



Universidad  
de Alcalá

# Tema 4<sup>o</sup>

Corriente eléctrica

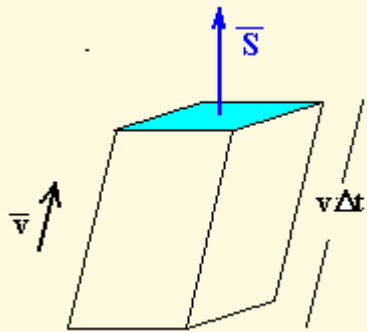
# Programa

- *Corriente y densidad de corriente eléctrica.*
- *La ecuación de continuidad.*
- *Corriente de conducción. Ley de Ohm.*
- *Propiedades de conducción en los materiales:  
Conductores, semiconductores y aislantes.*
- *Circuitos de corriente continua.*
- *Leyes de Kirchoff.*
- *Teoremas del análisis de redes:*
  - *Superposición*
  - *Thevenin y Norton*
  - *Máxima transferencia de potencia.*

# Introducción

El movimiento de las cargas es lo que conocemos como corriente eléctrica. El proceso por el que se transporta la carga se denomina conducción.

Se caracteriza mediante la magnitud **intensidad de corriente**,  $I = \frac{dQ}{dt}$  que definimos como la velocidad a la que se transporta la carga por un punto dado en un medio conductor.



En  $\Delta t$  la carga que pasa por la superficie es:  $Q = n q \vec{S} (\vec{v} \Delta t)$

Como:  $I(S) = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = q n \vec{S} \vec{v}$  Podemos decir  $I = \vec{J} \cdot \vec{S}$

Definimos, **densidad de corriente**  $I = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{s}$

En general:  $\vec{J} = \sum_i n_i q_i \langle \vec{v}_i \rangle$

Ecuación de continuidad

$$\oint_{\Sigma} \vec{J} \cdot d\vec{s} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_{\tau} \rho \, d\tau$$

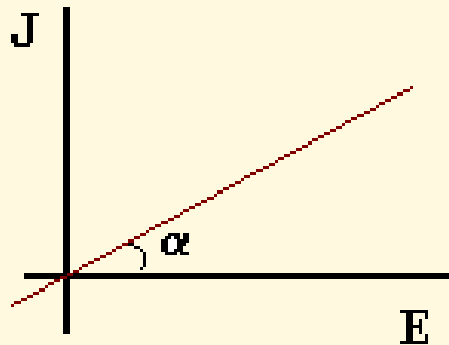


# Parámetros macroscópicos

Caracterizar el fenómeno será relacionar causa  $\vec{E}$  y efecto  $\vec{J}$

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

**Ley de Ohm**



Medios lineales  $\sigma = \text{cte}$

Medios no lineales  $\sigma(E)$

Medios homogéneos  $\sigma \neq \sigma(r)$

Medios isótropos (sus propiedades son las mismas en todas las direcciones)  $\sigma$  es escalar

Medios anisótropos  $\sigma$  es un tensor

En circuitos

$$I = J \cdot S = (\sigma E) \cdot S = \sigma \frac{S}{L} V$$

$$R = \frac{1}{\sigma} \frac{L}{S} = \rho \frac{L}{S}$$

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



# Parámetros macroscópicos



[3material-resistencia](#)

En metales  $\rho = a + bT + cT^2 + \dots$

En semiconductores

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{\varepsilon_A}{kT}}$$

La resistividad del material varía con la temperatura

Coeficiente térmico de la resistividad

$$\alpha = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}$$

En **metales la resistividad aumenta** con la temperatura (**resistencia PTC**).

En **semiconductores disminuye**, esto es, si la conductividad aumenta con la temperatura, el coeficiente será negativo (**resistencias NTC**).



# Parámetros microscópicos

En conducción la velocidad de los portadores se debe:

- Agitación térmica (no contribuye a la conducción)
- Arrastre por campo  $J = n q v_{arr}$

$$a = \frac{F_{electrica}}{m} = \frac{q E}{m} \xrightarrow{\text{agitación térmica}} v_{arr} = a \tau = \frac{q E}{m} \tau \quad \text{Tiempo de relajación } \tau$$

$$\xrightarrow{\quad} \vec{v}_{arr} = \mu \vec{E} \quad \text{Movilidad del portador } \mu \quad \mu = \frac{q}{m} \tau$$

