

# Electrónica Analógica

Mg. Víctor Hugo Serrano

Universidad Nacional de Salta

Técnicatura Electrónica Universitaria

# Programa Analítico

- Tema 1. Introducción a la instrumentación: variables y señales, sistemas de medida, características estáticas y dinámicas de mismas, análisis de error de los instrumentos analógicos y digitales. Símbolos de componentes. Mediciones en bajo nivel de señal. Puentes de medición. Osciloscopio.
- Tema 2. Componentes electrónicos: pasivos y activos, resistores, capacitores, inductores, diferentes tipos y características que determinan su empleo de acuerdo tensión, temperatura y frecuencia. Patrones. Componentes que varían sus valores con algún parámetro físico.
- Tema 3. Materiales semiconductores. Características físicas del diodo de unión PN. Características corriente-voltaje del diodo. Polarización de un diodo. Diodo Zener. Circuitos varios: aplicaciones.
- Tema 4. Transistor de unión bipolar. Estructura física del transistor bipolar. Características corriente-voltaje del transistor bipolar. Amplificación de corriente en el transistor. Circuitos de polarización.

# Programa Analítico

- Tema 5. Amplificadores de corriente y tensión: ideales y reales. Características fundamentales. Principios básicos de realimentación. Amplificadores operacionales, características típicas y dependencia de sus parámetros fundamentales con la temperatura. Aplicaciones lineales. Amplificadores operacionales para instrumentación, acondicionadores de señal. Comparadores. Introducción a los filtros activos. Filtros ideales. Filtro activo de primer orden. Respuestas de filtros de segundo orden.
- Tema 6. Fuentes de poder. Conceptos fundamentales. Transformadores, rectificadores, fusibles y filtros. Reguladores de tensión, discretos e integrados. Su utilización en los circuitos de medición y sensado. Introducción a las fuentes conmutadas. Configuraciones básicas: funcionamiento.
- Tema 7. Modelo en pequeña señal del transistor BJT. Configuraciones con varios transistores. Amplificadores diferenciales y etapas de entrada. Configuraciones especiales: Darlington, fuentes de corriente. Amplificadores de potencia: clase A, B, A-B. Introducción a la teoría de funcionamiento del transistor efecto de campo. Distintos tipos.
- Tema 8. Materiales y componentes especiales. Sensores de temperatura: Uniones metálicas, resistencias metálicas y semiconductoras. Fotoceldas. Fototransistores y leds.
- Tema 9. Tiristores y triacs. Características corriente-voltaje del tiristor Regulación y control de potencia alterna con triacs y llaves detectoras de cruce por cero.

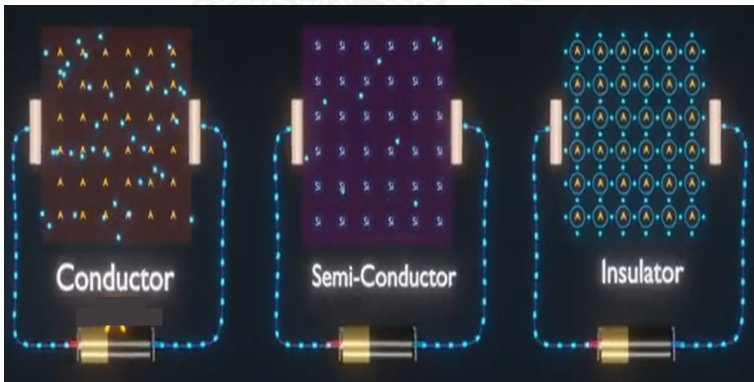
## Clasificación de los materiales electrónicos

- La característica que posee un material (o una sustancia) para permitir el paso de una corriente eléctrica está definida por su **resistividad** ( $\rho$ ) dada en  **$[\Omega.cm]$** .
- Otra magnitud utilizada es la **Conductividad** ( $\sigma$ ) dada en  **$[\Omega^{-1}.cm^{-1}]$**  o  **$[Siemens/metro]$** ,  **$[S/m]$**  y se define como la inversa de la **resistividad**.

| Materiales      | Resistividad ( $\Omega.cm$ ) |
|-----------------|------------------------------|
| Aisladores      | $10^5 < \rho$                |
| Semiconductores | $10^{-3} < \rho < 10^5$      |
| Conductores     | $\rho < 10^{-3}$             |

Ya sea que se definan por la conductividad o la resistividad, los materiales electrónicos se dividen en conductores, aisladores y semiconductores.

