

B.8. Dispositivos para sistemas de comunicaciones ópticas

B.8.1 Introducción

Hemos visto muchas aplicaciones de componentes fotónicos, pero los que son más importantes son los que forman un sistema óptico de comunicaciones:

- fibra óptica
- detector
- emisor

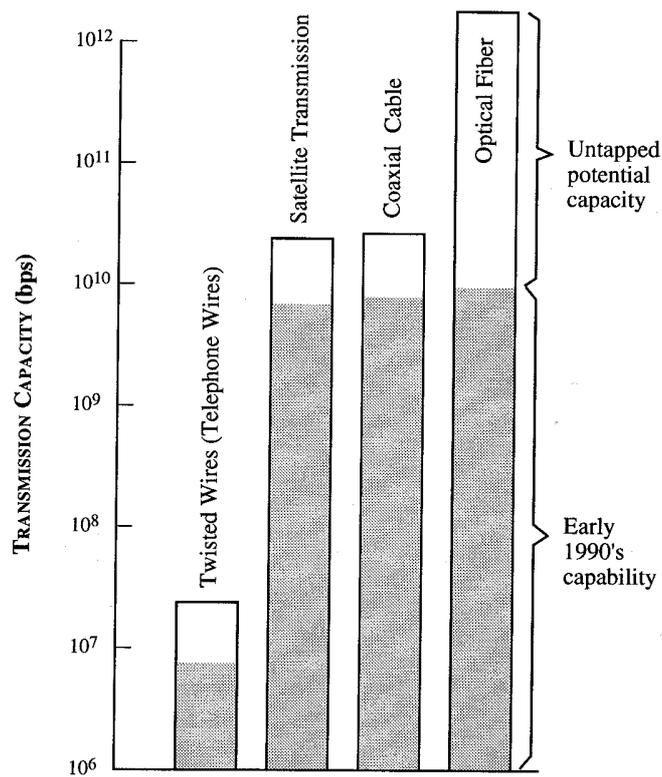
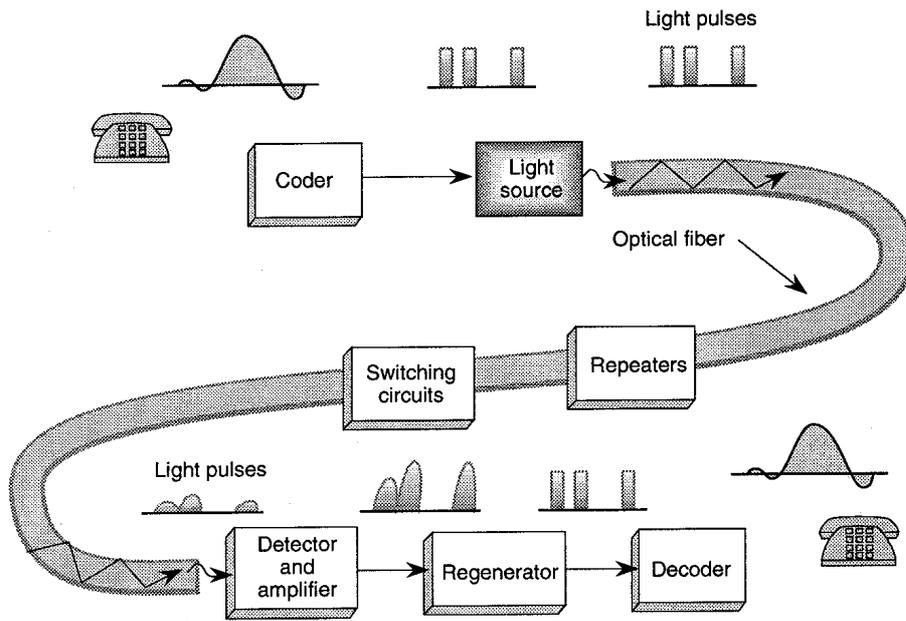
Debemos conocer las necesidades de un sistema óptico para seleccionar sus componentes.

B.8.2 El sistema de comunicación óptica

Comunicaciones ópticas => todavía queda mucho por evolucionar

principales ventajas (frente a sistemas de microondas) => vienen de la fibra óptica

- i) menor necesidad de repetidores
- ii) mayor capacidad de información
- iii) sistema de bajo coste y bajo peso
- iv) no hay problemas de EMI

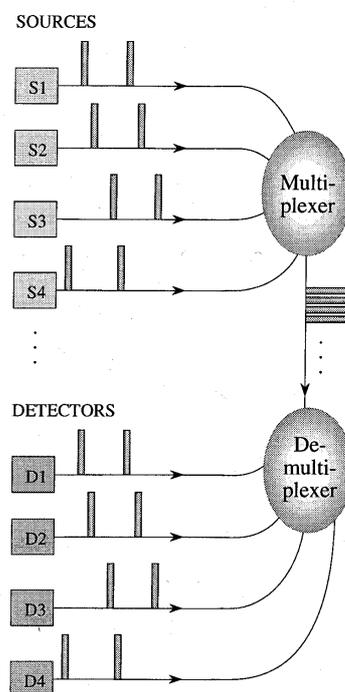


Capacity Needed for:
 Telephone call: 64 kbs
 TV channel: 100 Mbs
 Music piece transmission: 620 kbs

B.8.3 Contenido de información y capacidad de canal

Para aprovechar la capacidad de la fibra óptica se multiplexa la información.

