



SISTEMAS ELECTRÓNICOS PARA ILUMINACIÓN

PARTE II LÁMPARAS





LÁMPARAS DE ESTADO SÓLIDO (LED'S DE ALTA EFICIENCIA) **SOLID-STATE LIGHTING**

FENÓMENO FÍSICO DENOMINADO INYECCIÓN LUMINISCENTE

LA EMISIÓN ESPONTÁNEA DE LUZ EN SEMICONDUCTORES ES DEBIDA A LA RECOMBINACIÓN RADIANTE DE LOS EXCESOS DE HUECOS Y ELECTRONES

EL EXCESO DE HUECOS Y ELECTRONES SE PRODUCE MEDIANTE LA INYECCIÓN DE CORRIENTE CON PEQUEÑAS PÉRDIDAS

LA FORMA MAS EFICIENTE DE ELECTROLUMINISCENCIA ES LA INYECCIÓN LUMINISCENTE

FENÓMENO DESCUBIERTO POR ROUND EN 1907: INYECTO CORRIENTE EN UNA UNIÓN DE METAL CON CARBURO DE SILICIO Y OBSERVO LUZ AMARILLA

LA INVENCIÓN DEL LED ROJO OCURRIÓ EN 1962 (HOLONYAK Y BEVACQUA)

EN LA ACTUALIDAD ES UNO DE LOS FENÓMENOS FÍSICOS MAS PROMETEDORES PARA PRODUCIR LUZ



Mecánica cuántica

Física clásica

$$E = \frac{1}{2} \frac{p^2}{m} + E_p \quad \frac{dp}{dt} = F_{ext}$$

Relación de
Broglie

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

Ψ : Función de onda

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi^* \psi dx dy dz = 1$$

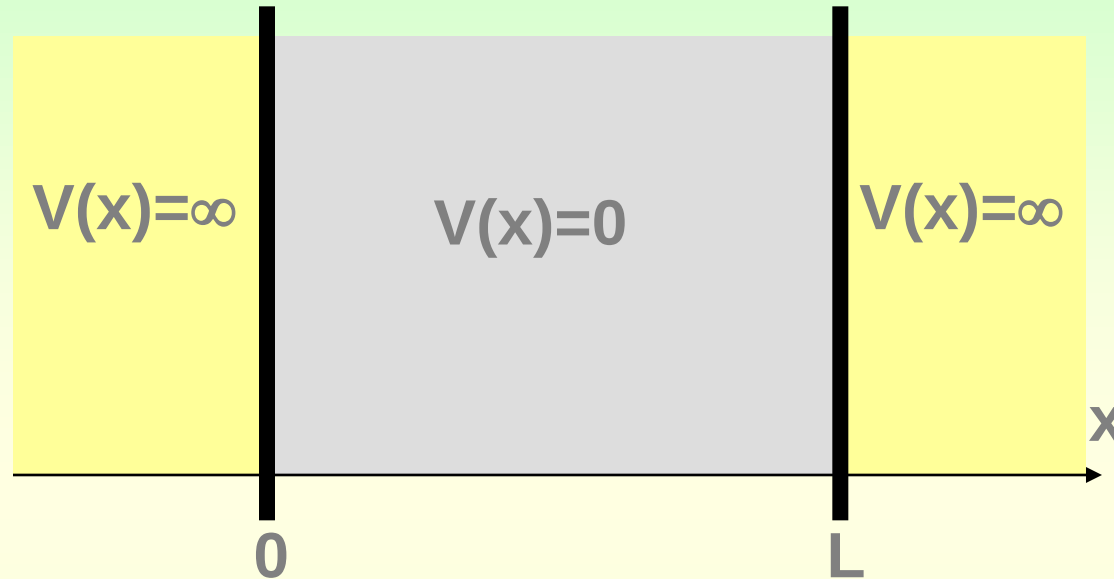
$$\psi^* \psi = |\psi|^2$$

$$\frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial^2 y} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial^2 z} \right) - V\psi = -i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t}$$

Ecuación de Schrödinger



Problema del pozo cuántico



$$\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi(x)}{\partial^2 x} - V(x)\psi(x) = -i\hbar \frac{\partial \psi(x)}{\partial t}$$

$$\frac{\partial^2 \psi(x)}{\partial^2 x} + \frac{2m}{\hbar^2} [E - V(x)]\psi(x) = 0 \quad \frac{\partial^2 \psi(x)}{\partial^2 x} + \frac{2m}{\hbar^2} E\psi(x) = 0$$

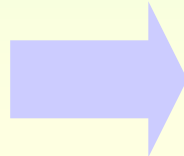


Pozo cuántico (Quantum well)

$$\psi(x) = A \operatorname{sen}(kx) + B \cos(kx)$$

$$k^2 = \frac{2mE}{\hbar^2}$$

Condiciones de contorno



$$B = 0$$

$$k = \frac{n\pi}{L} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

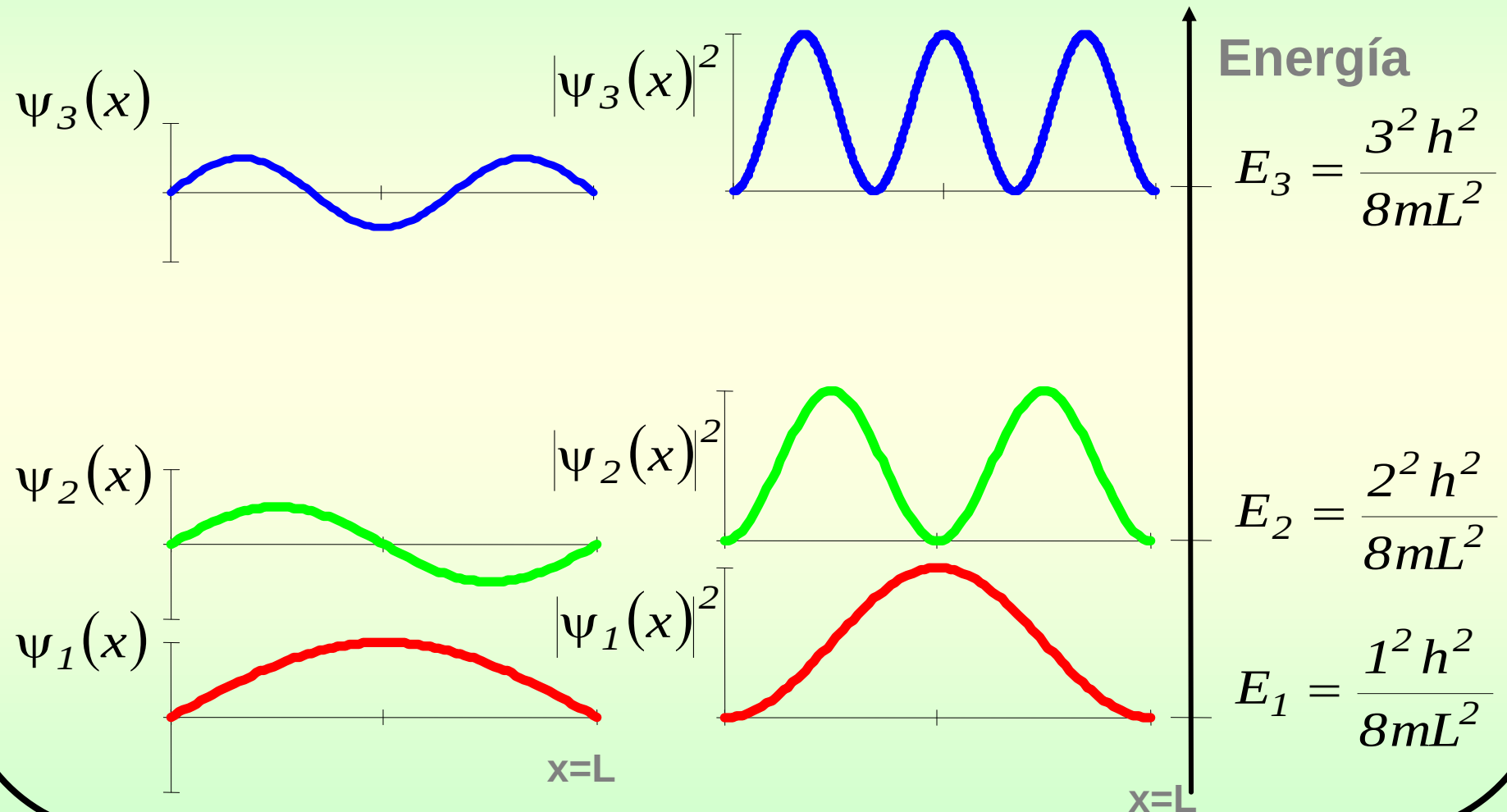
$$E_n = \frac{n^2 \hbar^2}{8mL^2}$$

$$E_n = \frac{1}{2} \frac{(\hbar k_n)^2}{m}$$

$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi}{L} x\right)$$

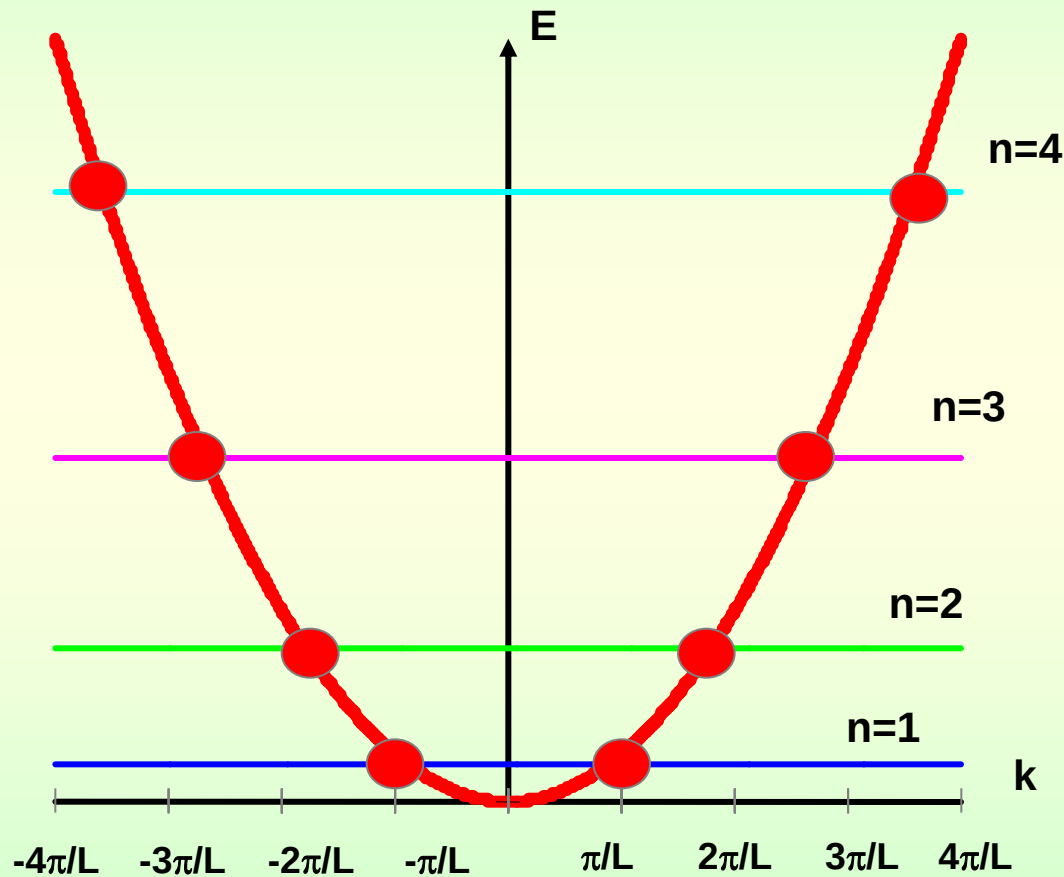


Pozo cuántico





Curva E-k

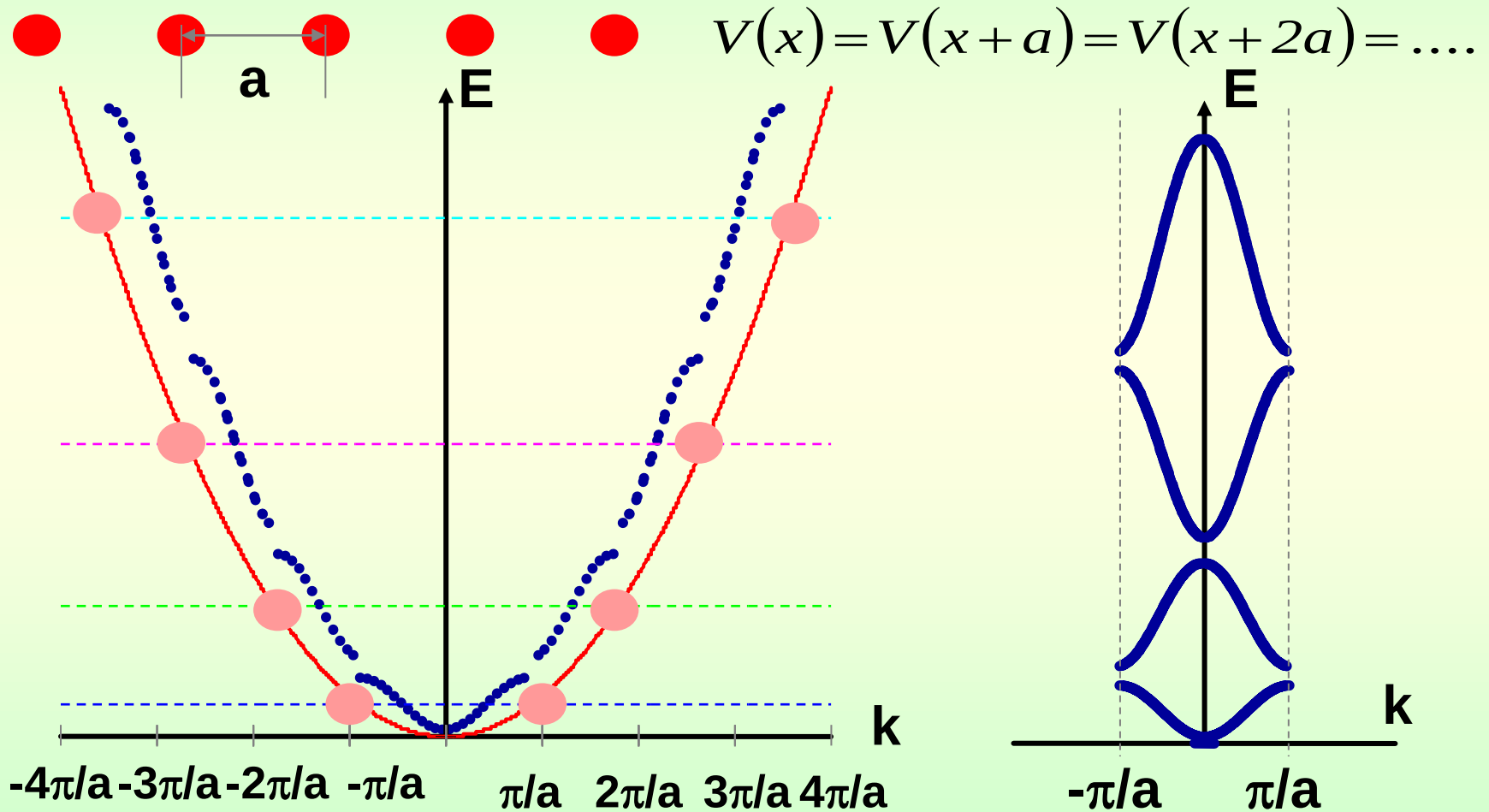


$$E_n = \frac{1}{2} \frac{(\hbar k_n)^2}{m}$$

$$k = \frac{n\pi}{L} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

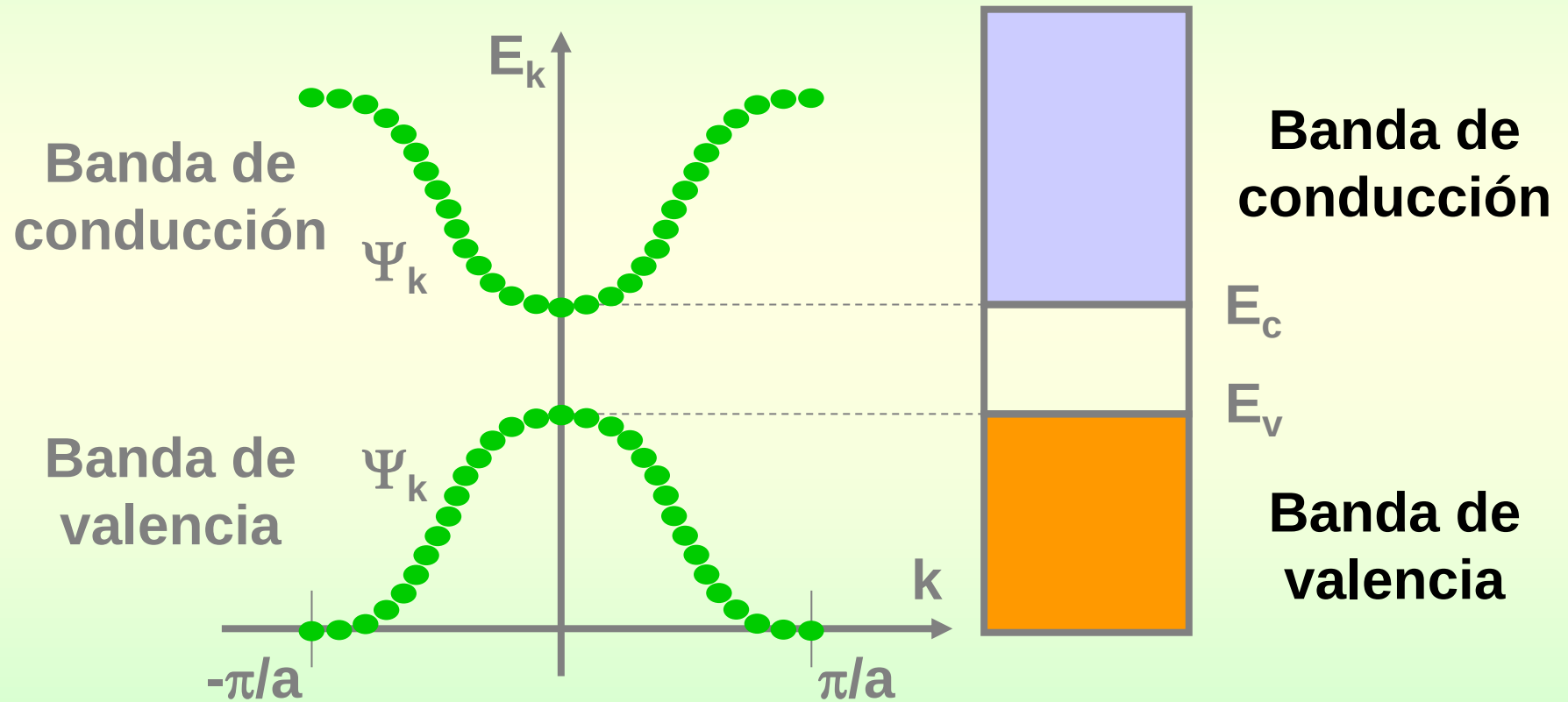


Sólidos. Modelo Kroning-Penney



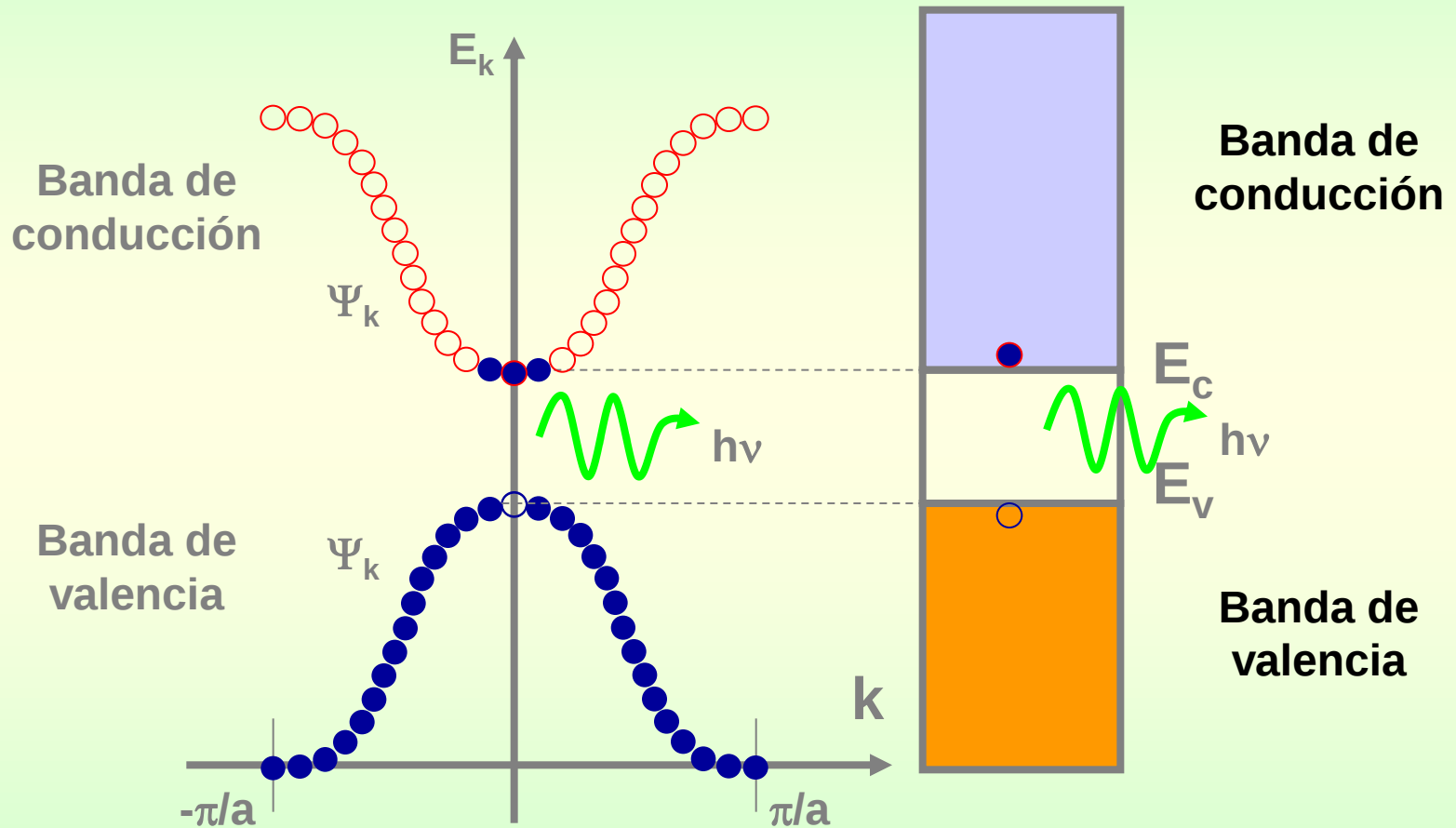


Significado curva E-k



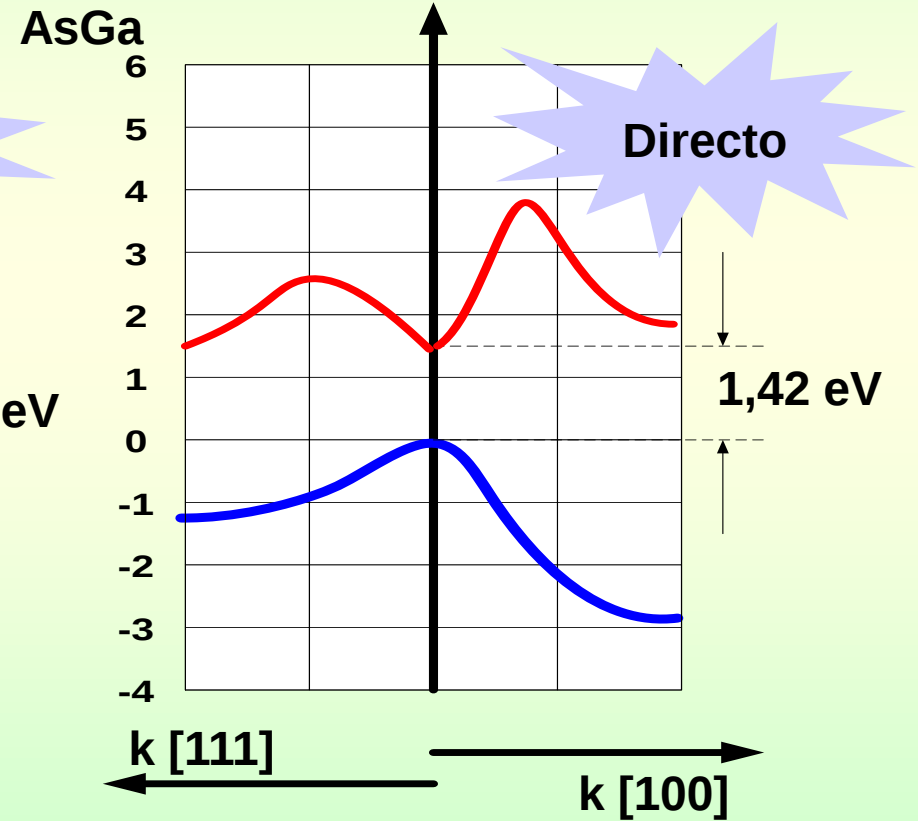
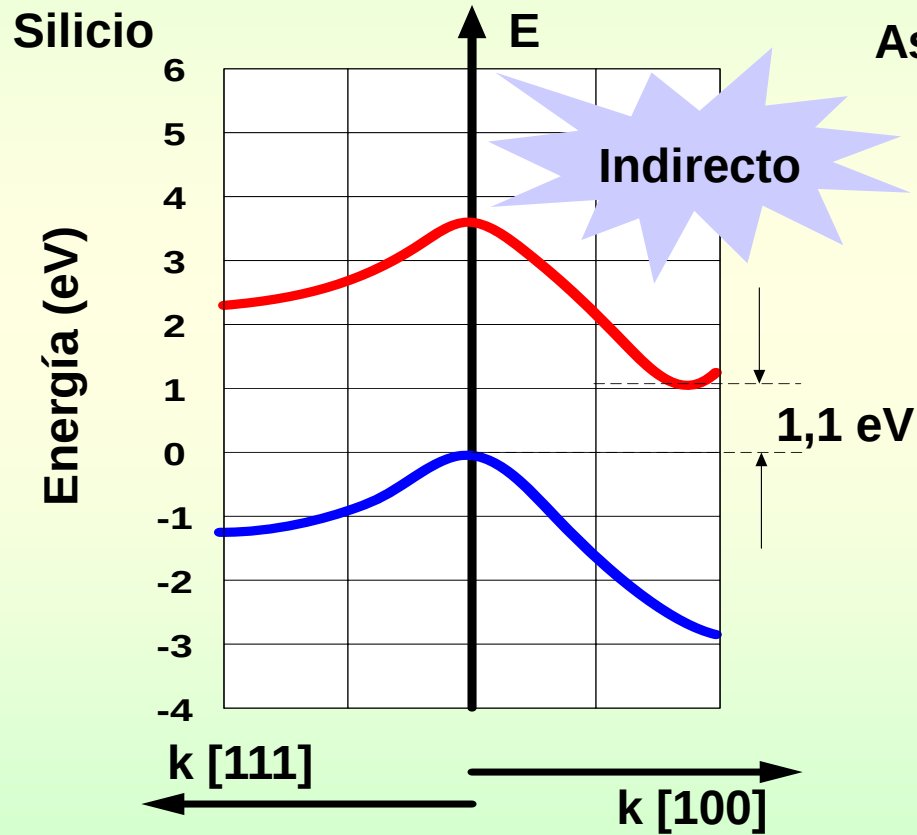


