

# Unidad Temática N°1

## Dispositivos Electrónicos

Ing. Luis A. Guanuco



Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Córdoba

26 de marzo de 2025

# Tabla de contenidos

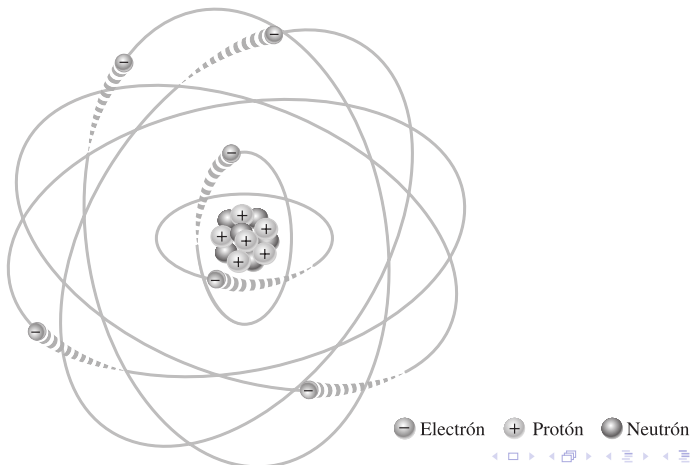
- 1 Estructura atómica
- 2 Tipos de materiales
- 3 Corriente en semiconductores

# Sección 1

## Estructura atómica

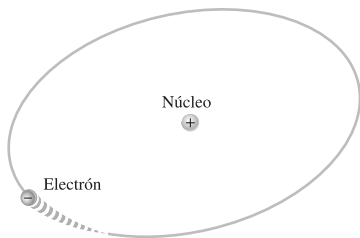
## Estructura atómica

Un átomo es la partícula más pequeña de un elemento. De acuerdo con el modelo de Bohr, los átomos tienen una estructura de tipo planetario que consta de un núcleo central rodeado por electrones que describe órbitas.

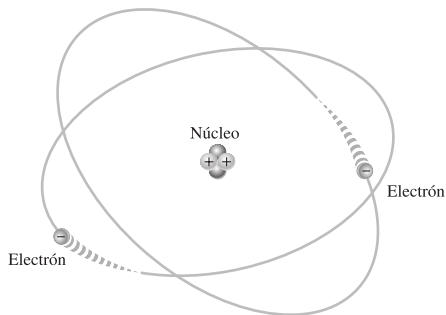


# Estructura atómica

Cada tipo de átomo tiene un cierto número de electrones y protones que los distinguen de los átomos de todos los demás elementos.



Átomo de hidrógeno



Átomo de helio

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
<b>La</b>	<b>Ce</b>	<b>Pr</b>	<b>Nd</b>	<b>Pm</b>	<b>Sm</b>	<b>Eu</b>	<b>Gd</b>	<b>Tb</b>	<b>Dy</b>	<b>Ho</b>	<b>Er</b>	<b>Tm</b>	<b>Yb</b>	<b>Lu</b>
Lanthanum 138.9	Cerium 140.1	Praseodymium 140.9	Niodymium 144.2	Promethium 144.9	Samarium 150.4	Europium 151.9	Gadolinium 157.3	Terbium 158.9	Dysprosium 162.5	Holmium 164.9	Erbium 167.3	Thulium 168.9	Ytterbium 173.0	Lutetium 175.0
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
<b>Ac</b>	<b>Th</b>	<b>Pa</b>	<b>U</b>	<b>Np</b>	<b>Pu</b>	<b>Am</b>	<b>Cm</b>	<b>Bk</b>	<b>Cf</b>	<b>Es</b>	<b>Fm</b>	<b>Md</b>	<b>No</b>	<b>Lr</b>
Actinium 227.0	Thorium 232.0	Protactinium 231.0	Uranium 238.0	Neptunium 237.0	Plutonium 244.0	Americium 243.0	Curium 247.0	Berkelium 247.0	Californium 251.0	Einsteinium 252.0	Fermium 257.0	Mendelevium 258.0	Nobelium 259.0	Lawrencium 262.0

## Capas y órbitas de los electrones

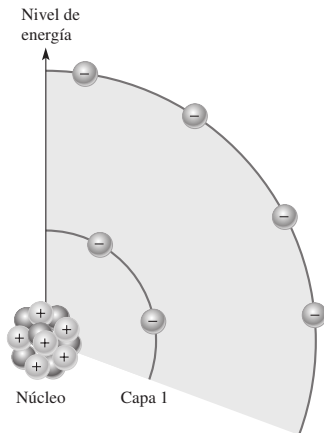
Los electrones giran alrededor de un átomo a ciertas distancias de él. Los electrones cercanos al núcleo tienen menos energía que aquellos que describen órbitas más distantes.

## Niveles de energía...

cada distancia discreta (órbita) al núcleo corresponde a cierto nivel de energía. En un átomo, las órbitas se agrupan en bandas de energía conocidas como *capas*.

