

## DISPERSIÓN DE LA VELOCIDAD DE GRUPO

DISPERSIÓN INTERMODAL O DISPERSIÓN DE LA FIBRA  
CAUSAS:

- LA DISPERSIÓN MATERIAL
- LA DISPERSIÓN DE GUÍA DE ONDA

EL ÍNDICE DE REFRACCIÓN DE GRUPO:  $\hat{n}_g$

$$\hat{n}_g = \hat{n} + \omega \frac{d\hat{n}}{d\omega}$$

- PRESENTA UNA DEPENDENCIA DE LA FRECUENCIA
- LAS COMPONENTES ESPECTRALES SE DISPERSAN.
- NO ALCANZAN LA SALIDA SIMULTÁNEAMENTE.
- EL IMPULSO ÓPTICO SE ENSANCHA.

## ENSANCHAMIENTO DEL IMPULSO EN EL TIEMPO

$$\Delta T = L\beta_2\Delta\omega \quad \text{con} \quad \beta_2 = \frac{d^2\beta}{d\omega^2} \quad \beta_2 = \text{Parámetro de la dispersión de grupo.}$$

## ENSANCHAMIENTO DEL IMPULSO EN LA FRECUENCIA $\Delta\omega$

DETERMINADO POR EL RANGO DE LONGITUD DE ONDA  $\Delta\lambda$

D=PARÁMETRO DE DISPERSIÓN

$$\Delta\omega = -\frac{2\pi C}{\lambda^2} \Delta\lambda \rightarrow \Delta T = D.L.\Delta\lambda \quad \text{con} \quad D = -\beta_2 \frac{2\pi C}{\lambda^2}$$

## ESTIMACIÓN DEL EFECTO DE DISPERSIÓN

EL CRITERIO:  $B.\Delta T < 1$  con  $\Delta T = DL\Delta\lambda$

CONDICIÓN:  $B.L.D.\Delta\lambda < 1$

ESTIMADO DEL PRODUCTO  $BL$  DE LA FIBRA MONOMODO

PARA FIBRAS DE SÍLICE STANDART

$D \rightarrow 1 \text{ps}/(\text{Km} - \text{nm})$  para  $\lambda = 1,3\mu\text{m}$

**LASER SEMICONDUCTOR MULTIMODO:**

- $\Delta\lambda = 2,4\text{nm}$
- EL LASER opera en varios modos longitudinales.
- EL PRODUCTO:  $BL > 100 \left( \frac{Gb}{s} \right) - Km$

**LASER SEMICONDUCTOR MONOMODO:**

- $\Delta\lambda < 1\text{nm}$
- OPERAN EN  $1,3\mu\text{m}$  con  $B = 2\text{Gb/s}$
- EL PRODUCTO:  $BL > 1 \left( \frac{Tb}{s} \right) - Km$

**DEPENDENCIA DEL PARÁMETRO DE DISPERSIÓN “D” DE “λ”**

Controlada por la dependencia del índice modal  $\hat{n}$  de la frecuencia

$$D = -\frac{2\pi}{\lambda^2} \left( \frac{d\hat{n}}{d\omega} + \omega \frac{d^2\hat{n}}{d\omega^2} \right)$$

SE SUSTITUYE  $\hat{n}$  POR EL GRADO DE DOBLE REFRACCIÓN:

$$B_d = \left| \hat{n}_x - \hat{n}_y \right| \rightarrow D = D_M + D_W$$

$$D_M = -\frac{2\pi}{\lambda^2} \frac{dn_{2g}}{d\omega} = \frac{1}{C} \frac{dn_{2g}}{d\lambda};$$

$$D_W = \frac{2\pi\Delta}{\lambda^2} \left[ \frac{n_{2g}^2}{n_{2\omega}} \frac{Vd^2(Vb)}{dV^2} + \frac{dn_{2g}}{d\omega} \frac{d(Vb)}{dV} \right]$$

$n_{2g}$  = Índice de refracción de grupo del material de revestimiento

**DISPERSIÓN DIFERENCIAL DEL MATERIAL**  $\frac{d\Delta}{d\omega} \neq 0$

$$D = D_M + D_W + \frac{d\Delta}{d\omega}$$

EN LA PRÁCTICA:  $\frac{d\Delta}{d\omega} \rightarrow 0$

## DISPERSIÓN MATERIAL

**$n$  DEL SÍLICE CAMBIA CON LA FRECUENCIA**

**LA ECUACIÓN DE SELLMEIR. LEJOS DE LA RESONANCIA DEL MEDIO**

$$n^2(\omega) = 1 + \sum_{j=1}^M \frac{B_j \omega_j^2}{\omega_j^2 - \omega^2}; \quad \omega_j = \text{FRECUENCIA DE RESONANCIA}$$

