

Master Universitario de Ingeniería en Telecomunicaciones.

81.533 Redes de Fibra Óptica – PEC1.

José Enrique Rodríguez González.

Profesores de la asignatura.

Profesor responsable:

- Dr. Pere Tuset peretuset@uoc.edu Profesores colaboradores:
 - Dr. Salvatore Spadaro sspadaro@uoc.edu
-

Presentación de la actividad.

La PEC1 consta de varios ejercicios acerca de las diferentes características de la fibra óptica. El objetivo es evaluar la capacidad de determinar parámetros de un sistema óptico (tasa de bits, ancho de banda, longitud de enlace óptico, etc.) que dependan de las características de las fibras ópticas utilizadas.

Competencias de la PEC1.

Las competencias que se trabajan total o parcialmente en esta PEC son las siguientes:

1. Capacidad de análisis de componentes y sus especificaciones para sistemas de comunicaciones guiadas y no guiadas.
 2. Capacidad para la selección de antenas, equipos y sistemas de transmisión, propagación de ondas guiadas y no guiadas, por medios electromagnéticos, de radiofrecuencia u ópticos y la correspondiente gestión del espacio radioeléctrico y asignación de frecuencias.
-

Objetivos.

1. Conocer los principios físicos que rigen la transmisión a través de una fibra óptica.
 2. Entender las limitaciones propias del canal de transmisión óptico.
 3. Identificar los distintos tipos de fibra óptica.
-

Recursos.

Para la realización de la PEC1 el material de estudio es el propio de la asignatura. Adicionalmente puede consultarse la bibliografía recomendada.

Criterios de valoración.

Puntuación: Ejercicios 100% de la nota. Hay que justificar todo lo que se haga.

Formato y fecha de entrega.

Fecha límite de entrega: 24 de octubre de 2023. Se debe entregar la PEC antes de las 24:00 horas de esta fecha a través del buzón "Entrega de actividades" de vuestra aula.

El nombre del documento deberá ser el siguiente: <nombre_usuario_uoc>_PEC1.<extensión>.
Por ejemplo, si vuestro nombre de usuario es "agarcia" y entregáis la PEC en formato .rtf, el nombre del archivo deberá ser: agarcia_PEC1.rtf.

Los formatos permitidos son .rtf, .doc y .pdf.

Todas las figuras que haya en el documento se tienen que insertar en el texto. No hay que entregar ficheros aparte.

No se aceptan entregas que sean copias escaneadas de ejercicios resueltos a mano.

Índice.

- [Enunciado del ejercicio 1.](#)
 - [Respuesta del ejercicio 1.](#)
 - [Enunciado del ejercicio 2.](#)
 - [Respuesta del ejercicio 2.1](#)
 - [Respuesta del ejercicio 2.2](#)
 - [Respuesta del ejercicio 2.3](#)
 - [Enunciado del ejercicio 3.](#)
 - [Respuesta del ejercicio 3.](#)
 - [Enunciado del ejercicio 4.](#)
 - [Respuesta del ejercicio 4.](#)
 - [Enunciado del ejercicio 5.](#)
 - [Respuesta del ejercicio 5.](#)
-

Enunciado del ejercicio 1.

Se considere un sistema por fibra óptica compuesto por un transmisor óptico, una fibra y un receptor óptico. Se asuma que la potencia óptica emitida por el transmisor es de 1 mW y que la longitud del tramo de fibra es $L = 25 \text{ Km}$.

Se plantea utilizar la segunda o la tercera ventana para la transmisión.

Determinar la potencia óptica recibida por el receptor en ambos casos.

Nota: se utilicen los datos del coeficiente de atenuación de alguna fibra óptica comercial.

[Volver al Índice](#)

Respuesta del ejercicio 1.

Para resolver el presente ejercicio, calcularemos la atenuación de la señal en la fibra óptica, cuya fórmula es:

$$P_{rx} = P_{tx} \times 10^{-\alpha L/10}$$

Donde cada uno de los valores son:

- P_{rx} es la potencia óptica recibida.
- P_{tx} es la potencia óptica transmitida.
- α es el coeficiente de atenuación.
- L es la longitud de la fibra.