Número de electrones en cada capa...

$$N_e = 2n^2$$

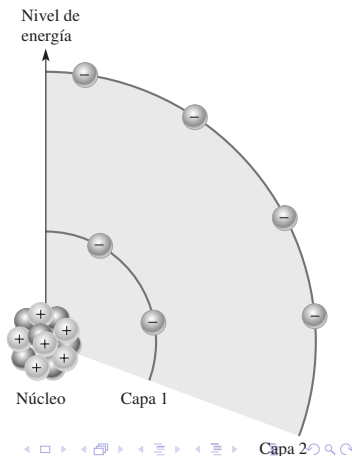


# Capas y órbitas de los electrones

Los electrones giran alrededor de un átomo a ciertas distancias de él. Los electrones cercanos al núcleo tienen menos energía que aquellos que describen órbitas más distantes.

## Pregunta...

¿Cuántos electrones máximo puede existir en la cuarta capa de un átomo?





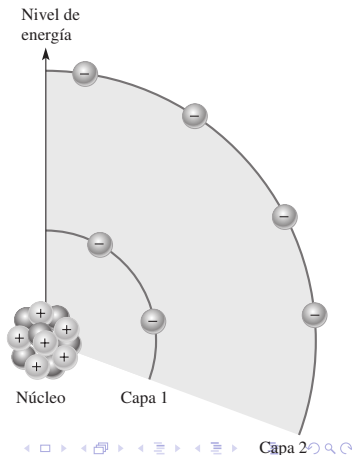
# Capas y órbitas de los electrones

Los electrones giran alrededor de un átomo a ciertas distancias de él. Los electrones cercanos al núcleo tienen menos energía que aquellos que describen órbitas más distantes.

## Pregunta...

¿Cuántos electrones máximo puede existir en la cuarta capa de un átomo?

$$N_e = 2n^2 = 2(4)^2 = 2(16) = 32$$



## Electrones de valencia

Los electrones que describen órbitas alejadas del núcleo tienen más energía y están flojamente enlazados al átomo que aquellos más cercanos al núcleo. Esto se debe a que la fuerza de atracción entre el núcleo cargado positivamente y el electrón cargado negativamente disminuye con la distancia al núcleo.

### Definición...

En la capa más externa de un átomo existen electrones con un alto nivel de energía y están relativamente enlazados al núcleo. Esta capa más externa se conoce como la capa de **valencia** y los electrones presentes en esta capa se llaman *electrones de valencia*.

Estos electrones de valencia contribuyen a las reacciones químicas y al enlace dentro de la estructura de un material y determinan sus propiedades eléctricas.

# Ionización

Cuando un átomo absorbe energía de una fuente calorífica o luminosa, por ejemplo, las energías de los electrones se elevan. Los electrones de valencia poseen más energía y están ligeramente enlazados al átomo que los electrones internos, así que pueden saltar con facilidad a órbitas más altas dentro de la capa de valencia cuando el átomo absorbe energía externa. Si un átomo de valencia adquiere una cantidad suficiente de energía puede escapar con facilidad de la capa externa y la influencia del átomo. La partida de un electrón de valencia deja a un átomo previamente neutro con un exceso de carga positiva (más protones que electrones).

## Definición...

El proceso de perder un electrón de valencia se conoce como **ionización** y el átomo cargado positivamente resultante se conoce como *ion positivo*.

# Tabla de contenidos

- 1 Estructura atómica
- 2 Tipos de materiales**
- 3 Corriente en semiconductores

## Sección 2

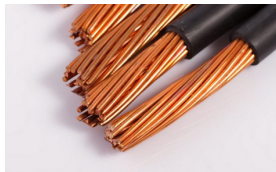
### Tipos de materiales

# Clasificación de los materiales

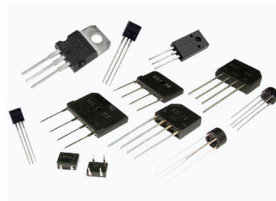
Todos los materiales están compuestos por átomos; éstos contribuyen a las propiedades eléctricas de un material, incluida su capacidad de conducir corriente eléctrica. Estos se clasifican en:



(a) Aislante



(b) Conductor



(c) Semiconductores

Figura: Clasificación de materiales

# Clasificación de los materiales

**Aislantes** no conduce corriente eléctrica en condiciones normales. Los electrones de valencia están estrechamente enlazados a los átomos.



# Clasificación de los materiales

**Aislantes** no conduce corriente eléctrica en condiciones normales. Los electrones de valencia están estrechamente enlazados a los átomos.

**Conductores** conduce corriente eléctrica fácilmente. La mayoría de los metales son buenos conductores. Los mejores conductores son materiales de sólo un elemento. Tienen electrones de valencia flojamente enlazados y terminan convirtiéndose en electrones libres.





