

# FOTOEMISORES

Dispositivos Optoelectrónicos

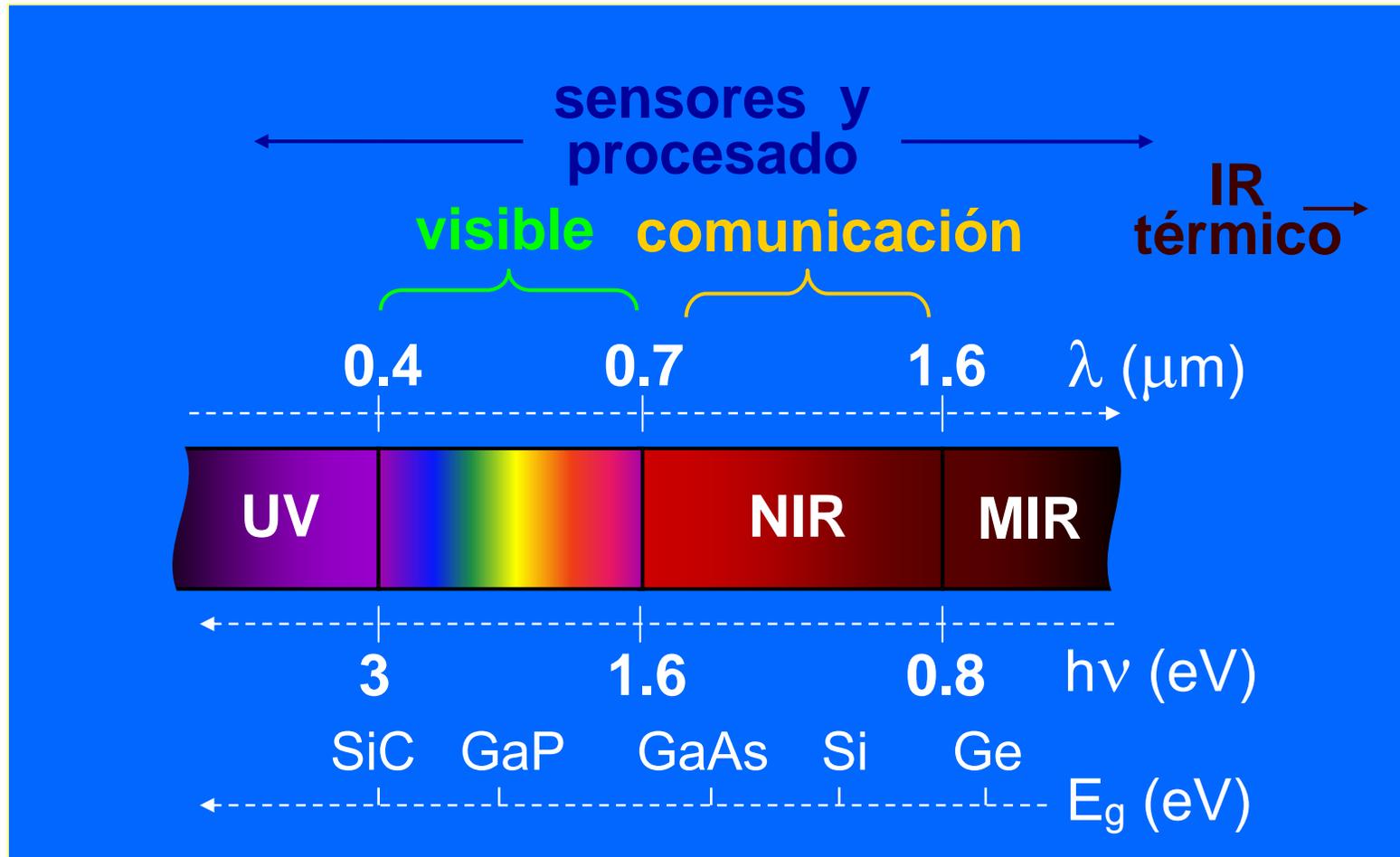
# Dispositivos Optoelectrónicos

- **Sensores**: convierten una señal óptica en una electrónica
  - Fotorresistencias
  - Fotodiodos
  - Fototransistores
  - Células solares
- **Emisores**: utilizan la energía de los electrones para emitir fotones
  - LEDs
  - Láseres
  - Lámparas incandescentes
  - Lámparas halógenas

# Ventajas de los fotoemisores

- Pequeño tamaño,
- gran fiabilidad,
- potencia óptica emitida,
- facilidad de acoplo a fibras ópticas
- Modulación de la potencia óptica a partir de una modulación de la inyección de portadores, o lo que es lo mismo, una modulación de la corriente eléctrica.
- Las fuentes básicamente son dos:
  - LEDs, basados en la emisión espontánea de luz y
  - Diodos láser, basados en la emisión estimulada para generar ganancia en el sistema.

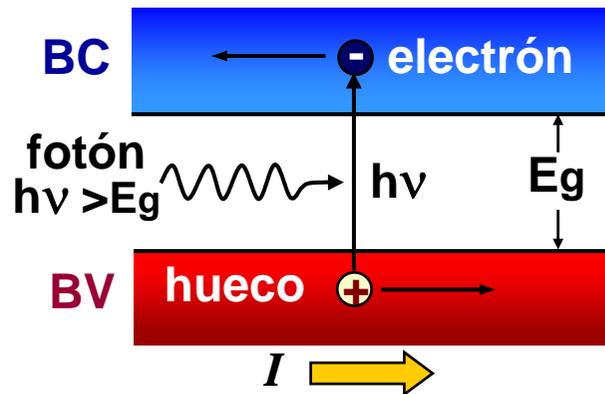
# Longitudes de onda de interés



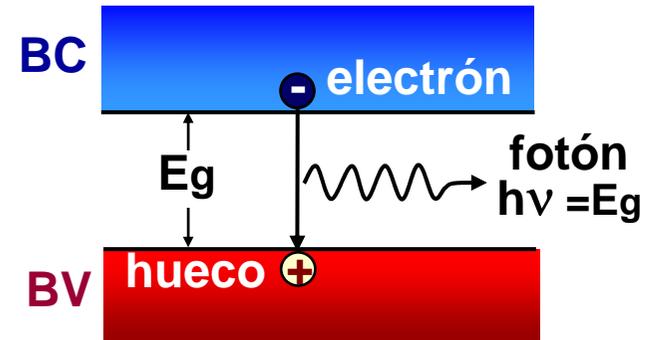
⇒ Visible y NIR  
≈  $E_g$  de los semiconductores

# Semiconductores: interacción con la luz

Generación e- h  $\Rightarrow$  detección



Recombinación  $\Rightarrow$  emisión



¿ Por qué ... electrónica ?

