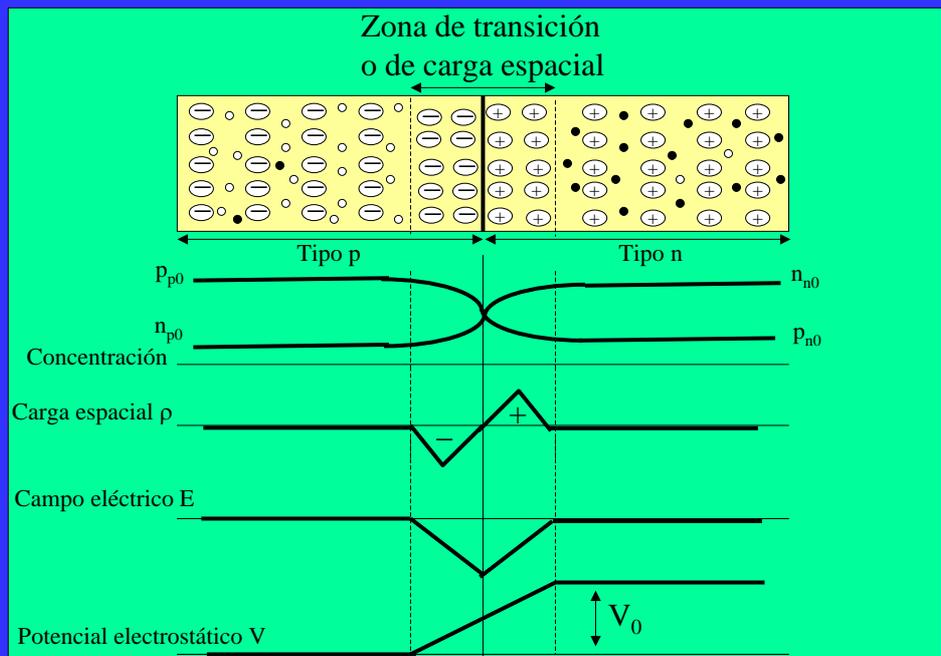


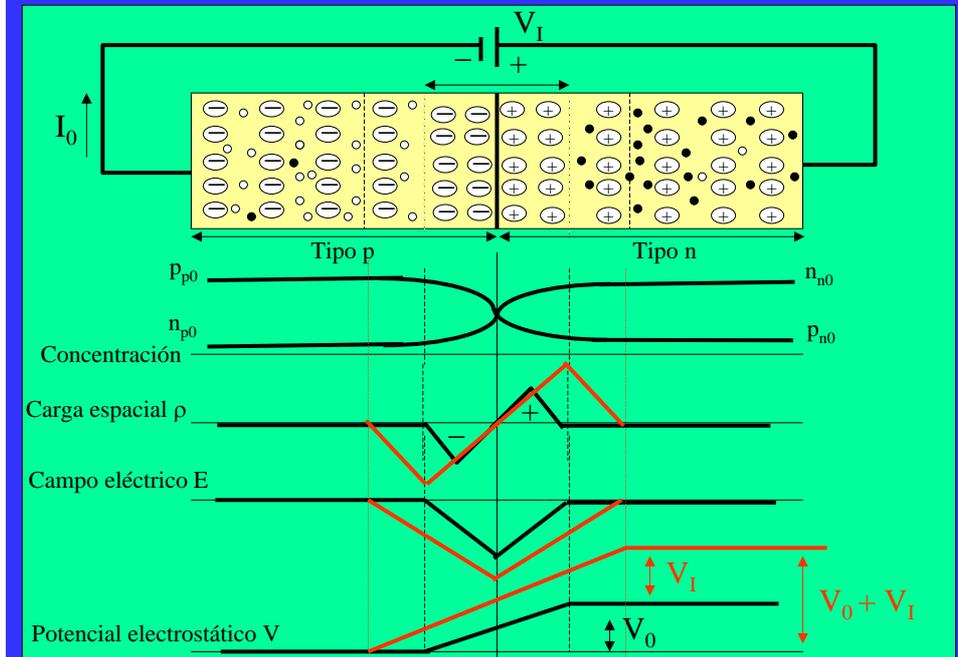
TEMA 4

DIODOS Y APLICACIONES

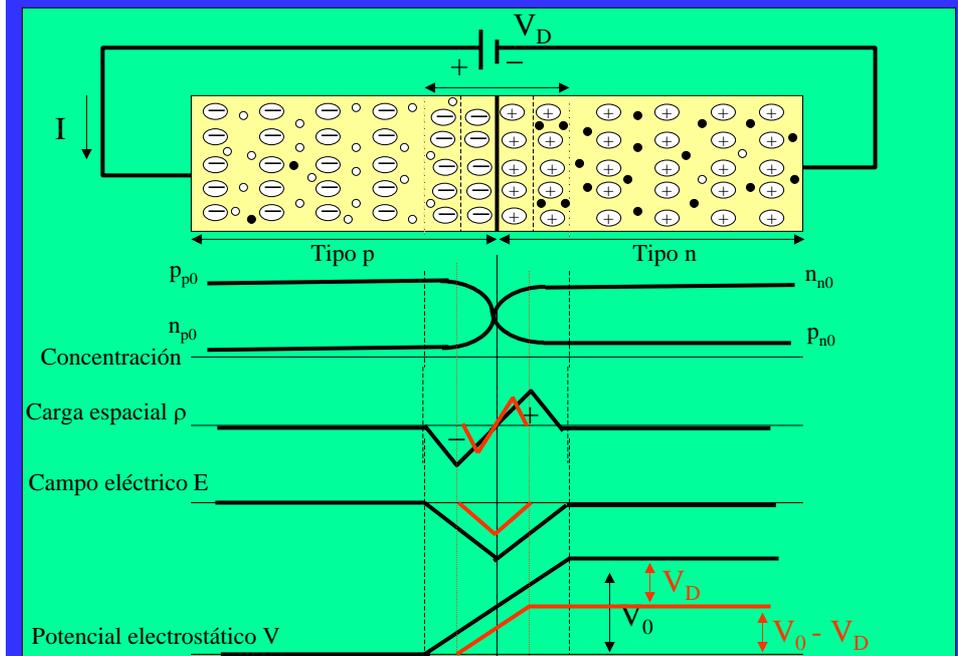
UNIÓN P-N EN CIRCUITO ABIERTO



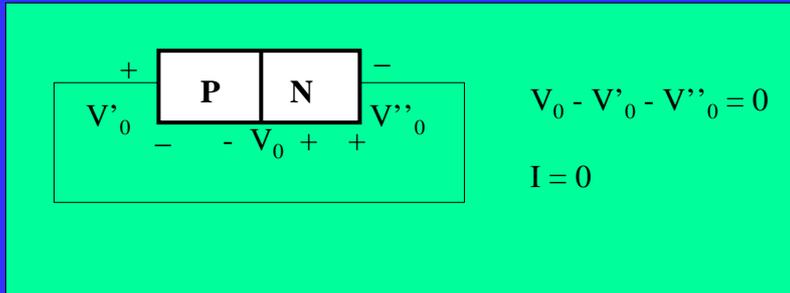
UNIÓN P-N POLARIZADA EN INVERSA



UNIÓN P-N POLARIZADA EN DIRECTA

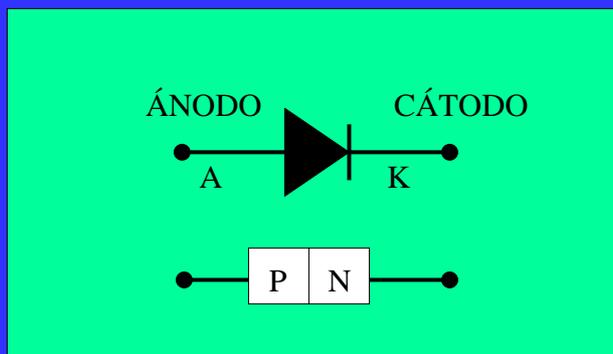


En cortocircuito el potencial de la unión se compensa con los potenciales en los contactos óhmicos de los terminales => $I = 0$



Grandes tensiones directa => necesidad de limitar la corriente

DIODO



▶ UNIÓN EN CIRCUITO ABIERTO

- * Aparece un potencial en la unión (V_0)
- * Existe un equilibrio dinámico en la unión

▶ POLARIZACIÓN INVERSA

- * Aumenta la anchura de la zona de transición o carga espacial
- * El potencial de la unión aumenta ($V_0 + V_D$)
- * Corriente inversa I_0 debido a portadores minoritarios

▶ POLARIZACIÓN DIRECTA

- * Disminuye la anchura de la zona de transición o carga espacial
- * El potencial de la unión disminuye ($V_0 - V_D$)
- * Corriente directa debida tanto a huecos como a electrones