Emisión de luz





Semiconductores directos e indirectos

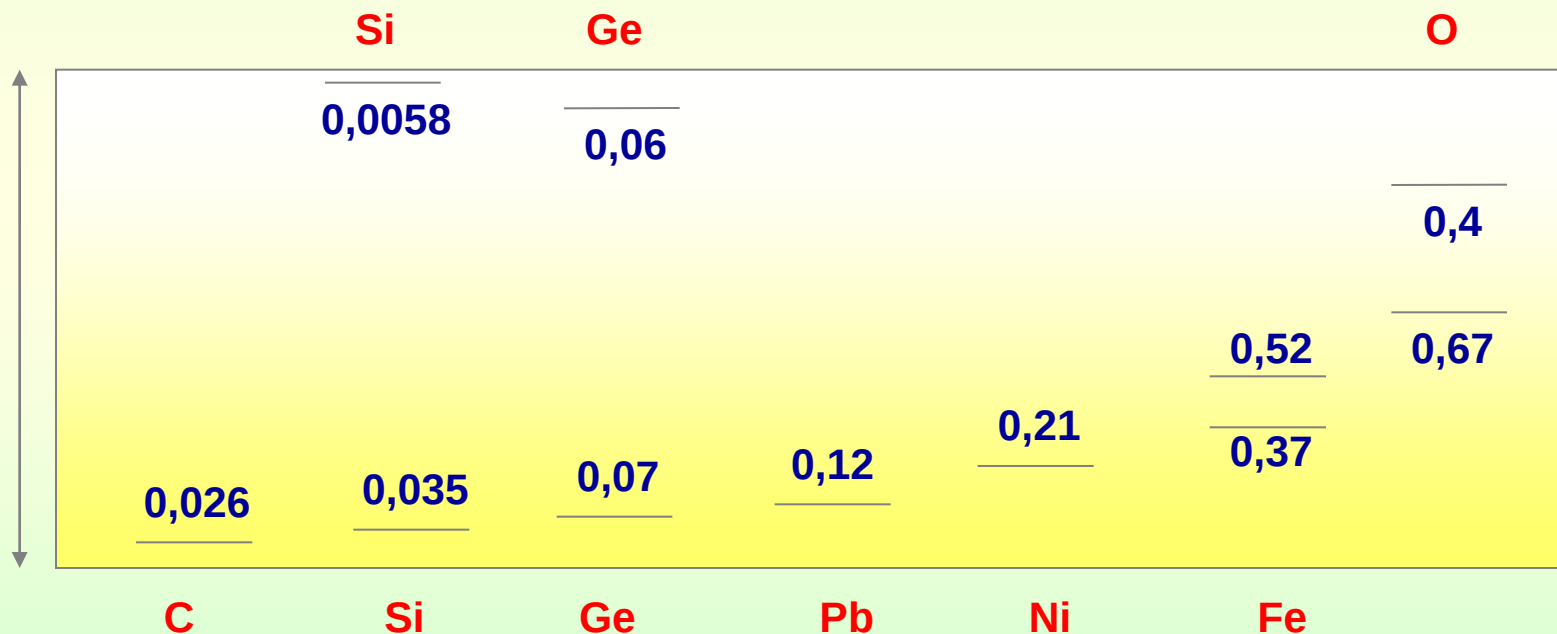




Recombinaciones a través de defectos

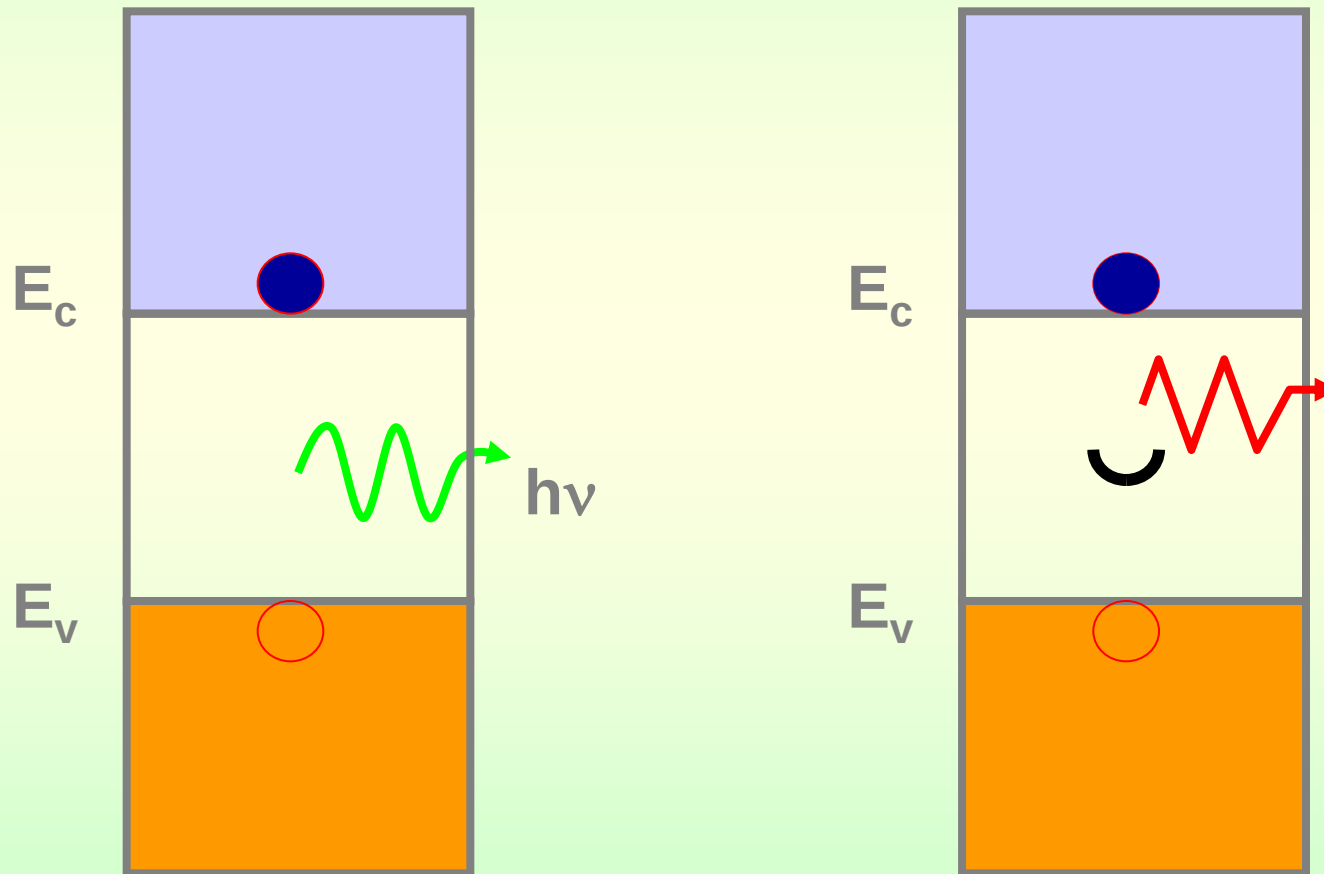
GaAs

1,42eV



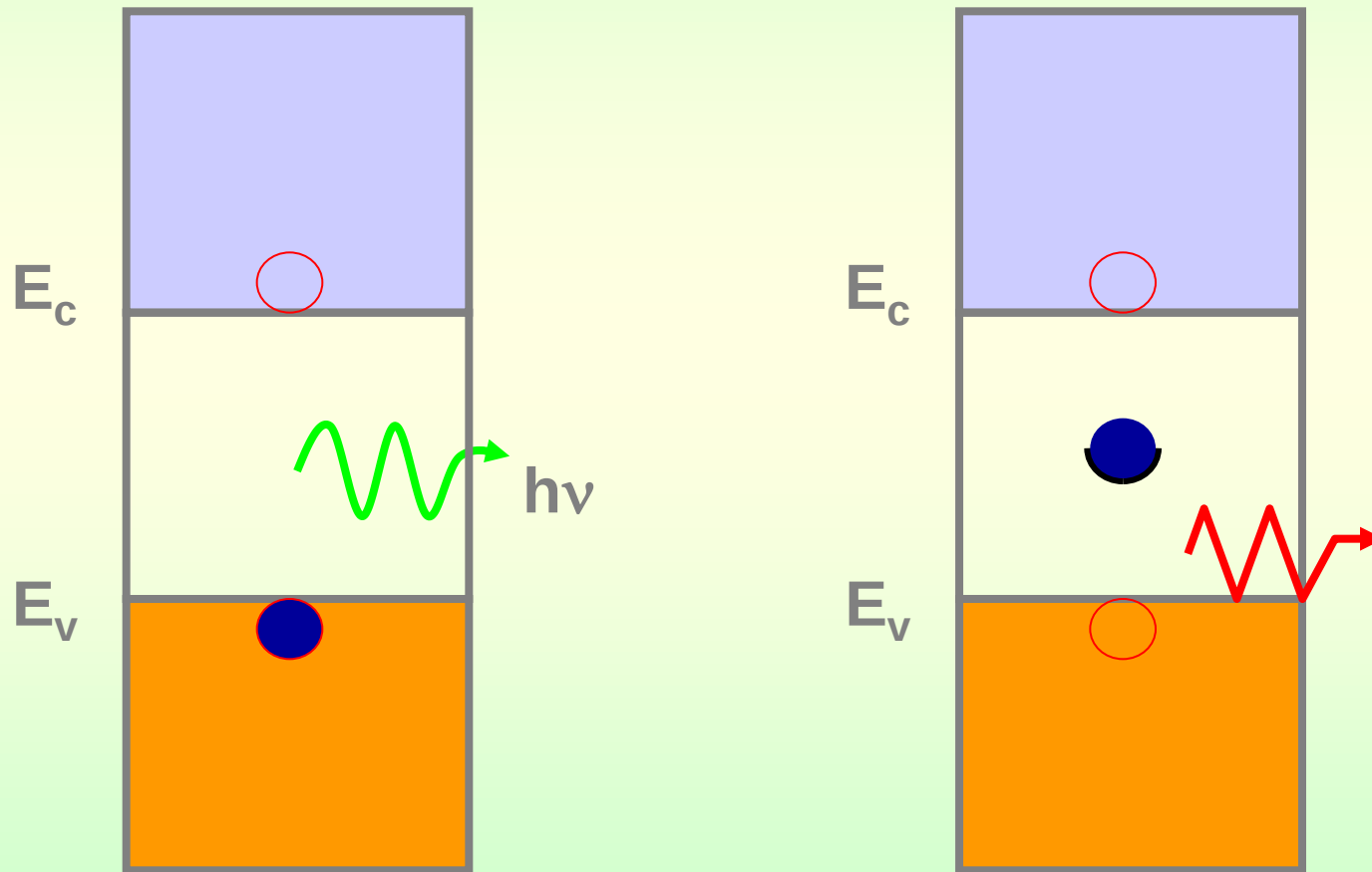


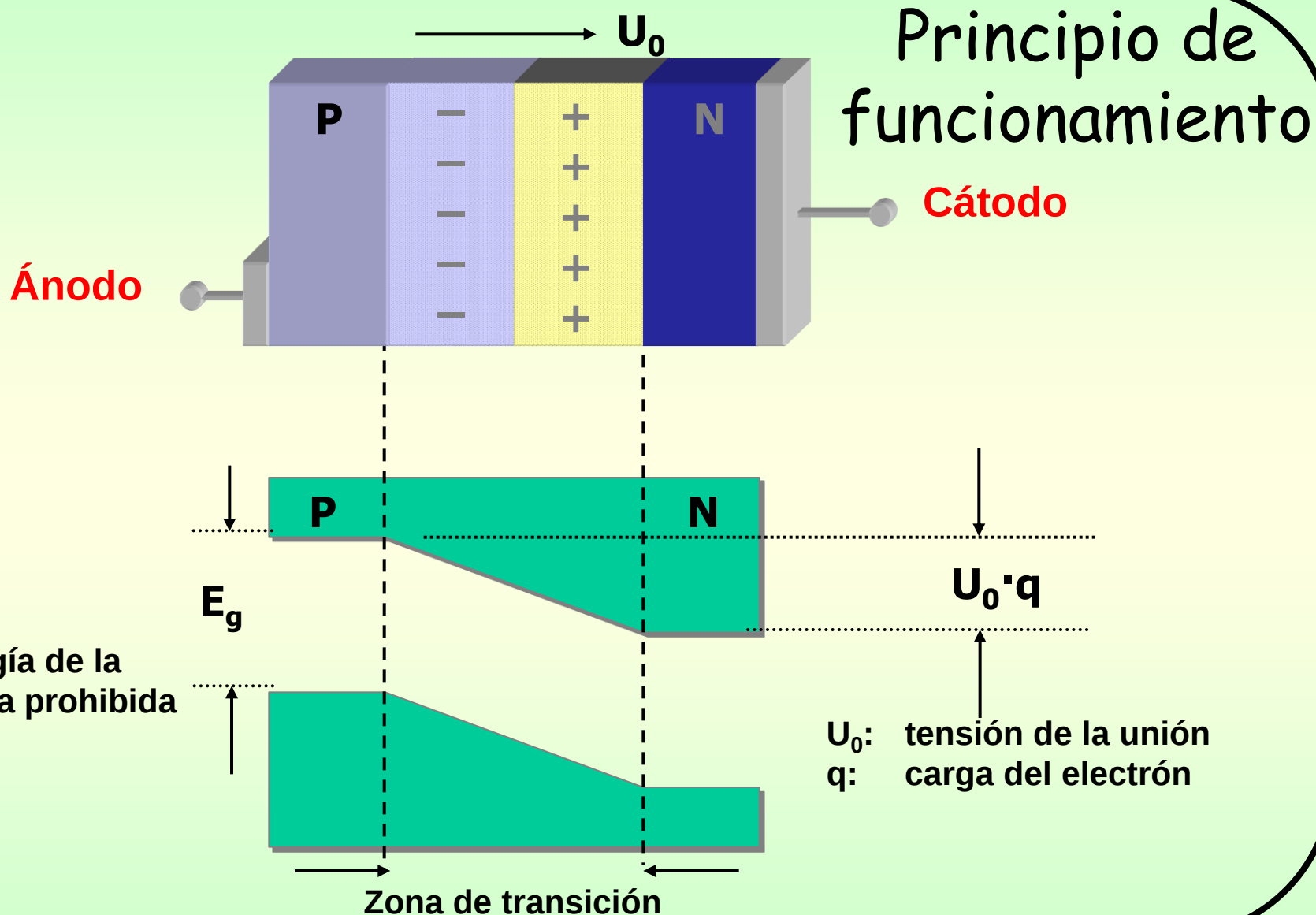
Recombinaciones a través de defectos





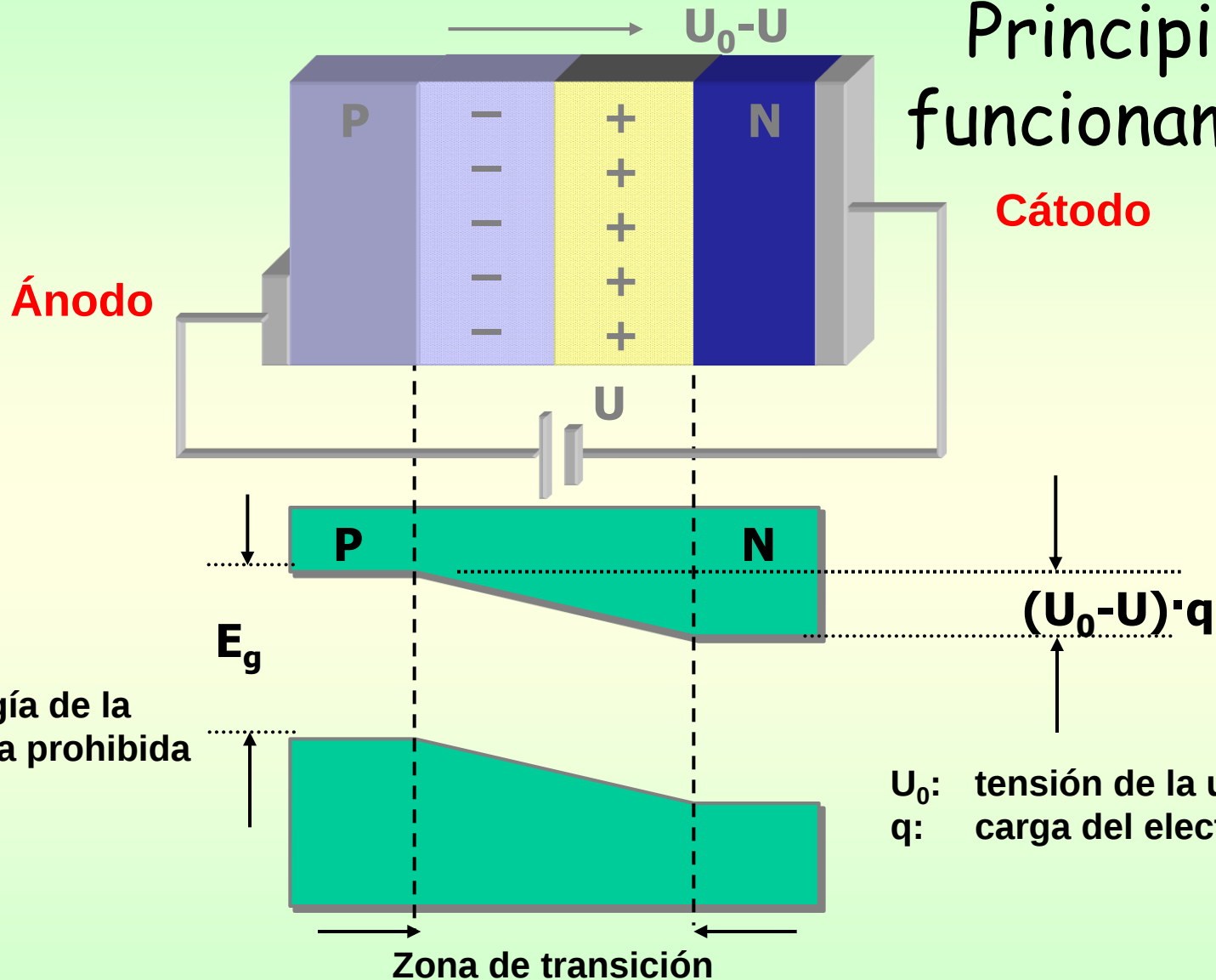
Recombinaciones a través de defectos







Principio de funcionamiento

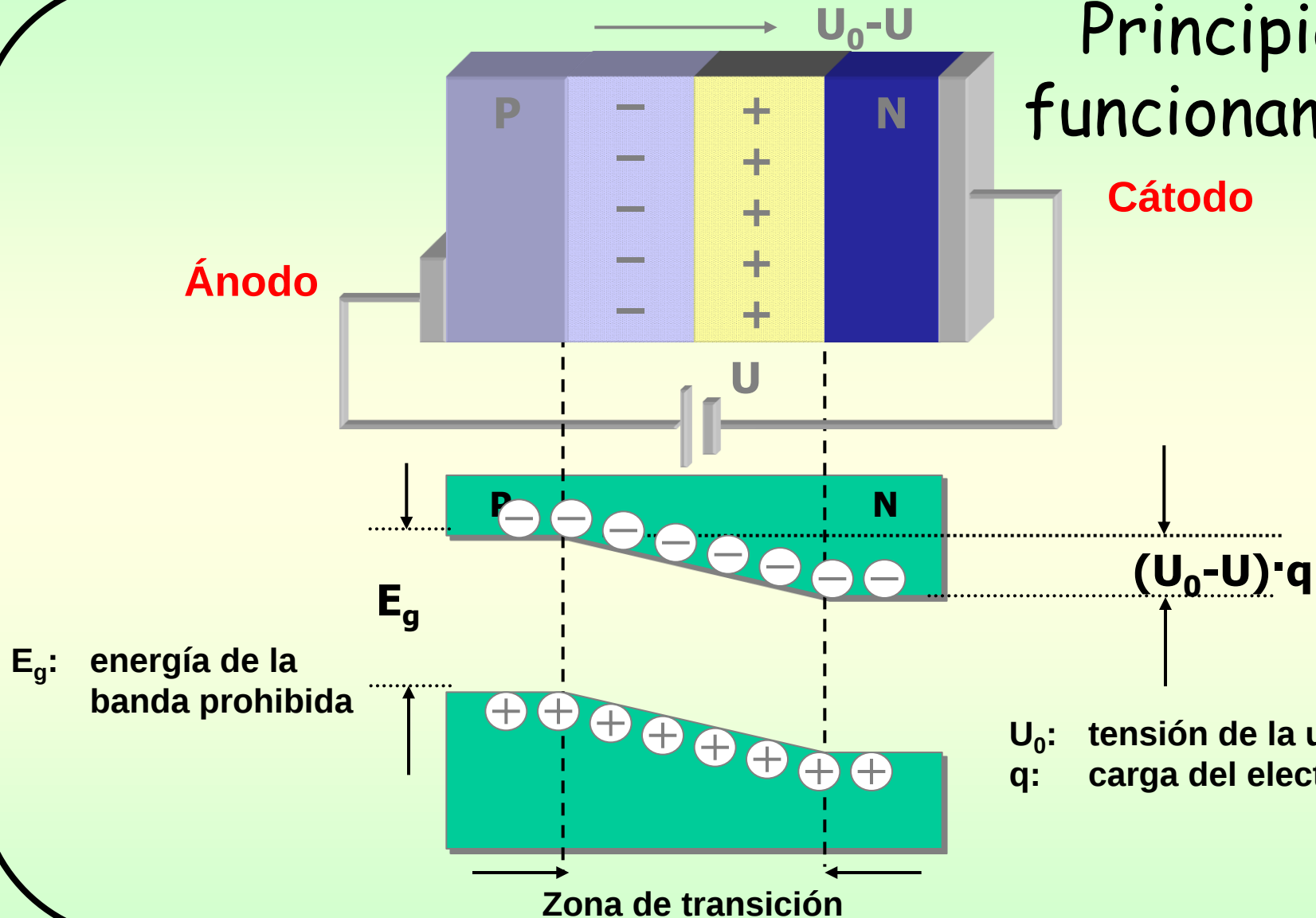




Principio de funcionamiento

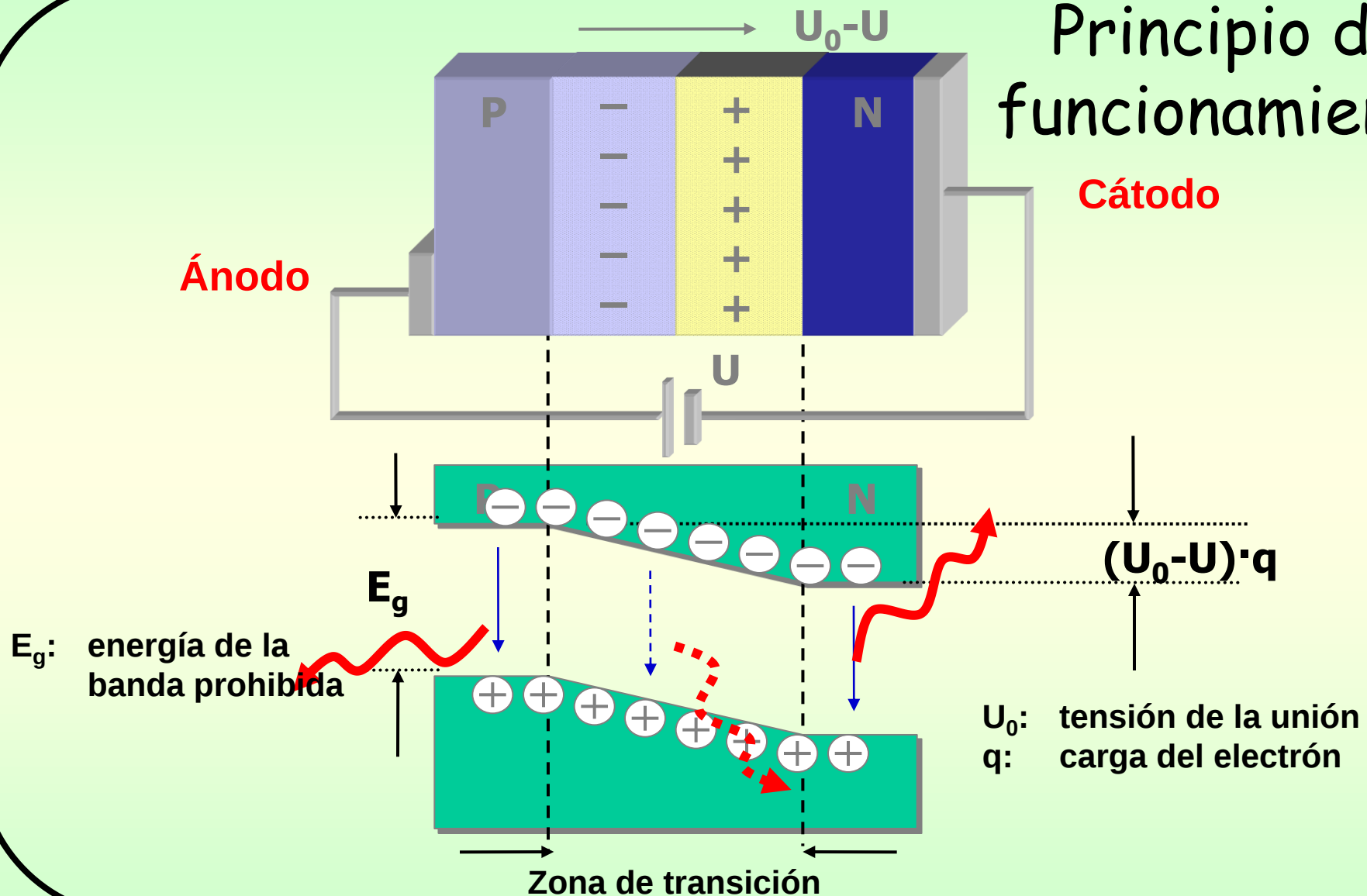
Ánodo

Cátodo





Principio de funcionamiento





Eficiencia de la inyección

$$i = I_s \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right)$$

I_s : corriente inversa de saturación.

q : carga del electrón.

V : tensión directa de la unión PN.

K : Constante de Boltzmann

$$i = (I_{sP} + I_{sN}) \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right)$$

$$\eta_{in} = \frac{I_P}{I_P + I_N}$$

Eficiencia de inyección.

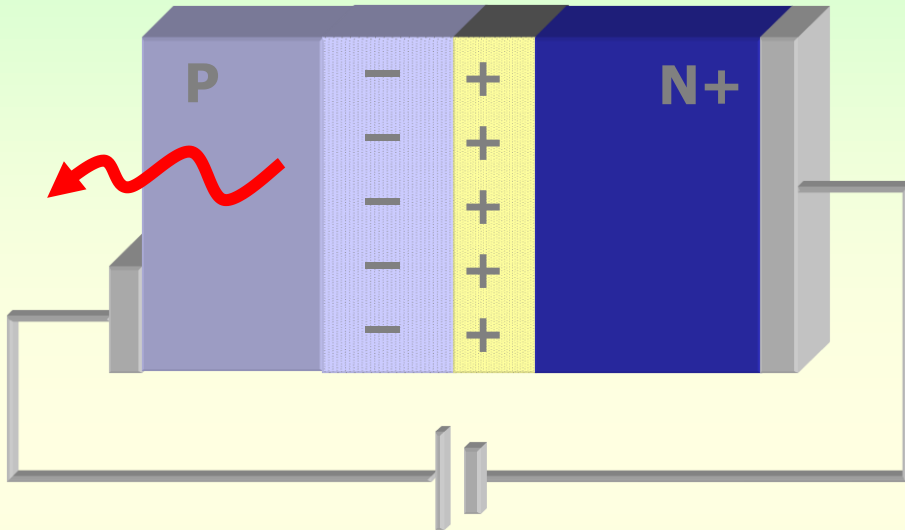
