

# TEMA 1.2

## UNIÓN PN. DIODO.

# CUD

TEMA 1  
SEMICONDUCTORES. DIODO.

FUNDAMENTOS DE  
ELECTRÓNICA



Centro Universitario  
de la Defensa Zaragoza

09 de octubre de 2014

# TEMA 1.2 – UNIÓN PN. DIODO.

- Ø Introducción.
- Ø Unión PN en equilibrio térmico
- Ø Unión PN polarizada
- Ø Modelos de gran señal

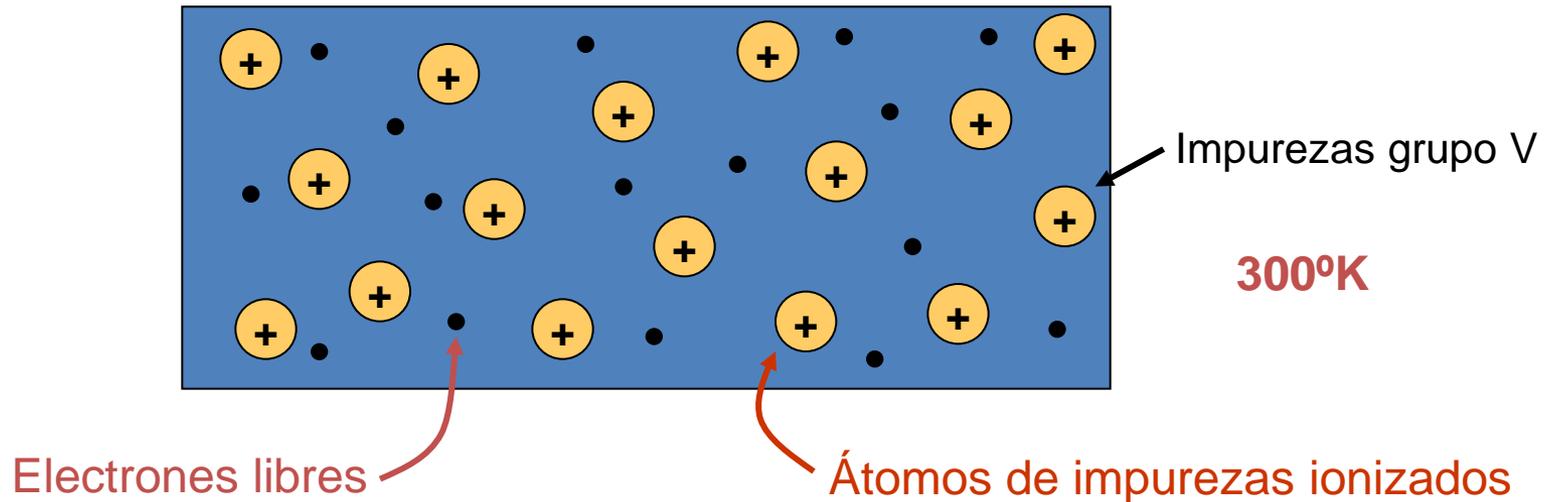


# TEMA 1.2 – UNIÓN PN. DIODO.

- Ø Introducción.
- Ø Unión PN en equilibrio térmico
- Ø Unión PN polarizada
- Ø Modelos de gran señal

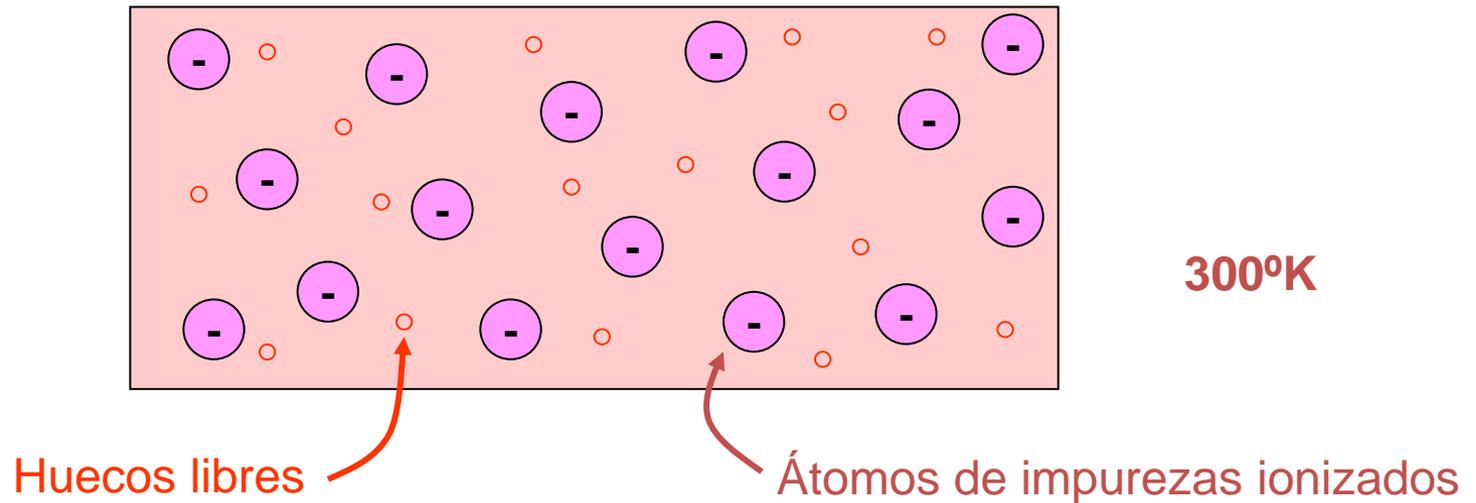


# SEMICONDUCTOR EXTRÍNSECO TIPO N



**Los portadores mayoritarios o de carga en un semiconductor tipo N son electrones libres**

# SEMICONDUCTOR EXTRÍNSECO TIPO P



**Los portadores mayoritarios o de carga en un semiconductor tipo P son huecos. *Actúan como portadores de carga positiva.***

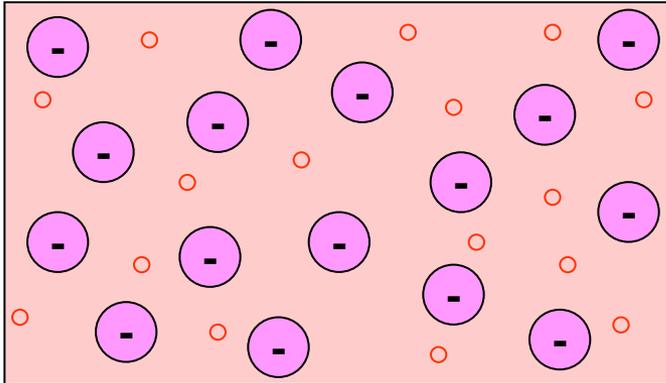
# TEMA 1.2 – UNIÓN PN. DIODO.

- Ø Introducción.
- Ø Unión PN en equilibrio térmico
- Ø Unión PN polarizada
- Ø Modelos de gran señal



