



Universidad  
Carlos III de Madrid  
[www.uc3m.es](http://www.uc3m.es)

# Sesión 7

## Fundamentos de dispositivos semiconductores

Componentes y Circuitos Electrónicos

Isabel Pérez / José A García Souto

[www.uc3m.es/portal/page/portal/dpto\\_tecnologia\\_electronica/Personal/IsabelPerez](http://www.uc3m.es/portal/page/portal/dpto_tecnologia_electronica/Personal/IsabelPerez)

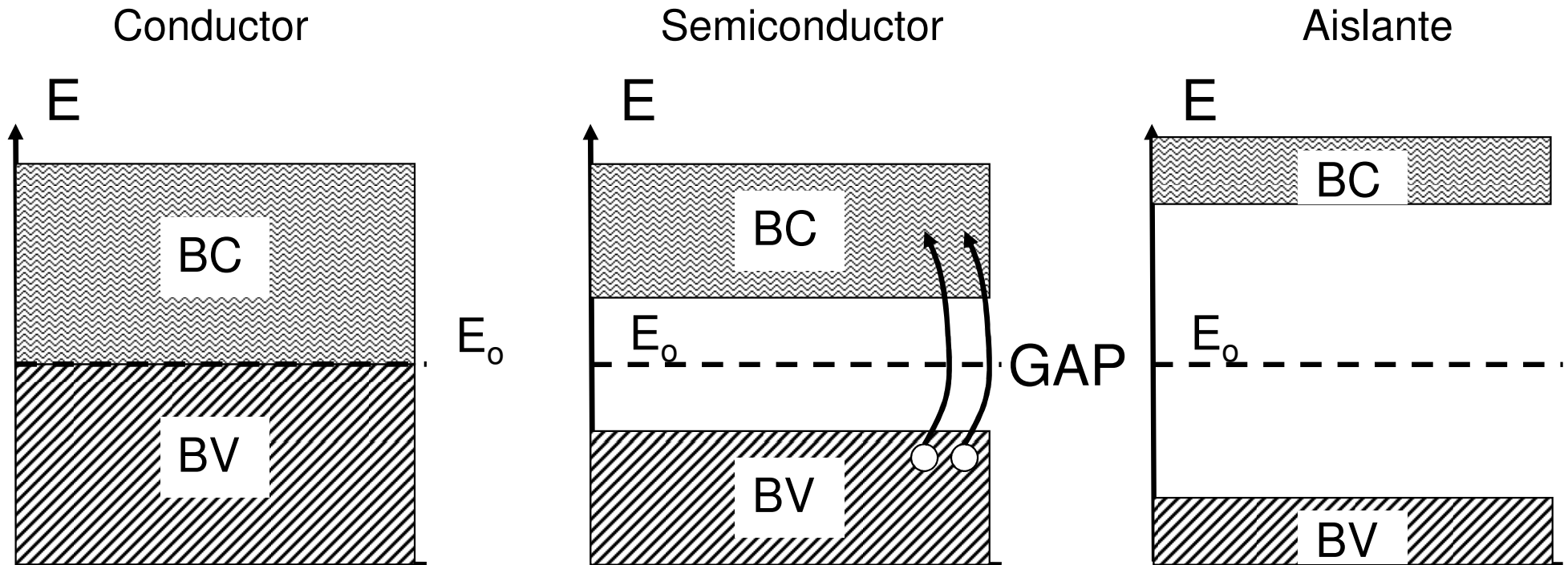
# Semiconductores y Diodo de unión

## OBJETIVOS

- Conocer los fundamentos de semiconductores
  - Semiconductores Intrínsecos. Concepto de Electrón y Hueco.
  - Semiconductores Extrínsecos. Concepto de Impureza.
  - Semiconductores tipo p y tipo n.
- Entender los fundamentos de una unión p-n
  - Unión p-n en Equilibrio. Zona de Carga de Espacio.
  - Unión p-n Polarizada (Polarización en Directa, Polarización en Inversa).
- Interpretar la curva del diodo y relacionarla con la ecuación del diodo como unión p-n polarizada

# Introducción a la Teoría de Semiconductores

## Teoría de Bandas

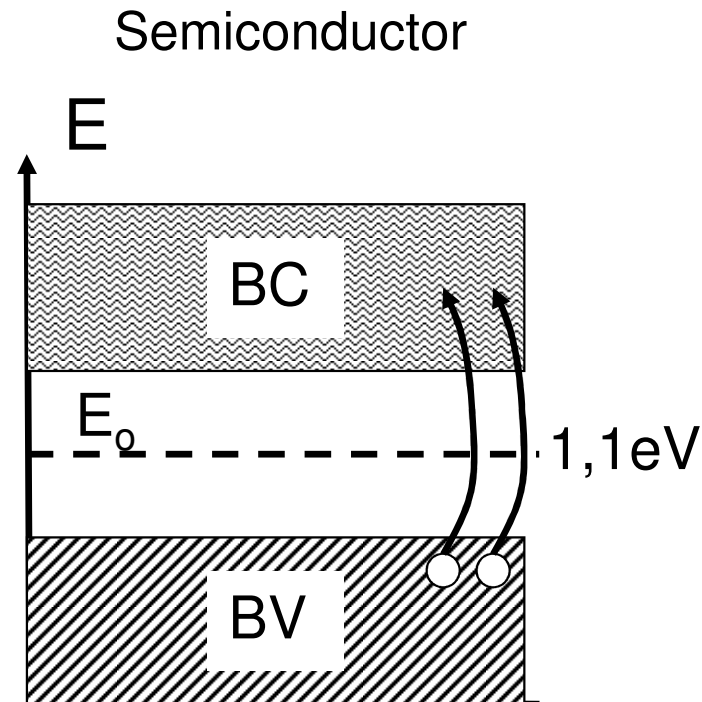


# Teoría de Semiconductores

Semiconductores Intrínsecos. Pares electrón-hueco.

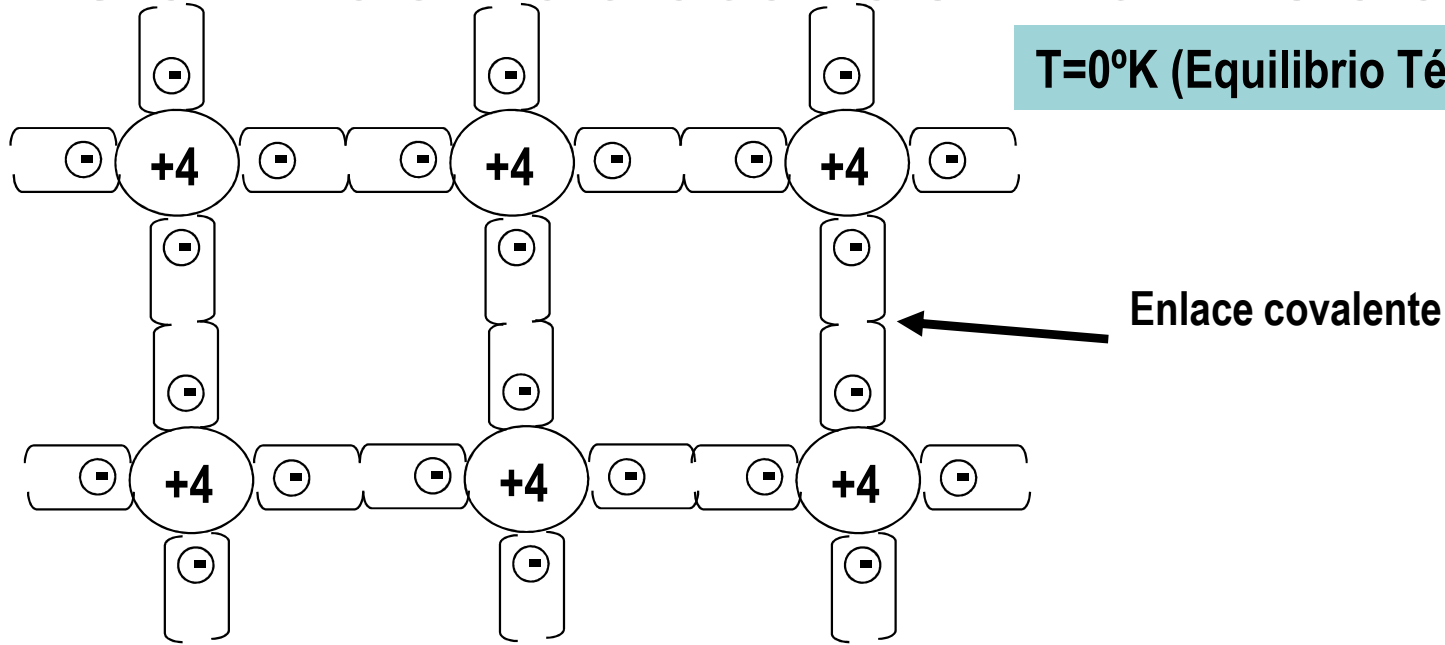
$$n_i^2(T) = n \cdot p \quad n = p \text{ (intrínseco)}$$