- Prestaciones:
- Bajo coste
  - Rapidez eléctrica
  - Bajo consumo
  - Pequeño tamaño
  - Fiabilidad

Aplicaciones: optoelectrónicas

- **Diodos electroluminiscentes LEDs**
  - Eficiencia Interna
  - Potencia Interna
  - Distribución angular y potencia externa
  - Ancho de banda espectral
  - Características técnicas
  - ¿cómo se usa un LED?
  - Ejemplos
- **Diodos LASER**
  - Fundamentos
  - Características técnicas

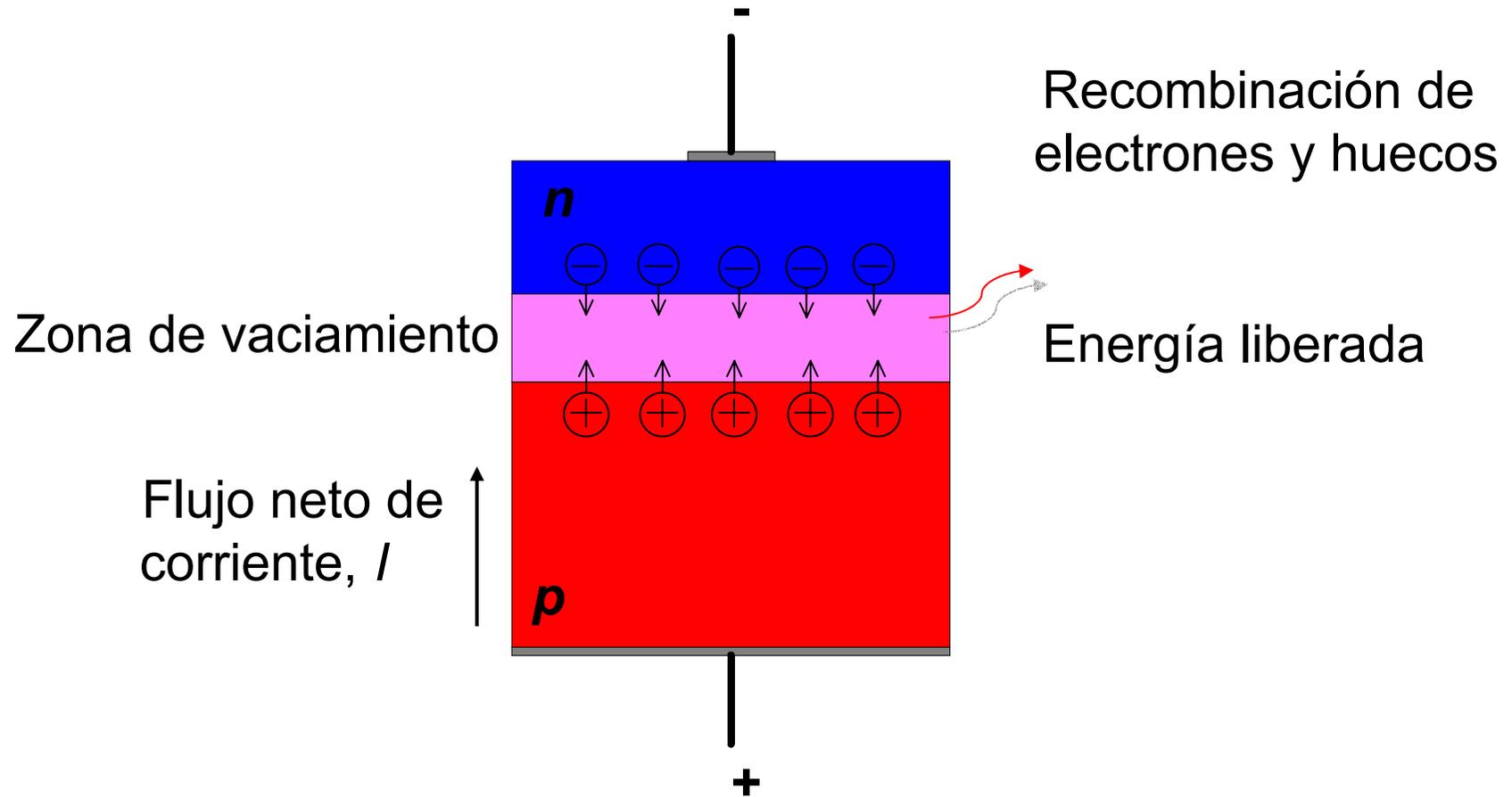
# Emisores monocromáticos coherentes

- LED (Light Emitting Diode)
- IRED (Infra-Red Emitting Diode)



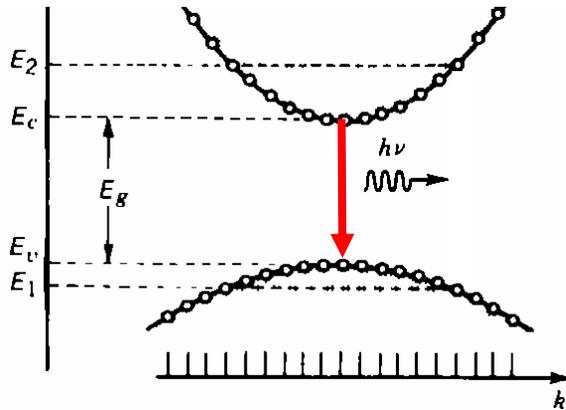
# Emisores monocromáticos incoherentes

## Diodos Electroluminiscentes



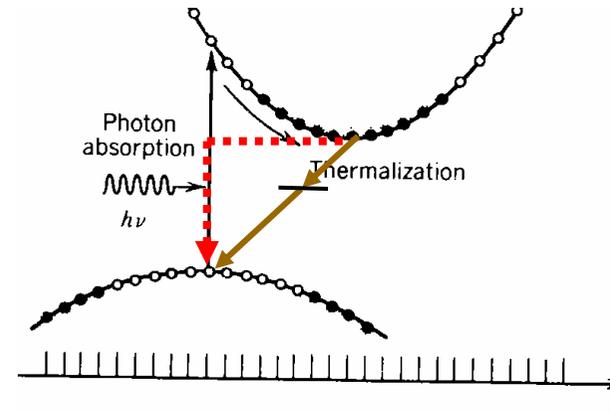
# Emisión de luz

semiconductores directos



Recomb. radiativa probable  
**posible emisión**

semiconductores indirectos



Recomb. no radiativa  
**no emisión**

IV

semic.	$E_g$ (eV)	
Ge	0.7	I
Si	1.1	I
InAs	0.4	D
InP	1.4	D
GaAs	1.5	D
GaP	2.3	I*
AlAs	2.4	I

III-V

## ¿Qué semiconductor ?

- directo  $\Rightarrow$  semic. III-V (difícil para  $\lambda \ll$ )
- $E_g \approx h \nu \Rightarrow$  un semic. para cada  $\lambda$
- $\lambda$ 's intermedia?  $\Rightarrow$  aleaciones
- evitar Rec. no radiativa  $\Rightarrow$  buena calidad

- Intensidad radiante,  $I$ : potencia por unidad de ángulo sólido

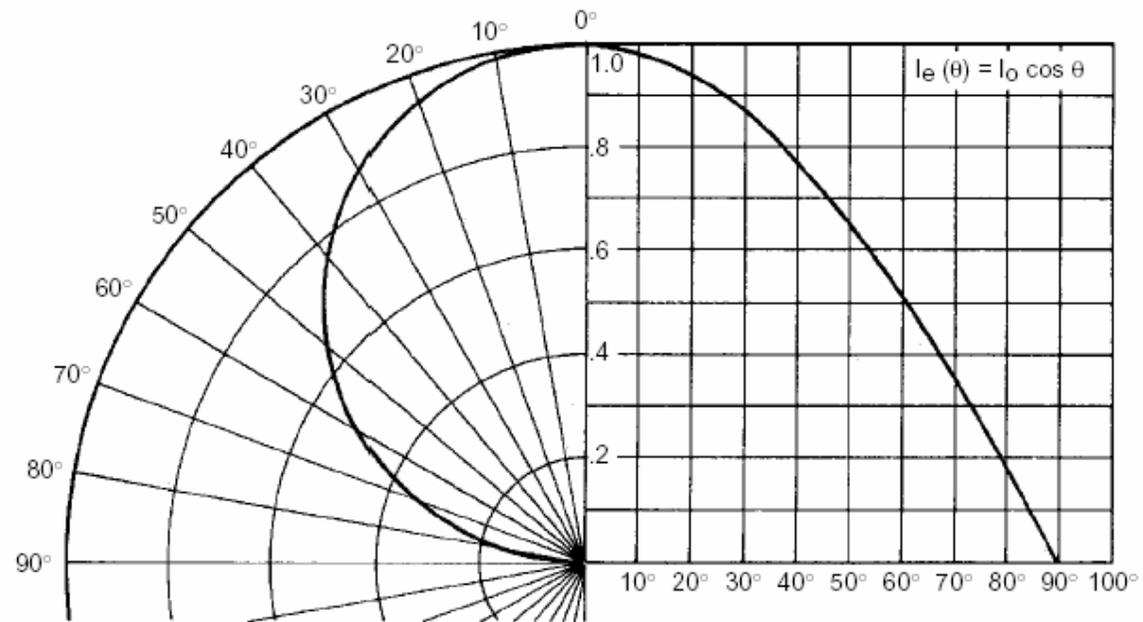
$$I = \frac{P_{out}}{\Omega} \quad \left( \frac{W}{sr} \right)$$

