



Universidad
Carlos III de Madrid
www.uc3m.es



“Dispositivos y Medios de Transmisión Óptica”

- Emisores ópticos: Tipos y parámetros característicos

Autor: Jose Manuel Sánchez Pena

Revisado: Carmen Vázquez García

Colaborador: Pedro Contreras

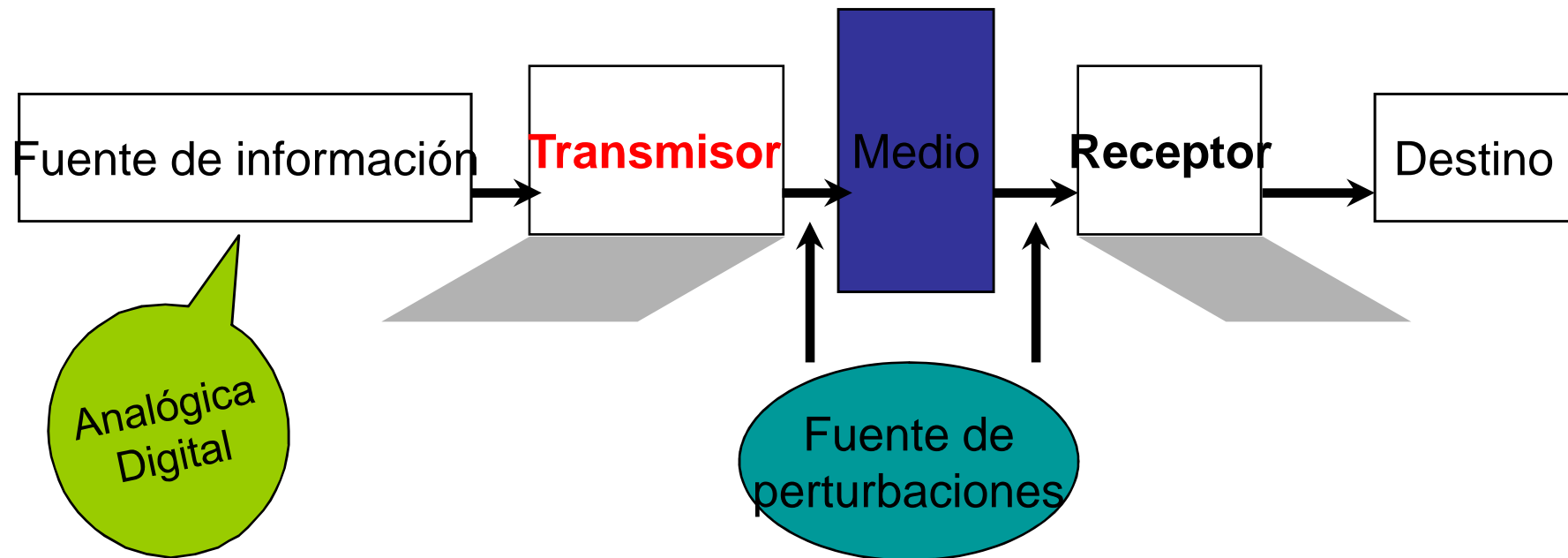
Grupo de Displays y Aplicaciones Fotónicas (GDAF)