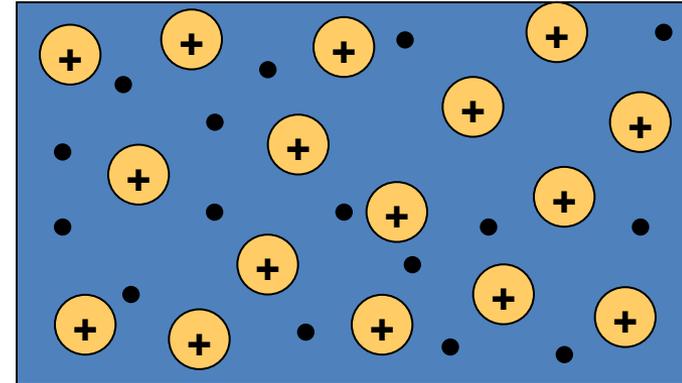
# LA UNIÓN P-N EN EQUILIBRIO TÉRMICO

∅ Eq. térmico: no hay excitación externa ni corriente neta



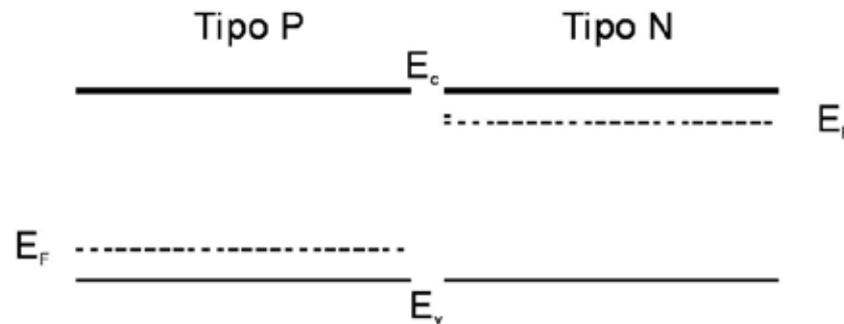
## Semiconductor tipo P

Portadores mayoritarios: HUECOS  
Portadores minoritarios: ELECTRONES

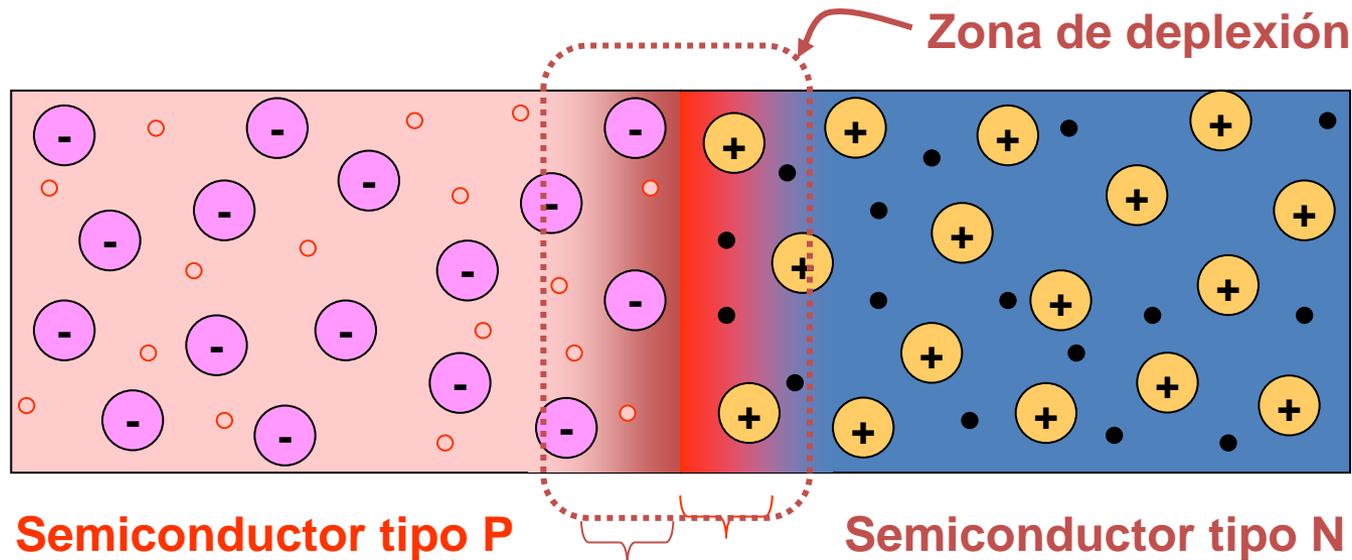


## Semiconductor tipo N

Portadores mayoritarios: ELECTRONES  
Portadores minoritarios: HUECOS



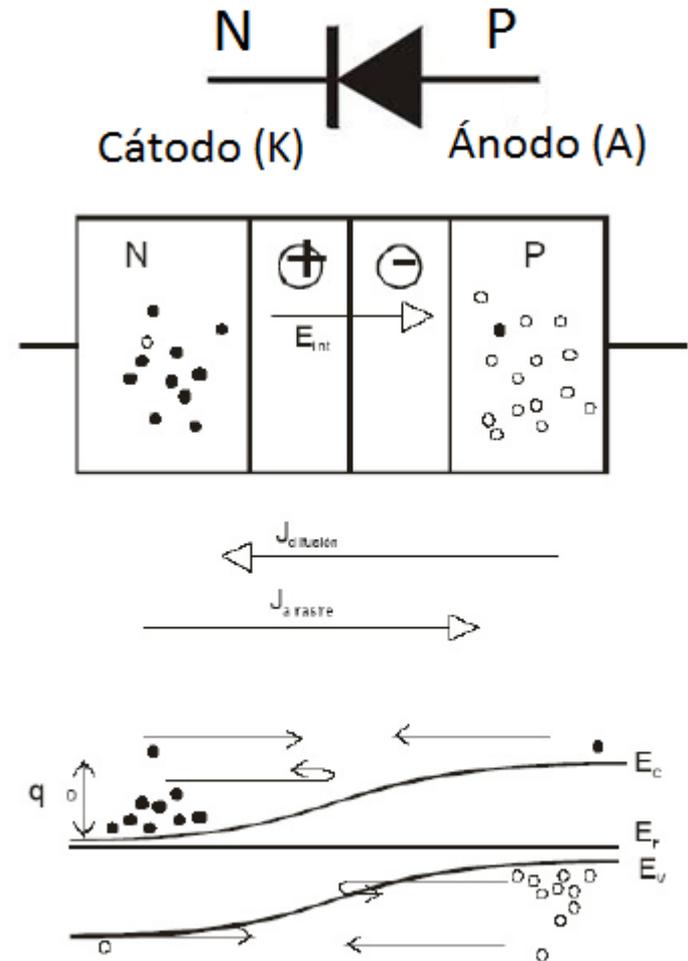
# LA UNIÓN P-N EN EQUILIBRIO TÉRMICO



- ∅ Al poner los dos semiconductores en contacto, tendremos corrientes de difusión de electrones y huecos próximos a la unión que tienden a igualar las concentraciones
- ∅ Aparece una zona de carga espacial denominada 'zona de deplexión o transición'.

# LA UNIÓN P-N EN EQUILIBRIO TÉRMICO

- ∅ Las cargas fijas que dejan los portadores al difundirse crean un campo eléctrico que genera una corriente de arrastre que se opone a la difusión.
- ∅ Se llega a una situación de equilibrio térmico en la que se compensan ambos procesos.
- ∅ El campo eléctrico generado entre ambas zonas se manifiesta como una **barrera de potencial**.



# POTENCIAL DE UNIÓN

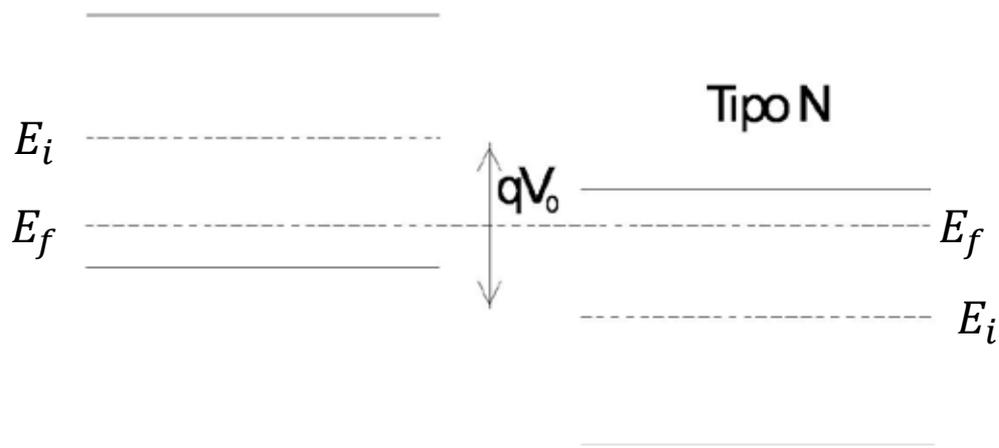
∅ Se definen los potenciales de Fermi para cada zona como:

$$q\phi_{FN} = E_{FN} - E_{iN} \quad (\text{Subíndice } N \rightarrow \text{Zona } N)$$
$$q\phi_{FP} = -(E_{FP} - E_{iP}) \quad (\text{Subíndice } P \rightarrow \text{Zona } P)$$

