

LA FRECUENCIA NORMADA O PARÁMETRO V

CONDICIÓN DE CORTE DEL MODO DE PROPAGACIÓN.

$$V = k_0 \cdot a (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \approx \frac{2\pi}{\lambda} a \cdot n_1 \sqrt{2\Delta}$$

a = radio del núcleo . Con $V \propto \omega$

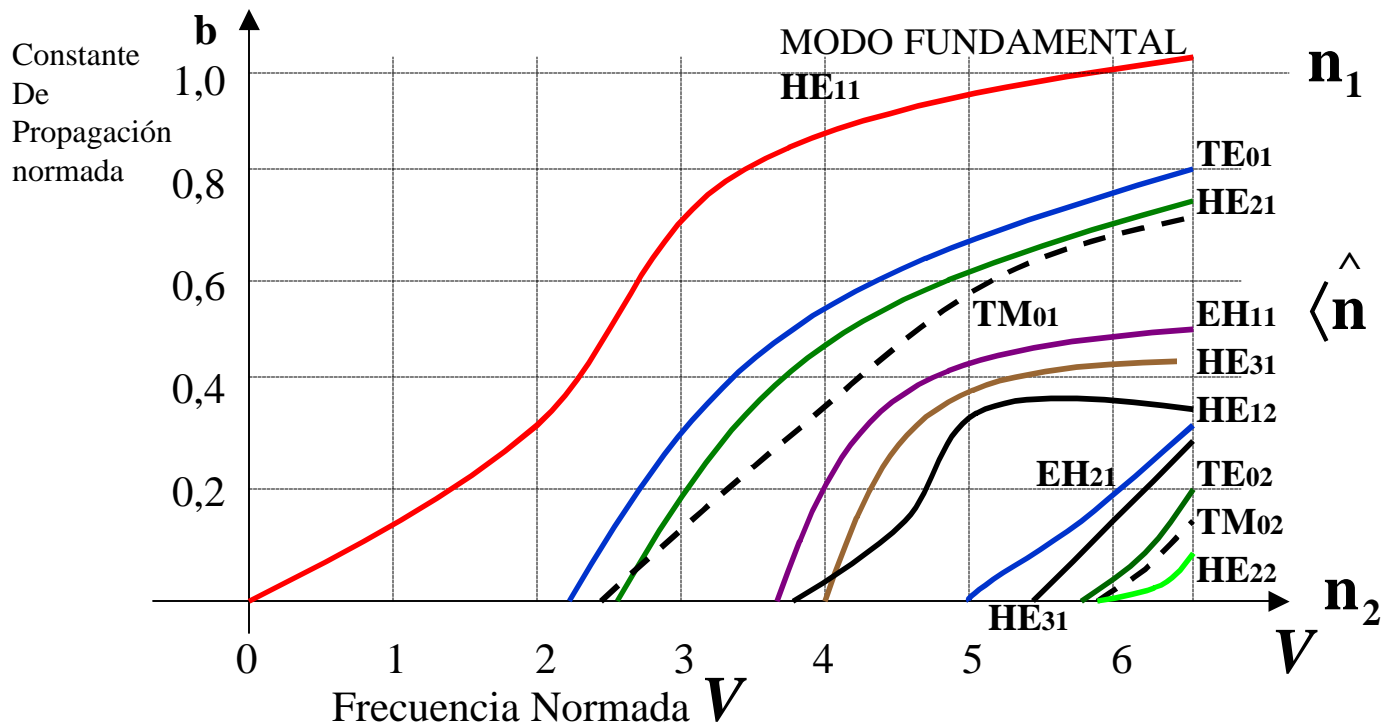
LA CONSTANTE DE PROPAGACIÓN NORMADA b

$$b = \frac{(\beta / k_0) - n_2}{n_1 - n_2} = \frac{\hat{n} - n_2}{n_1 - n_2}$$

CURVAS DE LA CONSTANTE DE PROPAGACIÓN b EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA NORMADA V

RESOLVIENDO LA ECUACIÓN DE VALORES EIGEN.