Dpto. de Tecnología Electrónica

Universidad CARLOS III de Madrid

1. Introducción

Estructura general sistema de comunicaciones

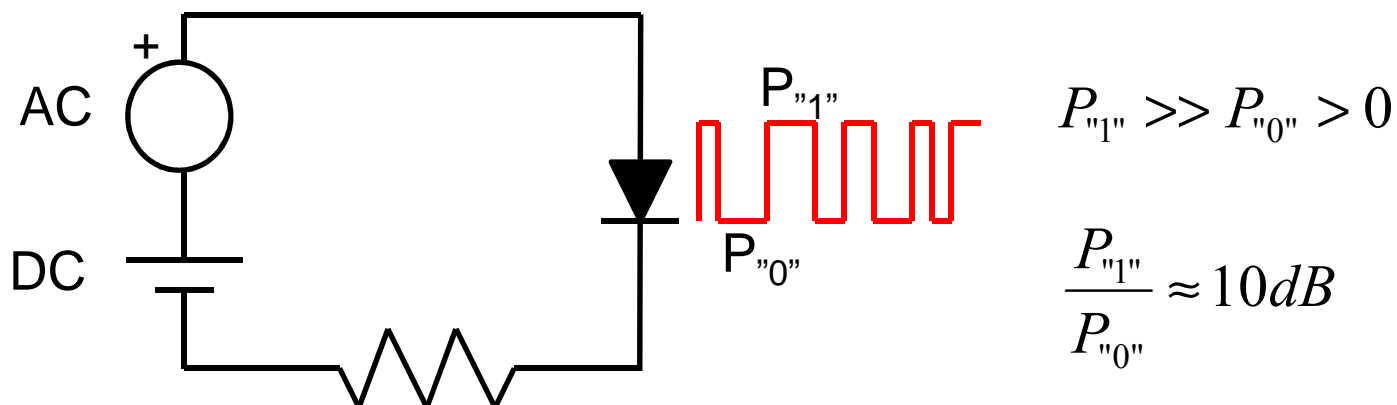


Común todo sistema comunicaciones. Diferencia: **BANDA FRECUENCIAS** emplea transmisión.

Necesidad de **fuentes de luz** en ese rango espectral

La luz (portadora óptica) se modula con la señal a transmitir.

Ejemplo digital:

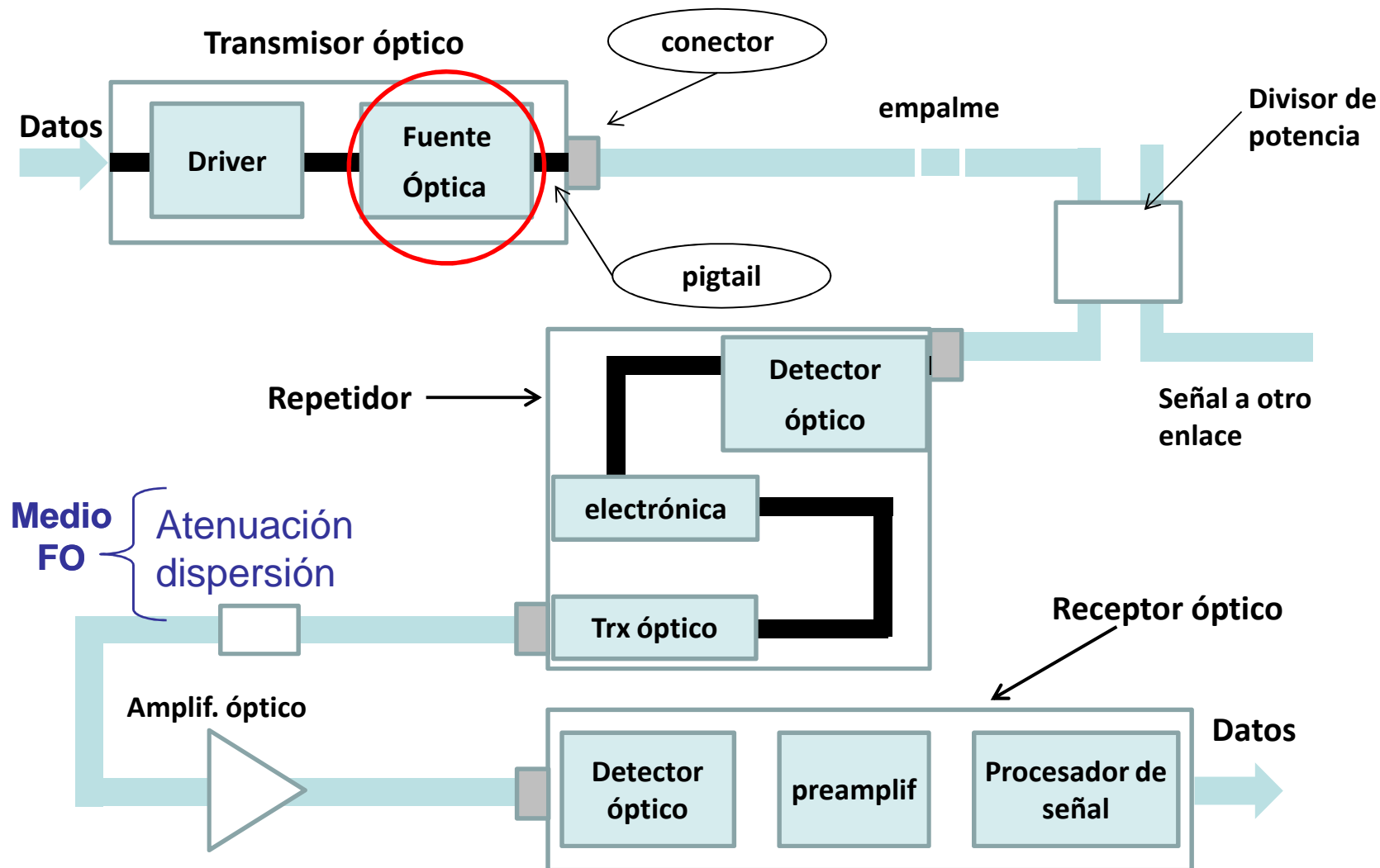


La fibra óptica transmite esa información

Necesidad modular la **luz emitida**
por las **fuentes ópticas** para enviar
información