CARACTERÍSTICA TENSION-CORRIENTE

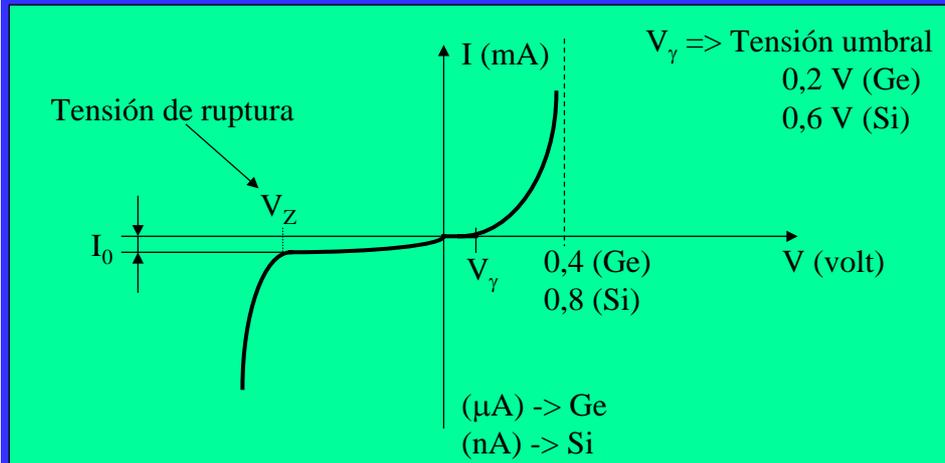
$$I = I_0 \left(e^{\frac{V}{\eta V_T}} - 1 \right)$$

I_0 : Corriente inversa de saturación
(constante a temperatura constante)

η : Constante $\left\{ \begin{array}{l} \text{Ge: } \eta=1 \\ \text{Si: } \eta=1 \rightarrow I \text{ grandes} \\ \quad \eta=2 \rightarrow I \text{ pequeñas} \end{array} \right.$

V_T : Tensión equivalente de temperatura
 $V_T = T (^{\circ}\text{K})/11.600$
 $T=300 \text{ }^{\circ}\text{K} \Rightarrow V_T = 26 \text{ mV}$

$$I = I_0 \left(e^{\frac{V}{\eta \cdot V_T}} - 1 \right)$$



La corriente inversa I_0 aumenta con la temperatura aproximadamente un 7 % por °C.

La corriente inversa I_0 se duplica aproximadamente por cada 10 °C de aumento de temperatura.

$$\left. \begin{array}{l} T_1 \Rightarrow I_{01} \\ T \Rightarrow I_0 \end{array} \right\} I_0(T) = I_{01} \cdot 2^{\frac{T-T_1}{10}}$$

La tensión equivalente de temperatura V_T también aumenta con la temperatura.

$$I = I_0 \left(e^{\frac{V}{\eta \cdot V_T}} - 1 \right)$$

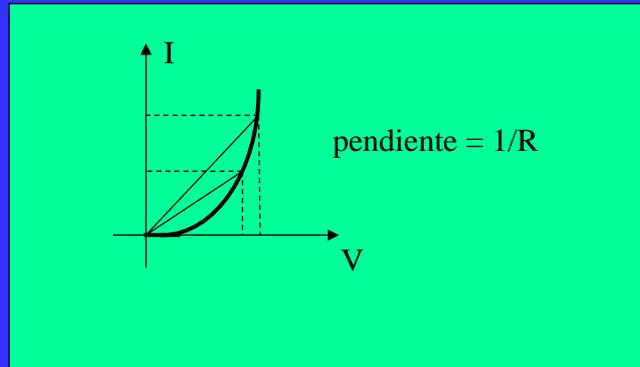
Para mantener constante I frente a aumentos de temperatura:

$$\frac{dV}{dT} \approx -2,5 \text{ mV}/^\circ\text{C}$$

RESISTENCIA ESTÁTICA Y DINÁMICA DE UN DIODO

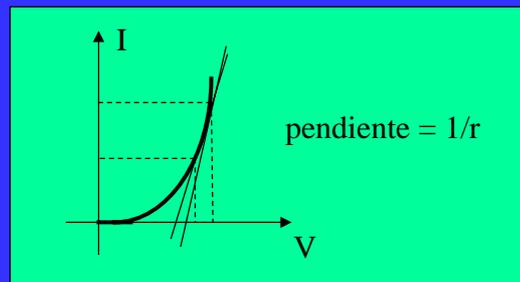
▶ RESISTENCIA ESTÁTICA (R)

$$R = \frac{V}{I} \Rightarrow \text{Parámetro muy variable y poco útil}$$



▶ RESISTENCIA DINÁMICA (r)

