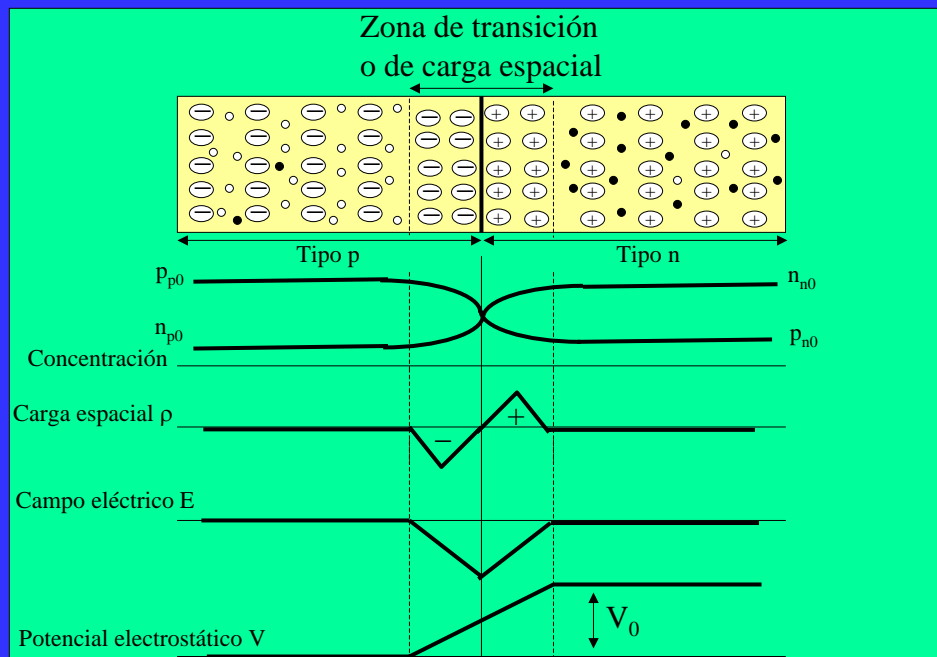


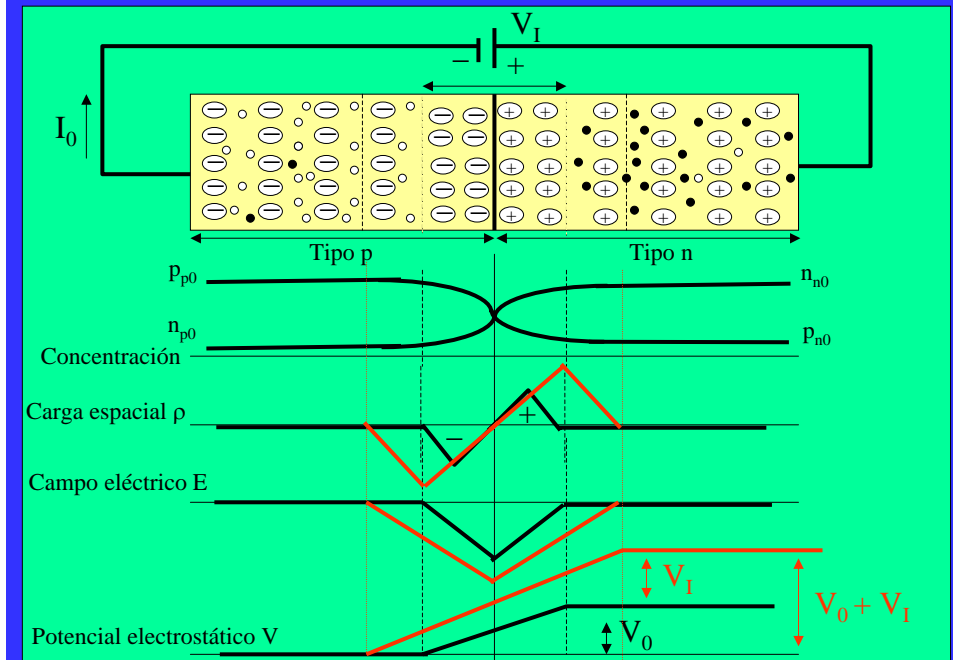
# TEMA 4

## DIODOS Y APLICACIONES

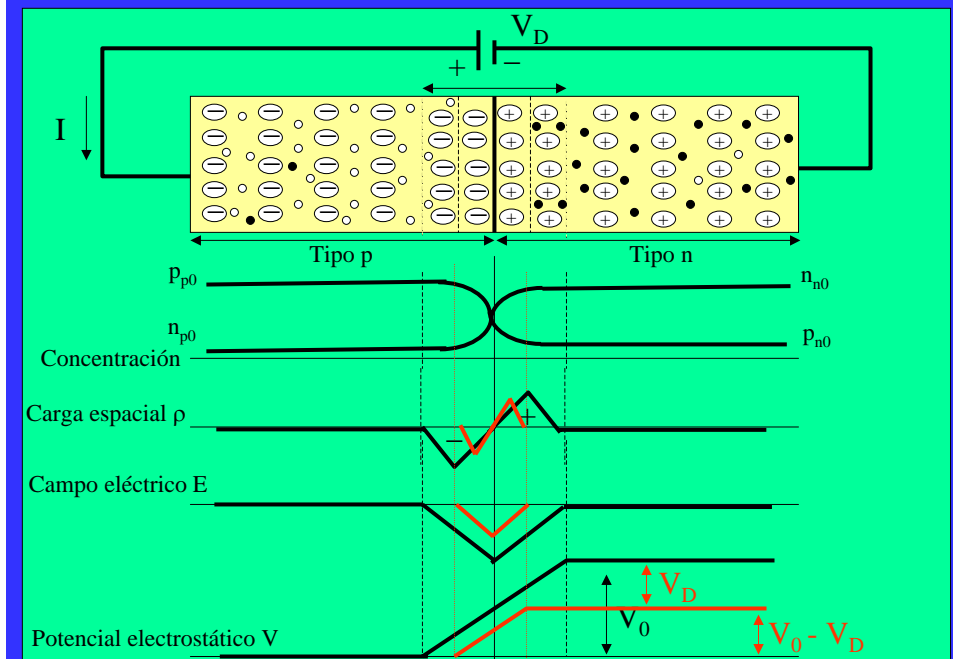
### UNIÓN P-N EN CIRCUITO ABIERTO



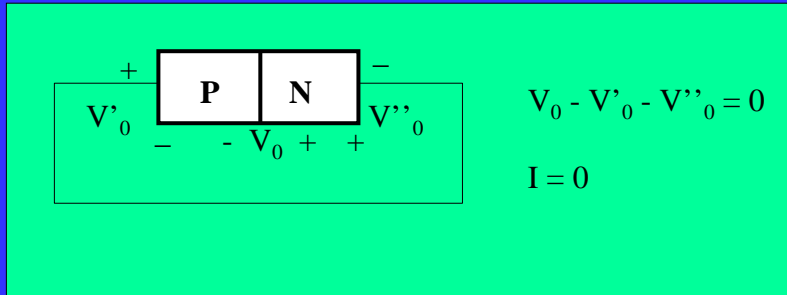
## UNIÓN P-N POLARIZADA EN INVERSA



## UNIÓN P-N POLARIZADA EN DIRECTA

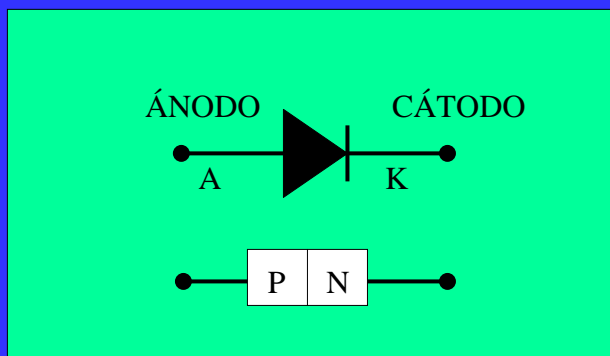


En cortocircuito el potencial de la unión se compensa con los potenciales en los contactos óhmicos de los terminales =>  $I = 0$



