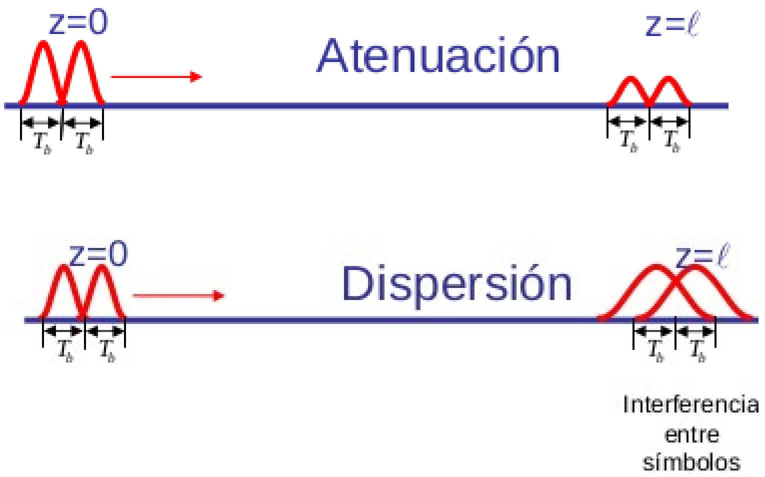
De la **atenuación** a la **interferencia entre símbolos** ISI

Modelos de señal

$$r(t)=C\,s(t)+n(t)$$

$$r(t)=C(t)\,*\,s(t)+n(t)$$

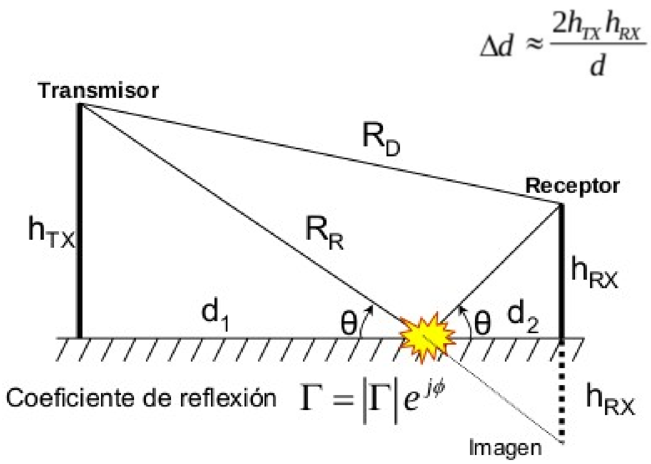
Intuición



Índice:

1. Modelo de 2 rayos
2. Consecuencias: diagrama de ojos.
3. Fibras ópticas
    - Dispersión
    - Causas y cuantificación
    - Efectos en transmisión

ISI: modelos de rayos



Reflexión en Tierra: Modelo de 2-Rayos

- Campo recibido: contribución del rayo directo (R_D) y del reflejado (R_R)

$$E_{RX} = E_{FS} + E_{REFLEJADO} = E_{FS}\left(1+\Gamma e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}\Delta d}\right)\left[\frac{V}{m}\right]$$

Desfase proporcional a la diferencia de caminos

Perspectiva de fasores:

$$r(t)=x(t)+b\,x(t-\tau) \qquad \tau \sim \Delta d/c$$

si $x(t)=e^{j2\pi f_c t}$

$$r(t)=e^{j2\pi f_c t}+b\,e^{j2\pi f_c(t-\tau)}=e^{j2\pi f_c t}\left(1+b\,e^{-j2\pi f_c\tau}\right)=x(t)H(f)$$

Perspectiva de señal:

$$r(t)=x(t)+b\,x(t-\tau)=x(t)+b\,x(t)*\delta(t-\tau)=x(t)*[\delta(t)+b\,\delta(t-\tau)]$$

