

Ejercicios propuestos en clase:

Ej1) La apertura numérica de una fibra de salto de índice es 0,2 y el índice de refracción del revestimiento es 1,59. Calcular:

- a) el ángulo de aceptación de la fibra en el agua, sabiendo que el índice de refracción del agua es 1,33.
b) el ángulo crítico de la fibra.

Sol:

- a) $\alpha_c \approx 8,65^\circ$ en agua
b) $\theta_c \approx 82,8^\circ$

Ej2) Si la velocidad de la luz en el núcleo de una fibra es $2 \cdot 10^8$ m/s y el valor del ángulo crítico es de 80° , cuál es la apertura numérica y el ángulo de aceptación en aire.

Sol: NA $\approx 0,26$ $\alpha_c \approx 15,1^\circ$

Ej3) En una fibra de salto de índice con $n_1=1,46$; $n_2=1,45$ y $a=25 \mu\text{m}$, calcular el número aproximado de modos de propagación cuando opera a $0,85 \mu\text{m}$.

Sol: Nm ≈ 496 modos

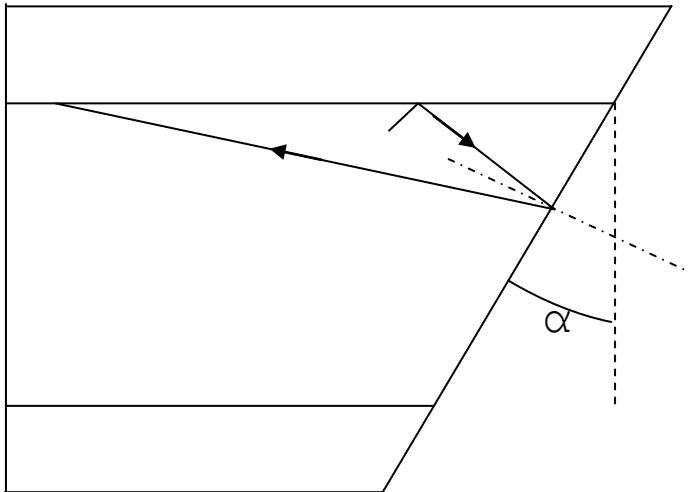
Ej4) Si una fibra óptica es monomodo a $1,3 \mu\text{m}$, ¿continuará siendo monomodo a $1,55 \mu\text{m}$?

Sol: Si, si en 2ª ventana la fibra es monomodo lo seguirá siendo en 3ª ventana.

Ej5) Calcular el radio máximo del núcleo para una fibra de salto de índice con $n_1=1,48$ y $\Delta=1,5\%$ sea monomodo a $0,85 \mu\text{m}$.

Sol: $a_{\text{MÁXIMO}}=1,269 \mu\text{m}$

Ej6) Para evitar el retorno de potencia óptica guiada se corta el final de una fibra óptica en ángulo (ver figura). Deducir cuál es el mínimo ángulo de corte, α , para que no haya potencia óptica de retorno por el núcleo (expresarlo en función del ángulo crítico, θ_c).



Sol: $\alpha > \Phi_c$ siendo Φ_c el ángulo crítico complementario

Ej7) Una fibra óptica de salto de índice tiene un índice de refracción del núcleo de 1,498 y del revestimiento de 1,495. Determinar el diámetro del núcleo para que sea monomodo en el margen de longitudes de onda entre 1,48 μm y 1,60 μm .

Sol: diámetro del núcleo < 11,96 μm

Ej8) Una fibra óptica con diámetro del núcleo de 7 μm , índice de refracción del núcleo 1,49 y una diferencia relativa de índices de refracción de 0,5% opera a 1,37 μm . Se requiere aumentar el diámetro de la fibra a 10 μm y tener operación monomodo a la misma longitud de onda. Estimar la máxima diferencia relativa de índices de refracción.

Sol: $\Delta < 0,2431\%$

Ej9) Si en una fibra de salto de índice con $V=20$ la diferencia relativa de índices de refracción se reduce a la mitad ¿qué le sucede al número de modos de propagación si el índice de refracción del núcleo permanece constante?.

Sol: Se reduce a la mitad

Ej10) Se dispone de una fuente óptica sintonizable que puede emitir una portadora óptica en el rango de $1,55 \pm 0,25 \mu\text{m}$ con una anchura espectral de 3 nm. Calcular en qué margen espectral podrá trabajar esta fuente para que cierta fibra óptica tenga comportamiento monomodo y una dispersión relativa a la de $\lambda=1,55 \mu\text{m}$ inferior al 10%, es decir,

$$|\tau(\lambda) - \tau(1,55 \mu\text{m})| \leq \frac{\tau(1,55 \mu\text{m})}{10}$$

Nota: supóngase despreciable la dispersión de guíaonda y tómese $n''(\lambda) = -\frac{0,01}{\lambda^2}$, el diámetro del núcleo 10 μm y la $NA=0,11$.

Sol: la fuente puede emitir en el margen: $1,437 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 1,722 \mu\text{m}$

Ej11) La pérdida por reflexión en la unión de dos fibras ópticas idénticas separadas por un gap de aire es 0,34 dB determinar el índice de refracción del núcleo.