$$\sigma = 1 / \rho = q_e [n \cdot \mu_e + p \cdot \mu_h]$$

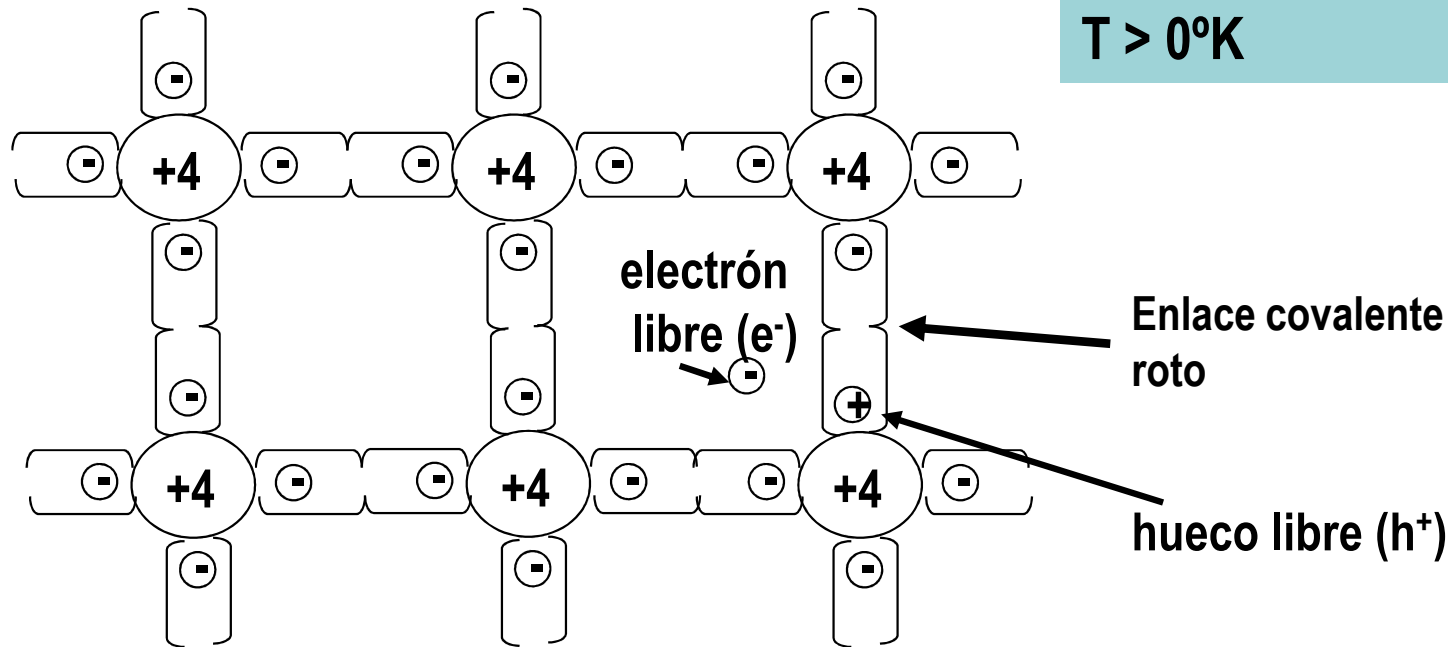


# Semiconductores Intrínsecos (Si)

T=0°K (Equilibrio Térmico)



T > 0°K

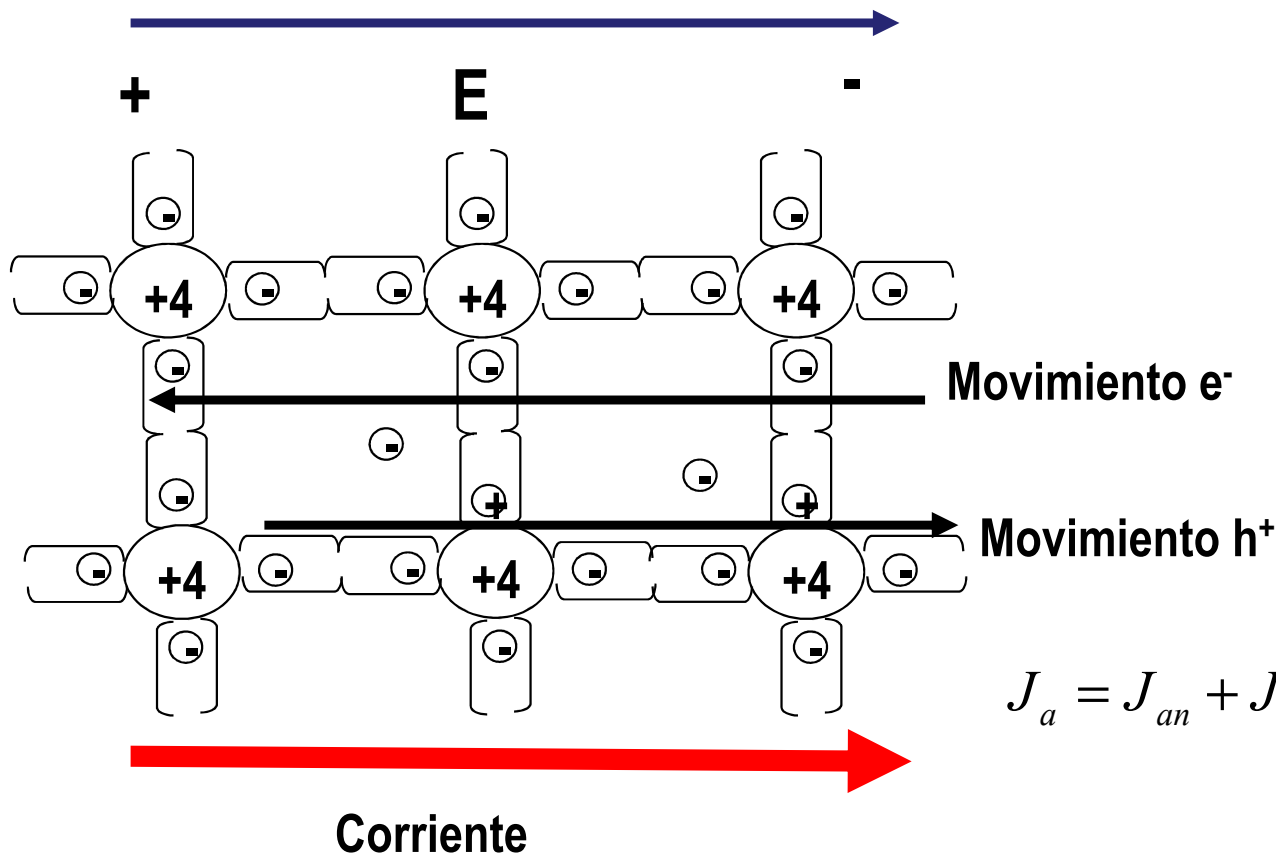


# Tipos de corriente en un semiconductor

- **DIFUSIÓN:** Si la concentración de portadores (de electrones,  $n$ , y de huecos,  $p$ ) es mayor en una zona que en otra del material, los portadores tienden a moverse de la zona de mayor a la de menor concentración, dando lugar a una densidad de corriente de difusión ( $J_d$  [A/cm<sup>2</sup>])

$$J_d = J_{dn} + J_{dp} = q \cdot D_n \cdot \frac{dn}{dx} - q \cdot D_p \cdot \frac{dp}{dx}$$