# Clasificación de los materiales electrónicos



## Conductores.

- Un material conductor permite el flujo de electrones oponiendo una mínima resistencia.
- **Cobre**, es el metal más empleado como conductor eléctrico en aplicaciones industriales y residenciales, dado el balance que presenta entre su conductividad y el precio.
- **Oro**, Es un material empleado en montajes electrónicos de microprocesadores y circuitos integrados. También se emplea para fabricar los bornes de las baterías de vehículos, entre otras aplicaciones. La conductividad del oro es aproximadamente **20%** menor que la conductividad del cobre recocido. Sin embargo, es un material muy duradero y resistente a la corrosión.

## Conductores.

- *Plata*, Con una conductividad de  $6,30 \times 10^7$  [S/m] (9-10%) superior a la conductividad del cobre recocido, es el metal con mayor conductividad eléctrica conocido a la fecha.
- Se trata de un material muy maleable y dúctil, con una dureza comparable a la del oro o el cobre.
- No obstante, su costo es sumamente elevado, por lo que su uso no es tan común en la industria.
- Otra propiedad de los metales es que son buenos conductores del calor y de la electricidad.

# Conductores.

COBRE



COBRE



ALUMINIO



ALEACIÓN DE  
ALUMINIO



<https://zmscable.es/cable-conductor/>

VÍCTOR HUGO SERRANO



## Aisladores.

- Los aisladores muestran un comportamiento altamente resistivo para el flujo de la corriente eléctrica.
- Esto se debe a la baja cantidad de electrones libres que poseen.
- Vidrio
- Papel
- Teflón
- Madera
- Cerámica
- Goma (caucho)
- Plásticos y polímeros orgánicos
- Se utilizan como cubiertas de cables o motores, también en líneas de alta tensión para separar líneas de transmisión de alta tensión.

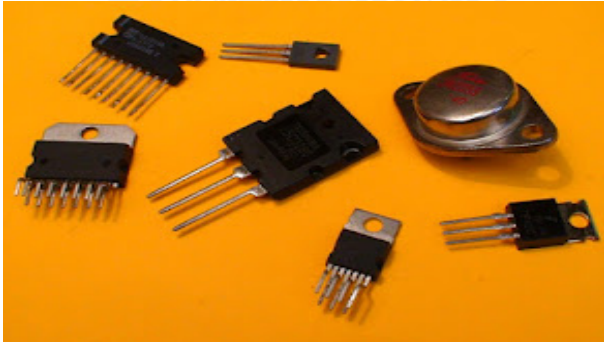
# Aisladores.





## Semiconductores

Se utilizan para fabricar transistores, diodos, tiristores, circuitos integrados, celdas fotovoltaicas, etc.



Estos componentes pueden estar formados por cristales de silicio simple (puro) o por cristales compuestos.

## Semiconductores más utilizados en dispositivos electrónicos

### Germanio

Ge

Fácil de encontrar

Gran disponibilidad

Fácil de refinar

Inestable térmicamente

Formado por 1 solo cristal

### Silicio

Si

Abundante

Precisa refinamiento 99,99 %

Menor Sensibilidad térmica

Formado por 1 solo cristal

PC, Telefonía,...

## Semiconductores más utilizados en dispositivos electrónicos

### Arseniuro de galio

GaAs

Difícil de fabricar en alta pureza

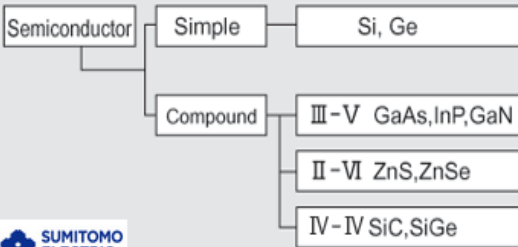
Velocidad superior al silicio

Circuitos integrados a gran escala (VLSI)