Dadas las ventanas y sus coeficientes típicos, podemos encontrar el lo siguiente en la página 19 del **Módulo 1. Redes de fibra óptica (PID_00238491)** lo siguiente:

Hay tres ventanas donde la atenuación presenta valores mínimos: - En la primera ventana, entre 800 y 900 nm la atenuación es de unos dB/km. Esta ventana fue la primera que se utilizó en las comunicaciones ópticas, en la década de los 70 y 80, debido al bajo coste de los transmisores y receptores para esta ventana. - En segunda ventana, alrededor de los 1.310 nm, los valores de atenuación bajan a menos de 1 dB/km hasta llegar a 0,2-0,3 dB/km. Esta ventana empezó a ser utilizada a mediados de la década de los 80. - La tercera ventana, entre 1.510 nm y 1.600 nm, se caracteriza por el valor de atenuación mínima. A partir de finales de la década de los 90 se empezó a utilizar esta ventana, debido al elevado coste de los transmisores y los receptores.

Por otro lado en el siguiente enlace de [Wikipedia](#), podemos encontrar lo siguiente:

Medición de longitud óptica

*A efecto de realizar una medida de precisión, deberá considerarse el índice de refracción de las fibras ópticas instaladas. Dicha medida deberá ejecutarse mediante OTDR, debidamente calibrado y certificado por el fabricante o distribuidor autorizado y los valores resultantes de la medida no deberán superar, para el caso de empalmes por fusión, 0,15 dB de promedio por empalme medido bidireccionalmente, y 0,5 dB por par de conector instalado en el trayecto de la fibra a probar. **El valor teórico contemplado para pérdida de potencia por km. es de 0,35 dB para el caso de fibras medidas en segunda ventana (1310 nm) y de 0,25 dB para el caso de fibras medidas en tercera ventana (1550 nm).***

La medición deberá efectuarse con la mejor resolución posible, es decir, la distancia y el ancho de pulso deberán ser los menores posibles.

Por todo lo anteriormente expuesto en las fuentes de consulta procederé a lo indicado en wikipedia ya que presenta unos valores dentro del rango expuesto en los apuntes.

En el caso que nos acompaña, la segunda ventana, nos indica que el la longitud de onda de la segunda ventana es de 1310nm, usaremos un α de 0,35 dB/km. Aplicando la fórmula expuesta, tenemos el siguiente razonamiento:

$$P_{rx} = 1 \times 10^{-0.35 \times 25/10} \text{ mW}$$

$$\mathbf{P_{rx} = 0,133352143 \text{ mW}}$$

En el caso que nos acompaña, la tercera ventana, nos indica que el la longitud de onda de la segunda ventana es de 1550nm, usaremos un α de 0,25 dB/km.

$$P_{rx} = 1 \times 10^{-0.22 \times 25/10} \text{ mW}$$

$$\mathbf{P_{rx} = 0,281838293 \text{ mW}}$$

[Volver al Índice](#)

Enunciado del ejercicio 2.

Se diseña un sistema de transmisión basado en fibra óptica para poder dar soporte a una tasa de bits de hasta $B = 200\text{Mbps}$. Se compone de un transmisor óptico tipo láser que emite una potencia óptica $P_{tx} = -1\text{dBm}$ en tercera ventana ($\lambda_p = 1550\text{ nm}$) y con anchura espectral de emisión $\Delta\lambda = 1\text{ nm}$, una fibra óptica de tipo G.652D y un receptor óptico.

En tercera ventana la fibra presenta un coeficiente de dispersión intramodal $D = 17\text{ps}/(\text{Km} \cdot \text{nm})$ y coeficiente de atenuación de $0,25\text{dB}/\text{Km}$.

Determinar:

1. La máxima distancia a la que puede transmitirse por dispersión.
2. La potencia óptica recibida por el receptor asumiendo que la longitud de la fibra corresponde al valor máximo calculado en el apartado anterior.
3. Si la sensibilidad del receptor fuese de -24 dBm , ¿podría realizarse el sistema? ¿En el caso de que no, como podría entonces realizarse el sistema?

[Volver al Índice](#)

Respuesta del ejercicio 2.1

Para determinar la máxima distancia a la que puede transmitirse debido a la dispersión, es necesario entender primero cómo la dispersión intramodal (o dispersión cromática) afecta a la señal en una fibra óptica. La dispersión cromática es el ensanchamiento del pulso que se produce debido a la diferencia en las velocidades de propagación de las diferentes longitudes de onda que componen un pulso.