$$\left[\frac{J'_m(\kappa a)}{\kappa J_m(\kappa a)} + \frac{K'_m(\gamma a)}{\gamma K_m(\gamma a)} \right] \left[\frac{J'_m(\kappa a)}{\kappa J_m(\kappa a)} + \frac{n_2^2}{n_1^2} \frac{K'_m(\gamma a)}{\gamma K_m(\gamma a)} \right] = \left[\frac{2m\beta(n_1 + n_2)}{a\kappa^2\gamma^2} \right]^2$$



CODICIONES DE PROPAGACIÓN DE LOS MODOS

VALOR GRANDE DE V
MAYOR CANTIDAD DE MODOS DE PROPAGACIÓN

NÚMEROS DE MODOS EN UNA FIBRA MULTIMODOS

$$\text{NÚMEROS DE MODOS} = \frac{V^2}{2}$$

EJEMPLO: FIBRA MULTIMODOS CON:
 $a=25\mu\text{m}$, $\Delta=0.005$ tiene un $V=18$ para $\lambda=1,3\mu\text{m}$ soporta 162 modos

REDUCCIÓN RÁPIDA DEL NÚMERO DE MODOS

V DISMINUYE

EJEMPLO: CON $V=5$

SE PROPAGAN 7 MODOS:

HE11, TE01, TM01, HE21, EH11, HE31, HE12

CONDICIÓN DE CORTE

PARA $V < 2,405$

SE PROPAGA SOLO EL MODO FUNDAMENTAL HE11

FIBRAS ÓPTICAS MONOMODOS

LA FIBRA ÓPTICA MONOMODO

SOporta sólo el modo fundamental: **HE₁₁**

Todos los modos superiores alcanzan el corte

HE₁₁ no tiene corte

LA CONDICIÓN DE PROPAGACIÓN DE LA FIBRA MONOMODO

VALOR DE **V**:

TE₀₁ Y **TM₀₁** alcanzan el corte

ECUACIÓN DE VALORES EIGEN PARA LOS MODOS TRANSVERSALES
m = 0

$$\text{para TE}_{01} : \kappa J_0(\kappa a) K_0'(\gamma a) + \gamma J_0'(\gamma a) K_0(\gamma a) = 0$$

$$\text{para TM}_{01} : \kappa n_2^2 J_0(\kappa a) K_0'(\gamma a) + \gamma n_1^2 J_0'(\gamma a) K_0(\gamma a) = 0$$

CONDICIÓN DE CORTE DE LOS MODOS TRANSVERSALES:

$$\kappa a = V \quad \text{para} \quad \gamma = 0 \rightarrow J_0(V) = 0$$

menor valor de V es : **V = 2,405**

EL RADIO DEL NÚCLEO **a**

$$\text{CONDICIÓN DE CORTE: } V \approx \frac{2\pi}{\lambda} a \cdot n_1 \sqrt{2\Delta}$$

FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO OPERAN: **$\lambda = 1,3$ a $1,6\mu\text{m}$**

SE DISEÑAN PARA: **$\lambda > 1,2\mu\text{m}$**

EJEMPLO: **$\lambda = 1,2\mu\text{m}$, $n_1 = 1,45$ y $\Delta = 5 \cdot 10^{-3}$,**

se obtiene : **$V < 2,405$ para $a < 3,2\mu\text{m}$**

$$\text{Si } \Delta \approx 3 \cdot 10^{-3} \rightarrow a \approx 4\mu\text{m}$$

\wedge
EL ÍNDICE MODAL: \hat{n}

CON LA CONSTANTE DE PROPAGACIÓN **b**

$$\hat{n} = n_2 + b(n - n_2) \approx n_2(1 + b\Delta)$$

MODELO ANALÍTICO DE LA CURVA **$b(V)$**

$$b(V) \approx (1,1428 - 0,996/V)^2$$

DISTRIBUCIÓN DEL CAMPO FUNDAMENTAL HE_{11}
CON LAS SOLUCIONES $E_z, H_z, E_\rho, H_\rho, E_\phi, H_\phi$

EL MODO POLARIZADO LINEALMENTE

CONDICIONES: $\Delta \ll 1; E_z \approx 0; H_z \approx 0; \rightarrow LP_{01}$

ANULANDO UNA COMPONENTE TRANSVERSAL: $E_y = 0$

EN EL NÚCLEO: $E_x = E_0 [J_0(\kappa\rho)/J_0(\kappa a)] e^{j\beta z}$ para $\rho \leq a$