- Radiancia: potencia emitida por unidad de área normal y unidad de ángulo sólido

$$L = \frac{P_{out}}{\Omega A_s \cos \theta} = \frac{I}{A_s \cos \theta} \quad \left( \frac{W}{m^2 sr} \right)$$

- Emisión lambertiana: radiancia constante, lo que implica que la intensidad radiante vale:

$$L_{cte} \Rightarrow I(\theta) = I(0) \cos \theta$$



**Figure 3. Radiation Pattern of a Lambertian Source.**

# Parámetros de un LED

- Eficiencia energética o Eficiencia externa: potencia óptica generada a partir de la potencia eléctrica suministrada

$$\eta_{pot} (\%) = \frac{P_{out}}{I \cdot V} (\times 100)$$

- Eficiencia cuántica: realmente consta de dos términos la eficiencia cuántica interna y la eficiencia cuántica externa

$$\eta = \frac{n^{\circ} \text{ fotones emitidos}}{n^{\circ} \text{ portadores inyectados}}$$

$$\eta = \underbrace{\frac{n^{\circ} \text{ fotones generados}}{n^{\circ} \text{ portadores inyectados}}}_{\text{Eficiencia cuántica interna}} \cdot \underbrace{\frac{n^{\circ} \text{ fotones emitidos}}{n^{\circ} \text{ fotones generados}}}_{\text{Eficiencia cuántica externa}}$$

**Eficiencia cuántica interna**

**Eficiencia cuántica externa**

## Eficiencia cuántica externa. Pérdidas

- Emisión espontánea  $\Rightarrow$  emite en todas las direcciones. La luz que va hacia atrás (hacia el substrato) se pierde: puede representar un factor de  $\eta_{e1} = 0,5$
- Los LEDs se fabrican con semiconductores con índices de refracción  $n = 3,7$ . El ángulo crítico (aire como medio externo) es  $16,6^\circ \Rightarrow$  solo saldrán al exterior fotones que incidan en la intercara con ángulos menores:  $\eta_{e2} = 0,073$
- Pérdidas de reflexión por las leyes de Fresnel en la intercara semiconductor-aire  $\eta_{e3} = 0,67$
- Absorción en el medio: es difícil de cuantificar. Se asume al menos  $\eta_{e4} = 0,5$

$$\eta_e = \eta_{e1}\eta_{e2}\eta_{e3}\eta_{e4} = 0,012 \quad (1,2 \%)$$

# Relación entre eficiencias

- Teniendo en cuenta las siguientes relaciones:

$$\frac{n^{\circ} \text{ fotones generados}}{\text{unidad de tiempo}} = \frac{E}{h\nu} \frac{1}{t} = \frac{P_{int}}{hc} \lambda$$

$$\frac{n^{\circ} \text{ portadores inyectados}}{\text{unidad de tiempo}} = \frac{Q}{e} \frac{1}{t} = \frac{I}{e}$$

donde  $P_{int}$  es la potencia de los fotones generados internamente

- La eficiencia cuántica intera puede expresarse como:  $\eta_i = \frac{e\lambda}{hc} \frac{P_{int}}{I}$
- Y como la eficiencia cuántica externa es igual a:

$$\eta_e = \frac{P_{out}}{P_{int}}$$

# Relación entre eficiencias

- Luego

$$\eta = \eta_e \eta_i = \frac{e\lambda}{hc} \frac{P_{out}}{I}$$

- Como la eficiencia energética externa es  $\eta_{pot} = \frac{P_{out}}{I \cdot V}$

- La eficiencia cuántica y la eficiencia externa están relacionadas según la expresión:

$$\eta = \frac{e\lambda}{hc} V \eta_{pot}$$

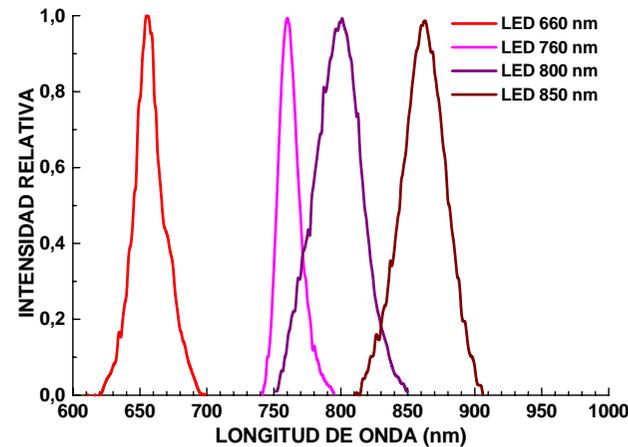
## Parámetros de un LED: Espectro de emisión

- El máximo de la distribución de energías de los fotones emitidos por emisión espontánea
- Anchura en energías de los fotones emitidos
- En la longitud de onda, la anchura espectral

$$h\nu_{\max} = E_g + \frac{k_B T}{2}$$

$$h\Delta\nu = 1.8k_B T$$

$$\Delta\lambda \approx 1.45\lambda_p^2 k_B T$$



# Ancho de banda de modulación

- Respuesta en potencia emitida del dispositivo cuando se aplica una corriente eléctrica variable con el tiempo
- Se puede demostrar que la respuesta en frecuencia de LED es del tipo
- Con
- Si el periodo de modulación es menor que el tiempo de vida medio de los portadores, la respuesta del dispositivo empezará a disminuir con el factor señalado con respecto a la señal continua