$$r = \frac{dV}{dI}$$

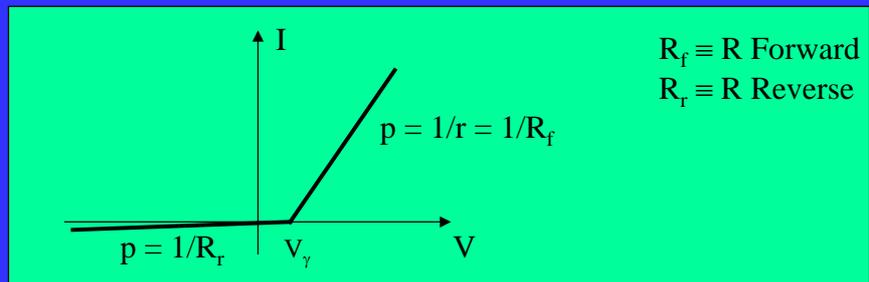
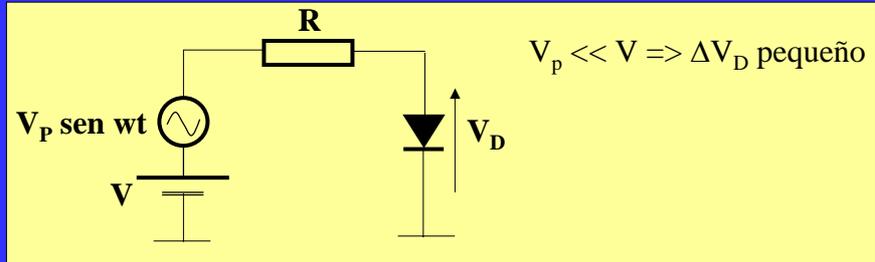


$$I = I_0 \left(e^{\frac{V}{\eta \cdot V_T}} - 1 \right) \Rightarrow g = \frac{1}{r} = \frac{dI}{dV} = \frac{I_0 \cdot e^{\frac{V}{\eta \cdot V_T}}}{\eta \cdot V_T} = \frac{I_0 + I}{\eta \cdot V_T} \approx \frac{I}{\eta \cdot V_T}$$