$$B_j = \text{EFICIENCIA DEL OSCILADOR}$$

**$n = n_1$**  DISPERSIÓN EN EL NÚCLEO

**$n = n_2$**  DISPERSIÓN EN EL REVESTIMIENTO

**SUMATORIA SOBRE TODAS LAS RESONANCIAS MATERIALES**

## PARA LA FIBRA ÓPTICA

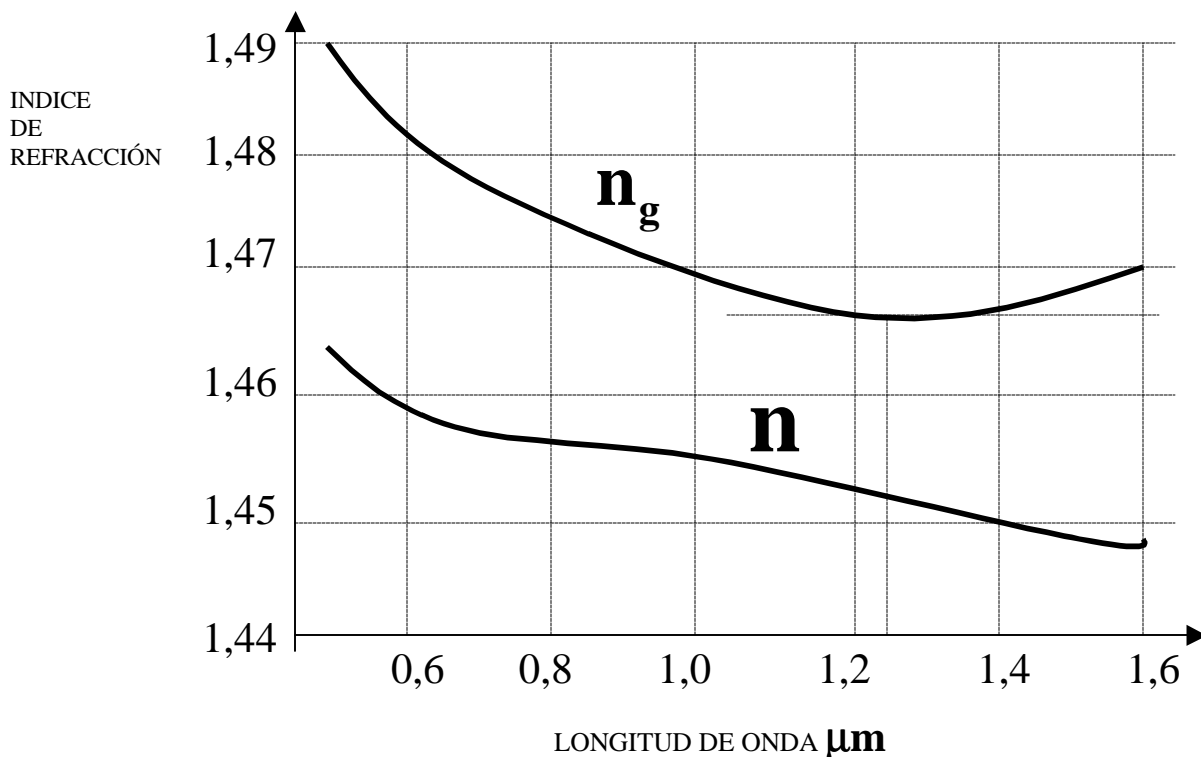
DETERMINACIÓN EMPÍRICA DE LAS CURVAS DE DISPERSIÓN PARA:  **$n^2(\omega)$**

**$B_j, \omega_j$  para  $M = 3$**

**$B_1=0,6961663$ ;  $B_2=0,4079426$ ;  $B_3=0,8974794$ ;  $\lambda_1=0,0684043\mu\text{m}$ ;  $\lambda_2=0,1162414\mu\text{m}$ ;  $\lambda_3=9,896161\mu\text{m}$**

$$\lambda_j = \frac{2\pi C}{\omega_j} \text{ con } j = 1...3 \quad \hat{n}_g = \hat{n} + \omega \frac{dn}{d\omega}$$