Calculando la transformada de Fourier:

$$R(f)=X(f)\left(1+b\,e^{(-j2\pi f\tau)}\right)=X(f)H(f)$$

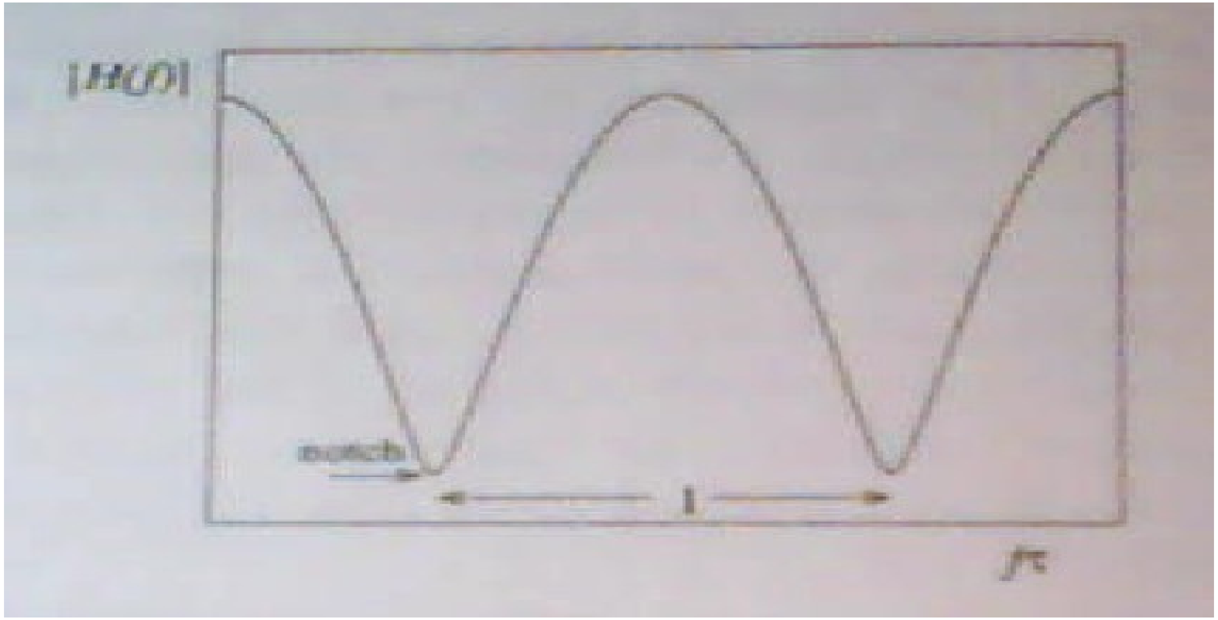
¡Módulo y fase!

Modelo de 2 rayos: consecuencias del módulo

$$H(f) = 1 + b e^{-j2\pi f \tau}$$

$$|H(f)| = \sqrt{(1 + b\cos 2\pi f\tau)^2 + b^2 \sin^2 2\pi f\tau} = \sqrt{1 + b^2 + 2b\cos 2\pi f\tau}$$

Véase la simulación!



