

Temario

- 6. Diodo
- 7. El transistor
- 8. Magnetismo
- 9. Inducción electromagnética
- 10. Circuitos de corriente alterna
- 11. Ondas electromagnéticas
- 12. Aplicaciones ópticas

Trabajos

Diodo

- 1. Diodo Zener
- 2. Diodo LED
- 3. Fotodiodo
- 4. Diodo túnel
- 5. Diodo Schottky

El transistor

- 6. El JFET, fundamentos y aplicaciones
- 7. El MOSFET, fundamentos
- 8. El MOSFET, aplicaciones: circuitos lógicos, memorias, CCDs, TFTs, ...

Grupos 2-4 alumnos
jogomez@fis.upv.es

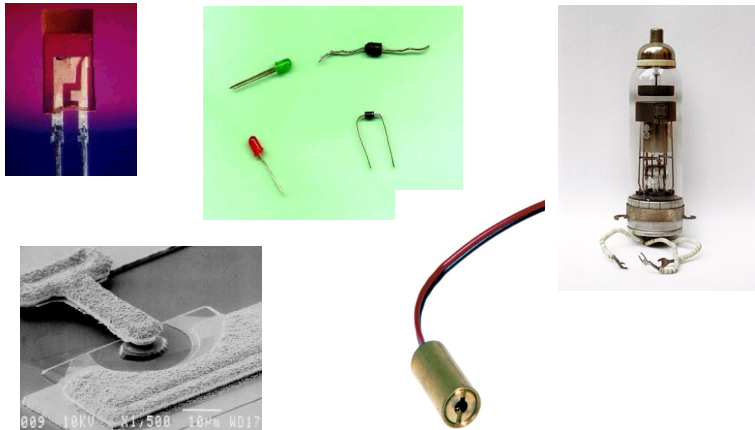
Presentación: 31 de marzo

Revisión: 30 de abril

30 % nota segundo parcial

Materia examen: 2 preguntas

Tema 6: El diodo



Tema 6. El diodo

Objetivos:

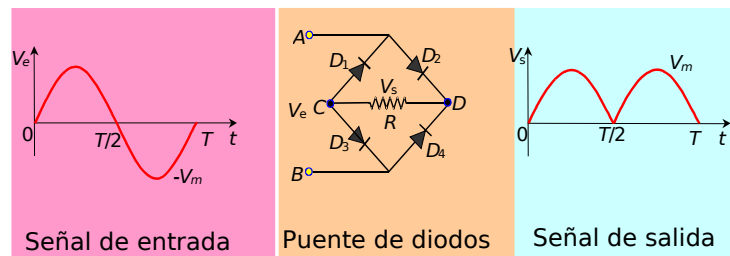
- Comprender cualitativamente los fundamentos físicos de la unión $p-n$ en equilibrio y polarizada.
- Conocer la curva característica $I-V$ de los diodos.
- Saber utilizar las distintas aproximaciones del diodo para resolver circuitos con diodos.
- Conocer algunos diodos especiales: Zener, LED y Schottky.

Tema 6. El diodo

- 6.1 La unión $p-n$ en equilibrio.
- 6.2 Polarización del diodo.
- 6.3 Curva característica del diodo.
- 6.4 Diodos especiales: Zener, Schottky, LED.
- 6.5 Aplicaciones: limitador de tensión, rectificador, puertas lógicas.

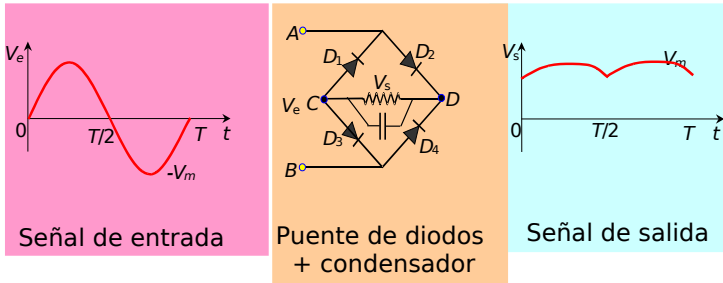
Introducción

- Rectificación de corriente alterna: puente de diodos.



Introducción

- Rectificación de corriente alterna: puente de diodos.



Introducción: corriente

- Desplazamiento:

$$\vec{j}_p^{des} = p e \mu_p \vec{E} \quad \vec{j}_n^{des} = n e \mu_n \vec{E}$$

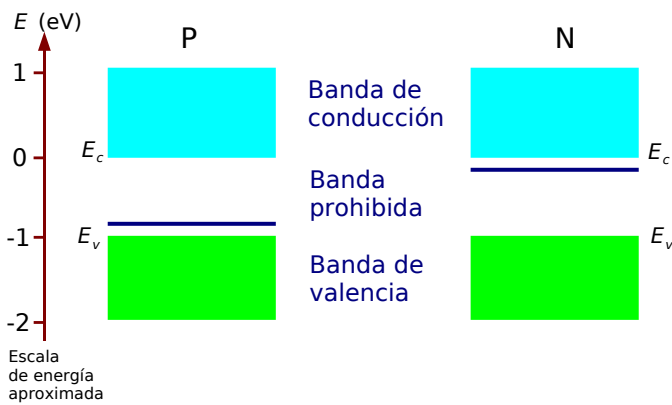
- Difusión:

$$\vec{j}_p^{dif} = -e D_p \vec{\nabla} p \quad \vec{j}_n^{dif} = e D_n \vec{\nabla} n$$

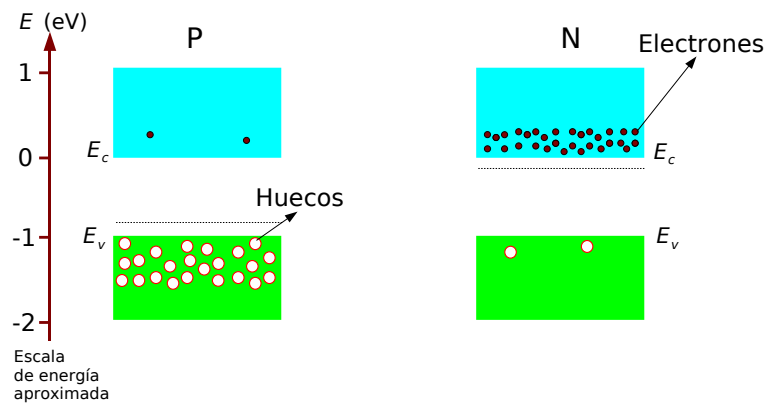
- Densidad de corriente total:

$$\vec{J} = e(p\mu_p + n\mu_n)\vec{E} - eD_p\vec{\nabla}p + eD_n\vec{\nabla}n$$

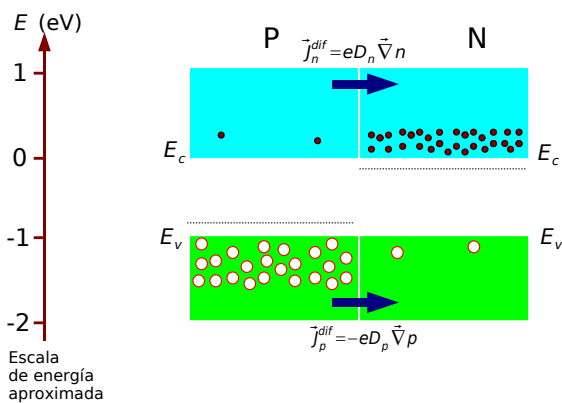
La unión p-n en equilibrio



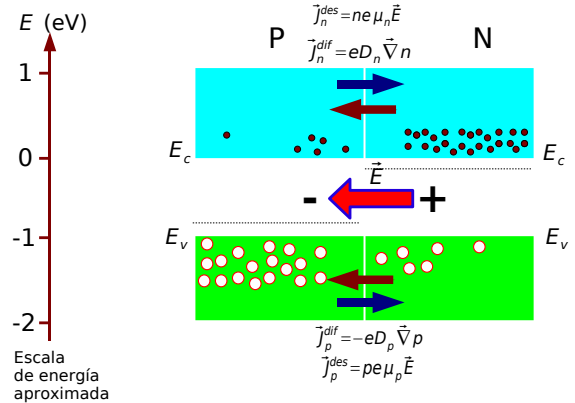
La unión p-n en equilibrio



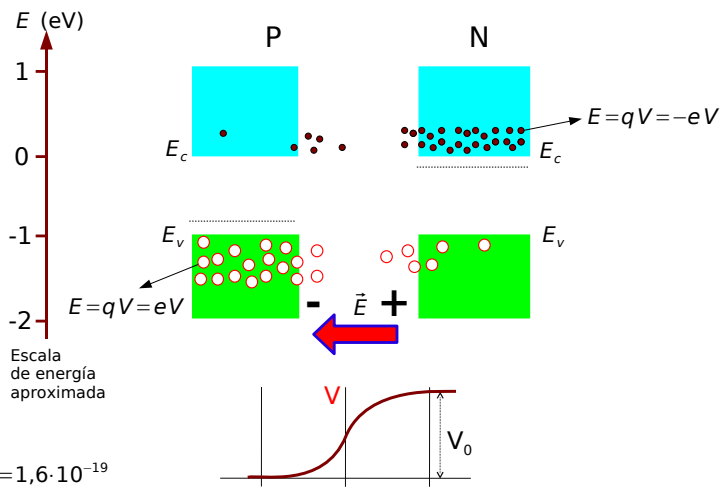
La unión p-n en equilibrio



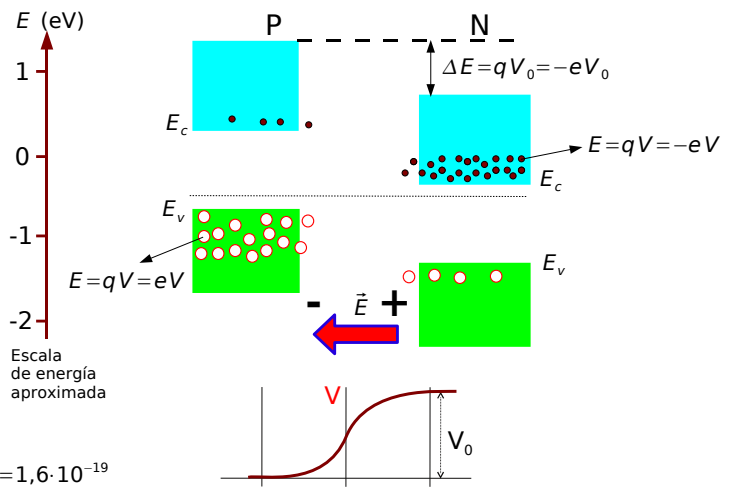
La unión p-n en equilibrio



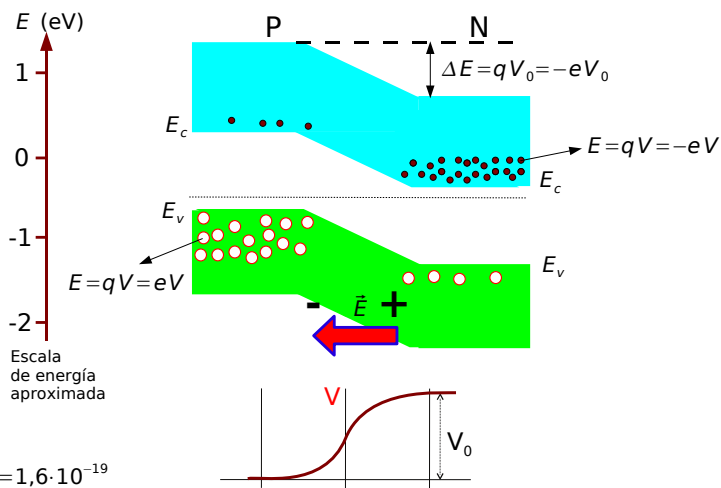
La unión p-n en equilibrio



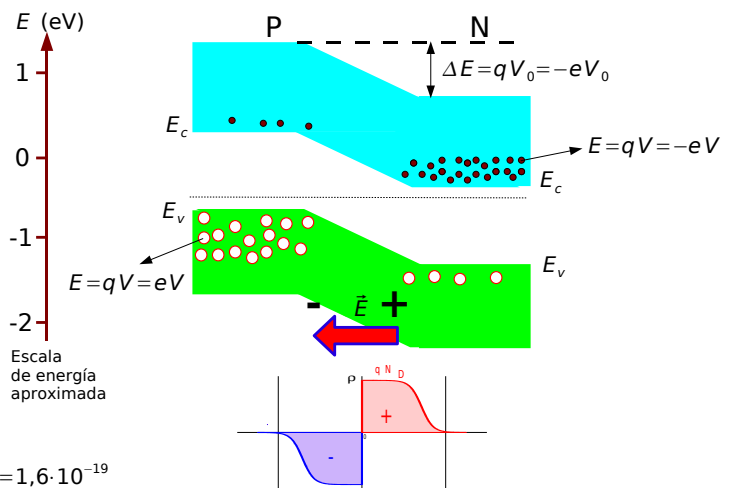
La unión p-n en equilibrio



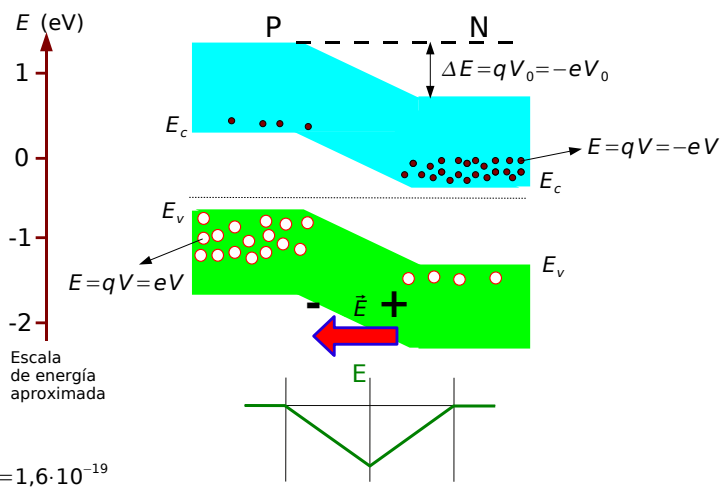
La unión p-n en equilibrio



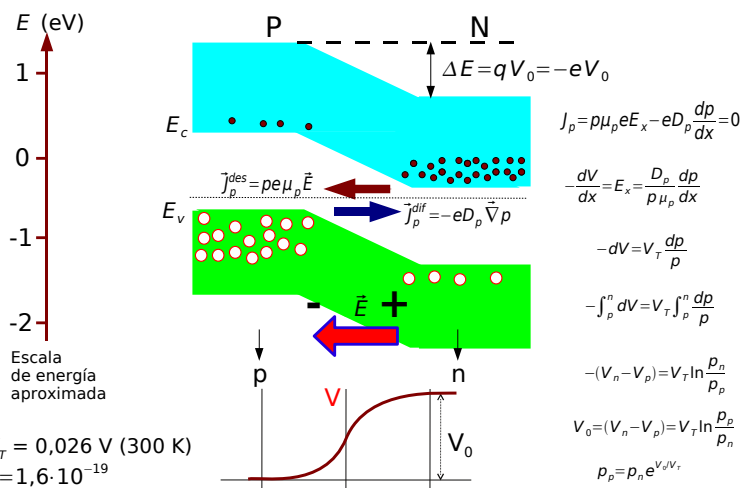
La unión p-n en equilibrio



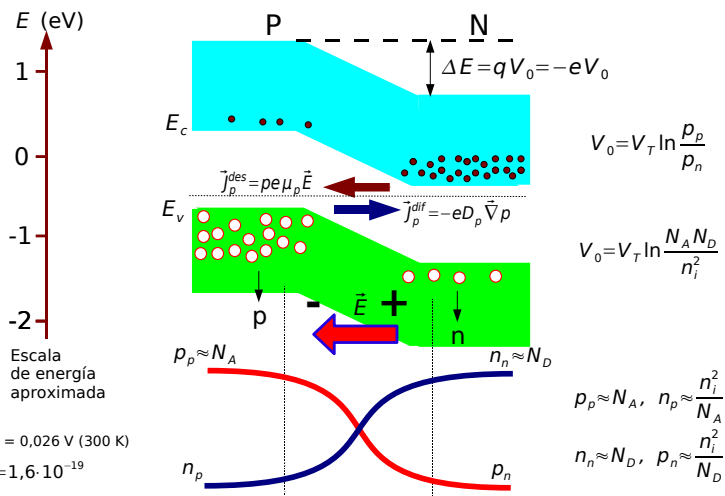
La unión p-n en equilibrio



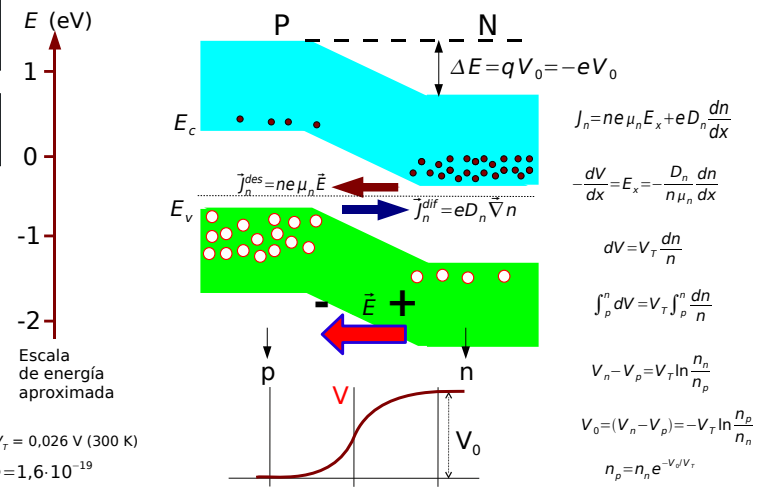
La unión p-n en equilibrio



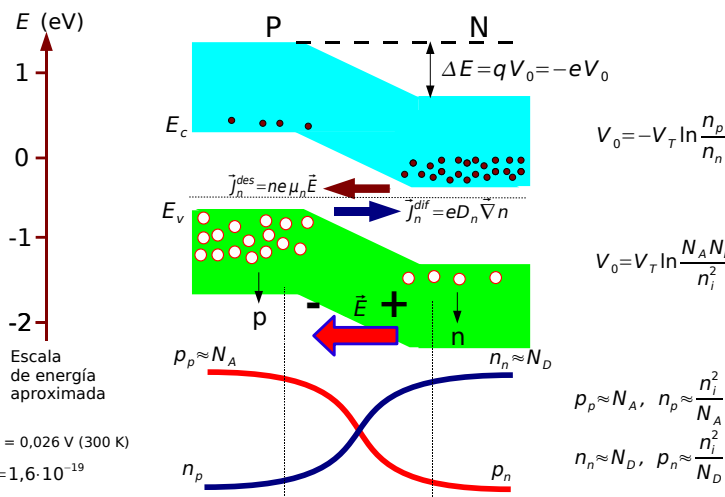
La unión p-n en equilibrio



La unión p-n en equilibrio



La unión p-n en equilibrio