EN EL REVESTIMIENTO $E_x = E_0 [K_0(\gamma\rho)/K_0(\gamma a)] e^{j\beta z}$ para $\rho > a$

E_0 =CONSTANTE DETERMINADA POR LA POTENCIA DEL MODO

EL MODO DOMINANTE MAGNÉTICO

$$H_y = n_2 (\epsilon_0 / \mu_0)^{1/2} \cdot E_x$$

MODO POLARIZADO LINEALMENTE EN X

**LA FIBRA MONOMODO SOPORTA DOS MODOS ORTOGONALES
POLARIZADOS LINEALMENTE**

MODOS DEGENERADOS

\wedge
TIENEN EL MISMO ÍNDICE MODAL: \hat{n}

DOBLE REFRACCIÓN

FIBRA IDEAL: NÚCLEO CILÍNDRICO PERFECTO

FIBRA REAL: VARIACIÓN DEL DIÁMETRO DEL NÚCLEO

LA TENSIÓN SOBRE LA FIBRA: ROMPE LA SIMETRÍA DE LA FIBRA

LOS MODOS NO ESTÁN DEGENERADOS

LA FIBRA ADQUIERE DOBLE REFRACCIÓN

CONDICIONES DE ASIMETRÍA Y NO UNIFORMIDAD DEL NÚCLEO

EL GRADO DE LA DOBLE REFRACCIÓN $B_d = \left| \hat{n}_x - \hat{n}_y \right|$

\hat{n}_x = ÍNDICE MODAL EN x \hat{n}_y = ÍNDICE MODAL EN y

**SE GENERA UN INTERCAMBIO DE POTENCIA ENTRE
LOS MODOS EN “x” Y EN “y”**

LONGITUD DE PULSACIÓN

PERÍODO DEL INTERCAMBIO DE POTENCIA

$$L_B = \frac{\lambda}{B_d}$$

VALORES TÍPICOS: $B_d \approx 10^{-7}$ y $L_B \approx 10\text{m}$ para $\lambda \approx 1\mu\text{m}$
Bd=grado de la doble refracción

PUNTO DE VISTA FÍSICO:

POLARIZACIÓN LINEAL A LO LARGO DE UN EJE PRINCIPAL

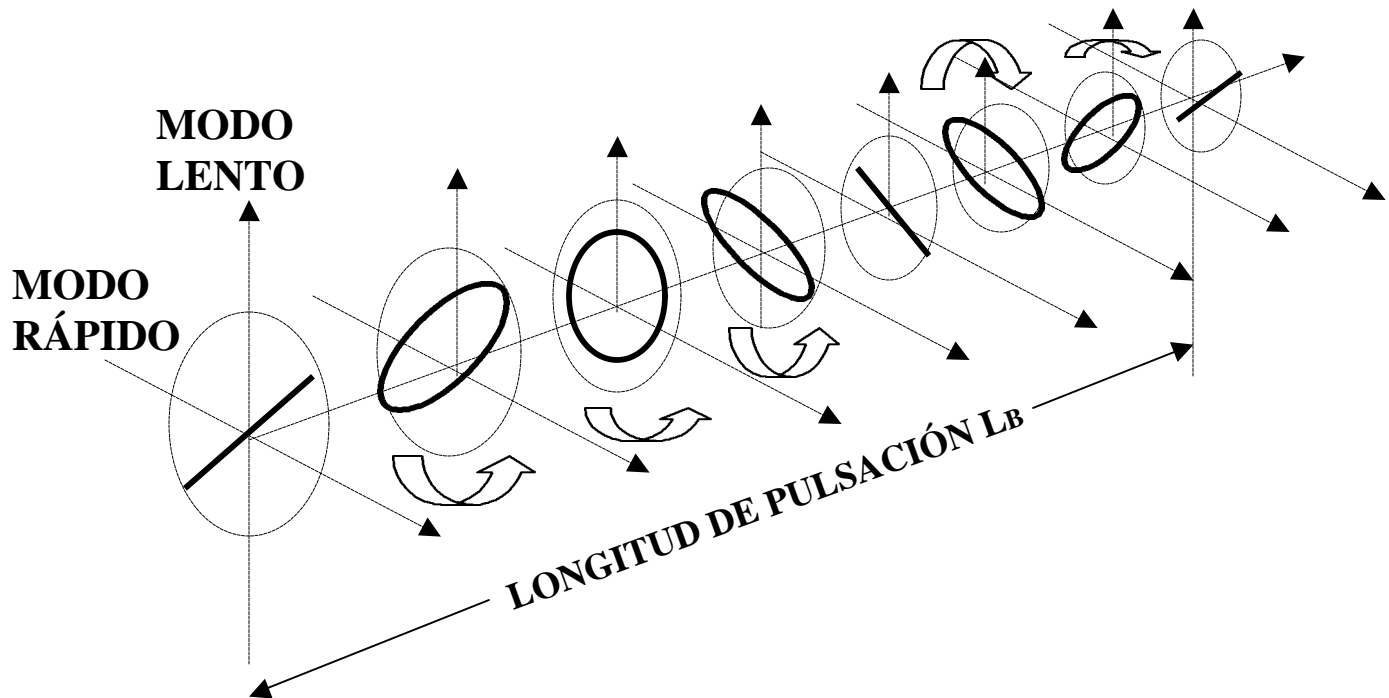
LA FIBRA REAL CAMBIA CADA L_B DE LINEAL-ELÍPTICA-LINEAL