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

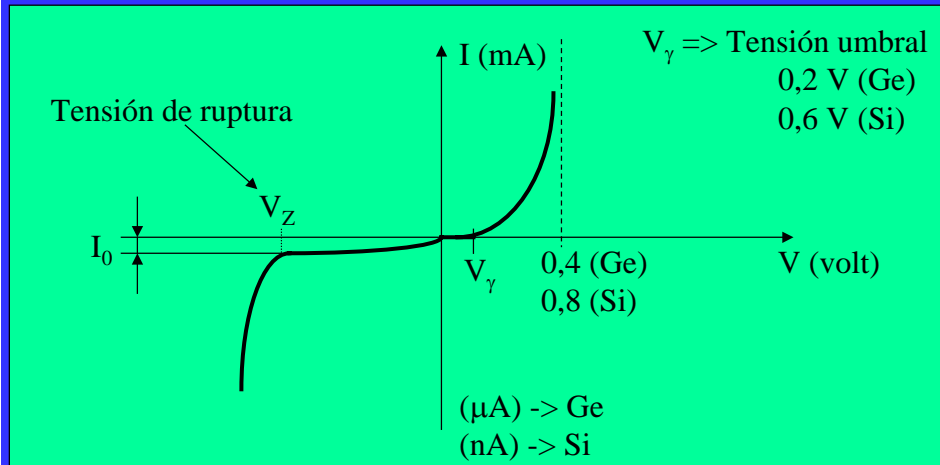
$$I = I_0 \left( e^{\frac{V}{\eta V_T}} - 1 \right)$$

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

$\eta$ : 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  $^\circ\text{C}$ .

La corriente inversa  $I_0$  se duplica aproximadamente por cada  $10^\circ\text{C}$  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.

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

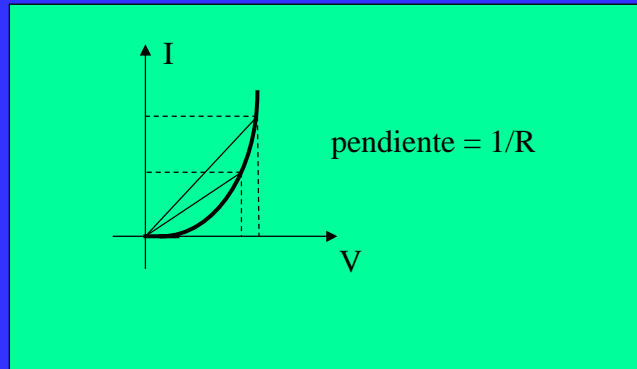
Para mantener constante  $I$  frente a aumentos de temperatura:

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

## RESISTENCIA ESTÁTICA Y DINÁMICA DE UN DIODO

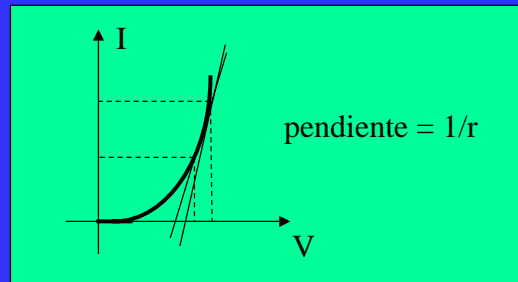
### ▶ RESISTENCIA ESTÁTICA (R)

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



### ▶ RESISTENCIA DINÁMICA (r)

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

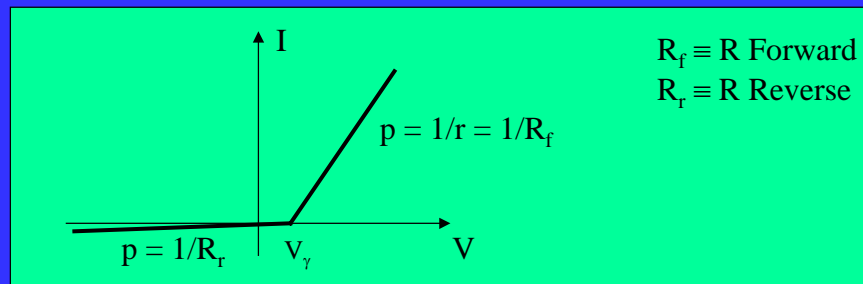
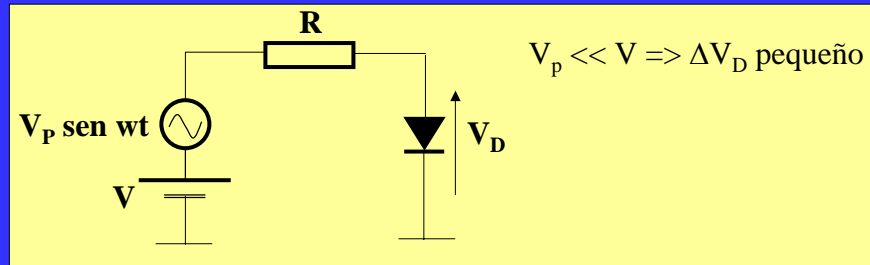


