

DISPERSIÓN DE ORDENES SUPERIORES
 APARÉNTEMENTE PARA: $BLD\Delta\lambda < 1$

EL RENDIMIENTO DEL SISTEMA ÓPTICO SE PODRÍA
 INCREMENTAR INDEFINIDAMENTE **BL**

EFFECTOS DISPERSIVOS DE ÓRDENES SUPERIORES

PARA LA FIBRA ÓPTICA MONOMODO OPERANDO A: λ_{zd}

PARA λ_{zd} NO DESAPARECEN LOS EFECTOS DISPERSIVOS

SE GENERA UN ENSANCHAMIENTO DEL IMPULSO ÓPTICO

CARACTERÍSTICAS

EL IMPULSO ÓPTICO TIENE UN **ESPECTRO ANCHO**
 CENTRADO EN λ_{zd}

D NO ES CERO PARA TODAS LAS COMPONENTES ESPECTRALES
D DEPENDE DE λ

S PENDIENTE DE DISPERSIÓN

DESCRIBE LOS EFECTOS DE DISPERSIÓN NO LINEAL

$$S = \frac{dD}{d\lambda}$$

$$D = \frac{d}{d\lambda} \frac{1}{v_g} = -\frac{2\pi C}{\lambda^3} \beta_2$$

$$S = \left(\frac{2\pi C}{\lambda^2} \right) \beta_3 + \left(\frac{4\pi C}{\lambda^3} \right) \beta_2 \text{ con } \beta_3 = \frac{d\beta_2}{d\omega} = \frac{d^3\beta}{d\omega^3}$$

SE OBSERVA LA CONDICIÓN: $\lambda = \lambda_{zd}, \beta_2 = 0$

UNA FUENTE ESPECTRAL DE ANCHURA $\Delta\lambda$
TIENE UN VALOR EFECTIVO DEL PARÁMETRO DE DISPERSIÓN

$$D = S \cdot \Delta\lambda$$

**EL LÍMITE DE LA VELOCIDAD DE BITS
POR LA DISTANCIA**

$$BL |S| (\Delta\lambda)^2 < 1$$

EJEMPLO:

PARA UN LASER SEMICONDUCTOR MULTIMODO

CON UNA FIBRA ÓPTICA DE DISPERSIÓN CAMBIADA, CON:

$$\Delta\lambda = 2\text{nm}$$

$$S = 0,05 \frac{\text{ps}}{\text{Km} - \text{nm}^2}$$

SE OBTIENE UN:

$$BL \approx 5 \frac{Tb}{s}$$

MEJORAMIENTO DE “BL” CON:

LASER SEMICONDUCTOR MONOMODO

**DISPERSIÓN DEL MODO DE POLARIZACIÓN
VARIACIÓN DE LA SIMETRÍA CILÍNDRICA**

PRODUCE DOBLE REFRACCIÓN

DIFERENTES ÍNDICES MODALES DE LAS COMPONENTES DEL MODO FUNDAMENTAL

FUENTE DEL ENSANCHAMIENTO

LAS DOS COMPONENTES SE DISPERSA, DEBIDO A LAS DIFERENTES VELOCIDADES DE GRUPO

ESTIMACIÓN DEL ENSANCHAMIENTO DEL IMPULSO

EL TIEMPO DE RETRASO

ENTRE LAS DOS COMPONENTES DE POLARIZACIÓN

$$\Delta T = \left| \frac{L}{v_{gx}} - \frac{L}{v_{gy}} \right| = L |\beta_{1x} - \beta_{1y}| = L \Delta \beta_1$$

CANTIDAD DE DISPERSIÓN DE MODO DE POLARIZACIÓN $\frac{\Delta T}{L}$

FIBRAS ÓPTICAS CON CONSERVACIÓN DE LA POLARIZACIÓN

$\Delta T/L$ SE HACE CERO ALIMENTANDO LUZ EN EL EJE PRINCIPAL

ACOPLAMIENTO ALEATORIO DE LOS MODOS DE POLARIZACIÓN

SE INDUCE UNA PERTURBACIÓN ALEATORIA DE LA DOBLE REFRACCIÓN
SE PUEDE IGUALAR LOS TIEMPOS DE PROPAGACIÓN DE LAS DOS COMPONENTES