$$\eta_{in} = \frac{\frac{D_n}{L_n} n_p}{\frac{D_p}{L_p} p_N + \frac{D_n}{L_n} n_P} = \left(1 + \frac{\mu_p N_A L_n}{\mu_n N_D L_p} \right)^{-1}$$

$$\mu_n > \mu_p$$

$$N_D > N_A$$

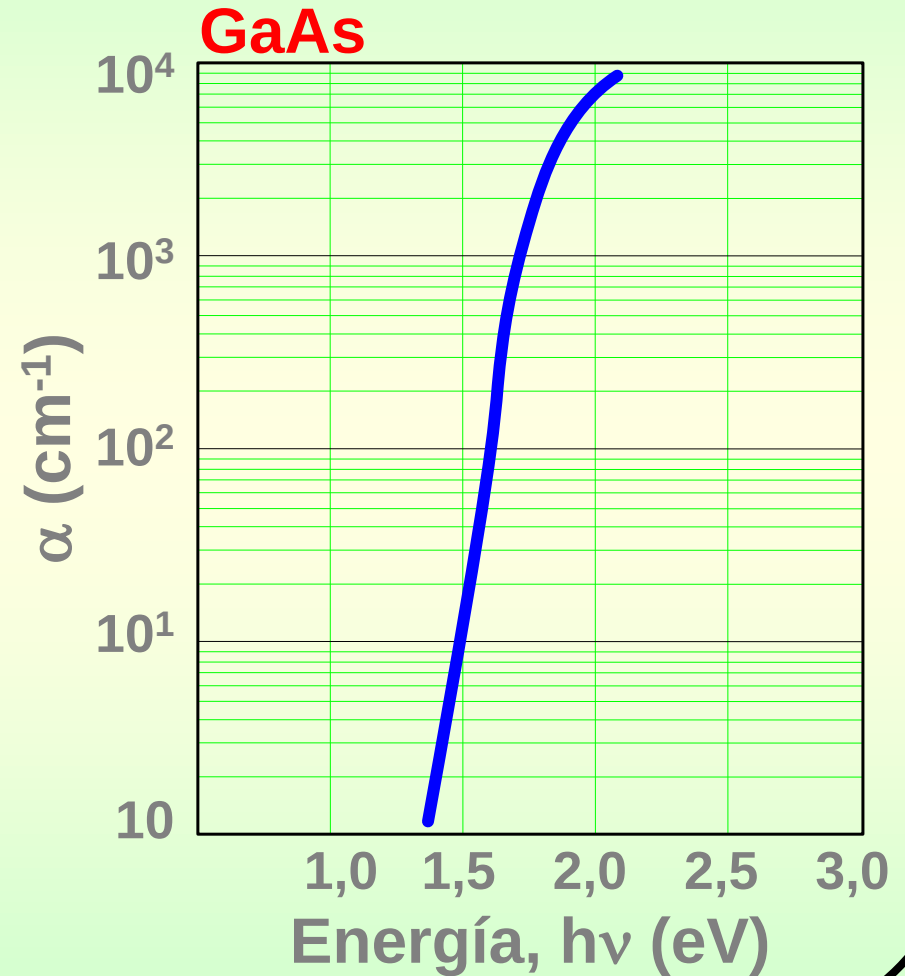


Problemática de la absorción



$$I = I_0 e^{-\alpha x}$$

α : coeficiente de absorción





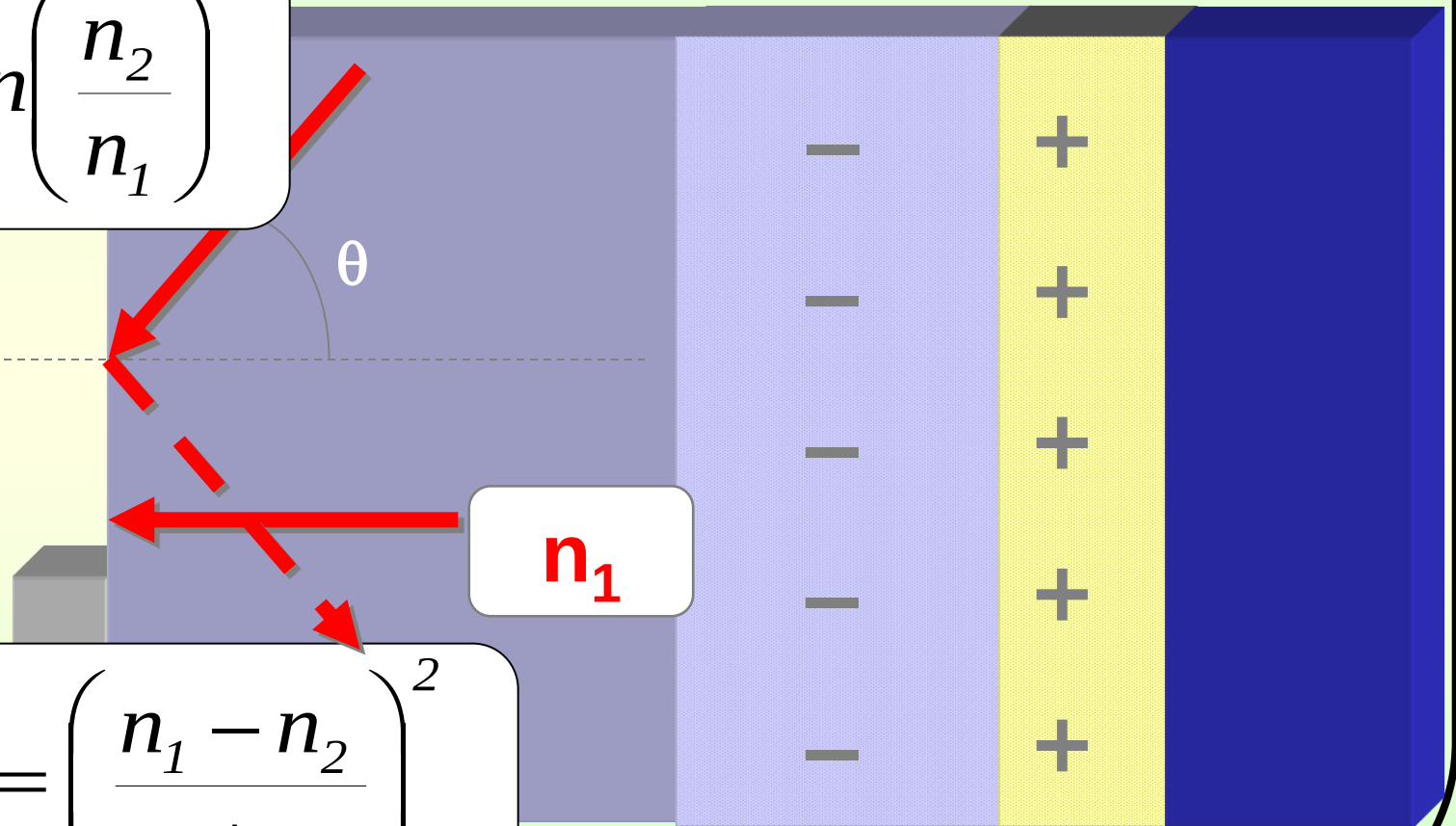
Extracción de la luz

$$\theta_c = \text{asen}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

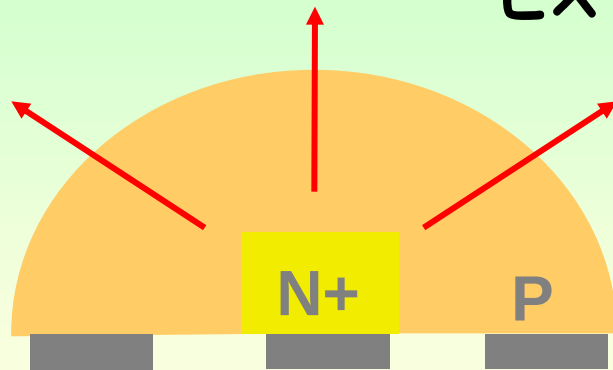
n_2

n_1

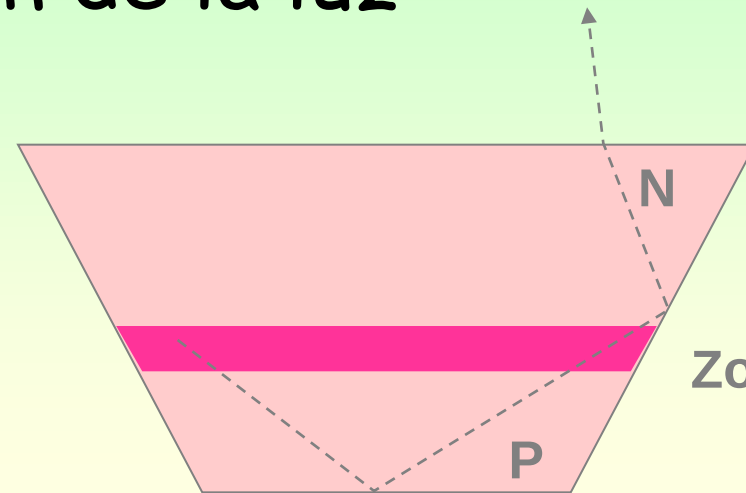
$$R = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}\right)^2$$



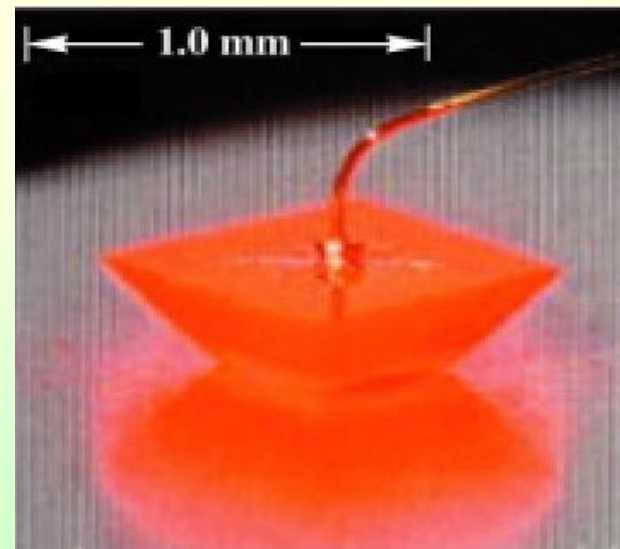
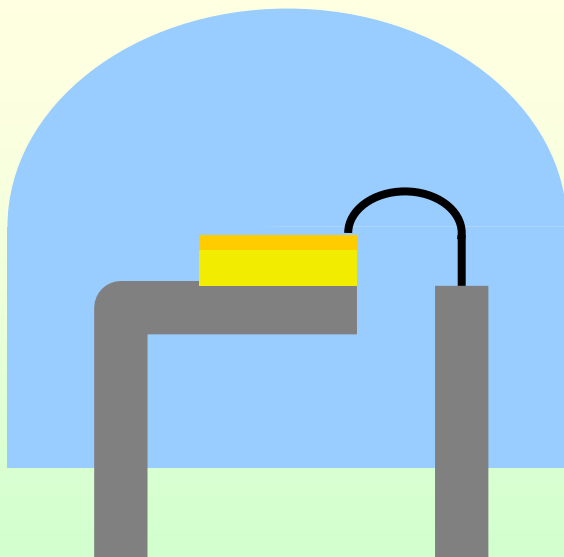
Extracción de la luz



Apenas se utiliza

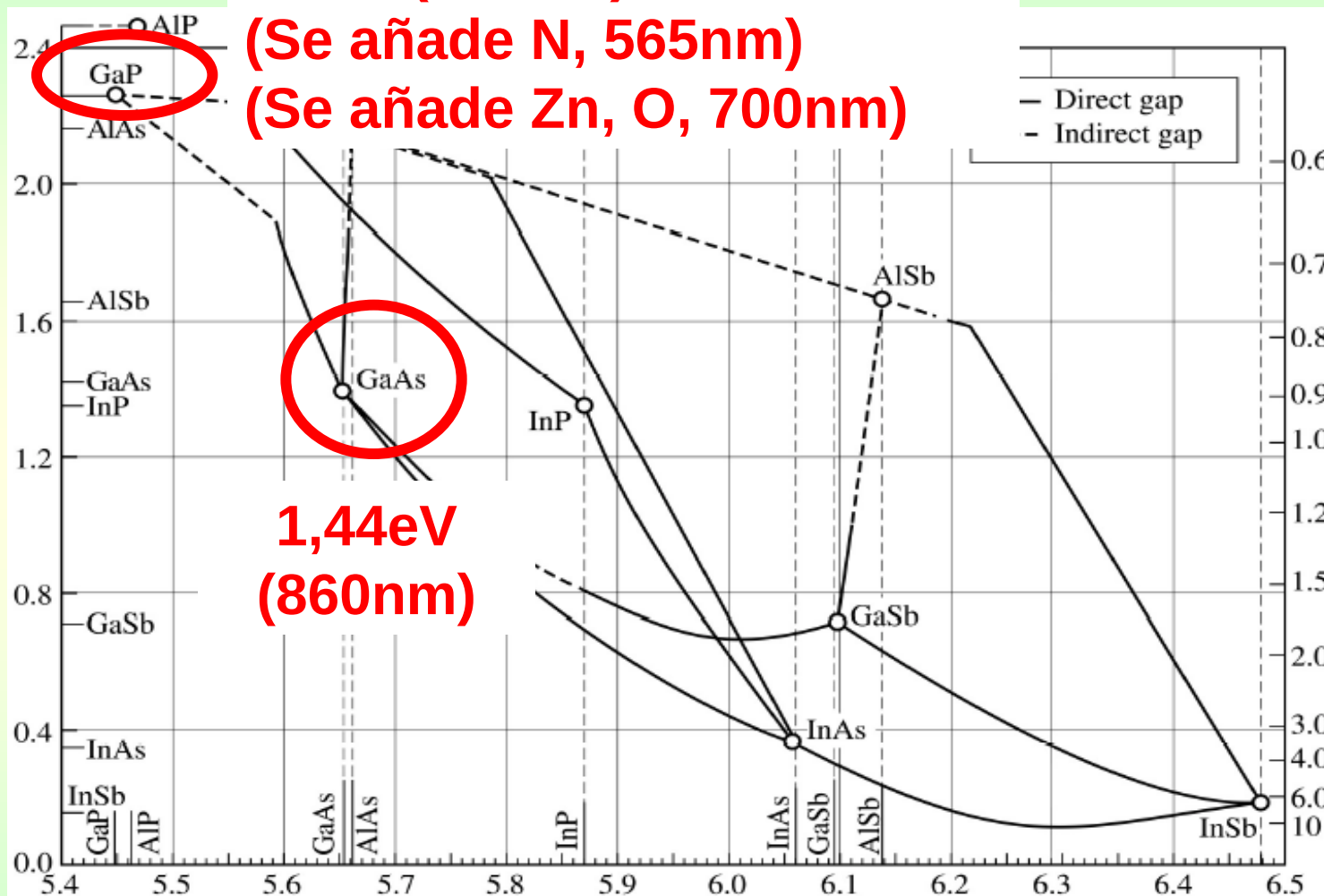


Zona activa





Energía de la banda prohibida (eV)



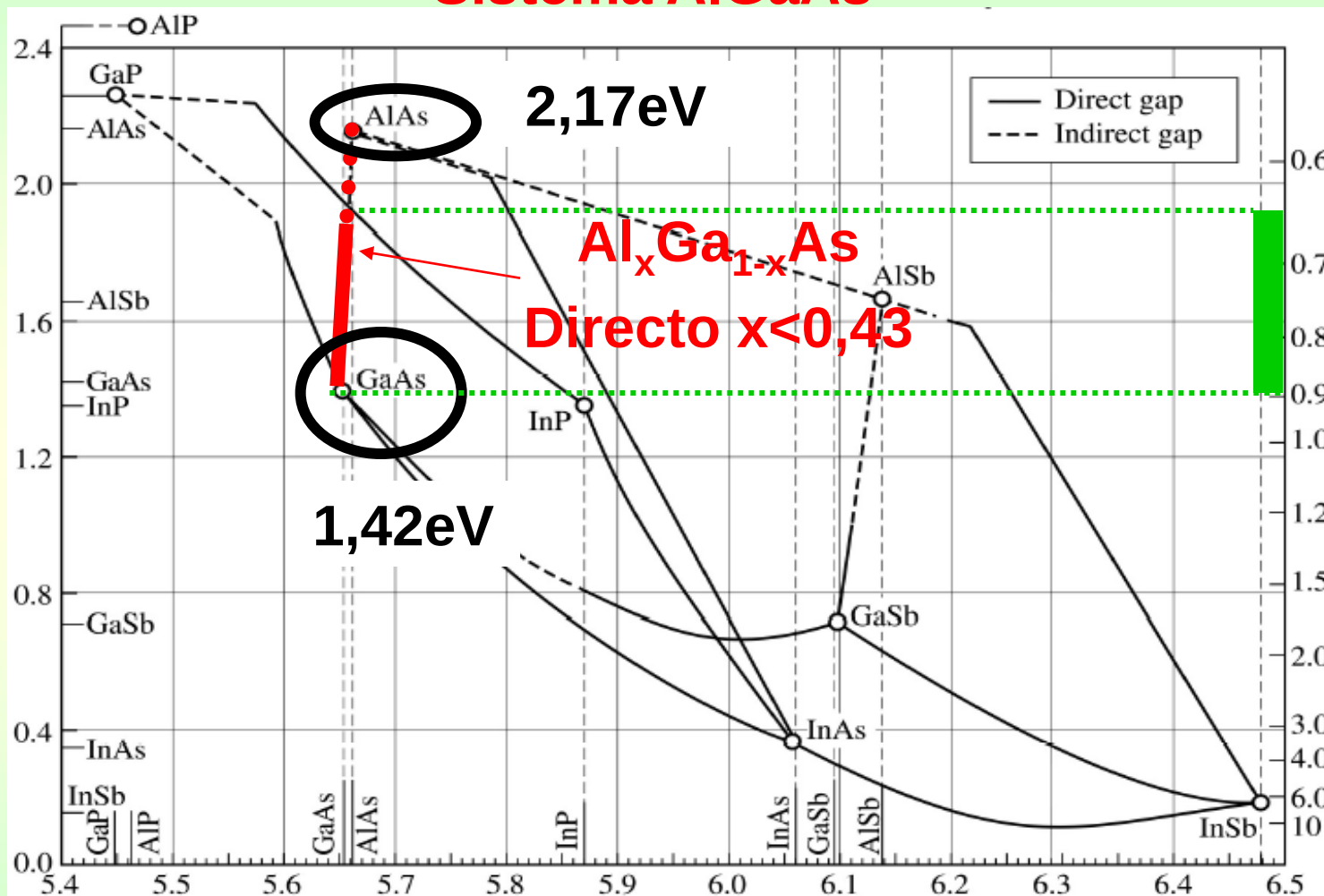
Longitud de onda (μm)

Cte. de la red cristalina (Å)



Sistema AlGaAs

Energía de la banda prohibida (eV)



Longitud de onda (μm)

Cte. de la red cristalina (Å)



Materiales III-V Ternarios

Sistema AlGaAs

Energía de la banda prohibida (eV)