**$n$  y  $n_g$  para el sílice en el rango 0,5 a 1,6 $\mu\text{m}$**



**LA LONGITUD DE ONDA DE DISPERSIÓN CERO  $\lambda_{ZD}$**   
**LA DISPERSIÓN MATERIAL  $D_M$  DEPENDE DE LA PENDIENTE DE  $n_g$**

$$D_M = \frac{1}{C} \frac{dn_g}{d\lambda} \text{ para } \lambda_{ZD} = 1,276 \text{ con } \frac{dn_g}{d\lambda}$$

$$D_M < 0 \text{ si } \lambda < \lambda_{ZD}; \quad D_M = 0 \text{ si } \lambda = \lambda_{ZD}; \quad D_M > 0 \text{ si } \lambda > \lambda_{ZD}$$

**APROXIMACIÓN EN EL RANGO 1,25 A 1,65  $\mu\text{m}$**

$$D_m \approx 122(1 - \lambda_{ZD}/\lambda)$$

$\lambda_{ZD}$  PARA EL SÍLICE PURO

$$\lambda_{ZD} = 1,276 \mu\text{m}$$

NÚCLEO Y REVESTIMIENTO ESTÁN DOPADOS PARA  
 VARIAR EL ÍNDICE DE REFRACCIÓN.

**LA LONGITUD DE ONDA DE DISPERSIÓN CERO DE LA  
 FIBRA ÓPTICA DEPENDE:**

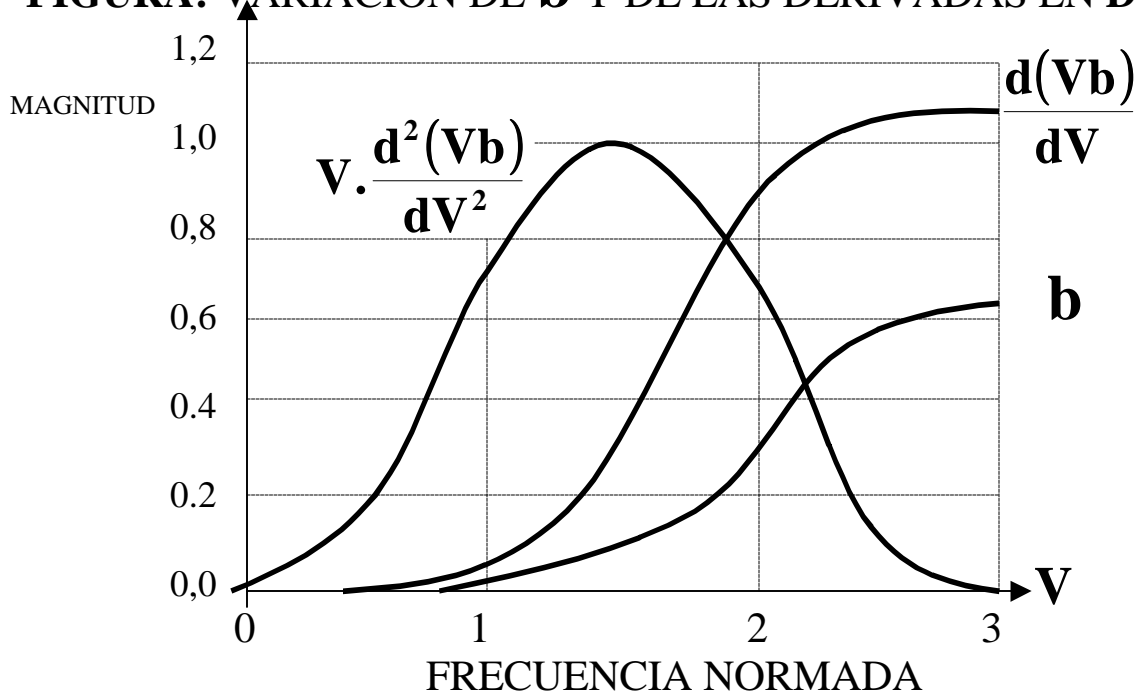
- DEL RADIO **a**
- DEL CAMBIO FRACCIONAL DEL ÍNDICE  $\Delta = (n_1 - n_2)/n_1$   
 A TRAVÉS DE LA DISPERSIÓN DE GUÍA DE ONDA.