- **ARRASTRE:** Al aplicar un campo eléctrico  $E$  [V/cm<sup>2</sup>]



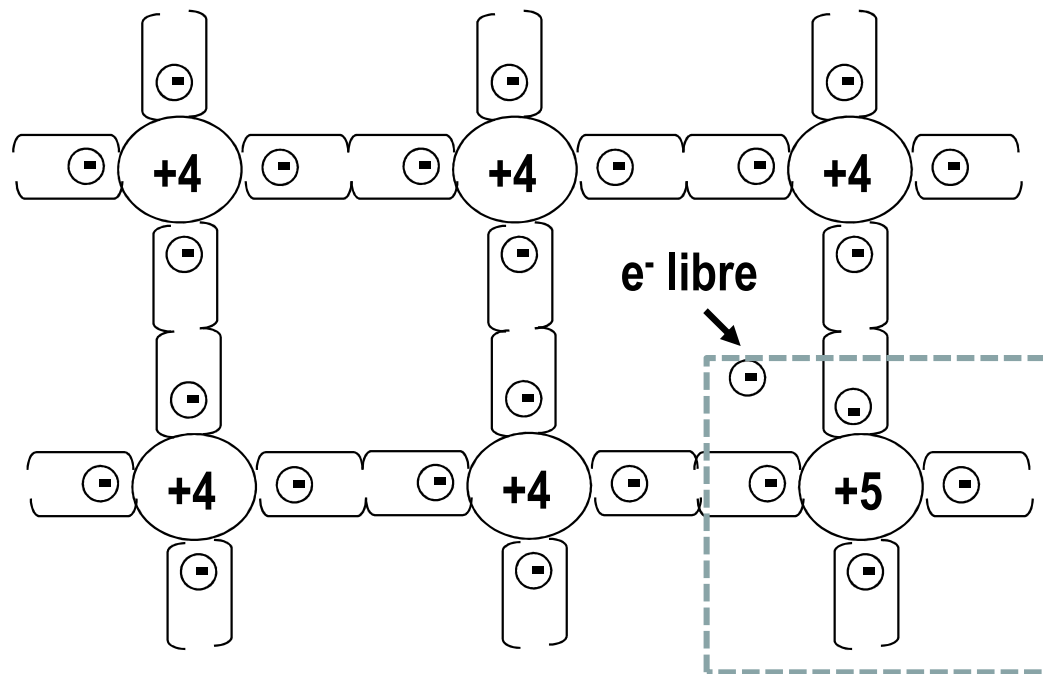
Dos tipos de portadores:  
 $e^-$  y  $h^+$

$$J_a = J_{an} + J_{ap} = q \cdot n \cdot \mu_n \cdot E + q \cdot p \cdot \mu_p \cdot E$$

# Semiconductores Extrínsecos.

- Concepto de Impureza (Donante)

**TIPO n:** Se añaden al semiconductor átomos con un electrón más en la banda de valencia. Ej: Fósforo (P).



$$n_i^2(T) = n \cdot p$$

$$n > p \text{ (extrínseco tipo n)}$$

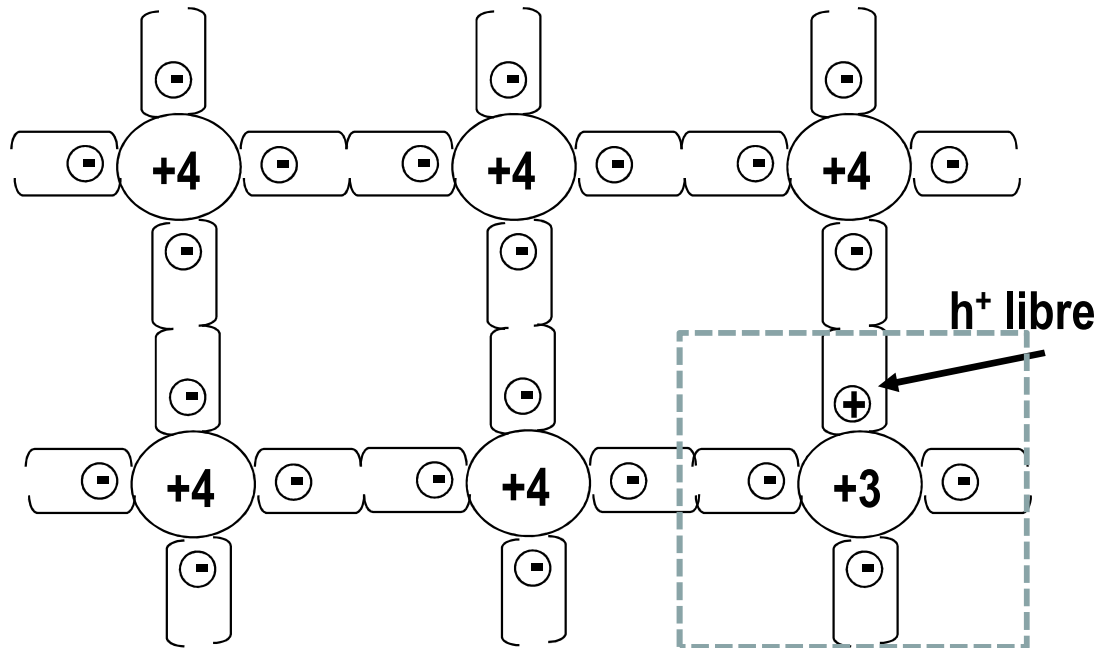
$e^-$  : portadores mayoritarios

$h^+$  : portadores minoritarios

# Semiconductores Extrínsecos.

- Concepto de Impureza (Aceptadora)

**TIPO p:** Se añaden al semiconductor átomos con un electrón menos en la banda de valencia.  
Ej: Boro (B)



$$n_i^2(T) = n \cdot p$$

$$p > n \text{ (extrínseco tipo p)}$$

$h^+$  : portadores mayoritarios

$e^-$  : portadores minoritarios



# Semiconductores Tipo p y Tipo n.

## SEMICONDUCTOR TIPO n

- Aporta extra de  $e^-$  portadores mayoritarios ( $n_o \sim N_D$ )
- Menos  $h^+$  portadores minoritarios ( $p_n = n_i^2 / N_D$ )

## SEMICONDUCTOR TIPO p

- Aporta extra de  $h^+$  portadores mayoritarios ( $p_o \sim N_A$ )
- Menos  $e^-$  portadores minoritarios ( $n_p = n_i^2 / N_A$ )