2,17eV

$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$
Directo $x < 0,43$

1,42eV

AlAs

GaAs

$1-x$

x

1

650 nm

904 nm

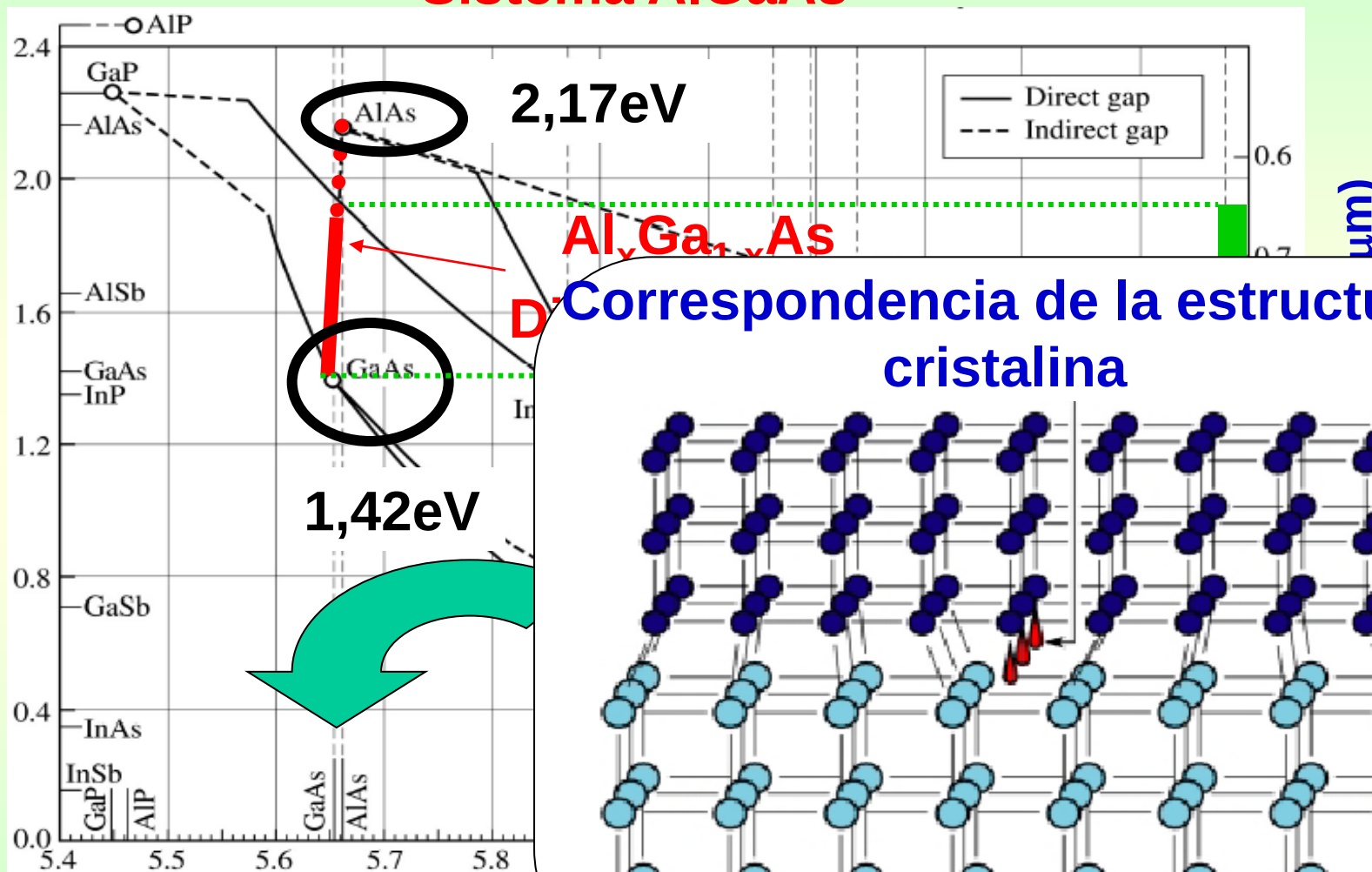
Longitud de onda (μm)

X es la proporción de ALUMINIO
Cte. de la red cristalina (Å)

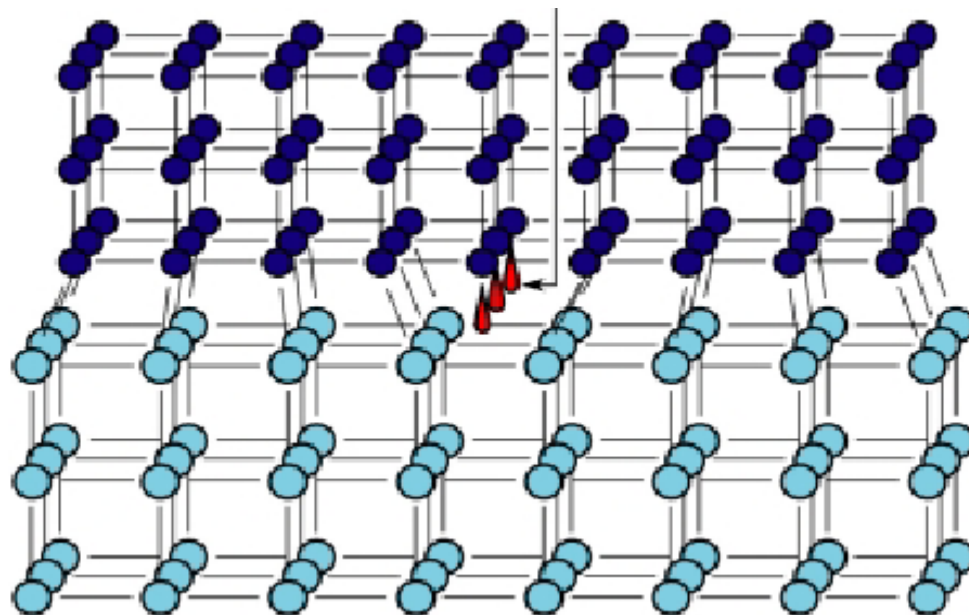


Sistema AlGaAs

Energía de la banda prohibida (eV)



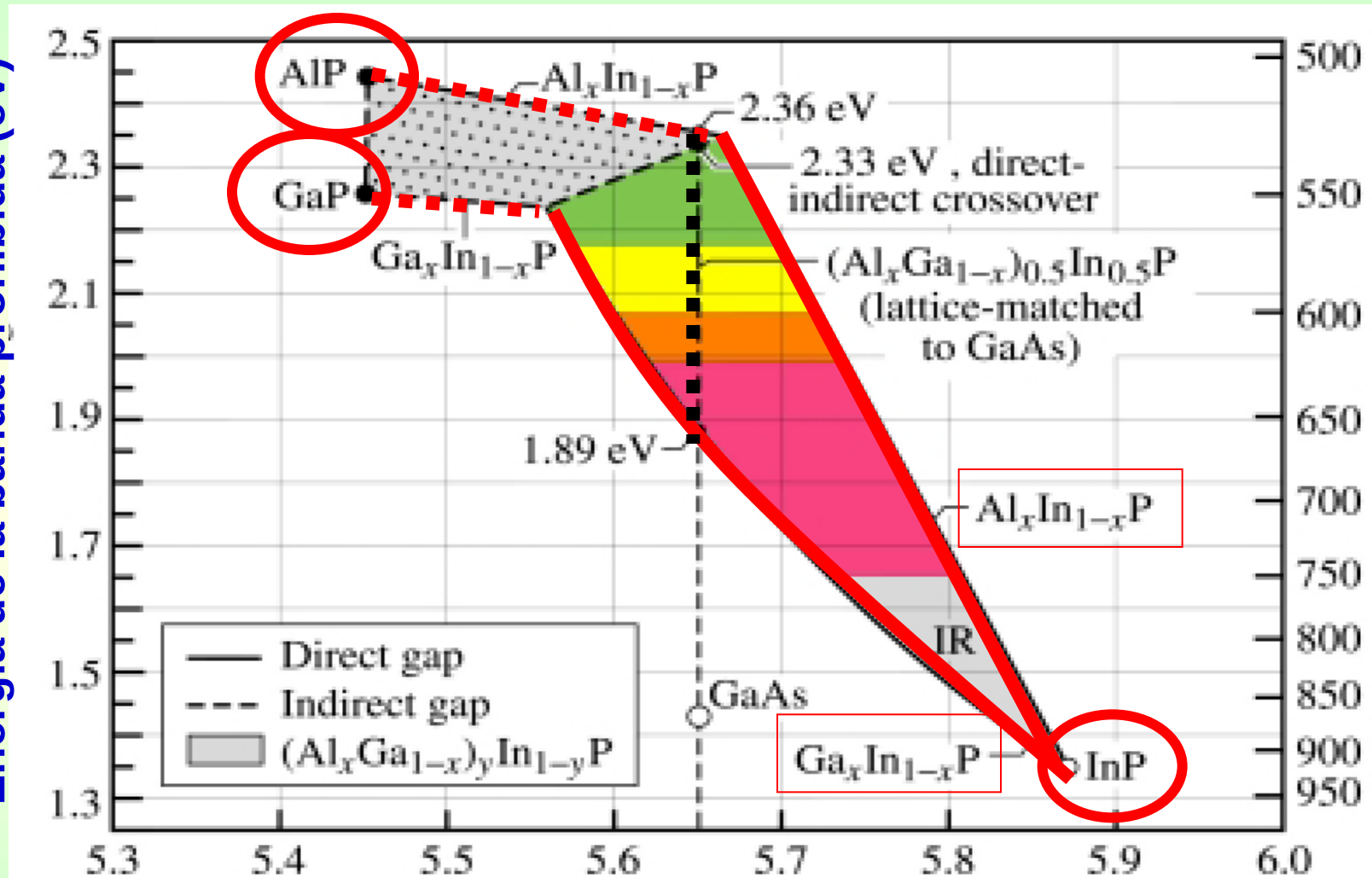
Correspondencia de la estructura cristalina



Cte. de



Energía de la banda prohibida (eV)



Longitud de onda (nm)

Cte. de la red cristalina (Å)



Materialles más utilizados

Binarios

GaAs

870-900nm

10%

SiC

460-470nm

0,02%

GaP (Zn-O)

700 nm

3%

GaP (N)

565 nm

0,1%

Ternarios

$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x < 0,4$)

640-870nm

5-20%

$\text{GaAs}_{1-y}\text{P}_y$ ($y < 0,45$)

630-870nm

<1%

$\text{GaAs}_{1-y}\text{P}_y$ ($y > 0,45$)

560-700nm

<1%

Cuat.

$\text{In}_{0,49}\text{Al}_x\text{Ga}_{51-x}\text{P}$

560-700nm

1-10%

$\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$

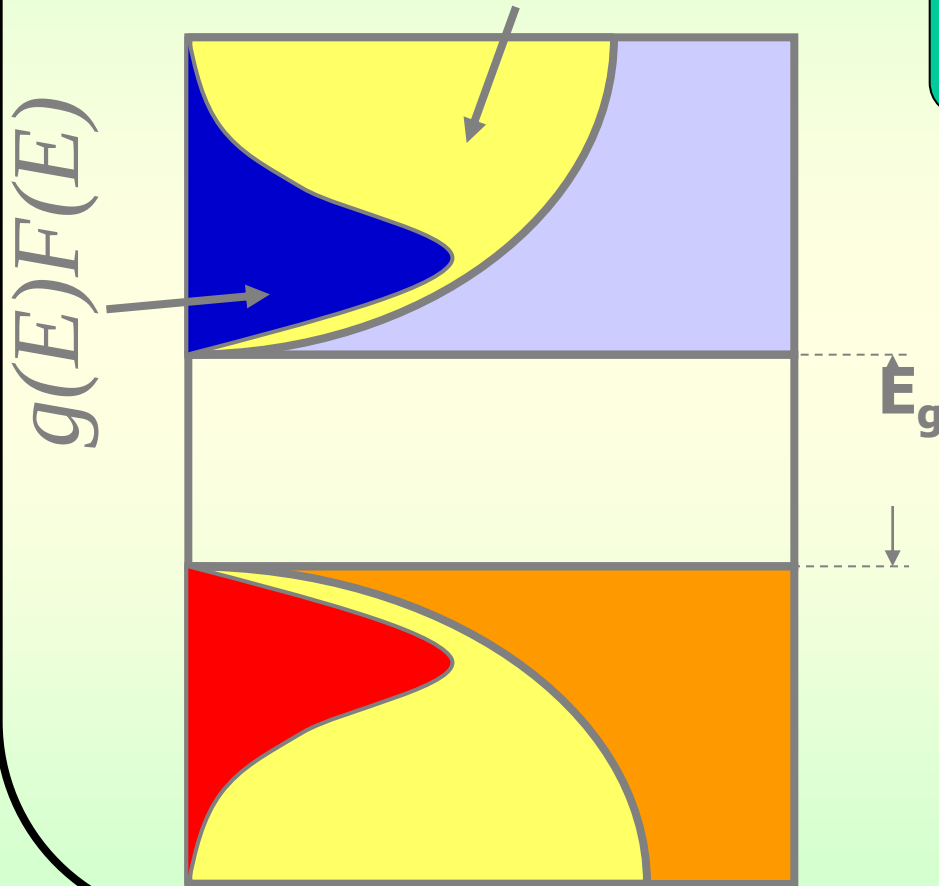
1000-1600nm

>10%



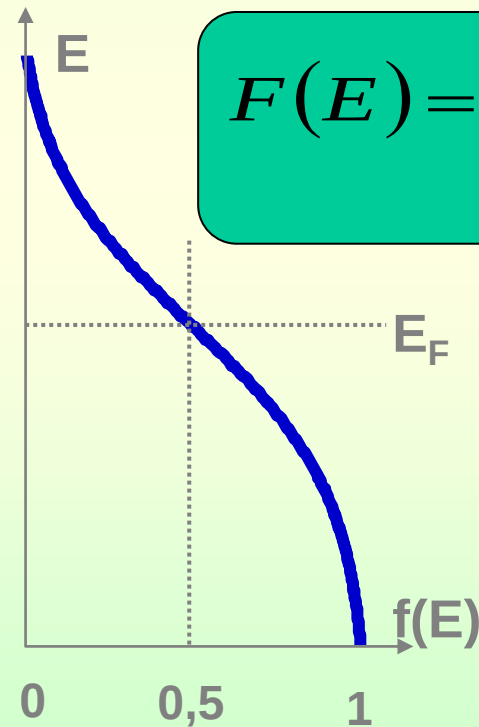
Características: espectro

$g_c(E)$: densidad de estados



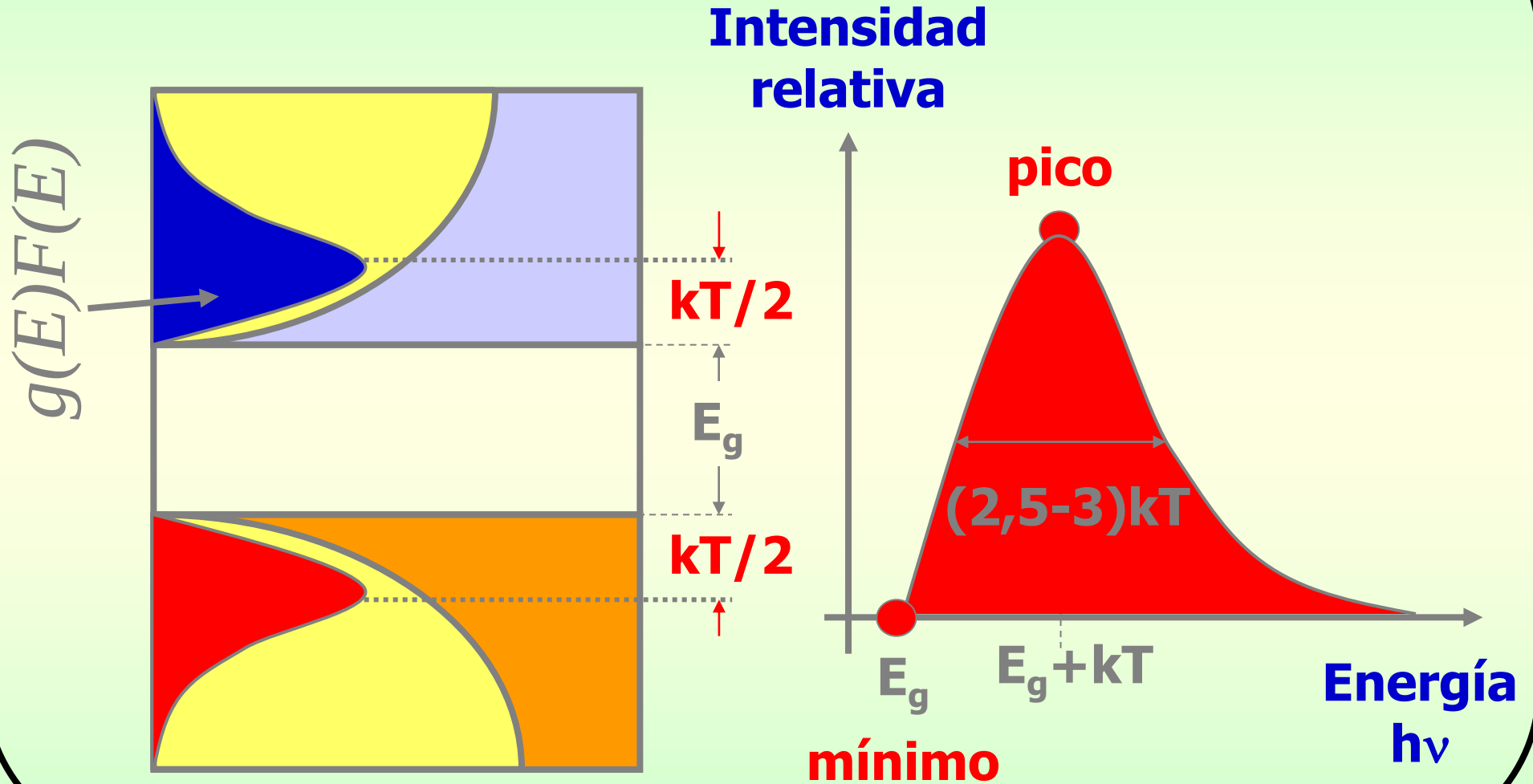
$$g(E) = \frac{4\pi}{h^3} (2m_e^*)^{3/2} \sqrt{E - E_c}$$

$$F(E) = \frac{1}{1 + e^{\frac{E - E_f}{kT}}}$$



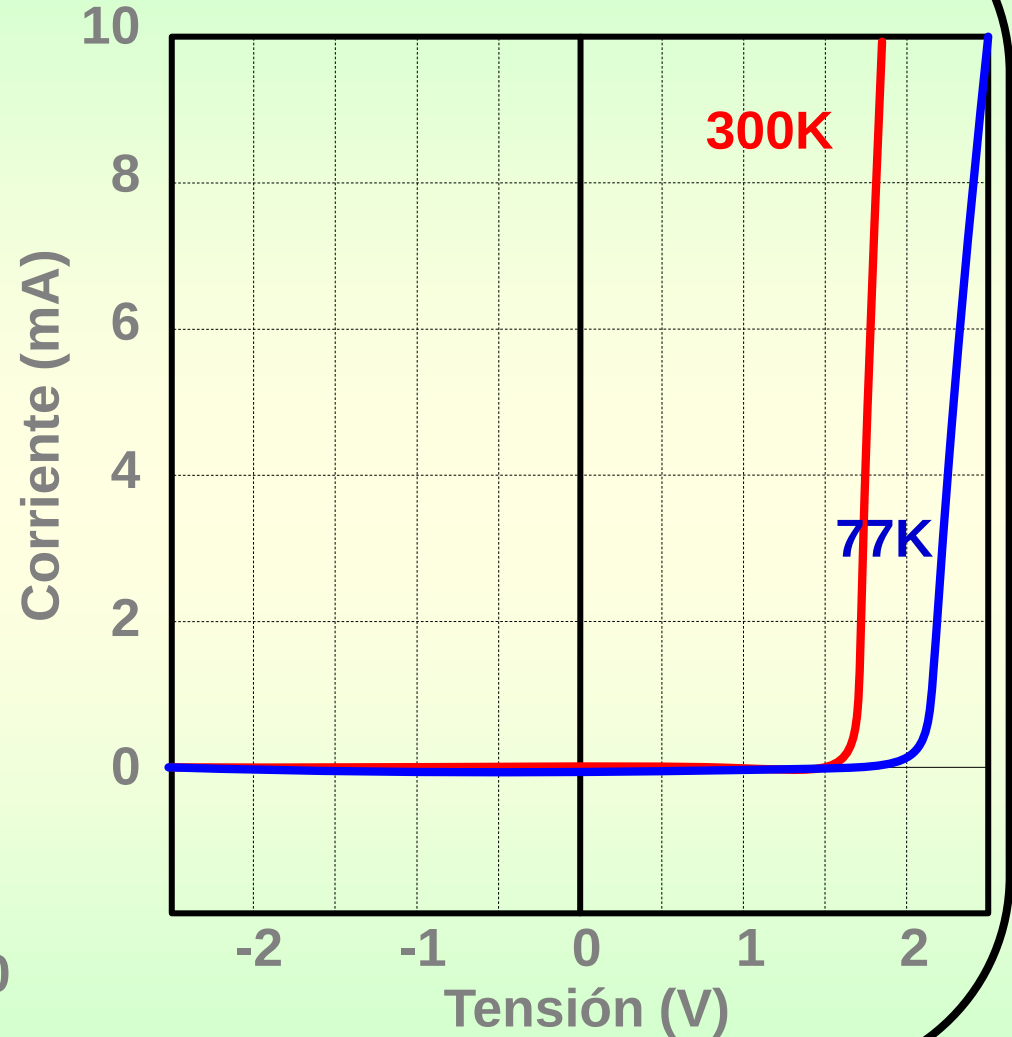
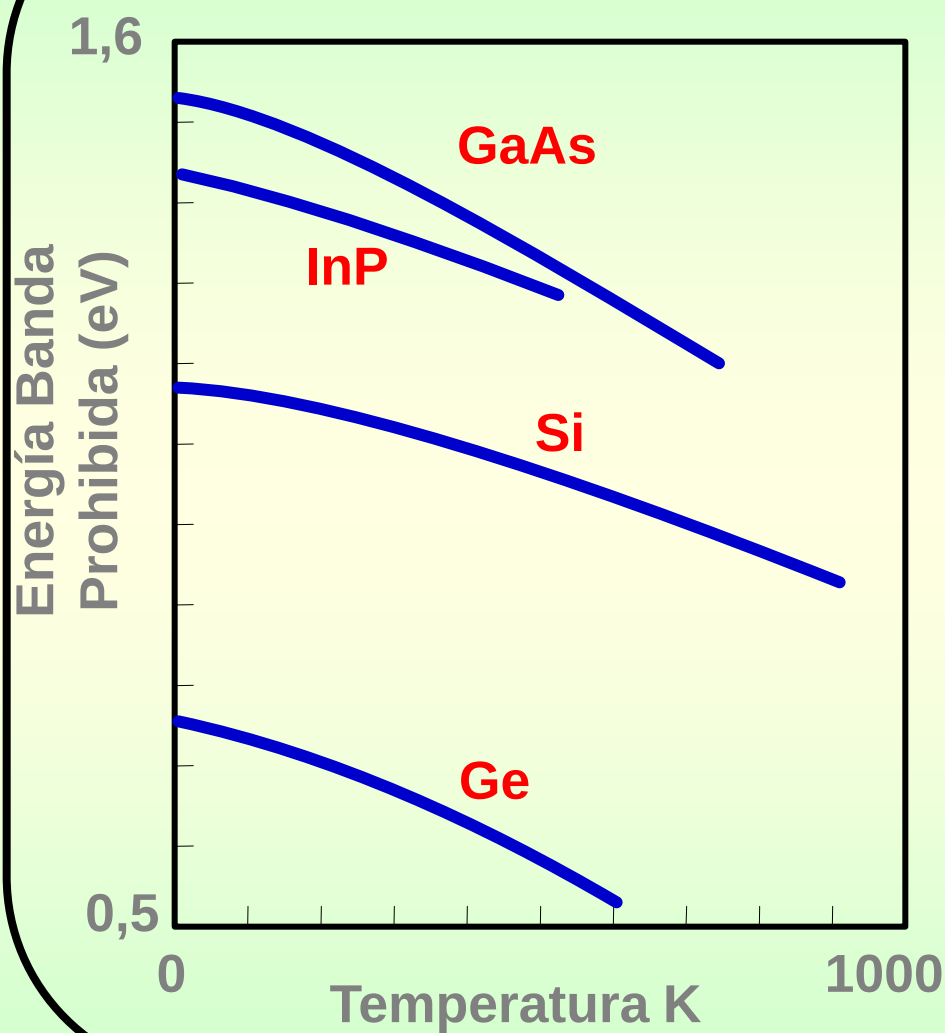


