

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

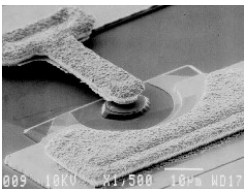
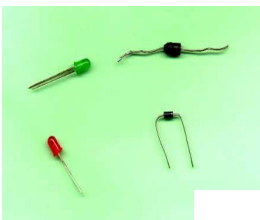
Presentación: 31 de marzo

Revisión: 30 de abril

30 % nota segundo parcial

Materia examen: 2 preguntas

Tema 6: El diodo



Tema 6. El diodo

Objetivos:

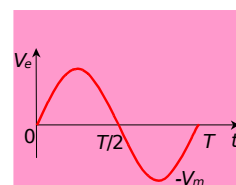
- Comprender cualitativamente los fundamentos físicos de la unión $p-n$ en equilibrio y polarizada.
- Conocer la curva característica $I-V$ de los diodos.
- Saber utilizar las distintas aproximaciones del diodo para resolver circuitos con diodos.
- Conocer algunos diodos especiales: Zener, LED y Schottky.

Tema 6. El diodo

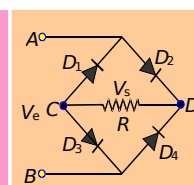
- 6.1 La unión $p-n$ en equilibrio.
- 6.2 Polarización del diodo.
- 6.3 Curva característica del diodo.
- 6.4 Diodos especiales: Zener, Schottky, LED.
- 6.5 Aplicaciones: limitador de tensión, rectificador, puertas lógicas.

Introducción

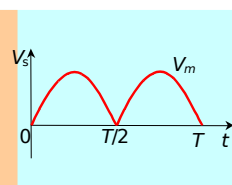
- Rectificación de corriente alterna: puente de diodos.



Señal de entrada



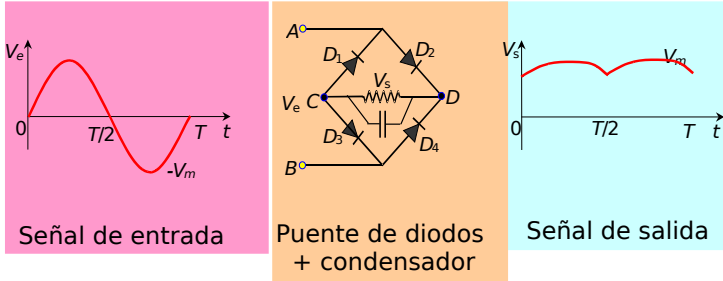
Puente de diodos



Señal de salida

Introducción

- Rectificación de corriente alterna: puente de diodos.



Introducción: corriente

- Desplazamiento:

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

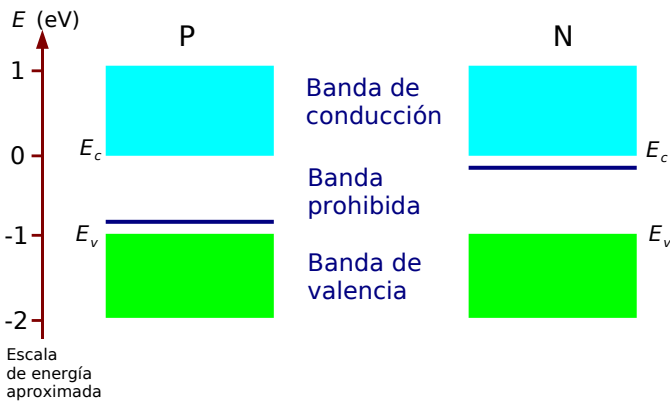
- Difusión:

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

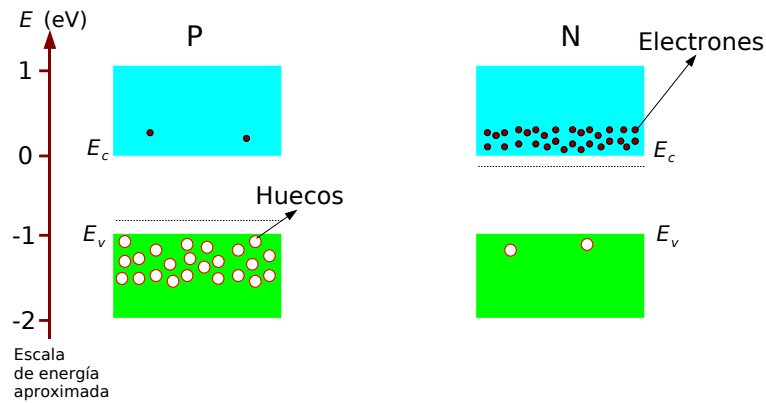
- Densidad de corriente total:

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

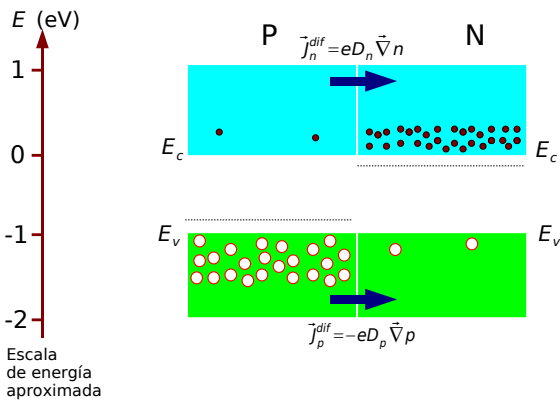
La unión p-n en equilibrio



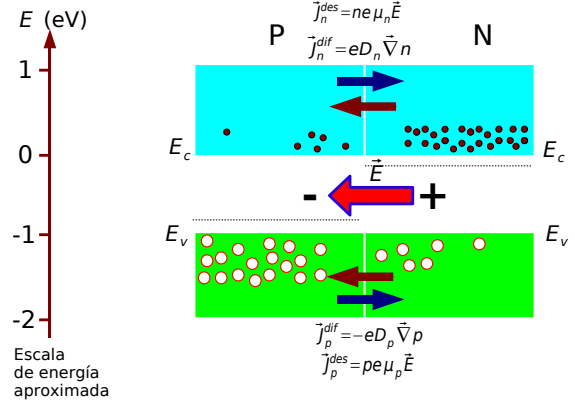
La unión p-n en equilibrio



La unión p-n en equilibrio



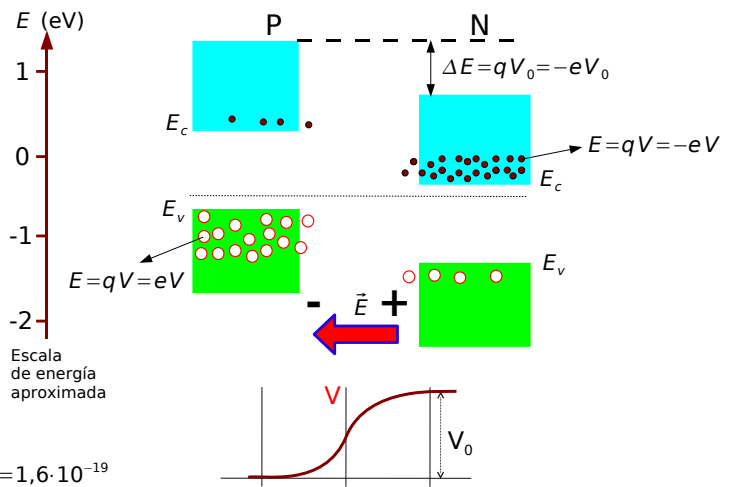
La unión p-n en equilibrio



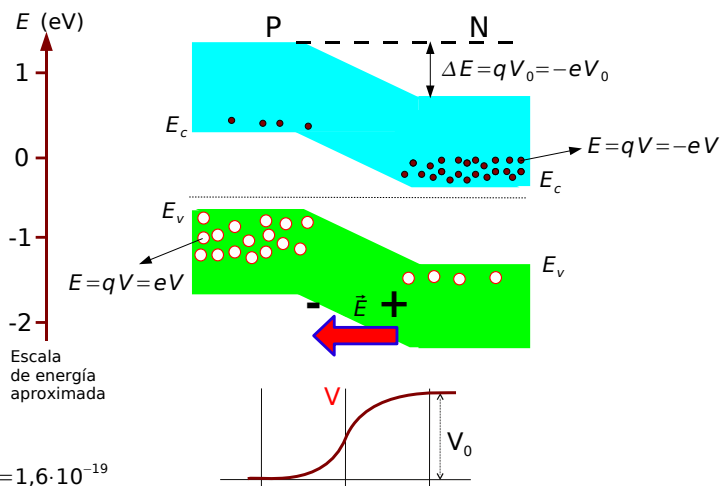
La unión p-n en equilibrio



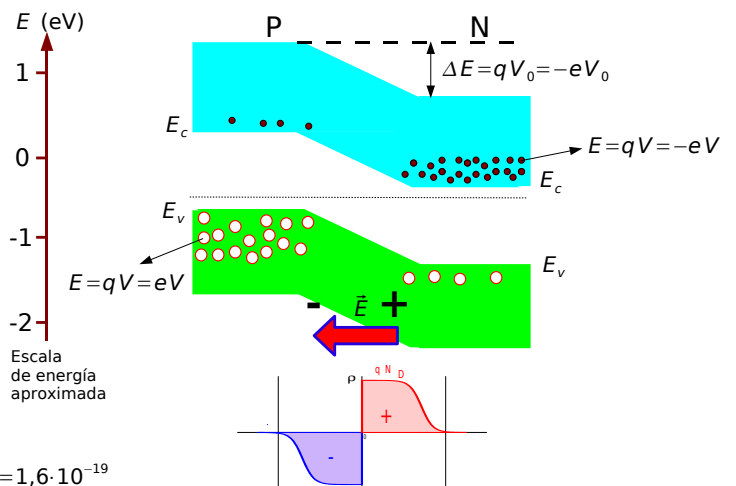
La unión p-n en equilibrio



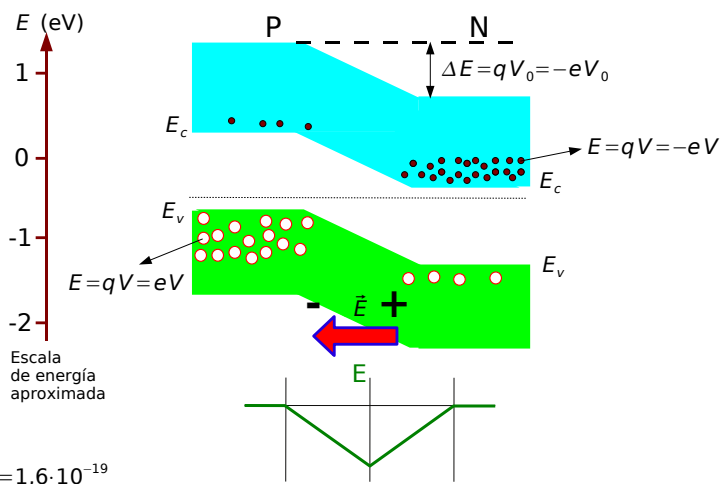
La unión p-n en equilibrio



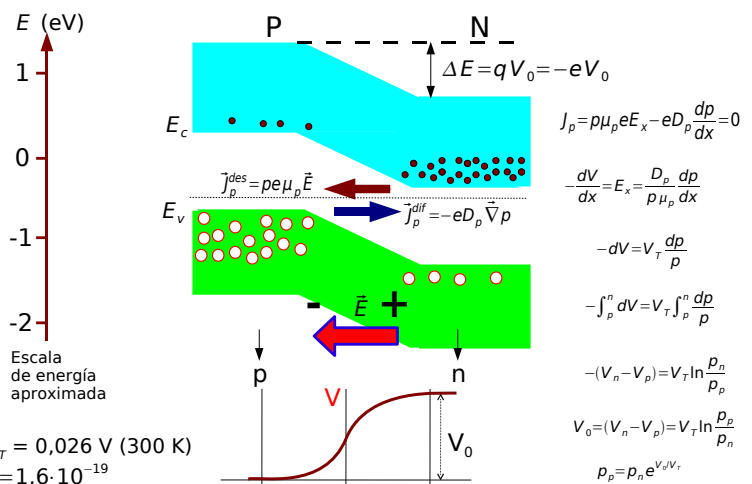
La unión p-n en equilibrio



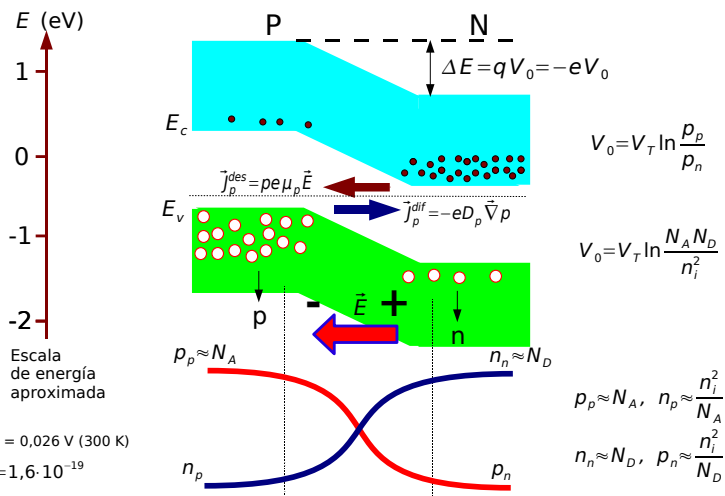