$$r \approx \frac{\eta \cdot V_T}{I} = \frac{K}{I}$$

K es constante a temperatura constante

Para modelos de pequeña señal se puede suponer r constante



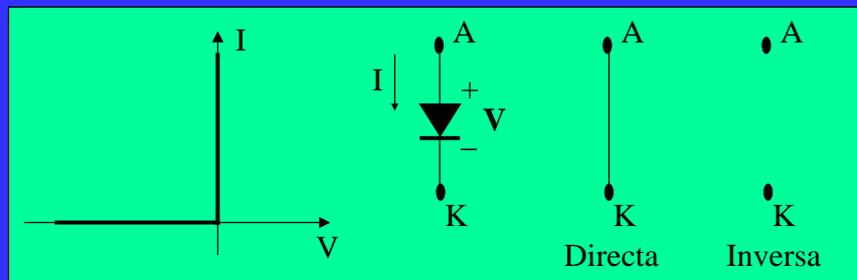
MODELOS DEL DIODO

▶ DIODO IDEAL

$$V_\gamma = 0$$

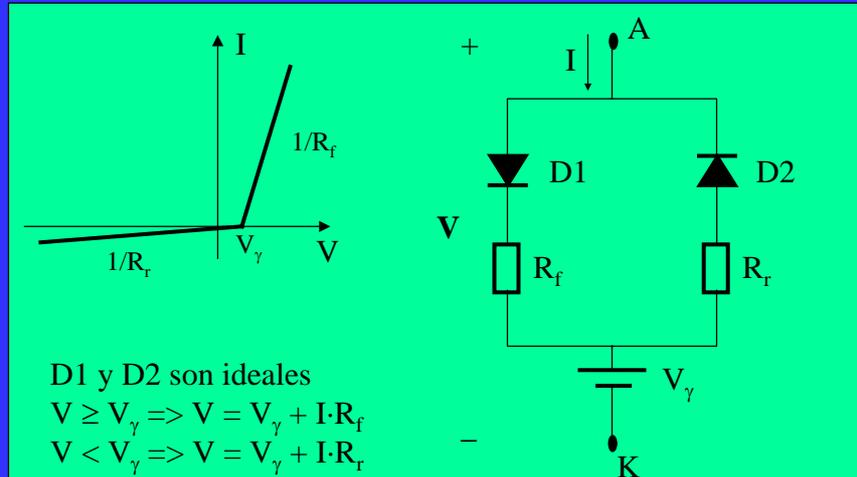
$$V \geq V_\gamma \Rightarrow R_f = 0$$

$$V < V_\gamma \Rightarrow R_r = \infty$$



MODELOS DEL DIODO

▶ DIODO REAL

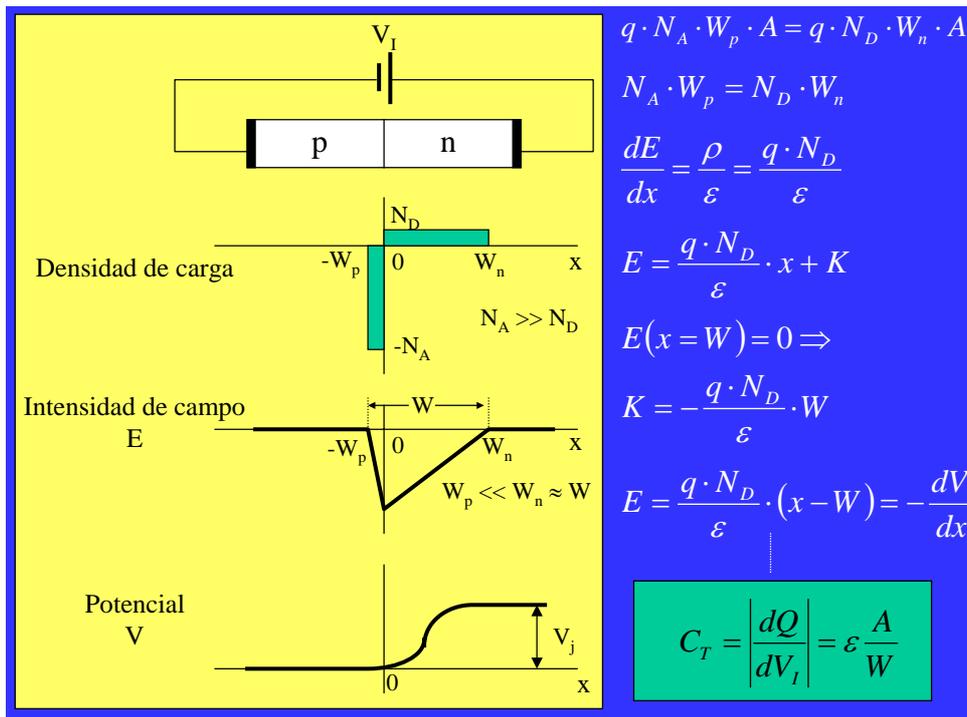


Modelos intermedios: $R_f = 0$ ó $R_r = \infty$ ó $V_\gamma = 0$ ó combinaciones

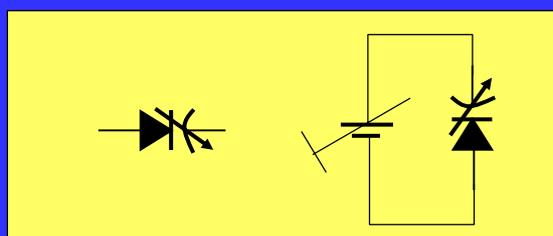
CAPACIDAD DE LA ZONA DE CARGA ESPACIAL O TRANSICIÓN

La anchura de la zona de carga espacial y por lo tanto la carga aumenta con la tensión inversa, lo cual equivale a un efecto de capacidad:

$$C_T = \left| \frac{dQ}{dV_i} \right| \quad \text{donde } C_T \text{ es la capacidad de transición}$$



► DIODOS DE CAPACIDAD VARIABLE
 (Varicaps: Variable Capacitors) (Varactores)



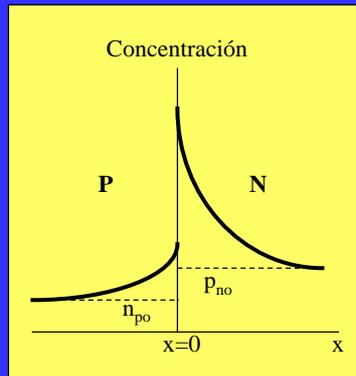
$$C_T = \epsilon \frac{A}{W} = \frac{\epsilon \cdot A}{\sqrt{\frac{2\epsilon}{q \cdot N_D}} \cdot \sqrt{V_j}} = \frac{C_{te}}{\sqrt{V_j}}$$

Si V_j aumenta entonces C_T disminuye (rango de pF)

Aplicaciones varicaps: Filtros variables
 sintonizadores LC radiofrecuencia (VHF, UHF)

CAPACIDAD DE DIFUSIÓN

En polarización directa, si V_D aumenta implica que aumenta la concentración de minoritarios en ambos lados de la unión. Esto implica que aumenta la carga almacenada Q produciéndose también en este caso un efecto capacitivo



$$I = \frac{Q}{\tau}$$

\nearrow exceso de carga de portadores minoritarios
 \nearrow tiempo de vida medio de los portadores