Características: espectro



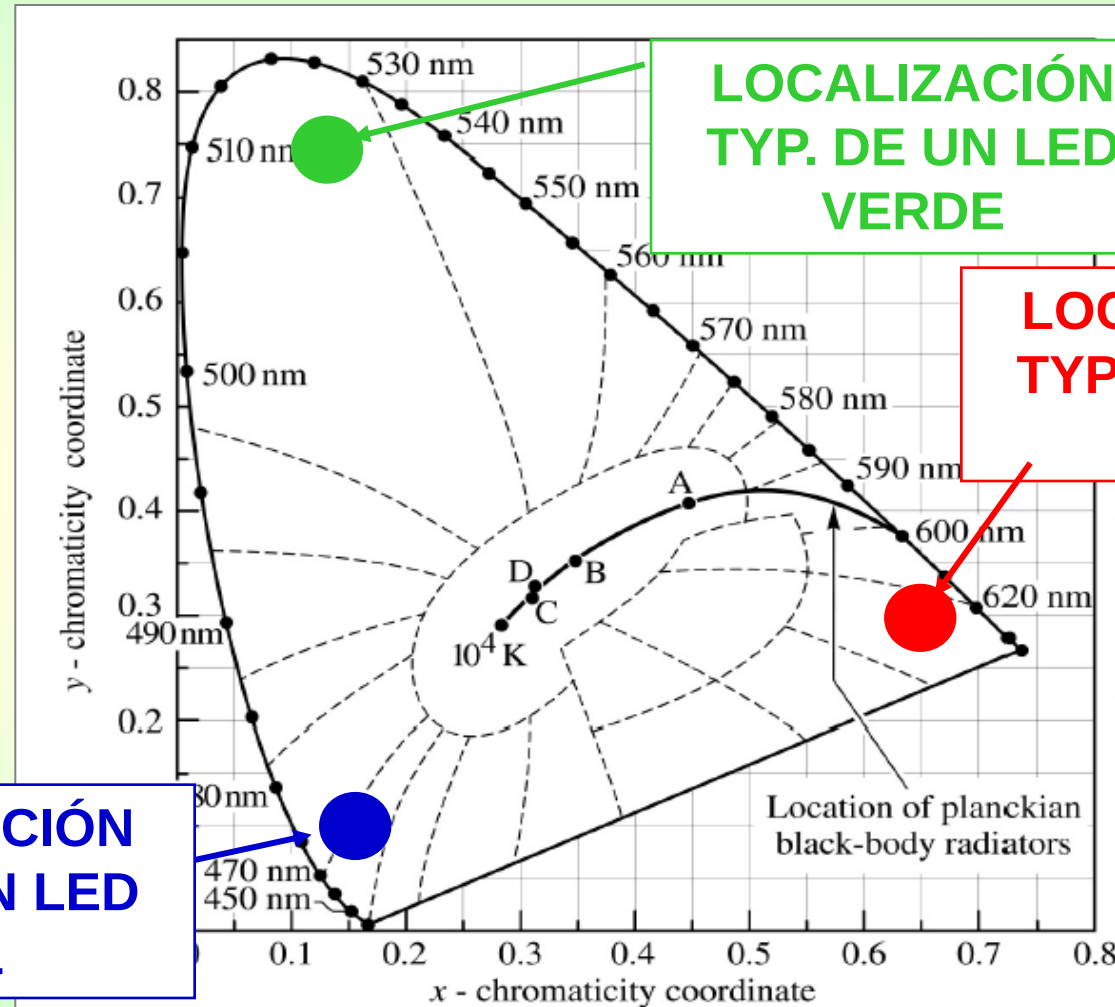


Características: dep. temperatura



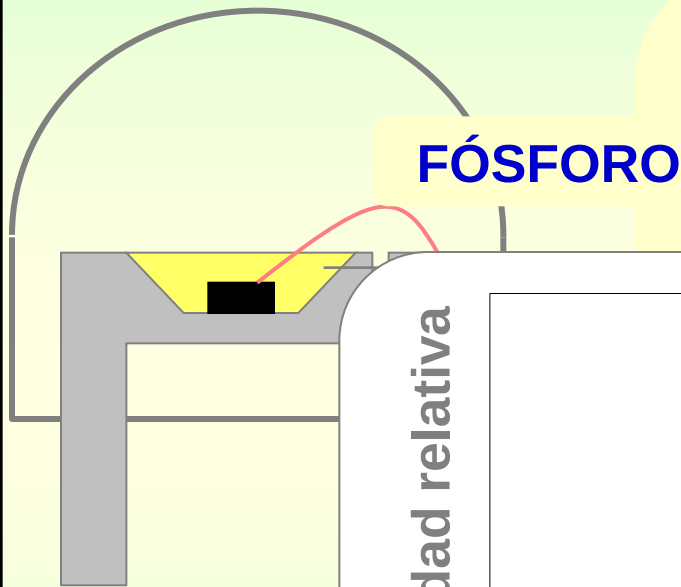


Características. LEDs visibles





LEDs luz blanca (azul+fósforo)



Intensidad relativa

Ej. Coumarin 6

Emisión

Intensidad relativa

Espectro típico

300

400

500

600

800

Longitud de onda (nm)

600



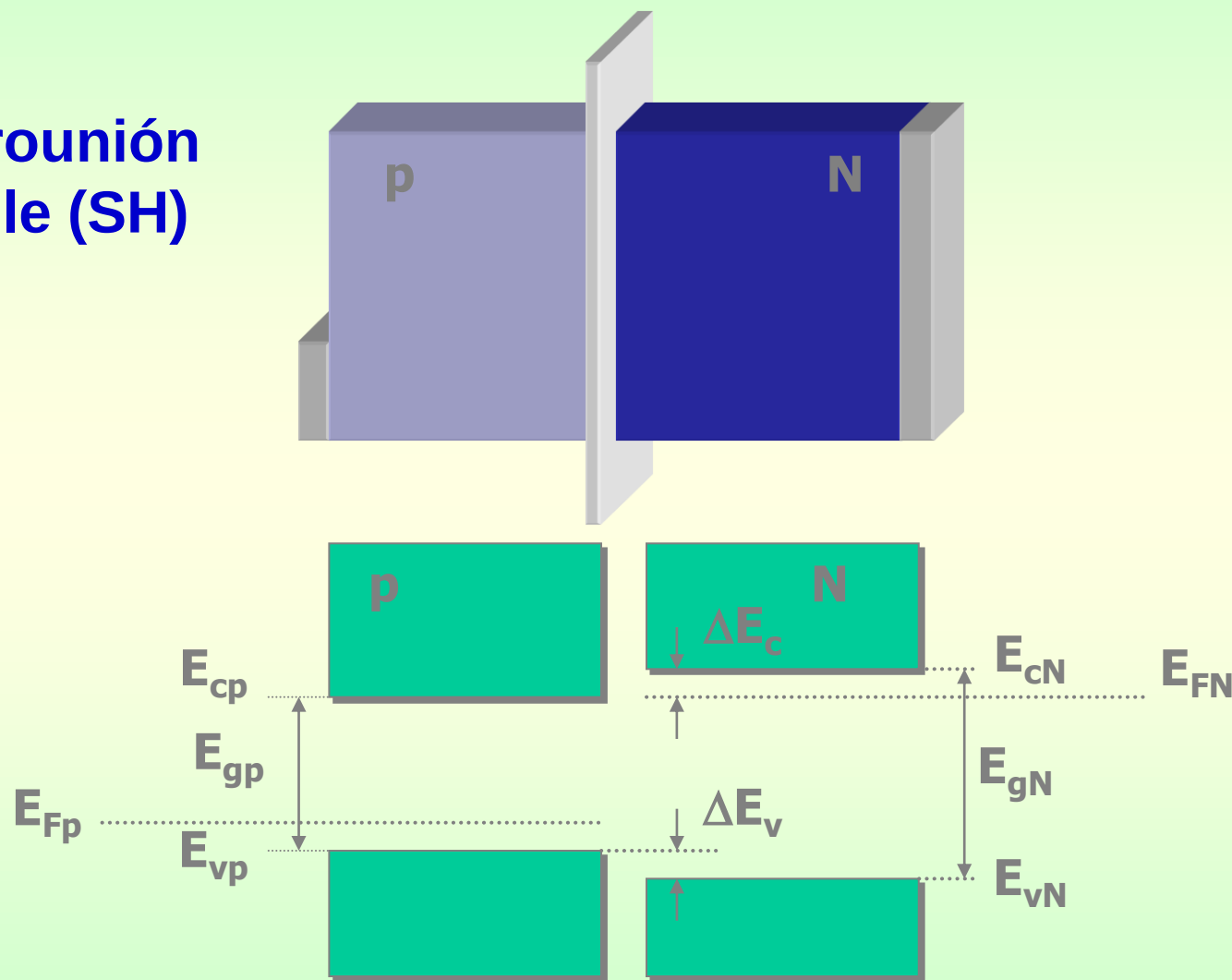
LEDs visibles





Heterouniones. LEDs de alta eficiencia

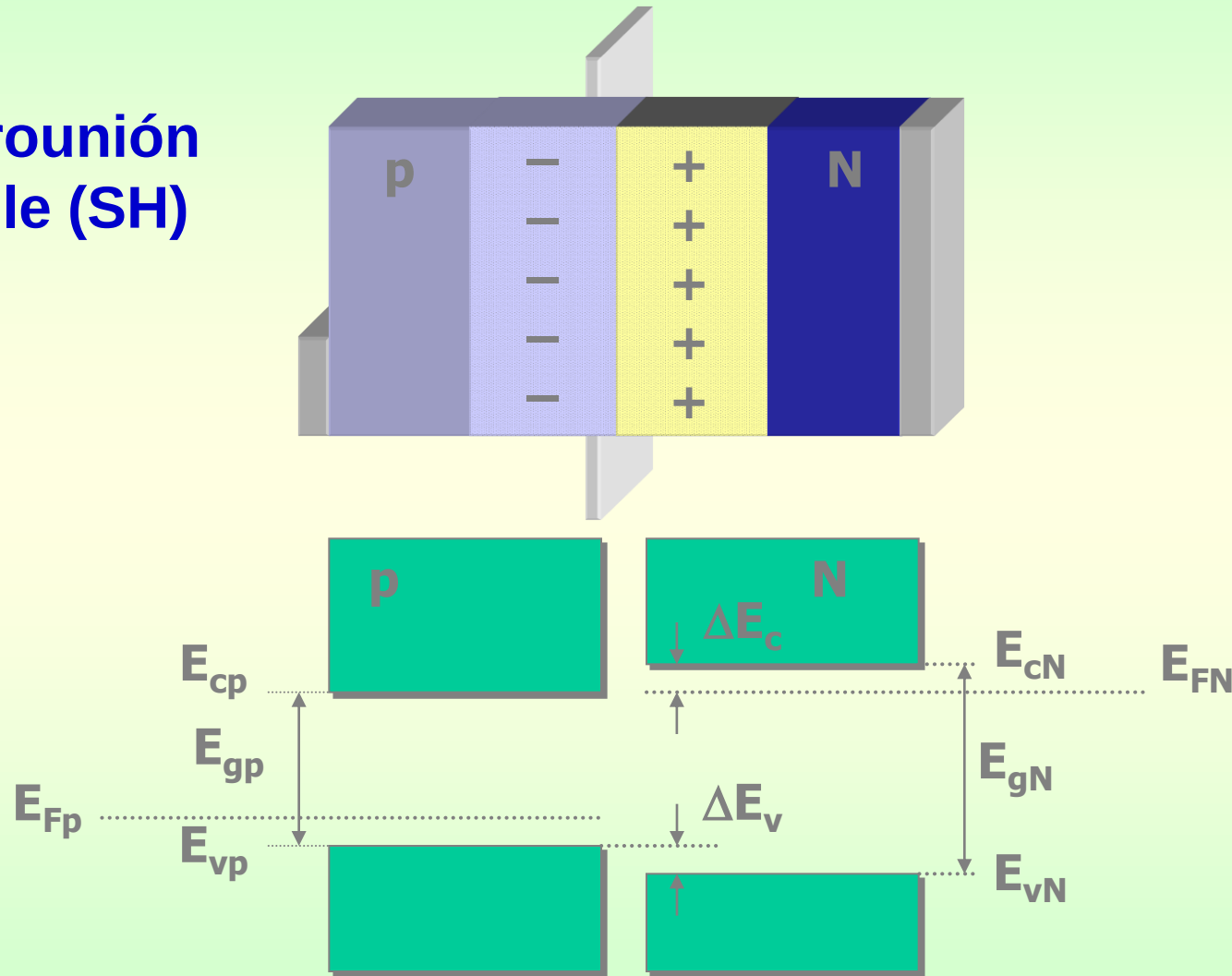
Heterounión simple (SH)





Heterouniones. LEDs de alta eficiencia

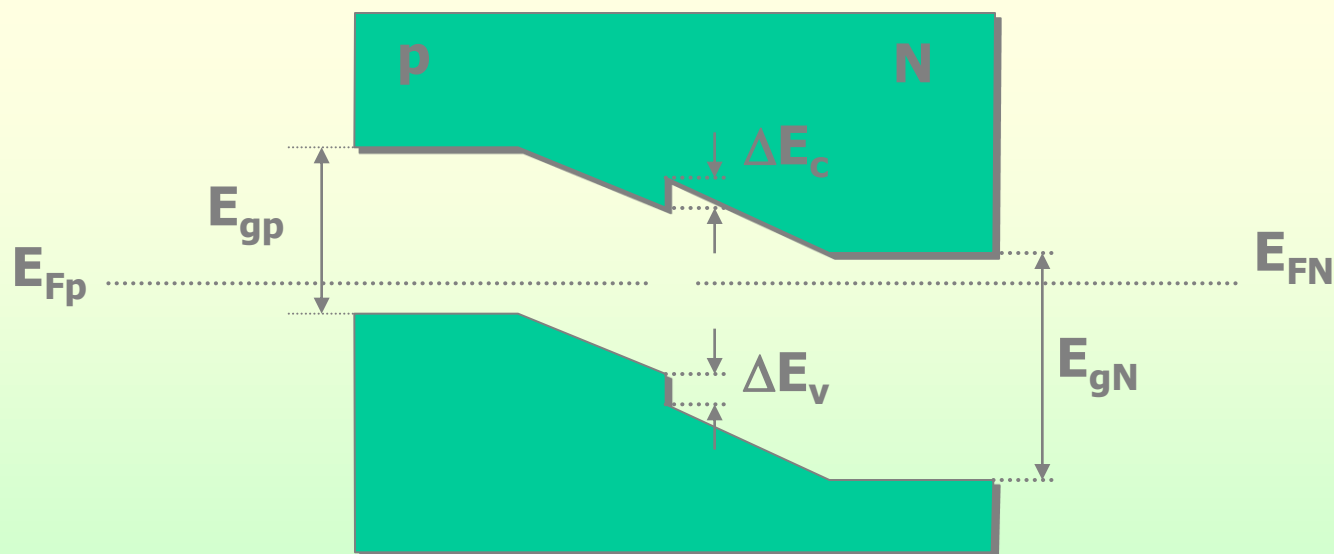
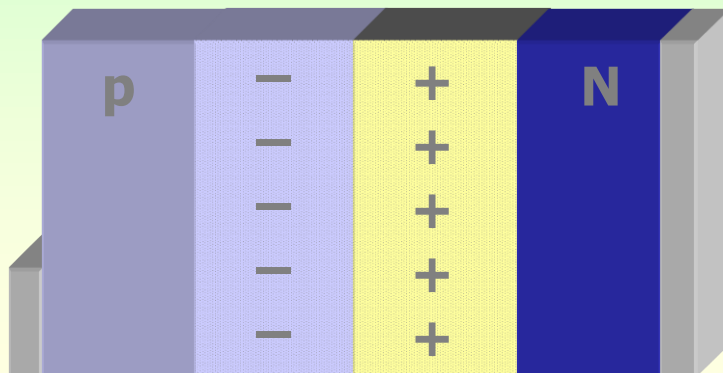
Heterounión simple (SH)





Heterouniones. LEDs de alta eficiencia

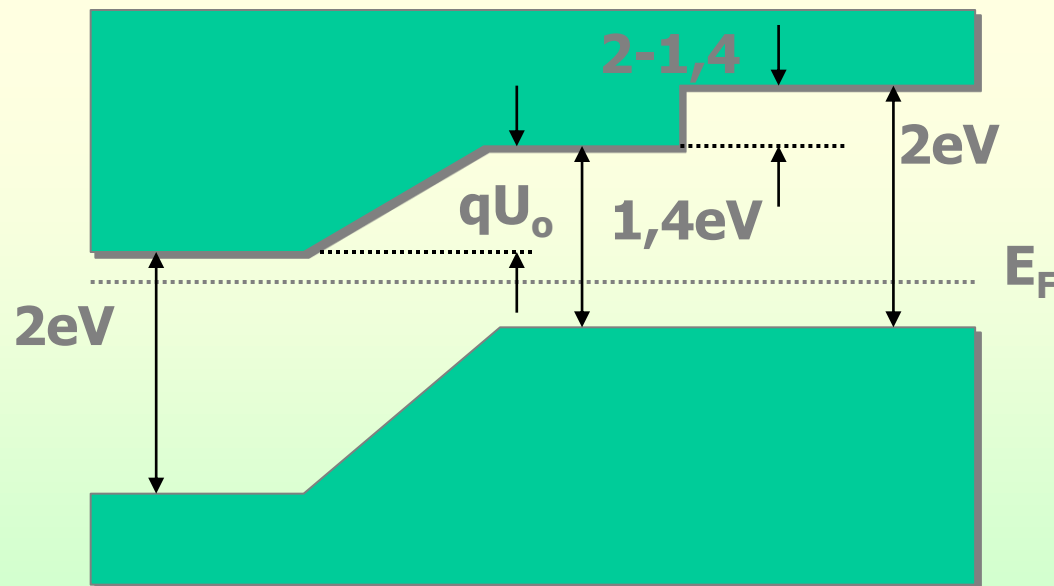
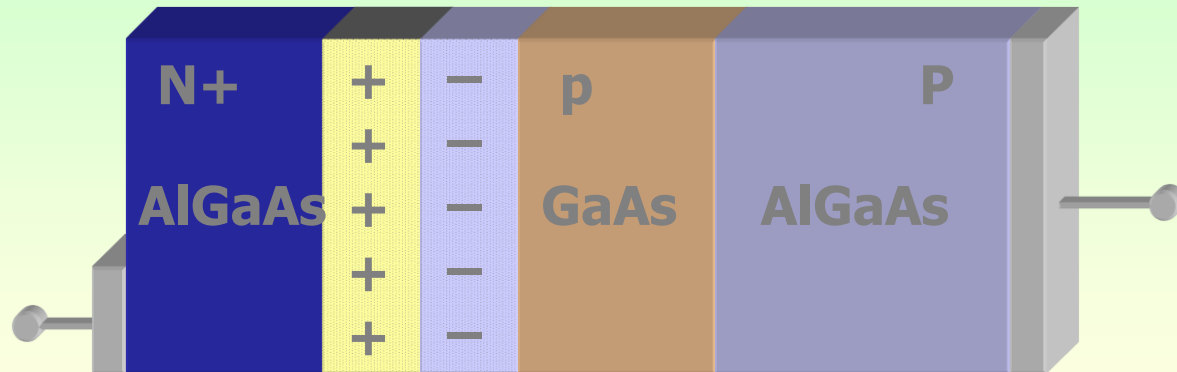
Heterounión simple (SH)





Heterouniones. LEDs de alta eficiencia

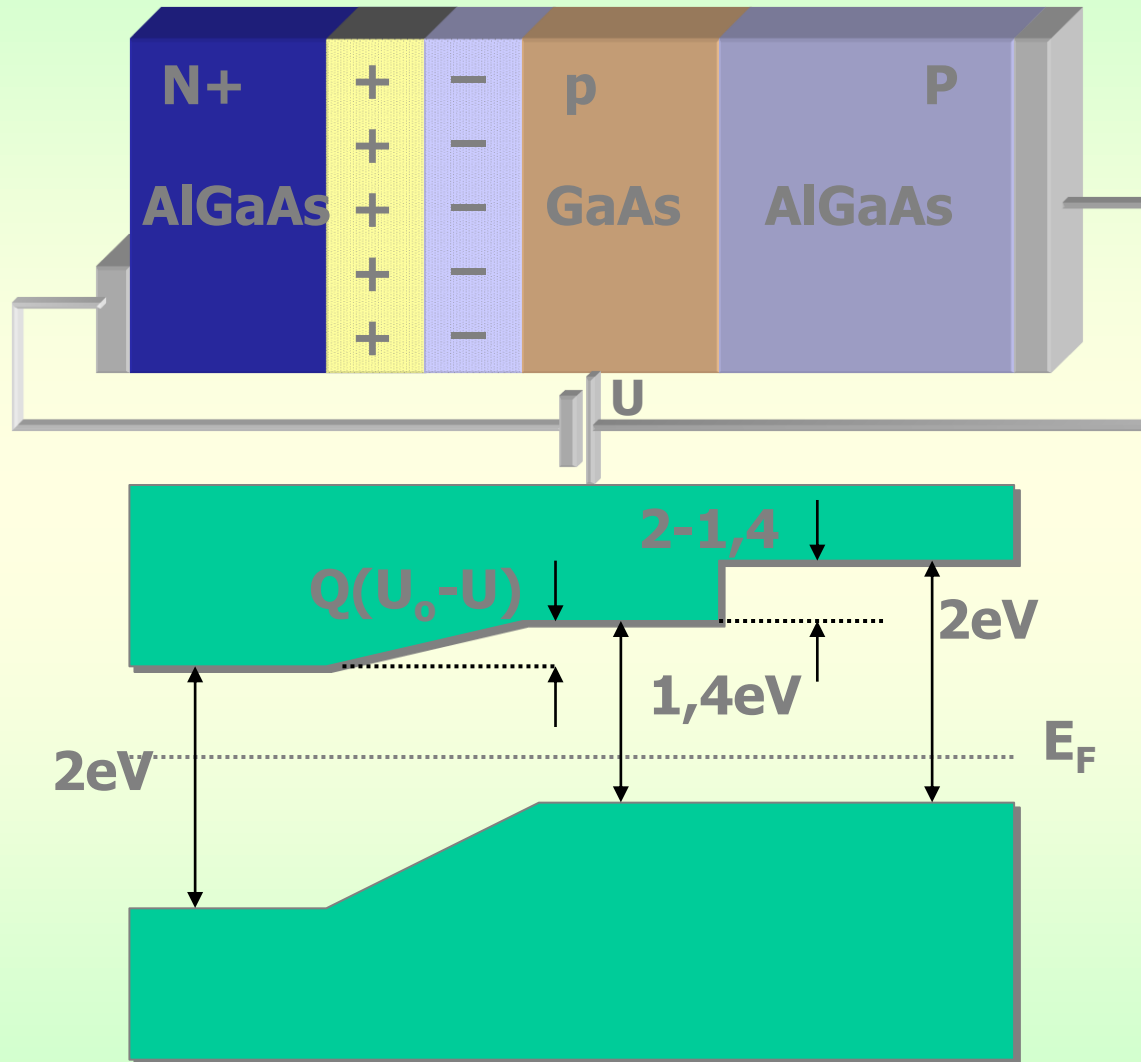
Heterounión
doble (DH)





Heterouniones. LEDs de alta eficiencia

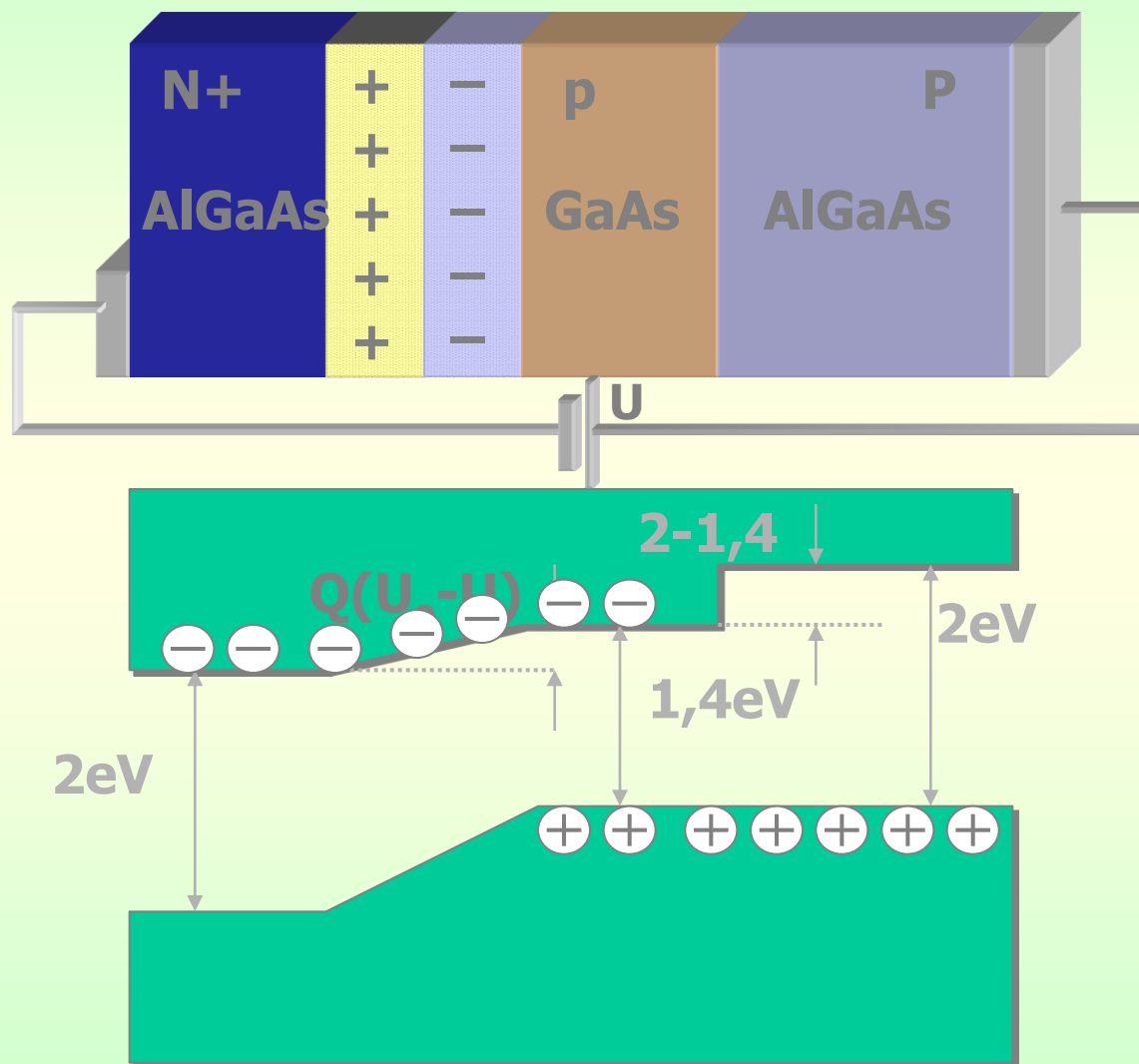
Heterounión
doble (DH)