# Clasificación de los materiales

**Aislantes** no conduce corriente eléctrica en condiciones normales. Los electrones de valencia están estrechamente enlazados a los átomos.



**Conductores** conduce corriente eléctrica fácilmente. La mayoría de los metales son buenos conductores. Los mejores conductores son materiales de sólo un elemento. Tienen electrones de valencia flojamente enlazados y terminan convirtiéndose en electrones libres.

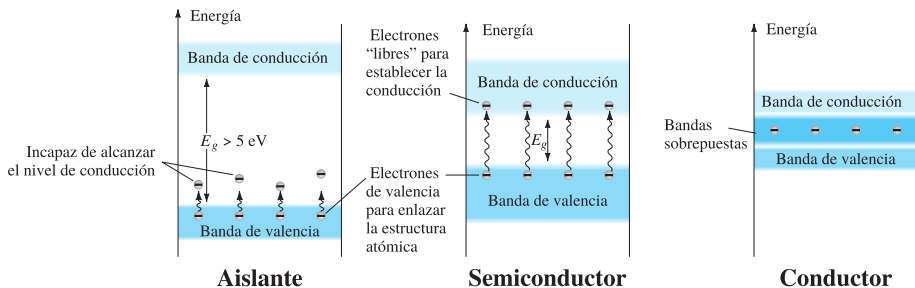


**Semiconductores** se encuentran entre aislantes y conductores, en lo que respecta a su capacidad de conducir corriente eléctrica. Los semiconductores de un solo elemento están caracterizados por átomos con *cuatro electrones de valencia*.



## Bandas de energía

Recuerde que la capa de valencia de un átomo representa una *banda de energía* y que los electrones de valencia están confinados a dicha banda. Cuando un electrón adquiere suficiente energía adicional para abandonar la capa de valencia se convierte en un *electrón libre*. El electrón ahora se encuentra en lo que se conoce como *banda de conducción*.



# Bandas de energía

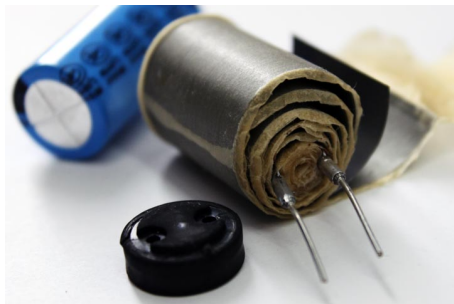
Pregunta...

¿Un material aislante nunca podrá conducir corriente eléctrica?

# Bandas de energía

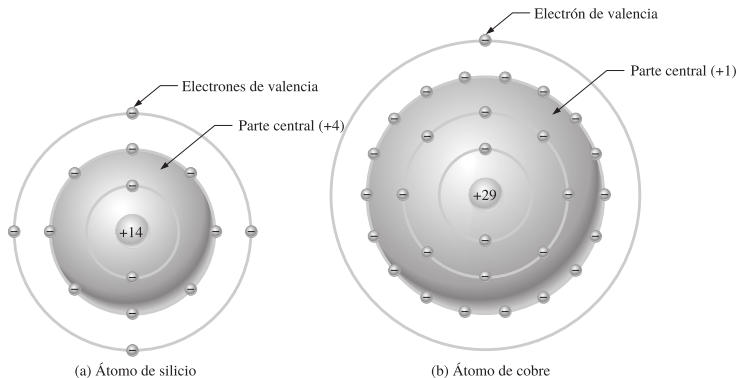
## Pregunta...

¿Un material aislante nunca podrá conducir corriente eléctrica?



# Comparación de átomos semiconductor-vs-conductor

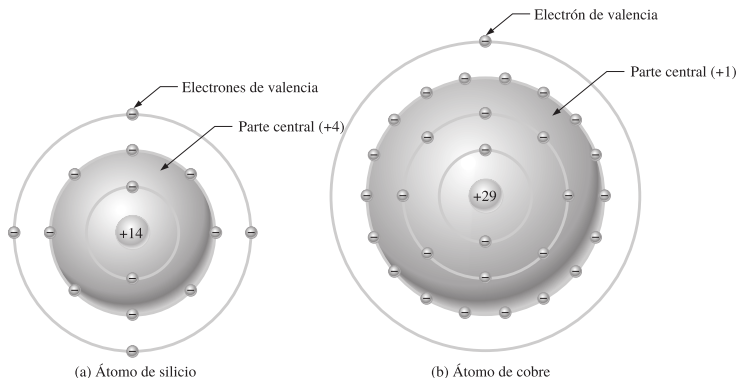
El electrón de valencia del átomo de cobre “siente” una fuerza de atracción de  $+1$ , en comparación con un electrón de valencia del átomo de silicio, que “siente” una fuerza de atracción de  $+4$ .