$$I = I_0 \left( e^{\frac{V}{\eta \cdot V_T}} - 1 \right) \Rightarrow g = \frac{1}{r} = \frac{dI}{dV} = \frac{I_0 \cdot e^{\frac{V}{\eta \cdot V_T}}}{\eta \cdot V_T} = \frac{I_0 + I}{\eta \cdot V_T} \approx \frac{I}{\eta \cdot V_T}$$

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

K es constante a temperatura constante

Para modelos de pequeña señal se puede suponer  $r$  constante



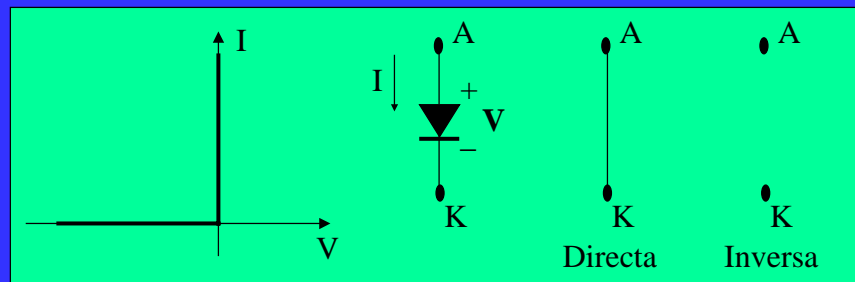
## MODELOS DEL DIODO

### ▶ DIODO IDEAL

$$V_\gamma = 0$$

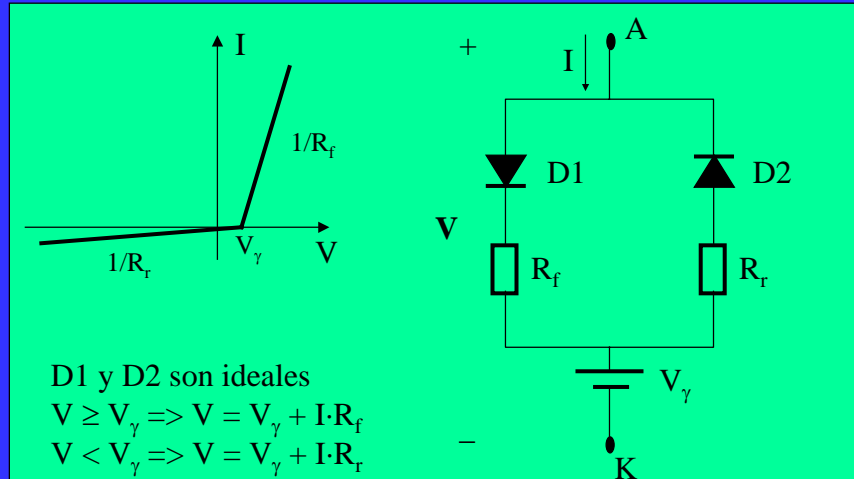
$$V \geq V_\gamma \Rightarrow R_f = 0$$

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



## MODELOS DEL DIODO

### ▷ DIODO REAL



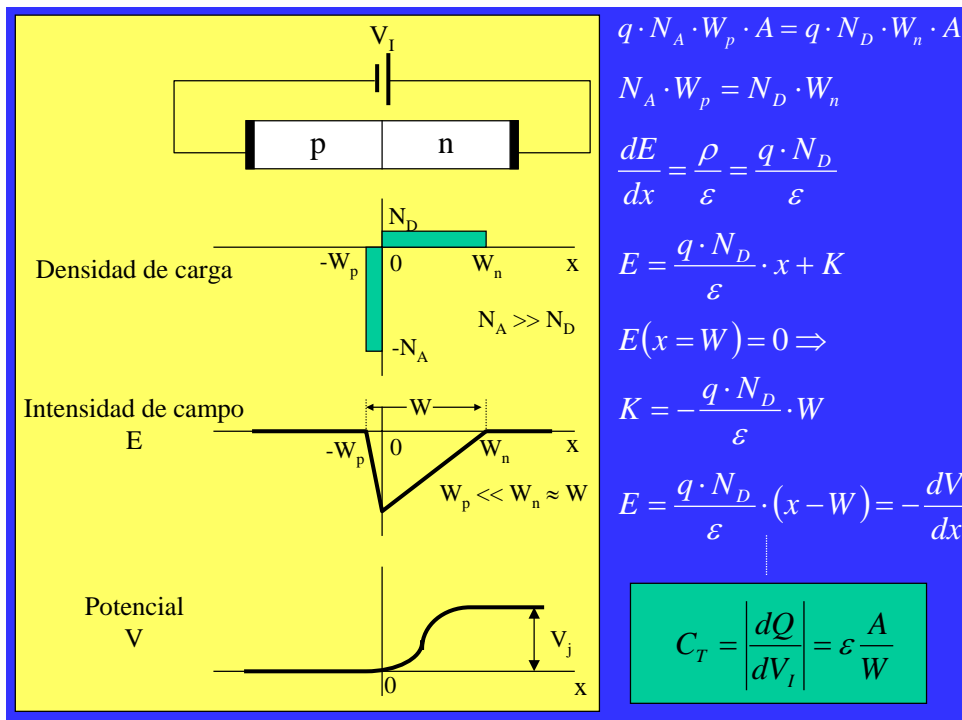