ESTADOS DE POLARIZACIÓN EN UNA FIBRA DE DOBLE REFRACCIÓN

EJE RÁPIDO: ÍNDICE MODAL PEQUEÑO. RÁPIDA PROPAGACIÓN.

EJE LENTO: ÍNDICE MODAL GRANDE. PROPAGACIÓN LENTA.

FIGURA: CAMBIO PERIÓDICO DE LOS ESTADOS DE POLARIZACIÓN



ESTADO DE POLARIZACIÓN ARBITRARIA:

Bd NO ES CONSTANTE A LO LARGO DE LA FIBRA:

- FLUCTUACIONES EN LA FORMA DEL NÚCLEO.
- LA TENSIÓN NO UNIFORME VARÍA EL DIÁMETRO DEL NÚCLEO.

SISTEMAS CON MODULACIÓN DE INTENSIDAD DIRECTA

SON INSENSIBLES AL ESTADO DE LA POLARIZACIÓN.

RECEPTORES COHERENTES

FIBRAS ÓPTICAS CON CONSERVACIÓN DE LA POLARIZACIÓN

DISEÑO: LA FORMA Y LAS DIMENSIONES DEL NÚCLEO NO AFECTA EL ESTADO DE LA POLARIZACIÓN.

Bd=GRANDE.

•PEQUEÑAS FLUCTUACIONES DE **Bd** NO AFECTA LA POLARIZACIÓN

VALOR TÍPICO: $B_d \approx 10^{-4}$

DIMENSIÓN ACTIVA “w”:

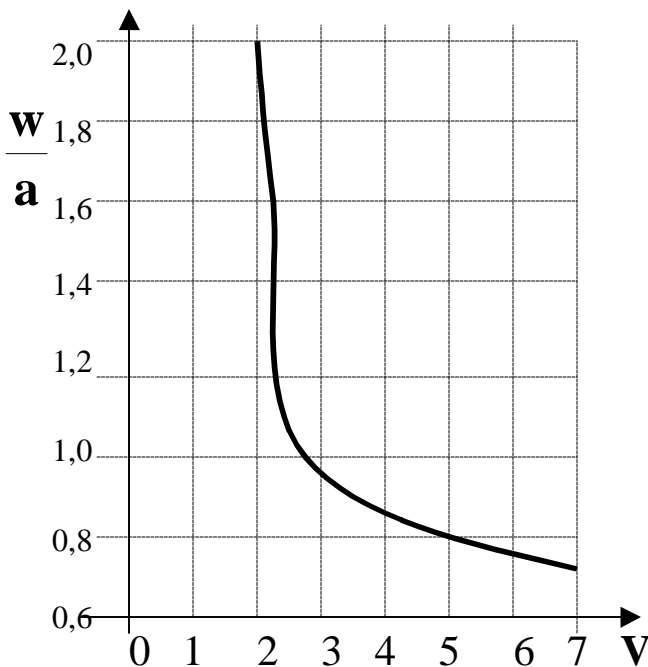
•EL USO DE E_x DE HE_{11} SE DIFICULTA.