Fabricación muy costosa

Formado por la unión de dos cristales

#### Single Semiconductor vs Compound Semiconductor



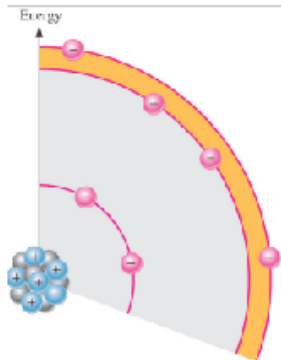
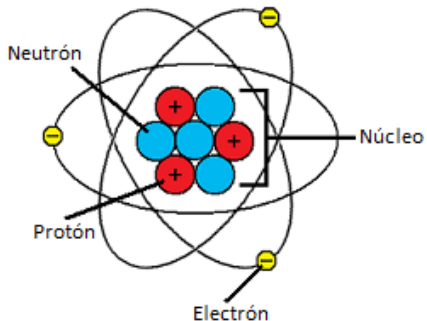
#### Combinations on the Periodic Table of the Elements

| II | III | IV | V  | VI |
|----|-----|----|----|----|
|    | B   | C  | N  |    |
|    | Al  | Si | P  |    |
| Zn | Ga  | Ge | As | Se |
| Cd | In  | Sn | Sb | Te |

## Características de los materiales compuestos

- Alta velocidad de operación. (Alta movilidad de los electrones).
- Generan señales de alta frecuencia (micro-onda).
- Baja tensión de operación.
- Emiten luz visible, infraroja, laser.
- Sensibilidad a la luz. (Fotodetectores)
- Sensibilidad al magnetismo. (Sensores)
- Resistentes a la radiación y temperatura. (celdas solares)

## Estructura atómica. Modelo de Bohr

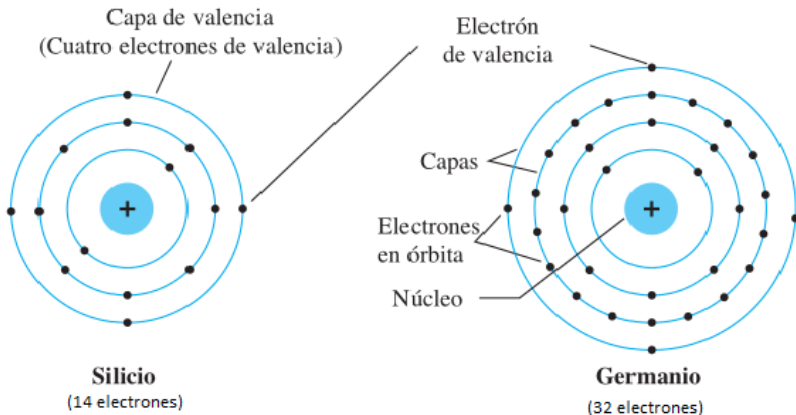


<http://www.engineeringa>

EKT 102: Basic Electronic Engineering

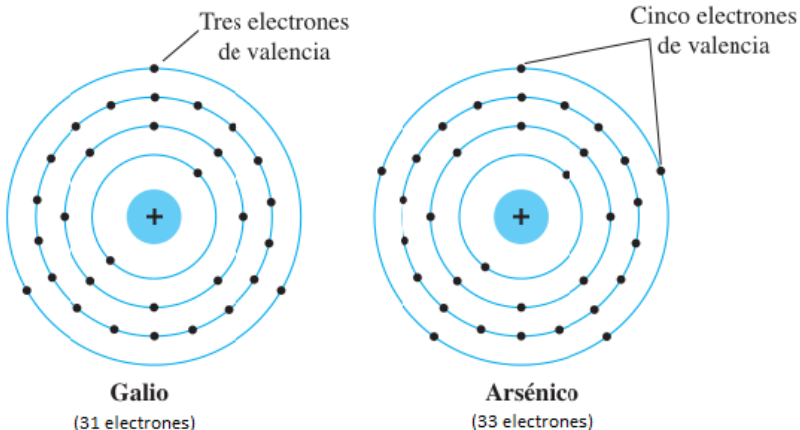


## Estructura atómica. Modelo de Bohr



### Modelo de Bohr

## Estructura atómica. Modelo de Bohr



### Modelo de Bohr

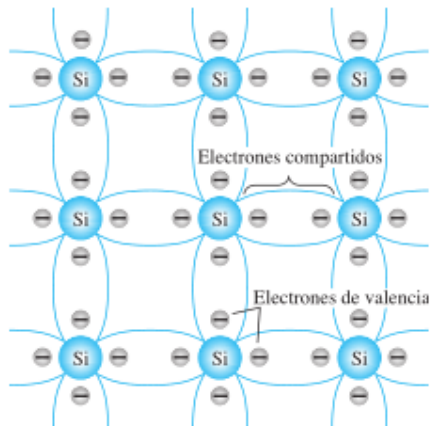
## Electrones de valencia

- Son los electrones de la capa más externa.
- Indica el potencial requerido para remover electrones de la estructura atómica.
- Este potencial es significativamente más bajo que el requerido para cualquier otro electrón en la estructura.
- El Silicio y el Germanio tiene cuatro electrones de valencia.
- El Galio tiene tres electrones de valencia.
- El Arsénico tiene cinco electrones de valencia.