Modelos intermedios:  $R_f = 0$  ó  $R_r = \infty$  ó  $V_\gamma = 0$  ó combinaciones

## CAPACIDAD DE LA ZONA DE CARGA ESPACIAL O TRANSICIÓN

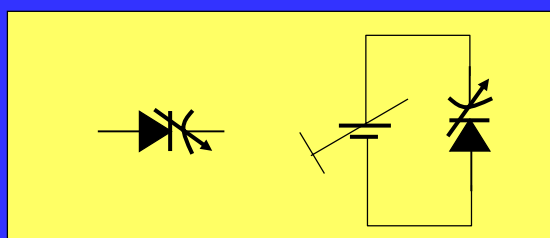
La anchura de la zona de carga espacial y por lo tanto la carga aumenta con la tensión inversa, lo cual equivale a un efecto de capacidad:

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





► DIODOS DE CAPACIDAD VARIABLE  
 (Varicaps: **V**ariable **C**apacitors) (Varactores)



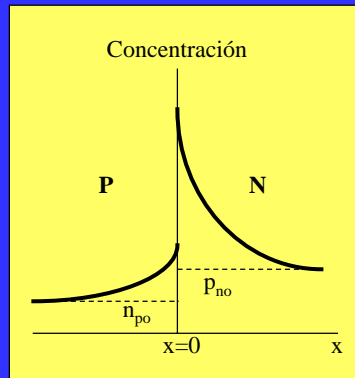
$$C_T = \epsilon \frac{A}{W} = \frac{\epsilon \cdot A}{\sqrt{\frac{2\epsilon}{q \cdot N_D}} \cdot \sqrt{V_j}} = \frac{C_{te}}{\sqrt{V_j}}$$