La unión p-n en equilibrio



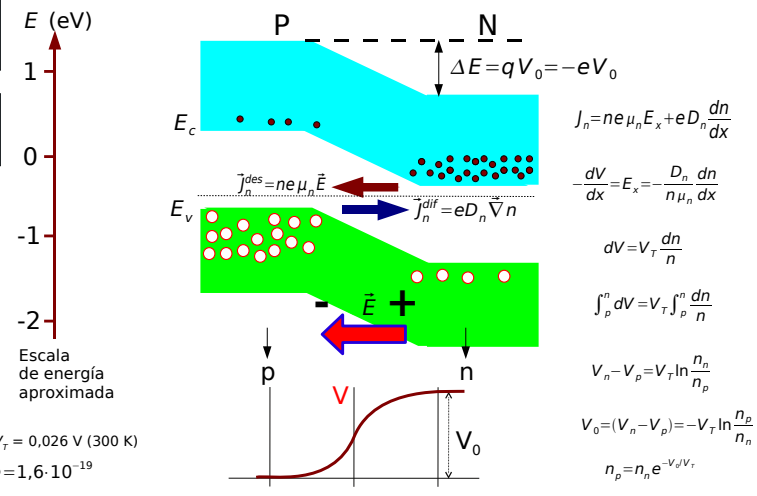
La unión p-n en equilibrio



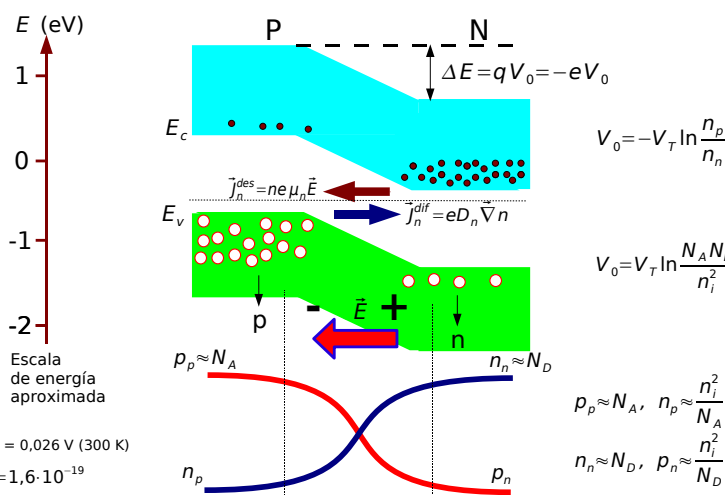
La unión p-n en equilibrio



La unión p-n en equilibrio



La unión p-n en equilibrio

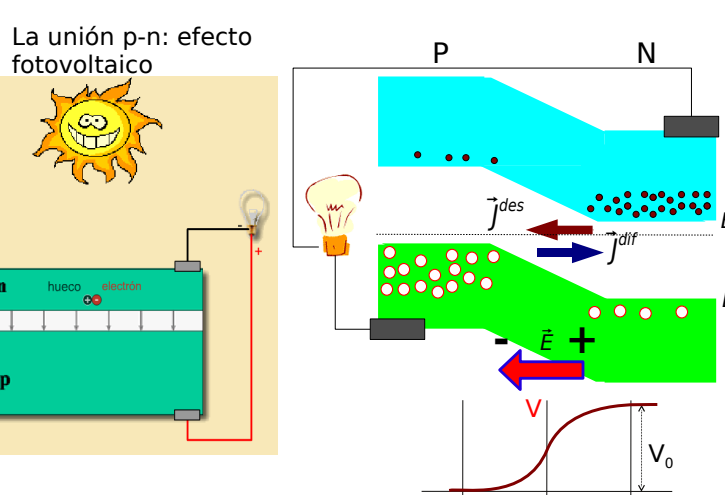


Ejemplo 10-1

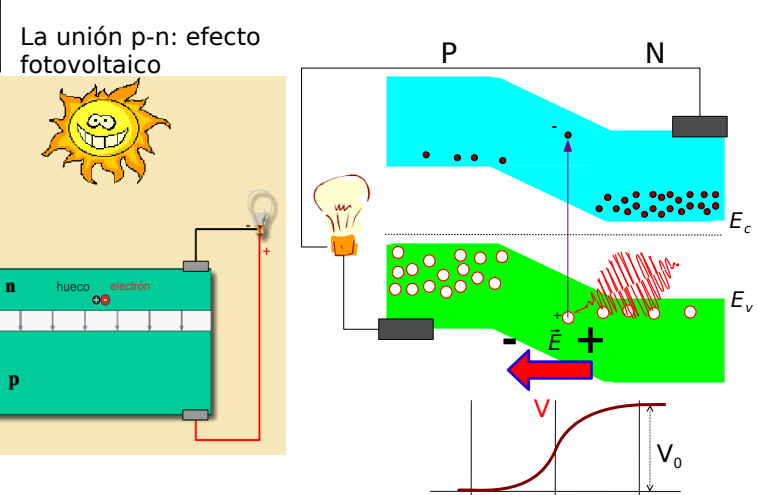
Calcula la diferencia de potencial en la unión pn de un diodo de germanio, dopado con antimonio en una concentración de $4 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$ en su zona n, y con indio en una concentración de $3 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$ en su zona p, a 300 K.