$$I_{elec} = I_0 + I_1 \cos(\omega t)$$

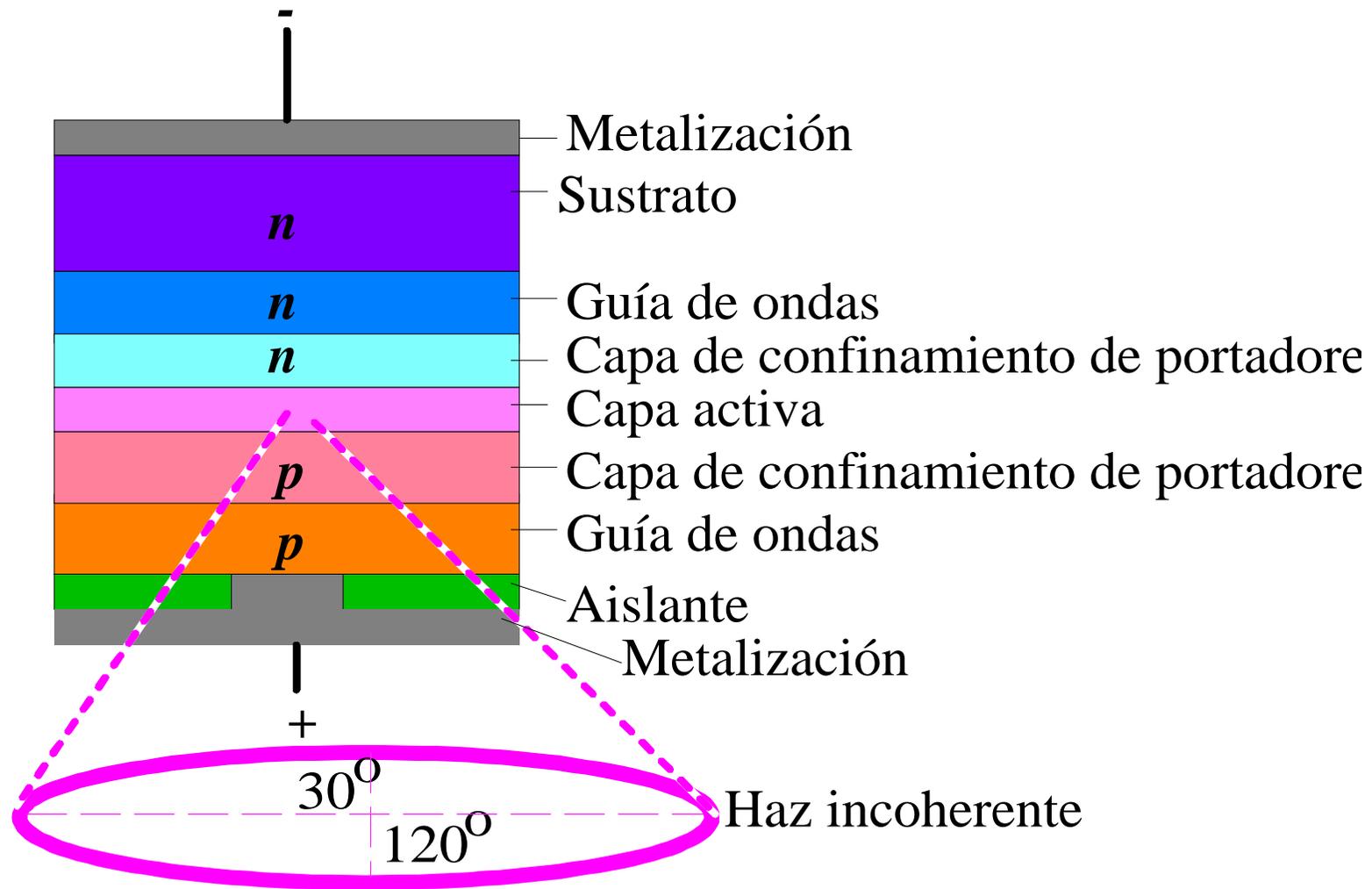
$$P_{out} = P_0 + P_1 \cos(\omega t)$$

$$\frac{P_1}{I_1} = \frac{P_0/I_0}{(1 + \omega^2 \tau^2)^{1/2}}$$

- Aumentar el ancho de banda  $\Rightarrow \downarrow \tau$  (portadores minoritarios en la región de emisión)
  - Valores elevados de  $\tau$  reducen drásticamente la eficiencia cuántica interna
  - Los valores de tiempos de vida medio conseguidos están entre 1 y 50 ns, que corresponden a anchos de banda del orden de algunos centenares de MHz
    - 150 – 300 MHz SLED (LED de emisión superficial)
    - 500 – 600 MHz ELED (LED de emisión de borde)

# LEDs de emisión lateral

- LEDs de emisión lateral de heteroestructura doble



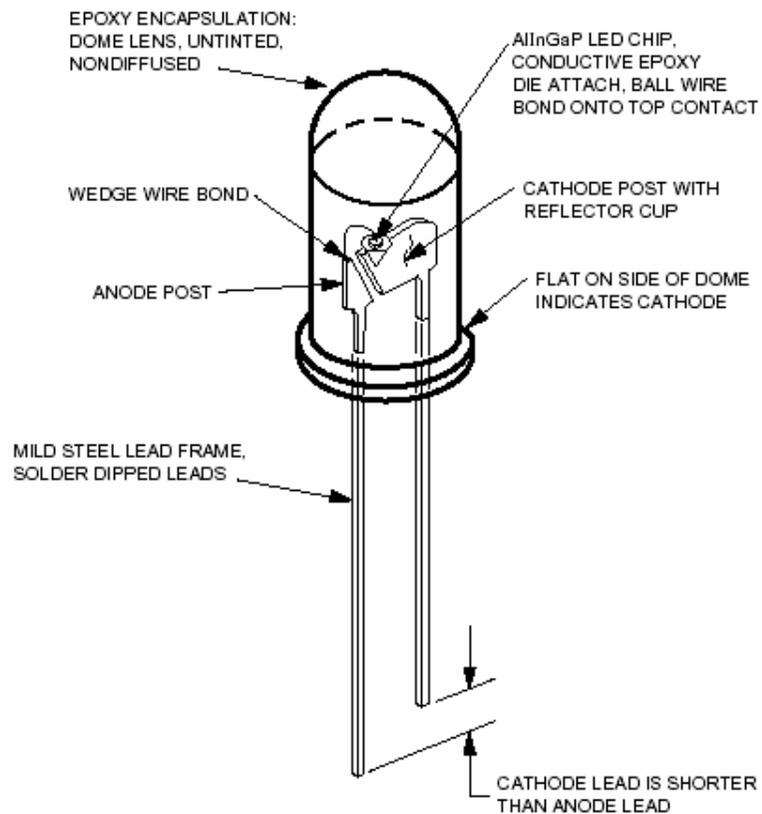


Figure 1. The Anatomy of a Precision Optical Performance AlInGaP LED T-1 $\frac{3}{4}$  Plastic Lamp.

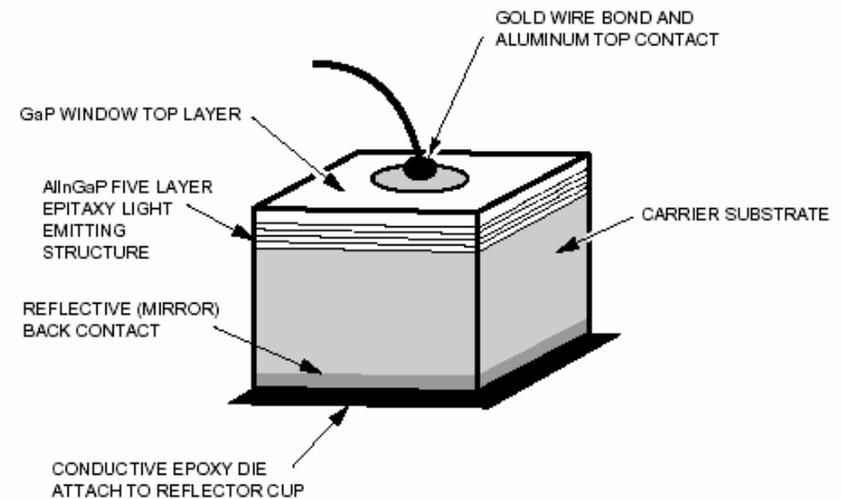


Figure 2. Details of an AlInGaP LED Chip.