M1. Introducción. Elementos de un enlace





Antecedentes

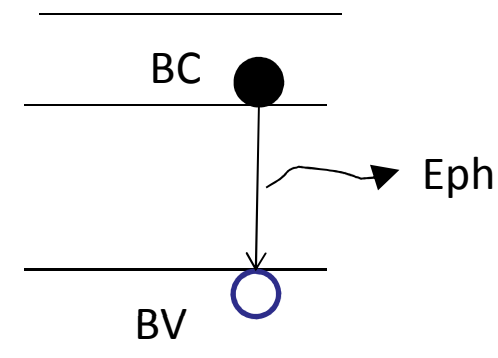
Medio transmisor: **fibra óptica** (FO).

- **1966**, Kao y Hockman sugieren empleo de FO para transmisión a largas distancias, vidrio sílice 1000 dB/Km (coaxial 5-10dB/Km).
- **1970**, Compañía Corning Glass Works: Kapron, Keck, Maurer obtienen FO 20 dB/Km @ 1 μ m
- **1972**, 4dB/Km, **1975** 2dB/Km @ 850nm
- **1976**, 0.5dB/Km @ 1300 nm
- **1979** 0.2dB/Km @ 1.55 μ m
- **1985** DSF bajas pérdidas y dispersión
- **1990** EDFA, amplificación
- **1998** NZDSF, evitar FWM en WDM

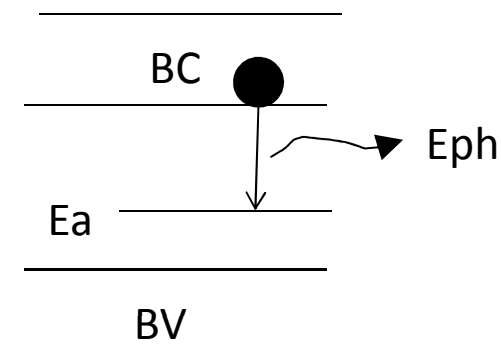
Emisor: **láser**

- **1960**, 1^{er} láser funcionamiento, rubí material base.
- **1962**, láser He-Ne 632.8 nm...
- **1973**, láser semiconductor LD tiempo vida>1000 horas
- **1977** >7000h, 1^o LD @ 1300nm
- **1979**>100.000h, 1^o LD @ 1500nm
FP, anchura 2-5nm, AlGaAs/GaAs:0.8-0.9 μ m
InGaAsP/InP: 1.3 -1.5 μ m.
- Mejoras anchura línea, ancho banda, rango sintonía:
DFB (realimentación distribuída): 1MHz, 10Gb/s
DBR (reflectores Bragg distribuídos): 2-10nm, 500 KHz
ECL (cavidad externa): 100KHz, 60 nm
MQW (múltiples pozos cuánticos): 270 KHz, >30 GHz

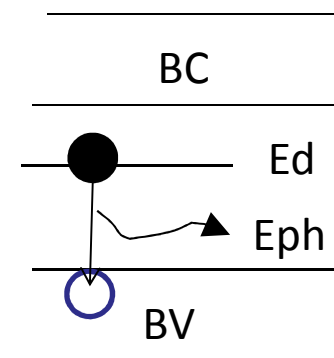
Mecanismos de Recombinación Radiativa e-h en uniones p-n



(a) Transición directa banda BC-banda BV



(b) Transición de un e desde BC a nivel aceptador Ea



(c) Transición de un e desde nivel donante Ed a banda BV

$$E_{ph} = hc/\lambda = E_c - E_v = E_g \text{ (eV) para el caso (a)}$$

- h es la constante de Planck
- c es la velocidad de la luz
- λ la long. de onda de la radiación emitida



Espectro y Potencia en LEDs

La long. de onda emitida λ , es dada por

$$\lambda = hc/E_{ph}$$

$\Delta\lambda$ es el ancho espectral, $\Delta\lambda = - (hc/E^2_{ph})\Delta E_{ph}$,