## DE LA TEORÍA DE SEMICONDUCTOR INTRÍNSECO

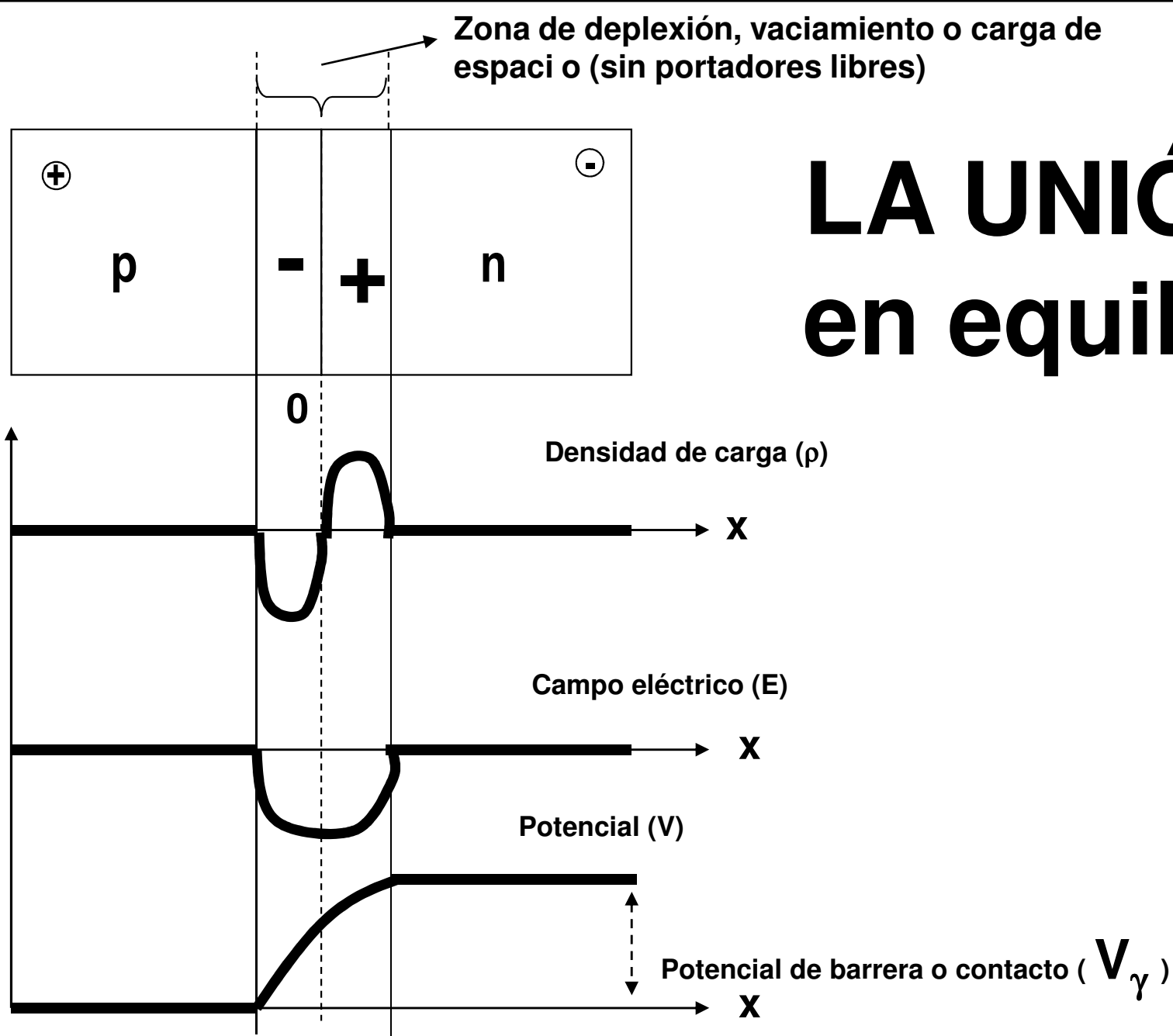
- $N_A \sim N_D \rightarrow$  Sc Compensado: Equivalente a intrínseco
- Aumento de T  $\rightarrow$  Aumenta pares  $e^- h^+$
- T muy alta  $\rightarrow$  Equivalente a intrínseco (ya no son minoritarios)

# La Unión p-n.

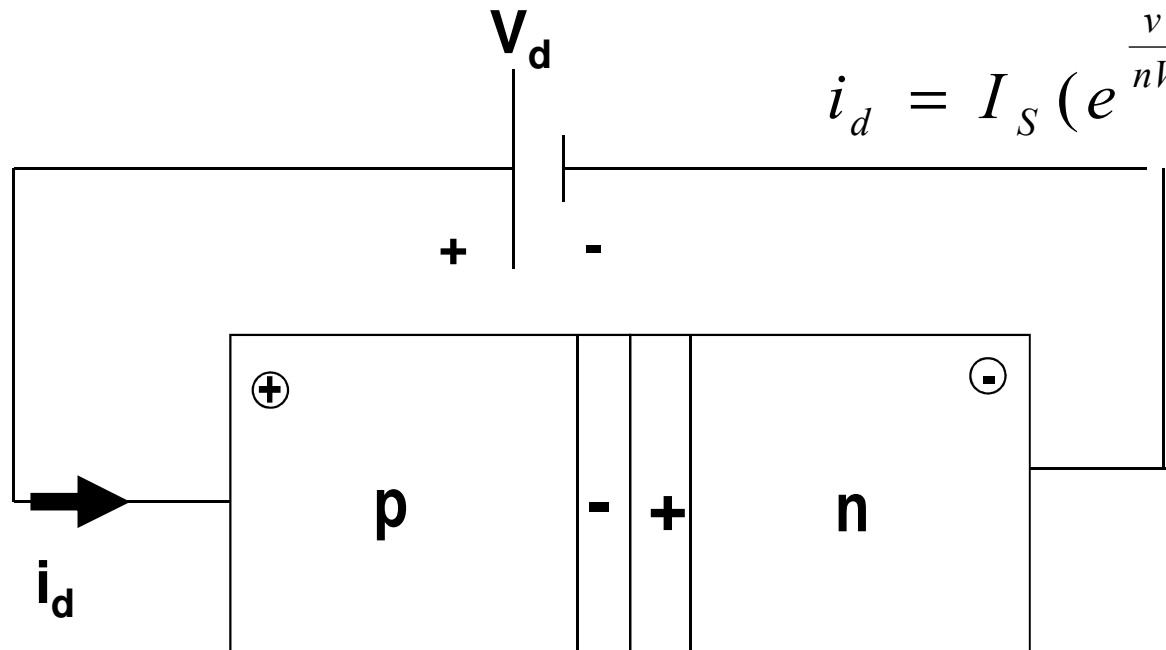
## *Resumen de Portadores y Corrientes*

- **CORRIENTES DE PORTADORES:**
  - Considerar tanto Mayoritarios como Minoritarios
  - Considerar tanto Electrones como Huecos
- **TIPOS DE CORRIENTES:**
  - **DE ARRASTRE:** Por acción de un campo eléctrico ( $\sigma$ )
  - **DE DIFUSIÓN:** Compensa gradiente de concentración