$$C_D = \frac{dQ}{dV} = \frac{\tau \cdot dI}{dV} = \frac{\tau}{r}$$

\nearrow resistencia dinámica de la unión

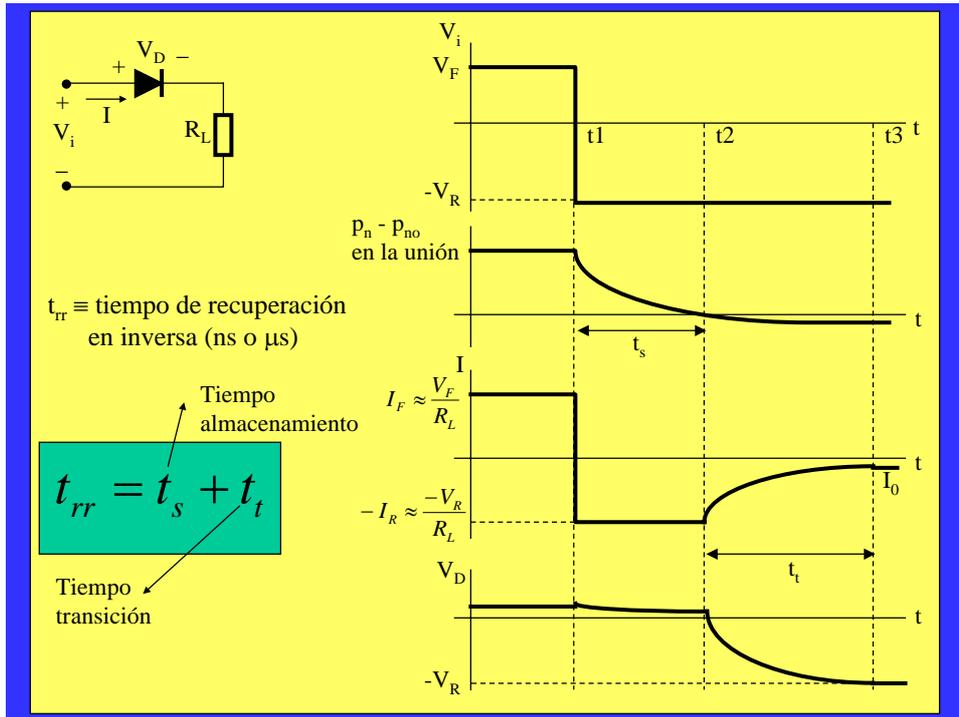
$$C_D = C_{Dp} + C_{Dn} = \frac{\tau_p}{r} + \frac{\tau_n}{r}$$

C_D (orden de μF) es mucho mayor que C_T (puede llegar a nF)

TIEMPOS DE CONMUTACIÓN DEL DIODO

$$C_D \gg C_T$$

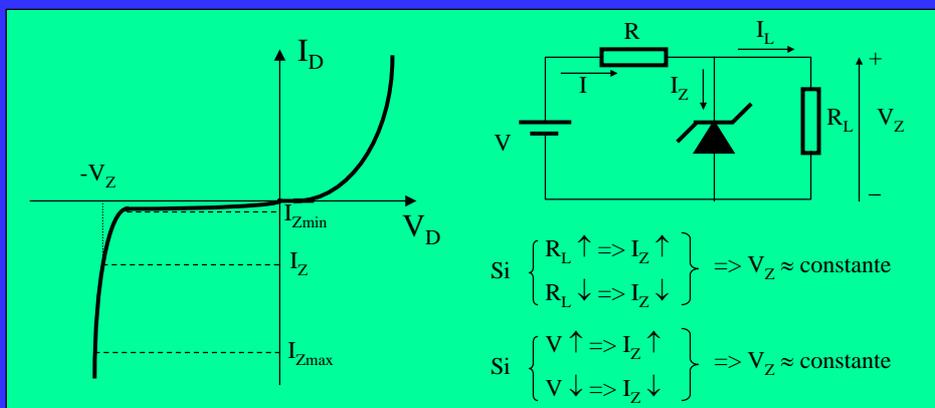
Es mucho más importante el tiempo de recuperación al pasar de conducción directa a inversa que al revés



DIODOS DE AVALANCHA O ZENERS

Son diodos con suficiente capacidad de disipación para trabajar en la zona de conducción inversa.