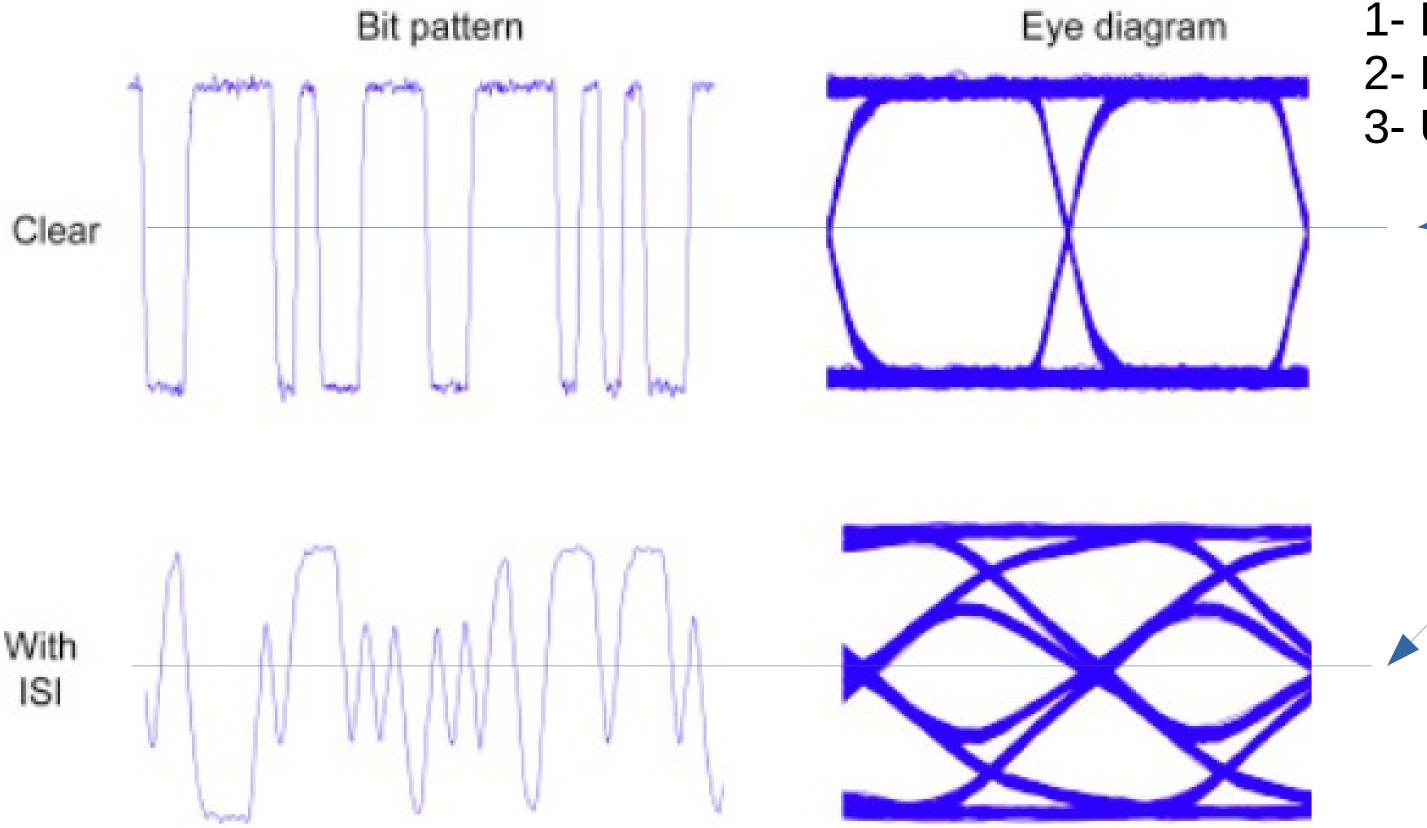
$$BW \sim \frac{1}{\tau}$$

1. ¿Qué pasa si Bs << BW?
2. ¿Qué pasa si Bs ~ BW?
3. ¿Qué pasa Bs >> BW?

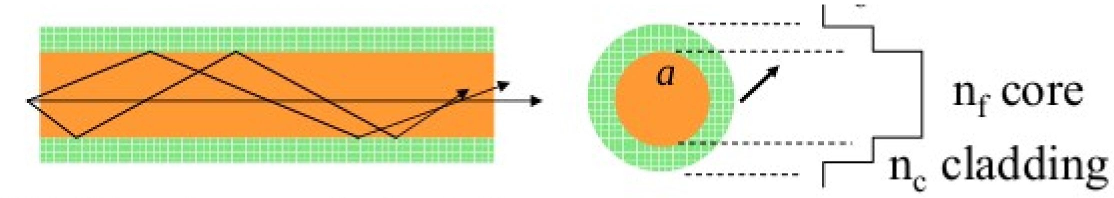
ISI: diagrama de ojos (~ consecuencias de la fase)

Para pensar en el impacto sobre la Pe, considere:

1- Muestreo en el centro del ojo
2- Presencia de ruido
3- Umbral de decisión= 0.