•SE APROXIMA A UNA DISTRIBUCIÓN GAUSSIANA:

$$E_x = A e^{-\frac{\rho^2}{w^2}} \cdot e^{j\beta z}$$

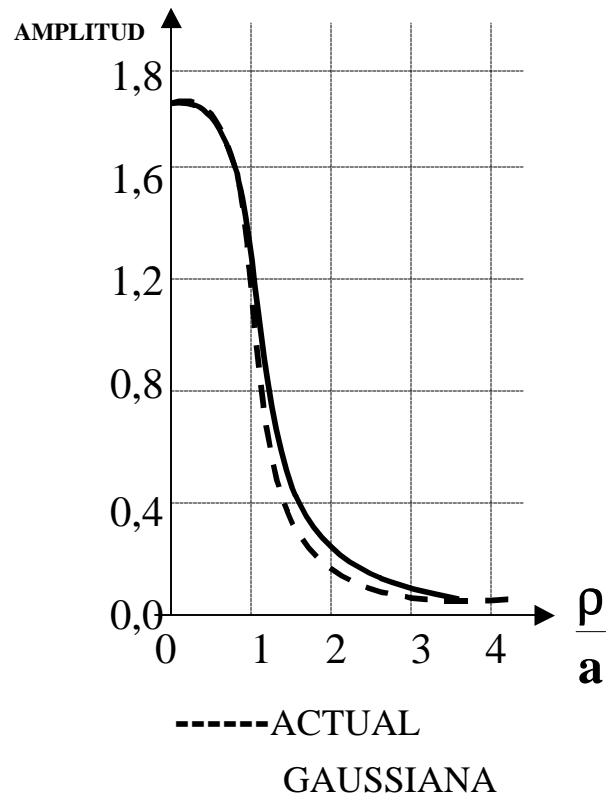
•“w” ES EL RADIO DEL CAMPO. SE TOMA COMO REFERENCIA.
SE DETERMINA AJUSTANDO LA DISTRIBUCIÓN DE GAUSS

Dependencia de la dimensión activa
normada w/a en función de V



LA CALIDAD DEL AJUSTE
ES MUY BUENA PARA: $V \approx 2$

Calidad del ajuste para $V=2,4$



DETERMINACIÓN DE LA DIMENSIÓN ACTIVA “w/a”

APROXIMACIÓN ANALÍTICA CON 1% DE EXACTITUD PARA $1,2 < V < 2,4$

$$\frac{w}{2} \approx 0,65 + 1,619V^{-\frac{3}{2}} + 2,879V^{-6}$$

FACTOR DE POTENCIA CONTENIDA EN EL NÚCLEO

FRACCIÓN DE POTENCIA TRANSPORTADA EN EL NÚCLEO

$$\Gamma = \frac{P_{\text{núcleo}}}{P_{\text{total}}} = \frac{\int_0^a |E_x|^2 \rho d\rho}{\int_0^\infty |E_x|^2 \rho d\rho} = 1 - e^{-\frac{2a^2}{w^2}}$$

EJEMPLO:

- PARA $V=2$ EL 75% DE LA POTENCIA CONTENIDA EN EL NÚCLEO.
- PARA $V=1$ EL 20% DE LA POTENCIA CONTENIDA EN EL NÚCLEO.

RANGO DE OPERACIÓN DE LAS FIBRAS MONOMODO

OPERAN EN EL RANGO: $2 < V < 2,4$

LA DISPERSIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA MONOMODO

GENERA UN ENSANCHAMIENTO DEL IMPULSO ÓPTICO DE 10ns/Km

Debido a diferentes trayectorias de las componentes espectrales

FUENTES DE LA DISPERSIÓN

- DISPERSIÓN DE LA VELOCIDAD DE GRUPO.
 - DISPERSIÓN MATERIAL
 - DISPERSIÓN DE GUÍA DE ONDA.
- DISPERSIÓN DE ÓRDENES SUPERIORES.
- DISPERSIÓN DEL MODO DE POLARIZACIÓN