Heterouniones. LEDs de alta eficiencia

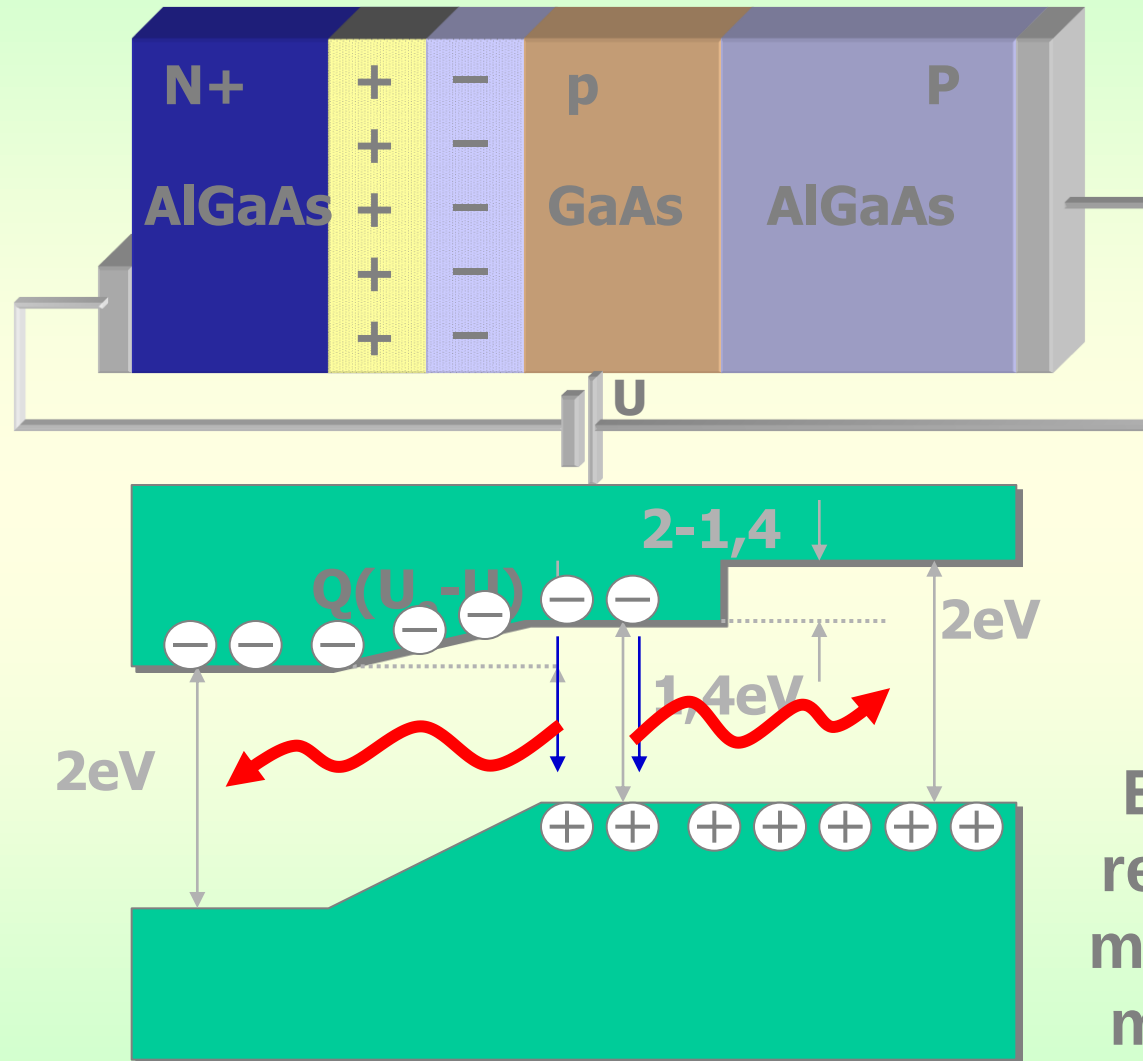
Heterounión
doble (DH)





Heterouniones. LEDs de alta eficiencia

Heterounión
doble (DH)



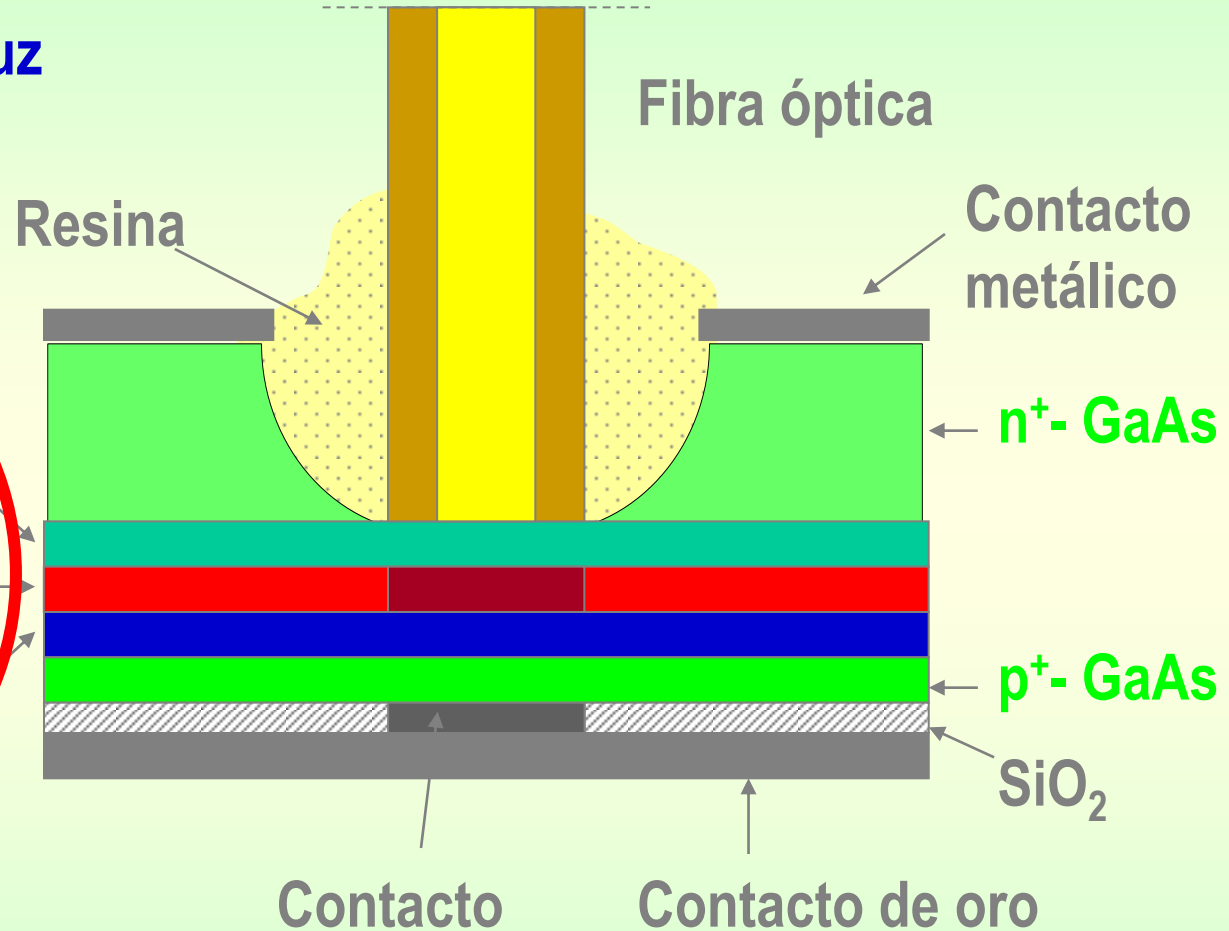
No hay
reabsorción

El índice de
refracción es
menor cuanto
mayor es E_g



LEDs para comunicaciones LED Burrus

Objetivo: Inyectar la luz en la fibra óptica



N -AlGaAs

p -GaAs

P -AlGaAs

Heteroestructura

Contacto metálico

n^+ -GaAs

p^+ -GaAs

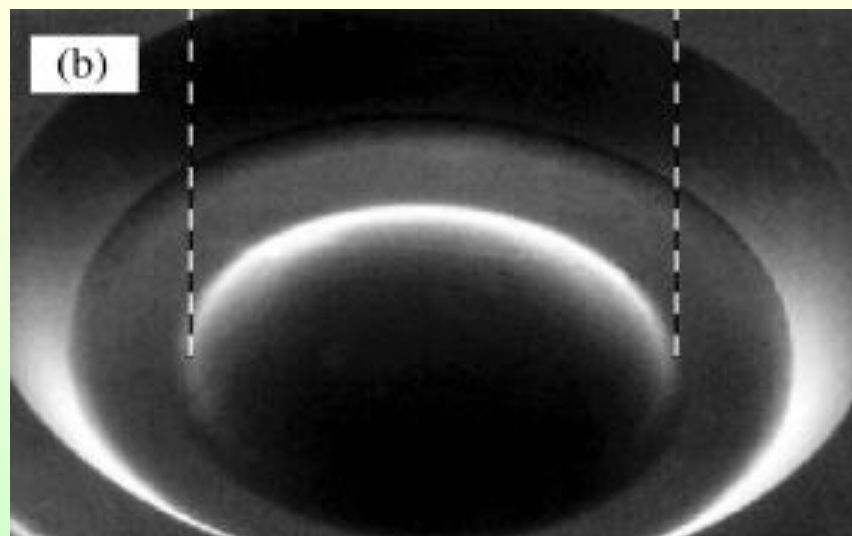
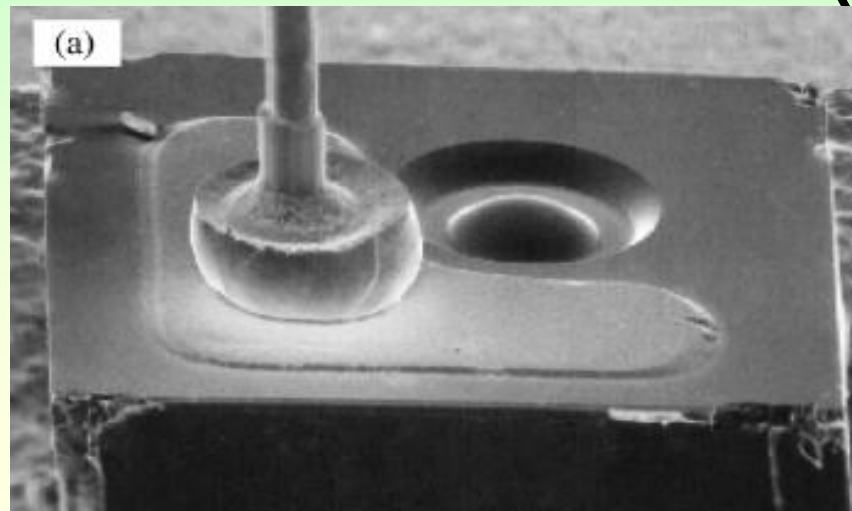
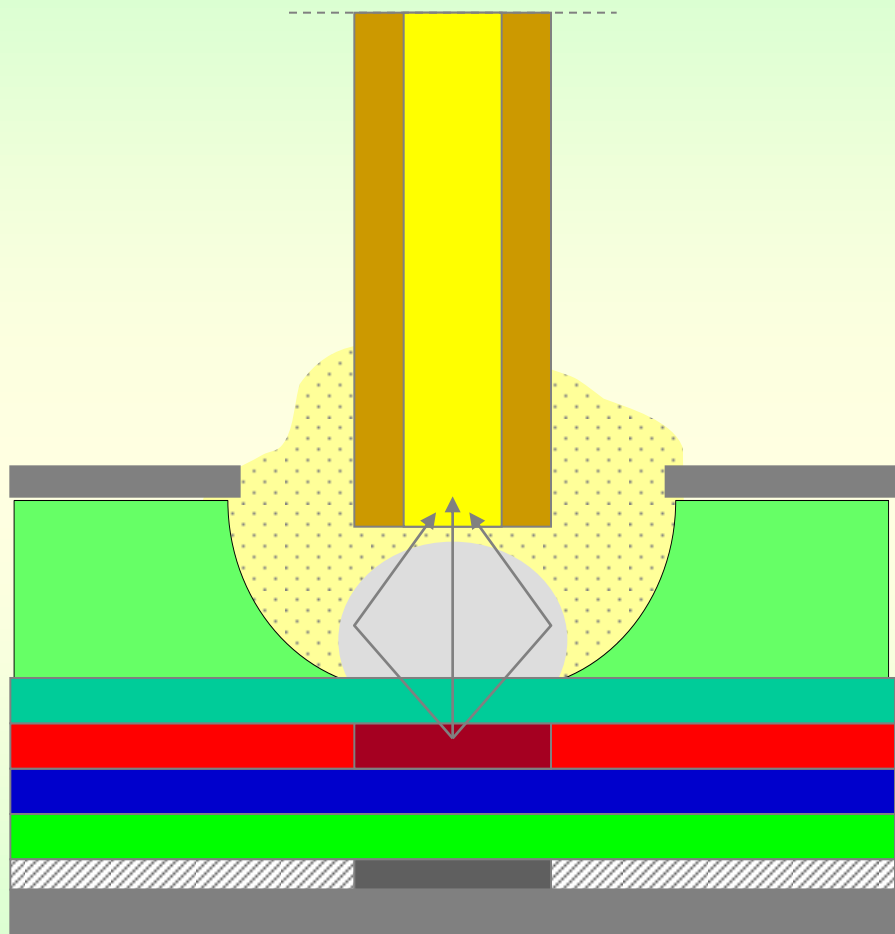
SiO_2

Contacto

Contacto de oro

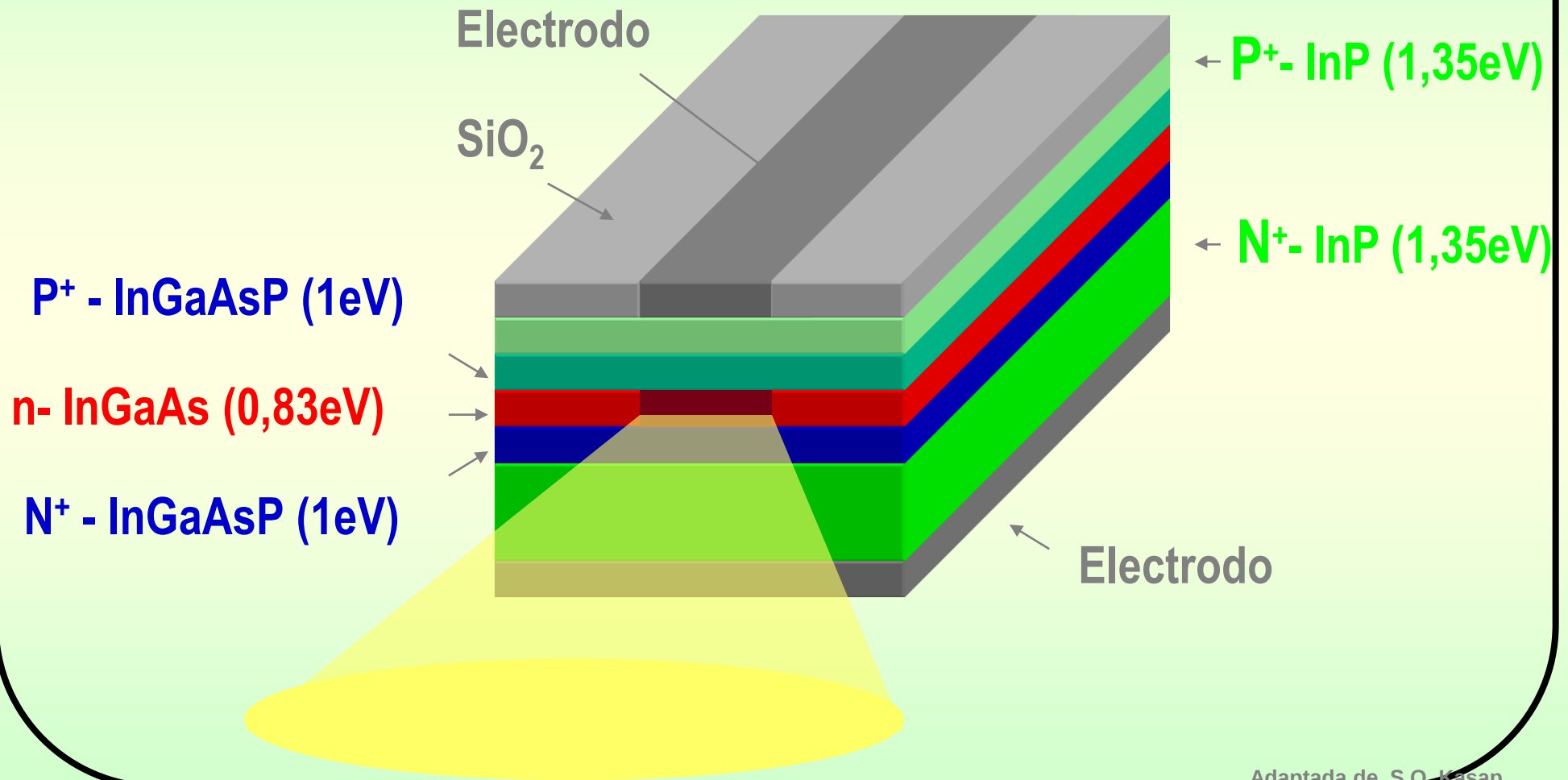


LEDs para comunicaciones LED Burrus





LED de borde o de guía de ondas





VENTAJAS LED's DE ALTA EFICIENCIA

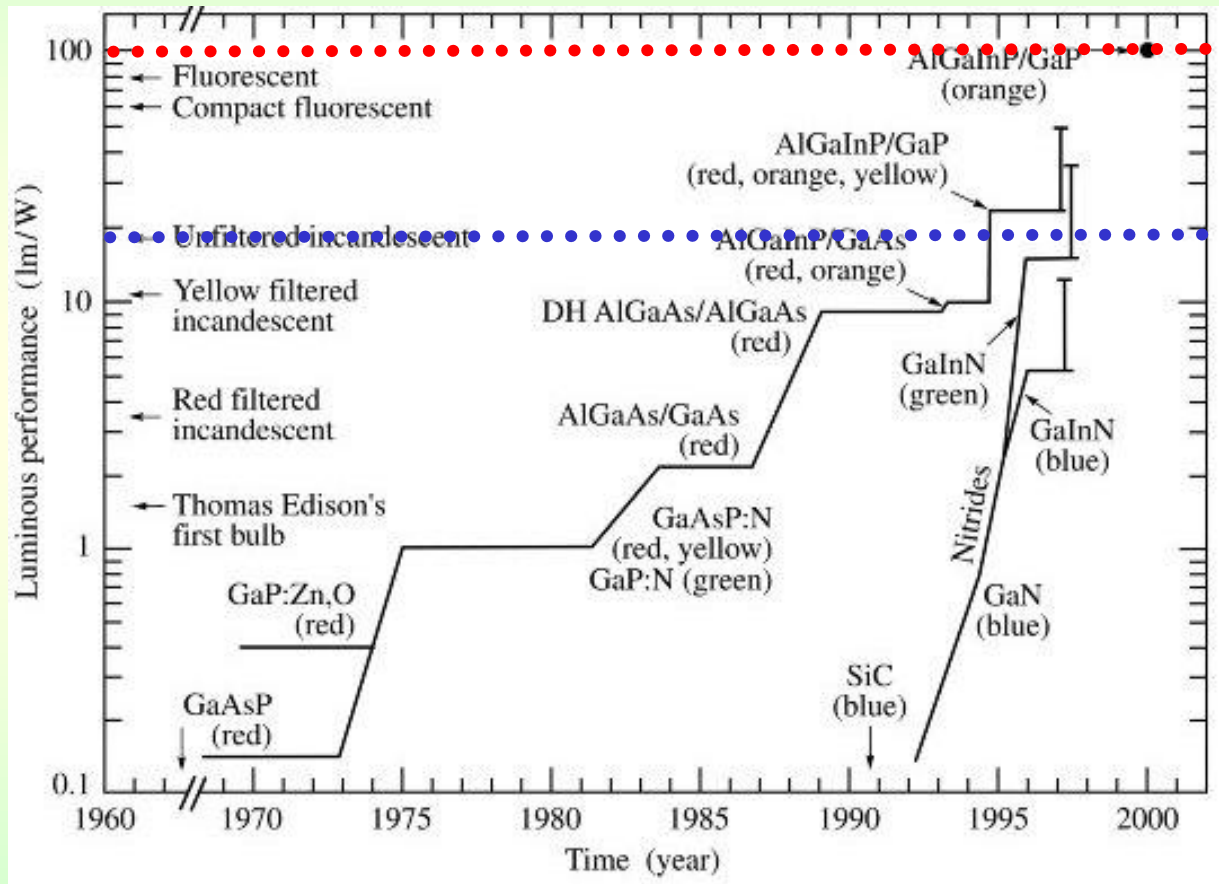
- 1.- DURACIÓN DE MAS DE 150.000 HORAS**
- 2.- NO TIENEN PROBLEMAS CON EL TEMA DE ENCENDIDOS Y APAGADOS**
- 3.- RANGO DE TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO AMPLIO (DESDE -20°C HASTA 100°C)**
- 4.- REDUCCIÓN IMPORTANTE DEL CALOR RADIADO POR LA LÁMPARA**
- 5.- NO SON PELIGROSAS ANTE ROTURAS, ALTAS PRESIONES, MATERIALES PELIGROSOS, ETC**
- 6.- RESISTEN CHOQUES, VIBRACIONES CONSIDERABLES, ETC.**
- 7.- TRABAJAN CON TENSIONES SEGURAS**





LED's DE ALTA EFICIENCIA

LOS RENDIMIENTO LUMINOSOS EMPIEZAN A SER ELEVADOS Y A COMPETIR CON LAS LÁMPARAS FLUORESCENTES



FLUORESCENTES

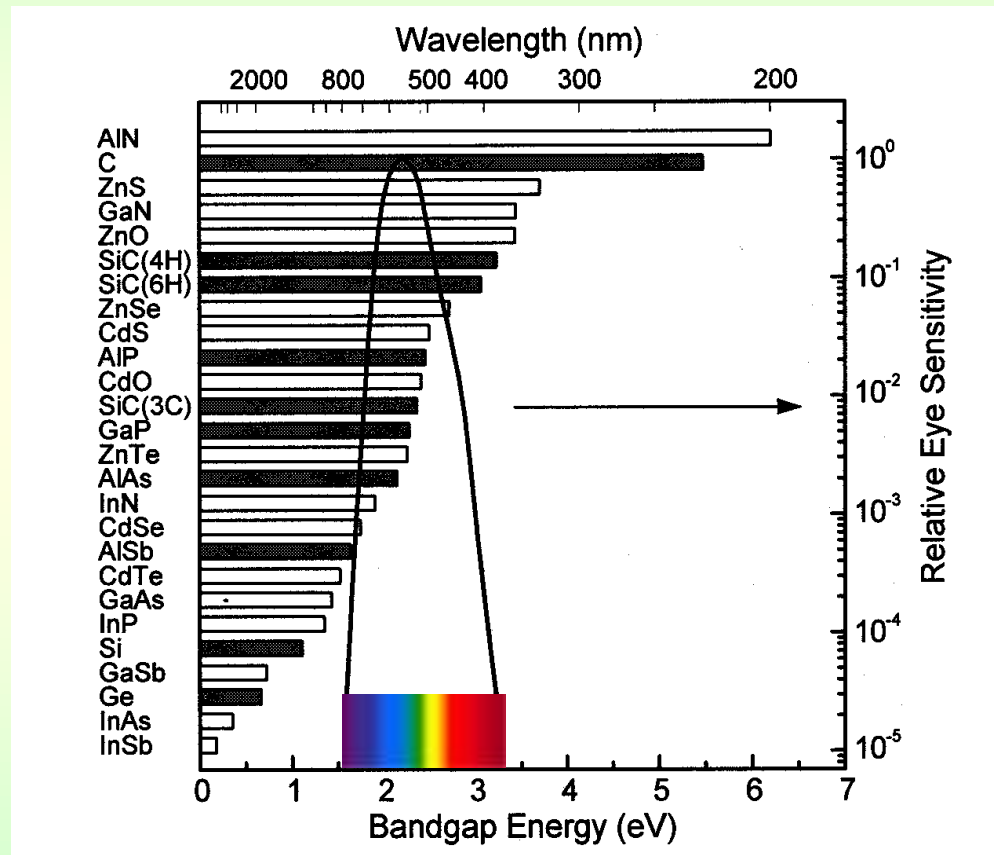
LED BLANCO LUMILED
16 lm/W

INCANDESCENTES



LED's DE ALTA EFICIENCIA: MATERIALES ADECUADOS

ALEACIONES TERNARIAS O CUATERNARIAS: MEZCLA DE Al, Ga, In EN EL CÁTODO Y MEZCLAS DE As, P, N EN EL CÁTODO SON LA BASE DE LOS LED ACTUALES