## Enlace covalente

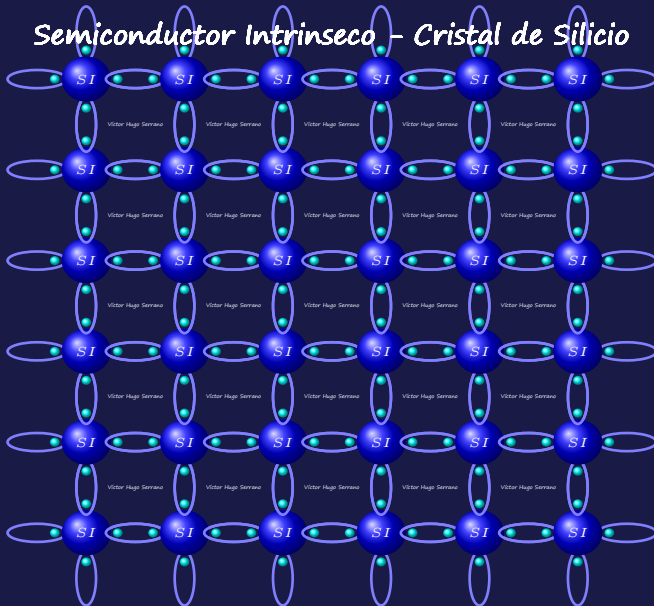
- La idea de enlace covalente fue sugerida en 1916 por G. N. Lewis.
- Los átomos pueden adquirir estructura de gas noble compartiendo electrones para formar un enlace de pares de electrones.
- **Regla del octeto:** Los átomos tienden a ganar, perder o compartir electrones para alcanzar 8 electrones en la capa de valencia.
- La unión se debe a la fuerza de atracción entre el núcleo (carga positiva) y los electrones (carga negativa) compartidos.
- La unión covalente permite formar moléculas.
- Existe otro tipo de unión: enlace iónico que no se estudiara en este curso.

## Enlace covalente del átomo de silicio



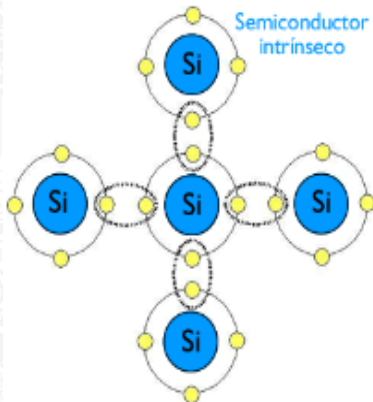
*Enlace covalente del átomo de silicio.*

## *Semiconductor Intrínseco – Cristal de Silicio*

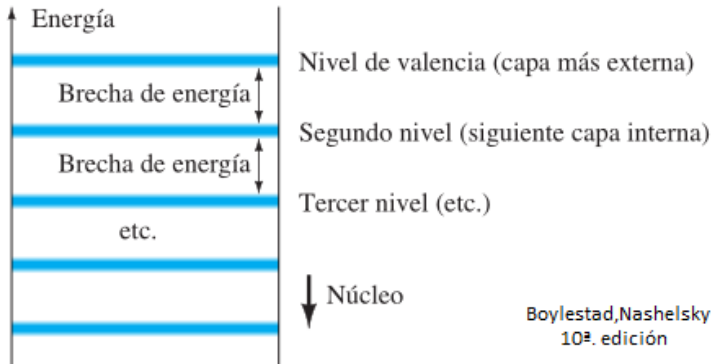


## Semiconductores intrínsecos

- Son elementos puros.
- Forman una red cristalina.
- A temperatura ambiente se comportan como aislantes.
- Presentan flujo de electrones y huecos por acción térmica.
- La corriente total es nula.