La dispersión temporal total Δt para una distancia L en kilómetros y un ancho espectral $\Delta \lambda$ en nanómetros está dada por:

$$\Delta t = D \times L \times \Delta \lambda$$

Dónde:

- Δt es el ensanchamiento del pulso debido a la dispersión (en ps).
- D es el coeficiente de dispersión intramodal (en ps/(Km·nm)).
- L es la longitud de la fibra (en Km).
- $\Delta \lambda$ es la anchura espectral de emisión (en nm).

Para determinar la máxima distancia transmitible debido a la dispersión, debemos relacionar el ensanchamiento del pulso con el tiempo de bit, que es el tiempo durante el cual se transmite un bit. El tiempo de bit (T_b) está inversamente relacionado con la tasa de bits B y se da por:

$$T_b = \frac{1}{B}$$

Dado que $B = 20B = 200Mbps$, T_b será:

$$T_b = \frac{1}{200 \times 10^6} = 5ns = 5000ps$$

La máxima dispersión tolerable Δt_{max} generalmente se toma como una fracción del tiempo de bit, pero dado que no se especifica un porcentaje en el problema, asumiremos que Δt_{max} es igual a T_b para simplificar.

Entonces, podemos reescribir la ecuación de Δt como:

$$L = \frac{\Delta t_{max}}{D \times \Delta \lambda}$$

$$L = \frac{5000ps}{17ps/(Km \cdot nm) \times 1nm} = 294,1176471 \approx 294,118Km$$

Por lo tanto, la máxima distancia a la que puede transmitirse por dispersión es aproximadamente 294.118 Km.

[Volver al Índice](#)

Respuesta del ejercicio 2.2

La potencia recibida disminuirá a medida que la señal se propague debido a la atenuación en la fibra óptica. Usando el coeficiente de atenuación $\alpha = 0,25dB/Km$, la potencia recibida P_{rx} se puede calcular como:

$$P_{rx} = P_{tx} - \alpha \times L$$

Donde:

- $P_{tx} = -1dBm$
- $L = 294,118km$

Se introducen los datos en la fórmula:

$$P_{rx} = -1dBm - 0,25dB/Km \times 294,118Km$$

$$P_{rx} = -1dBm - 73,530dB$$

$$P_{rx} = -74,530dBm$$

[Volver al Índice](#)

Respuesta del ejercicio 2.3

La sensibilidad del receptor es el valor mínimo de potencia que el receptor necesita para operar correctamente. Si la potencia óptica recibida P_{rx} es más baja que la sensibilidad del receptor, el sistema no funcionará correctamente.

Dado que $P_{rx} = -74,530dBm$ y la sensibilidad del receptor es de $-24dBm$, la potencia recibida es demasiado baja. Por lo tanto, el sistema no podría realizarse con esa longitud de fibra.

Para que el sistema funcione, hay varias soluciones posibles:

- Reducir la longitud de la fibra para reducir la atenuación.
- Usar amplificadores ópticos en el camino para aumentar la potencia de la señal.
- Mejorar el transmisor óptico para que emita una potencia mayor.
- Utilizar una fibra con un coeficiente de atenuación menor.

[Volver al Índice](#)

Enunciado del ejercicio 3.

Un sistema de transmisión por fibra óptica se compone de:

1. Un transmisor óptico que emite una potencia de -4 dBm en $\lambda_p = 1530$ nm y presenta anchura espectral de emisión de 2nm y un receptor óptico. Para la fibra óptica, cuya longitud es de $L = 125$ Km, se contemplan dos opciones:
2. fibra de tipo G.652 con coeficiente de dispersión intramodal $D = 17ps/(Km \cdot nm)$;
3. fibra de tipo G.655 con coeficiente de dispersión intramodal $D = 6ps/(Km \cdot nm)$.

Se determina que la potencia óptica recibida por el receptor tiene que ser de por lo menos -26 dBm y se pretende que el sistema pueda dar soporte a una tasa de transmisión de 200 Mbps.

Determinar la opción de fibra óptica que permite implementar el sistema.

[Volver al Índice](#)

Respuesta del ejercicio 3.