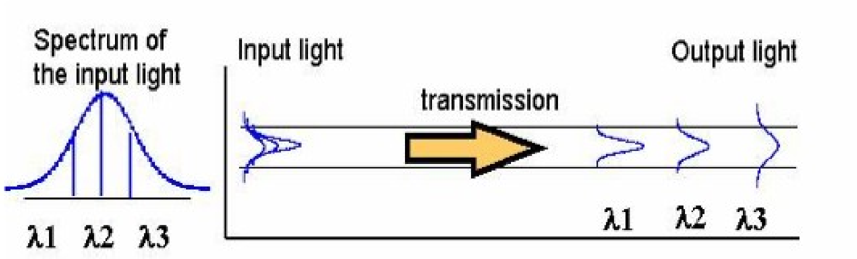


Dispersión en fibras ópticas: modelo de rayos

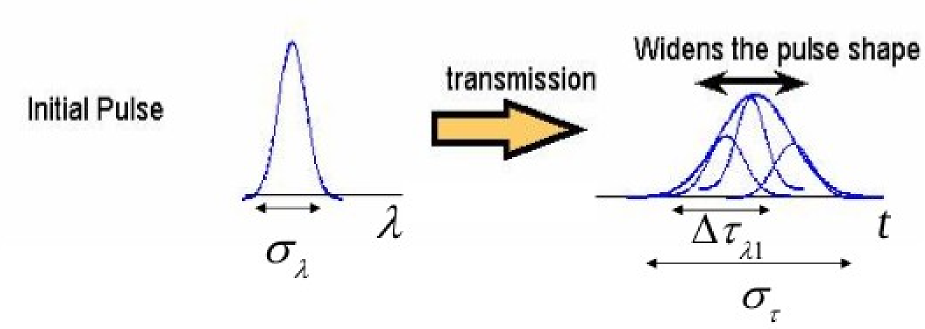


Multimode step-index Fiber

Efecto:



Cuantificación: $\sigma \equiv \Delta\tau = D_{tot}(\lambda)\sigma_{\lambda} l$

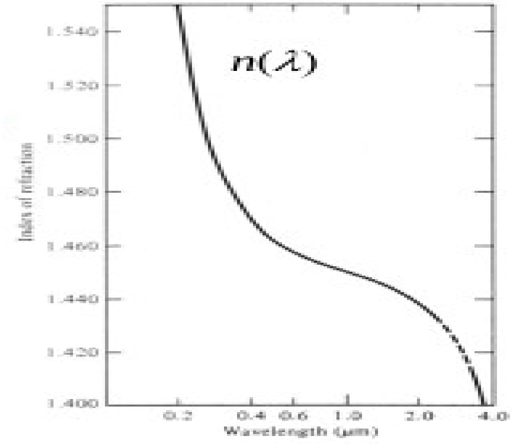


Dispersión en fibras ópticas: causas

- Dispersión del Material
- Dispersión efecto guíaonda

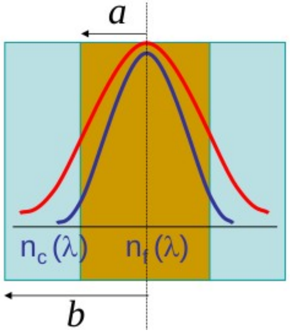
} Dispersión Cromática

- Dispersión Intermodal: sólo para MMF

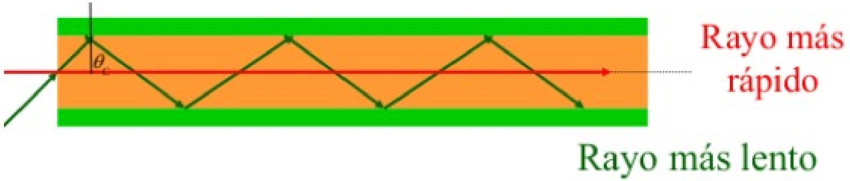


$$\tau_{\text{mat}} = \frac{\ell}{v_g} = \ell\frac{d\beta}{d\omega} = \ell\frac{d}{d\omega}\cdot\frac{\omega n(\lambda)}{c} = \frac{\ell}{c}\left(n(\lambda) + \omega\boxed{\frac{dn(\lambda)}{d\omega}}\right)$$