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

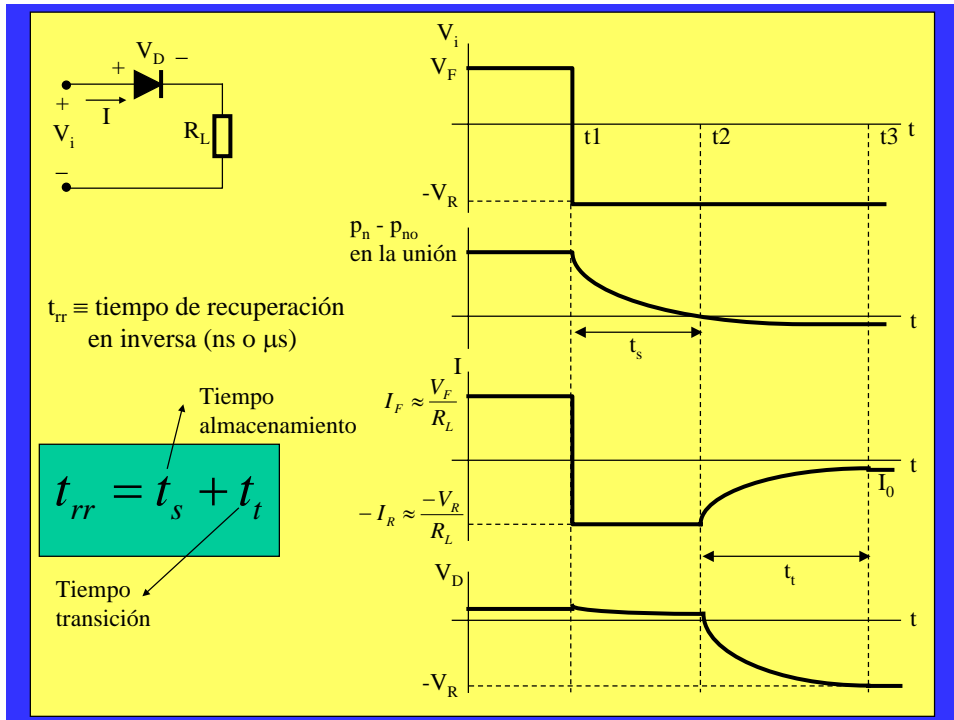
$$C_D = C_{Dp} + C_{Dn} = \frac{\tau_p}{r} + \frac{\tau_n}{r}$$

$C_D$  (orden de  $\mu\text{F}$ ) es mucho mayor que  $C_T$  (puede llegar a nF)

## TIEMPOS DE CONMUTACIÓN DEL DIODO

$$C_D \gg C_T$$

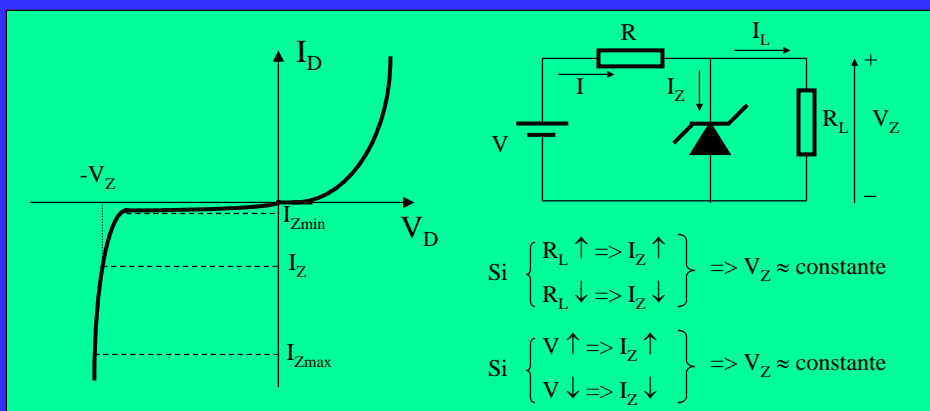
Es mucho más importante el tiempo de recuperación al pasar de conducción directa a inversa que al revés



