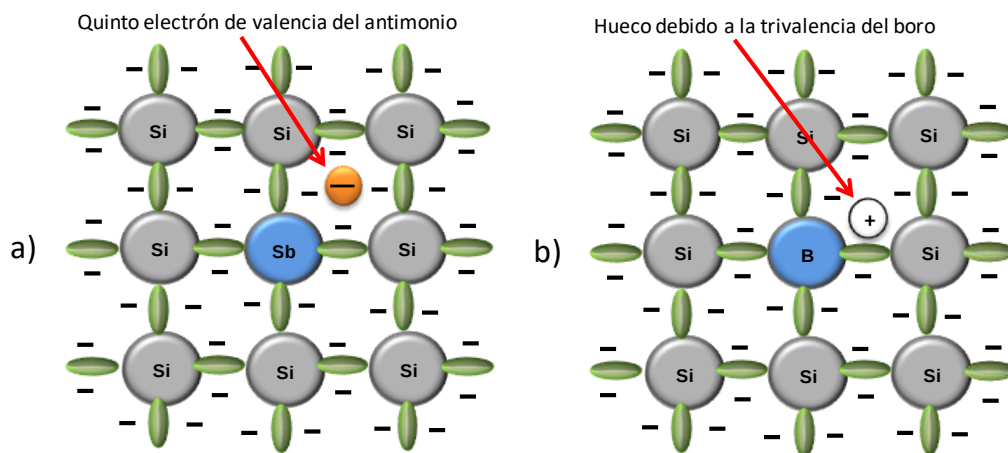


Figura 2.5. a) Material tipo N con impureza de Sb, b) Material tipo P con impureza de B.

1.2.5 La unión P-N: Estructura del diodo semiconductor

Como ya se vio en la sección precedente, el material semiconductor tipo P tiene huecos debido a la valencia trivalente del átomo de impureza, y el material N tiene electrones de conducción debido a la valencia pentavalente del átomo de impureza. En ambos casos la carga eléctrica en el material es neutra debido a que el número de electrones y protones es el mismo en la estructura cristalina. Si un trozo de silicio intrínseco es dopado de tal forma que una parte sea del tipo N y otra parte del tipo P, se forma la unión P-N en el límite entre las dos regiones. Este tipo de material resultante se le conoce como el diodo. La unión P-N es una región de iones negativos y positivos descubiertos que recibe el nombre de región de vaciamiento o región de empobrecimiento. El término empobrecimiento se refiere al hecho de que la región cercana de la unión P-N se queda sin portadores de carga (tanto electrones como huecos) debido a la difusión y recombinación en la unión. En el diodo existen tres tipos de comportamiento según la polarización aplicada y cada uno de estos se describen a continuación.

Sin polarización aplicada

En el momento que se forma la unión los electrones y los huecos en la región de la unión se combinan, dando como resultado una carencia de portadores en la región cercana a la unión. Los portadores minoritarios del material tipo N cercanos a la unión P-N pasarán directamente al material tipo P, de la misma forma los portadores minoritarios del material tipo P pasarán directamente al material tipo N. Lo

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA

Carrera: Ingeniería Electromecánica, **Curso:** Electrónica Analógica, **Unidad 1:** El diodo semiconductor.

Autor: Dr. David Lara Alabazares

anterior crea una capa de cargas positivas (iones pentavalentes) cerca de la unión en el material N y una capa de cargas negativas (iones trivalentes) cerca de la unión en el material P. Estas dos capas de cargas positivas y negativas forman la región de empobrecimiento, la cual se muestra en la figura 2.6.

Ahora los portadores mayoritarios en el material N deben superar las fuerzas de atracción de sus iones positivos, así como la fuerza de repulsión de iones negativos en el material P, para poder brincar a la región neutra del material P. Sin embargo, como hay una gran cantidad de portadores mayoritarios, una pequeña cantidad con suficiente energía pasaran la región de empobrecimiento, de igual forma los portadores mayoritarios del material P pasaran al material N. Este efecto provoca que la región de empobrecimiento crezca un poco más, hasta que se llega a un equilibrio debido al aumento de la región y los portadores mayoritarios ya no puedan brincar de un lado a otro.

En la zona de empobrecimiento se forma una barrera de potencial (también conocida como potencial de barrera), y representa la diferencia de potencial debido al campo eléctrico expresada en volts. Esta diferencia de potencial es el voltaje aplicado entre la unión P-N para que los electrones puedan fluir.

En el silicio este potencial es aproximadamente 0.7V y en el germanio es 0.3V a 25°C.

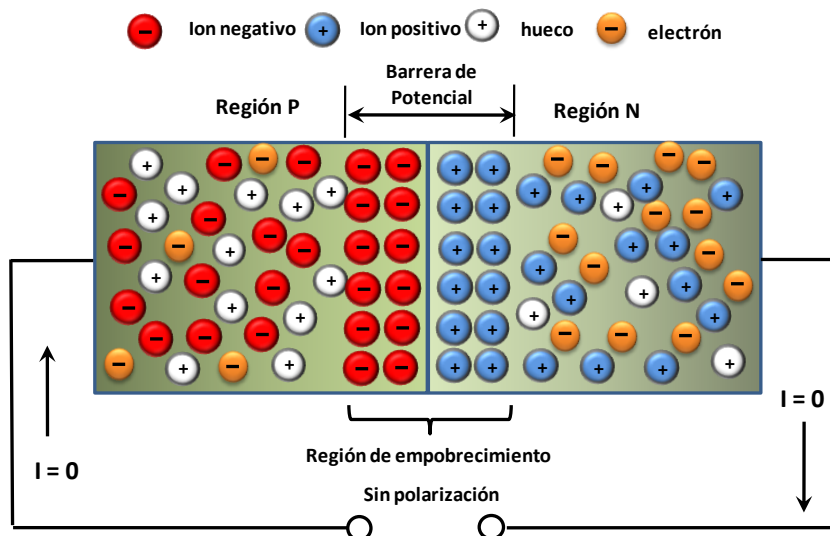


Figura 2.6. Unión P-N sin polarización.