$$\frac{\ell\lambda}{(2\pi a)^2 n_f c}\sigma_\lambda$$



$$\Delta\tau_{\text{mod}} = \frac{l}{c}\frac{n_f}{n_c}\left(n_f - n_c\right)$$



Dispersión: combinación de diferentes causas

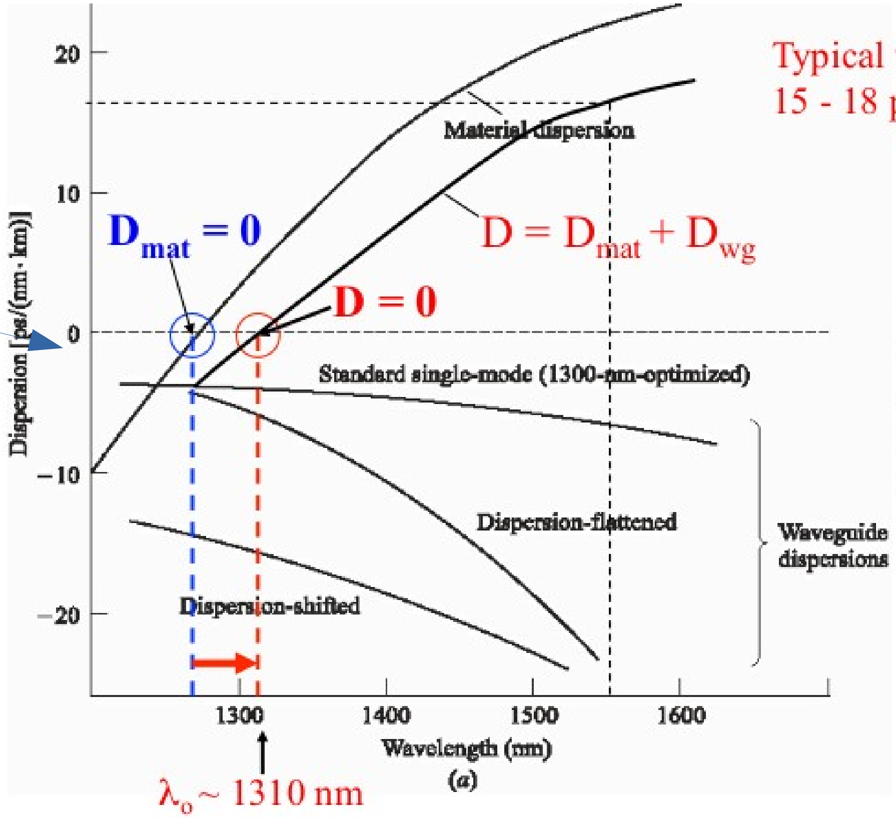
Se considera positiva

Si hay independencia,
Se suman los cuadrados
(ej. cromática y modal)

$$\sigma_{tot} = \sqrt{(\sigma_{mat} + \sigma_{wg})^2 + \Delta\tau_{\mathrm{mod}}^2} = D_{tot}(\lambda)\sigma_\lambda l$$

Cuidado: si hay dependencia
puede haber cancelación y
el signo importa:

$D_{crom}(\lambda) = D_{mat}(\lambda)+D_{wg}(\lambda)$



Typical values of D are about
15 - 18 ps/(km-nm) near 1.55 μm.

- $D_{wg}(\lambda)$ compensate some of the $D_{mat}(\lambda)$ and shifts the λ_{ZD} from about 1276 nm to a *longer* wavelength of ~1310 nm.

Discusión de los términos de Cuantificación: $\sigma \equiv \Delta\tau = D_{tot}(\lambda)\sigma_\lambda l$

1. l es la longitud del enlace, con unidades típicas de Kms.

2 σ_λ, con unidades típicas de nm (nano-metros), es la variación de "longitud de onda portadora" ($\Delta\lambda$) debida a la modulación de la señal, por lo tanto, proporcional al ancho de banda de la señal (típicamente se suponen modulaciones binarias).

$$\lambda = c/f \Rightarrow \Delta\lambda = \frac{c}{f^2}\Delta f, con\, \Delta f \gtrsim B$$

$$f = \lambda c \Rightarrow \frac{c}{f^2} = \frac{\lambda^2}{c}$$

$$\sigma_\lambda \gtrsim \Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{c} B$$

Típicamente, el Δf del diodo emisor es mayor que los anchos de banda típicos y podemos considerar σ_λ constante.