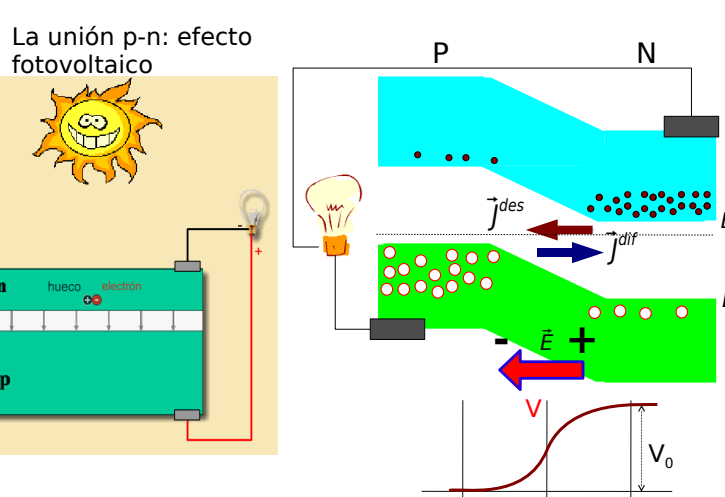


Ejemplo 10-1

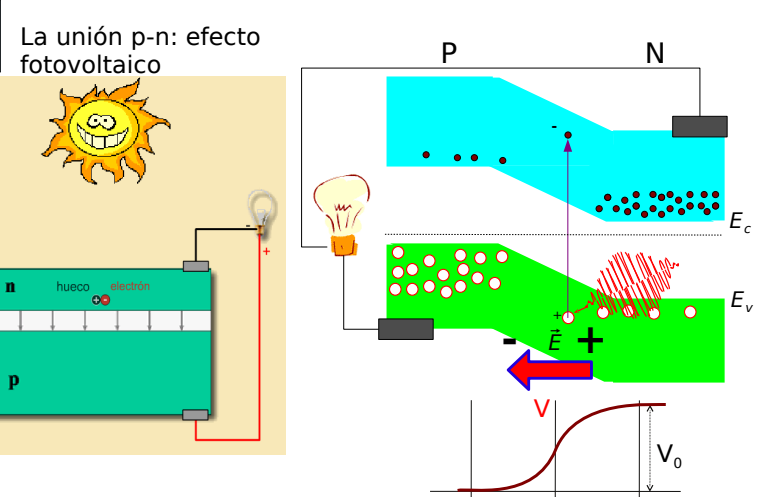
Calcula la diferencia de potencial en la unión pn de un diodo de germanio, dopado con antimonio en una concentración de $4 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$ en su zona n, y con indio en una concentración de $3 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$ en su zona p, a 300 K.

$$V_0 = V_n - V_p = V_T \ln \frac{N_A N_D}{n_i^2} = 0,026 \cdot \ln \frac{3 \cdot 10^{22} \cdot 4 \cdot 10^{22}}{(2,36 \cdot 10^{19})^2} = 0,379 \text{ V}$$

La unión p-n en equilibrio



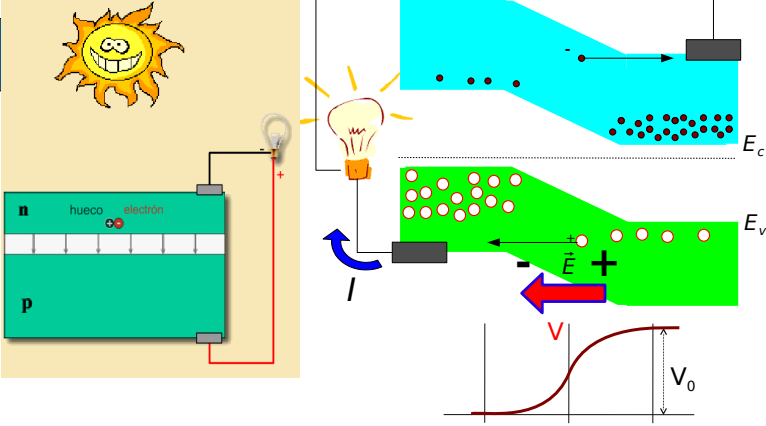
La unión p-n en equilibrio



La unión p-n en equilibrio

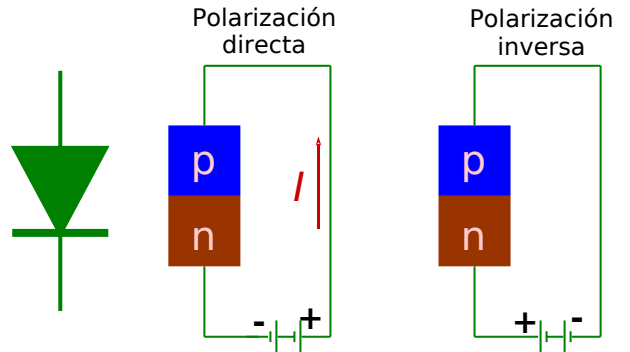
FFI 6.1

La unión p-n: efecto fotovoltaico



Polarización del diodo

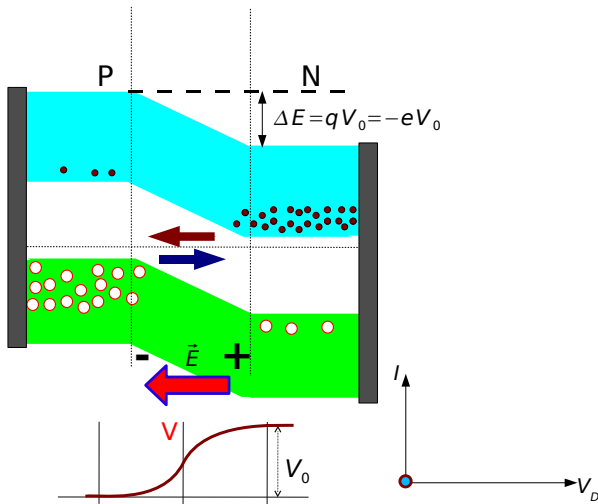
FFI 6.2



Polarización directa

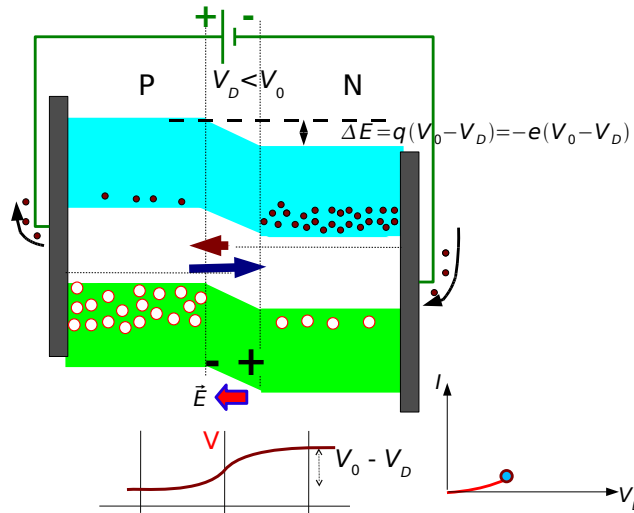
FFI 6.2

Equilibrio:



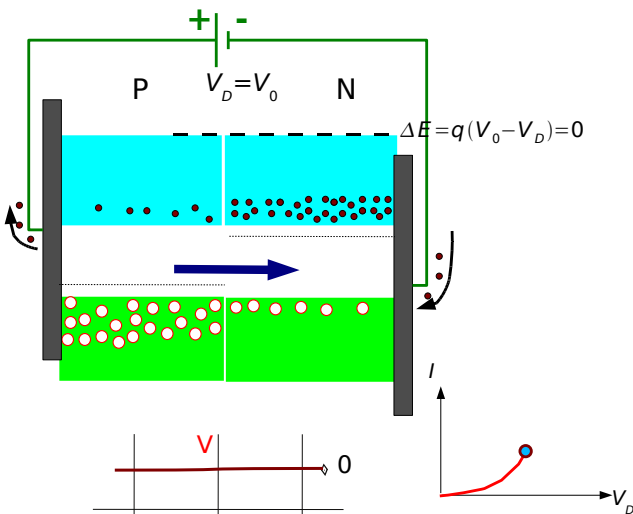
Polarización directa

FFI 6.2



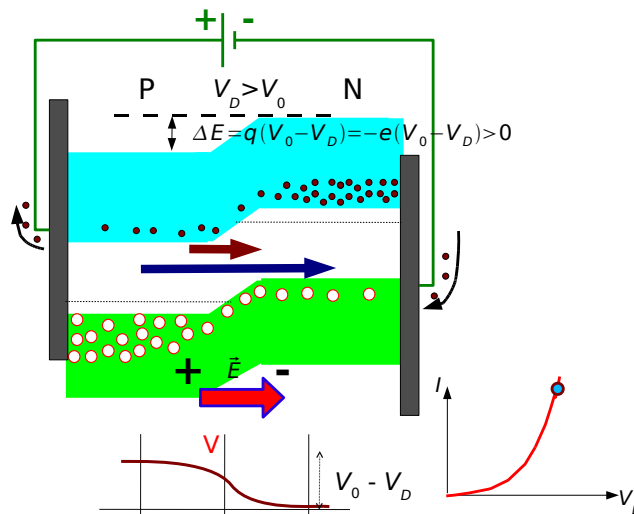
Polarización directa

FFI 6.2



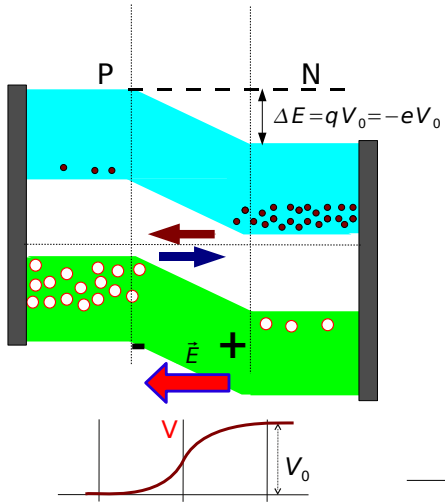
Polarización directa

FFI 6.2



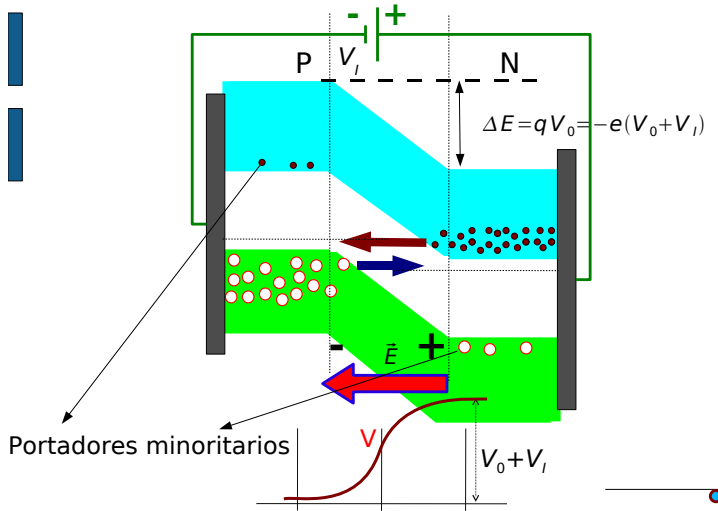
Polarización inversa

Equilibrio:



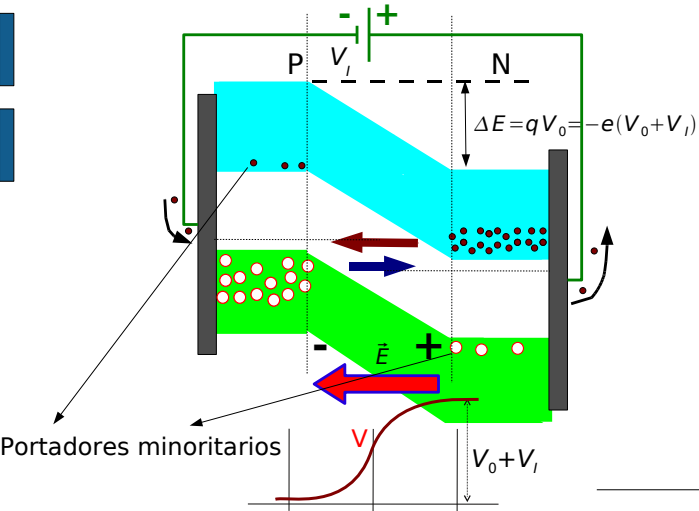
FFI 6.2

Polarización inversa



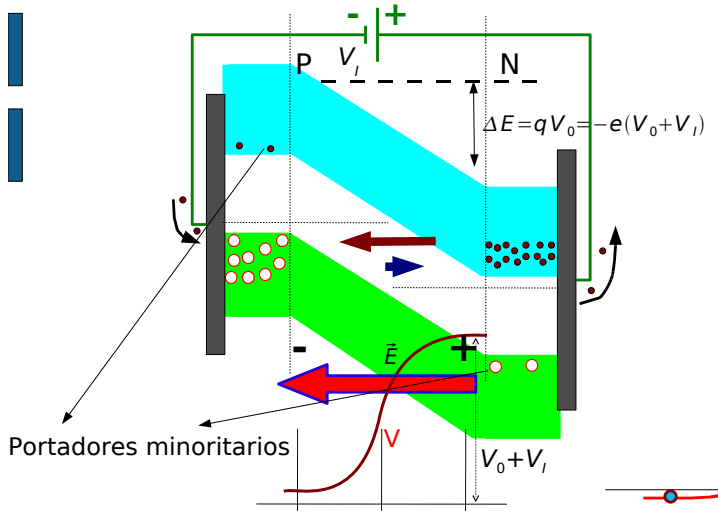
FFI 6.2

Polarización inversa



FFI 6.2

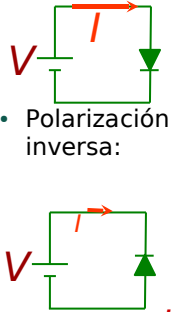
Polarización inversa



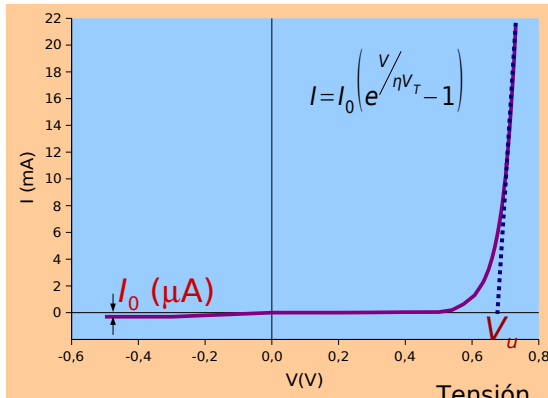
FFI 6.2

Curva característica del diodo

- Polarización directa:
- Polarización inversa:



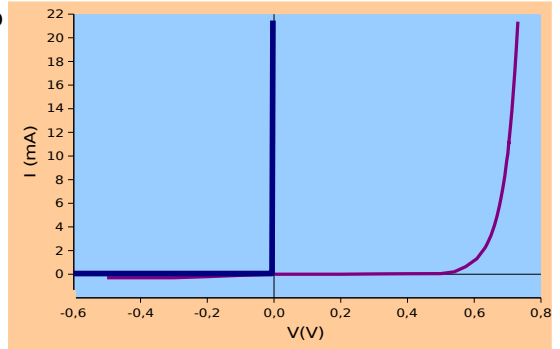
I_0 corriente máxima en polarización inversa (μA)



FFI 6.3

Diodo rectificador: 1ª aproximación

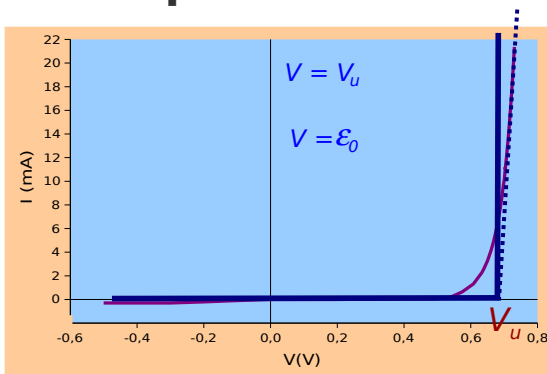
diodo ideal



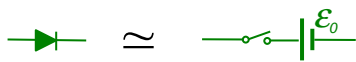
FFI 6.3



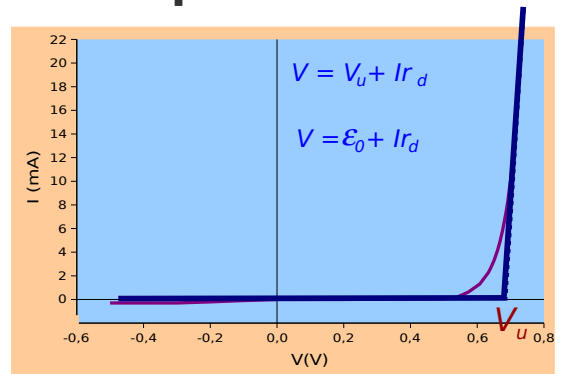
Diodo rectificador: 2ª aproximación



Tensión umbral



Diodo rectificador: 3ª aproximación

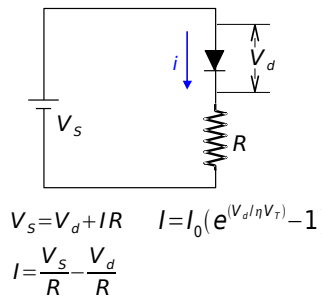
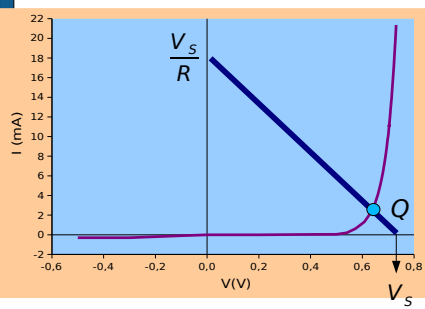


Tensión umbral

Aproximación lineal



Recta de carga Punto de trabajo Q

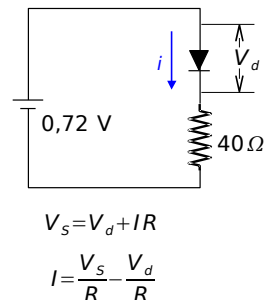
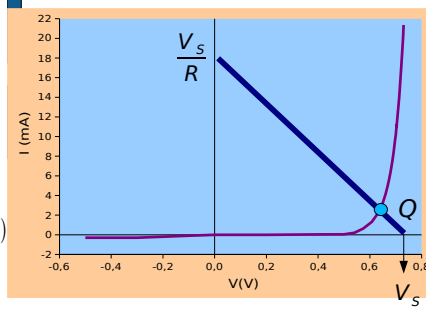


Puntos de corte con los ejes:

$$V_d = 0 \Rightarrow I = \frac{V_s}{R}$$

$$I = 0 \Rightarrow V_d = V_s$$

Recta de carga Punto de trabajo Q



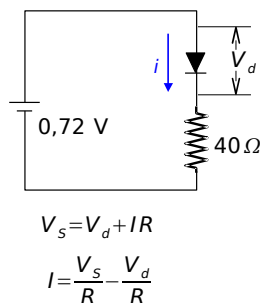
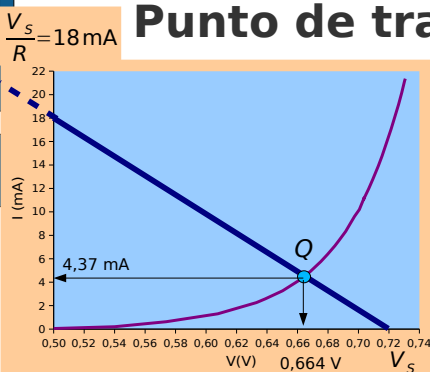
Puntos de corte con los ejes:

$$V_d = 0 \Rightarrow I = \frac{V_s}{R} = \frac{0,72}{40} = 18 \text{ mA}$$

$$I = 0 \Rightarrow V_d = V_s = 0,72 \text{ V}$$

Al punto de corte con el eje V_d se le llama "Corte" y al punto de corte con el eje I se le llama "Saturación".

Recta de carga Punto de trabajo Q



Puntos de corte con los ejes:

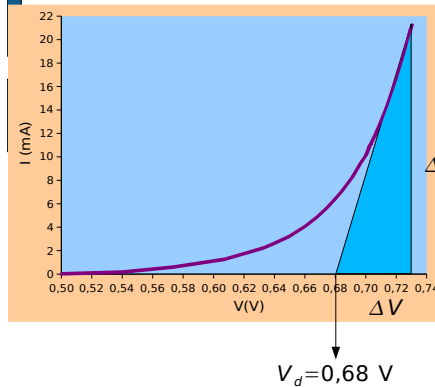
$$V_d = 0 \Rightarrow I = \frac{V_s}{R} = \frac{0,72}{40} = 18 \text{ mA}$$

$$I = 0 \Rightarrow V_d = V_s = 0,72 \text{ V}$$

Recta de carga:

$$V_d = 0,664 \text{ V} \quad I = 4,37 \text{ mA}$$

Parámetros del diodo



$$r = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{0,05 \text{ V}}{22 \text{ mA}} = 2,27 \Omega$$

$$V_d = 0,68 \text{ V}$$

Recta de carga Punto de trabajo Q

Primera aproximación:

$$V_d=0 \quad I=\frac{0,72}{40}=18 \text{ mA}$$

Segunda aproximación:

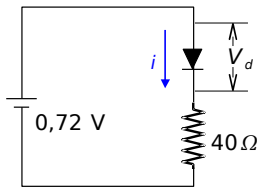
$$V_d=0,68 \quad I=\frac{0,72-0,68}{40}=1 \text{ mA}$$

Tercera aproximación:

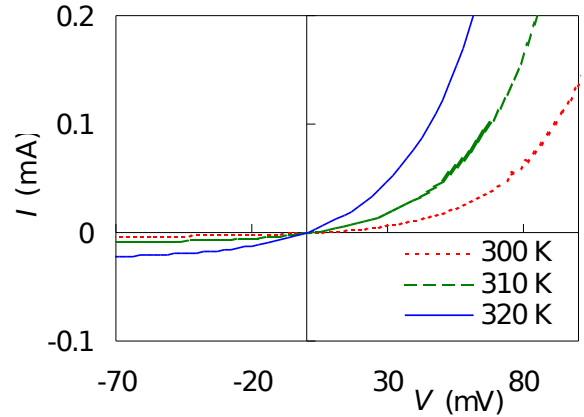
$$V_d=0,68 \quad I=\frac{0,72-0,68}{40+2,27}=0,95 \text{ mA}$$