∅ Por tanto, la altura de la barrera de energía potencial ( $qV_0$ ) viene dada por:

Tipo P

$$qV_0 = q\phi_{FN} + q\phi_{FP}$$



# POTENCIAL DE UNIÓN

Ø Sólo queda relacionar los potenciales de Fermi con las concentraciones de portadores o con los dopados:

$$n_{N0} = n_i e^{\frac{q\Phi_N}{kT}}$$

$$p_{P0} = n_i e^{\frac{q\Phi_P}{kT}}$$

*$V_o \approx 0,7$  para el Si  
 $V_o \approx 0,3$  para el Ge*

$$V_o = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{n_{N0} p_{P0}}{n_i^2} \right) \cong \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{N_D N_A}{n_i^2} \right)$$

Ø Resulta interesante relacionar los cocientes de las concentraciones de electrones (o huecos) en las dos zonas neutras (N y P). De la igualdad anterior y aplicando la ley de acción de masas:

$$\frac{n_{N0}}{n_{P0}} = \frac{p_{P0}}{p_{N0}} = e^{\frac{qV_o}{kT}}$$

# TEMA 1.2 – UNIÓN PN. DIODO.

- Ø Introducción.
- Ø Unión PN en equilibrio térmico
- Ø Unión PN polarizada
- Ø Modelos de gran señal

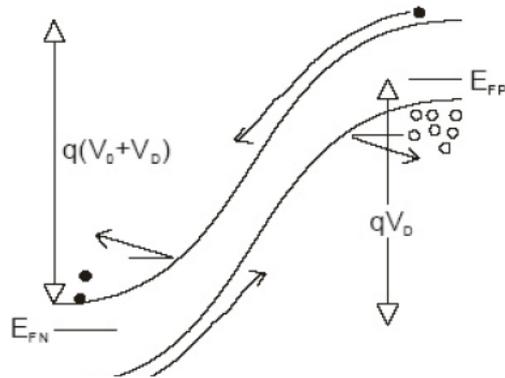
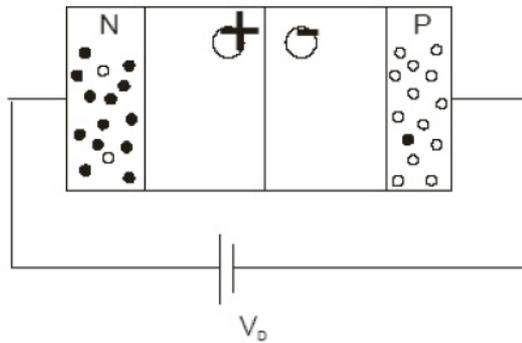


# UNIÓN PN POLARIZADA

- ∅ En equilibrio térmico hemos visto que la altura de la barrera es tal que se compensan las corrientes de difusión y deriva.
- ∅ Si se aplica una tensión externa  $V_D$ , se incrementa (si  $V_D < 0$ ) o reduce la barrera ( $V_D > 0$ )
- ∅ Supondremos que toda la tensión aplicada  $V_D$  cae en la región de la unión y una cantidad despreciable en las zonas neutras

# UNIÓN P-N POLARIZADA EN INVERSA

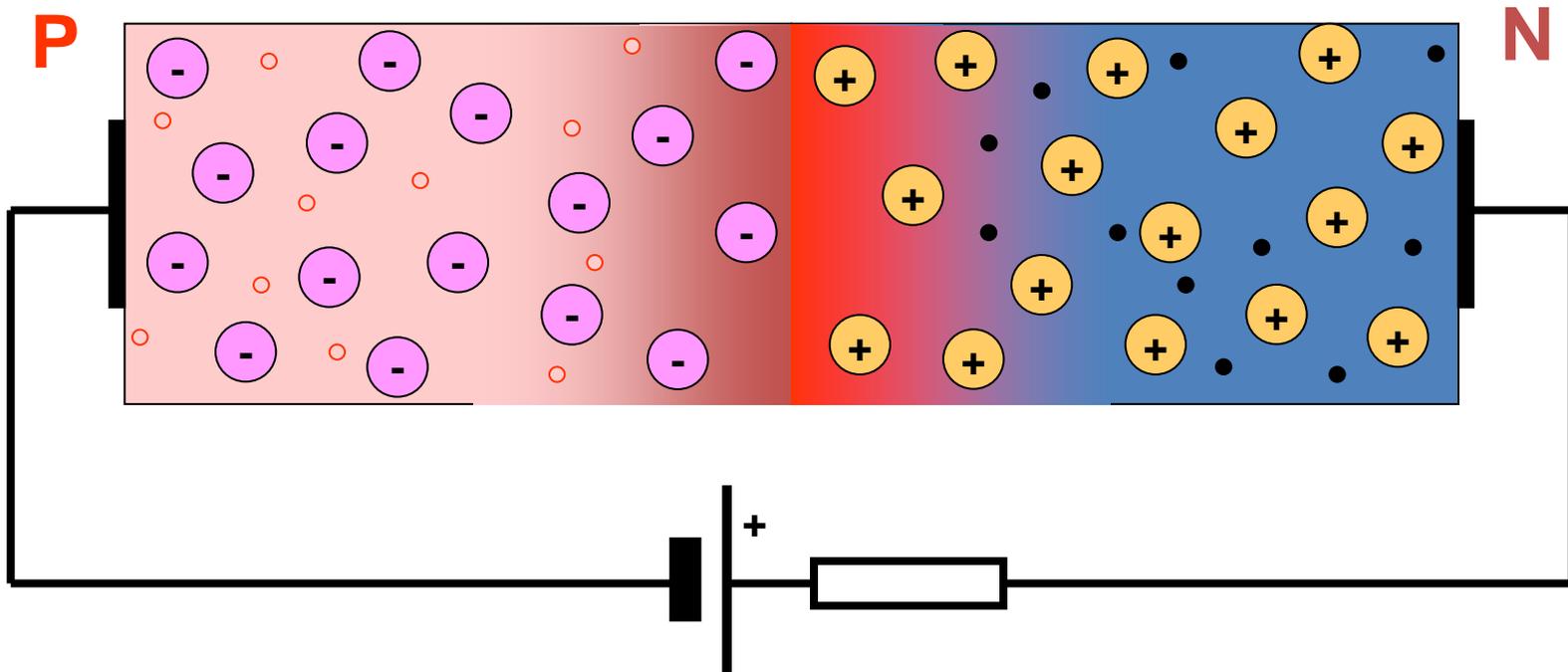
∅ Se incrementa la barrera de potencial respecto al caso de equilibrio térmico => se dificulta la corriente de difusión



∅ La corriente de arrastre apenas se ve alterada porque no está limitada por la velocidad de los portadores, sino por su cantidad.

∅ La magnitud de  $V_D$  en inversa apenas influye sobre la corriente obteniéndose un valor  $-I_S$  independiente de la polarización.