Por ejemplo:
B=2.5 GHz
λ= 1350 nm
=> σ_λ ~ 0.015 nm.

3. D(λ) tiene unidades típicas de ps/ nm-Km, p.ej. D= 17 ps/ nm-Km, fuerza las unidades en el resto de los componentes de la fórmula

Por ejemplo:
Sea σ_λ ~ 0.015 nm; l=30 Km y D= 17 ps/nm-Km
Entonces Δτ~ 7.6 ps.

BLP: Producto ancho de banda- longitud

Típicamente, se considera que la distorsión máxima admisible es 25% de Ts

$$\Delta\tau = D\sigma_\lambda L = 0.25\,T$$

Típicamente, las modulaciones son binarias (η=1)

$$B \sim \frac{1}{T} \; y \; R = B$$

Por lo tanto:

$$BL = \frac{0.25}{D\sigma_\lambda}$$

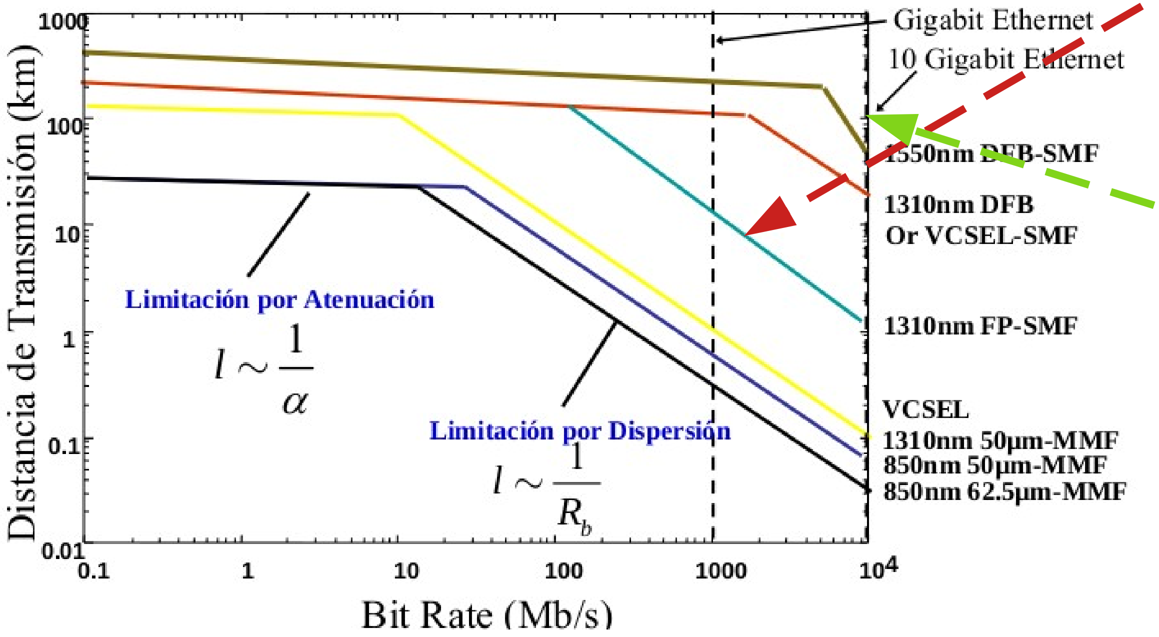
Por ejemplo:

R=B= 2.5 Gbps
D=17 ps/Km-nm; $\sigma_\lambda \geq 0.015$ nm
BL ~ 0,98 Km/ps * 10^{12} ps/s= 980 Gbps-Km
(1/s ~ Hz ~ 1bps)

Efectos de distorsión en la transmisión de datos (B ~ R_b)

Si la Δf del diodo emisor es mayor que los anchos de banda típicos y podemos considerar σ_λ constante.