## 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

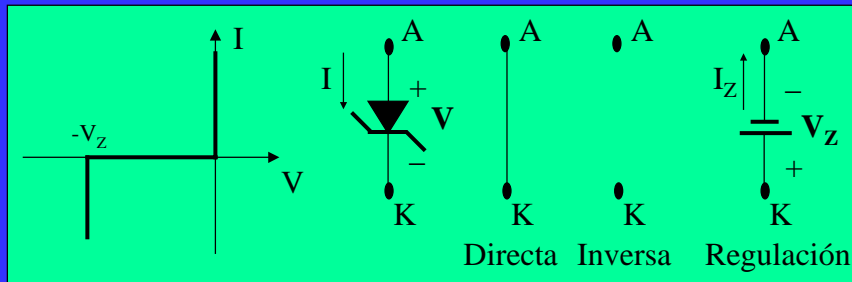
### ▶ ZENER IDEAL

$$V_\gamma = 0$$

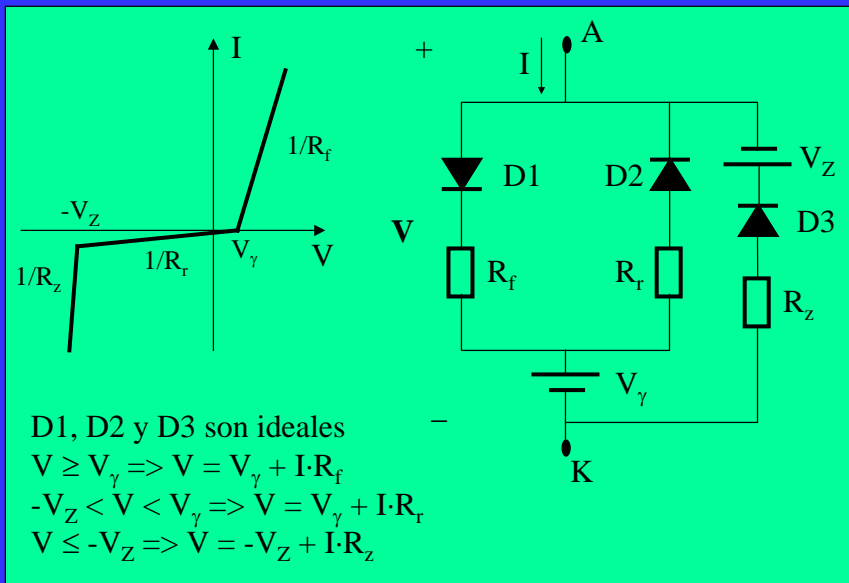
$$V \geq V_\gamma \Rightarrow R_f = 0$$

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

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



### ▶ ZENER REAL



## MECANISMOS PARA QUE SE PRODUZCA LA AVALANCHA DEL DIODO

### ▶ MULTIPLICACIÓN POR AVALANCHA (creación por choque)

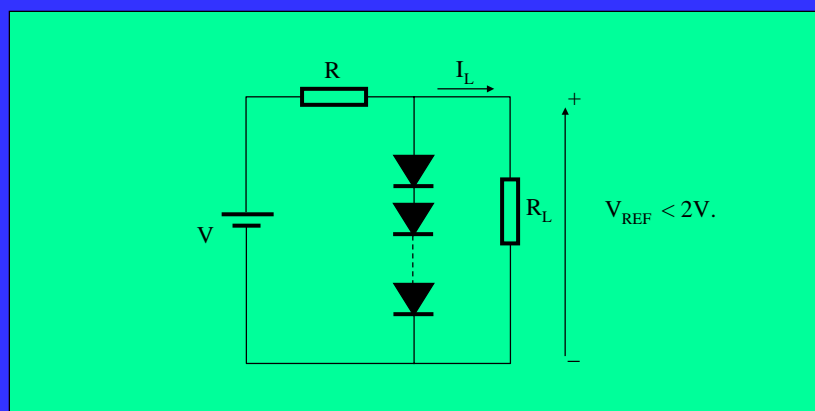
- \* Diodos poco impurificados
- \*  $V_Z > 6V$
- \* Zona de carga espacial ancha
- \* Coeficiente de temperatura positivo

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

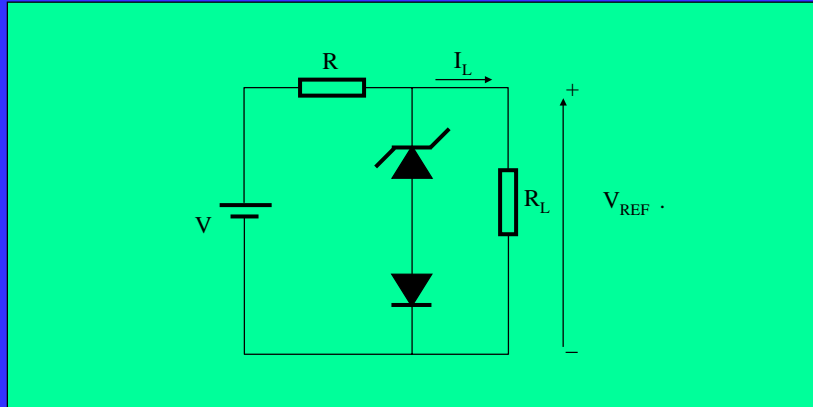
- \* Diodos muy impurificados
- \*  $V_Z < 6V$
- \* Zona de carga espacial estrecha
- \* Coeficiente de temperatura negativo