**Figura:** Comparación de las estructuras atómicas del Silicio y el Cobre.

# Comparación de átomos semiconductor-vs-conductor

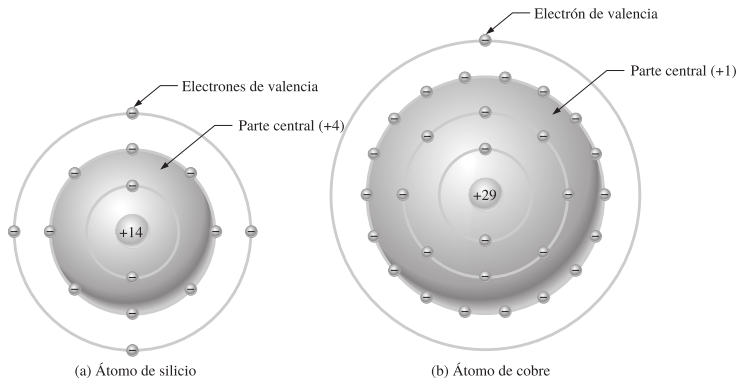
El electrón de valencia del cobre se encuentra en la cuarta capa, que está a mayor distancia de su núcleo que el electrón de valencia del silicio, residente en la tercera capa.



**Figura:** Comparación de las estructuras atómicas del Silicio y el Cobre.

# Comparación de átomos semiconductor-vs-conductor

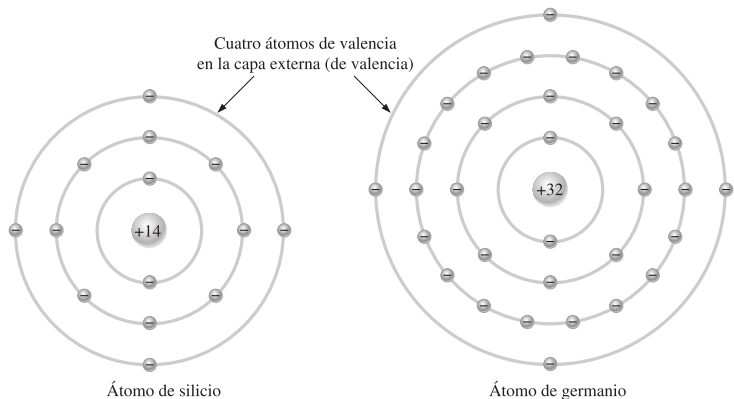
Esto significa que es más fácil que los electrones de valencia del cobre adquieran suficiente energía adicional para escapar de sus átomos y convertirse en electrones libres que los del silicio.



**Figura:** Comparación de las estructuras atómicas del Silicio y el Cobre.

# Semiconductores silicio y germanio

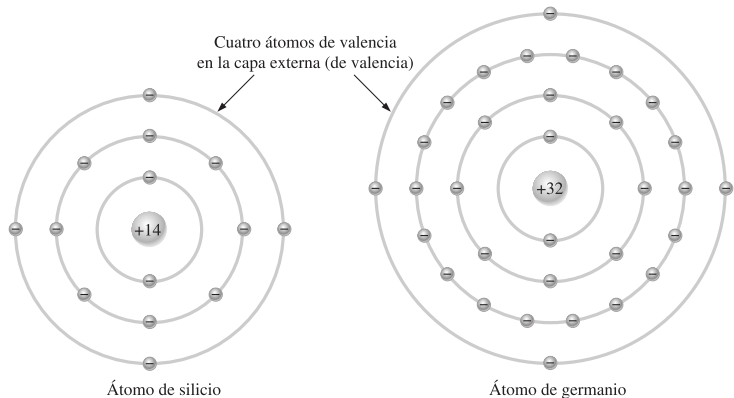
El **silicio** es, por mucho, el material más utilizado en diodos, transistores, circuitos integrados y otros dispositivos semiconductores. Observe que tanto el silicio como el germanio tienen los cuatro electrones de valencia característicos.





# Semiconductores silicio y germanio

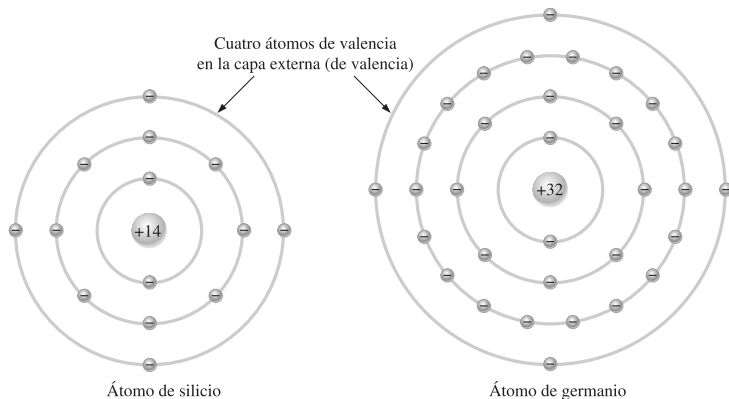
Los electrones de valencia del **germanio** residen en la cuarta capa, mientras que los del silicio están en la tercera, más cerca al núcleo.