$$BL = BLP \Rightarrow \log(B) + \log(L) = cte \Rightarrow \log(L) = cte - \log(B)$$



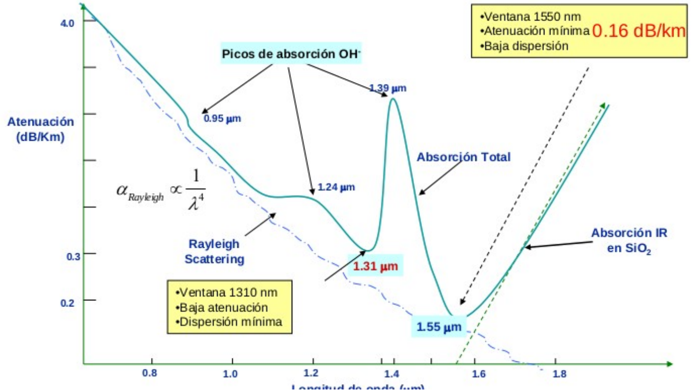
Si la Δf del diodo emisor es ~ B y

$$\sigma_\lambda \sim \frac{\lambda^2}{c} B \qquad B^2 L = \frac{0.25}{D\frac{\lambda^2}{c}}$$

$$\log(L) = cte - 2\log(B)$$

Efectos de la atenuación en la fibra óptica

A(dB)= α (dB/Km) L(Km)



Efectos del cambio de R en la sensibilidad:

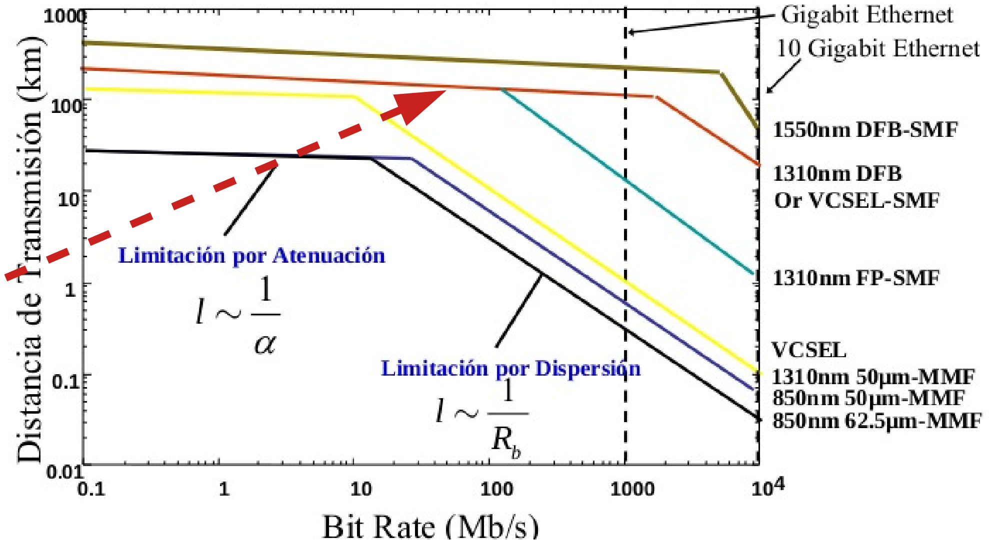
$$S_B = \frac{E_b}{N_0} + 10\log_{10}(kT\, R_B)$$

$$S = \frac{E_b}{N_0} + 10\log_{10}(kT\, R) = S_B + 10\log\left(\frac{R}{R_B}\right)$$

$$S = S_0 + 10\log\left(\frac{R}{R_0}\right) = Pt - \alpha L$$

$$\alpha L = Pt - S_0 + 10\log(R_0) - 10\log(R)$$

$$\log(L) = \log\left(cte - \frac{10}{\alpha}\log(R)\right)$$



Efectos totales en la **transmisión de datos** (**L, R**)

Vamos a trartarlos de forma separada

y nos quedamos con el más restrictivo para la longitud/tasa dadas.

- **Atenuación**
- **ISI**