# DISPERSIÓN DE GUÍA DE ONDA

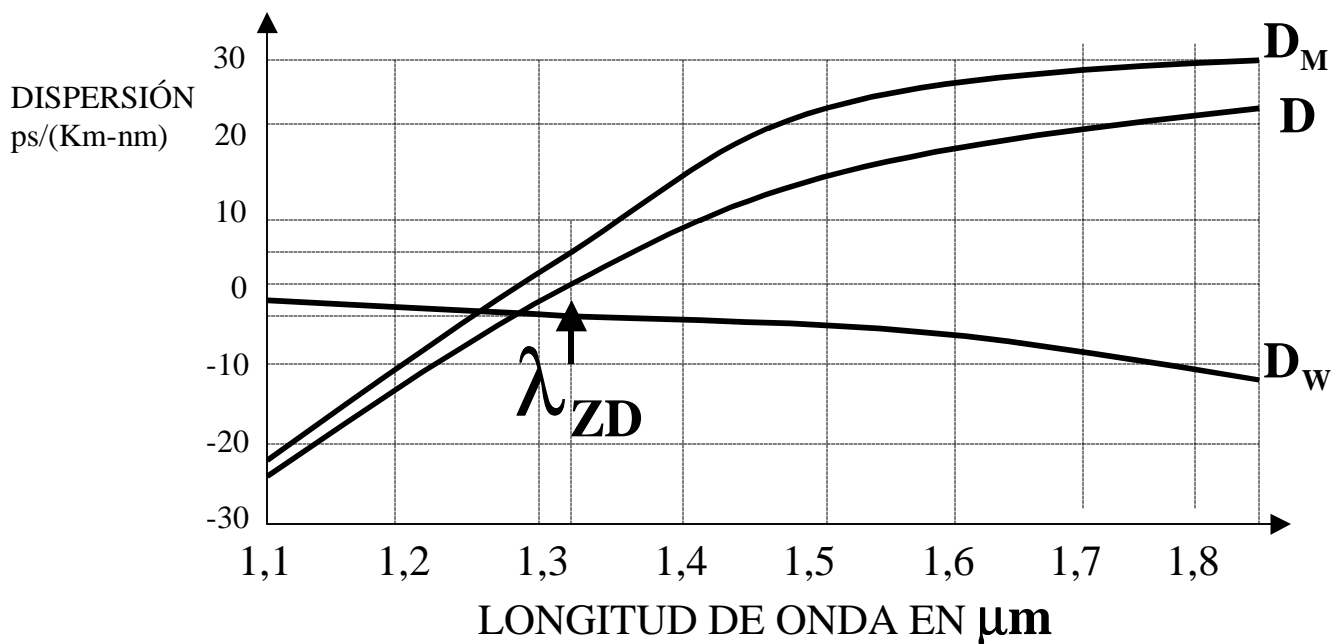
## APORTE A LA DISPERSIÓN TOTAL

$$D_w = \frac{2\pi\Delta}{\lambda^2} \left[ \frac{n_{2g}^2}{n_{2\omega}} \frac{V d^2(Vb)}{dV^2} + \frac{dn_{2g}}{d\omega} \frac{d(Vb)}{dV} \right]$$

**FIGURA: VARIACIÓN DE  $b$  Y DE LAS DERIVADAS EN  $D_w$**



**FIGURA: MUESTRA  $D_M$ ,  $D_w$  Y  $D=D_M+D_w$  PARA UNA FIBRA MONOMODO**



- $D_w$  ES NEGATIVO EN EL RANGO DE 0 A  $1,6\mu m$
- $D_m$  ES NEGATIVO POR DEBAJO DE  $\lambda_{zd}$
- $D_m$  ES POSITIVO POR ARRIBA DE  $\lambda_{zd}$

### **EFFECTO DE LA DISPERSIÓN DE GUÍA DE ONDA**

- CAMBIA  $\lambda_{zd}$  DE 30 A 40nm
- LA DISPERSIÓN ES CERO PARA:  $\lambda_{zd}=1,31\mu m$
- SE REDUCE LA DISPERSIÓN MATERIAL EN EL RANGO 1,3 A  $1,6\mu m$ 
  - RANGO DE LONGITUDES DE ONDAS IMPORTANTE EN LAS TELECOMUNICACIONES ÓPTICAS

### **REGIÓN CERCANA A LOS $1,55\mu m$**

- DISPERSIÓN D EN EL RANGO: 15 A 18 ps/(Km-nm)
- LAS PÉRDIDAS DE LA FIBRA PRESENTAN UN MÍNIMO.