EL VALOR DE LA RAIZ CUADRADA DE ΔT

CARACTERIZA LA DISPERSIÓN DEL MODO DE POLARIZACIÓN

$$\sigma_T^2 = (\Delta T)^2 = \frac{1}{2} \Delta \beta_1^2 h^2 \left[\frac{2L}{h} - 1 + e^{-2L/h} \right] \text{ con } h \approx 1 \text{ a } 10m$$

FIBRAS CON CONSERVACIÓN DE LA POLARIZACIÓN

$$h \ll 1 \rightarrow \sigma_T \approx \Delta \beta_1 \sqrt{hL} = D_p \sqrt{L} \text{ con } D_p = 0,1 \text{ a } 1 \frac{\text{ps}}{\sqrt{\text{Km}}}$$

D_p = PARÁMETRO DE LA DISPERSIÓN DE MODO DE POLARIZACIÓN

PÉRDIDAS EN LA FIBRA ÓPTICA

REDUCE EL PROMEDIO DE POTENCIA EN EL RECEPTOR

MECANISMOS DE PÉRDIDAS

- IMPERFECCIONES EN LA GUÍA DE ONDA
- ABSORCIÓN ULTRAVIOLETA
- DISPERSIÓN DE RAYLEIGH
- ABSORCIÓN INFRAROJA

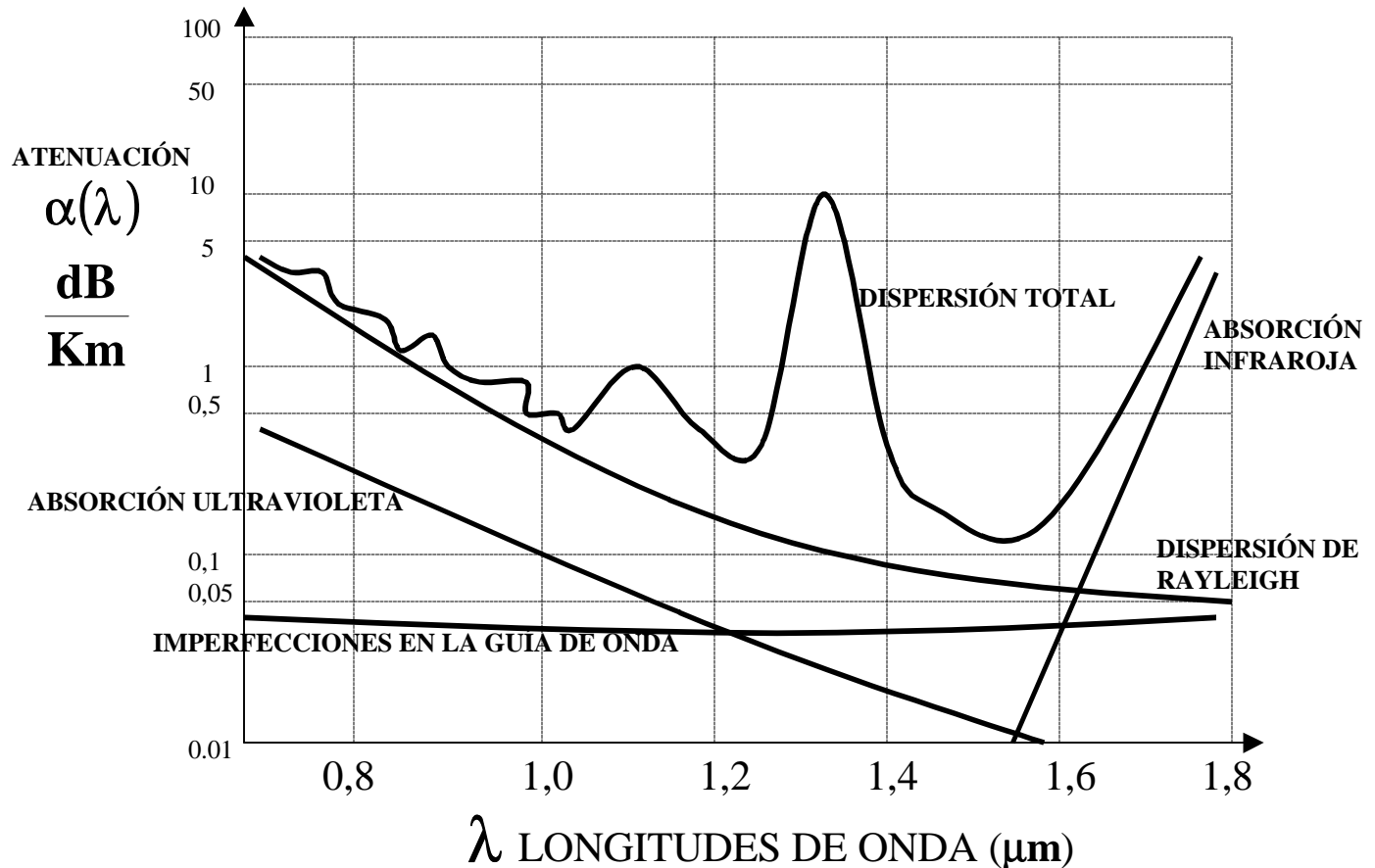
EL COEFICIENTE DE ATENUACIÓN α

$$\frac{dP}{dz} = -\alpha P \text{ con } P = \text{Potencia óptica}$$

LA POTENCIA DE SALIDA P_o

$$P_o(t) = P_i e^{-\alpha L} \quad \begin{array}{l} P_i = \text{POTENCIA DE ENTRADA} \\ L = \text{LONGITUD DE LA FIBRA} \end{array} \quad \alpha / (\text{dB/Km}) = \frac{10}{L} \log \left(\frac{P_o}{P_i} \right)$$