# Semiconductores silicio y germanio

## Pregunta...

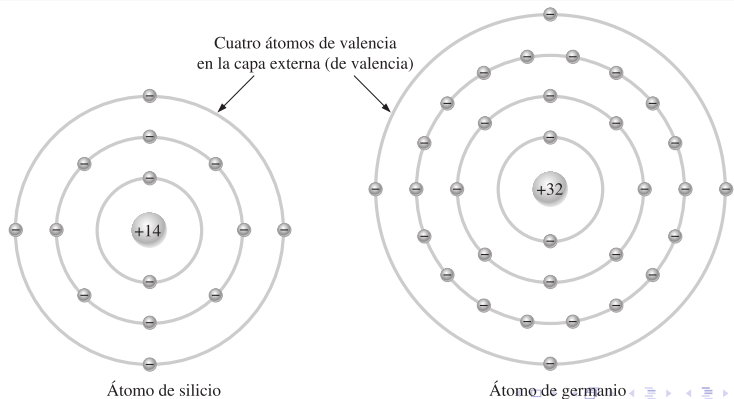
¿Qué relación encuentra entre las capas de valencia del silicio y el germanio, respecto a los electrones de su última capa?



# Semiconductores silicio y germanio

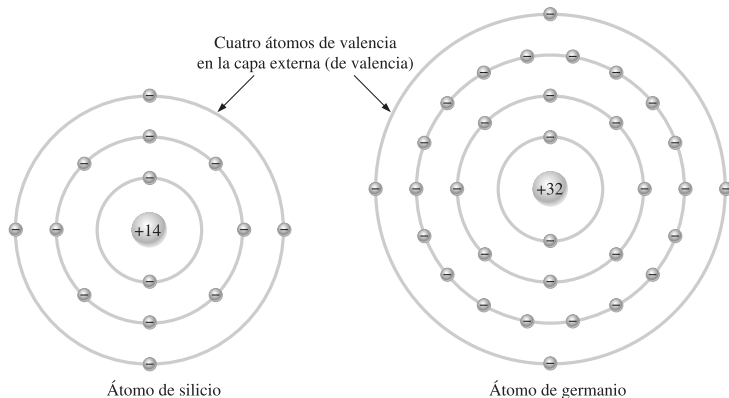
## Respuesta:

Los electrones de valencia del germanio se encuentran a niveles de energía más altos que aquellos en el silicio y, por consiguiente, requieren una cantidad de energía adicional más pequeña para escaparse del átomo.



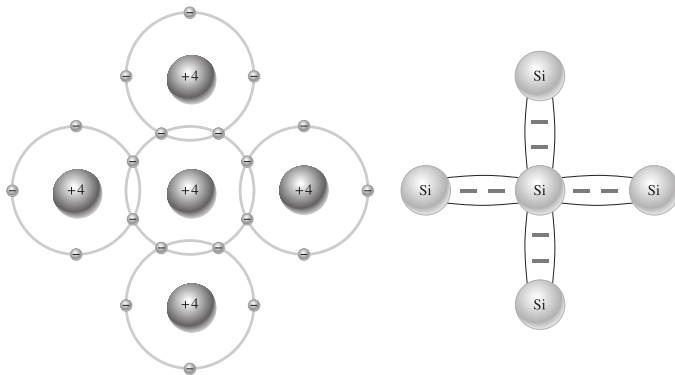
# Semiconductores silicio y germanio

Sí tiene dudas respecto al diagrama de los átomos del silicio y germanio vea el siguiente vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=Nwopk3e3qRM>



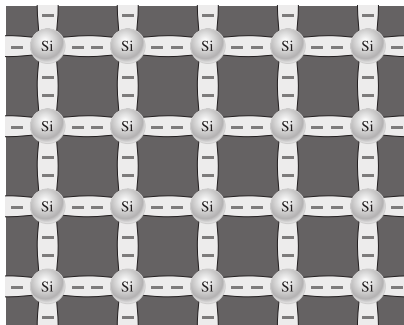
# Enlaces covalentes

Un átomo de silicio (Si), con sus cuatro electrones de valencia, comparte un electrón con cada uno de sus cuatro vecinos. Esto crea efectivamente ocho electrones de valencia compartidos por cada átomo y produce un estado de estabilidad química. Además, compartir electrones de valencia produce enlaces covalentes que mantienen a los átomos juntos.



# Enlaces covalentes

La siguiente figura muestra el enlace covalente de un cristal de silicio **intrínseco**. Un cristal intrínseco es uno que no tiene impurezas. El enlace covalente en el germanio es similar porque también tiene cuatro electrones de valencia.