# LA UNIÓN p-n en equilibrio



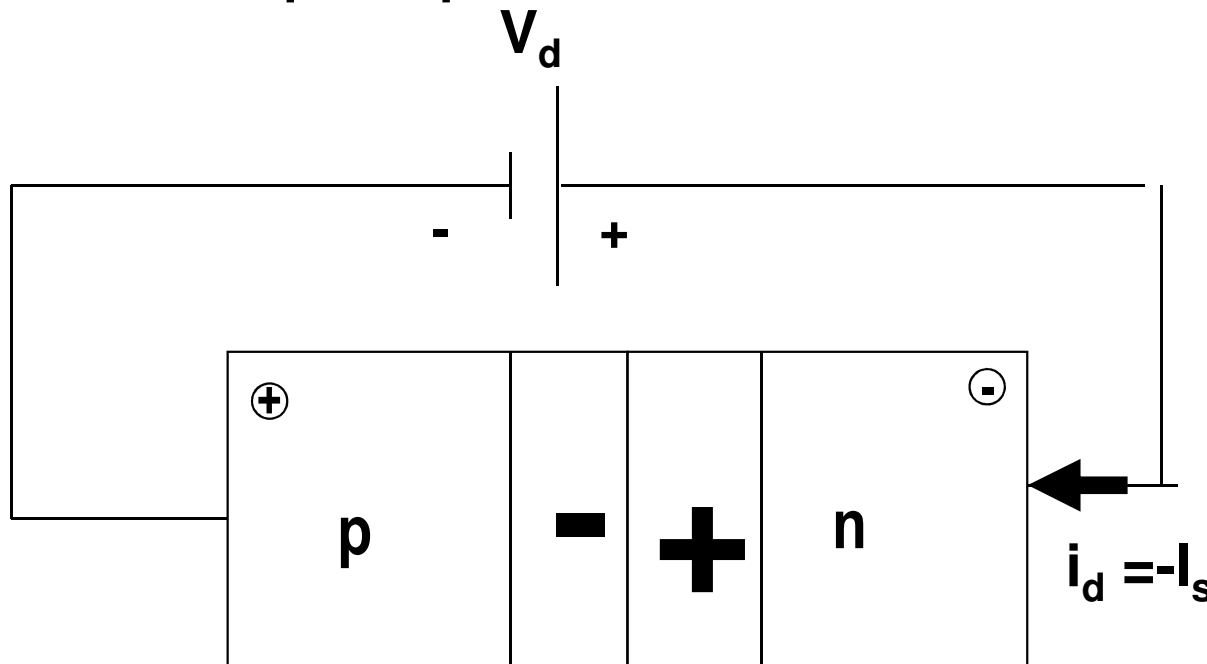
## LA UNIÓN pn en polarización directa



$$i_d = I_S \left( e^{\frac{v_d}{nV_t}} - 1 \right)$$

- Elimino la barrera de potencial
- Sobre todo circulan mayoritarios por difusión (*exp*), también minoritarios.

## LA UNIÓN pn en polarización inversa

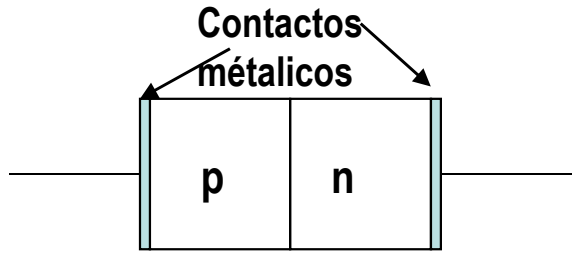


# LA UNIÓN p-n polarizada

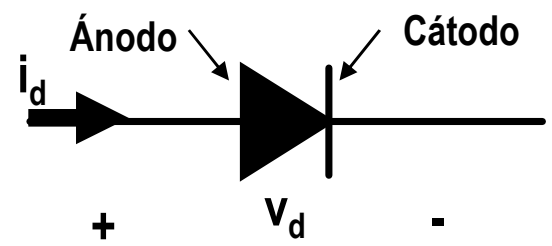
- Mayor barrera de potencial
- Solo circulan minoritarios