Recta de carga:

$$V_d=0,664 \text{ V} \quad I=4,37 \text{ mA}$$



Influencia de la temperatura



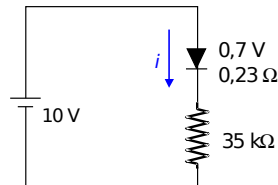
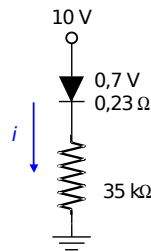
Ejemplo 10-2

Calcula la intensidad que circula por el diodo de la figura, utilizando las tres aproximaciones del diodo.

$$i=\frac{10}{35 \cdot 10^3}=0,286 \cdot 10^{-3} \text{ A}=0,286 \text{ mA}$$

$$i=\frac{10-0,7}{35 \cdot 10^3}=0,265 \text{ mA}$$

$$i=\frac{10-0,7}{35 \cdot 10^3+0,23}=0,2657 \text{ mA}$$

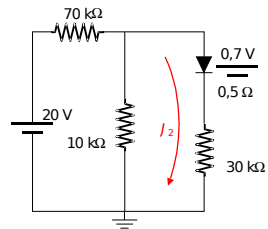
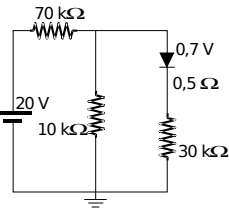


Ejemplo 10-3

Calcula la intensidad que circula por el diodo de la figura.

$$\begin{pmatrix} 20 \\ -0,7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 80 & -10 \\ -10 & 40,005 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

$$I_2 = \frac{\begin{vmatrix} 80 & 20 \\ -10 & -0,7 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 80 & -10 \\ -10 & 40,005 \end{vmatrix}} = 46,4 \mu\text{A}$$



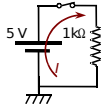
Ejercicio 4

Calcula la corriente que circula por el circuito de la figura, utilizando las tres aproximaciones para el diodo:

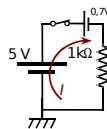
- Diodo ideal.
- Segunda aproximación.
- Tercera aproximación.

La tensión de codo del diodo es de 0,7 V, y su resistencia de 0,23 Ω.

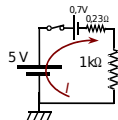
$$a) \quad I=\frac{5}{1000}=0,005 \text{ A}=5 \text{ mA}$$



$$b) \quad I=\frac{5-0,7}{1000}=0,0043 \text{ A}=4,3 \text{ mA}$$



$$c) \quad I=\frac{5-0,7}{1000+0,23}=4,299 \cdot 10^{-3}=4,299 \text{ mA}$$

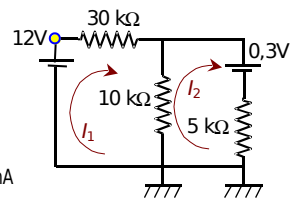
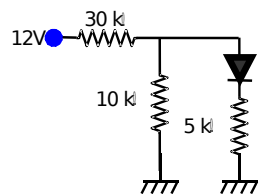


Ejercicio 7

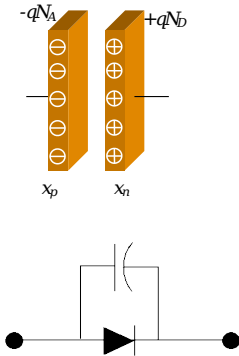
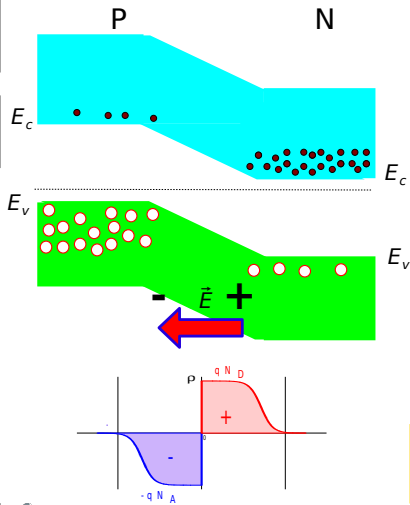
Calcula la corriente que circula por el diodo de la figura, sabiendo que se trata de un diodo de Germanio cuya tensión de codo o tensión umbral es de 0,3 V.

$$\begin{pmatrix} 12 \\ -0,3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 40 & -10 \\ -10 & 15 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

$$I_2 = \frac{\begin{vmatrix} 40 & 12 \\ -10 & -0,3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 40 & -10 \\ -10 & 15 \end{vmatrix}} = \frac{-12+120}{600-100} = \frac{108}{500} = \frac{27}{125} = 0,216 \text{ mA}$$

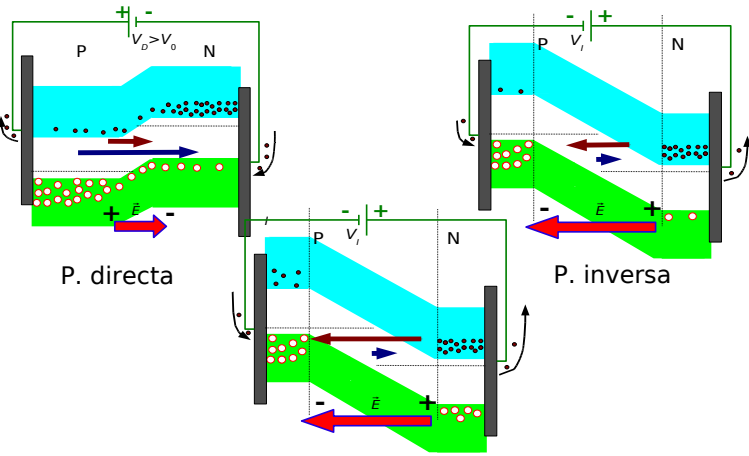


Capacidad de la unión p-n



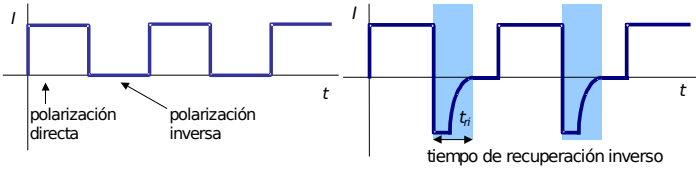
diodos varactores:
condensadores de semiconductor
con capacidad variable

Tiempo de recuperación inverso del diodo



Tiempo de recuperación inverso del diodo

$10^{-6} - 10^{-9}$ s

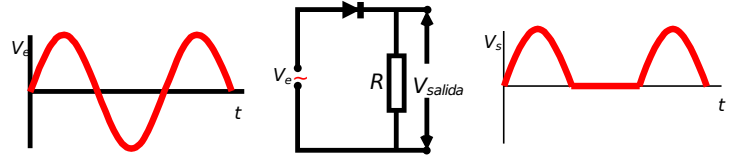


Comportamiento deseable de un diodo rectificador ante una señal alterna cuadrada; el paso de conducir a no conducir es instantáneo

comportamiento real de un diodo p-n con un tiempo de recuperación inverso del mismo orden que el periodo de oscilación de la señal

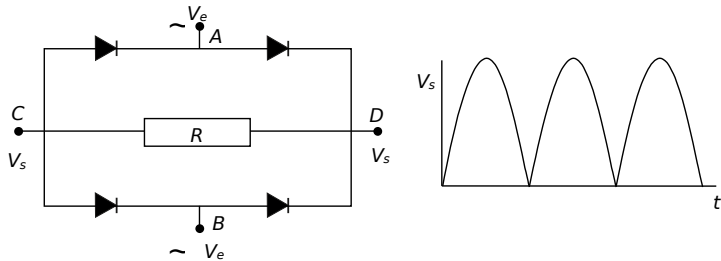
Aplicaciones del diodo

Rectificación de media onda:



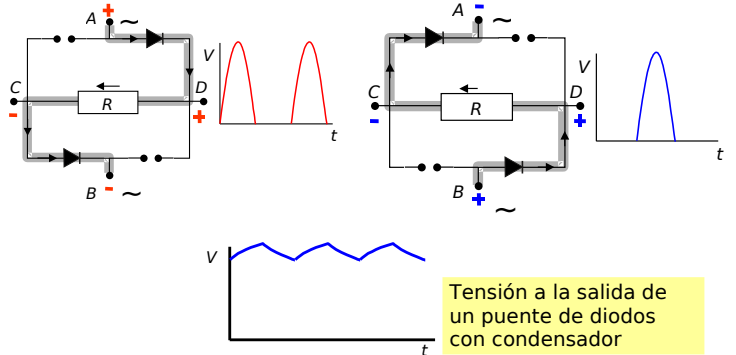
Aplicaciones del diodo

Puente de diodos: rectificación de onda completa



Aplicaciones del diodo

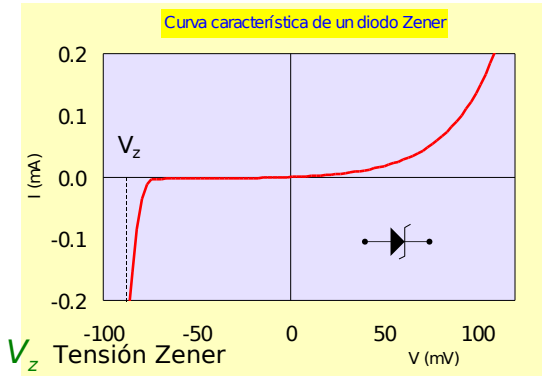
Puente de diodos: rectificación de onda completa