Para determinar cuál de las dos opciones de fibra óptica permite implementar el sistema, necesitamos evaluar dos aspectos: la potencia óptica recibida y la dispersión temporal.

Evaluación de la Potencia Óptica Recibida

Dado que la atenuación en la fibra óptica no se ha proporcionado, se ha buscado en internet las especificaciones relativas a cada uno de los tipos de fibra optica, obteniendose en las siguientes fuentes, los siguientes datos:

- *Fibra optica G.652:*
 - En el siguiente enlace de fiber-optical-transceivers.com se puede observar que en la tabla indica que el coeficiente de atenuación máximo es $0,4dB/km$ para 1550 nm. Asumimos ese valor tambien para 1530nm.
- *Fibra optica G.655:*
 - En el siguiente enlace de la [Union internacional de Telecomunicaciones](https://www.itu.int) se puede observar que en la tabla indica que el coeficiente de atenuación máximo es $0,35dB/km$ para 1550 nm. Asumimos ese valor tambien para 1530nm

Con estos datos, podemos comenzar a responder objetivamente a lo solicitado en el enunciado.

Para determinar la opción de fibra óptica más adecuada para implementar el sistema, debemos considerar dos factores principales:

1. Atenuación total en la longitud de la fibra óptica.
2. Dispersión total en la longitud de la fibra óptica.

1. Atenuación total en la longitud de la fibra óptica.

Para cada tipo de fibra, calculamos la atenuación total:

$$\alpha_t = \alpha \times L$$

Donde:

- α_t es la es la atenuacion total
- α es el coeficiente de atenuación.
- L es la longitud de la fibra.

La potencia recibida de la fibra se saca a partir de la fórmula:

$$P_{rx} = P_{tx} + L \times \alpha$$

Donde:

- P_{rx} es la potencia recibida.
- P_{tx} es la potencia transmitida.

Sustituyendo variables obtenemos que:

$$P_{rx} = P_{tx} + \alpha_t$$

Por tanto.

1. Fibra G.652:

- $\alpha_{tG.652} = 0,4dB/Km \times 125Km = 50dB$
- Calculamos la potencia recibida:
 - $P_{rxG.652} = (-4dBm) - 50dB = -54dBm$

2. Fibra G.655:

- $\alpha_{tG.655} = 0,35dB/Km \times 125Km = 43,75dB$
- Calculamos la potencia recibida:
 - $P_{rxG.655} = (-4dBm) - 43,75dB = -47,75dBm$

Conclusión relativo a la atenuación total en la longitud de la fibra óptica.

- Dado que la potencia óptica requerida por el receptor debe ser de por lo menos -26 dBm, ninguna de las dos fibras cumple con el criterio de atenuación para la distancia de 125 km. Sin embargo, el G.655 tiene una atenuación ligeramente menor y, por lo tanto, una potencia recibida mayor.

2. Dispersión total en la longitud de la fibra óptica.

Para calcular la dispersión temporal ($\Delta\tau$) debida a la dispersión cromática, se puede usar la siguiente fórmula:

$$\Delta\tau = D \times \Delta\lambda \times L$$

Donde:

- D es coeficiente de dispersión intramodal indicado en el enunciado.
- $\Delta\lambda$ es la anchura espectral, 2 nm en este caso indicado en el enunciado.
- L es la longitud de la fibra, 125 Km en este caso indicado en el enunciado.

Por tanto atendiendo a las dos propuestas de estudio:

1. Para la fibra G.652:

$$\Delta\tau_{G.652} = 17ps/(KM \cdot nm) \times 2nm \times 125Km = 4250ps = 4,25ns$$

2. Para la fibra G.655:

$$\Delta\tau_{G.655} = 6ps/(KM \cdot nm) \times 2nm \times 125Km = 1500ps = 1,5ns$$

Como la tasa de transmisión es de 200 Mbps, el tiempo por bit es:

$$T_b = \frac{1}{200 \times 10^6}$$

$$T_b = 5ns$$

El efecto de la dispersión cromática se manifiesta como un ensanchamiento del pulso. Para asegurarse de que no haya interferencia entre bits adyacentes, la dispersión temporal $\Delta\tau$ no debe acercarse demasiado al tiempo por bit T_b .