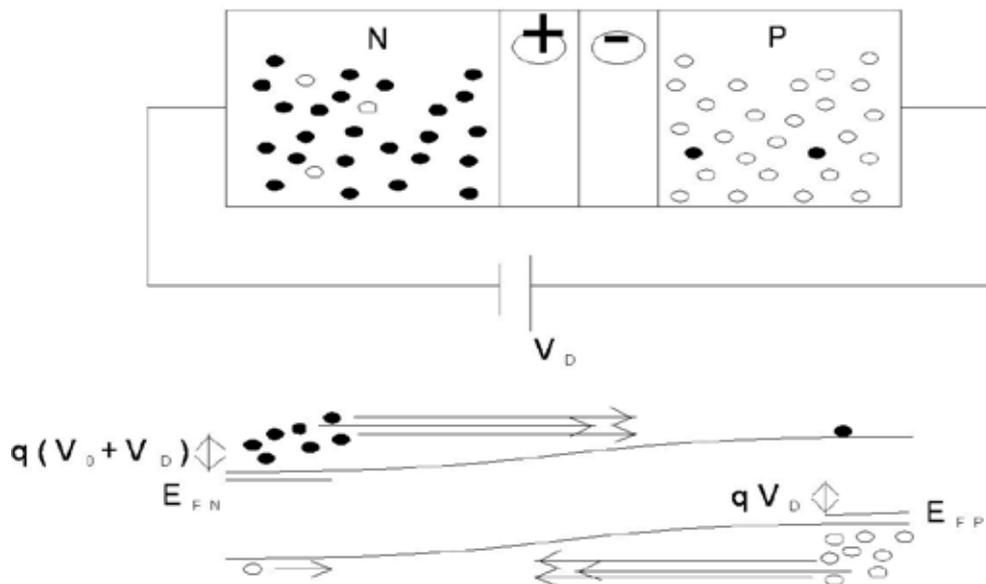
# UNIÓN P-N POLARIZADA EN INVERSA



- § **La zona de transición se hace más grande (CORRIENTE TRANSITORIA).**
- § **Con polarización inversa no hay circulación de corriente prácticamente.**
- § **Sólo circula gracias a unos pocos portadores minoritarios, una corriente denominada CORRIENTE INVERSA DE SATURACIÓN.**

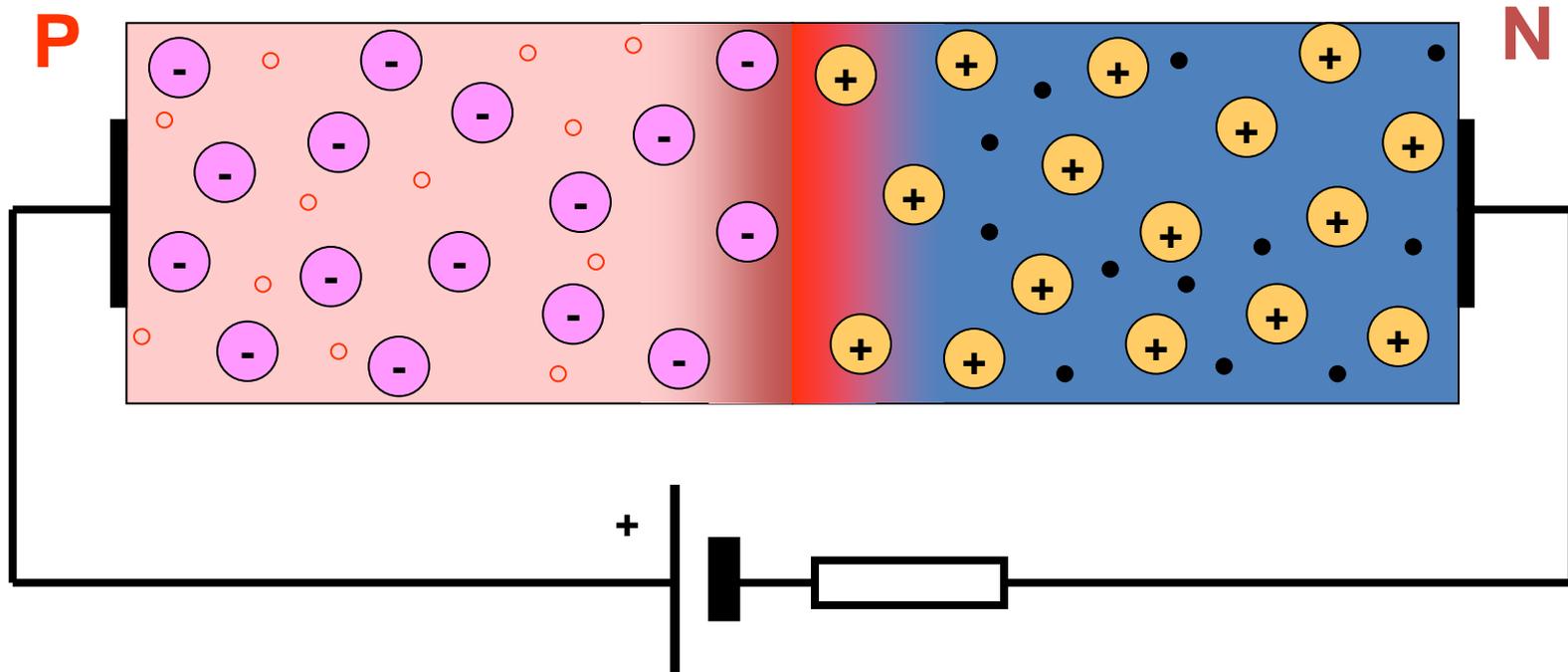
# UNIÓN P-N POLARIZADA EN DIRECTA

- ∅ Con tensiones positivas, la barrera que bloquea la difusión de los portadores mayoritarios disminuye.
- ∅ Cuanto más decrezca dicha barrera, más portadores mayoritarios la podrán superar y difundirse hacia el otro lado de la unión



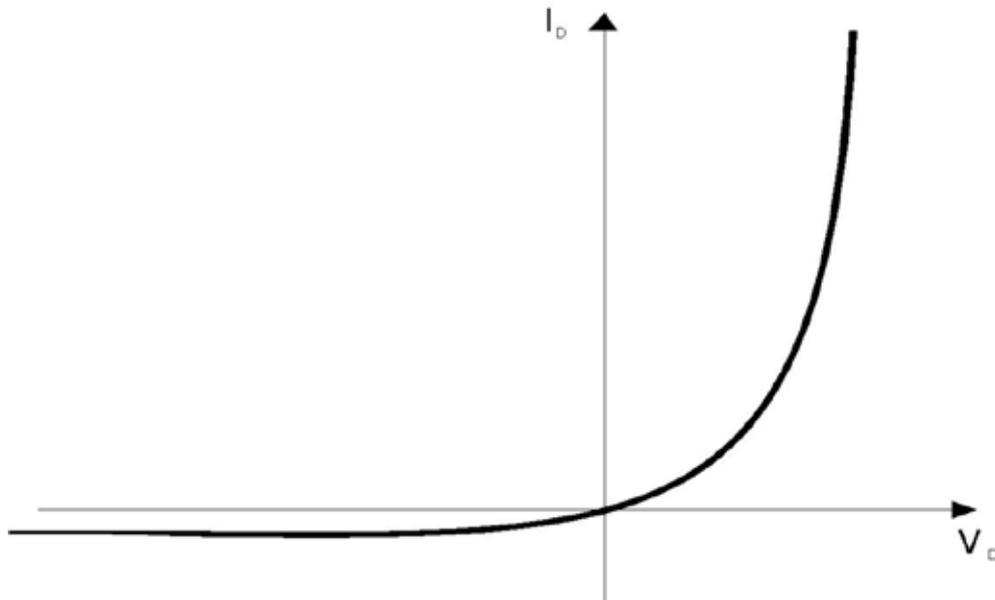
La corriente de arrastre es mucho menor que la corriente de difusión, con lo que tenemos una corriente neta diferente de cero

# UNIÓN P-N POLARIZADA EN DIRECTA



**La zona de transición se hace más pequeña. La corriente comienza a circular a partir de un cierto umbral de tensión directa.**

# CURVA I-V PARA LA UNIÓN PN



$$I = I_S \left[ e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right]$$

$$V_T = \frac{kT}{q}$$

$I_S$  corriente inversa de saturación.  
(muy pequeña)