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

La unión p-n en equilibrio



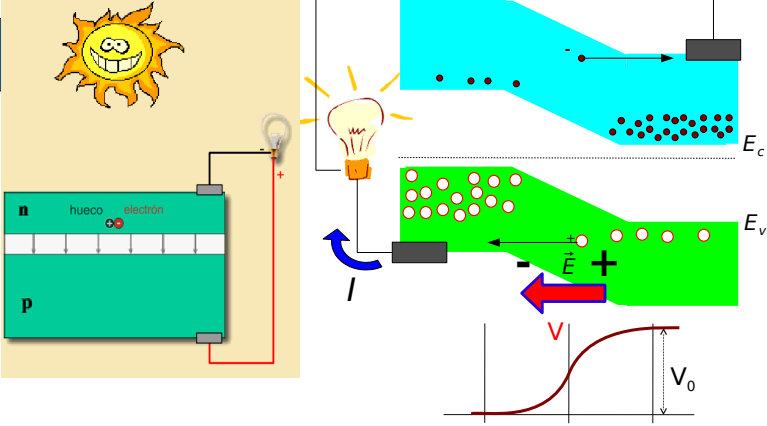
La unión p-n en equilibrio



La unión p-n en equilibrio

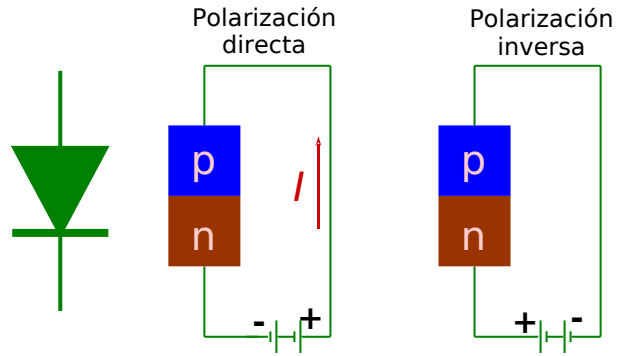
FFI 6.1

La unión p-n: efecto fotovoltaico



Polarización del diodo

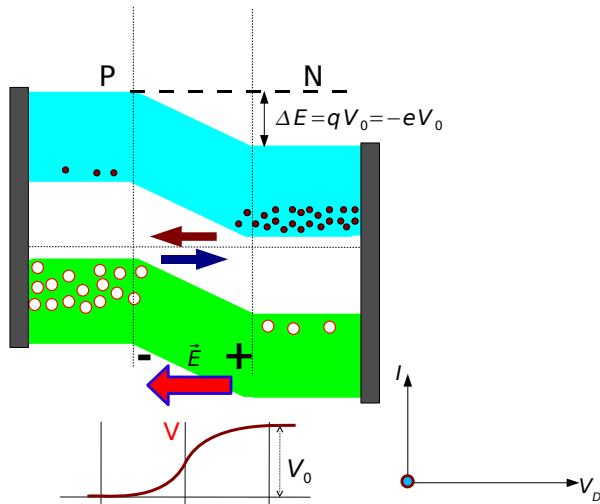
FFI 6.2



Polarización directa

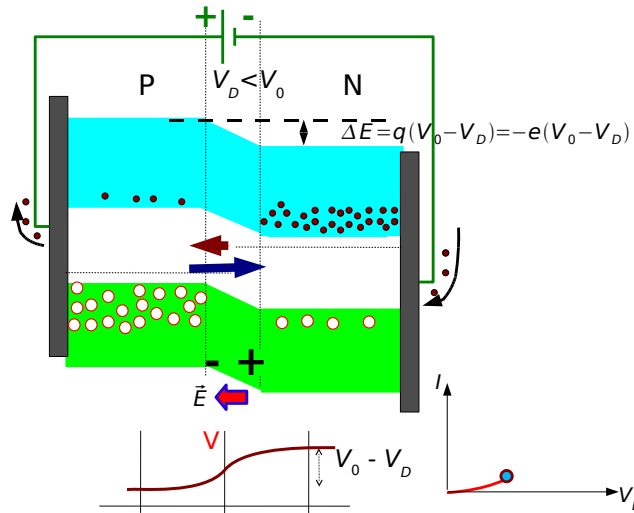
FFI 6.2

Equilibrio:



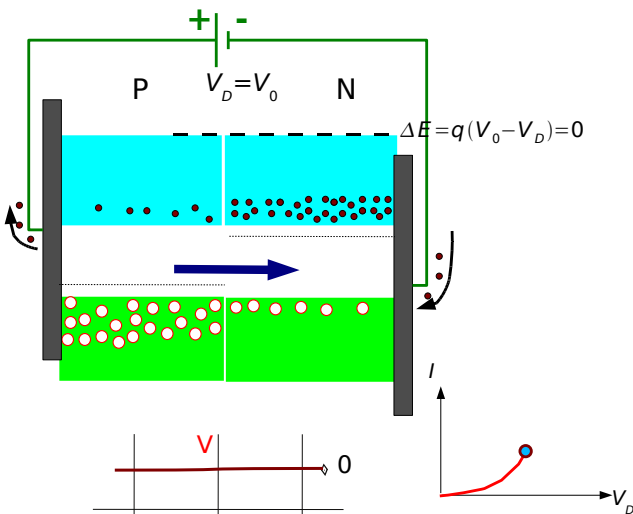
Polarización directa

FFI 6.2



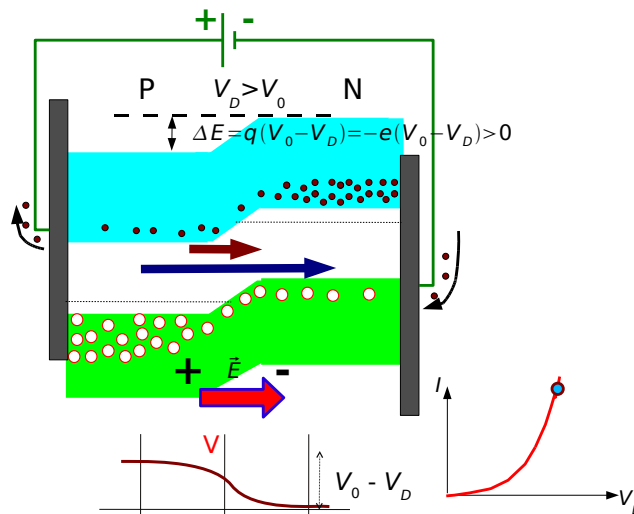
Polarización directa

FFI 6.2



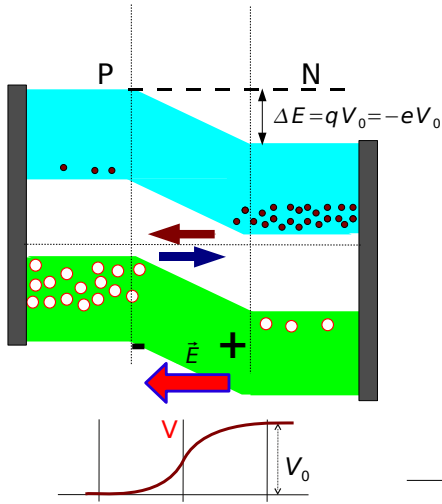
Polarización directa

FFI 6.2

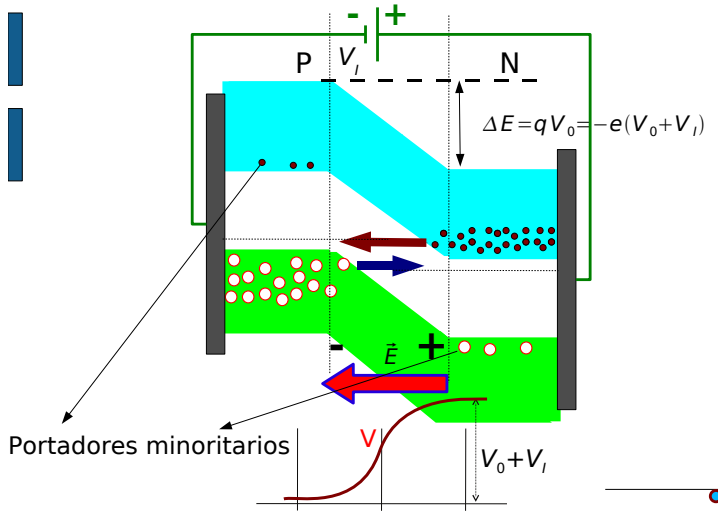


Polarización inversa

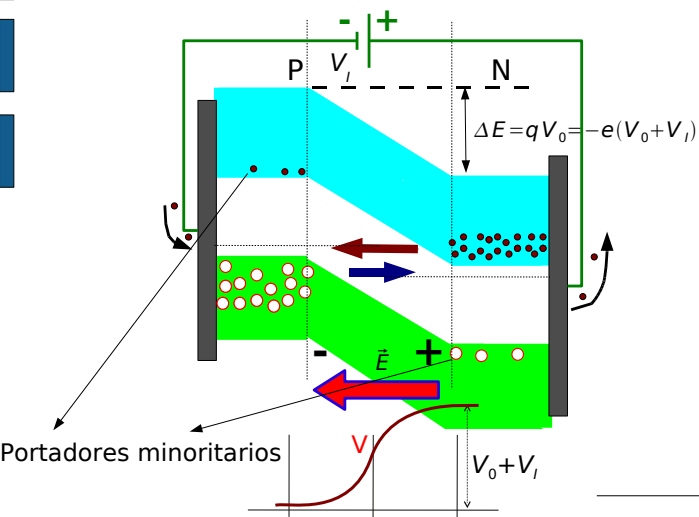
Equilibrio:



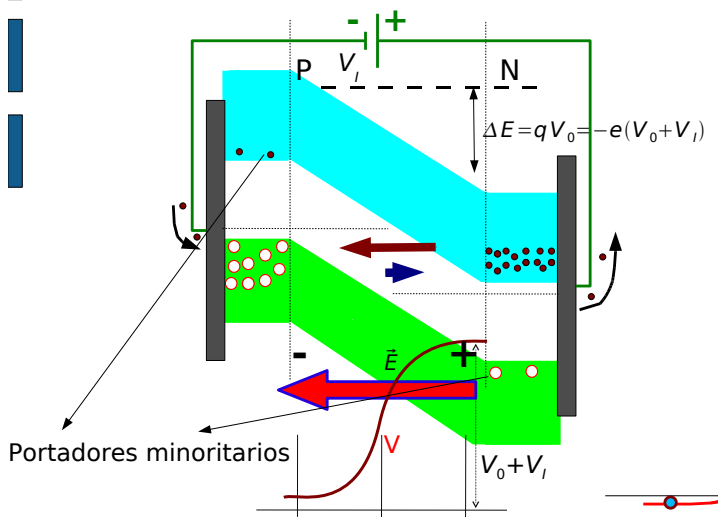
Polarización inversa



Polarización inversa

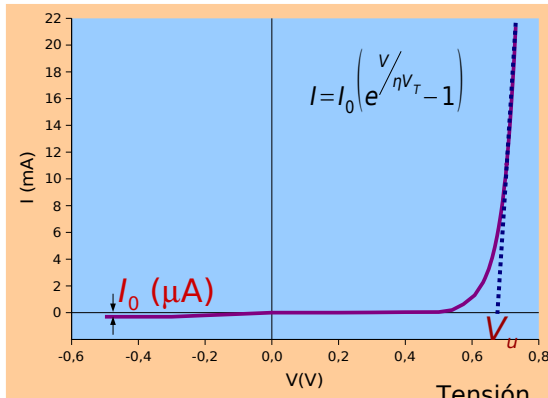
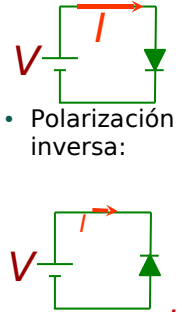


Polarización inversa



Curva característica del diodo

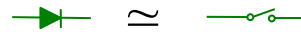
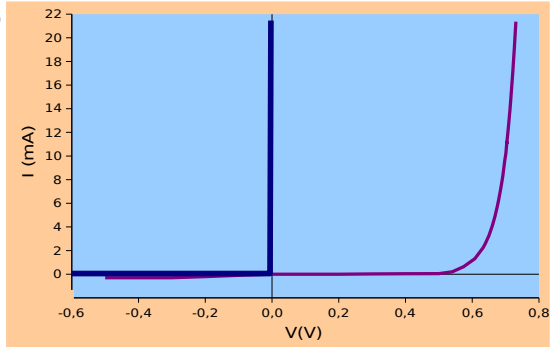
- Polarización directa:
- Polarización inversa:



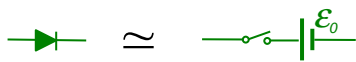
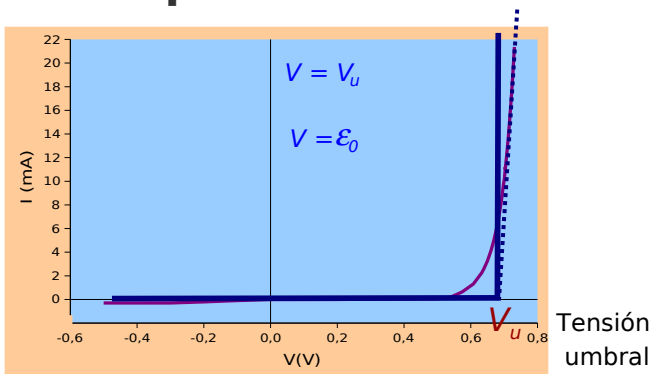
I_0 corriente máxima en polarización inversa (μA)

Diodo rectificador: 1ª aproximación

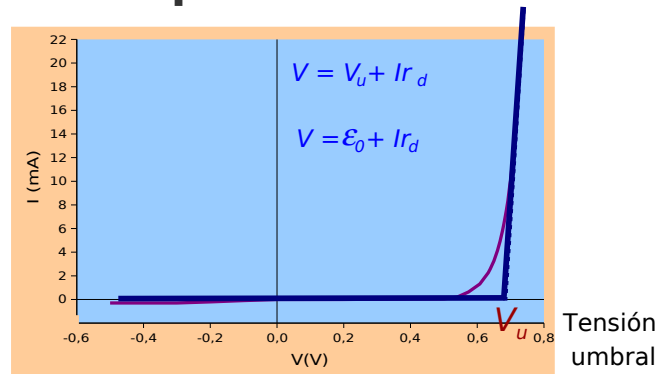
diodo ideal



Diodo rectificador: 2ª aproximación



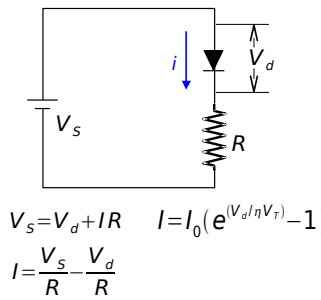
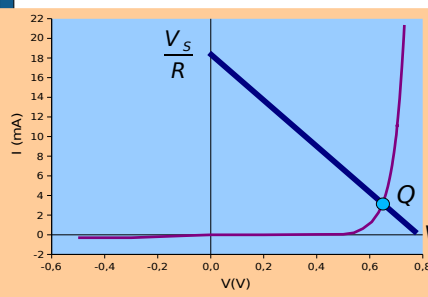
Diodo rectificador: 3ª aproximación



Aproximación lineal



Recta de carga Punto de trabajo Q

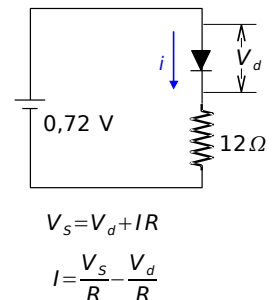
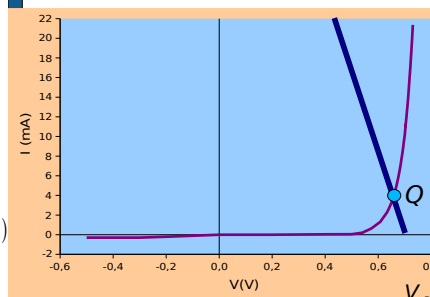


Puntos de corte con los ejes:

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

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

Recta de carga Punto de trabajo Q



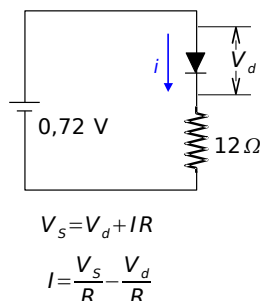
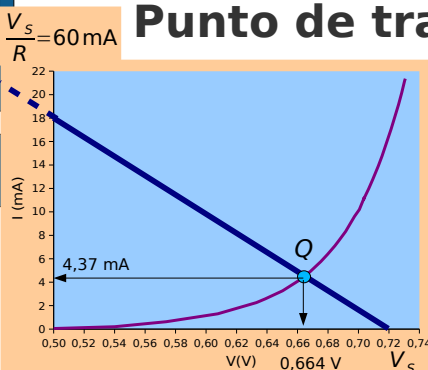
Puntos de corte con los ejes:

$$V_d = 0 \Rightarrow I = \frac{V_s}{R} = \frac{0,72}{12} = 60 \text{ mA}$$

$$I = 0 \Rightarrow V_d = V_s = 0,72$$

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



Recta de carga:

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

Puntos de corte con los ejes:

$$V_d = 0 \Rightarrow I = \frac{V_s}{R} = \frac{0,72}{12} = 60 \text{ mA}$$

$$I = 0 \Rightarrow V_d = V_s = 0,72$$

Recta de carga Punto de trabajo Q

Primera aproximación:

$$V_d = 0 \quad I = \frac{0,72}{12} = 60 \text{ mA}$$

Segunda aproximación:

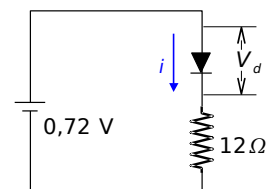
$$V_d = 0,68 \quad I = \frac{0,72 - 0,68}{12} = 3,33 \text{ mA}$$

Tercera aproximación:

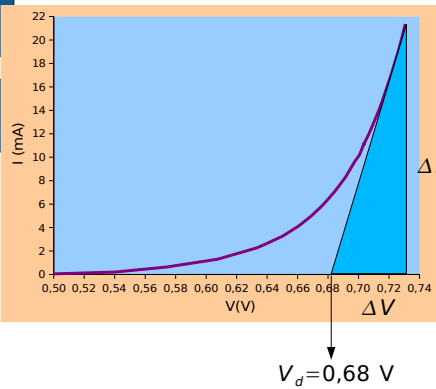
$$V_d = 0,68 \quad I = \frac{0,72 - 0,68}{12 + 2,27} = 2,8 \text{ mA}$$

Recta de carga:

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

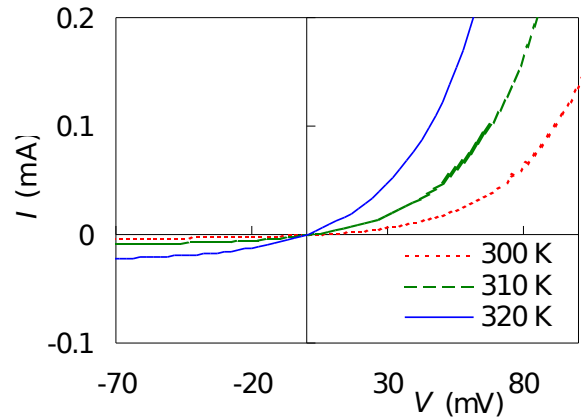


Parámetros del diodo



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

Influencia de la temperatura



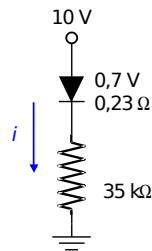
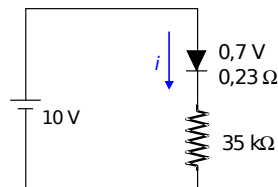
Ejemplo 10-2

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

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

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

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

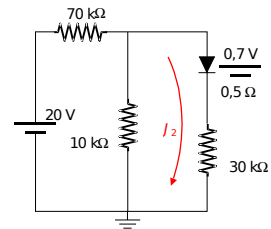
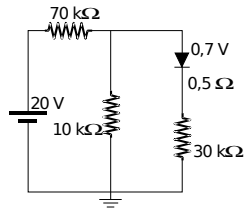


Ejemplo 10-3

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

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

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



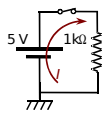
Ejercicio 4

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

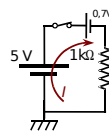
- Diodo ideal.
- Segunda aproximación.
- Tercera aproximación.

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

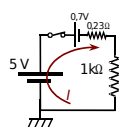
$$a) \quad I = \frac{5}{1000} = 0,005 \text{ A} = 5 \text{ mA}$$



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



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

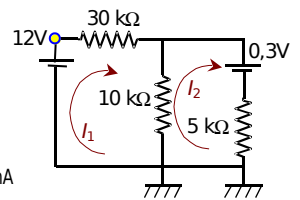
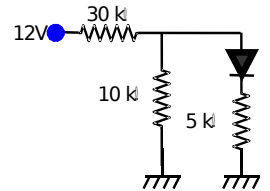


Ejercicio 7

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.

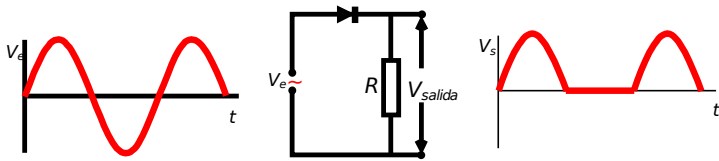
$$\begin{pmatrix} 12 \\ -0,3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 40 & -10 \\ -10 & 15 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

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



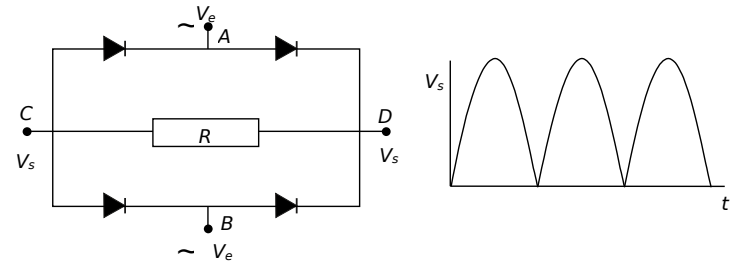
Aplicaciones del diodo

Rectificación de media onda:



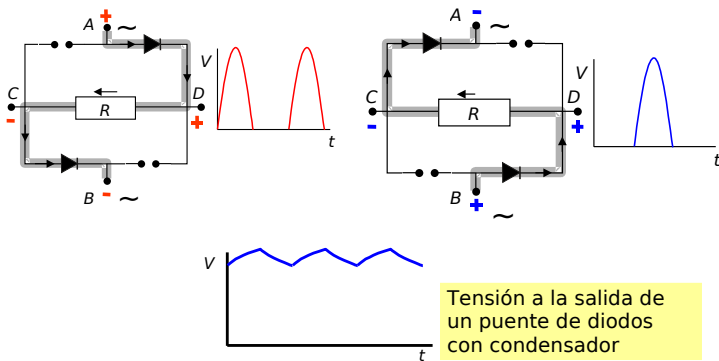
Aplicaciones del diodo

Puente de diodos: rectificación de onda completa

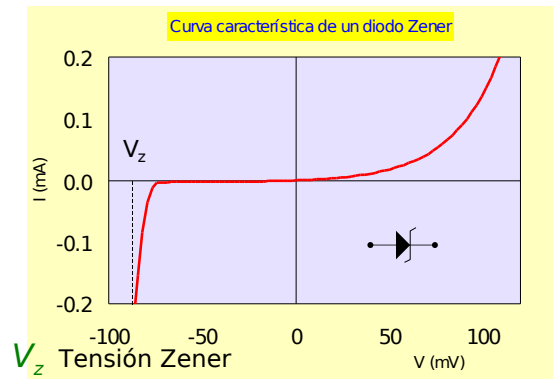


Aplicaciones del diodo

Puente de diodos: rectificación de onda completa

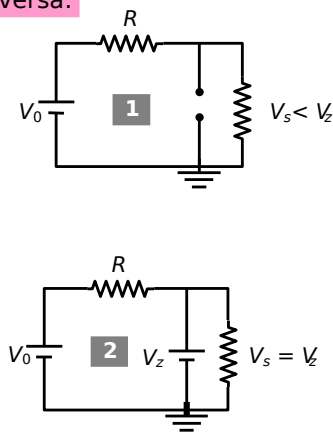
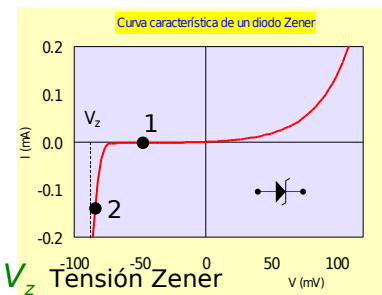