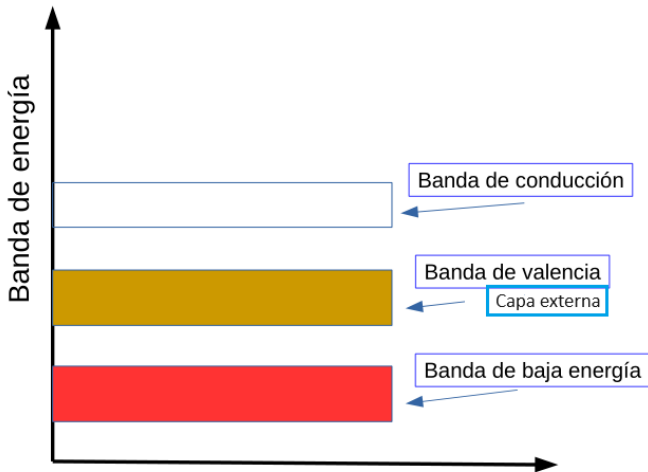
## *Semiconductor intrínseco. Banda de energía. Niveles*



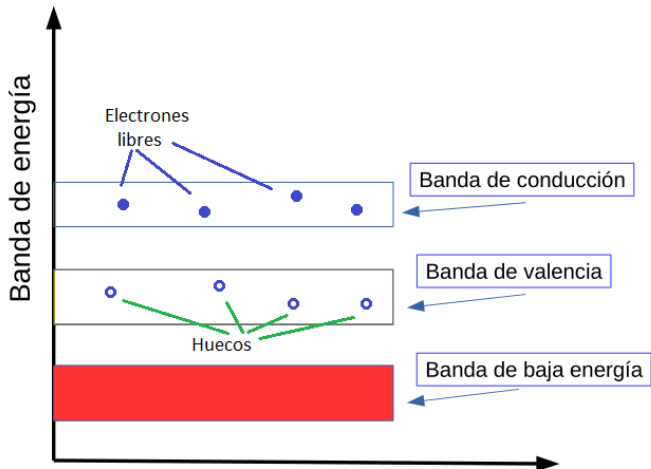
- *Cuanto más alejado está un electrón del núcleo, mayor es su estado de energía.*
- *Todo electrón que haya abandonado a su átomo padre tiene un estado de energía mayor.*



## Semiconductores intrínsecos. Banda de energía a 0 Kelvin.

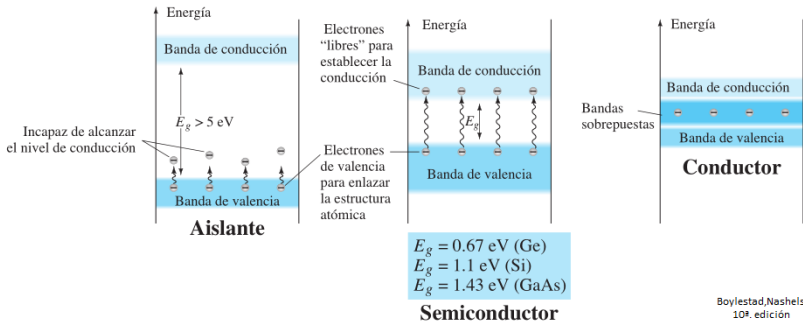


*Semiconductor intrínseco. Banda de energía con energía calorífica.*



## Semiconductor intrínseco.

### Banda de energía para diferentes elementos



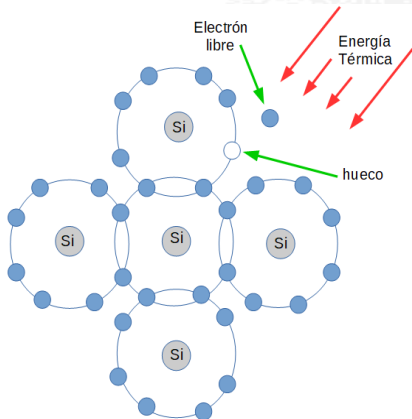
Boylestad, Nashelsky  
10ª. edición

- Un electron-volt es la energía de un electrón que fue acelerado a través de una diferencia de potencial de 1 volt
- $1\text{eV} = 1,6 \times 10^{19} \text{ joules}$ .