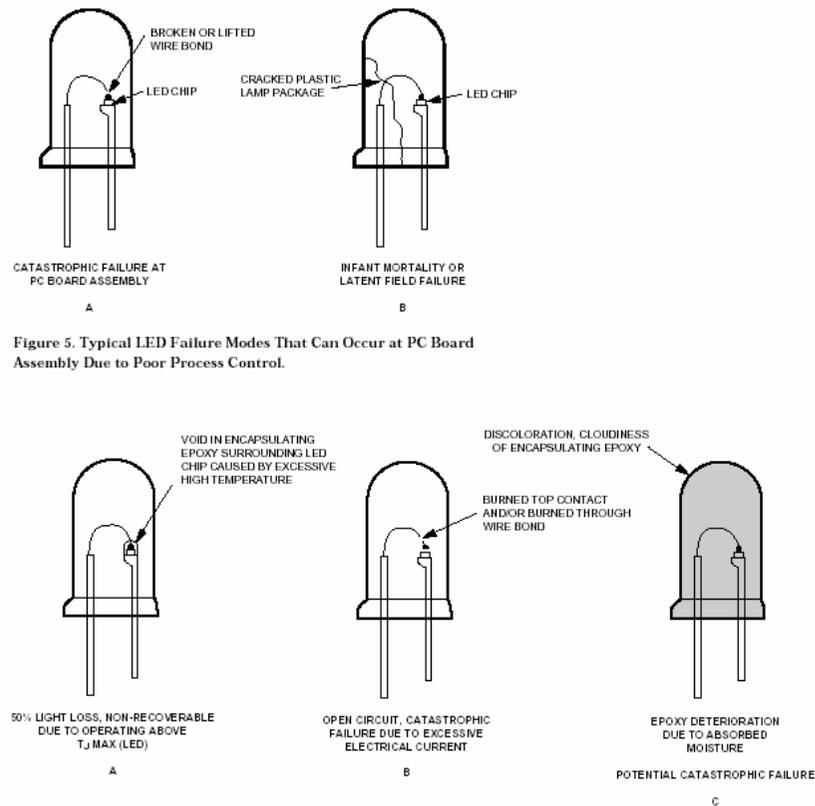
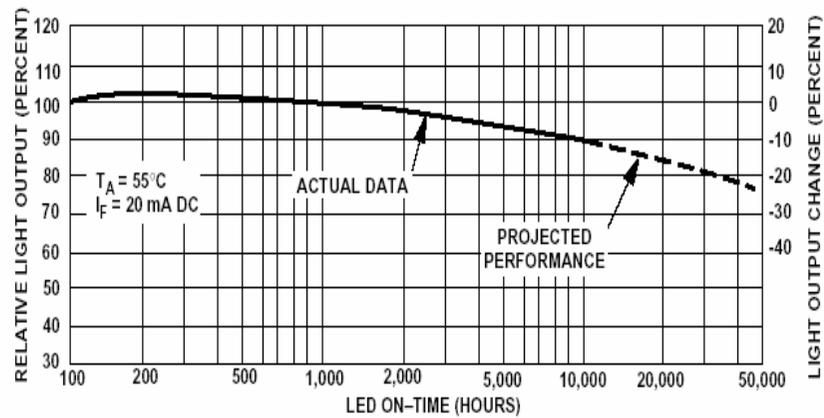
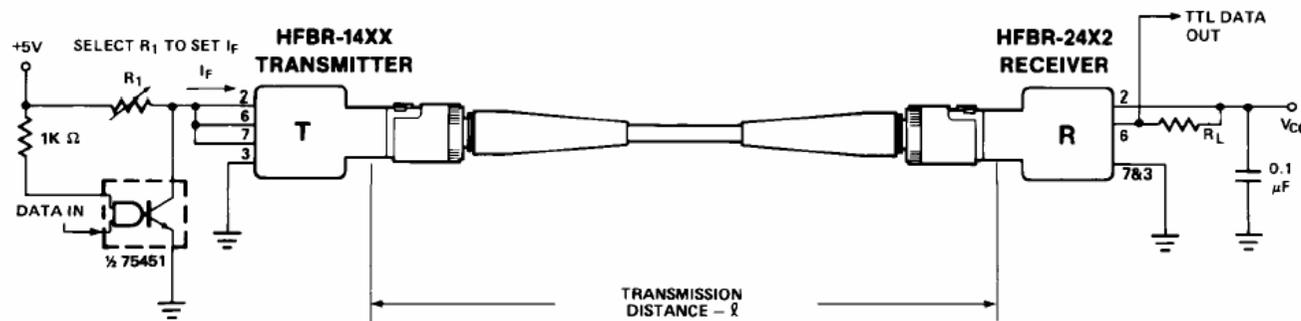
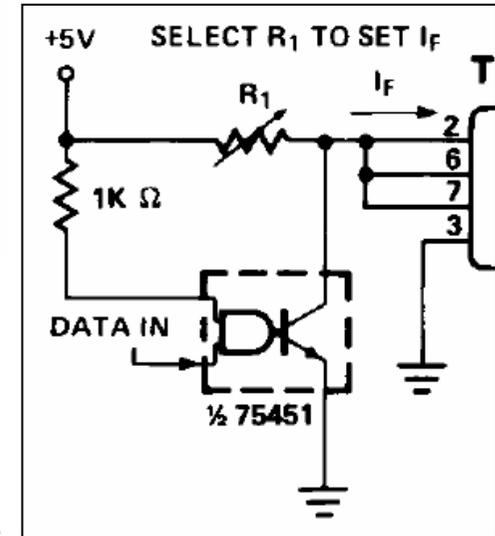
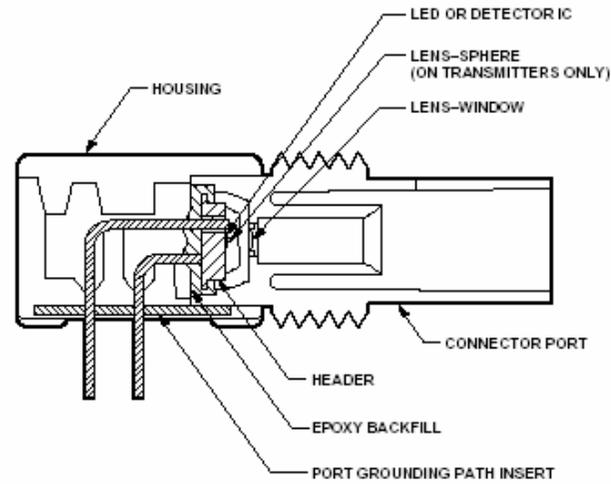
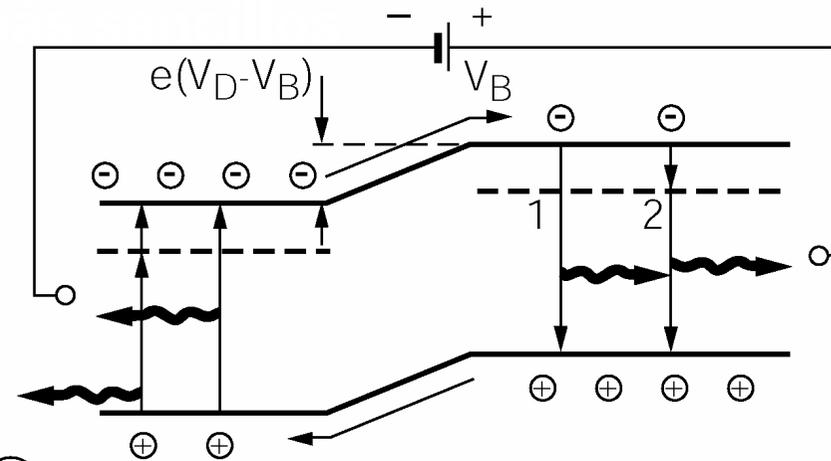


Figure 6. Typical LED Field Failure Modes That Can Occur with Excessive Current Drive or Inadequate Packaging Design.