γ =ancho espectral relativo, puede expresarse como:

$$\gamma = |\Delta\lambda / \lambda| = \Delta E_{ph} / E_{ph} = 2,4 KT / E_{ph}$$

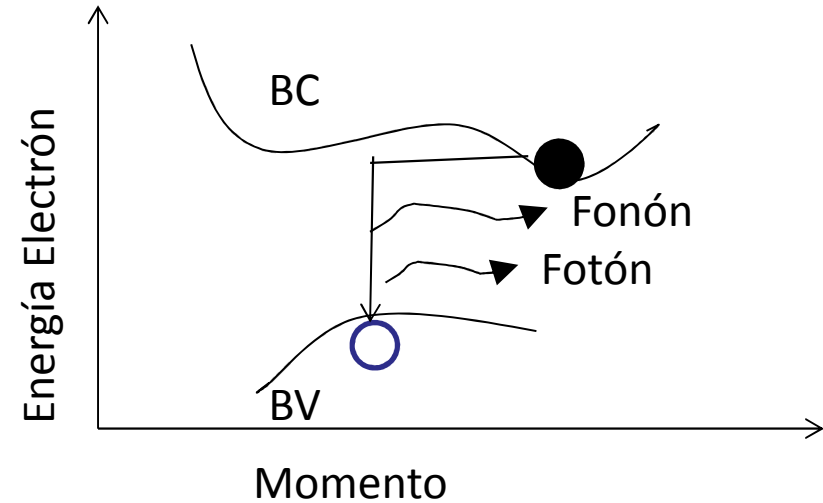
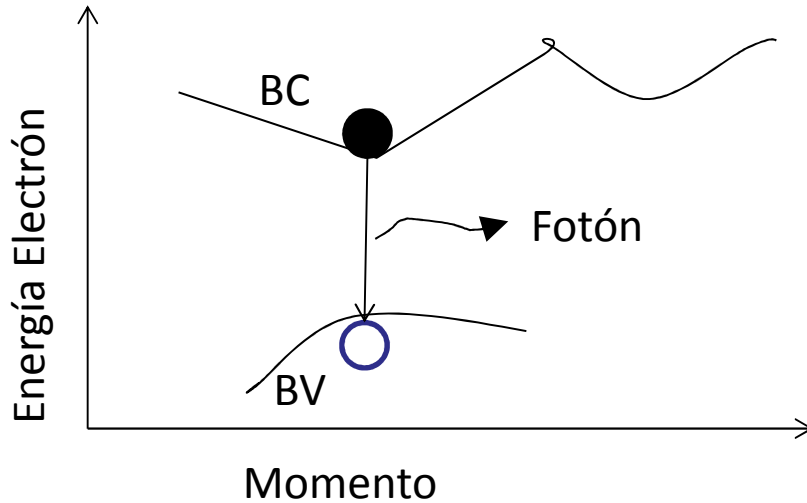
P = Pot. Radiada (para los casos (b) y (c), es decir cuando la transición no es BC-BV) se puede expresar como:

$P = \alpha (E_{ph} - E_g) \exp [- (E_{ph} - E_g) / KT]$, donde el pico de potencia radiada se produce para una energía de fotón:

$$E_{ph} = E_g + KT$$

2. Emisores Ópticos: Selección de materiales para LED

SC banda directa y banda indirecta



Materiales con gap de banda directa:
GaAs, GaSb, InAs.

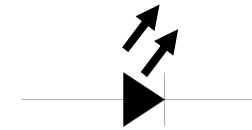
Materiales con gap de banda
indirecta: Si, Ge, GaP.

- Los sc de banda directa tienen el mismo momento y cuando se produce la recombinación directa de electrones dan lugar a un fotón.
- Los sc de banda indirecta tienen diferente momento y en la recombinación se producen simultáneamente un fotón y un fonón (vibración).
- La probabilidad de transición es mucho mayor en los de banda directa → 8 son preferidos para fabricar LEDs.