## *Semiconductores. Alteración de propiedades eléctricas*

- *La conductividad se modifica por:*
- *Cambio de temperatura.(Energía térmica)*
- *Incidencia de la luz. (Fotones)*
- *Diferencia de potencial. (Energía eléctrica)*
- *Agregado de impurezas o dopaje.*
  - *El proceso de dopaje consiste en agregar impurezas al cristal semiconductor para aumentar su conductividad y obtener dos tipos de portadores:*
    - *electrones y huecos.*

## Semiconductores. Alteración de propiedades eléctricas

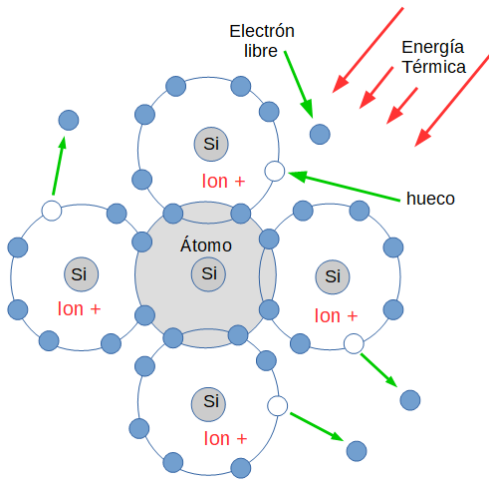


1. Al incrementarse la temperatura, más uniones covalentes son quebradas.
2. Se crean más electrones libres y huecos.

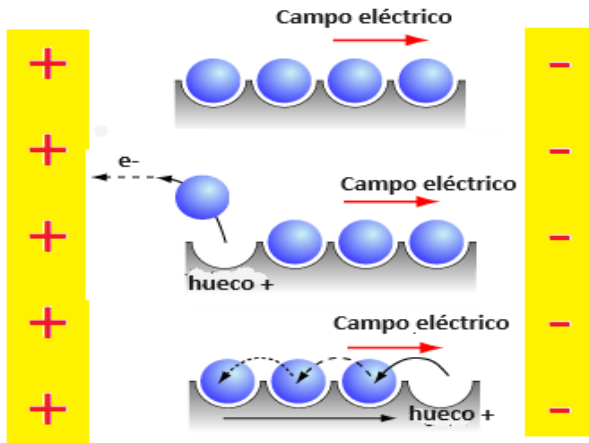
## Ruptura de unión covalente

1. Incremento de temperatura.
2. Electrón libre.
3. En la capa exterior se crea una región de carga positiva. (hueco o laguna)
4. El átomo se convierte en ion positivo.
5. *Suposición: El hueco tiene carga positiva de una magnitud igual a la carga negativa del electrón.*
6. *Suposición: Los electrones libres son atraídos a los huecos (carga positiva).*
7. Al recombinarse el par hueco-electrón el átomo vuelve a ser eléctricamente neutro.

## Rupturas de uniones covalentes



## Rupturas de uniones covalentes por efecto de un campo eléctrico.

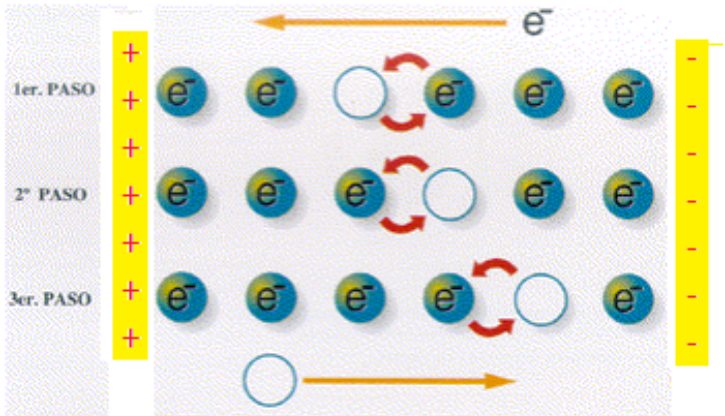


Adaptado de: Alternative energy sources: Electricity by solar radiation

VÍCTOR HUGO SERRANO



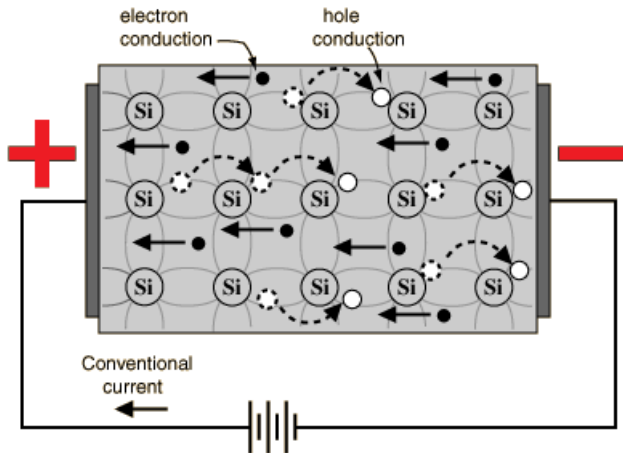
Rupturas de uniones covalentes por efecto de un campo eléctrico.