PERFILES DE PÉRDIDAS DE UNA FIBRA MONOMODO



ABSORCIÓN MATERIAL

ABSORCIÓN INTRÍNSECA DEL MATERIAL
 RESONANCIA ELECTRÓNICA DEL SÍLICE: U.V. $\lambda = 0,4\mu\text{m}$
 RESONANCIA VIBRATORIA: I.R. $\lambda > 7\mu\text{m}$

$<<0,1\text{dB/Km}$ EN EL RANGO $0,8 - 1,6\mu\text{m}$
 $<<0,03\text{dB/Km}$ EN EL RANGO $1,3 - 1,6\mu\text{m}$

ABSORCIÓN EXTRÍNSECA DEL MATERIAL GENERADA POR IMPUREZAS

- **IMPUREZAS DE METALES EN TRANSICIÓN**
 - Fe, Cu, Co, Ni, Mn, Cr. RANGO: **$0,6-1,6\mu\text{m}$**
 - ATENUACIÓN: **1dB/Km**
- **VAPOR DE AGUA EN EL SÍLICE**
 - RESONANCIA VIBRATORIA DEL ION OH EN **$2,73\mu\text{m}$**
 - ABSORCIÓN POR ARMÓNICOS Y COMBINACIÓN EN **$1,39\mu\text{m}$ A $1,24\mu\text{m}$ Y $0,95\mu\text{m}$**
 - LOS PICOS ESPECTRALES SON PRUEBA DE LA PRESENCIA DE VAPOR DE AGUA.
 - EN EL RANGO DE **$1,39\mu\text{m}$** SE GENERA PÉRDIDAS DE **50dB/Km** .
- **PÉRDIDAS OCASIONADAS POR DOPANTES**
 - **GeO_2 , P_2O_3 Y B_2O_3**
 - USADOS DURANTE LA FABRICACIÓN PARA PRODUCIR EL ÍNDICE ESCALONADO REQUERIDO INTRODUCE PÉRDIDAS ADICIONALES.