2. Emisores ópticos

Tipos

- LED (*Light Emitting Diode*):



- Emisión Espontánea

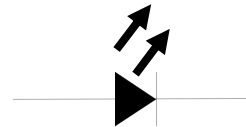
- LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*):

- Emisión Estimulada

2. Emisores ópticos

Características básicas LED

• LED (*Light Emitting Diode*):



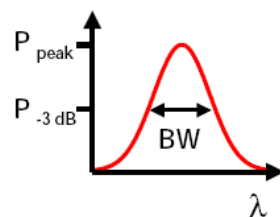
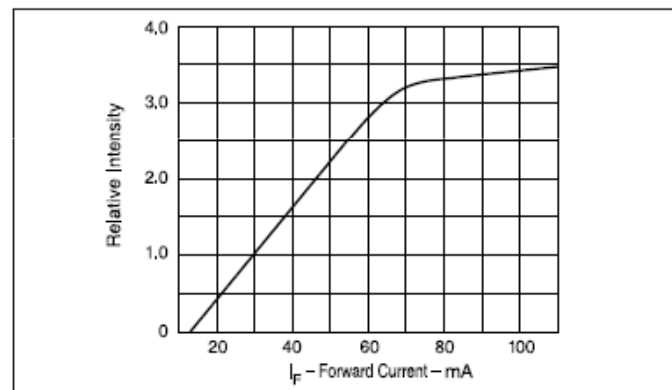
Ej: IF-E97



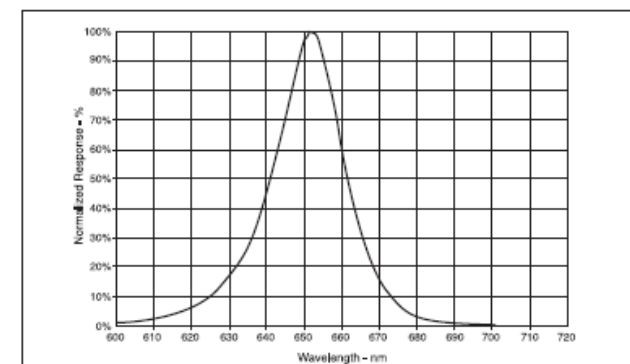
• Emiten radiación, en un rango de λ , en polarización directa

Forward Voltage ($I_F=20$ mA)	V_f	1.7	1.9	2.1	V
--------------------------------	-------	-----	-----	-----	---

- Emisión Espontánea
- Baratos
- Potencia óptica emisión: de centenas de μW a pocos mW,



• Anchura espectral (caída 3dB) : decenas de nm

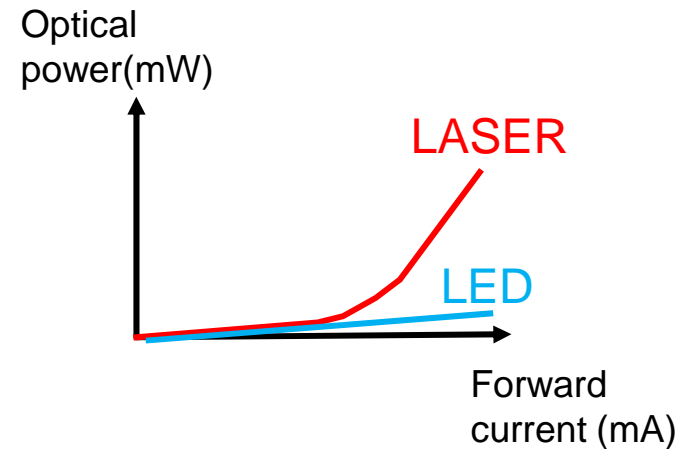


2. Emisores ópticos

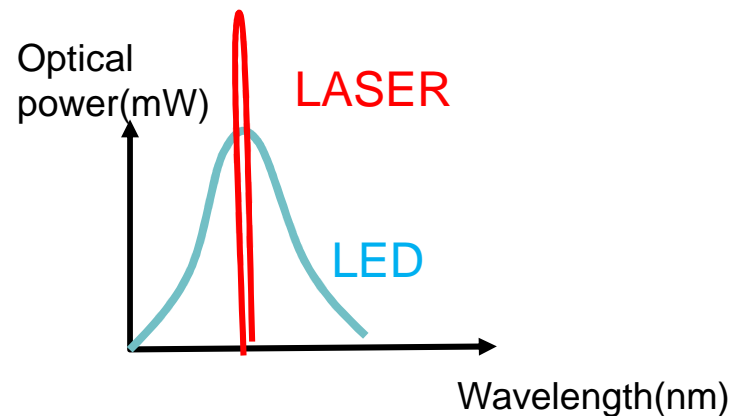
Características básicas LASER

- **LASER** (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*):

- Emisión Estimulada
- Potencia óptica emisión: centenas mW- W



- Anchura espectral: < pocos nm





2. Emisores ópticos

Diodos Emisores de Luz (LEDs)

LEDs:

- Estructura similar a la de un láser pero sin elementos de realimentación -> luz proviene de emisión espontánea.
- Basado en una unión p-n polarizada en directa, emite radiación óptica en función de la corriente eléctrica que lo polariza.
- Existen varias estructuras posibles: (a) de emisión por superficie; (c) de estructura en cúpula; (d) tipo Burrus.
- El diagrama de radiación para la estructura tipo (a) es la representada en (b) que corresponde a una función Lambertiana.