# Tabla de contenidos

- 1 Estructura atómica
- 2 Tipos de materiales
- 3 Corriente en semiconductores**

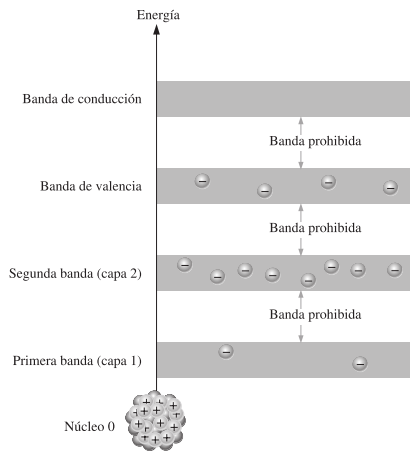
## Sección 3

# Corriente en semiconductores



# Corriente en semiconductores

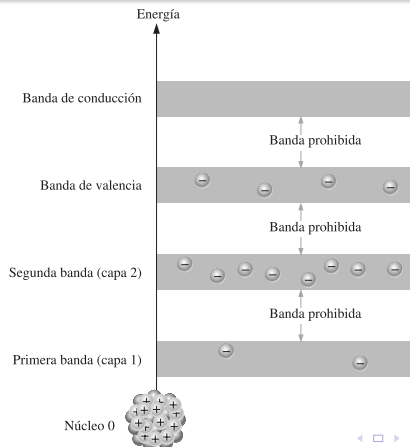
Como aprendió anteriormente, los electrones de un átomo pueden existir sólo dentro de bandas de energía prescritas. La siguiente figura muestra el diagrama de bandas de energía de un átomo no excitado.



# Corriente en semiconductores

## Pregunta...

¿En qué condición cree que se encuentra este átomo de silicio para tener cero excitación?



# Corriente en semiconductores

## Respuesta:

Esta condición de excitación nula se supone ausencia de energía externa absoluta como puede ser el mismo calor. Es decir, el átomo se encuentra a la temperatura de  $0^{\circ}\text{Kelvin}$ .

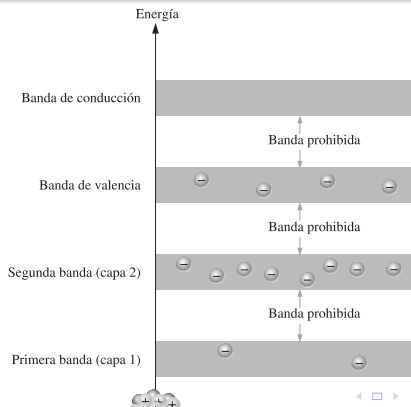


Diagrama de un proceso de fusión nuclear. Se muestran dos núcleos de helio-4 ( $\text{He-4}$ ) con carga  $+4$  que se acercan. Entre ellos hay un espacio etiquetado como "Hueco". Un electrón libre ( $e^-$ ) está cerca. Se indica la liberación de "Energía calorífica" (calor) durante el proceso.

(b) Diagrama de enlaces

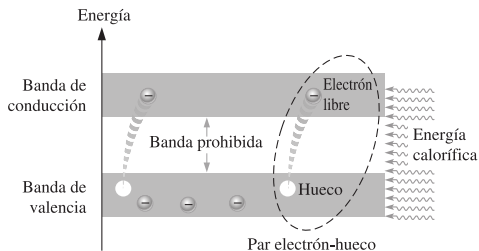
Diagrama de la estructura de bandas de un semiconductor. El eje vertical representa la Energía. Se muestran la Banda de conducción (superior) y la Banda de valencia (inferior), separadas por la Banda prohibida. Un electrón libre se encuentra en la banda de conducción, y un hueco se encuentra en la banda de valencia. Una línea punteada indica el par electrón-hueco. Ondas representativas de la energía calorífica actúan sobre el par.

Diagrama de un átomo de helio ionizado ( $\text{He}^{2+}$ ) que muestra la liberación de un electrón. El núcleo central tiene una carga de +4. Hay dos electrones en órbitas circulares, uno de los cuales está siendo atraído por el núcleo y otro que se está liberando, etiquetado como "Electrón libre". Se indica la liberación de "Energía calorífica" en forma de ondas.

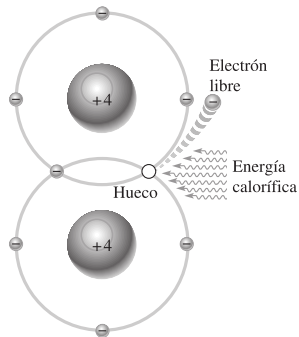
(b) Diagrama de enlaces

# Electrones de conducción y huecos

Por cada electrón elevado a la banda de conducción por medio de energía externa queda un hueco en la banda de valencia y se crea lo que se conoce como **par electrón-hueco**; ocurre una **recombinación** cuando un electrón de banda de conducción pierde energía y regresa a un hueco en la banda de valencia.