LA DISPERSIÓN DE RAYLEIGH

- FLUCTUACIONES DE LA DENSIDAD MICROSCÓPICA LOCAL
- PRODUCE FLUCTUACIONES ALEATORIAS DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN.
- A UNA ESCALA MENOR QUE LA LONGITUD DE ONDA ÓPTICA

SECCIÓN TRANSVERSAL DE DISPERSIÓN: λ^{-4}

PÉRDIDAS INTRÍNSECA: $\alpha_R = \frac{C_R}{\lambda^4}$

C_R CONSTANTE EN EL RANGO:

$0,7 \text{ a } 0,9 \frac{\text{dB}}{\text{Km}} \mu\text{m}^4 \rightarrow \alpha_R = 0,12 \dots 0,16 \frac{\text{dB}}{\text{Km}} \text{ para } \lambda = 1,55 \mu\text{m}$

DISMINUCIÓN DE LA DISPERSIÓN DE RAYLEIGH

$\alpha_R \ll 0,01 \frac{\text{dB}}{\text{Km}} \text{ para } \lambda > 3 \mu\text{m}$

POR ARRIBA DE $1,6 \mu\text{m}$ AUMENTA LA DISPERSIÓN I.R.

NUEVOS MATERIALES PARA REDUCIR LA DISPERSIÓN DE RAYLEIGH

DISMINUCIÓN DEL α_R POR ENCIMA DE: $\lambda = 2,55 \mu\text{m}$

FIBRAS ÓPTICAS DE FLUOROZIRCONATO: Z_rF_4

$\alpha_R < 0,01 \text{dB} / \text{Km} \text{ para } \lambda = 2,55 \mu\text{m}$

FIBRAS CALCÓGENIDAS Y POLICRISTALINAS

$\alpha_R < 0,001 \text{dB} / \text{Km} \text{ para } \lambda = 10 \mu\text{m}$

IMPERFECCIONES DE LA GUÍA DE ONDA
MECANISMOS DE PÉRDIDAS INDEPENDIENTE DE LA POTENCIA
 IMPERFECCIONES EN LA INTERFASE NÚCLEO-REVESTIMIENTO
 VARIACIÓN ALEATORIA DEL RADIO DEL NÚCLEO

DISPERSIÓN MIE
 PRESENCIA DE UN ÍNDICE DE REFRACCIÓN NO HOMOGÉNEO EN
 UNA ESCALA MAYOR QUE LA LONGITUD DE ONDA ÓPTICA

CUIDADOS EN LA PRODUCCIÓN DE LA FIBRA
 LA VARIACIÓN DEL RADIO DEL NÚCLEO DEBE MANTENERSE POR
 DEBAJO DE 1%. PARA PÉRDIDAS DE 0,03 dB/Km

DOBLEZ EN LA FIBRA ÓPTICA
 ÁNGULO DE INCIDENCIA MAYOR QUE EL ÁNGULO CRÍTICO
 PARTE DE LA ENERGÍA SE DISPERSA EN EL REVESTIMIENTO

$$\propto e^{-R/R_c} \quad R_c = \frac{a}{n_1^2 - n_2^2}$$

R=RADIO DE LA CURVATURA DEL DOBLEZ

DISTORSIÓN LONGITUDINAL ALEATORIA
 PRESIONES SOBRE LA SUPERFICIE DEL CABLE ÓPTICO

PÉRDIDAS POR MICRODOBLEZ

LAS PÉRDIDAS PUEDEN INCREMENTARSE HASTA **100dB/Km**

ESTAS PÉRDIDAS PUEDE DISMINUIRSE PARA **V** EN EL CORTE, EN 2,405

OTRAS FUENTES DE PÉRDIDAS

PÉRDIDAS GENERADA POR EMPALMES Y CONECTORES