# Diodos emisores de luz (LEDs)

- Inyección de corriente
- Recombinación (b-b o d-b)
- $P_{\text{out}} = \eta_{\text{opt}} \cdot V_F I_F$



**Características:** Ej.: GaAs

$V_F$  ~ 1.2 V

$\Delta\lambda \propto kT$  ~ 30 nm

Para b-b,  $\lambda \sim \lambda_g$  0.9  $\mu\text{m}$

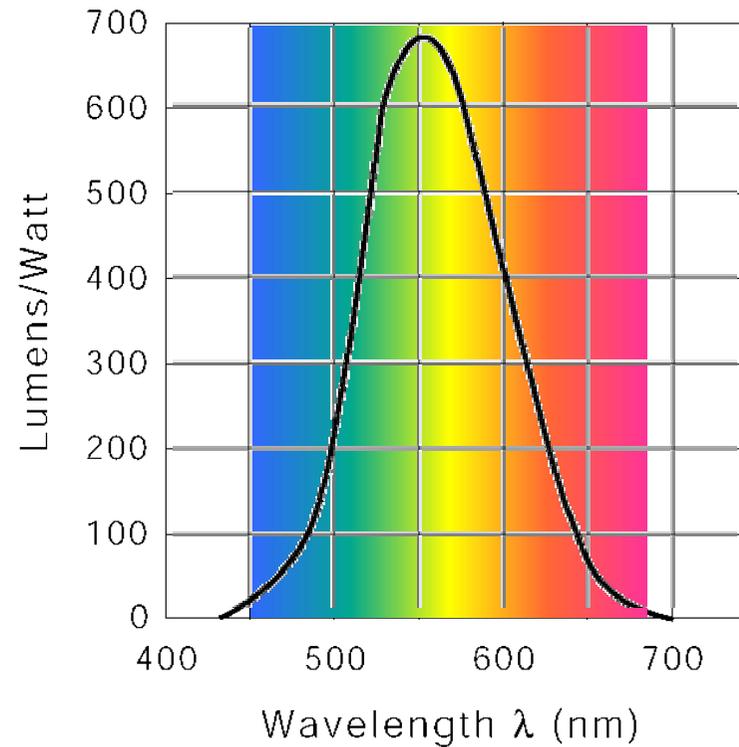
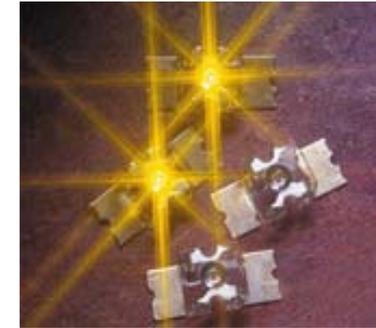
$f \sim 1/\tau$  < 1 MHz

Alta fiabilidad



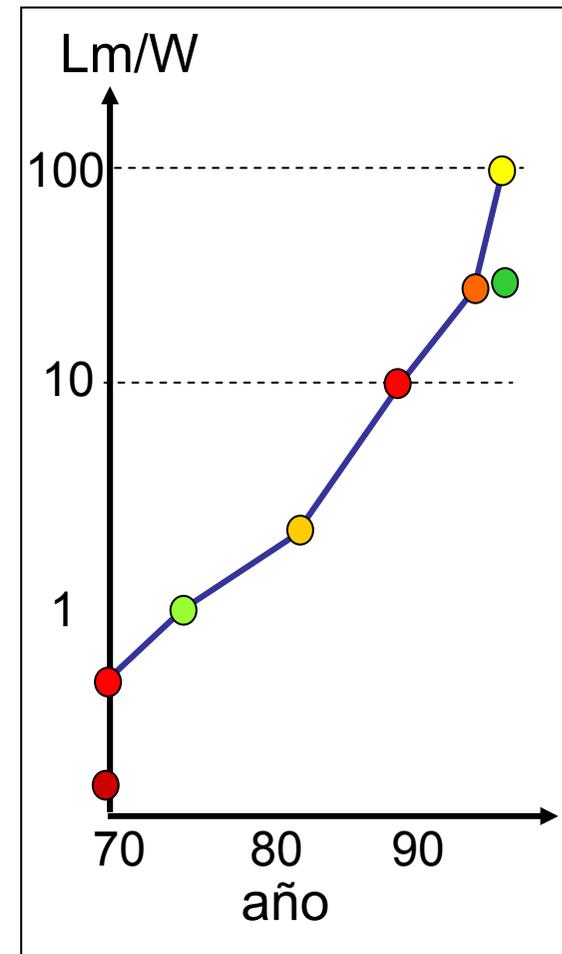
# LED de visible

- **Difícil** :  $\eta_{\text{opt}}$  grande y  $\lambda$  corta
- **Deseable para:**  $\uparrow$  **visibilidad**  
 $\uparrow$  **colores**
- **Respuesta visual:**



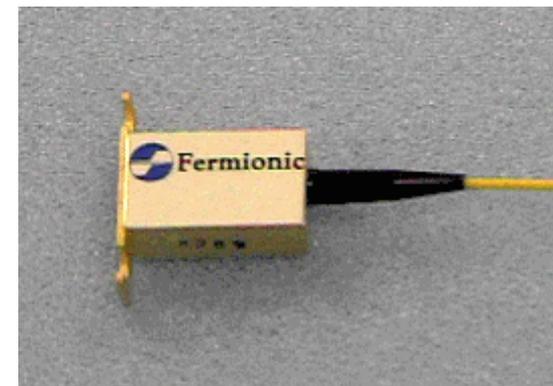
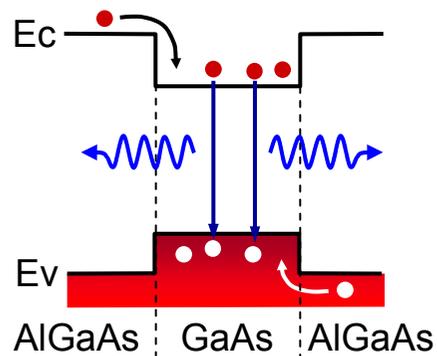
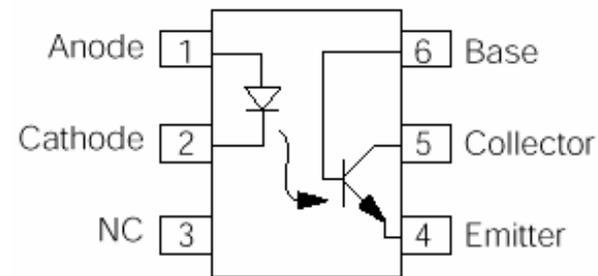
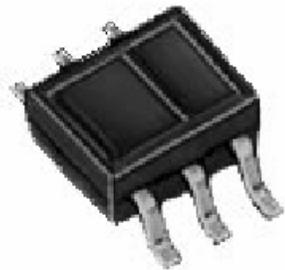
# LED de visible