2. Emisores ópticos

Diodos Emisores de Luz (LEDs)

- La estructura (a) presenta muchas pérdidas ya que de la luz generada en la unión solo una pequeña fracción saldrá emitida por la ventana superior.
- La estructura (b) en cúpula es más eficiente ya que al tener mayor superficie de emisión, la luz generada en la unión puede alcanzar el exterior en mayor cantidad. No obstante, resulta más difícil su fabricación. Más apto para adaptar a FO.
- La estructura tipo Burrus (también denominada de emisión superficial) es la más apropiada para servir como emisor de luz en sistemas de comunicaciones ópticas. Habitualmente, viene conectada ya a la FO mediante una resina.
- Para el caso del LED de emisión superficial, la potencia acoplada a la FO será

$$P_{\text{burrus}} = \pi (1-r) A R_B (NA)^2 .$$

r = Coef. Reflexión Fresnel (*¿conoceis la expresión para incidencia normal?*)

A = Superficie menor de la FO ó de emisión del LED

R_B = Radiancia de la fuente

NA = Apertura de la FO

GDAF: 2011-2012



LEDs de Emisión Lateral (ELEDs)

- Presenta un diagrama de radiación elíptico.
- Gran eficiencia de acoplo a una FO (> 10 veces que el LED de superficie).
- Mayores velocidades de modulación \rightarrow aptos para aplicaciones en redes de área local (sistemas comunicaciones ópticas).



LEDs Superluminescentes (SLDs)

- Características electro-ópticas cercanas a las del láser.
- La potencia emitida es mayor que en los LEDs anteriores y la monocromaticidad también, aunque sin alcanzar los valores del diodo láser.
- Requiere altas corrientes hasta alcanzar emisión estimulada, aunque al no haber realimentación no aparece efecto láser.



2. Emisores ópticos

Características de funcionamiento de LEDs

Potencia óptica de salida

- Potencia óptica de salida en función de la corriente aplicada es casi lineal para los diferentes tipos de LEDs
- La potencia emitida por el LED de emisión superficial es mayor que el de emisión lateral (por borde).
- En el caso de LED ideal sería una recta.

$$P_{opt} = KI_f$$



2. Emisores ópticos

Características de funcionamiento de LEDs

Potencia óptica de salida con la T

- Potencia óptica de salida en función de la T varía de forma lineal para los diferentes tipos de LEDs
- La mayor variación se observa para el caso de los SLD.



2. Emisores ópticos

Características Espectrales de los LEDs

- Debido a los procesos de emisión espontánea y a la ausencia de realimentación, un LED siempre será menos monocromático que un LD.
- Valores típicos de $\Delta\lambda$ pueden estar entorno a los 20-40 nm en long. de onda centrales de 0,85 nm.
- Si trabajan en segunda y tercera ventana, valores típicos por encima de 100 nm son usuales (depende también del tipo de LED).



Ancho de Banda de LEDs

La función de transferencia en potencia puede expresarse como:
 $H(\omega) = 1/(1 + j\omega\tau)$

El ancho de banda óptico (potencia mitad) se produce para una frecuencia:

$$BW_{opt} = \sqrt{3}[(1/2\pi\tau)] \text{ (Hz)}$$

Valores típicos para BW_{opt} en LEDs están en el rango de 50-150 MHz.

El correspondiente ancho de banda eléctrico está dado por:

$$BW_{elect} = (1/2\pi\tau)$$

Conclusión: El BW_{opt} es $\sqrt{3}$ mayor que el BW_{elect} .