# EL DIODO DE UNIÓN p-n

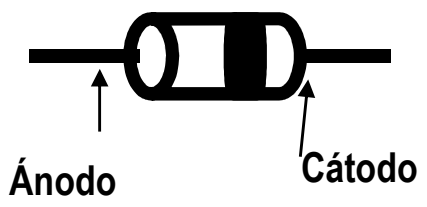
ESTRUCTURA



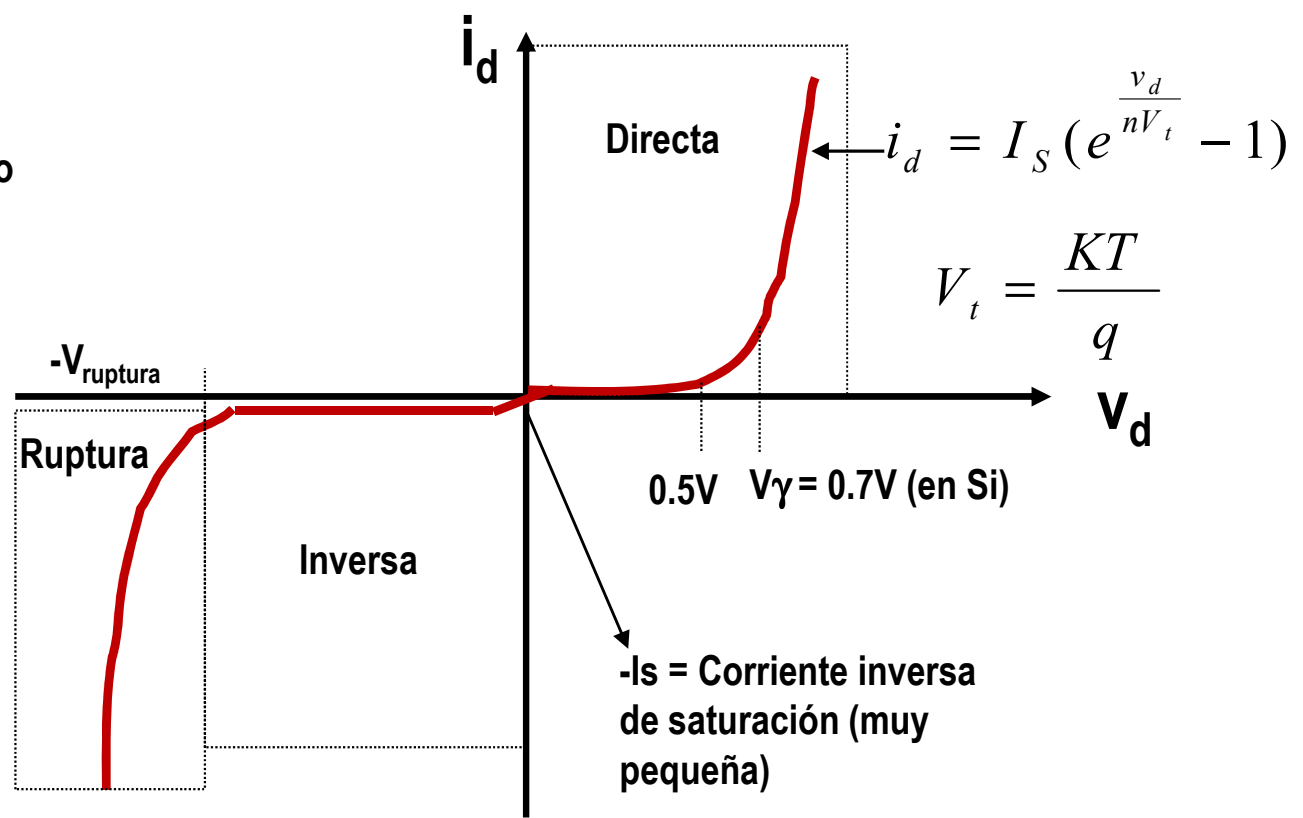
SÍMBOLO



ENCAPSULADO



CURVA CARACTERÍSTICA



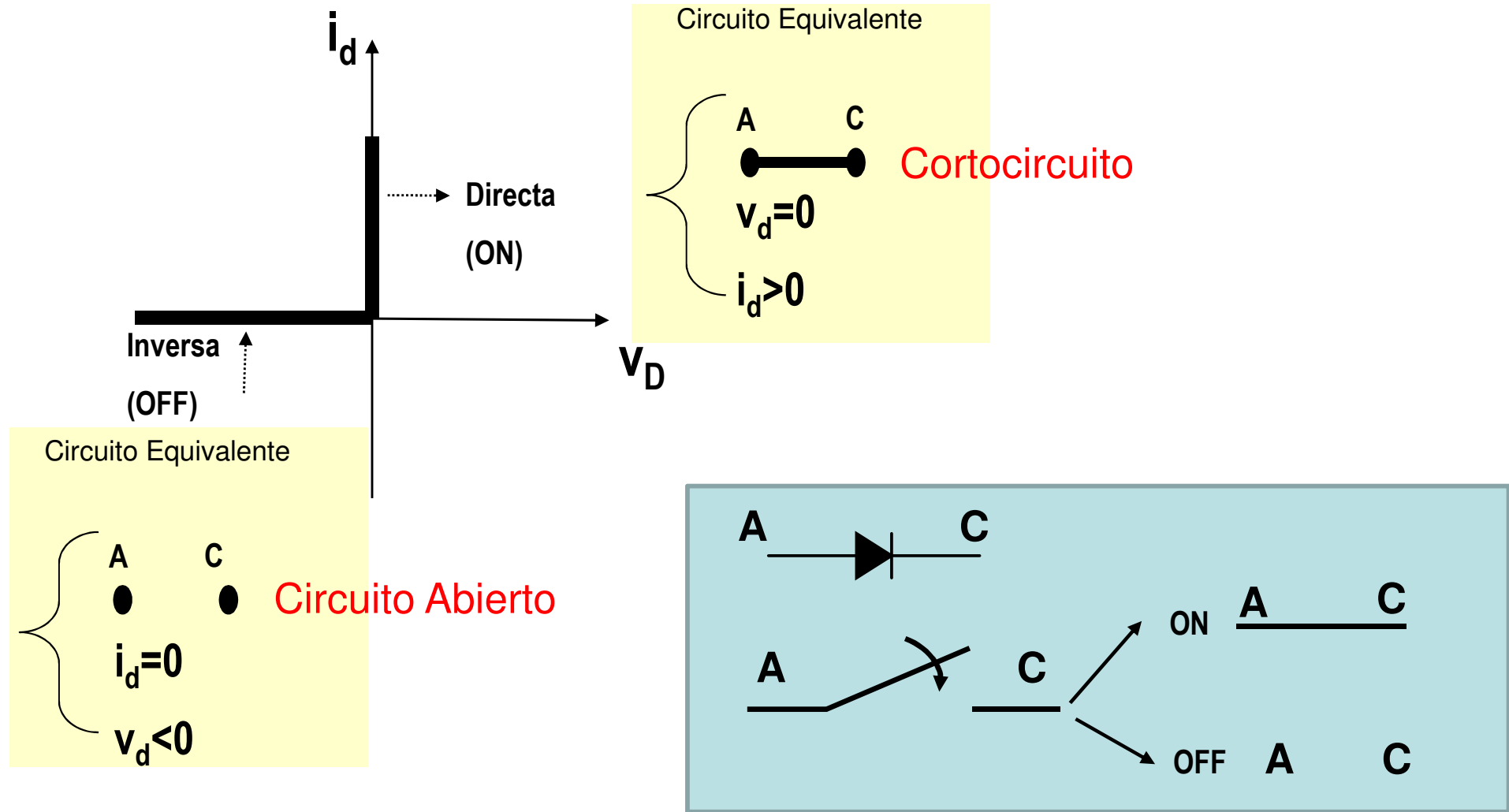
# Diodos de unión y aplicaciones

## OBJETIVOS

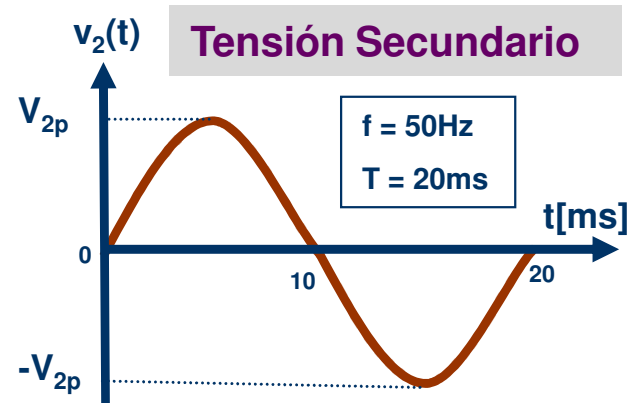
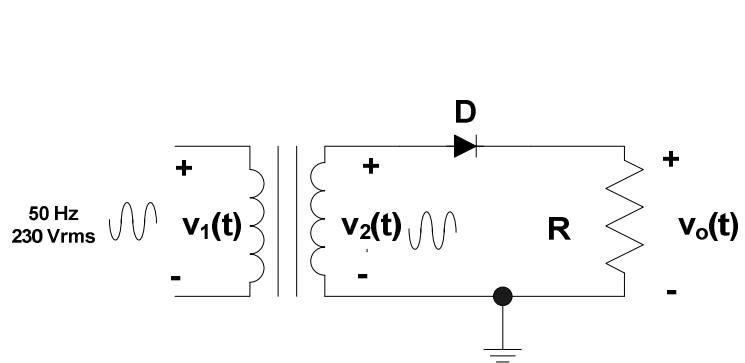
- Conocer el funcionamiento básico de un diodo como componente de un circuito y sus modelos equivalentes
- Entender los umbrales de conducción y aplicarlos en el análisis de circuitos con diodos
- Conocer diferentes tipos de circuitos con diodos