En la actualidad sólo se multiplexa con la división en el tiempo => la forma menos eficaz



B.8.4 Técnicas de modulación y detección

Mandar información = codificar información => modular

magnitudes a modular: amplitud, frecuencia, longitud de onda, fase e intensidad (depende de la amplitud).

B.8.4.1 Modulación de amplitud (A.M.)

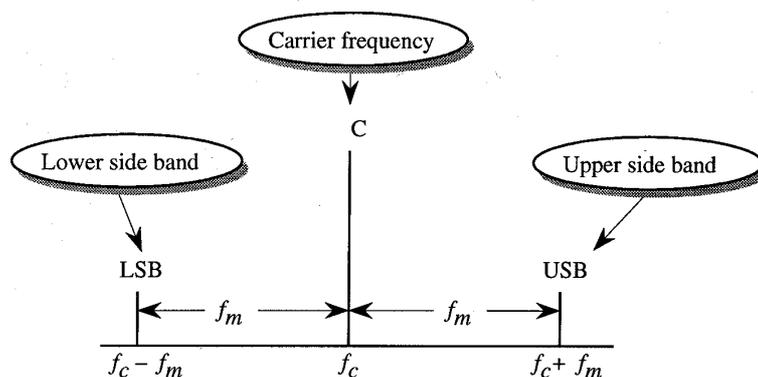
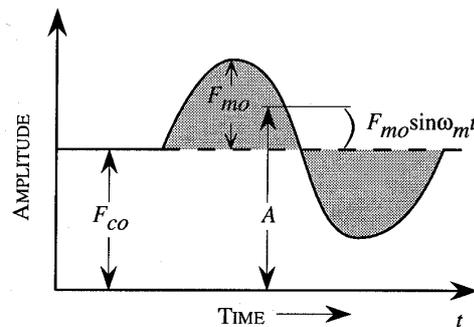
Tenemos: portadora y moduladora

Índice de modulación $m = \frac{F_{mo}}{F_{co}}$

La amplitud modulada tiene 3 términos:

- portadora
- banda lateral superior (USB)
- banda lateral inferior (LSB)

La información está en las bandas laterales => un buen sistema de detección ha de poder aislar las bandas laterales, lo cual, aunque en señales de audio se haga con asiduidad, no es fácil con señales luminosas.



B.8.4.2 Modulación de frecuencia (F.M.)

Se modula la frecuencia de la portadora

las frecuencias que aparecen son: $f = f_c (1 \pm k F_{mo})$

Para obtener una buena modulación => necesito fuentes de luz estables en amplitud, frecuencia y fase.

B.8.4.3 Modulación de intensidad (I.M.)

Dispositivos existentes no están lo suficientemente evolucionados => modulación de intensidad (modulación de potencia óptica de una fuente).

problemas: niveles de ruido y desaprovechamiento de ancho de banda

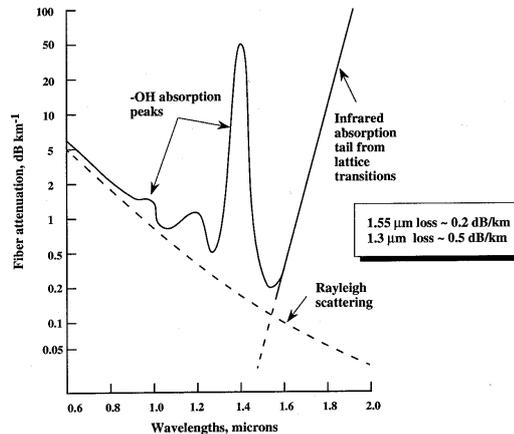
B.8.5 Propiedades de las fibras ópticas

Vamos a repasar las propiedades de las fibras.

La fibra es el elemento más importante de las comunicaciones ópticas.