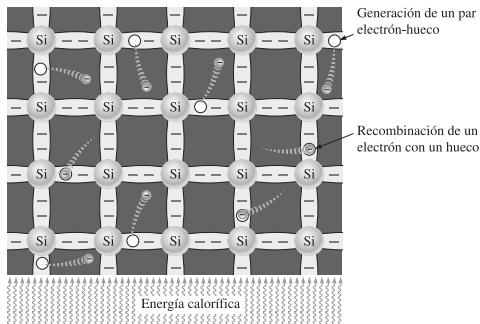
(a) Diagrama de energía



(b) Diagrama de enlaces

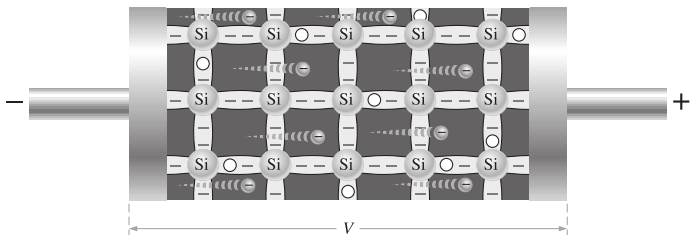
# Electrones de conducción y huecos

Resumiendo, un trozo de silicio intrínseco a temperatura ambiente tiene, en cualquier instante, varios electrones de banda de conducción (libres) que no están enlazados a ningún átomo y en esencia andan a la deriva por todo el material. También existe un número igual de huecos en la banda de valencia que se crean cuando estos electrones saltan a la banda de conducción.



## Corriente de electrón y hueco

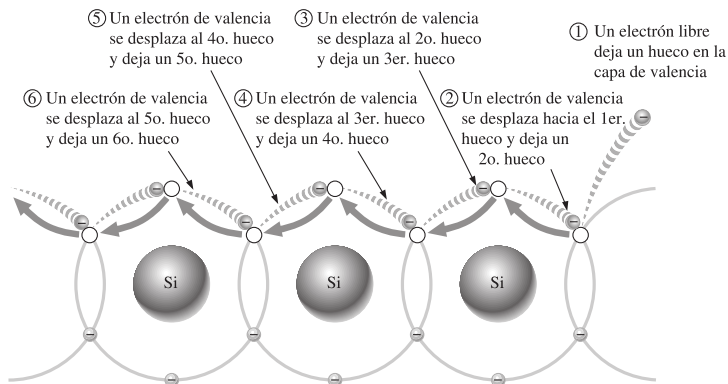
Cuando se aplica voltaje a través de un trozo de silicio intrínseco los electrones libres generados térmicamente presentes en la banda de conducción (que se mueven libremente y al azar en la estructura cristalina) son entonces fácilmente atraídos hacia el extremo positivo. Este movimiento de electrones es un tipo de **corriente** en un material semiconductor y se llama *corriente de electrón*.





# Corriente de electrón y hueco

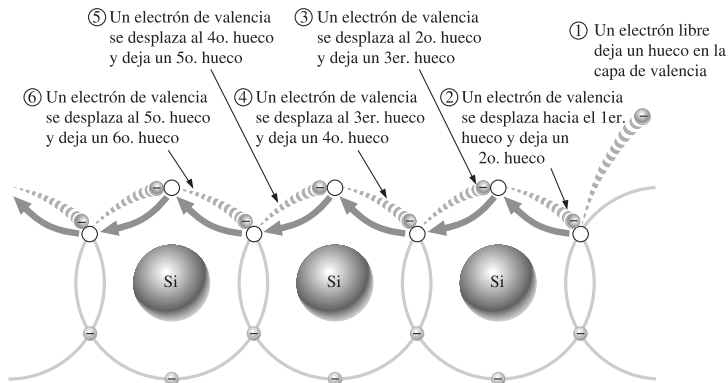
Otro tipo de corriente ocurre en la banda de valencia, donde existen los huecos creados por los electrones libres. Los electrones que permanecen en la banda de valencia siguen estando unidos a sus átomos y no pueden moverse al azar en la estructura cristalina como lo hacen los electrones.



Cuando un electrón de valencia se desplaza de izquierda a derecha mientras deja detrás un hueco, éste se ha movido efectivamente de derecha a izquierda. Las flechas gruesas indican el movimiento efectivo de un hueco.