# TEMA 1.2 – UNIÓN PN. DIODO.

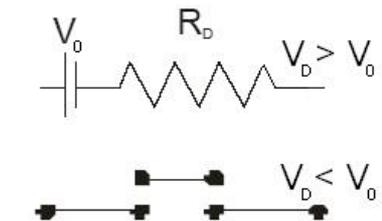
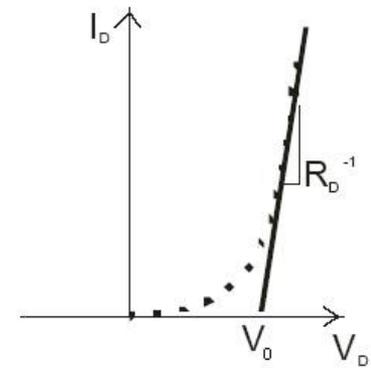
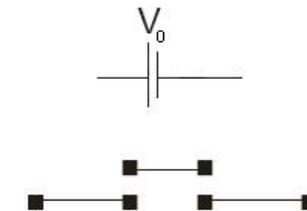
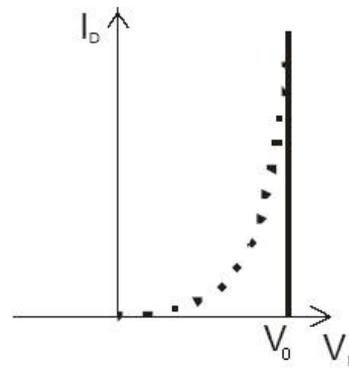
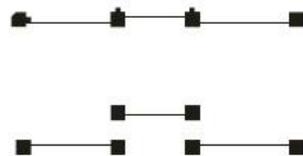
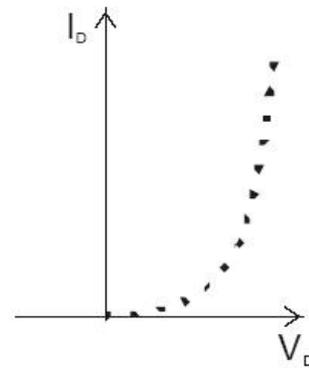
- Ø Introducción.
- Ø Unión PN en equilibrio térmico
- Ø Unión PN polarizada
- Ø Modelos de gran señal



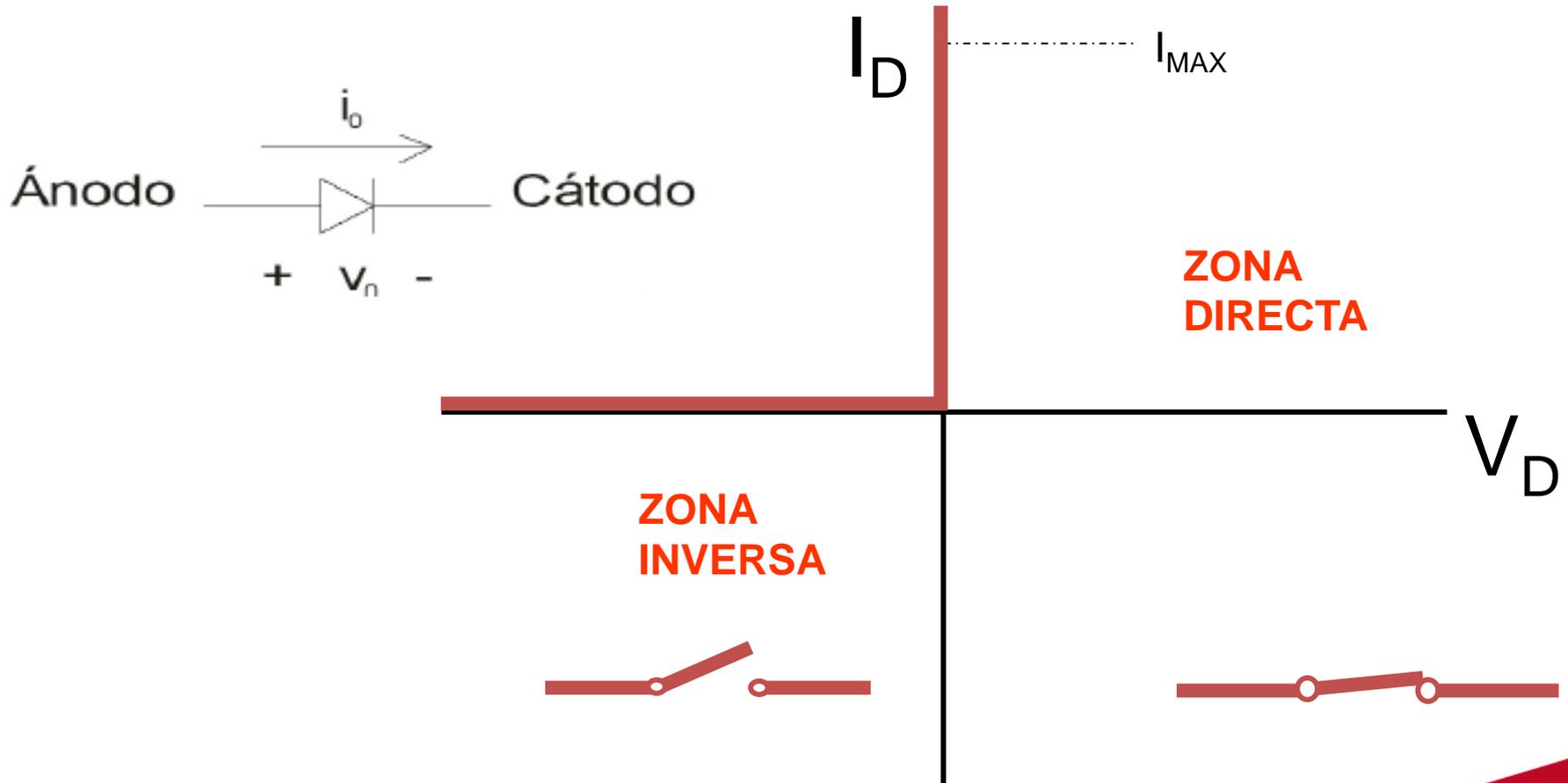
# MODELOS I-V EN GRAN SEÑAL

- ∅ La expresión exponencial resulta útil para resolver circuitos mediante ordenador (p.e. Spice), sin embargo no resulta ser cómoda para resolver circuitos a mano.
- ∅ Para cálculos a mano se usan los siguientes modelos simplificados:

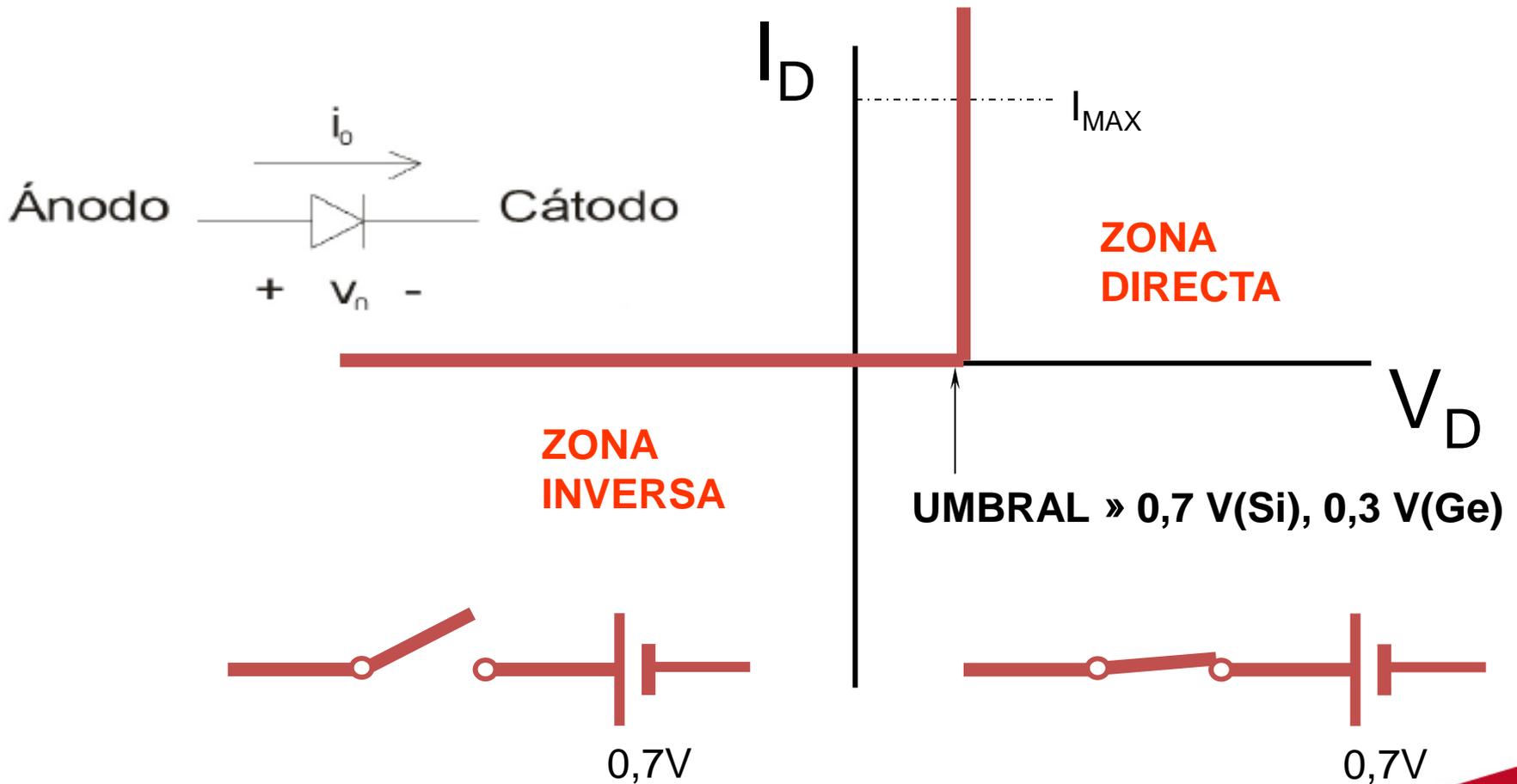
$$I = I_S \left[ e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right]$$