Comparando nuestros resultados:

- $\Delta\tau_{G652} = 4,25ns$ es claramente un valor que se acerca al tiempo por bit, indicando que la fibra G.652 podría no ser adecuada desde el punto de vista de la dispersión para la tasa de transmisión dada.
- $\Delta\tau_{G655} = 1,5ns$ es menor que el valor para G.652, pero aún representa un desafío para la transmisión a 200 Mbps a una distancia de 125 km.

Conclusión relativa a la dispersión total en la longitud de la fibra óptica.

La fibra G.655 tiene una dispersión cromática menor en comparación con la fibra G.652 y, por lo tanto, es más adecuada para la transmisión a 200 Mbps a una distancia de 125 km. Sin embargo, la dispersión en ambas fibras sigue siendo un factor a considerar, y se podrían necesitar compensaciones o técnicas especiales para asegurar una transmisión adecuada.

CONCLUSION FINAL:

Por lo tanto, si se tiene que elegir entre estas dos fibras basándonos únicamente en estos criterios, la fibra G.655 sería la opción más adecuada debido a su menor atenuación y dispersión cromática en comparación con la G.652. Sin embargo, dadas las limitaciones de ambos tipos de fibra en términos de atenuación y dispersión, puede ser necesario considerar soluciones adicionales, como amplificadores ópticos, compensadores de dispersión o técnicas de modulación avanzadas, para garantizar un rendimiento óptimo del sistema de transmisión.

[Volver al Índice](#)

Enunciado del ejercicio 4.

Un transmisor óptico de tipo láser emite en tercera ventana ($\lambda_p = 1510nm$). La potencia óptica emitida por el láser (-5 dBm) se acopla con una fibra óptica de longitud $L = 100Km$. Para la fibra se consideran dos opciones:

1. Una fibra A con diámetro de $2a = 10\mu m$, índice de refracción del núcleo $n_1 = 1,45$ y apertura numérica $NA = 0,06$. Su coeficiente de dispersión intramodal (D) es de $3ps/(Km \cdot nm)$ y el coeficiente de atenuación es de $\alpha = 0,22dB/Km$.
2. Una fibra B con los mismos diámetro, índice de refracción del núcleo y apertura numérica que la fibra del apartado anterior. Su coeficiente de dispersión intramodal (D) es de $14ps/(Km \cdot nm)$ y el coeficiente de atenuación es de $\alpha = 0,24dB/Km$.

Deducir la máxima anchura espectral de emisión ($\Delta\lambda$) del láser para permitir la transmisión con una tasa de bits de $B = 100Mbps$.

Nota: Se asuma que la sensibilidad del receptor es de -25 dBm.

[Volver al Índice](#)

Respuesta del ejercicio 4.

Para determinar la máxima anchura espectral de emisión ($\Delta\lambda$) del láser para permitir la transmisión con una tasa de bits $B = 100 \text{ Mbps}$, necesitamos considerar dos factores: la atenuación y la dispersión de la fibra óptica.

1. Atenuación:

Primero, calculemos la atenuación total para cada fibra óptica. La atenuación total se obtiene multiplicando el coeficiente de atenuación α por la longitud L :

1. Para la fibra A:

$$\alpha_{ta} = \alpha_a \times L = 0,22 \text{ dB/Km} \times 100 \text{ Km} = 22 \text{ dB}$$

2. Para la fibra B:

$$\alpha_{tb} = \alpha_b \times L = 0,24 \text{ dB/Km} \times 100 \text{ Km} = 24 \text{ dB}$$

Luego, la potencia en el extremo receptor para cada fibra es:

$$P_{rx} = P_{tx} - \alpha_t$$

Donde:

$$P_{tx} = -5 \text{ dBm}$$

Se coliga que:

1. Para la fibra A:

$$P_{rxA} = -5 \text{ dBm} - 22 \text{ dB} = -27 \text{ dBm}$$

2. Para la fibra B:

$$P_{rxB} = -5 \text{ dBm} - 24 \text{ dB} = -29 \text{ dBm}$$

Dado que la sensibilidad del receptor es de -25 dBm, tanto la fibra A como la B exceden la sensibilidad del receptor, lo que significa que no se recibiría señal en ninguno de los casos solo considerando la atenuación.