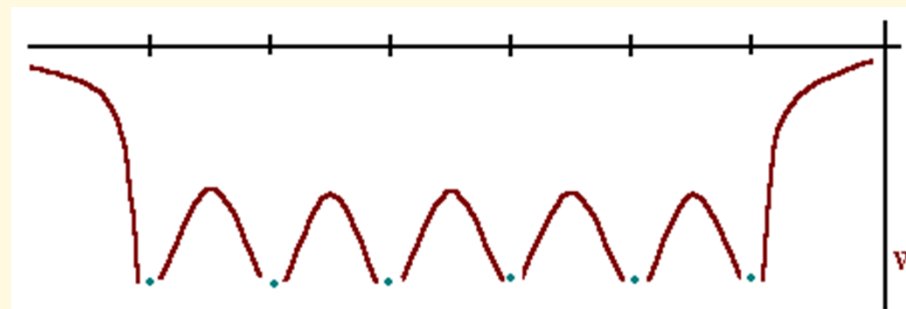
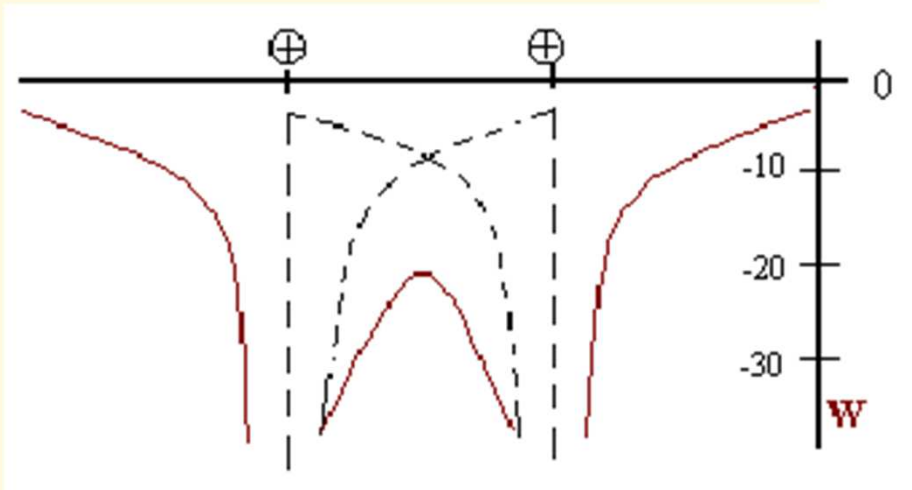
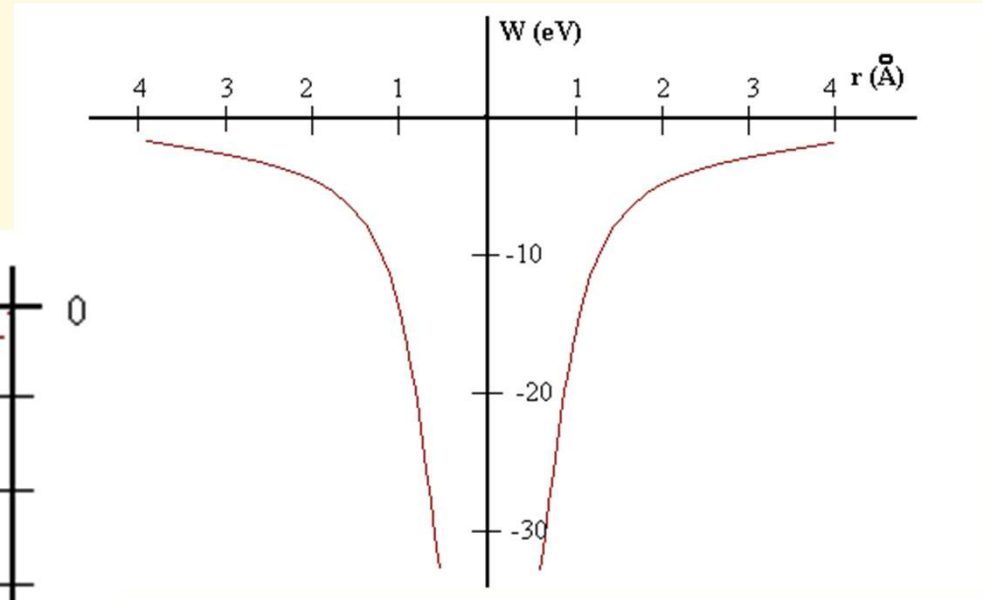
$$\vec{J} = \sigma \vec{E} = n q \vec{v} = n q \mu \vec{E} \quad \sigma = q n \mu = \frac{q^2 n \tau}{m}$$

En general  $\sigma = \sum_i n_i q_i \mu_i$

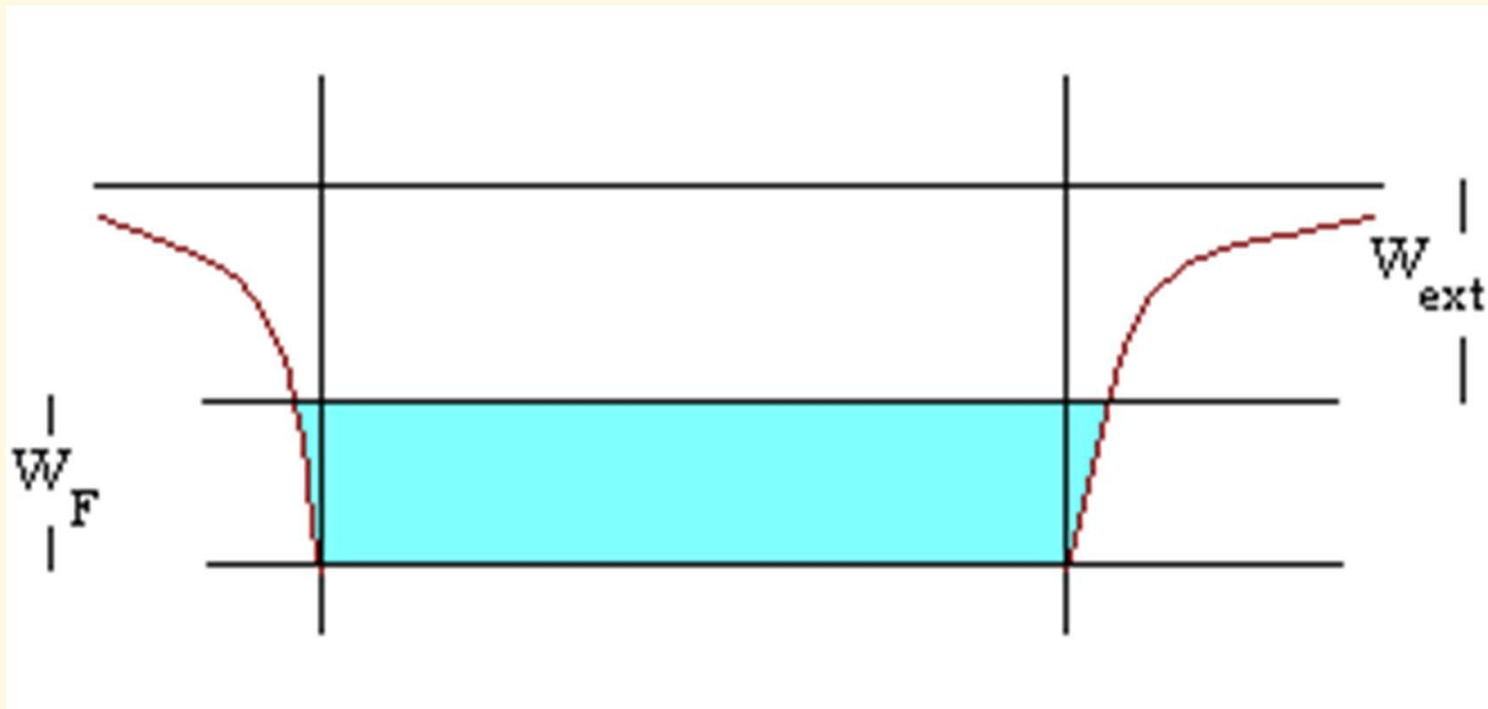
caso muy frecuente  $\sigma = q_+ (n_+ \mu_+ + n_- \mu_-)$