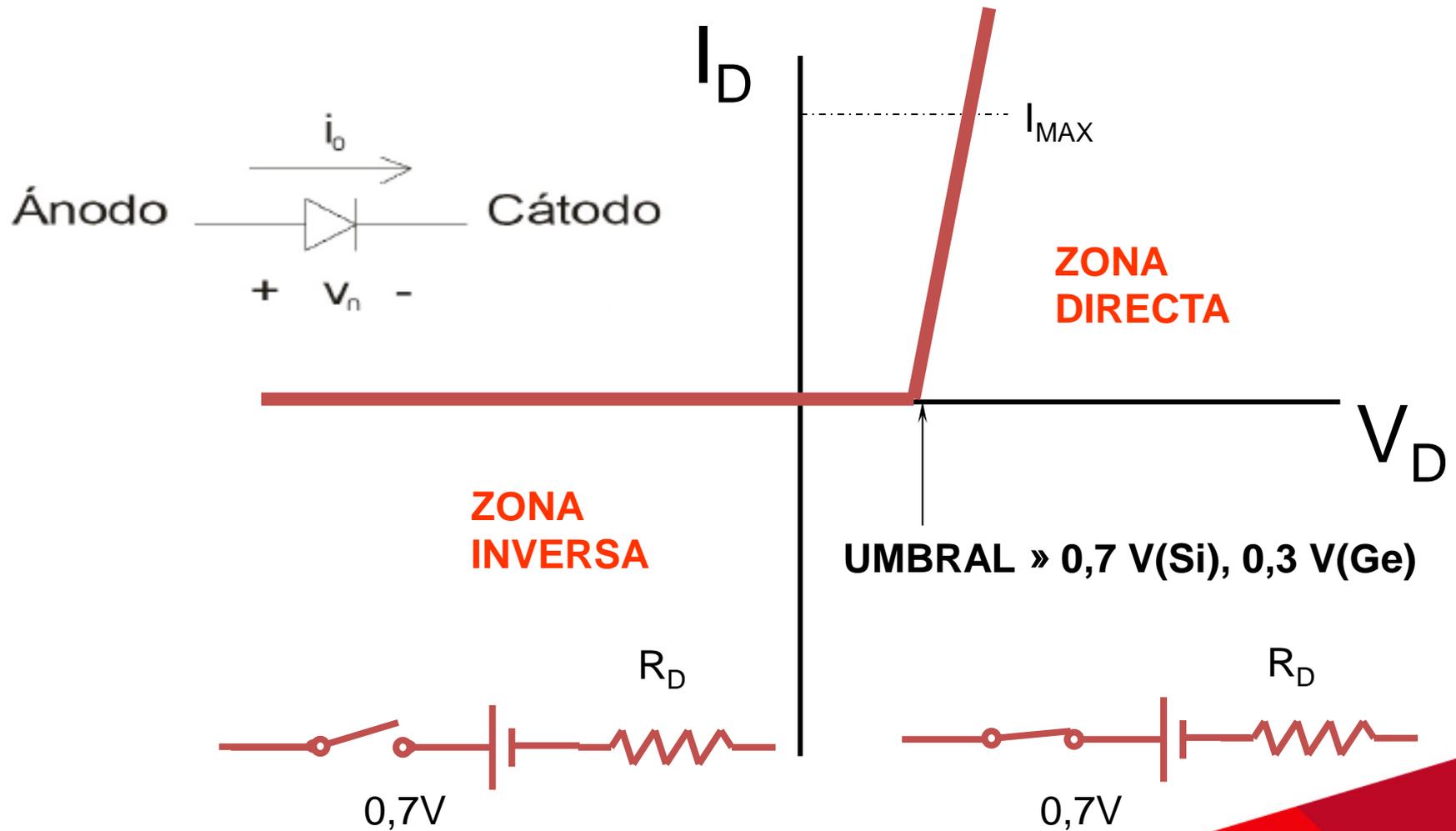
# PRIMERA APROXIMACIÓN: DIODO IDEAL



# SEGUNDA APROXIMACIÓN



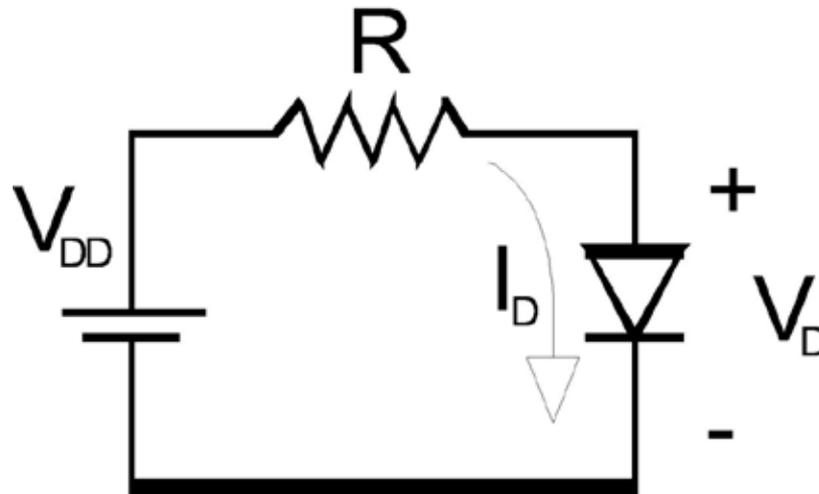
# TERCERA APROXIMACIÓN



# COMPARATIVA

Calcular la intensidad que circula por el siguiente circuito y la tensión que cae en el diodo utilizando los cuatro modelos anteriores.

- Datos modelo analítico:  $I_S = 2\text{fA}$ ,  $V_{DD} = 5\text{V}$ ,  $R = 1\text{k}\Omega$
- Datos aprox. lineales:  $V_0 = 0,65\text{V}$ ,  $R_D = 20\Omega$



# CIRCUITOS CON DIODOS

Pasos para resolver a mano circuitos con diodos.

1. A priori se desconoce el estado de cada diodo. Por ello, debe hacerse una suposición (razonada) del estado de cada diodo.
2. Dibujar el circuito sustituyendo los diodos según el estado supuesto en el punto anterior.
3. Resolver el circuito y determinar la **corriente** por cada **diodo en conducción** y la caída de **tensión** en cada **diodo en corte**.
4. Comprobar que las suposiciones realizadas para cada diodo son correctas, es decir, que no se incurre en ninguna contradicción con los resultados obtenidos. Ésta existe cuando la caída de tensión en un diodo que se supone en corte es mayor que la tensión umbral o cuando la corriente es negativa en un diodo que se supone en directa.
5. Si hay contradicciones, hay que volver al punto (1) y hacer una nueva suposición sobre los estados de los diodos.