2. Dispersión:

Para que el sistema transmita a 100 Mbps, la dispersión temporal debida al ensanchamiento espectral del láser no debe exceder el tiempo de bit (T_b):

$$T_b = \frac{1}{B} = \frac{1}{100 \times 10^6} = 10^{-8} \text{ s} = 10 \text{ ns}$$

El ensanchamiento temporal debido a la dispersión intramodal en la fibra se da por:

$$\Delta t = D \times \Delta\lambda \times L$$

Para garantizar una transmisión adecuada, Δt no debe de ser mayor que T_b , por tanto:

$$\Delta t \leq T_b$$

Despejamos $\Delta\lambda$ de la ecuación de dispersión:

$$\Delta\lambda \leq \frac{T_b}{D \times L}$$

Sustituimos $T_b = 10ns$ y $L = 100Km$ para cada fibra.

1. Para la fibra A:

$$\begin{aligned} \circ \Delta\lambda_A &\leq \frac{10 \times 10^{-9} s}{3 \times 10^{-12} s / (km \times nm) \times 100 Km} \\ \circ \Delta\lambda_A &\leq 0,333 nm \end{aligned}$$

2. Para la fibra B:

$$\begin{aligned} \circ \Delta\lambda_B &\leq \frac{10 \times 10^{-9} s}{14 \times 10^{-12} s / (km \times nm) \times 100 Km} \\ \circ \Delta\lambda_B &\leq 0,0714 nm \end{aligned}$$

Así que, para mantener una tasa de bits de $B=100$ Mbps y no exceder el tiempo de bit debido a la dispersión:

- La máxima anchura espectral del láser debería ser menor o igual a 0,333 nm para la fibra A.
- La máxima anchura espectral del láser debería ser menor o igual a 0,0714 nm para la fibra B.

3. Conclusiones finales:

1. Relativo a la atenuación:

- Ambas fibras (A y B) experimentan una atenuación significativa a lo largo de su longitud de 100 Km. En particular, la atenuación total para la fibra A es de 22 dB y para la fibra B es de 24 dB.
- Al considerar la potencia óptica emitida por el láser (-5 dBm) y la atenuación total de cada fibra, encontramos que la potencia en el extremo receptor excede la sensibilidad del receptor (-25 dBm) en ambos casos. Específicamente, la potencia recibida para la fibra A es de -27 dBm y para la fibra B es de -29 dBm. Esto indica que la señal se debilitará demasiado para ser detectada adecuadamente por el receptor, solo considerando la atenuación.

2. Relativo a la dispersión:

- La dispersión es un factor crítico cuando se considera la anchura espectral de la fuente de luz y la tasa de transmisión de datos. Para garantizar una transmisión adecuada a 100 Mbps, la dispersión temporal no debe exceder el tiempo de bit (10 ns).
- Basándonos en la dispersión, el láser debe tener una anchura espectral de 0,333 nm o menos para la fibra A y de 0,0714 nm o menos para la fibra B para mantener la tasa de bits de 100 Mbps.

3. Comparación de fibras:

- Aunque la fibra A tiene una tasa de atenuación ligeramente menor en comparación con la fibra B, la fibra B presenta una dispersión mucho mayor. Esto limita significativamente la anchura espectral que el láser puede tener cuando se utiliza con la fibra B en comparación con la fibra A.

- La elección entre las fibras dependería de las prioridades del sistema. Si se prioriza la minimización de la dispersión (y se dispone de una fuente de luz con una anchura espectral muy estrecha), la fibra A sería preferible. Por otro lado, si la atenuación es una preocupación principal y se pueden implementar soluciones para manejar la dispersión, como regeneradores o amplificadores, la fibra A podría ser más adecuada debido a su menor atenuación.
- Es posible que se necesiten soluciones adicionales, como amplificadores ópticos o regeneradores, para superar los problemas de atenuación y dispersión, especialmente en enlaces de larga distancia.

[Volver al Índice](#)

Enunciado del ejercicio 5.

En un sistema de transmisión por fibra, se dispone de una fuente óptica sintonizable con $\lambda_p = 1,25 \pm 0,5 \mu m$ y anchura espectral de emisión de 1 nm. La fibra óptica, de longitud $L = 88 Km$ presenta un coeficiente de dispersión intramodal que puede expresarse como $D = \frac{\lambda}{c} \cdot \frac{d^2 \lambda}{dn^2}$ siendo $\frac{d^2 \lambda}{dn^2}$ la derivada segunda de λ con respecto al índice de refracción que, en este caso, puede aproximarse con la expresión $\frac{d^2 \lambda}{dn^2} = \frac{0,01}{\lambda^2}$.