# El modelo del gas de electrones libres

$$W = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$



# El modelo del gas de electrones libres

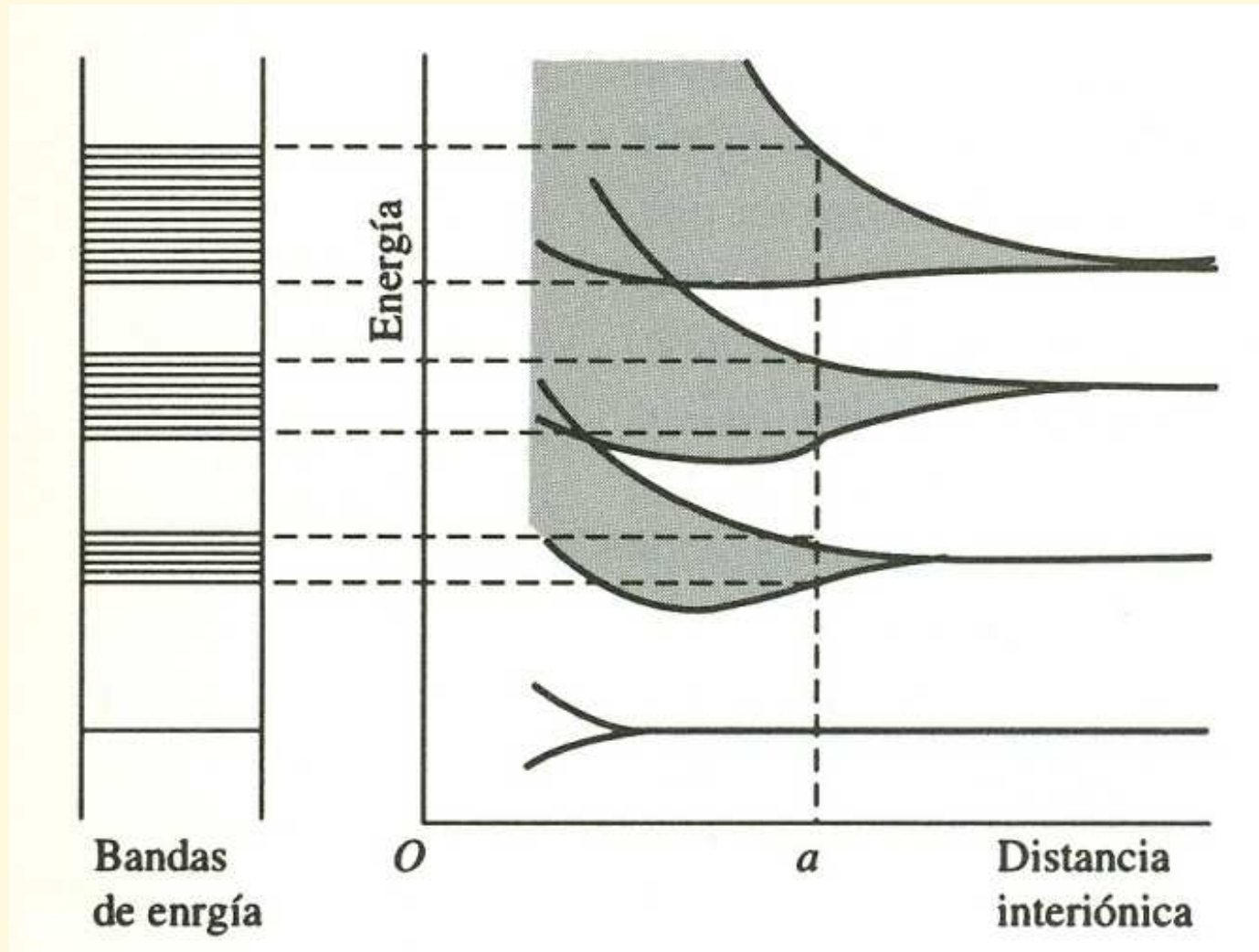


El **trabajo de extracción** se define como la energía mínima para sacar un electrón del metal.