Polarización inversa

En esta polarización se aplica un voltaje en la unión P-N conectando la terminal positiva de la fuente al material tipo N y terminal negativa al material tipo P, tal como se muestra en la figura 2.7. En esta condición los electrones del material N serán atraídos por la terminal positiva de la batería y los huecos del material P serán movidos hacia la terminal negativa de la batería. En consecuencia, habrá más iones positivos en la región de empobrecimiento del lado del material N y más iones negativos del lado del material P, lo que da como resultado un ensanchamiento de la región de empobrecimiento. Entonces, el flujo de portadores mayoritarios será nulo a través del diodo. Sin embargo, sólo los portadores minoritarios circularán formando una corriente de saturación inversa del orden de microamperios.

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA

Carrera: Ingeniería Electromecánica, **Curso:** Electrónica Analógica, **Unidad 1:** El diodo semiconductor.

Autor: Dr. David Lara Alabazares

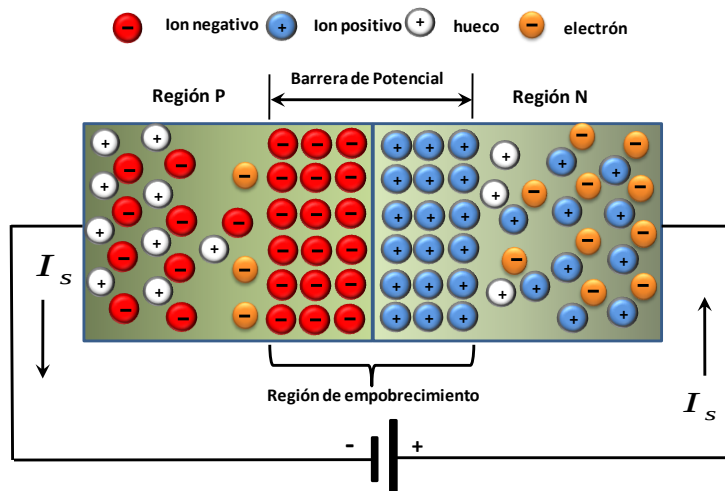


Figura 2.7. Unión P-N con polarización inversa.

Polarización directa

En esta polarización la terminal positiva de la fuente se conecta al material tipo P y la terminal negativa se conecta al material tipo N, tal como se muestra en la figura 2.7. En esta condición los electrones del material N son repelidos por la terminal negativa, de igual forma los huecos en el material P son repelidos. Por lo tanto, la región de empobrecimiento se adelgaza considerablemente y los portadores mayoritarios de ambos lados, saltan de un material al otro, lo que ocasiona un efecto de circulación de electrones de la terminal negativa a la positiva de la batería. Lo que equivale a una circulación de huecos de la terminal positiva a la negativa de la batería. Se dice entonces que el diodo está en conducción. Por conveniencia y facilidad de notación la polarización directa asocia la terminal POSITIVA con el material P y la terminal NEGATIVA con la terminal N, y el sentido de circulación de la corriente se toma de MÁS a MENOS, tal como se hace en circuitos eléctricos.

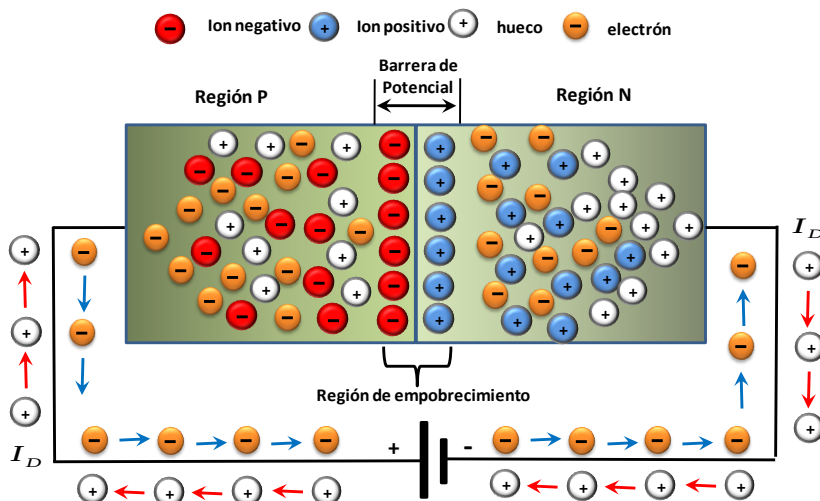


Figura 2.8. Unión P-N con polarización directa.

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA

Carrera: Ingeniería Electromecánica, Curso: Electrónica Analógica, Unidad 1: El diodo semiconductor.

Autor: Dr. David Lara Alabazares

1.2.6 Mapa de aprendizaje de la unidad



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA

Carrera: Ingeniería Electromecánica, **Curso:** Electrónica Analógica, **Unidad 1:** El diodo semiconductor.

Autor: Dr. David Lara Alabazares

1.2.7 Autoevaluación

Completa correctamente lo que se te pide.

1. Ley que enuncia, que la fuerza eléctrica de atracción hacia el núcleo disminuirá debido a que la distancia se incrementa.

2. ¿Cómo se clasifican los materiales de acuerdo a su conductividad eléctrica? Menciona varios ejemplos.

3. ¿Cuáles son y en qué consisten los materiales extrínsecos?

4. ¿Cómo es la estructura del diodo semiconductor?

5. Menciona las formas de polarización al aplicar un voltaje.