Se utilizan como estabilizadores de tensión



MODELOS DEL ZENER

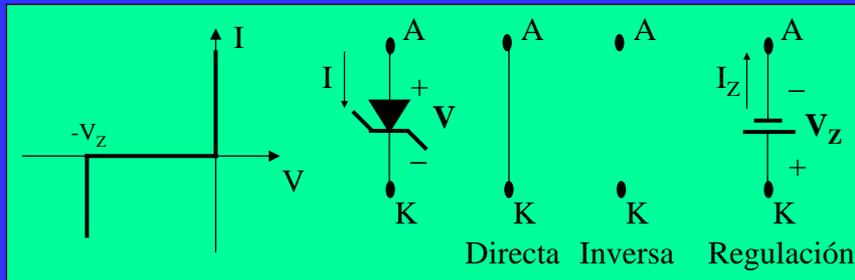
▶ ZENER IDEAL

$$V_\gamma = 0$$

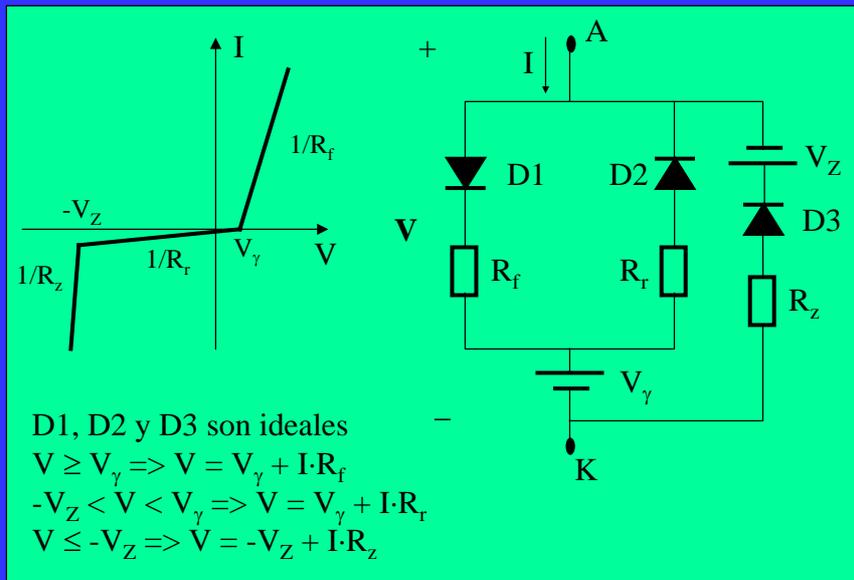
$$V \geq V_\gamma \Rightarrow R_f = 0$$

$$-V_Z < V < V_\gamma \Rightarrow R_r = \infty$$

$$V \leq -V_Z \Rightarrow R_z = 0$$



▶ ZENER REAL



MECANISMOS PARA QUE SE PRODUZCA LA AVALANCHA DEL DIODO

▶ MULTIPLICACIÓN POR AVALANCHA (creación por choque)

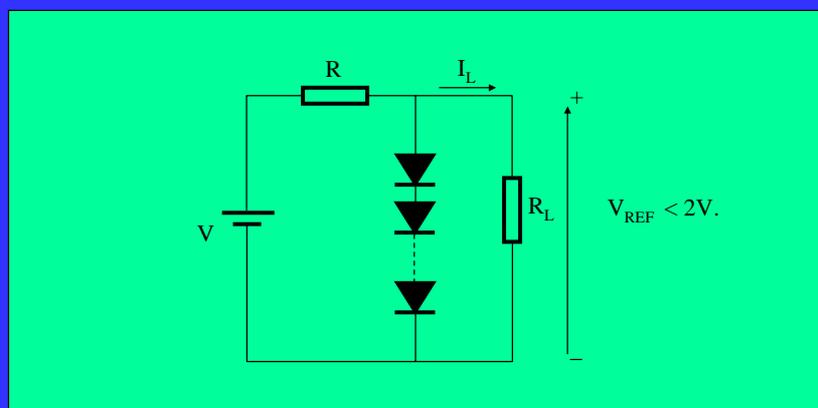
- * Diodos poco impurificados
- * $V_Z > 6V$
- * Zona de carga espacial ancha
- * Coeficiente de temperatura positivo

▶ RUPTURA ZENER (campo eléctrico elevado, $E \approx 2 \cdot 10^7$ V/m)

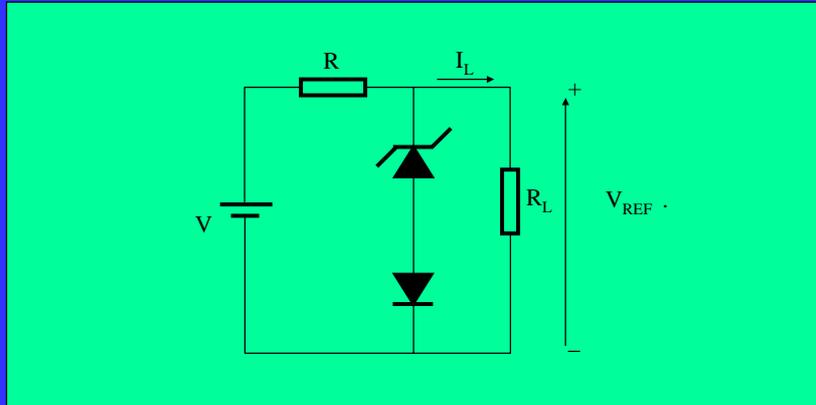
- * Diodos muy impurificados
- * $V_Z < 6V$
- * Zona de carga espacial estrecha
- * Coeficiente de temperatura negativo

CIRCUITOS DE REFERENCIA DE TENSIÓN

▶ Tensiones de referencia inferiores a 2 V.