La **energía de Fermi o potencial Químico** es la máxima energía que puede tener un electrón de conducción en el cero absoluto



# El modelo de bandas

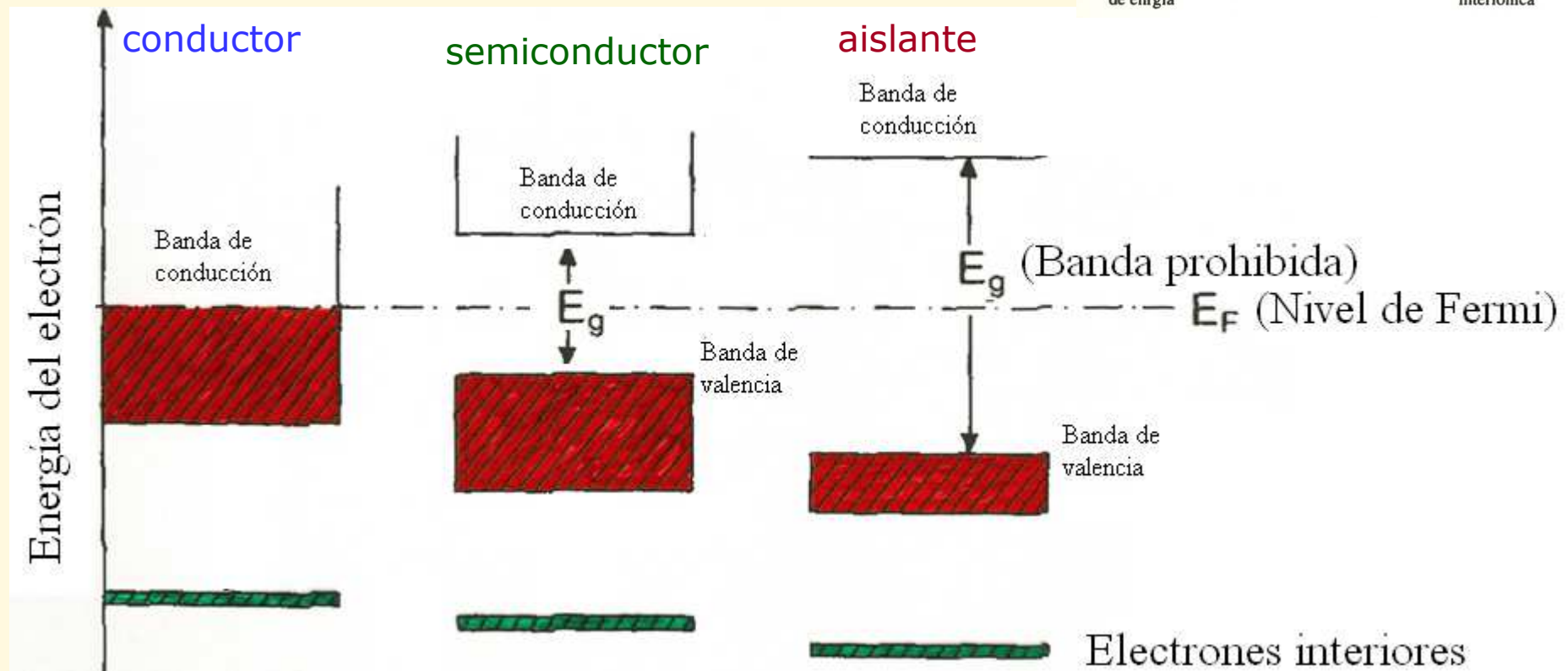
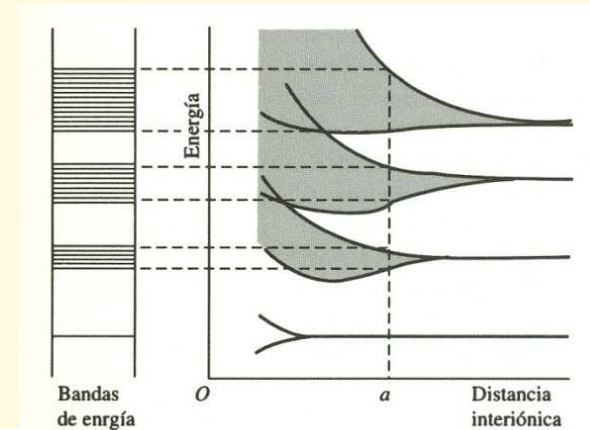


El número de niveles de energía permitidos dentro de cada banda depende de la densidad de átomos

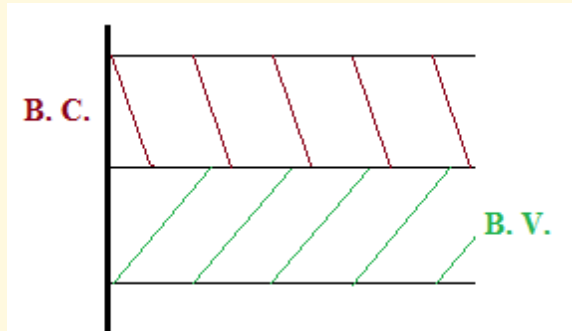
La anchura de las bandas depende de las distancias interatómicas.