# Diodo Ideal

## Aproximaciones curva característica

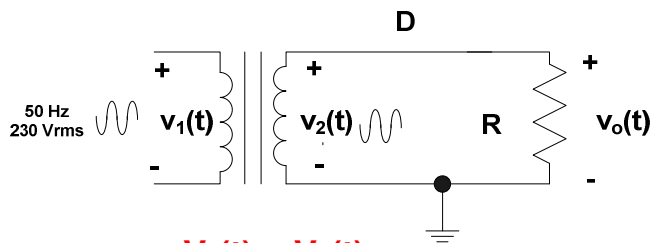


# Ejemplo: Rectificador de 1/2 onda



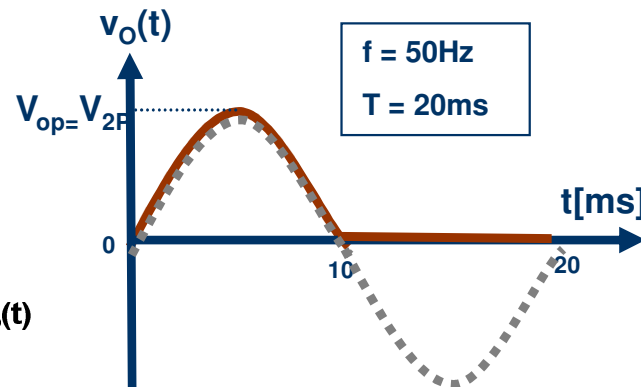
$V_2(t) > 0$

D ON

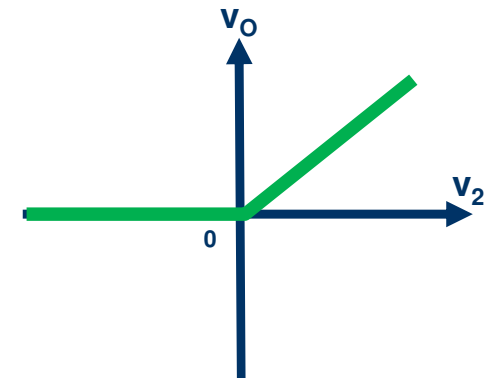


$$V_o(t) = V_2(t)$$

Tensión Salida

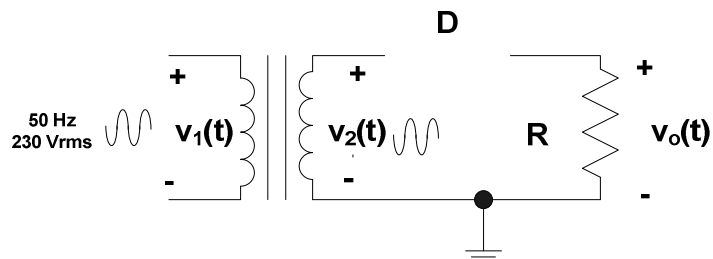


Función de transferencia



$V_2(t) < 0$

D OFF



$$V_o(t) = 0$$

D ON

$V_2(t) > 0$

D OFF

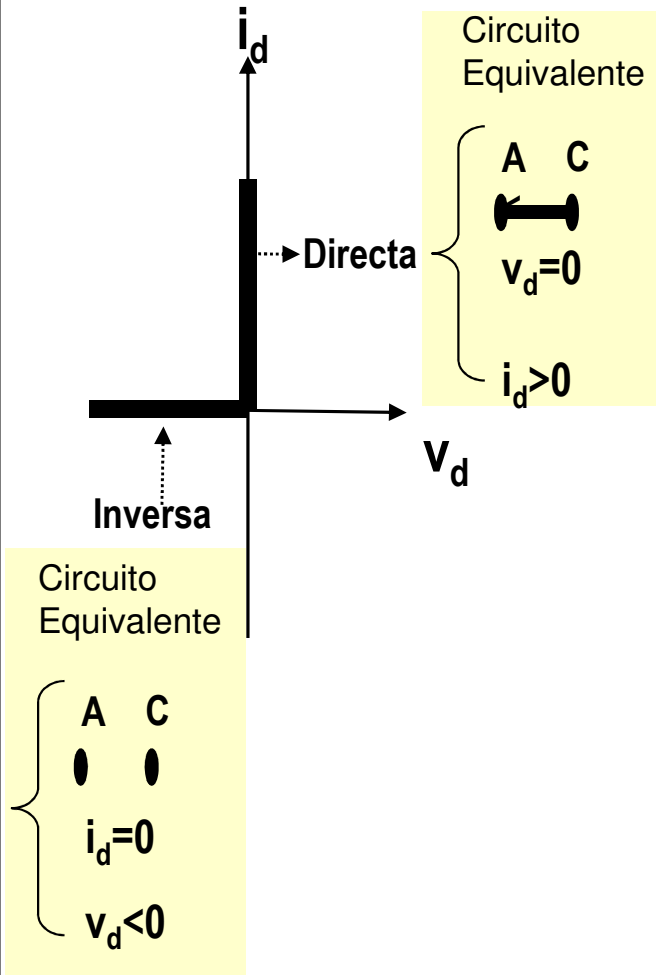
$V_2(t) < 0$



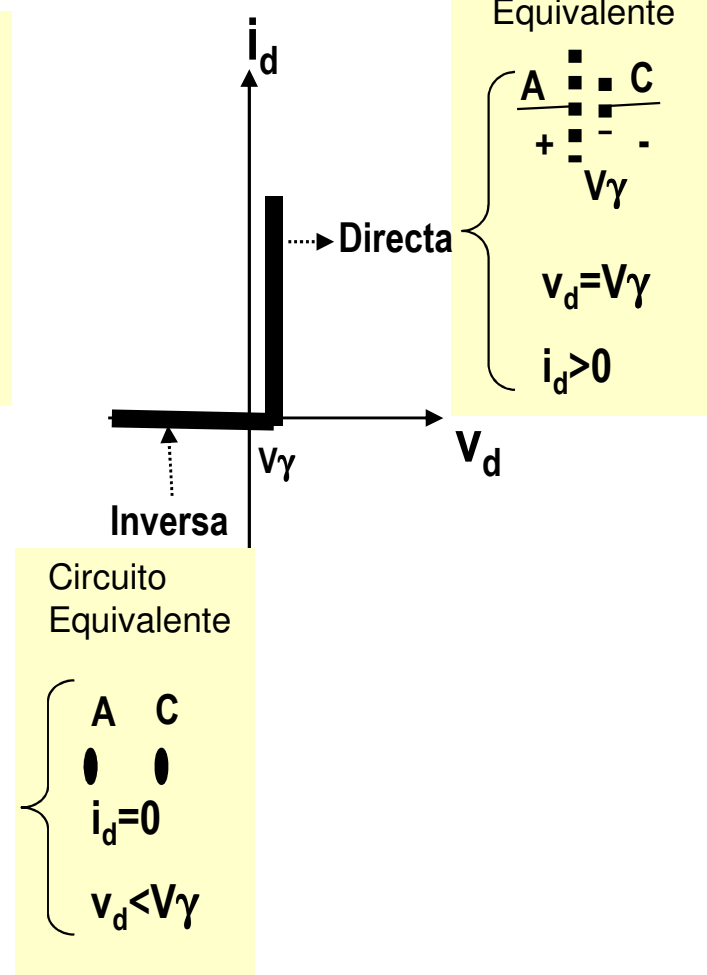
# Equivalentes Circuitales del diodo

## Aproximaciones curva característica

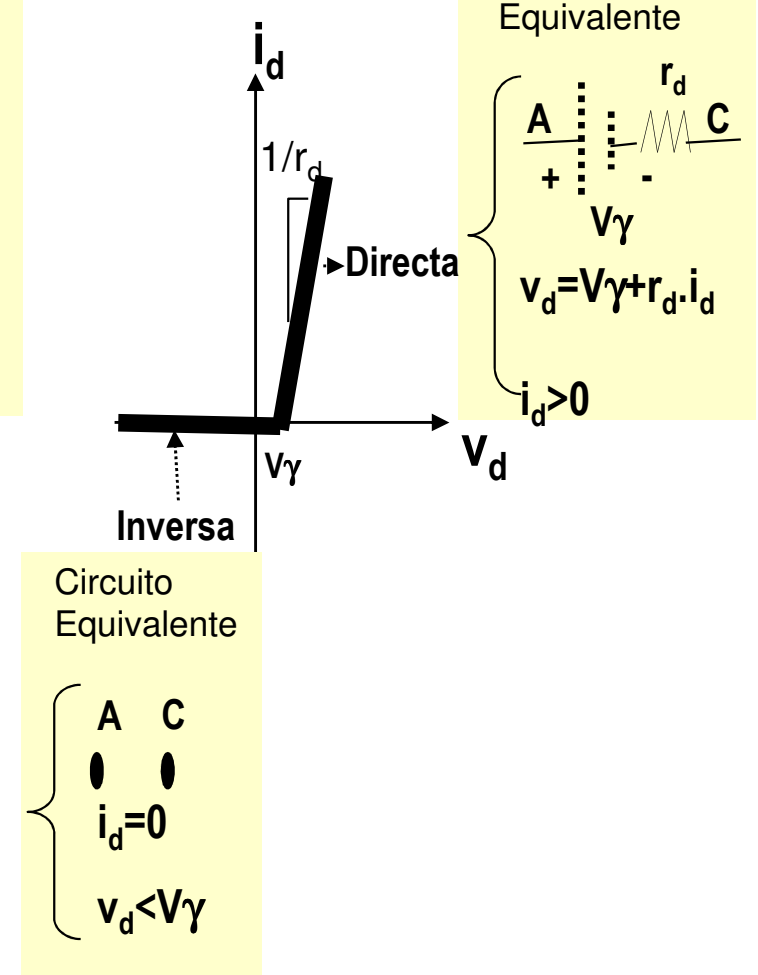
### 1ª Aproximación: Diodo Ideal



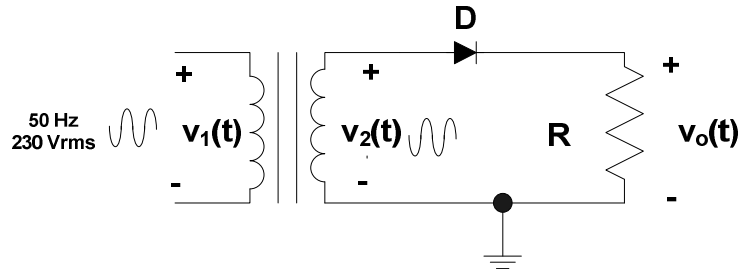
### 2ª Aproximación



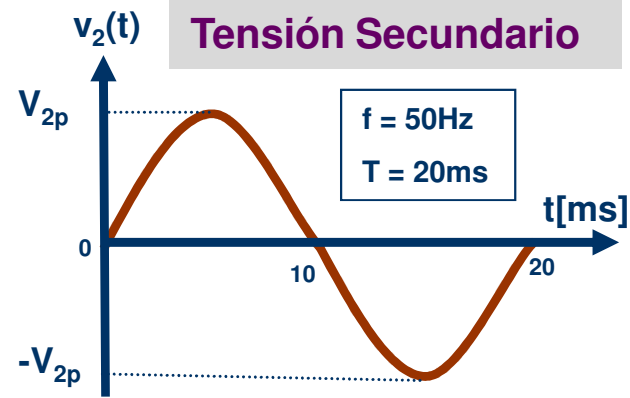