Sol: $n_1 = 1,487$

Ej12) Una fibra óptica de salto de índice multimodo tiene una diferencia relativa de índices de refracción del 1% y un índice de refracción del núcleo de 1,46. Su ancho de banda óptico sobre 2,5 Km es 3,075 MHz. Determinar:

- la dispersión cromática
- suponiendo la dispersión de guíaonda despreciable, calcular la anchura espectral de la fuente usada si el coeficiente de dispersión del material a la longitud de onda de operación es 90 ps/(Km.nm)

Sol: a) $\tau_{\text{CROM}} = 2,87 \text{ ns/Km}$
b) $\Delta\lambda = 31,875 \text{ nm}$

Ej13) Considérese una fibra óptica de salto de índice que presenta un retardo por unidad de longitud debido a la dispersión del material expresado por:

$$\frac{t}{L} = A + B\lambda^2 + C\lambda^{-2} \quad (\text{s/m})$$

Donde A,B y C son constantes y λ es la longitud de onda de operación. Obtener la expresión de la dispersión del material y deducir la longitud de onda de dispersión del material nula (expresarlas en función de A,B y C).

$$\text{Sol:} \quad \tau_{MAT} = \left(2B\lambda - \frac{2C}{\lambda^3} \right) \Delta\lambda, \quad \lambda_0 = \sqrt[4]{\frac{C}{B}}$$

Ej14) Una fibra óptica con tiene una dispersión intermodal de 20 ps/Km y un coeficiente de dispersión cromática de 10 ps/(Km·nm) se utiliza para transmitir una señal óptica con codificación NRZ con una fuente óptica de anchura espectral de 1 nm. Calcular:

- El ancho de banda eléctrico y óptica de la fibra y la velocidad máxima de transmisión.
- La longitud máxima de la fibra para poder transmitir a 500 Mb/s.

Sol:

$$\text{a) } f_e = 11,85 \text{ GHz} \cdot \text{Km}, \quad f_o = 16,76 \text{ GHz} \cdot \text{Km} \quad \text{y} \quad R = 23,7 \left(\frac{\text{Gb}}{\text{s}} \cdot \text{Km} \right)$$

$$\text{b) } L_{MÁXIMA} = 47,4 \text{ Km}$$

Ej15) Una fibra de salto de índice con $n_1 = 1,5$ y $\Delta = 1\%$ transmite una señal NRZ,

- si trabaja a $0,85 \mu\text{m}$ la fibra es multimodo y se verifica que $R \cdot L \leq k_1$, siendo R la velocidad de transmisión y L la longitud de la fibra. Obtener el valor de k_1 .
- Si trabaja a $1,55 \mu\text{m}$ la fibra es monomodo y se verifica que $R^2 \cdot L \leq k_2$. Obtener el valor de k_2 . Despreciar la dispersión de guíawonda, suponer que la anchura espectral de la fuente en Hz

es $\Delta f = R = 1/T$ (siendo T el tiempo de bit) y considerar el dato $\lambda^2 \frac{d^2 n}{d\lambda^2} \Big|_{\lambda=1,55 \mu\text{m}} = -0,01$.

Sol:

$$\text{a) } k_1 = \frac{c}{2n_1 \Delta} = 10 \left(\frac{\text{Mb}}{\text{s}} \cdot \text{Km} \right)$$

$$\text{b) } k_2 = \frac{c}{2D_m \lambda^2} = 3000 \left(\left(\frac{\text{Gb}}{\text{s}} \right)^2 \cdot \text{Km} \right)$$

Ej16)

- Describir con ayuda de un diagrama de rayos simple las fibras ópticas multimodo y monomodo. Ventajas y desventajas de estos tipos de fibras ópticas como medio de transmisión.
- ¿De qué parámetros depende el número de modos de una fibra óptica?. Dada una fibra óptica en particular ¿cómo se puede reducir el número de modos que se propagan?
- El número de modos que se propaga por una fibra óptica de salto de índice a $1,3 \mu\text{m}$ es 1100. Si la fibra tiene una diferencia relativa de índices de refracción del 1% y un índice de refracción del núcleo de 1,5. Calcular el diámetro del núcleo y la longitud de onda de

corte de esta fibra. ¿Cuál debería ser como máximo este diámetro para que tuviera un comportamiento monomodo?.

- (d) Se dispone de una fibra de gradiente de índice de perfil parabólico con el mismo diámetro y misma apertura numérica axial que la del apartado anterior. Sabiendo que las pérdidas en la unión de dos fibras multimodo debido a la diferencia del perfil de índice de refracción es $L_{PI} = 10 \log \frac{\alpha_1(\alpha_2+2)}{\alpha_2(\alpha_1+2)} \text{ (dB) para } \alpha_2 < \alpha_1$,

siendo α_1 y α_2 los parámetros de perfil de la fibra transmisora y receptora respectivamente. Calcular las mínimas pérdidas en la unión de la fibra del apartado (c) a la actual. Obtener el número de modos de propagación en la fibra de gradiente de índice.

- (e) Definir la dispersión en una fibra óptica. ¿Cuál es dominante en una fibra óptica multimodo y a qué es debida?. Una fibra óptica multimodo da un ensanchamiento total de pulso de 95 ns en 5 Km. Estimar el ancho de banda óptico por unidad de longitud de esta fibra.

Sol: (a) y (b) Teoría; (c) $2a=91,495 \mu\text{m}$ y $\lambda_c=25,35 \mu\text{m}$; (d) 3 dB y 550 modos; (e) 19,73 MHz·Km

Ej17) La potencia óptica media inyectada a una fibra óptica de 8 Km es de 120 μW y a su salida se mide 3 μW , calcular la atenuación por unidad de longitud de la fibra. Si esta misma fibra óptica se utiliza en un enlace de 10 Km con empalmes de 1 dB de atenuación cada kilómetro, obtener la relación numérica entre las potencias de entrada y salida.

Sol: 2 dB/Km; $P_i/P_o=794,33$