<http://www.angelfire.com/la/SEMICONDUCTORES/mecani.html>

VÍCTOR HUGO SERRANO

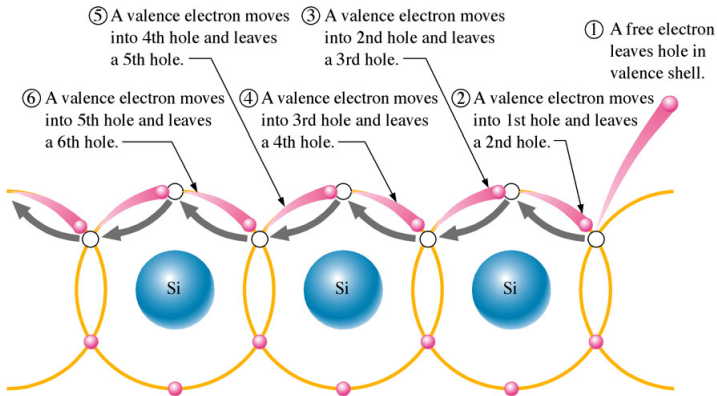
## Rupturas de uniones covalentes por efecto de un campo eléctrico.



<https://electronics.stackexchange.com/questions/33610/fundamental-difference-between-a-metal-and-a-semiconductor>

VÍCTOR HUGO SERRANO

## Movimiento de electrones y huecos



When a valence electron moves left to right to fill a hole while leaving another hole behind, the hole has effectively moved from right to left. Gray arrows indicate effective movement of a hole.

EKT 102: Basic Electronic Engineering

## Semiconductores intrínsecos. Resumen

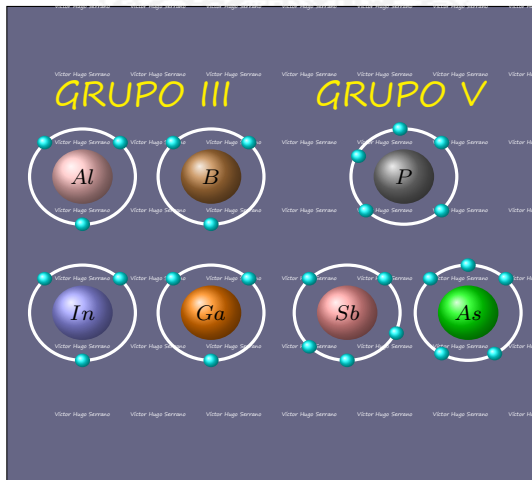
- Baja concentración de portadores, (huecos y electrones), a temperatura ambiente.
- Para obtener una densidad de corriente apreciable se precisa un campo eléctrico grande.
- **Solución: Agregar impurezas en el material intrínseco.**
- Las impurezas se agregan 1 parte en 10 millones.

## *Semiconductores extrínsecos*

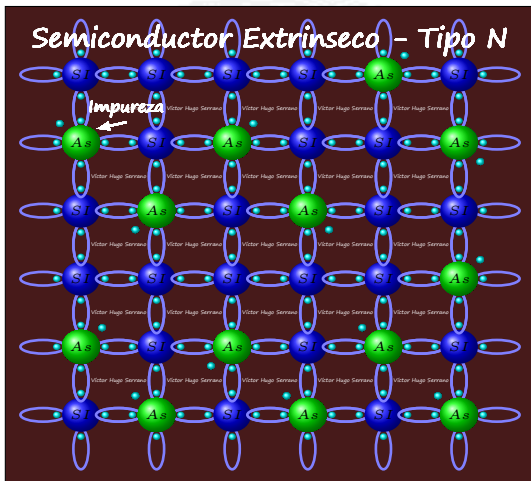
*Un material semiconductor que ha sido sometido al proceso de dopado se conoce como material extrínseco.*

- *Generalmente las impurezas pueden ser:*
  - *Elementos del grupo III.*
  - *Elementos del grupo V.*
- *Según las impurezas agregadas, los materiales extrínsecos se clasifican en:*
  - *Materiales tipo n.*
  - *Materiales tipo p.*