### 3ª Aproximación



# CIRCUITOS RECTIFICADORES

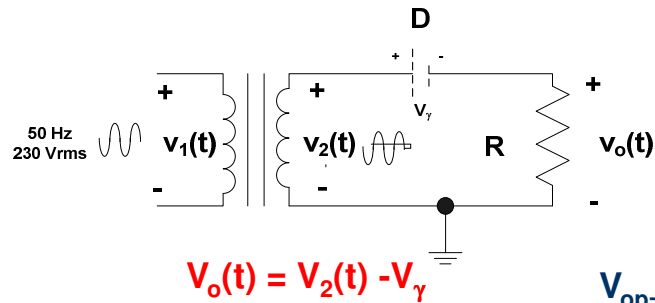


2ª Aproximación

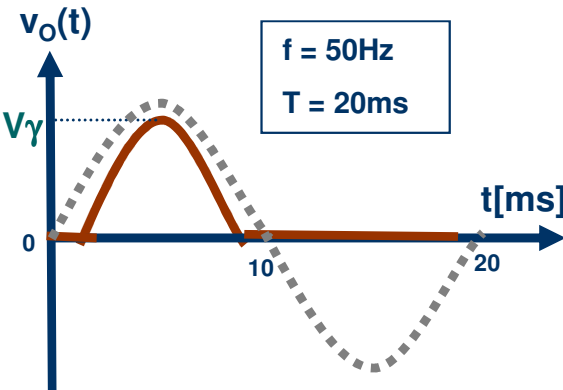


$V_2(t) > V_\gamma$

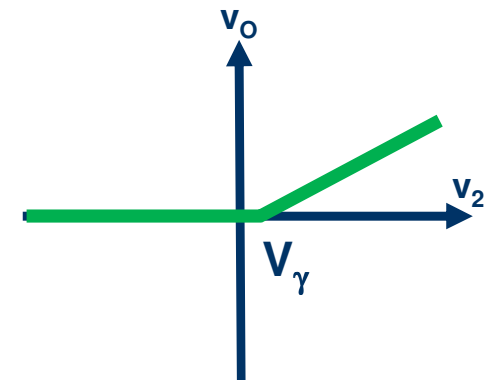
D ON



Tensión Salida

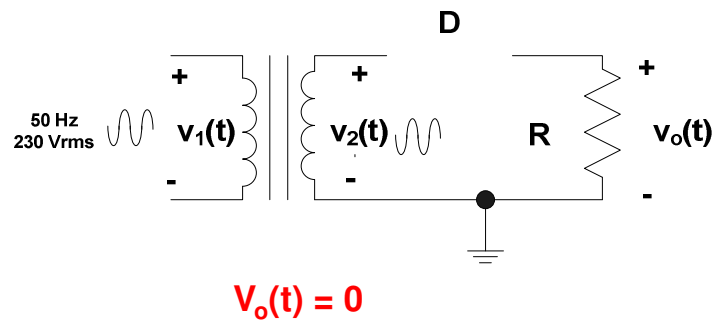


Función de transferencia



$V_2(t) < V_\gamma$

D OFF



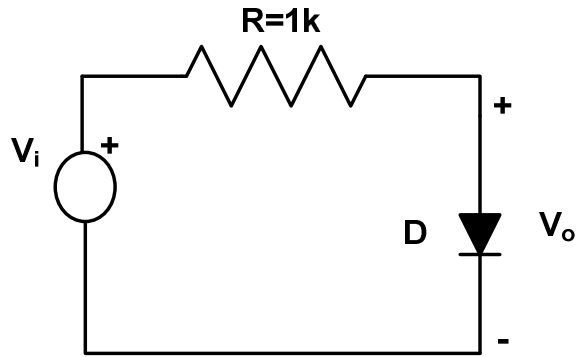
D ON

$V_2(t) > V_\gamma$

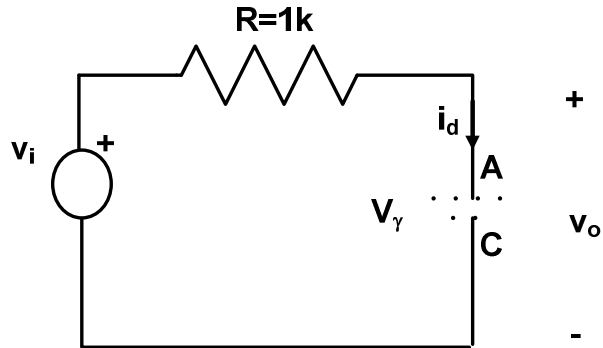
D OFF

$V_2(t) < V_\gamma$

# CIRCUITOS RECORTADORES

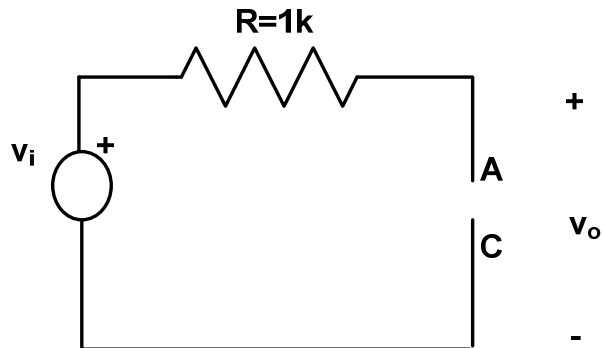


$V_i > V_\gamma$   
D ON



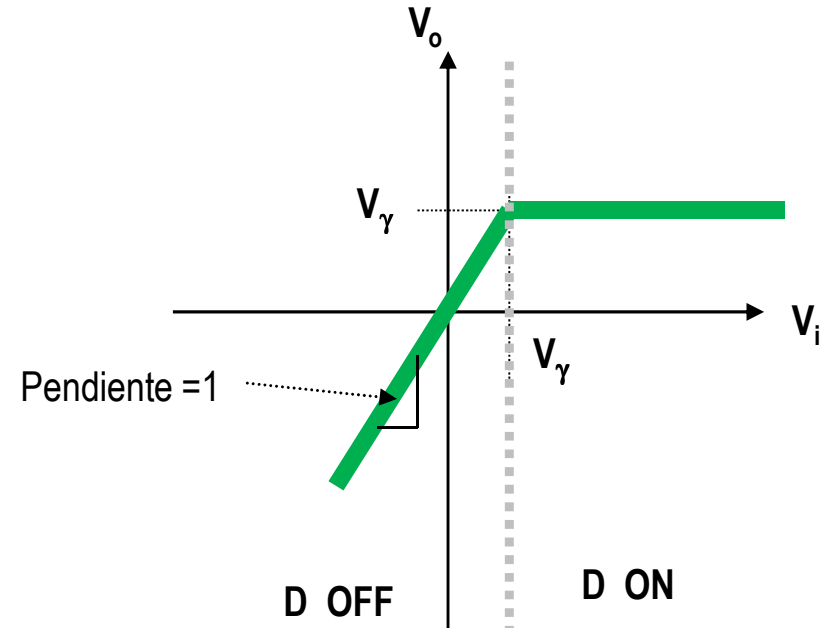
$$V_o = V_\gamma$$

$V_i < V_\gamma$   
D OFF



$$V_o = V_i$$

## Función de transferencia



## Tensión Salida