# El modelo de bandas

Esquema de la distribución de electrones en las bandas a 0 K según el tipo de material. Los estados ocupados están resaltados en color

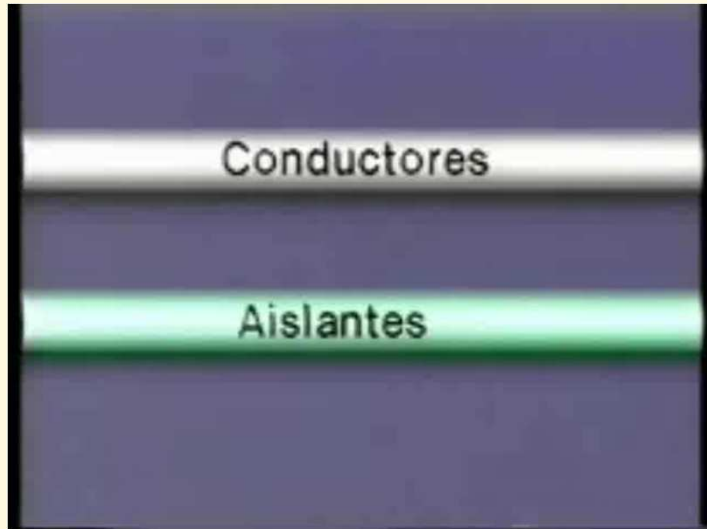


# Metales, semiconductores y aislantes

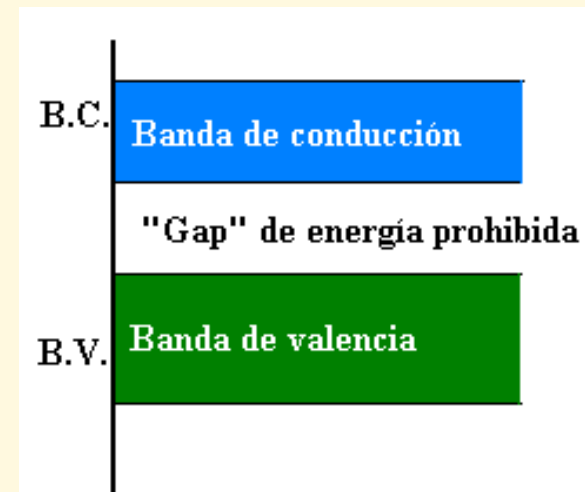


Esquema de bandas de un conductor

Para que un material conduzca es necesario que existan estados permitidos en la banda de conducción no ocupados y que existan electrones en esta banda, que por acción de un campo eléctrico, se muevan en ella ocupando estados permitidos vacíos.

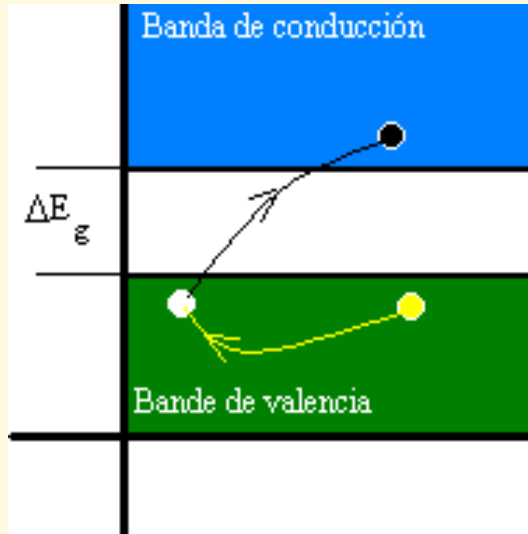


La acción de un campo eléctrico a temperatura ambiente será comunicar a los electrones energía suficiente para que se muevan en el volumen del material en sentido opuesto al campo. El material conduce



Esquema de bandas de un no conductor

# Conducción en semiconductores

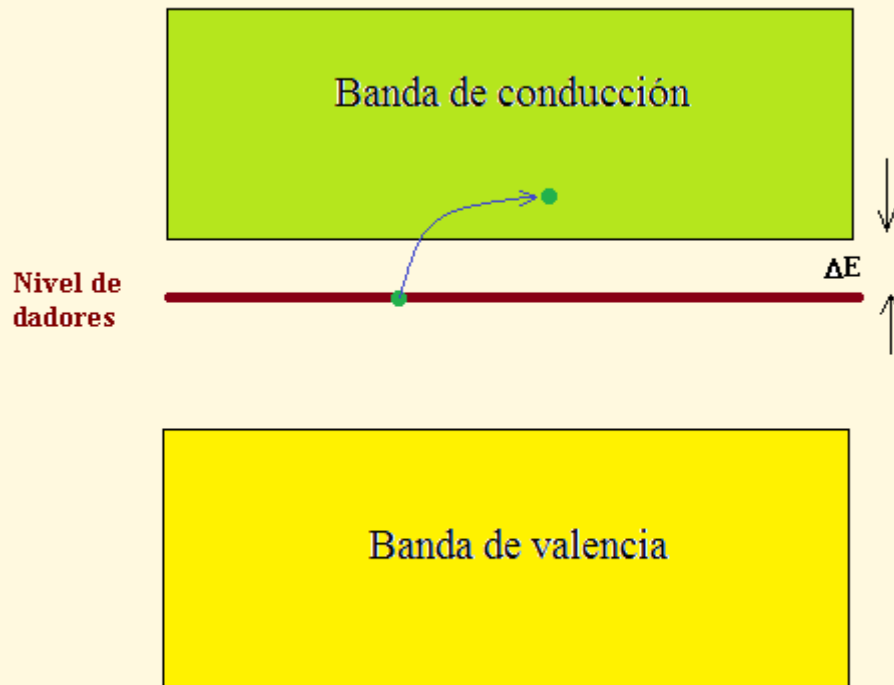


Los semiconductores, a bajas temperaturas tienen un esquema de bandas equivalentes al de los aisladores, pero el "gap" de energías prohibidas  $E_G$  es pequeño. Subiendo la temperatura, la energía térmica es capaz de hacer saltar electrones de la banda de valencia a la de conducción, con lo que estos materiales conducen, aunque sólo sea pobremente, la electricidad.

El salto del electrón provoca la aparición de un hueco, o defecto de un electrón, en **la banda de valencia**. Esta banda, **deja de estar totalmente llena y contribuye** por tanto **a la conducción**.