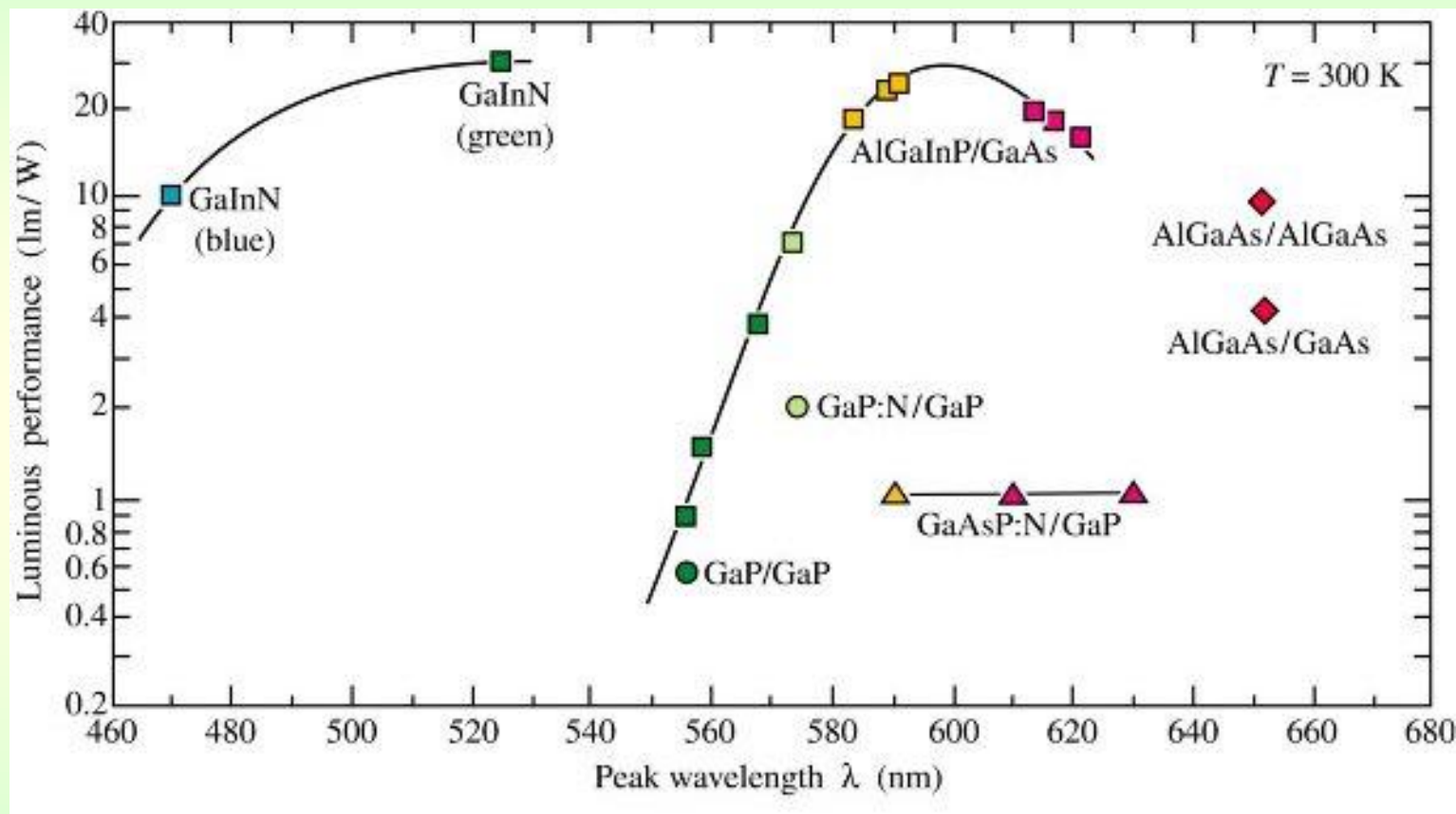
SALTOS ENERGÉTICOS DE MATERIALES ELEMENTALES Y MEZCLAS BINARIAS

$$\lambda(nm) = \frac{1239.5}{h\nu(eV)}$$

$h\nu$ = SALTO ENERGÉTICO EN EL SEMICONDUCTOR

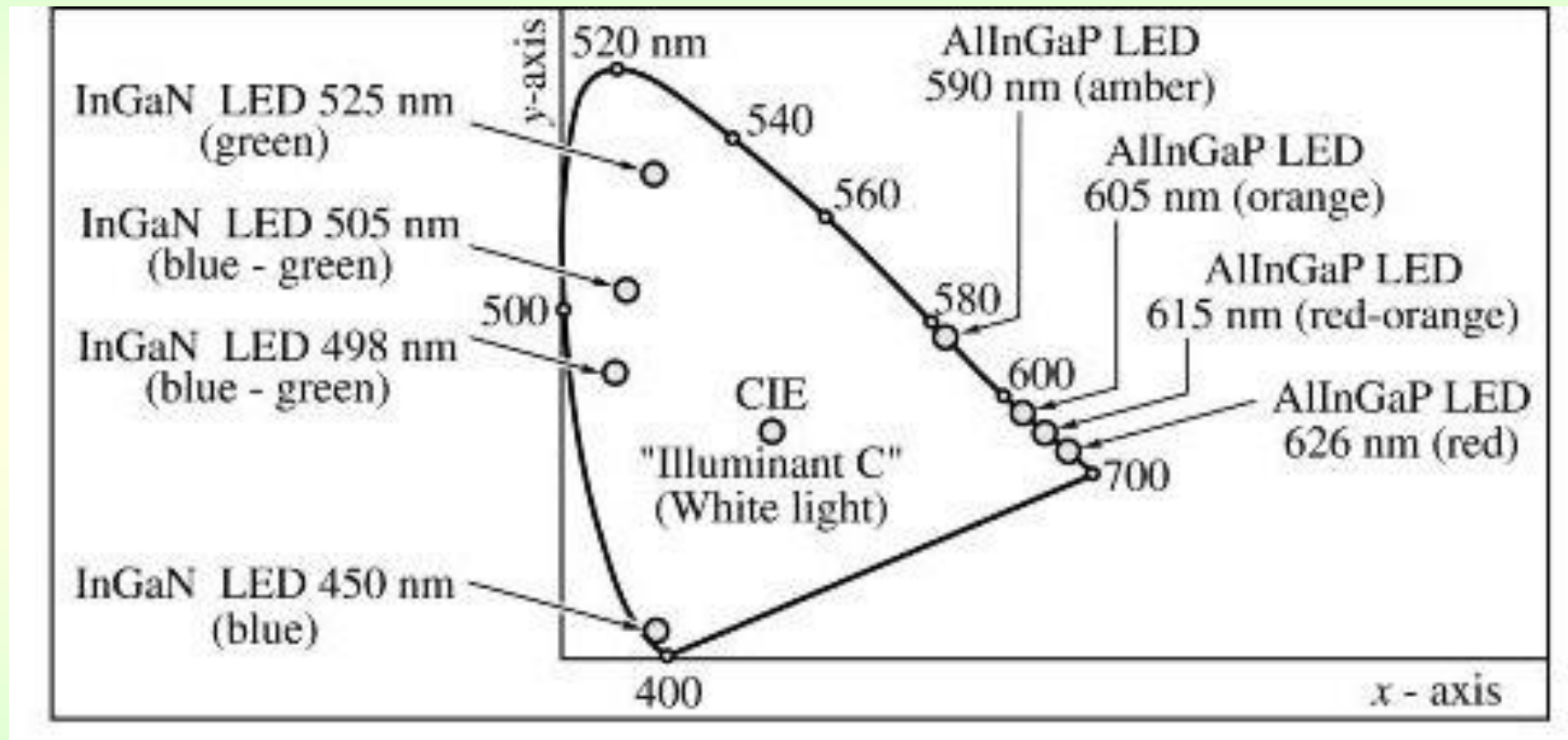


LED's DE ALTA EFICIENCIA: EFICIENCIAS Y COLORES



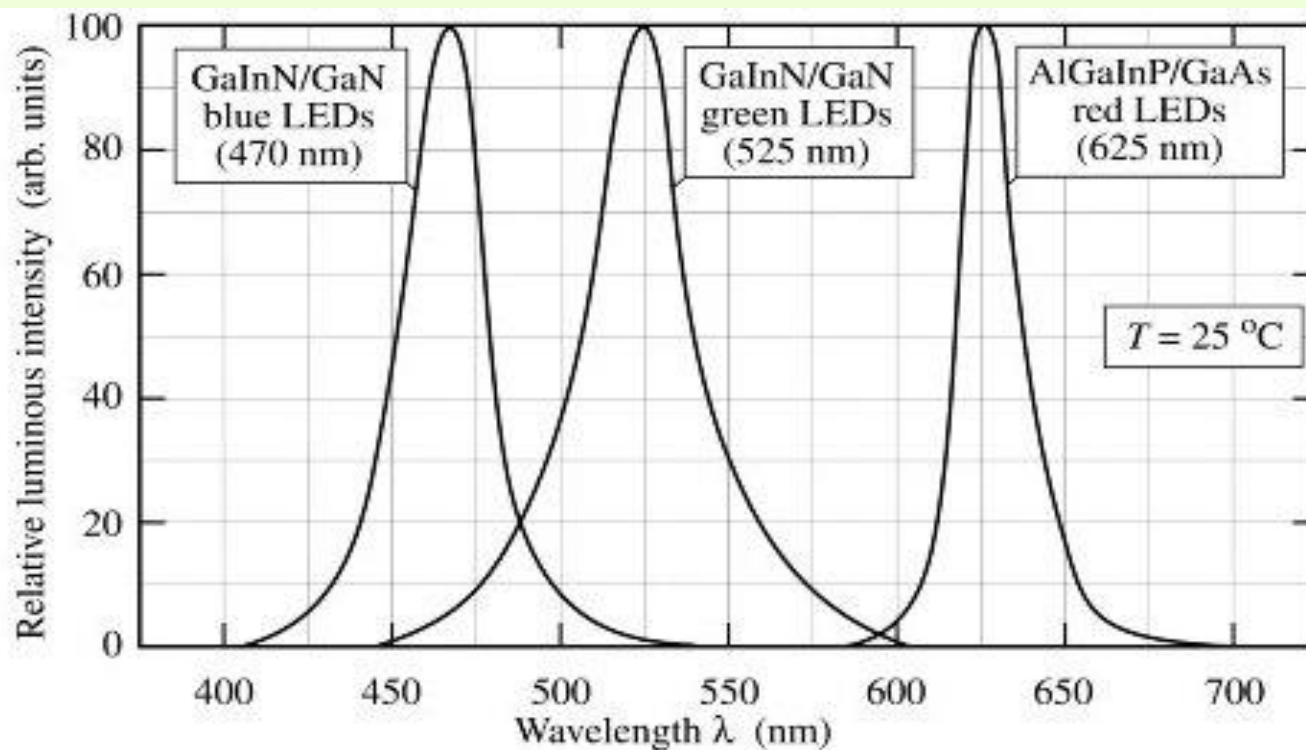
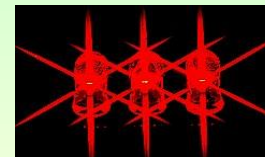
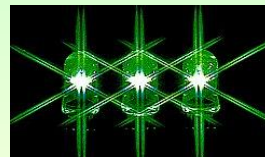
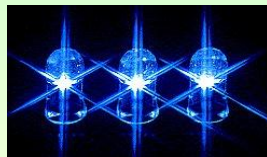


LED's DE ALTA EFICIENCIA: POSICIÓN EN EL DIAGRAMA CROMÁTICO CIE 1931



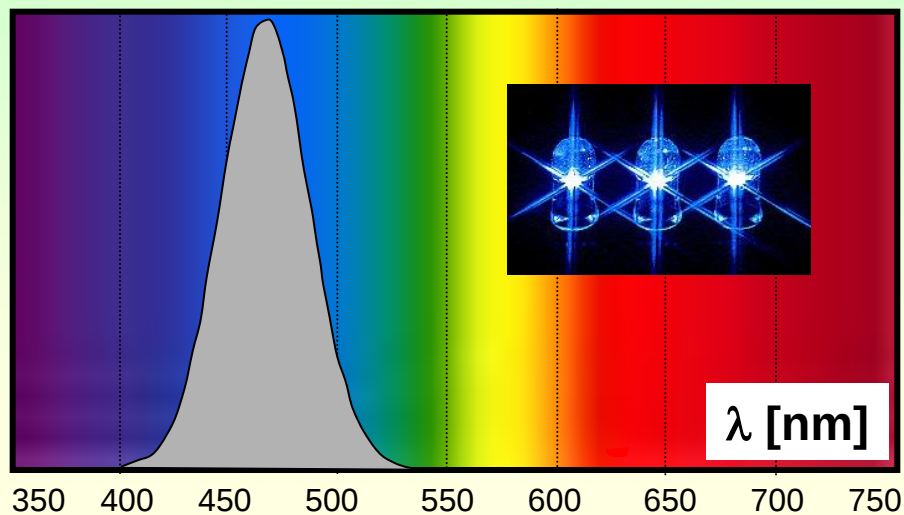


LED's DE ALTA EFICIENCIA: ESPECTROS

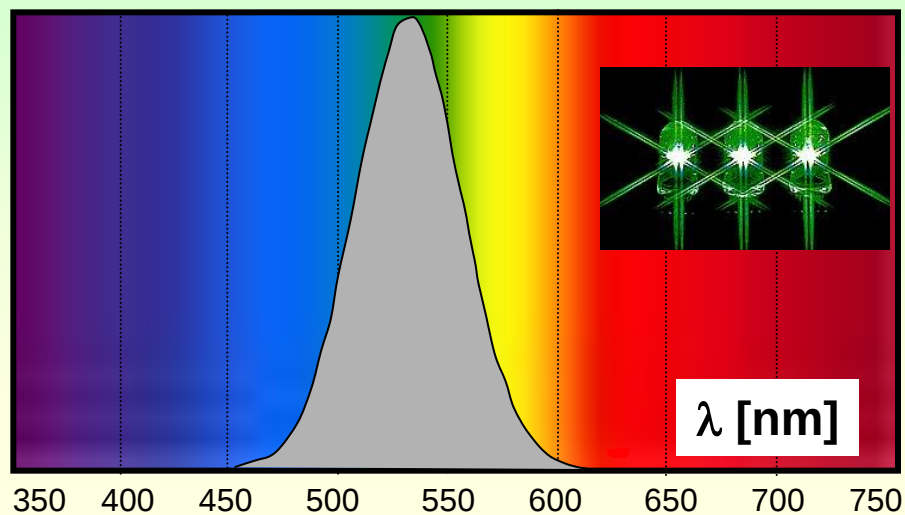




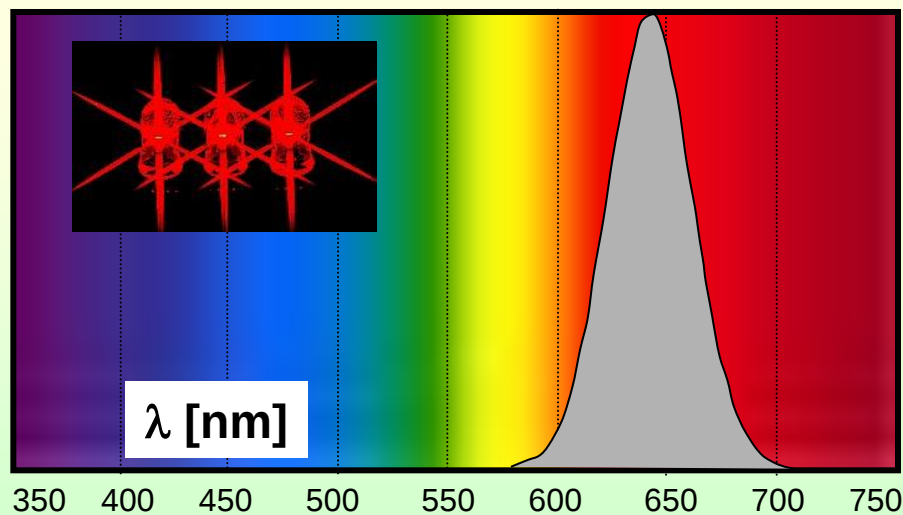
LED AZUL DE ALTA EFICIENCIA



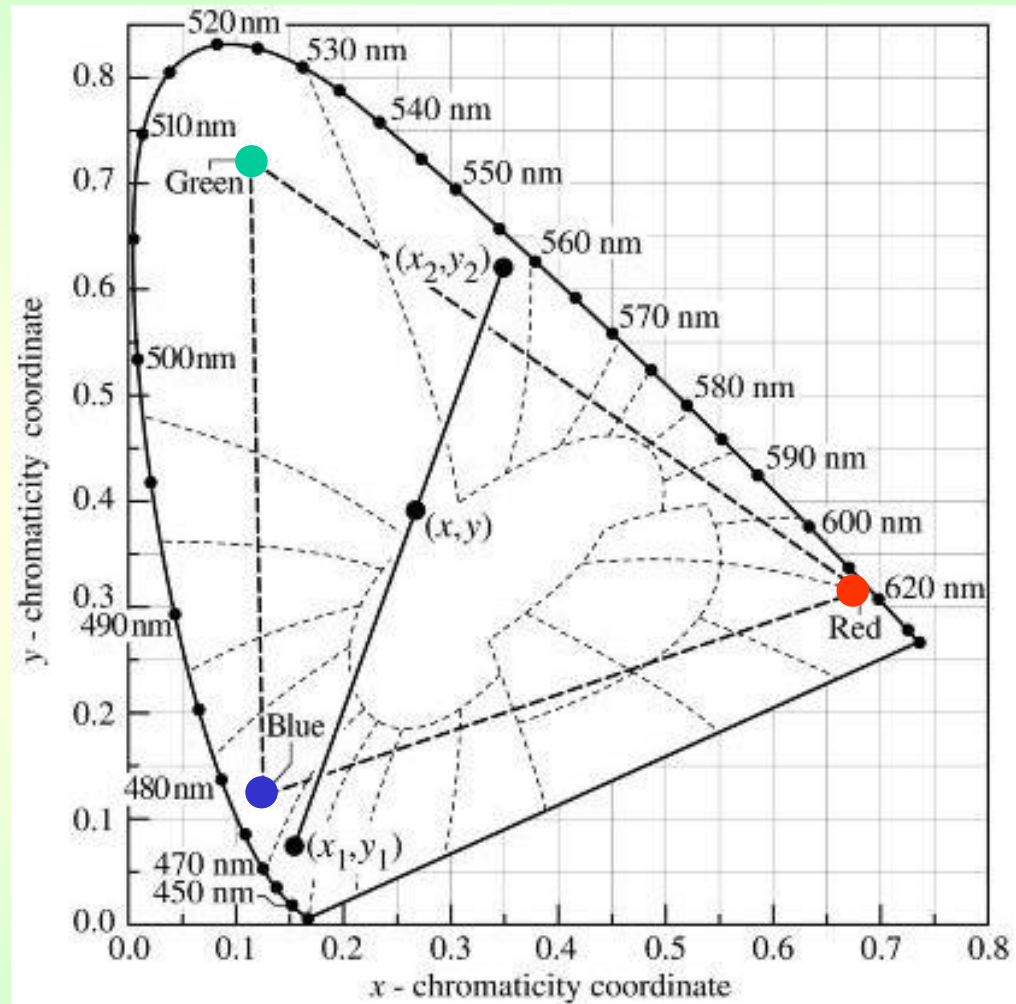
LED VERDE DE ALTA EFICIENCIA



LED ROJO DE ALTA EFICIENCIA



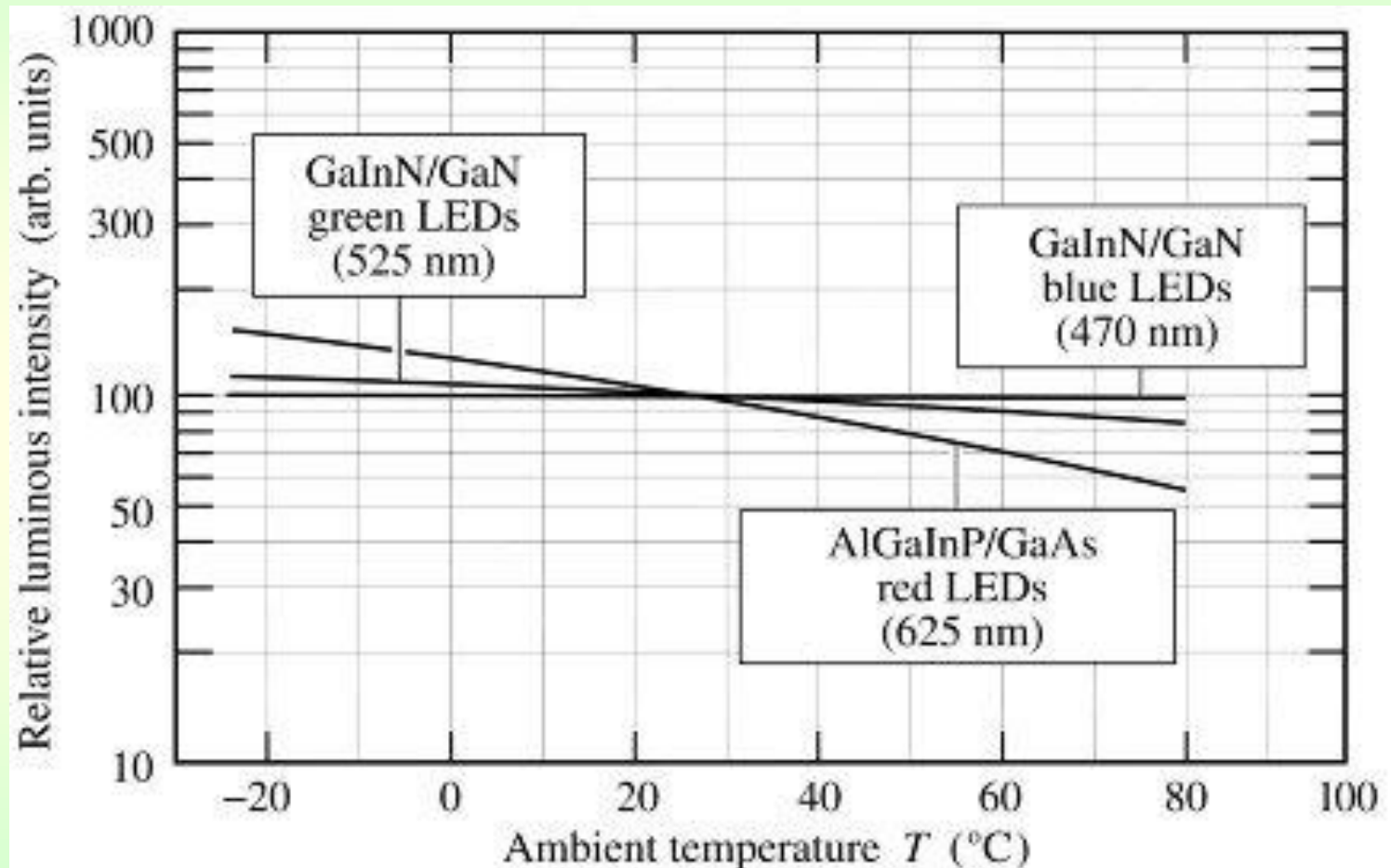
LED's DE ALTA EFICIENCIA: REGIÓN ALCANZABLE CON LA MEZCLA DE COLORES