Diodo Zener



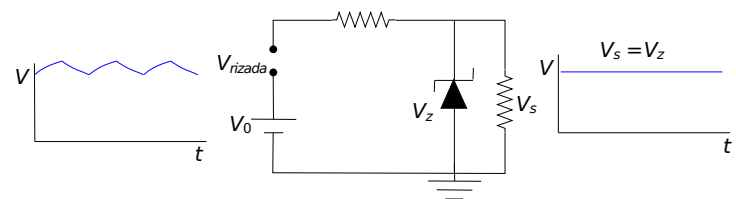
Diodo Zener

Modelización del diodo Zener en inversa:

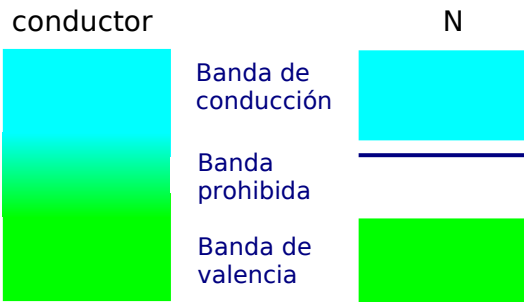


Diodo Zener

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

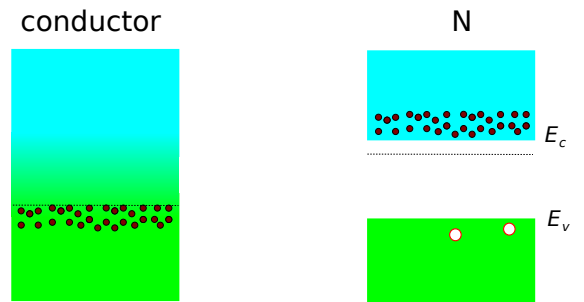


Diodo Schottky



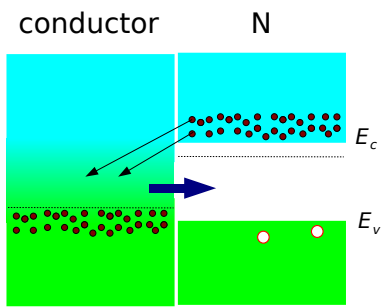
FFI 6.1

Diodo Schottky



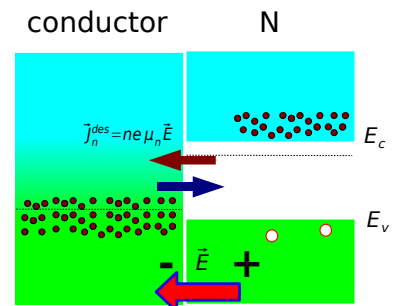
FFI 6.1

Diodo Schottky



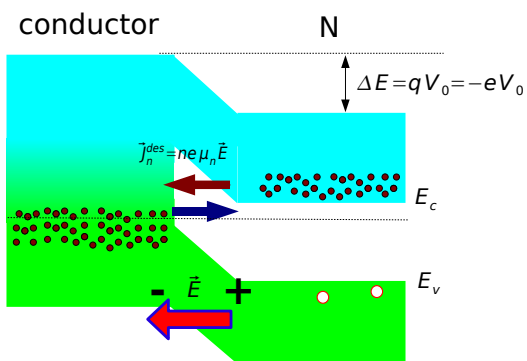
FFI 6.1

Diodo Schottky



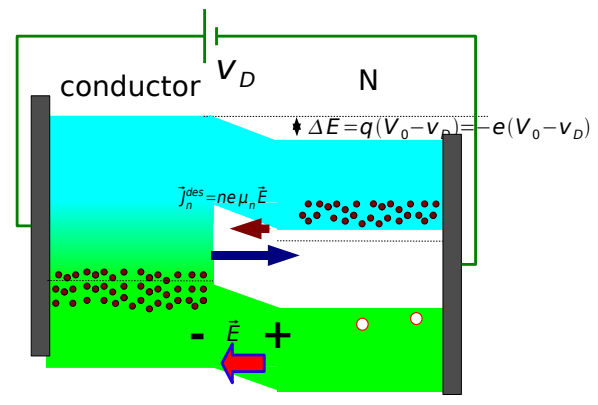
FFI 6.1

Diodo Schottky

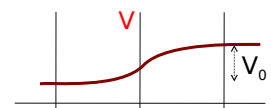


FFI 6.1

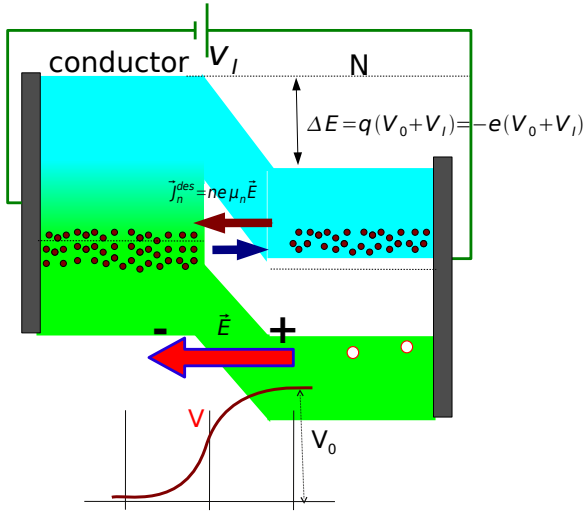
Diodo Schottky: directa



FFI 6.1



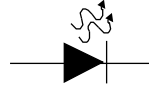
Diodo Schottky: inversa



FFI 6.1

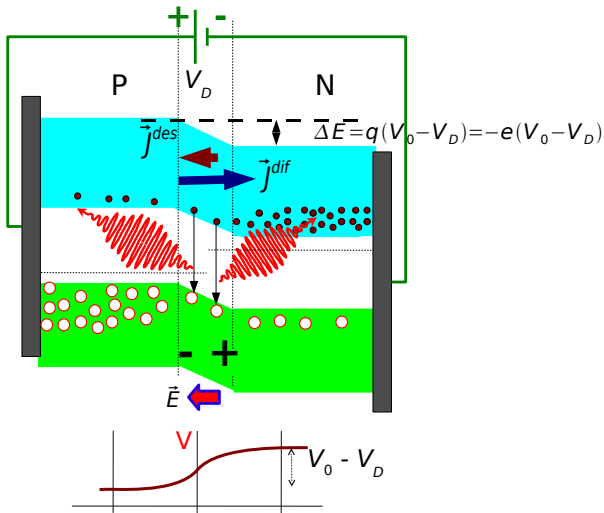
Diodo Led

LED
Light Emitting Diode



FFI 6.4

Polarización directa

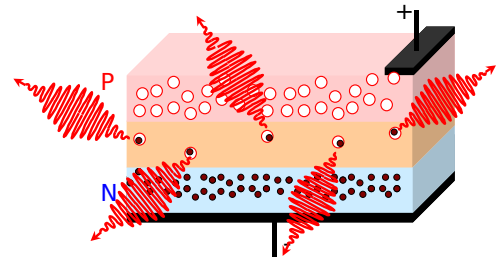


FFI 6.2

Diodo Led

$$\Delta E = hf$$

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



FFI 6.4

Diodo Led

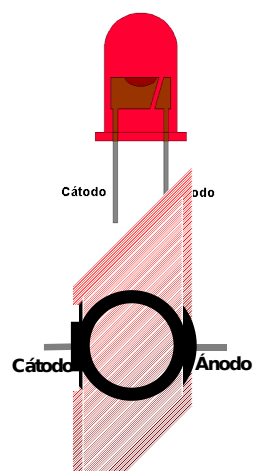
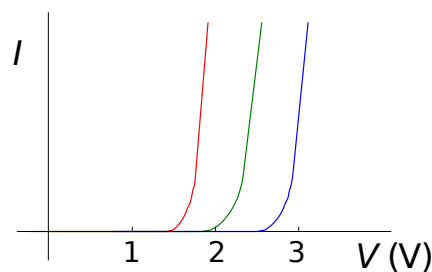