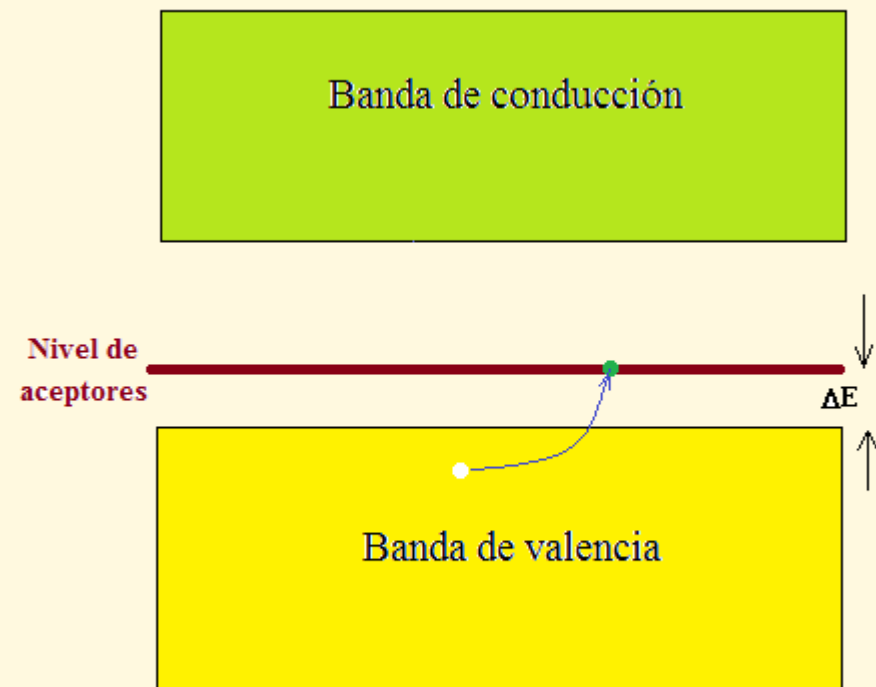
Ahora para describir el fenómeno de conducción los portadores que tendremos que considerar serán: los electrones en la banda de conducción, y los huecos en la banda de valencia

# Conducción con dopado



*Los electrones de la banda de valencia con energía suficiente pasan al nivel de donadores y producen un hueco*

*Las impurezas ceden electrones que pasan a la banda de conducción*

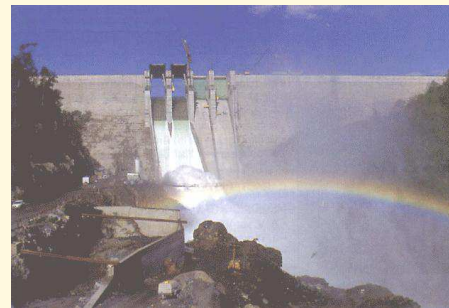


# Magnitudes fundamentales

- Corriente eléctrica:
  - El movimiento de las cargas eléctricas en un conductor se conoce como **corriente eléctrica**
- Intensidad de corriente:
  - Nos mide la **cantidad de carga** eléctrica que atraviesa un punto de un conductor **en la unidad de tiempo**.
- ¿Por dónde se mueven las cargas?
  - Las cargas se mueven por los conductores eléctricos
- ¿Por qué se mueven las cargas?
  - Sólo se pueden mover si “alguien” les comunica energía: Los **generadores eléctricos**

# Elementos de un circuito I

- **Elementos activos:**
  - Convierten cualquier forma de energía en energía eléctrica. **Generadores eléctricos.**
  - Se caracterizan por su f.e.m. ( $\varepsilon$ )

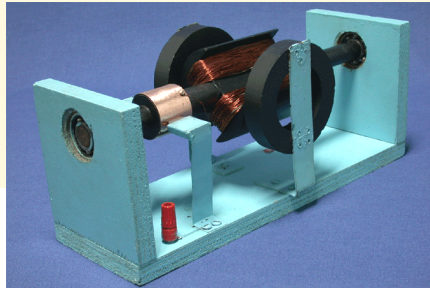




# Elementos de un circuito II

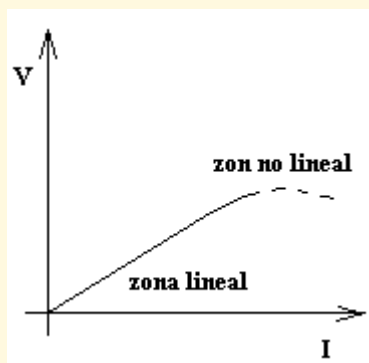
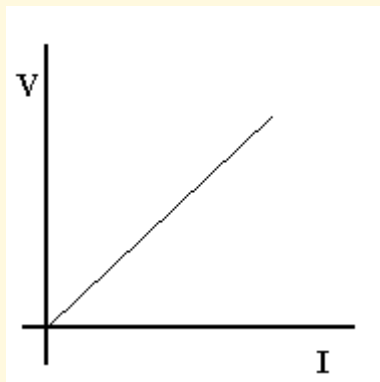
- **Elementos pasivos**

- Convierten la energía eléctrica en otro tipo de energía
- Se caracterizan por su resistencia