## CIRCUITOS DE REFERENCIA DE TENSIÓN

### ▶ Tensiones de referencia inferiores a 2 V.

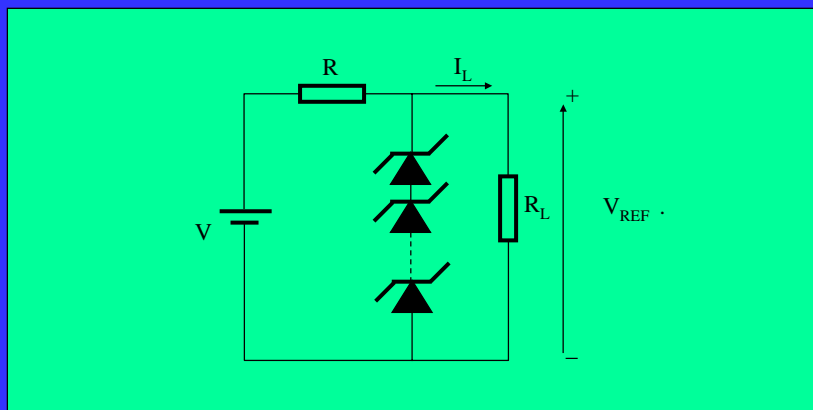


▶ Pequeño coeficiente de temperatura



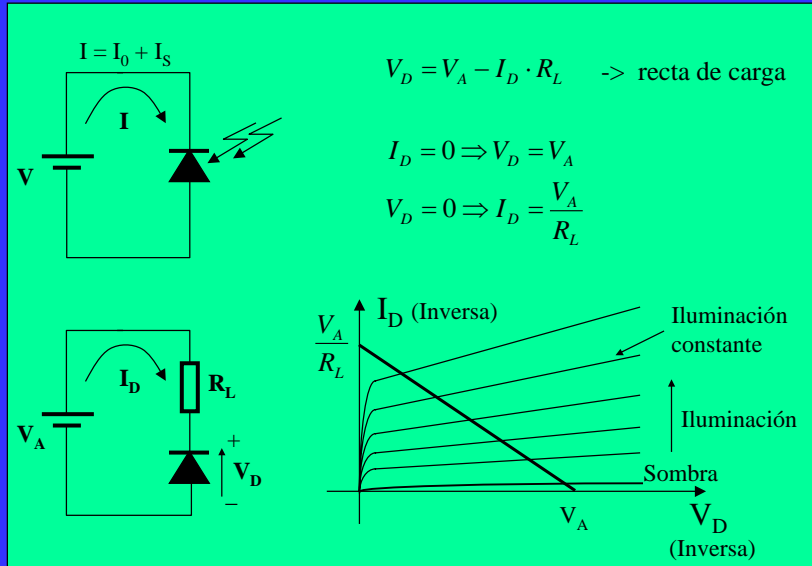
- Zener de multiplicación por avalancha  $\Rightarrow$  Coeficiente de temperatura positivo  
(T. aumenta  $\rightarrow V_Z$  aumenta)
- Diodo en directa  $\Rightarrow$  Coeficiente de temperatura negativo  
(T. aumenta  $\rightarrow V_D$  disminuye)

▶ Tensiones de referencia altas

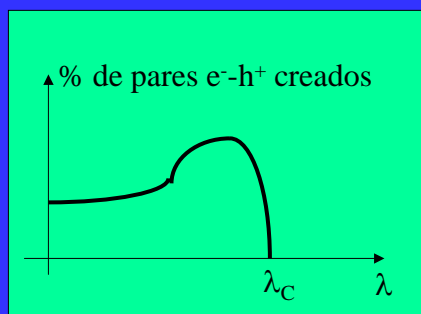


- Menor disipación que con un único zener de  $V_Z$  elevada
- Menor coeficiente de temperatura combinando los dos tipos de zener  
(Multiplicación por avalancha y ruptura Zener)
- Menor resistencia que con diodos en directa

## 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