Tensión a la salida de un puente de diodos con condensador

Diodo Zener

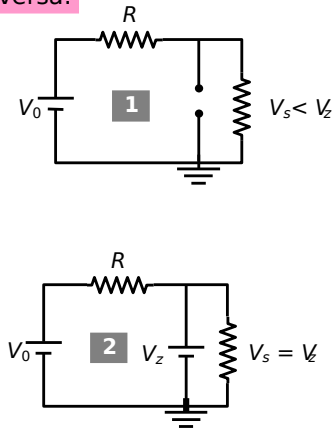
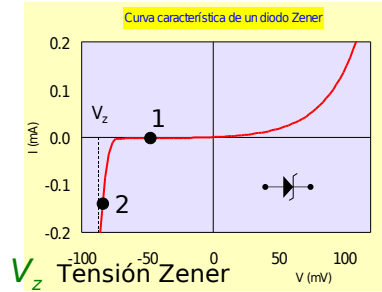
FFI 6.4



Diodo Zener

FFI 6.4

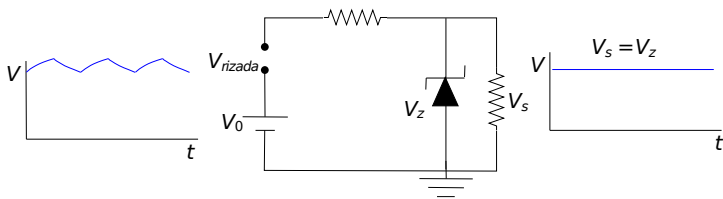
Modelización del diodo Zener en inversa:



Diodo Zener

FFI 6.5

Aplicación del diodo Zener: mantener constante un valor de la tensión.

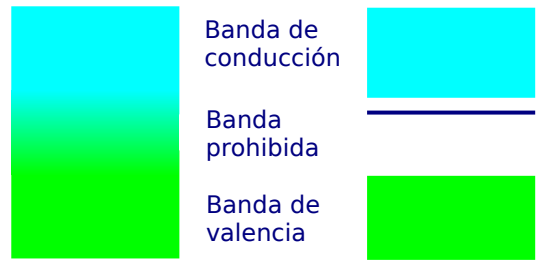


Diodo Schottky

FFI 6.1

conductor

N

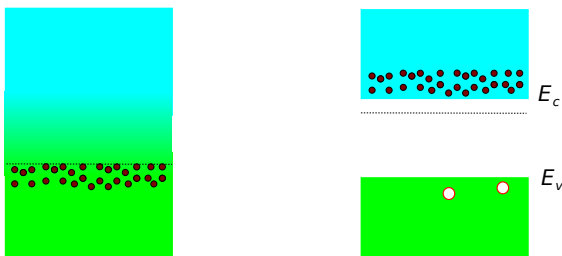


Diodo Schottky

FFI 6.1

conductor

N

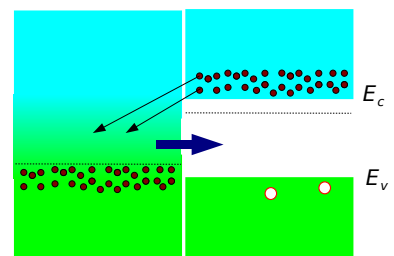


Diodo Schottky

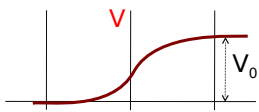
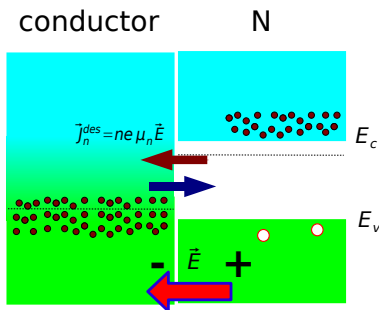
FFI 6.1

conductor

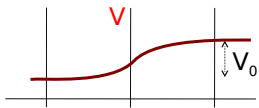
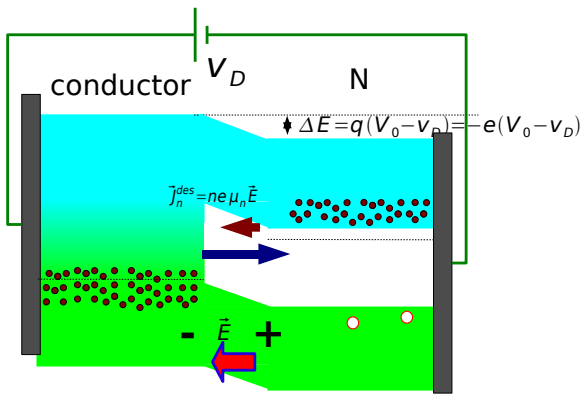
N



Diodo Schottky

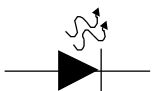
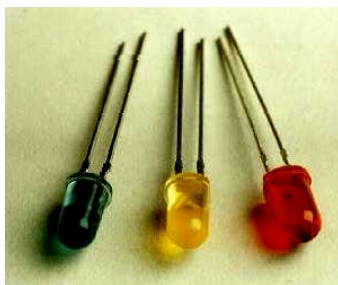


Diodo Schottky: directa

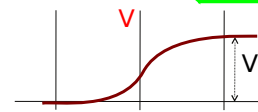
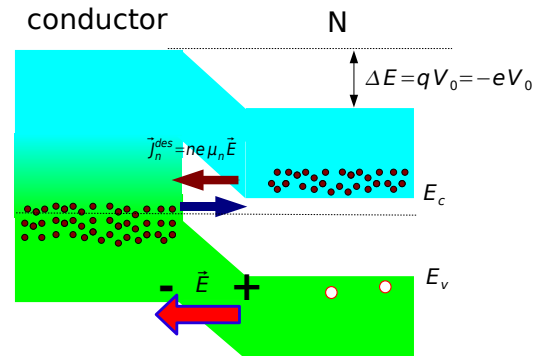


Diodo Led

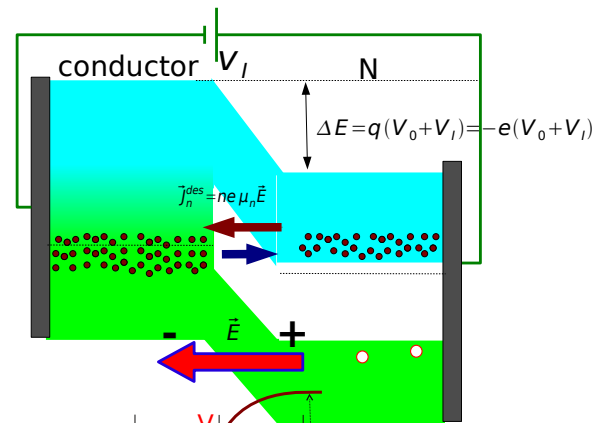
LED
Light Emitting Diode



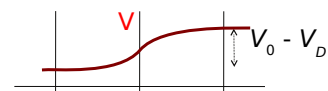
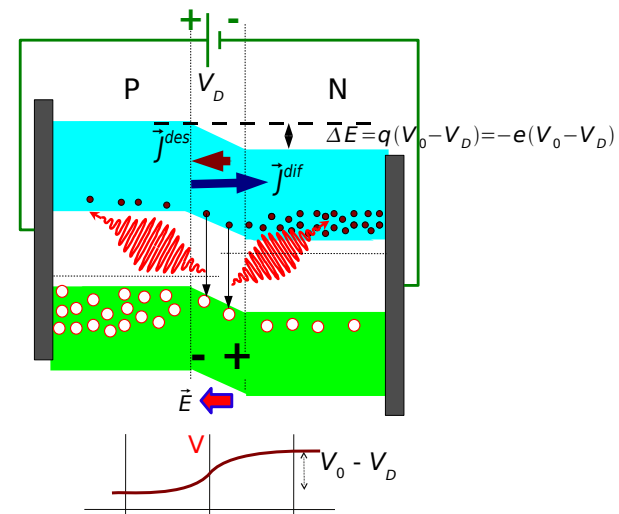
Diodo Schottky