FFI 6.4

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

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{ch}{\Delta E}$$



FFI 6.4

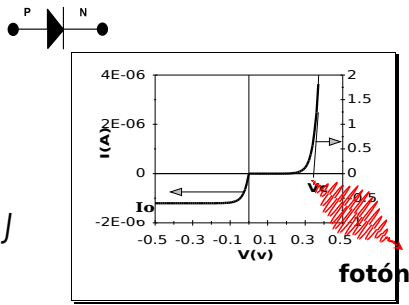
Diodo Led

diodo rectificador
diodo LED

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

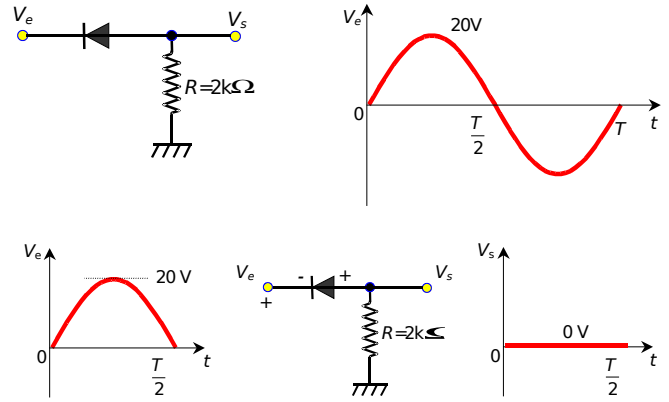
$$E_{g(AsGaP)} \approx 2eV$$

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

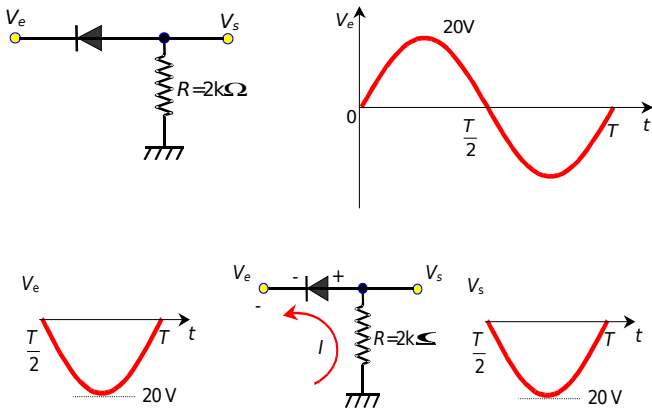


$$\lambda = \frac{ch}{\Delta E} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1} \cdot 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{3,2 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 619 \text{ nm}$$

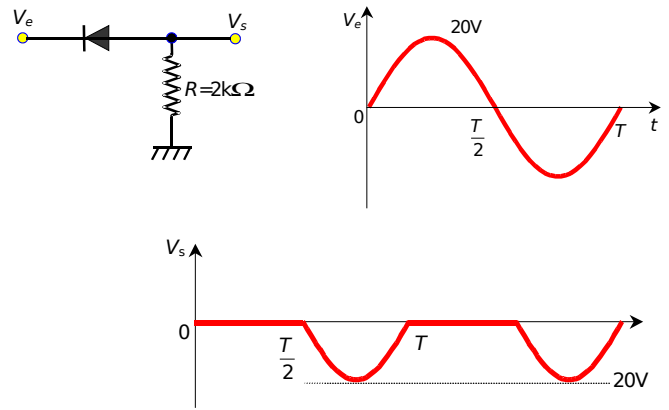
Ejercicio 12



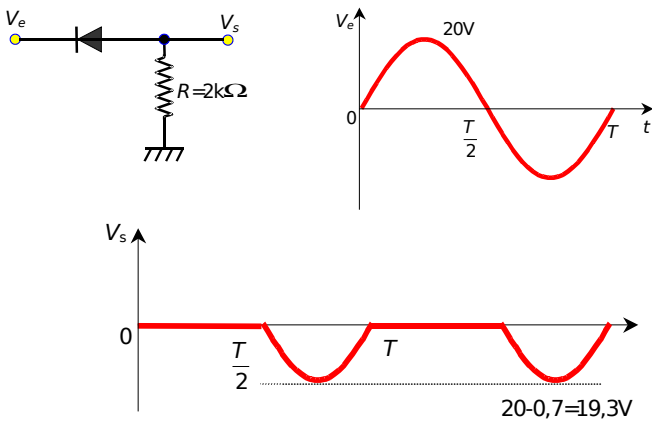
Ejercicio 12



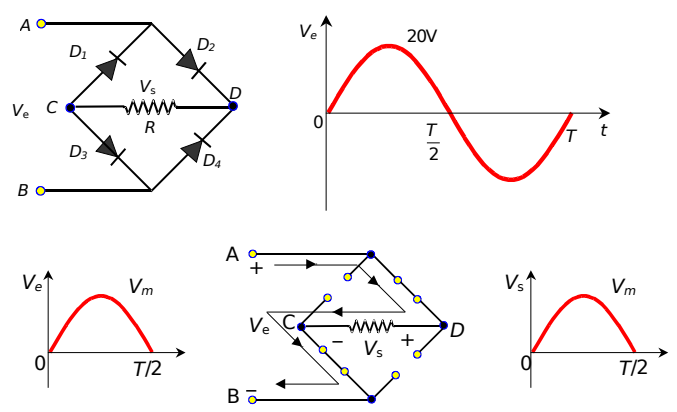
Ejercicio 12



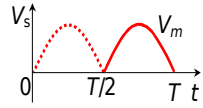
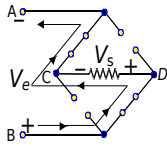
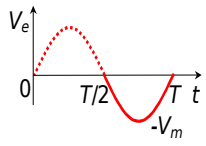
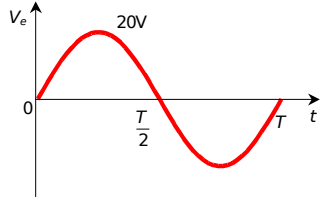
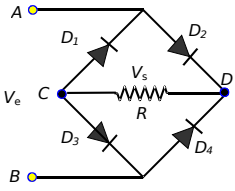
Ejercicio 12



Ejercicio 14



Ejercicio 14



Ejercicio 14