<i>material</i>	<i>tipo</i>		<i>substr.</i>	<i>color</i>
<b>GaAs</b>	<b>D</b>	😊	😊	IR
<b>GaAsP</b>	<b>D</b>	😊	😞	[Red]
<b>GaP: ZnO</b>	<b>I+ imp</b>	😊	😊	
<b>GaP: N</b>	<b>I+ imp</b>	😊	😊	[Green]
<b>GaAsP: N</b>	<b>I+ imp</b>	😊	😞	[Red] [Orange] [Yellow]
<b>AlGaAs</b>	<b>D</b>	😊	😊	[Red]
<b>AlGaInP</b>	<b>D</b>	😊	😊	[Red] [Orange] [Yellow]
<b>GaInN</b>	<b>D+imp</b>	😊	😞	[Green] [Blue]
<b>GaInN</b>	<b>D+imp</b>	😊	😞	blanco

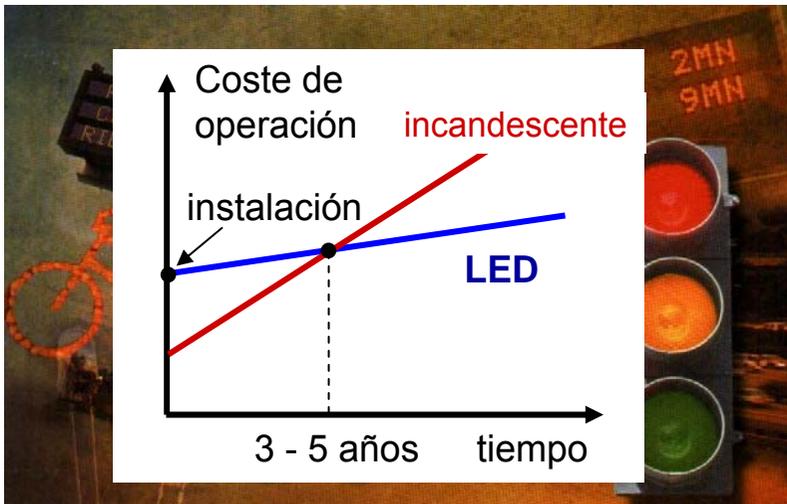
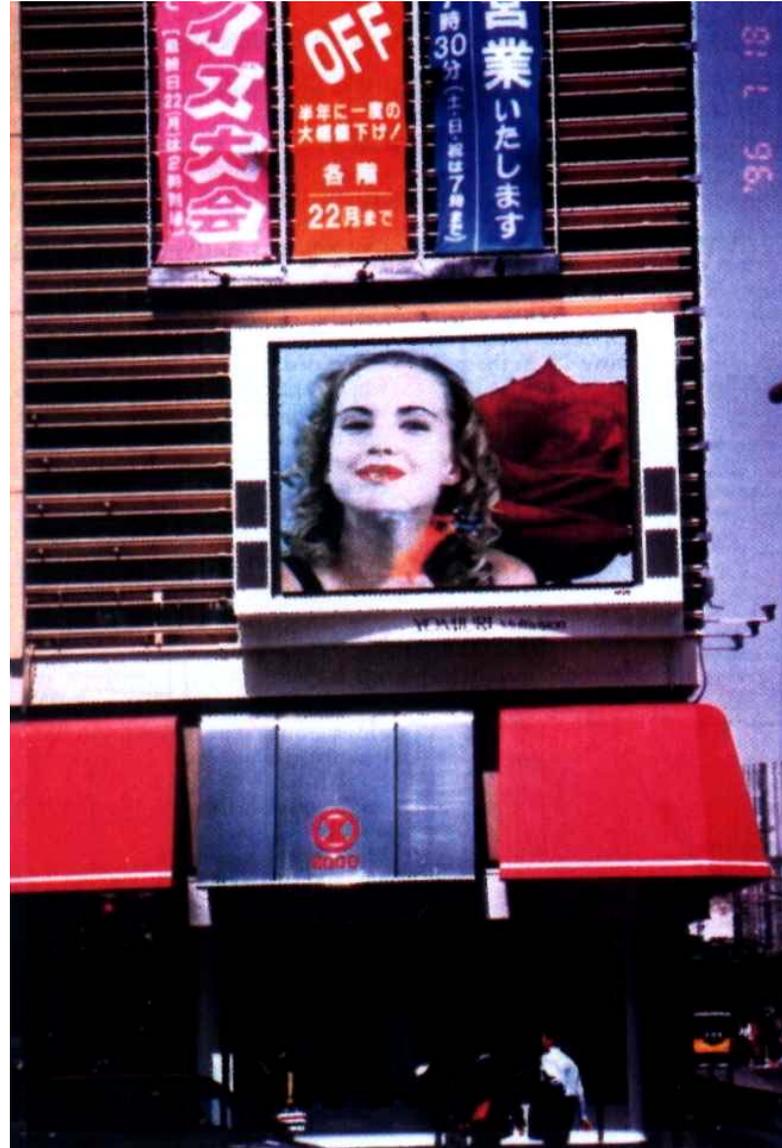
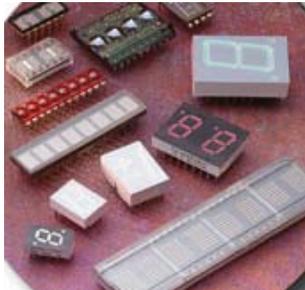


# LED de infrarrojo (IRED)

- GaAs:  $0.95 \mu\text{m} \sim 1 \text{ MHz}$
- $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ :  $0.85 \mu\text{m} \sim 100 \text{ MHz}$
- $\text{GaInAsP}/\text{InP}$ : com. ópticas  $\sim 100 \text{ MHz}$

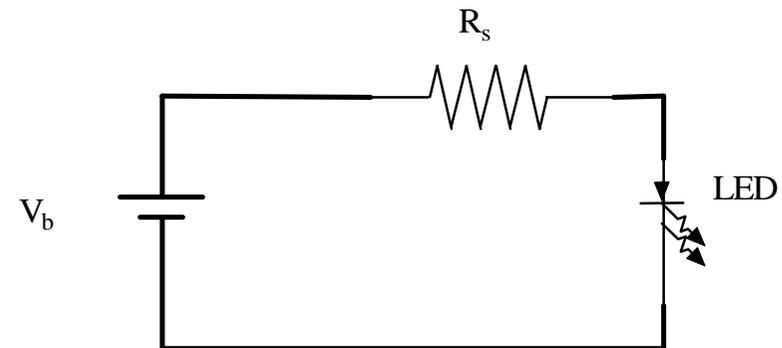


# Aplicaciones de los LED de visible



# Circuitos simples con LEDs

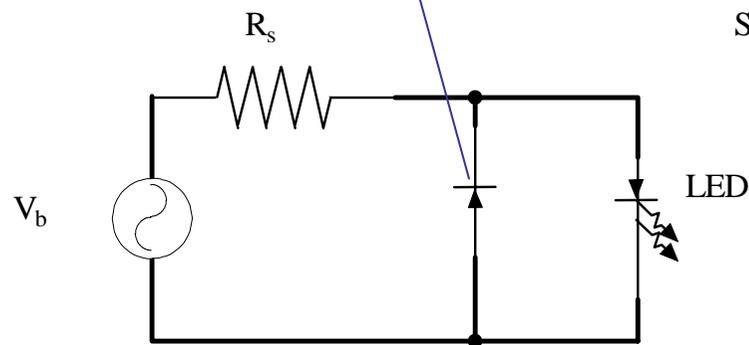
- Las corrientes características se encuentran entre los 20 mA y 100 mA
- Las tensiones de polarización en directa se encuentran desde 1.2 V de GaAs y 2 V de GaP
- La corriente a través del diodo está limitada por la resistencia en serie
  - $i_d$  es la corriente deseada