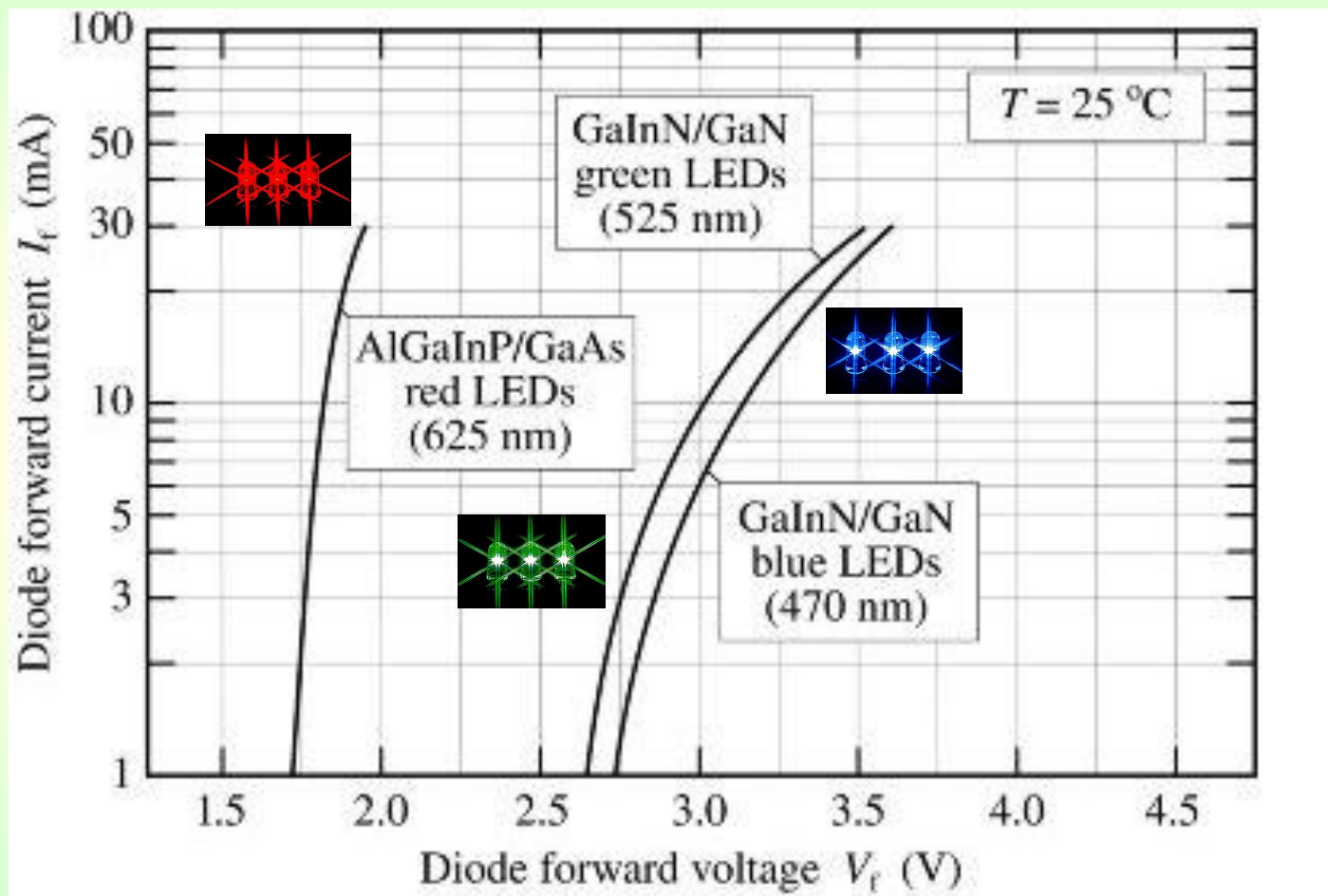
LED's DE ALTA EFICIENCIA:

VARIACIÓN DE LA EFICIENCIA LUMINOSA CON LA TEMPERATURA



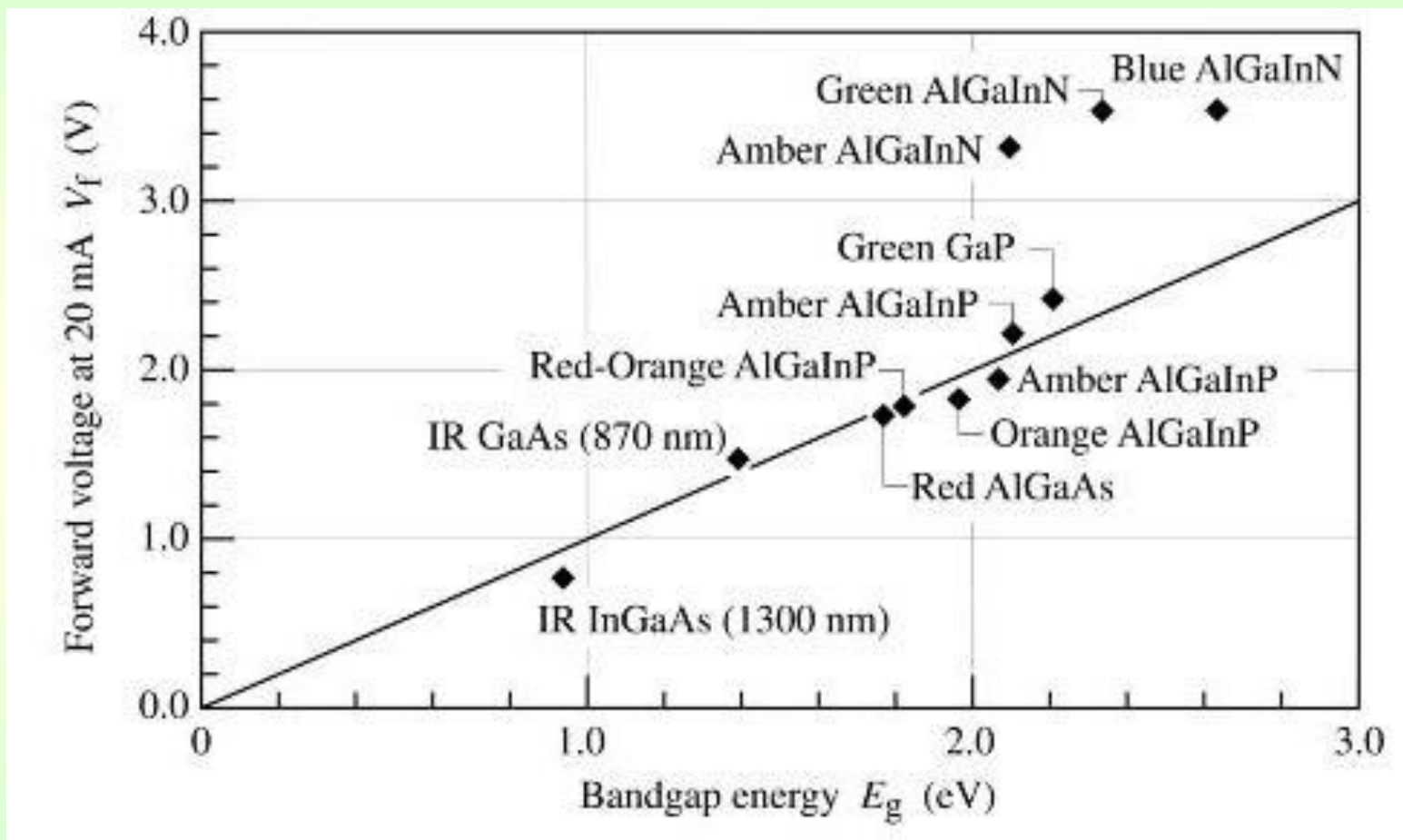


LED's DE ALTA EFICIENCIA:
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS. CURVA CARACTERÍSTICA





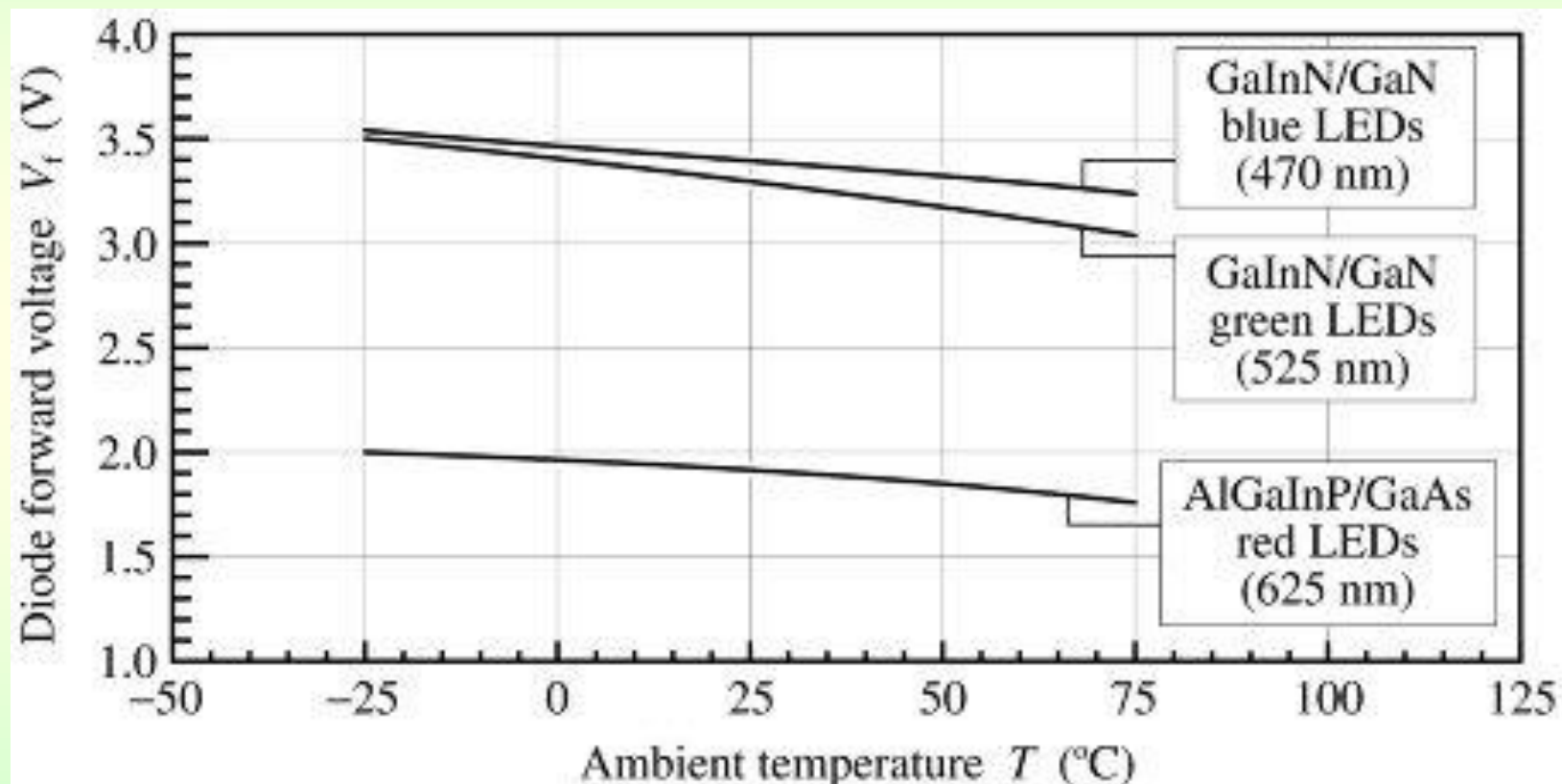
LED's DE ALTA EFICIENCIA:
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS. CAÍDA DE TENSIÓN





LED's DE ALTA EFICIENCIA:

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS. INFLUENCIA DE LA CAÍDA DE TENSIÓN CON LA TEMPERATURA





LED's DE ALTA EFICIENCIA: LED BLANCOS (WHITE LED)

BÁSICAMENTE HAY DOS FORMAS DE OBTENER LUZ BLANCA:

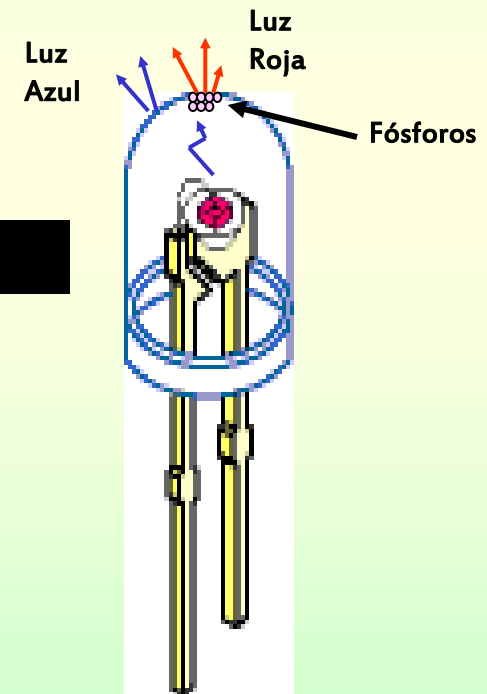
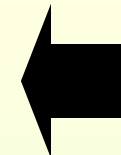
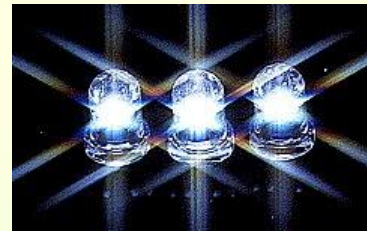
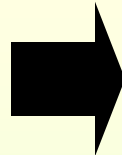
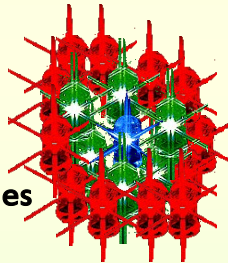
1.- MEZCLA DE LUZ DE DIFERENTES COLORES

2.- UTILIZAR FÓSFOROS PARA OBTENER O COMPLEMENTAR EL COLOR

-CON LA LUZ AZUL OBTENER LUZ ROJA

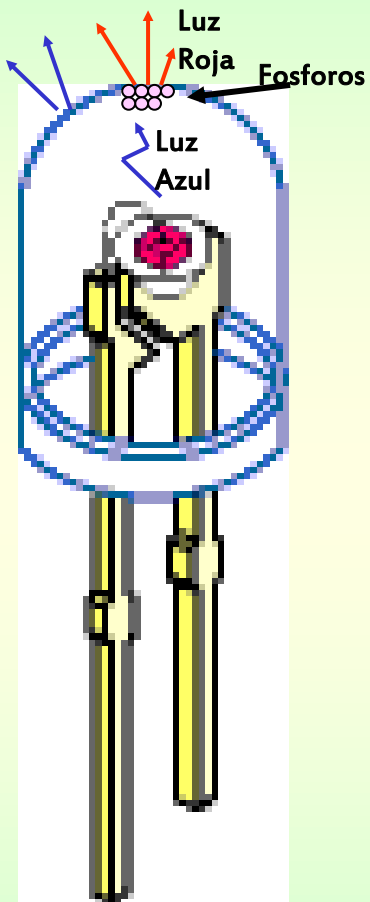
-CON LUZ UV OBTENER LUZ BLANCA (TRIFÓSFOROS)

Combinación de
LED de Alta
Eficiencia
Rojos, Verdes, Azules

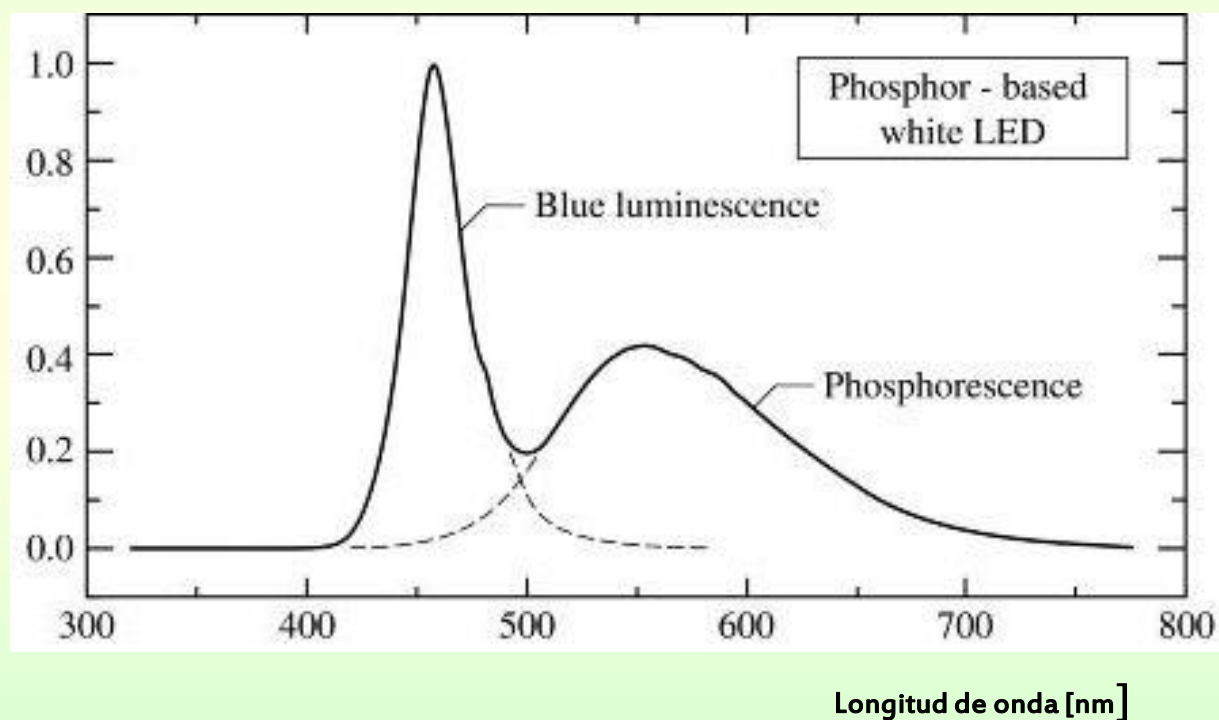




LED's DE ALTA EFICIENCIA: LED BLANCOS (WHITE LED)

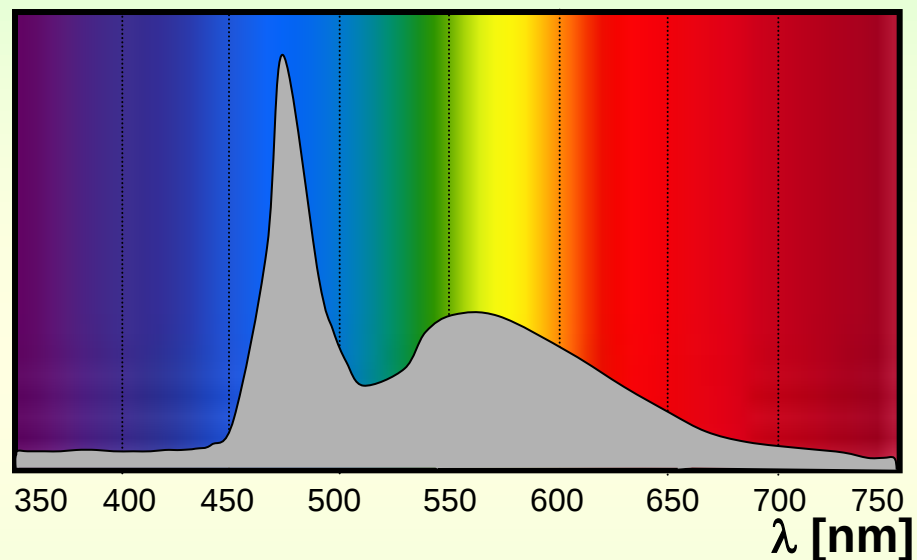


MEZCLA DE LED AZUL (Al In Ga N - 465 nm) Y FÓSFORO AMARILLO (GARNET DOPADO CON CERIO)





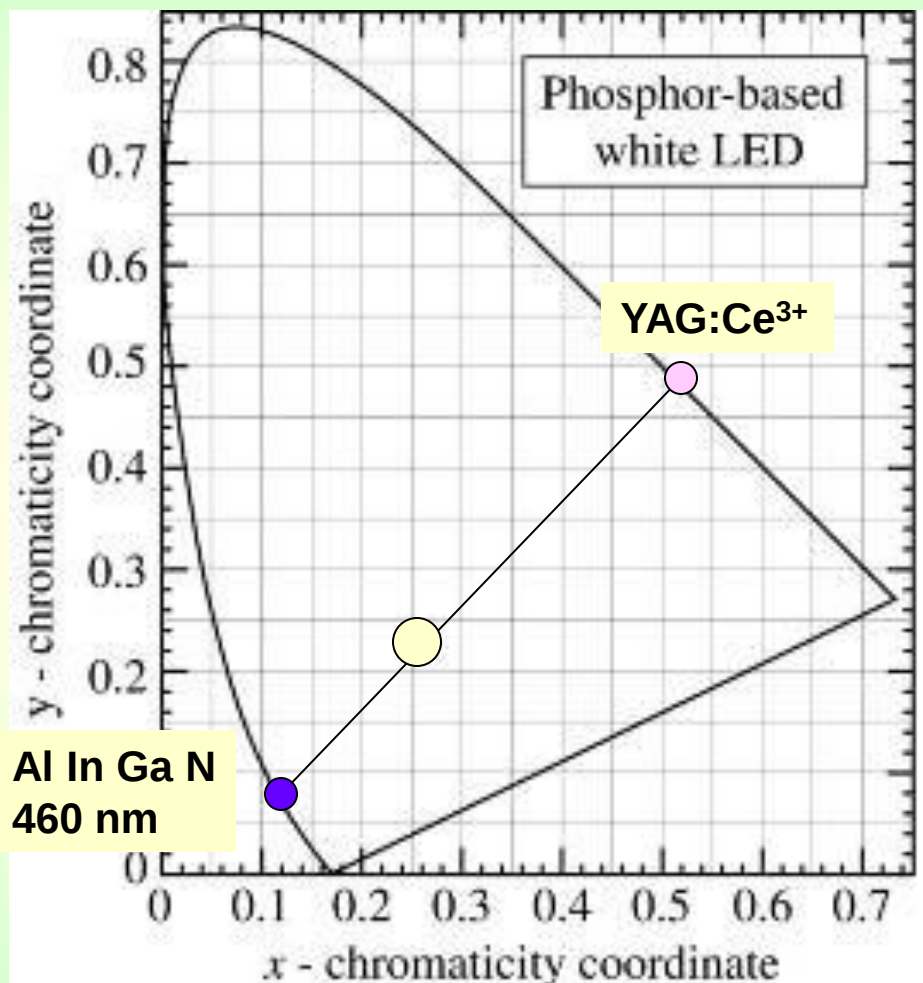
LED BLANCO DE ALTA EFICIENCIA



MEZCLA DE LED AZUL (Al In Ga N - 465 nm) Y FÓSFORO AMARILLO (GARNET DOPADO CON CERIO)



LED's DE ALTA EFICIENCIA: LED BLANCOS (WHITE LED)





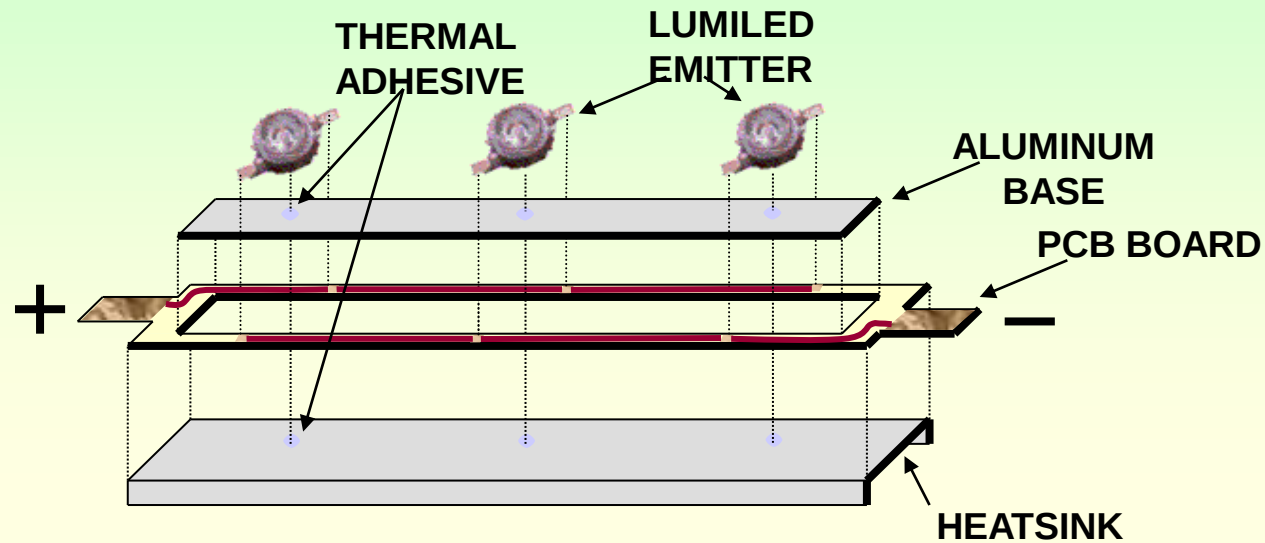
LED's DE ALTA EFICIENCIA: LED BLANCOS (WHITE LED)

DETALLE DE UN ALUMBRADO DE EMERGENCIA REALIZADO CON LED





LED's DE ALTA EFICIENCIA: LED BLANCOS (WHITE LED)



DETALLE DE UN ALUMBRADO DE EMERGENCIA REALIZADO CON LED