B.8.5.1 Pérdidas de la fibra

i) pérdidas por absorción



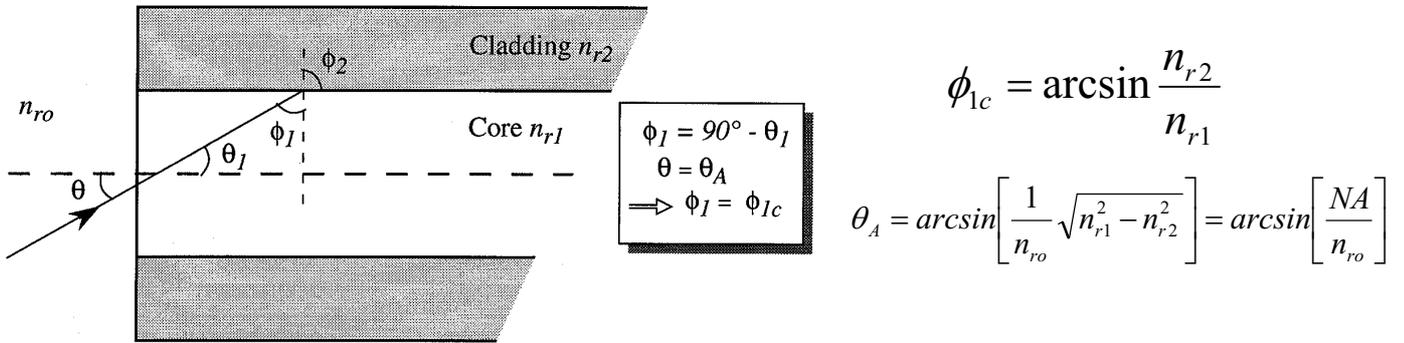
ii) pérdidas por dispersión: pérdidas por irregularidades en la fibra producidas durante el proceso de fabricación.

iii) pérdidas por doblamiento: pérdidas por doblar excesivamente la fibra

B.8.5.2 Dispersión multi-camino o modal

Dispersión multi-camino => debida a que los rayos pueden seguir varios caminos para propagarse

- por tanto => limitación del ancho de banda



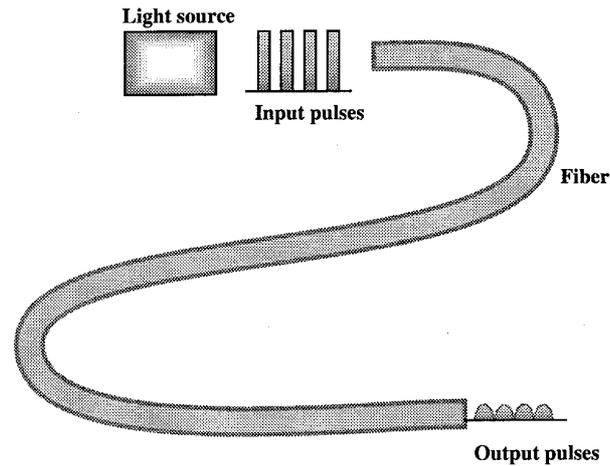
$$\Delta t_{\text{modal}} = t_{\text{extremo}} - t_{\text{axial}} = \frac{n_{r1}^2 \cdot L}{n_{r2} \cdot c} - \frac{n_{r1} \cdot L}{c} = \frac{n_{r1} \cdot L}{c} \cdot \left[\frac{n_{r1}}{n_{r2}} - 1 \right] = \frac{n_{r1} \cdot L \cdot \Delta n_r}{n_{r2} \cdot c}$$

Limitación del ancho de banda:

$$BW_{\text{modal}} \cong \frac{BR_{\text{modal}}}{2} = \frac{1}{4 \cdot \Delta t_{\text{modal}}} = \frac{n_{r2} \cdot c}{4 \cdot n_{r1} \cdot L \cdot \Delta n_r}$$

Producto ancho de banda - distancia:

$$BW_{\text{modal}} \cdot L = \frac{n_{r2} \cdot c}{4 \cdot n_{r1} \cdot \Delta n_r}$$



Mejoras => utilización de fibras con cambio gradual del índice de refracción.

Solución => fibra monomodo

B.8.5.3 Dispersión por el material

- el propio material genera dispersión => variación de n con λ
- se define velocidad de grupo y velocidad de fase (si no hay dispersión ambas son iguales)

$$v_g = \frac{d\omega}{dk} \qquad v_p = \frac{\omega}{k}$$

- se puede asociar un índice de refracción para la velocidad de grupo y la velocidad de fase, relacionados:

$$n_g = n_r - \lambda \frac{dn_r}{d\lambda} \qquad \text{y} \qquad v_g = \frac{c}{n_g} = \frac{c}{n_r - \lambda \frac{dn_r}{d\lambda}}$$

Dispersión de λ de una fuente de luz se traduce en un ensanchamiento en el tiempo:

$$\frac{\Delta t}{\Delta \lambda} = -\frac{L}{c} \cdot \lambda \cdot \frac{d^2 n_r}{d\lambda^2}$$