# FENÓMENOS DE RUPTURA

Ø Según lo visto hasta ahora:

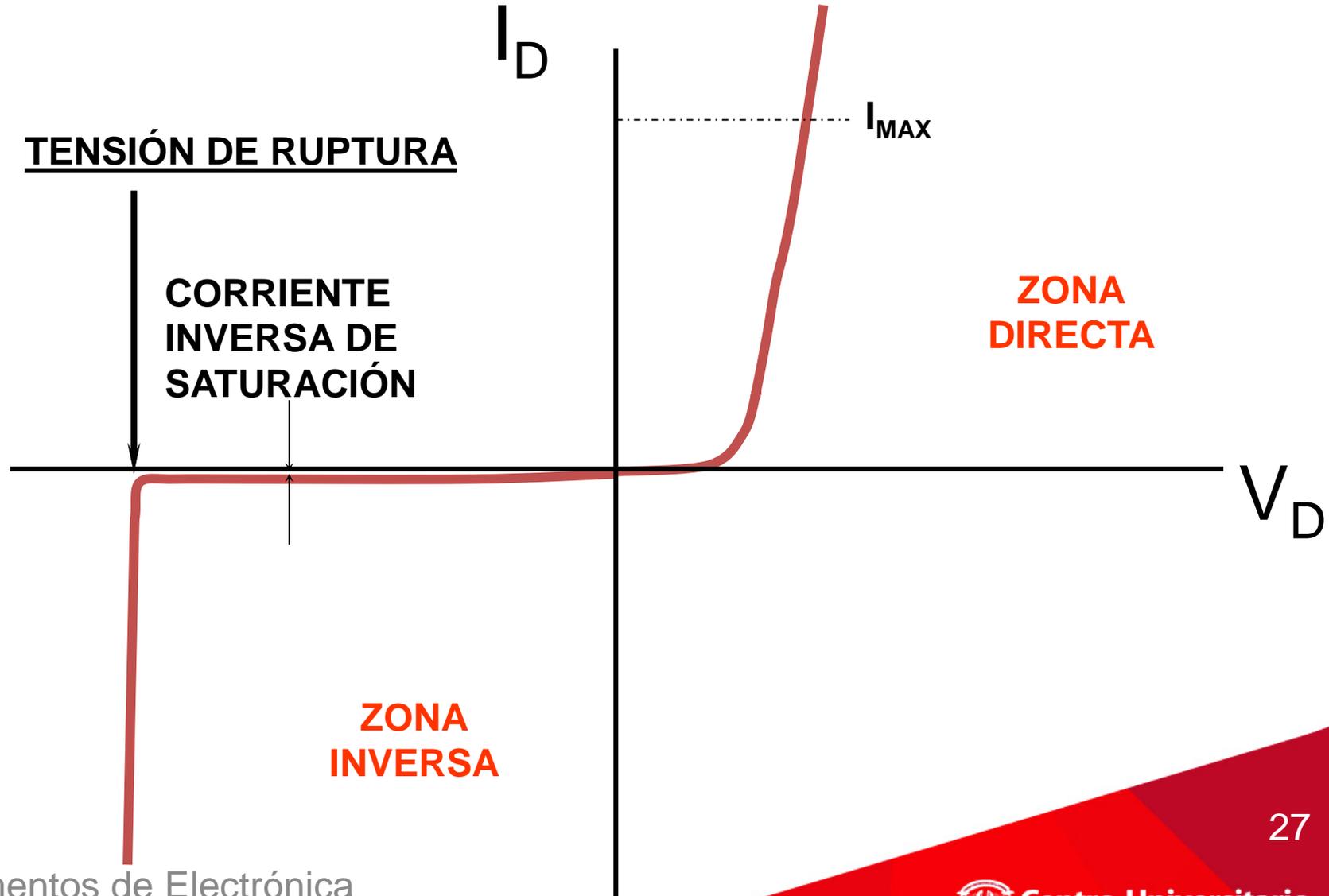
- Los diodos sólo conducen en directa
- En inversa tan sólo circula una pequeña corriente  $I_S$
- La ecuación que rige este comportamiento es:

$$I = I_S \left[ e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right]$$

Ø Algunos fenómenos no considerados modifican este comportamiento.

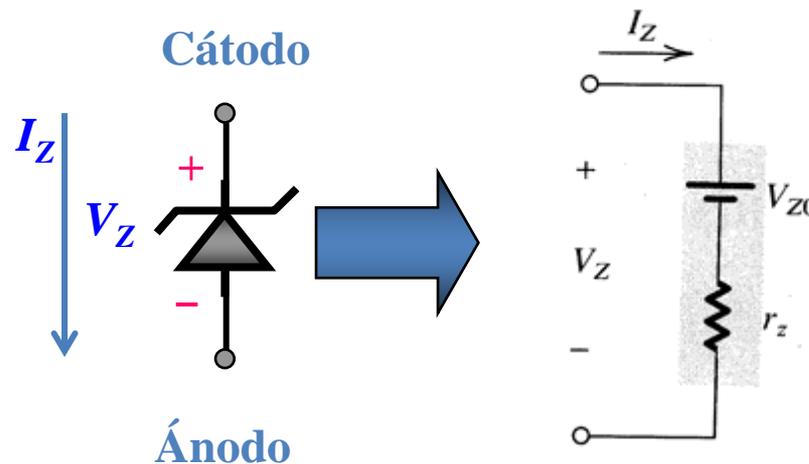
- Ruptura: originan la conducción del diodo cuando se aplican tensiones negativas a partir de cierto valor ( $I \gg I_S$ ).

# FENÓMENOS DE RUPTURA



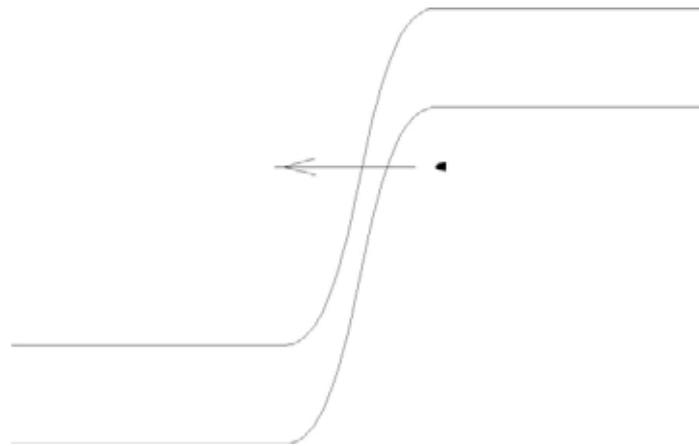
# FENÓMENOS DE RUPTURA

- Ø Este comportamiento no tiene por qué ser destructivo si se limita la corriente con, por ejemplo, una resistencia. De hecho, existen diodos especialmente diseñados para operar en inversa (diodos Zener).
- Ø La conducción en inversa puede deberse a dos fenómenos independientes: túnel o avalancha



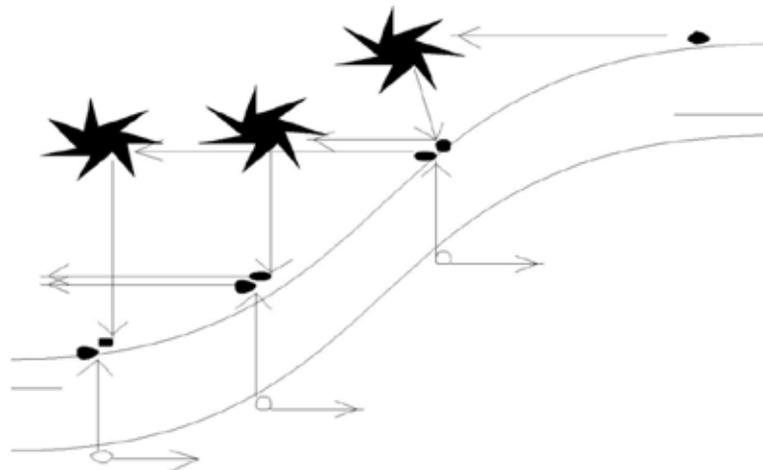
# RUPTURA ZENER O TUNEL

Cuando se supera la tensión de ruptura, el campo eléctrico es tan intenso que es capaz de arrancar electrones de valencia hacia la banda de conducción