Diodo Schottky: inversa



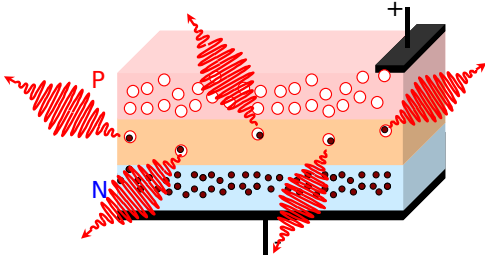
Polarización directa



Diodo Led

$$\Delta E = hf$$

$h = \text{constante de Planck}$
 $6,6 \cdot 10^{-34} \text{Js}$

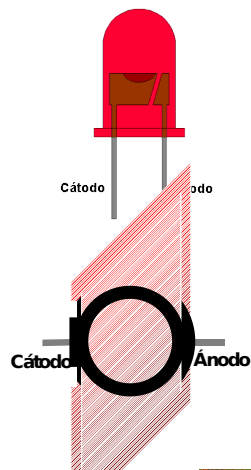
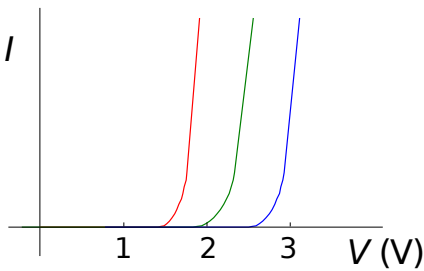


Diodo Led

Material	Dopante	Long. de onda (nm)	Color
GaAs	Zn	900	IR
GaAs	Si	900 - 1020	IR
GaP	N	570	Verde
GaP	N, N	590	Amarillo
GaP	Zn, O	700	Rojo
GaAs _{0.6} P _{0.4}	--	650	Rojo
GaAs _{0.35} P _{0.65}	N	632	Naranja
GaAs _{0.15} P _{0.85}	N	589	Amarillo
SiC	--	490	Azul
ZnSe	--	490	Azul

λ longitud de onda $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{ch}{\Delta E}$

Diodo Led



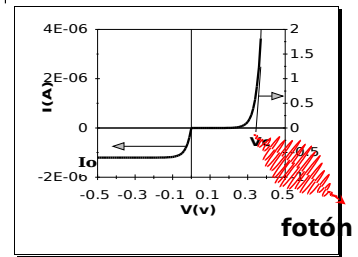
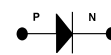
Diodo Led

diodo rectificador
diodo LED

$$2V \leq V_c \leq 3V$$

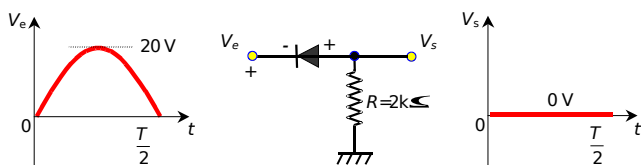
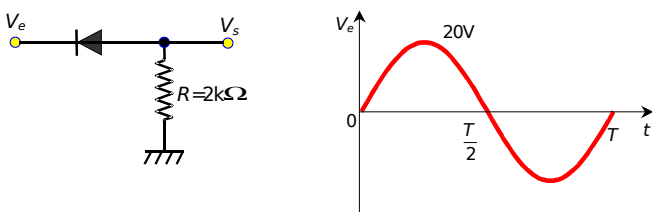
$$E_{g(\text{AsGa}+P)} \approx 2eV$$

$$\Delta E = E_g e = 3,2 \cdot 10^{-19} J$$

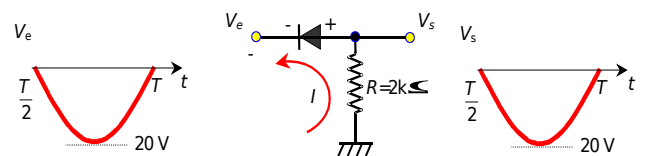
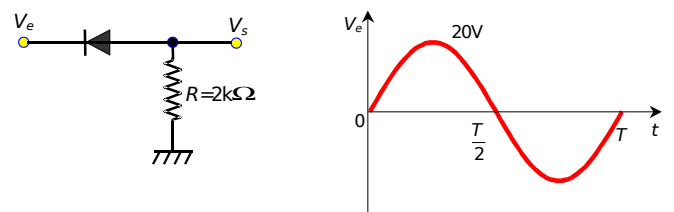


$$\lambda = \frac{ch}{\Delta E} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ms}^{-1} \cdot 6,6 \cdot 10^{-34} \text{Js}}{3,2 \cdot 10^{-19} J} = 619 \text{nm}$$

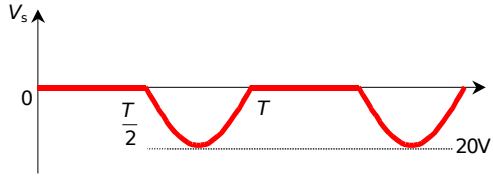
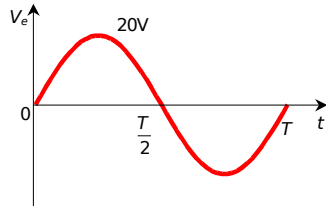
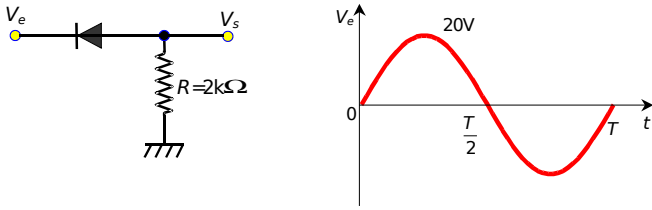
Ejercicio 12



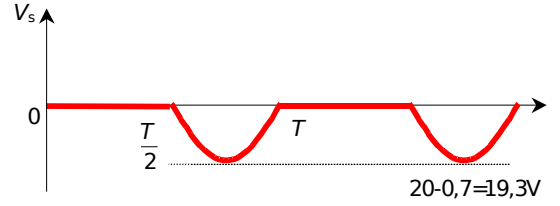
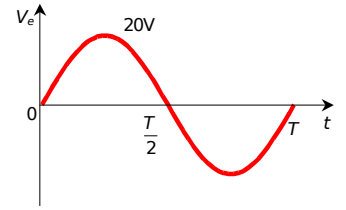
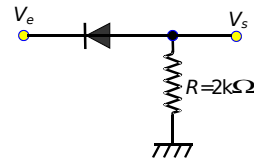
Ejercicio 12



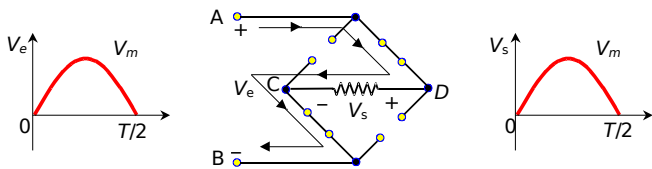
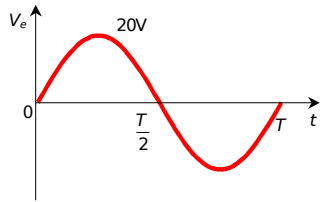
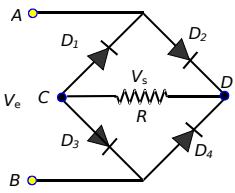
Ejercicio 12



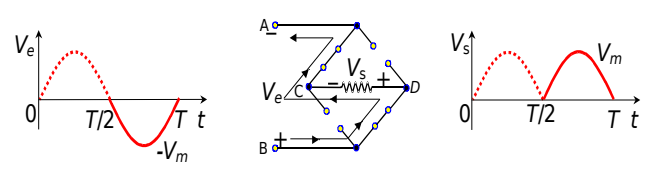
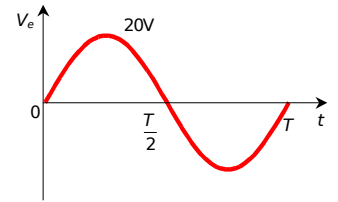
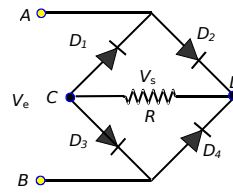
Ejercicio 12



Ejercicio 14



Ejercicio 14



Ejercicio 14