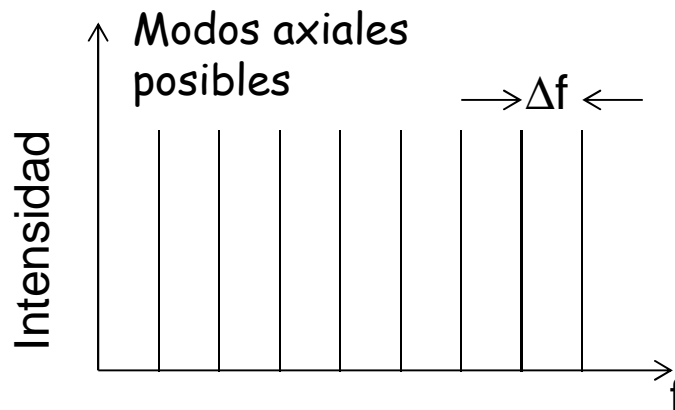
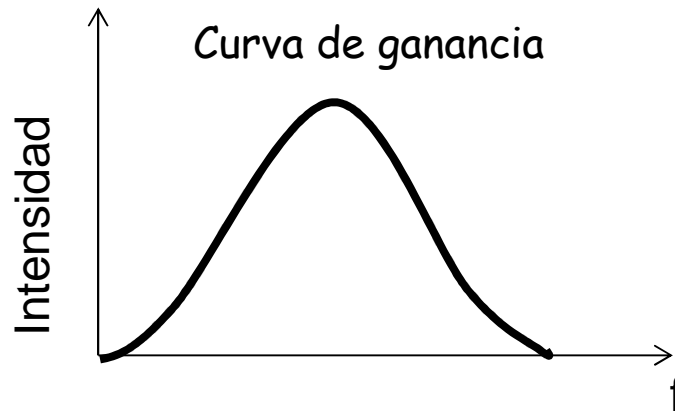


Características Espectrales de los LEDs

Anchura Espectral vs. T^a

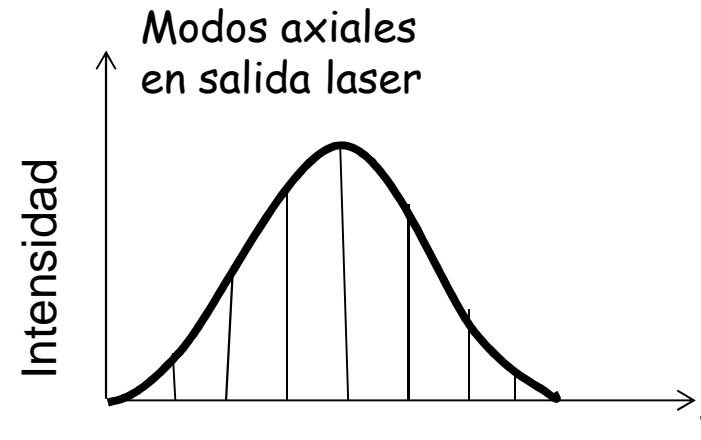
- La T afecta al espectro de emisión de los láseres produciendo un desplazamiento de toda la curva espectral y reduciendo la P_{out} a medida que se aumenta la T .

Modos Laser



$$\Delta f = c/2nL$$

n= índice refracción
L=long. cavidad laser



$$m \text{ (nº modos)} = 2nL/\lambda$$
$$\Delta\lambda = \lambda^2/(2nL)$$

Donde $\Delta\lambda$ es la separación entre modos contiguos



Diodos Laser

Características generales de los láseres de SC:

- Pequeña anchura espectral del pico de emisión
- Capacidad de modulación elevada ($f_M > GHz$)
- Coherencia espacial y temporal altas
- Potencia de emisión $> mW$
- Baja corriente umbral para alcanzar el "laseado"

- Eficiencia cuántica externa diferencial η_D

$$\eta_D = (dP/h\nu)/(dI/e) = 1/E_g [(dP \cdot e)/dI]$$

donde, $E_g = h\nu$ (eV)

- Eficiencia cuántica externa o eficiencia total η_T

$$\eta_T = N^\circ \text{ total fotones emitidos} / N^\circ \text{ total e inyectados}$$

$$\eta_T = (P/h\nu)/(I/e) = (P \cdot e)/(I \cdot E_g)$$



Diodos Laser

Características generales de los láseres de SC:

- Eficiencia de potencia externa o eficiencia del dispositivo

$$\eta_{ep} = P_{opt}/P_{elect} = [(P_{opt})/V \cdot I]$$

- $\eta_{ep} = \eta_T (E_g/e \cdot V) \times 100$

- La variación de la corriente umbral con la T viene dada por

$$I_{umb}(T) = I_0 \cdot e^{(+T/T_0)}$$

donde I_0 y T_0 son constantes propias de cada dispositivo laser

Tipos Diodos Laser

■ Láser Fabry-Perot (FP)

- Enlaces alcance corto-medio a 850 y 1300nm
- Potencia total pocos mW, FWHM de 3-20nm
- Altamente polarizados