Anchura espectral relativa de la fuente:

$$\gamma = \left| \frac{\Delta \lambda}{\lambda} \right| = \left| \frac{\Delta \omega}{\omega} \right|$$

Dispersión temporal por unidad de longitud: $\frac{\Delta t_{material}}{L} = \frac{\gamma}{c} \cdot |Y_m|$

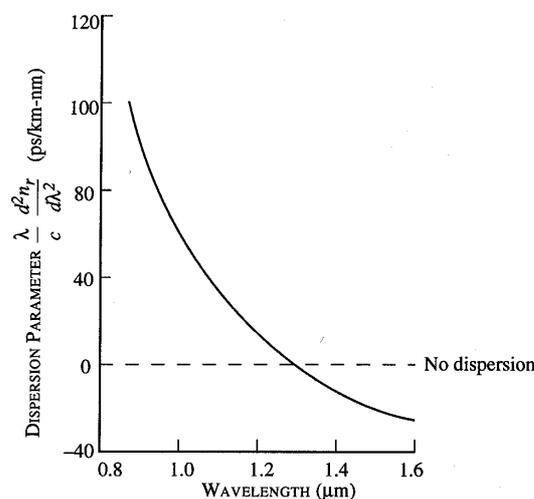
donde Y_m es la dispersión del propio material $Y_m = \lambda^2 \frac{d^2 n_r}{d\lambda^2}$

Podemos definir el ancho de banda como aproximadamente $1/4 \cdot \Delta t_{material}$, por lo que el producto ancho de banda por distancia:

$$BW_{material} \cdot L = \frac{L}{4 \cdot \Delta t_{material}} = \frac{c}{4 \cdot \gamma \cdot |Y_m|}$$

Influyen en nuestro sistema:

- la calidad de la fuente óptica (γ)
- la dispersión de la fibra (Y_m)



Anchura del pulso:
$$\Delta t_{tot} = \sqrt{\Delta t_{in}^2 + \Delta t_{modal}^2 + \Delta t_{material}^2}$$

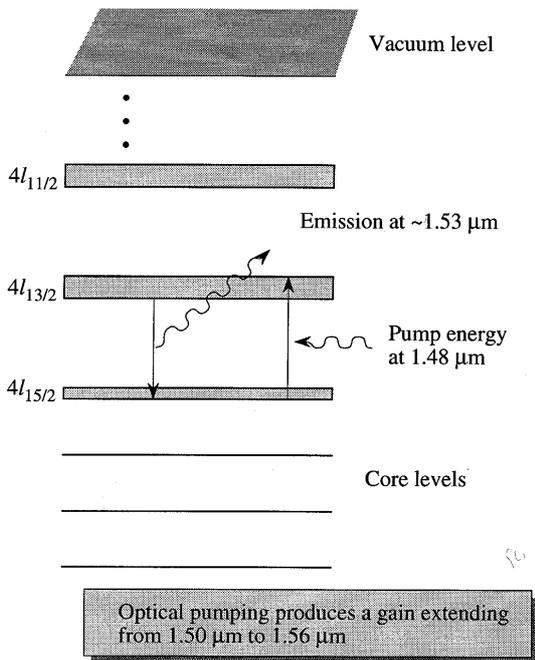
B.8.5.4 Atenuación de la señal y requisitos del detector

Para que la fibra fuese competitiva, la atenuación debe ser menor que 20dB/km => en la actualidad es de 0,2dB/km

$$atenuación = \frac{10 \log_{10} \frac{P_i}{P_f}}{L} \left[\frac{dB}{km} \right]$$

B.8.5.5 Amplificadores de fibra

- atenuación => necesidad de amplificadores
 amplificador de fibra: fibra óptica dopada con erbio => funciona por bombeo óptico (inyección de fotones)



Se aprovechan los niveles energéticos $4I_{15/2}$ y el $4I_{13/2}$ asociados a los iones de erbio

B.8.6 Resumen de los requisitos de los dispositivos

Fuentes de luz:

- no son lo suficientemente estables en fase y frecuencia, para detección coherente
- no tienen la anchura espectral lo suficientemente pequeña
- la velocidad no supera ni superará los 5GHz para LEDs y los 30GHz para LDs => necesitamos láseres muy estables para modulaciones del tipo WDM y FDM

Detectores:

- no hacen una discriminación por longitud de onda

Componentes fotónicos inteligentes:

- repetidores, conmutadores y guidores son de suma importancia en comunicaciones ópticas
- hay que mejorar los repetidores ópticos

B.8.7 Dispositivos avanzados: circuitos integrados optoelectrónicos (OEICs)

=> se buscan desarrollar circuitos integrados con elementos electrónicos y elementos fotónicos

- en la actualidad las técnicas de fabricación son diferentes

=> difícil de integrar