# Semiconductores extrínsecos

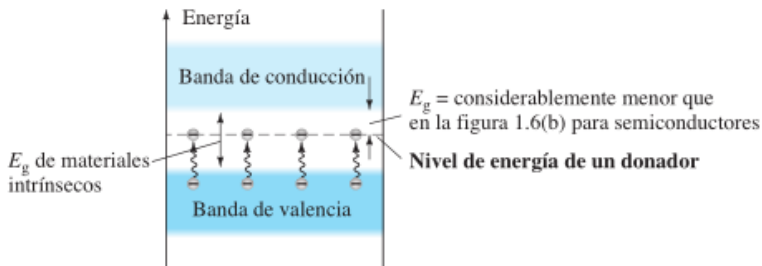


## Semiconductores extrínsecos. Semiconductor tipo n



- Se agregan elementos pentavalentes: Antimonio, Arsénico, Fósforo.
- Se forman cuatro enlaces covalentes.
- Queda un quinto electrón libre.
- Los electrones se denominan **Portadores mayoritarios**.
- Los huecos se denominan **Portadores minoritarios**.

## Semiconductores extrínsecos. Semiconductor tipo n

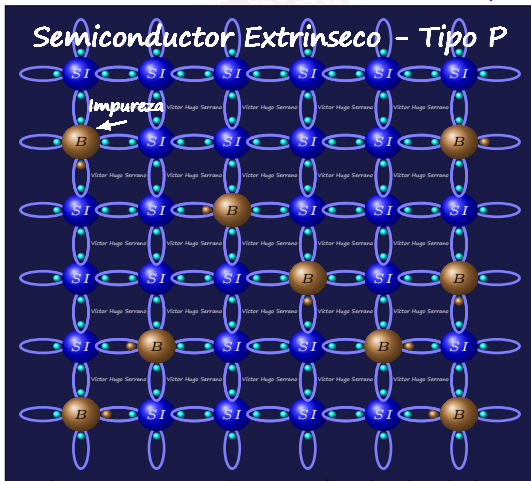


*Efecto de las impurezas de un donador en la estructura de la banda de energía.*

- Las impurezas difundidas con cinco electrones de valencia se conocen como átomos donadores.
- Un nivel de energía discreto (llamado nivel donador) aparece en la banda prohibida con una  $E_g$ .

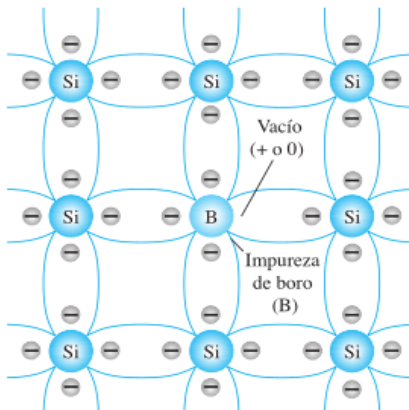


## Semiconductores extrínsecos. Semiconductor tipo P



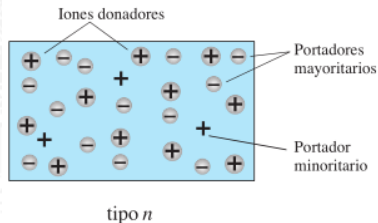
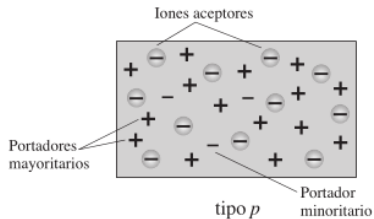
- Se agregan elementos con tres electrones de valencia (trivalente): boro, aluminio, galio e indio.
- Se forman tres enlaces covalentes.
- Queda una cuarta unión covalente sin completar.
- Los huecos se denominan **Portadores mayoritarios**.
- Los electrones se denominan **Portadores minoritarios**.

## Semiconductores extrínsecos. Semiconductor tipo p



1. Las impurezas difundidas con tres electrones de valencia se llaman átomos aceptores.
2. El material tipo p es eléctricamente neutro.
3. Los huecos se mueven como carga positiva dentro del cristal.
4. El movimiento de los huecos sigue el sentido convencional de corriente.

## Portadores mayoritarios y minoritarios



- En un material tipo p el hueco se llama portador mayoritario y el electrón portador minoritario.
- En un material tipo n el electrón se llama portador mayoritario y el hueco portador minoritario.
- Ion positivo: es el átomo al que le falta un electrón.
- Ion negativo: es el átomo al que le sobra un electrón.

## Unión PN