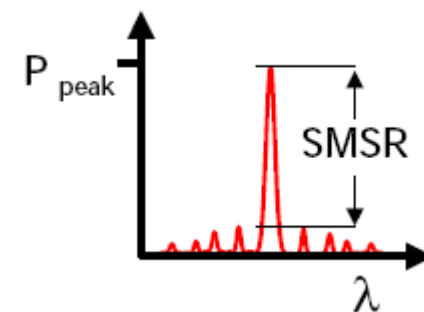
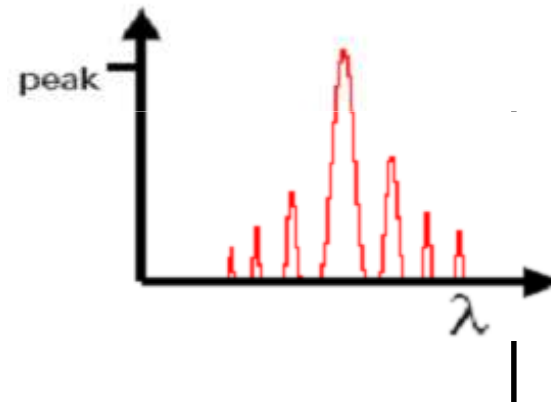
• Láser DFB (Distributed Feedback Laser)

- Enlaces largo alcance, DWDM
- Caros, potencia 3-50mW
- Anchura espectral de 10-100MHz (0.08-0.008 pm)
- SMSR (Single Mode Size Rejection) >50dB

■ VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Lasers)

- Gigabit Ethernet, FWHM<1nm, 780nm-1300nm

■ Láseres sintonizables...

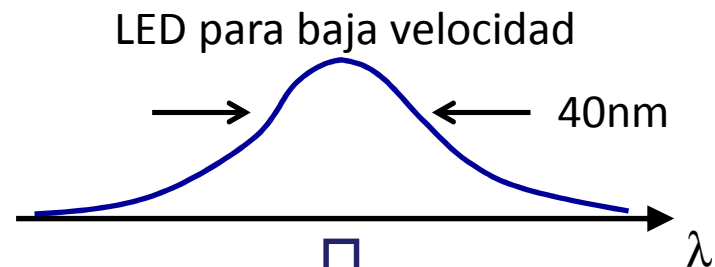


2. Emisores ópticos

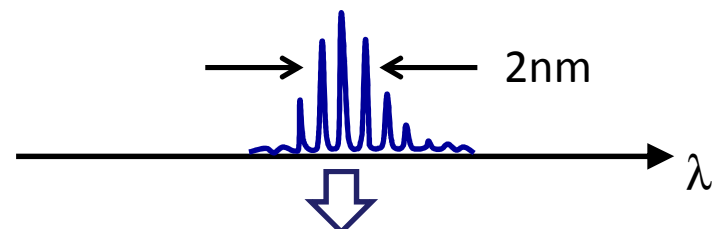
Anchura espectral

FWHM,

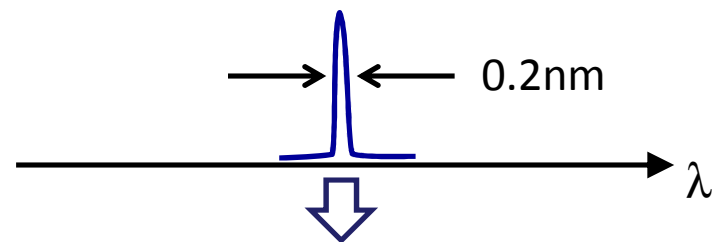
$P_o * 0.5$



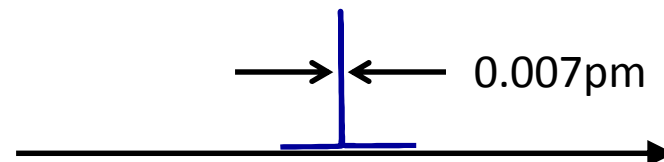
Diodo Láser Fabry Perot para velocidades bajas y medias



Diodo Láser DFB para altas velocidades



Diodo Láser DFB para detección Heterodina



Espectros
LEDs y
láser



Comparativa LEDs y láser

- Espectro de emisión del LED es mucho más ancho que el del LD.
- La potencia emitida por el LD suele ser más elevada que las del LED para valores de corriente comparables.
- En cuanto a P_{out} , la curva del LED es cuasi lineal mientras que la del LD presenta dos pendientes diferentes (cuando trabaja en modo LED o en modo láser, antes o después del codo de la curva).