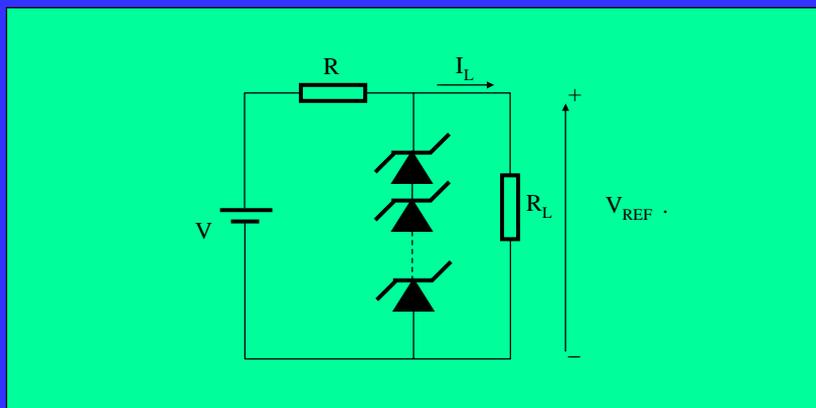


▶ Pequeño coeficiente de temperatura



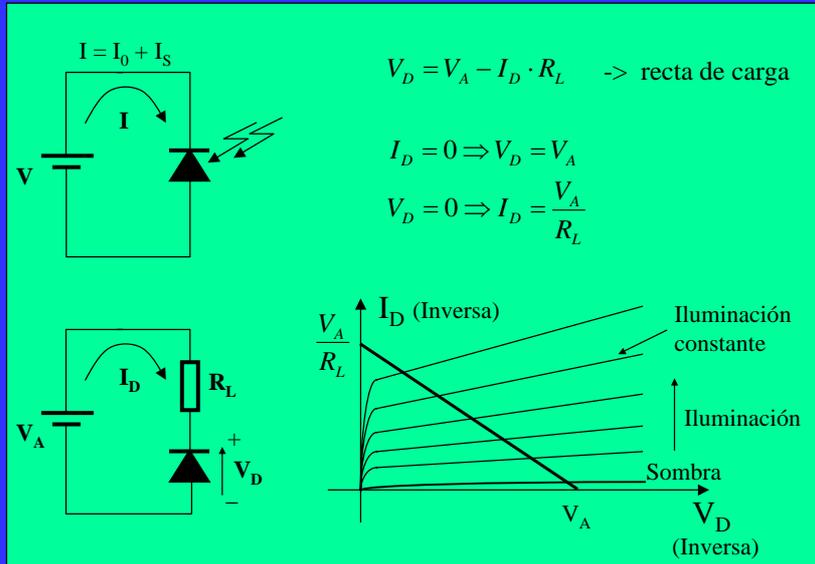
- Zener de multiplicación por avalancha \Rightarrow Coeficiente de temperatura positivo
(T. aumenta $\rightarrow V_Z$ aumenta)
- Diodo en directa \Rightarrow Coeficiente de temperatura negativo
(T. aumenta $\rightarrow V_D$ disminuye)

▶ Tensiones de referencia altas

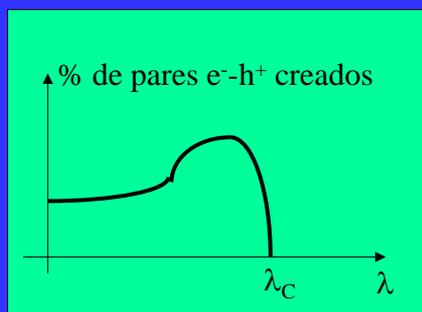


- Menor disipación que con un único zener de V_Z elevada
- Menor coeficiente de temperatura combinando los dos tipos de zener
(Multiplicación por avalancha y ruptura Zener)
- Menor resistencia que con diodos en directa

FOTODIODOS SEMICONDUCTORES



La respuesta es la misma que las células fotoconductoras:



DIODOS EMISORES DE LUZ (LED)

- * Se denominan diodos LED (Light Emitting Diode)
- * Uniones P-N polarizadas en sentido directo con elevada impurificación ($V_{\gamma} \approx 1 \text{ V.}$)
- * Materiales especiales para producir luz en la recombinación, como por ejemplo el AsGa (Arseniuro de Galio)
- * Tensiones inversas bajas -> destrucción por sobretensión
- * Corrientes reducidas (típicas de 10, 20 mA) -> destrucción por sobrecorriente

MONTAJES PRÁCTICOS CON LEDs