# La Ley de Ohm

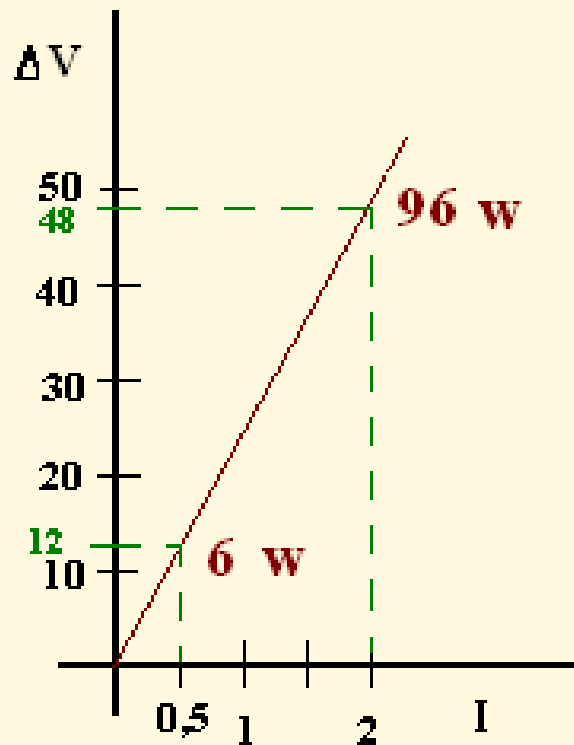


- Nos relaciona la causa, la f.e.m. del generador, con el efecto la corriente que pasa por el circuito.
- En el caso ideal:

$$V = I \times R$$

# Potencia en elementos pasivos

- Sabemos que:  $Potencia = \frac{Energia}{Tiempo}$



- En ese elemento pasivo:
  - cuando le recorren 0,5 a, la ddp entre bornes es de 12 v, **disipa 6 w**
  - si le recorren 2 a, la ddp entre bornes es de 48 v, **disipa 96 w**

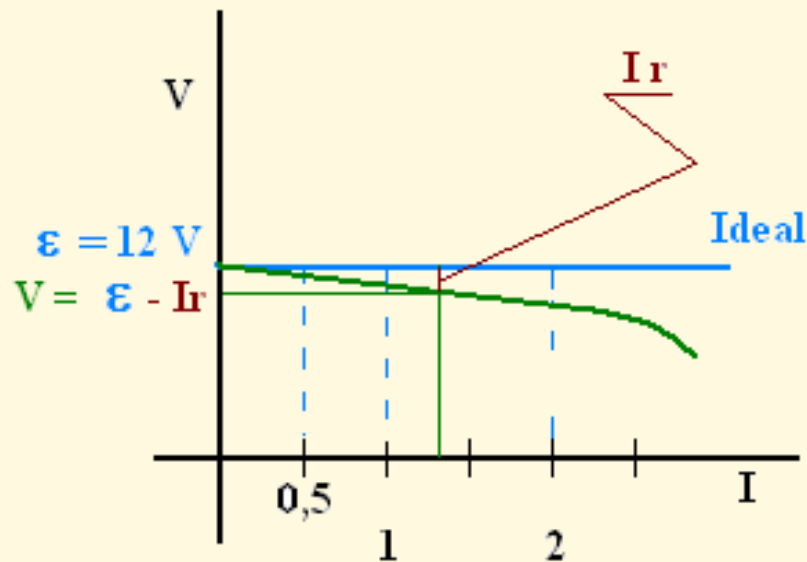
**¿Es posible?**

**Existe una potencia  
máxima**



## Potencia en elementos activos

- Lo característico de una batería es proporcionar siempre la misma diferencia de potencial ( $\epsilon$ )



- En ese elemento activo:
  - cuando le recorren 0,5 a, si es ideal, **disipa 6 w**
  - si le recorren 2 a, si es ideal, **disipa 24 w****¿Es posible?**

- En el caso real:

$$V = \epsilon - (I \times r)$$

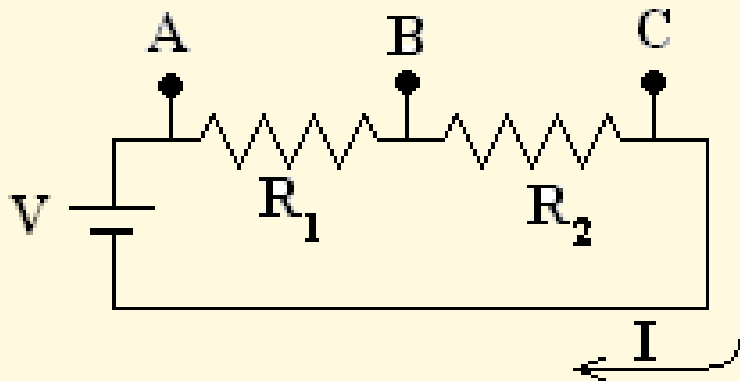


# Asociación de resistencias I

- Resistencia equivalente
  - Es la resistencia que juega en el circuito el mismo papel que las resistencias que forman el circuito

## Resistencias en serie

- Dos resistencias están en serie si las recorre la misma corriente



Si están recorridas por la misma intensidad:

$$V_A - V_B = I R_1 \quad \text{y} \quad V_B - V_C = I R_2$$

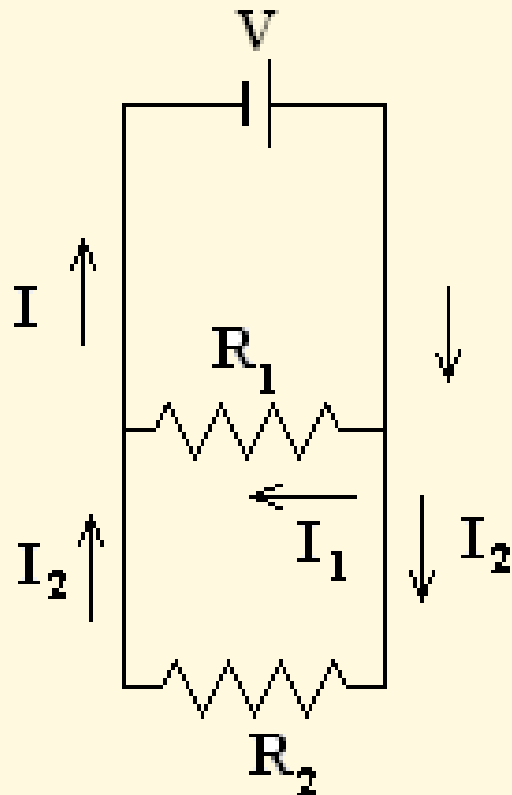
La resistencia equivalente deberá conseguir que al ser atravesada por "I" en sus bornes caiga  $V_A - V_C$