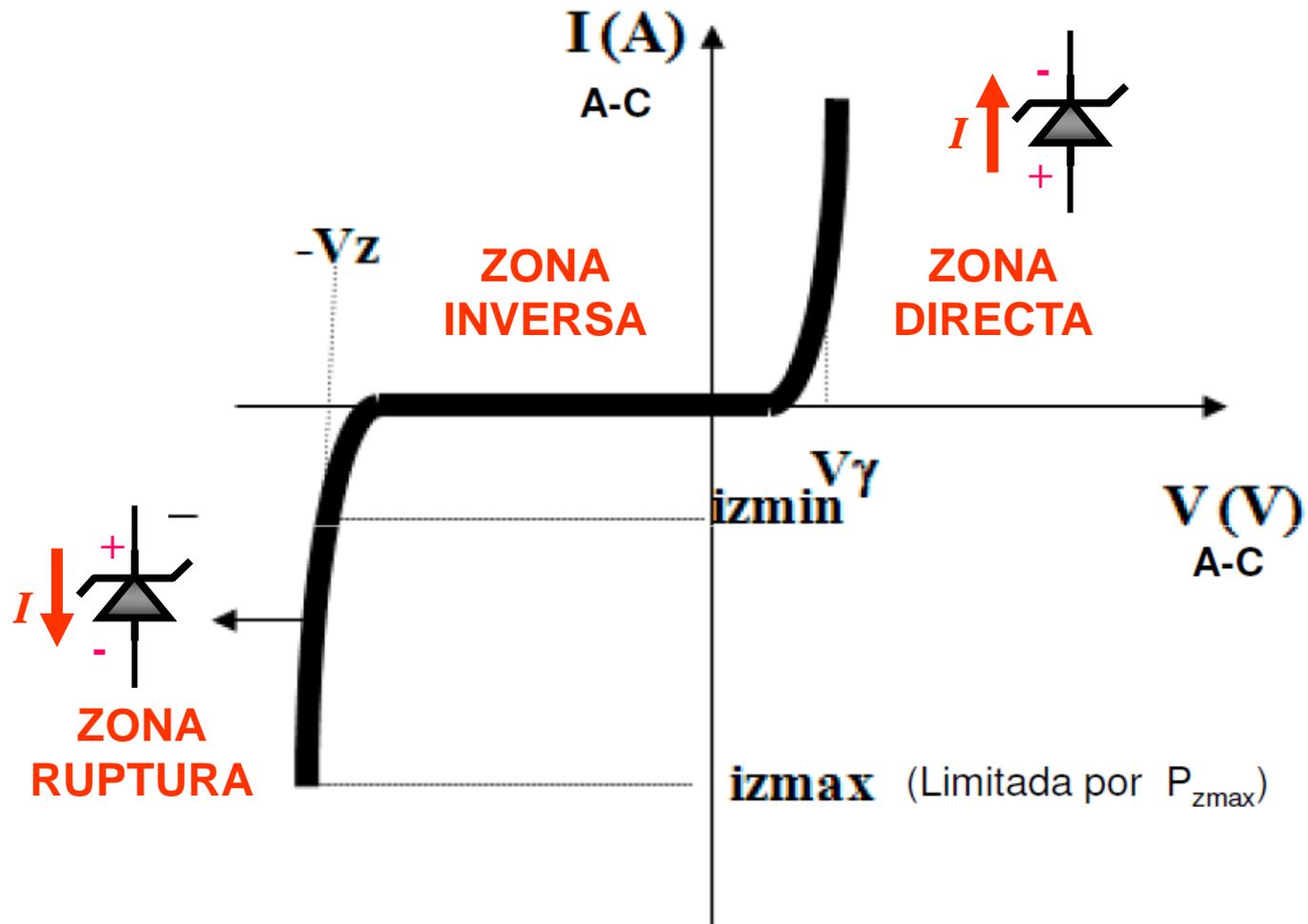


# RUPTURA POR AVALANCHA

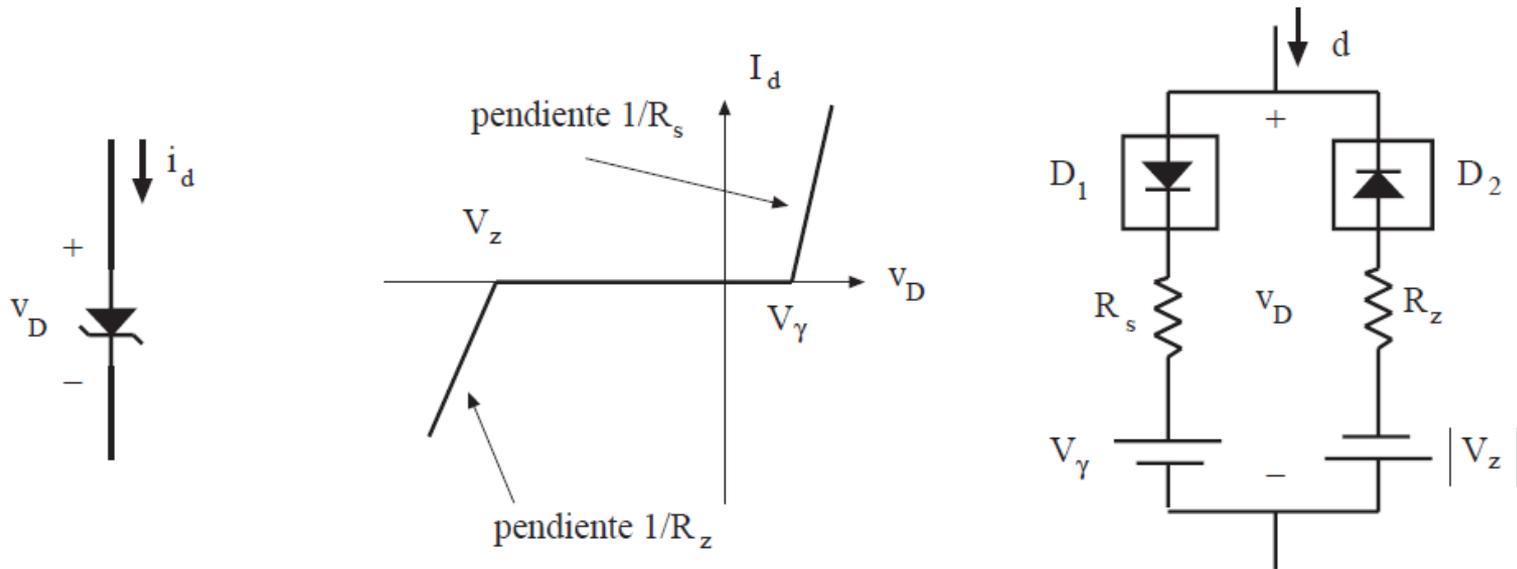
Cuando la tensión en polarización inversa alcanza el valor de la tensión de ruptura, los electrones que han saltado a la banda de conducción por efecto de la temperatura se aceleran debido al campo eléctrico incrementando su energía cinética, de forma que al colisionar con electrones de valencia los liberan; éstos a su vez, se aceleran y colisionan con otros electrones de valencia liberándolos también, produciéndose una avalancha de electrones cuyo efecto es incrementar la corriente conducida por el diodo sin apenas incremento de la tensión.



# MODELO LINEAL PARA EL DIODO ZENER



# MODELO LINEAL PARA EL DIODO ZENER



1ª Aprox.  $V_z, V_\gamma = 0, R_s = 0, R_z = 0$

2ª Aprox.  $V_z, V_\gamma, R_s = 0, R_z = 0$

3ª Aprox.  $V_z, V_\gamma, R_s, R_z$