La fibra presenta también un diámetro del núcleo de 10 μm , índice de refracción del núcleo $n_1 = 1,45$ y apertura numérica (NA) de 0,1.

Se pretende poder transmitir una tasa de bits hasta los 250Mbps.

Determinar el rango de valores en que puede variar λ_p para asegurar los requerimientos del sistema.

[Volver al Índice](#)

Respuesta del ejercicio 5.

Para resolver el ejercicio planteado, vamos a determinar el rango de valores en que puede variar λ_p para asegurar los requerimientos del sistema.

La dispersión temporal Δt debida a la dispersión cromática en una fibra óptica de longitud L se puede expresar como:

$$\Delta t = D \times \Delta \lambda \times L$$

Donde:

- $\Delta \lambda$ es la anchura espectral de emisión. En este caso, $\Delta \lambda = 1 nm$.
- D es el coeficiente de dispersión intramodal.
- L es la longitud de la fibra.

El coeficiente de dispersión intramodal D es:

$$D = \frac{\lambda}{c} \times \frac{d^2 \lambda}{dn^2}$$

Dado que:

$$\frac{d^2 \lambda}{dn^2} = \frac{0,01}{\lambda^2}$$

La dispersión temporal se puede reescribir como:

$$\Delta t = \frac{\lambda}{c} \times \frac{0,01}{\lambda^2} \times \Delta \lambda \times L$$

$$\Delta t = \frac{0,01 \times L \times \Delta \lambda}{c \times \lambda}$$

Para que la transmisión sea efectiva, el pulso transmitido no debe solaparse con los pulsos adyacentes. Por lo tanto, la dispersión temporal $\Delta \lambda$ debe ser menor que el intervalo de tiempo entre bits, T_b , que es el inverso de la tasa de bits:

$$T_b = \frac{1}{250 \times 10^6}$$

Ahora, recordemos que se nos ha dado $\lambda_p = 1,25 \pm 0,5 \mu m$, lo que significa que el rango de longitudes de onda está entre $0,75 \mu m$ y $1,75 \mu m$.

Usando la relación anterior, podemos encontrar el rango permitido para λ dentro de este intervalo que cumple con la condición de dispersión temporal.

Para ello, sustituimos los valores conocidos:

- $L = 88 Km = 88 \times 10^3 m$
- $\Delta \lambda = 1 nm = 1 \times 10^{-9} m$
- $c \approx 3 \times 10^8 m/s$

Realizando estos cálculos para el rango dado λ_p , determinaremos el intervalo en el que λ cumple con los requerimientos del sistema.

Vamos a realizar el cálculo para determinar el intervalo de λ .

Tenemos:

$$\Delta t = \frac{0,01 \times L \times \Delta \lambda}{c \times \lambda}$$

$$T_b = \frac{1}{250 \times 10^6}$$

Como:

$$\Delta t < T_b$$

Procedemos a introducir valores en la inecuación.

$$\frac{0,01 \times 88 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-9}}{3 \times 10^8 \times \lambda} < \frac{1}{250 \times 10^6}$$

$$0,01 \times 88 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-9} < \lambda \times \frac{3 \times 10^8}{250 \times 10^6}$$

$$\frac{3 \times 10^8}{250 \times 10^6} = 1,2$$

$$0,01 \times 88 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-9} = 8,8 \times 10^{-7}$$

$$\frac{8,8 \times 10^{-7}}{1,2} < \lambda$$

$$\lambda > 7,33 \times 10^{-7}$$

$$\lambda > 0,733 \mu m$$

como sabemos que $\lambda_p = 1,25 \pm 0,75 \mu m$.

Es decir:

$$\lambda_p = [0,75; 1,75] \mu m$$

Como $0,7333 \mu m$ es menor que $0,75 \mu m$, el valor mas bajo de λ_p cumple con los requisitos.
Por tanto el rango completo de λ_p es aceptable.

Por tanto , para asegurar los requerimientos del sistema, λ puede variar en el rango $[0,75; 1,75] \mu m$.

[Volver al Índice](#)