es decir "V", luego:

$$R_{eq,s} = R_1 + R_2$$

# Asociación de resistencias II

- Resistencias en paralelo
  - Dos resistencias están conectadas en paralelo si están sometidas a la misma diferencia de potencial



Si están sometidas a la misma tensión:

$$V = I_1 R_1 \text{ y } V = I_2 R_2$$

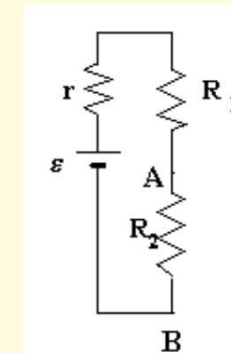
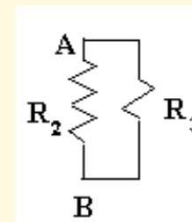
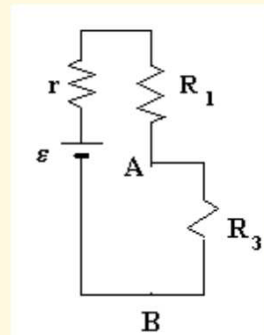
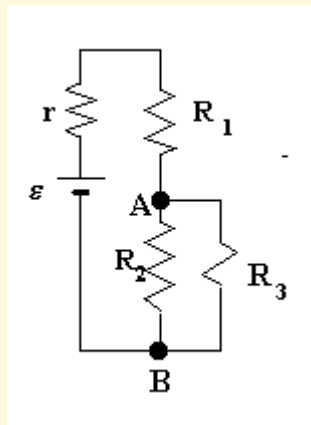
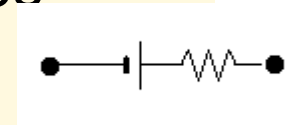
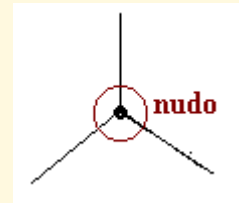
La resistencia equivalente deberá conseguir que al estar sometida a la tensión "V" por el circuito pase la corriente "I", que será la suma de las dos intensidades:  $I = I_1 + I_2$

$$1/R_{eq} = (1/R_1) + (1/R_2)$$

# Circuitos eléctricos I

Un circuito puede contener varios elementos activos y pasivos, que pueden conectarse entre si de diversas formas.

- ❑ Los puntos de conexión entre tres o más conductores se denominan **“nudos”**.
- ❑ El conjunto de elementos existentes entre dos nudos consecutivos, se denomina **“rama”**.
- ❑ Las figuras geométricas cerradas que se pueden formar en un circuito se denominan **“mallas”**.



# Lemas de Kirchoff

## Lema de nudos:

La suma de las intensidades que llegan a un nudo es igual a la suma de las intensidades que salen de él.

$$\sum_j I_j = 0$$

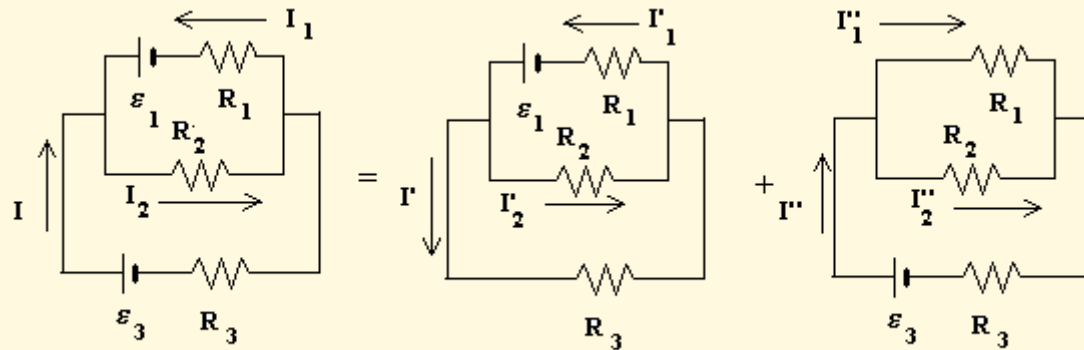
## Lema de mallas:

En cada malla, la energía suministrada por los generadores es igual a la energía disipada los elementos pasivos

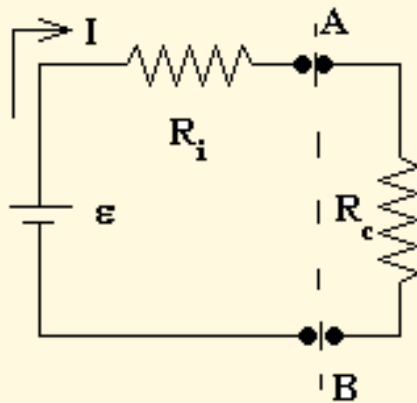
$$\sum_j \varepsilon_i = \sum_j R_i \cdot I_i$$

# Circuitos eléctricos II

## Principio de superposición



## Teorema de Thevenin



Teorema de la máxima transmisión de potencia  $R_i = R_c$