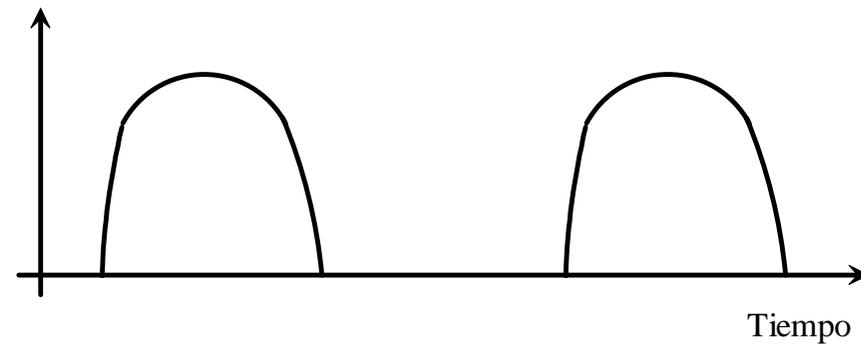
$$R_s = \frac{V_b - V_d}{i_d}$$

# Respuesta con el tiempo

protege al LED contra la ruptura en inversa

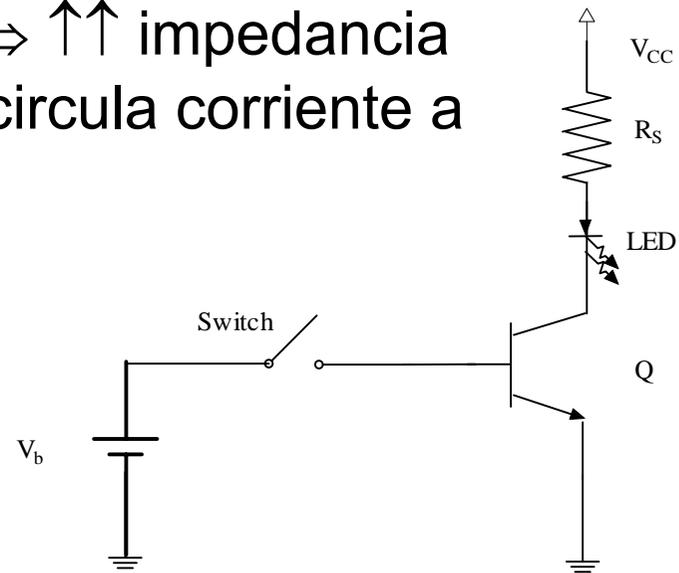


Salida de luz



# Circuito interruptor

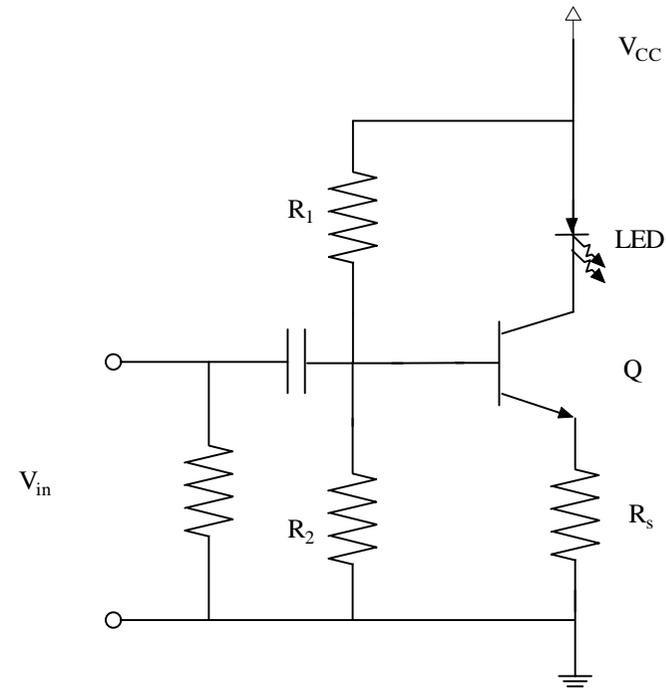
Si no hay tensión en la base  $\Rightarrow$   $\uparrow\uparrow$  impedancia entre colector y emisor  $\Rightarrow$  no circula corriente a través del LED



# Circuito para modular la salida

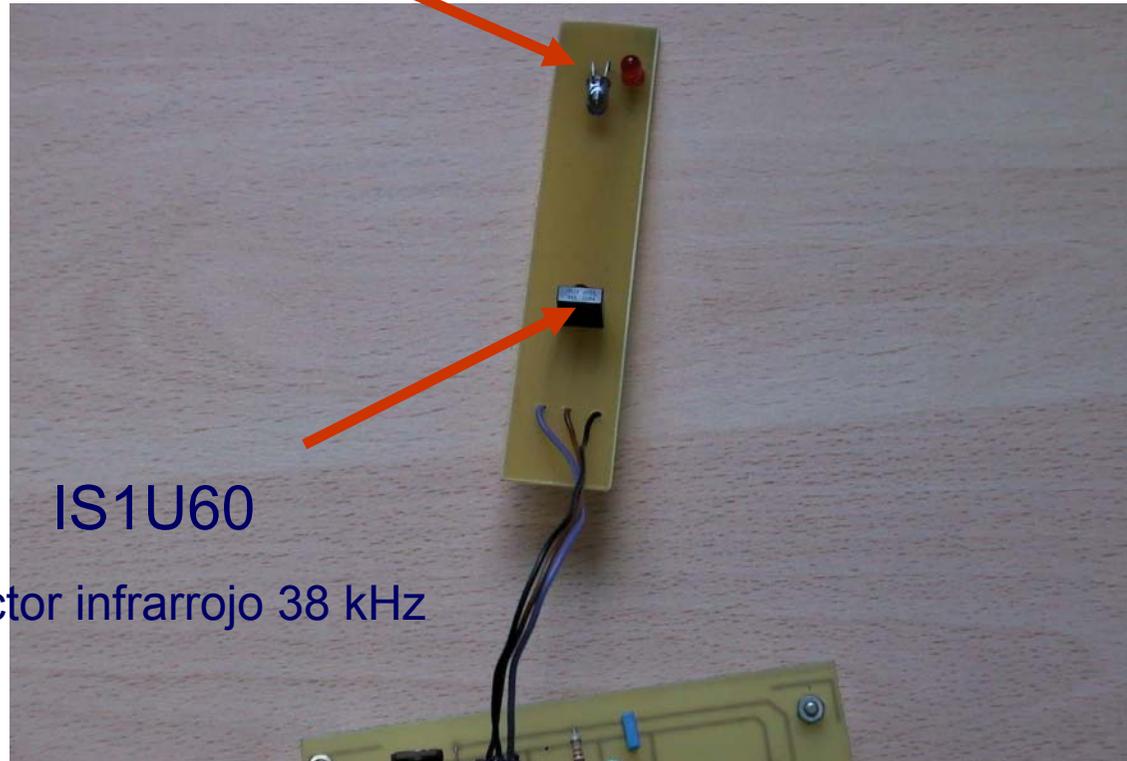
Transistor y LED polarizados en zona lineal y conducción

Cambio en la corriente que atraviesa el LED son directamente proporcionales a cambios en la tensión de entrada



## Otros circuitos: detectores de paso

LED infrarrojo



IS1U60

Detector infrarrojo 38 kHz