# Corriente de electrón y hueco

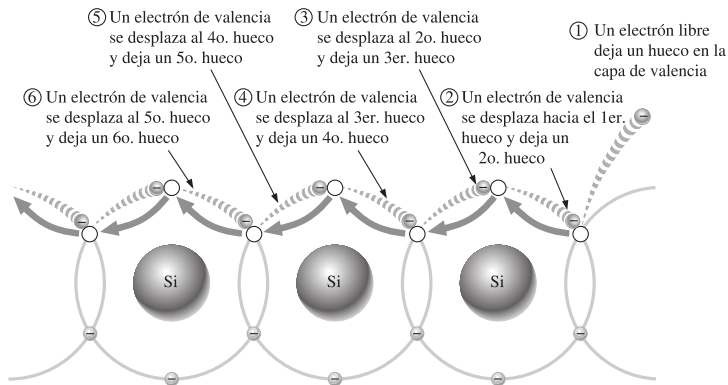
No obstante, un electrón de valencia puede moverse a un hueco cercano con poco cambio en su nivel de energía y por lo tanto deja otro hueco en el lugar de donde vino: el hueco se habrá movido entonces de un lugar a otro en la estructura cristalina.



Cuando un electrón de valencia se desplaza de izquierda a derecha mientras deja detrás un hueco, éste se ha movido efectivamente de derecha a izquierda. Las flechas gruesas indican el movimiento efectivo de un hueco.

# Corriente de electrón y hueco

Aun cuando la corriente en la banda de valencia es producida por electrones de valencia, se llama *corriente de hueco* para distinguirla de la corriente de electrón en la banda de conducción.



Cuando un electrón de valencia se desplaza de izquierda a derecha mientras deja detrás un hueco, éste se ha movido efectivamente de derecha a izquierda. Las flechas gruesas indican el movimiento efectivo de un hueco.

# Corriente de electrón y hueco

## Pregunta...

¿La circulación de corriente en el cobre tiene el mismo comportamiento que el silicio?

# Corriente de electrón y hueco

## Pregunta...

¿La circulación de corriente en el cobre tiene el mismo comportamiento que el silicio?

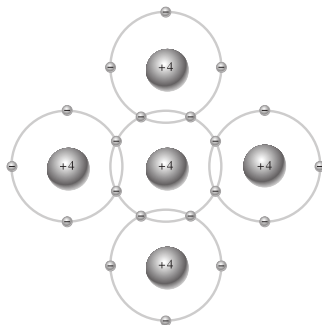
Los átomos de cobre forman un tipo de cristal diferente en el que los átomos no están enlazados covalentemente entre sí, sino que se componen de un “mar” de núcleos de iones positivos, los cuales son átomos sin sus electrones de valencia. Los electrones de valencia están enlazados a los iones positivos, lo que mantiene a los iones positivos juntos y les permite formar el enlace metálico. Los electrones de valencia no pertenecen a un átomo dado, sino al cristal en conjunto. Debido a que los electrones de valencia en el cobre se mueven libremente, la aplicación de un voltaje produce corriente. Existe sólo un tipo de corriente –el movimiento de electrones libres– porque no existen “huecos” en la estructura cristalina metálica.

# Semiconductores intrínsecos

Los semiconductores más utilizados en la industria electrónica son:

- Silicio (Si)
- Germanio (Ge)

Estos materiales tienen una estructura cristalina y libres de impurezas y se los conoce como *intrínsecos*.



**Figura:** Estructura cristalina del silicio y sus enlaces covalentes.

# Semiconductores extrínsecos

Los materiales semiconductores en su estado intrínseco no conducen bien la corriente y su valor es limitado. Esto se debe al número limitado de electrones libres presentes en la banda de conducción y huecos presentes en la banda de valencia.

## Dopado

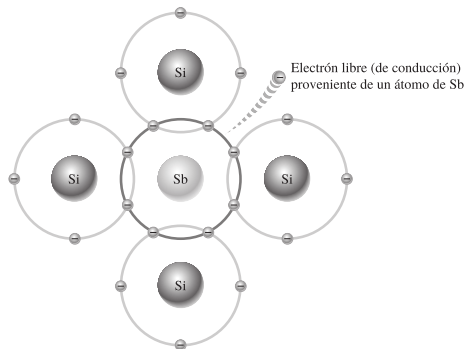
La conductividad del Si y Ge se incrementa drásticamente mediante la adición controlada de impurezas al material semiconductor intrínseco. Los dos portadores de impureza son del tipo  $N$  y el tipo  $P$ .

## Semiconductor tipo *N*

Para incrementar el número de electrones de banda de conducción en silicio intrínseco se agrega átomos de impureza *pentavalente*. Estos son átomos de cinco  $e^-$  de valencia tales como el Arsénico (As), Fósforo (P), Bismuto (Bi) y Antimonio (Sb).

Los electrones se conocen como *portadores mayoritarios* en el material tipo *N*.

Los huecos en el material tipo *N* reciben el nombre de *portadores minoritarios*.





## Semiconductor tipo *P*

Para incrementar el número de huecos en el silicio intrínseco, se agregan átomos de impureza *trivalentes*: átomos con tres electrones de valencia tales como Boro (B), Indio (In) y Galio (Ga).

Los huecos son los *portadores mayoritarios* en un material tipo *P*.  
Los electrones de banda de conducción en un material tipo *P* son los *portadores minoritarios*.