### **LA FIBRA ÓPTICA CON DISPERSIÓN CAMBIADA**

SE CAMBIA  $\lambda_{zd}$  CERCA DE  $1,55\mu m$

LA DISPERSIÓN DE GUÍA DE ONDA  $D_w$  DEPENDE DE:  $a$ ,  $\Delta$

### **LA FIBRA ÓPTICA CON DISPERSIÓN APLANADA**

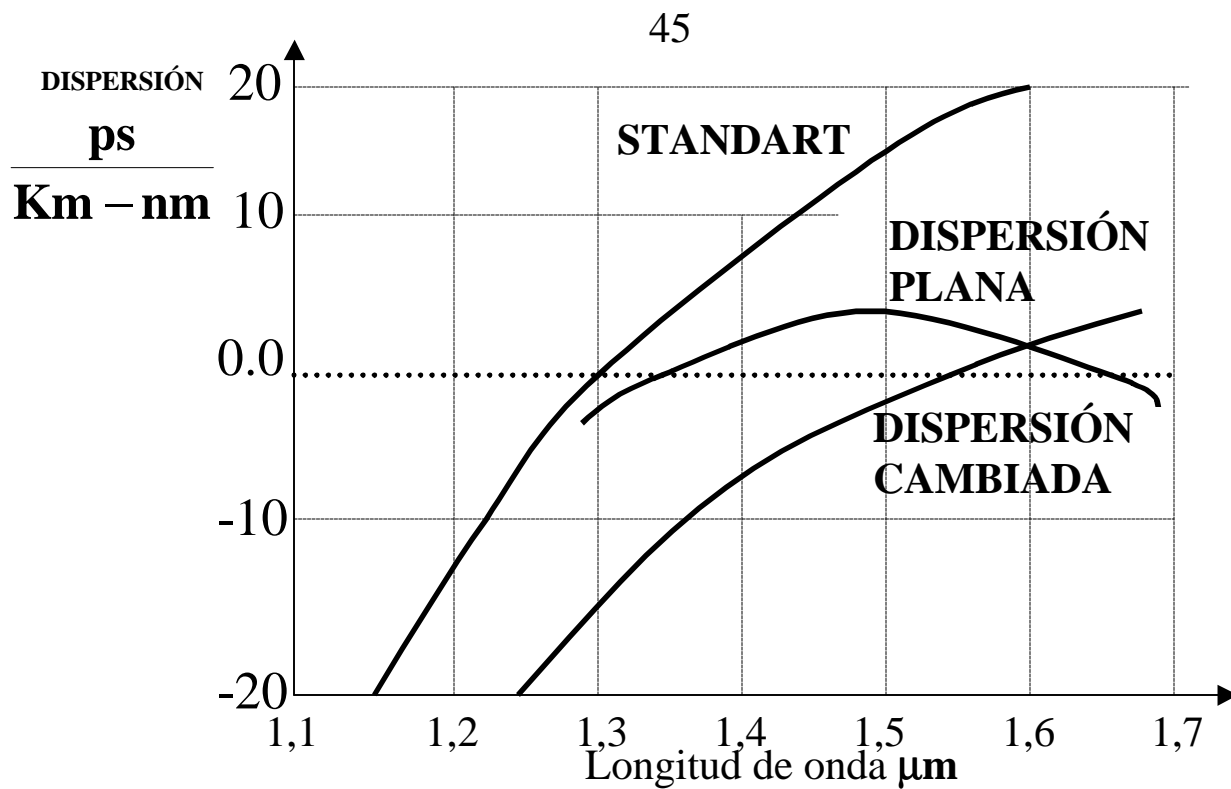
SE AJUSTA LA DISPERSIÓN DE GUÍA DE ONDA  $D_w$

SE HACE LA DISPERSIÓN TOTAL  $D$  PEQUEÑA

RANGO: 1,3 A  $1,6\mu m$

### **FIBRAS ÓPTICAS DE DISPERSIÓN DECRECIENTE TIENEN APLICACIÓN EN LA TRANSMISIÓN DE SOLITONS VARIACIÓN AXIAL DEL RADIO DEL NÚCLEO**

SE PRODUCE UNA DISMINUCIÓN DE LA  
DISPERSIÓN DE LA VELOCIDAD DE GRUPO



### Características de fibras comerciales

TIPO DE FIBRA OPTICA	APERTURA NUMÉRICA NA	ÍNDICE DE REFRACCIÓN DIFERENCIAL $\Delta/\%$	$2\omega/\mu\text{m}$	LONGITUD DE ONDA CERO $\lambda_{zd}$	PENDIENTE S DE LA DISPERSIÓN
CORNING SMF-28	0,13	0,36	9,3	1,312	0,090
AT&T MATCHED CLAD	0,12	0,33	9,3	1,312	0,088
LITESPEC GSM-13	0,12	0,33	9,3	1,312	0,087
CORNING SMF-DS	0,17	0,90	8,1	1,550	0,075
AT&T TRUE WAVE	0,16	0,75	8,4	1,530	0,095
LITESPEC DSM-15	0,17	0,90	8,0	1,555	0,072

S=parámetro de dispersión diferencial de segundo orden.  $\frac{\text{ps}}{\text{Km-nm}}$