

Master Universitario de Ingeniería en Telecomunicaciones.

81.533 Redes de Fibra Óptica - PEC2.

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 PEC2 consta de varios ejercicios acerca de las diferentes características de los transmisores ópticos. El objetivo es evaluar la capacidad de determinar parámetros de un sistema óptico (tasa de bits, ancho de banda) que dependan de las características de los transmisores ópticos utilizados.

Competencias.

Las competencias del grado/máster 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 emisión de potencia óptica.
 2. Entender las limitaciones propias de los transmisores ópticos.
 3. Identificar los distintos tipos de fuentes ópticas.
-

Recursos.

Para la realización de la PEC2 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: 14 de noviembre 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>_PEC2.<extensión>. Por ejemplo, si vuestro nombre de usuario es "agarcia" y entregáis la PEC en formato .rtf, el nombre del archivo deberá ser: agarcia_PEC2.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.](#)
 - [Ejercicio 1.](#)
 - [Respuesta al ejercicio 1.](#)
 - [Ejercicio 2.](#)
 - [Respuesta al ejercicio 2.](#)
 - [Ejercicio 3.](#)
 - [Respuesta al ejercicio 3.](#)
 - [Ejercicio 4.](#)
 - [Respuesta al ejercicio 4.](#)
 - [Ejercicio 5.](#)
 - [Respuesta al ejercicio 5.](#)
-

Enunciado.

PEC2: Transmisores ópticos

[Volver al índice.](#)

Ejercicio 1.

Se considere un sistema de transmisión por fibra óptica que se ha diseñado para soportar una tasa de bits (B) de hasta 622 Mbps.

El transmisor emite potencia óptica en tercera ventana y el número de modos de oscilación es $N_m = 3$. El índice de refracción del material semiconductor es $n_{sc} = 4$ y la longitud de la cavidad óptica resonante es $L = 280 \mu\text{m}$.

Por otro lado, la fibra óptica tiene una longitud $L_f = 45 \text{ Km}$, coeficiente de dispersión intramodal $D = 6 \text{ ps}/(\text{Km}\cdot\text{nm})$ y longitud de onda de corte $\lambda_c = 1300 \text{ nm}$.

Calcular el valor de las diferentes longitudes de onda emitidas por el transmisor láser.

[Volver al índice.](#)

Respuesta al ejercicio 1.

Para calcular las longitudes de onda emitidas por el transmisor láser en un sistema de transmisión por fibra óptica, podemos usar la fórmula de la longitud de onda de los modos en una cavidad resonante:

$$\lambda_n = \frac{2n_{sc} \cdot L}{m} \text{ Donde:}$$

- λ_n es la longitud de onda del modo m .
- n_{sc} es el índice de refracción del material semiconductor.
- L es la longitud de la cavidad óptica resonante.
- m es el número del modo de oscilación, que varía de 1 a N_m (en este caso, hasta 3).

Dado que el índice de refracción del semiconductor (n_{sc}) es 4 y la longitud de la cavidad óptica resonante (L) es 280 μm (micrómetros), vamos a calcular las longitudes de onda para los tres modos de oscilación ($m = 1; 2; 3$).

Aplicamos Python para ejecutar los cálculos.

```
# Datos dados
n_sc = 4 # Índice de refracción del material semiconductor
L = 280e-6 # Longitud de la cavidad óptica resonante en metros (280 micrómetros)

# Calculo de las longitudes de onda para los modos m = 1, 2, 3
lambda_m1 = (2 * n_sc * L) / 1 # Longitud de onda para el modo 1
lambda_m2 = (2 * n_sc * L) / 2 # Longitud de onda para el modo 2
lambda_m3 = (2 * n_sc * L) / 3 # Longitud de onda para el modo 3

print(lambda_m1, lambda_m2, lambda_m3)
```

Respuesta de la consola:

```
(0.00224, 0.00112, 0.0007466666666666666)
```

Por todo lo anterior, las longitudes de onda emitidas por el transmisor láser para los diferentes modos de oscilación son:

- Para el modo 1 ($m = 1$): $\lambda_{m1} = 2,24\text{mm}$.
- Para el modo 2 ($m = 2$): $\lambda_{m2} = 2,24\text{mm}$.
- Para el modo 3 ($m = 3$): $\lambda_{m1} = 0,747\text{mm}$.

[Volver al índice.](#)

Ejercicio 2.

Un sistema de transmisión por fibra óptica incluye un transmisor que emite en tercera ventana una potencia de -1 dBm, una fibra y un receptor óptico. El transmisor presenta una anchura espectral de emisión de 2 nm. Para la fibra, se plantean dos tipos:

1. Una tiene un coeficiente de atenuación de 0,2 dB/km y dispersión intramodal de 16 ps/km a 1510 nm.
2. Otra con coeficiente de atenuación de 0,23 dB/km y dispersión intramodal de 4 ps/km a 1510 nm.

El sistema se diseña para transmisión digital NRZ que opera a 155 Mbit/s y la sensibilidad del receptor (mínima potencia a recibir para conseguir un sistema de transmisión válido) de -30 dBm.

Determinar cuál debe ser la longitud de cada una de las fibras para que el sistema sea viable.

[Volver al índice.](#)

Respuesta al ejercicio 2.

Para determinar la longitud máxima viable de cada tipo de fibra óptica en el sistema descrito, debemos considerar tanto la atenuación como la dispersión. La longitud máxima se limita por la menor de las dos restricciones.

Cálculo de la Longitud Máxima por Atenuación.

La atenuación total en dB no puede exceder la diferencia entre la potencia del transmisor y la sensibilidad del receptor. Se calcula como:

Atenuación total = Potencia del transmisor – Sensibilidad del receptor.

Atenuación total = $-1 - (-30)$.

Atenuación total = 29dB .

Para cada tipo de fibra:

- Fibra 1:

$$\begin{aligned} \circ \text{Longitud}_1 &= \frac{\text{Atenuación}}{\text{Coeficiente de atenuación}} \\ \circ \text{Longitud}_1 &= \frac{\text{Atenuación}}{\text{Coeficiente de atenuación}} \\ \circ \text{Longitud}_1 &= 145\text{Km}. \end{aligned}$$

- Fibra 2:

$$\begin{aligned} \circ \text{Longitud}_2 &= \frac{\text{Atenuación}}{\text{Coeficiente de atenuación}} \\ &= \frac{29\text{dB}}{0,23\text{dB/Km}} \\ \circ \text{Longitud}_2 &= 126,087\text{Km}. \end{aligned}$$

Cálculo de la Longitud Máxima por Dispersión.

La dispersión limita la longitud debido al ensanchamiento de los pulsos. Se calcula como:

$$\bullet \text{ Ancho de banda} = \frac{1}{2 \times \text{Tiempo de subida}}.$$

Para señales NRZ, el tiempo de subida es aproximadamente igual a la mitad del período del bit, es decir, $\frac{1}{2 \times \text{Tasa de bits}}$.

- Tasa de bits: 155Mbit/s .
- Período de bit: $\frac{1}{155 \times 10^6} \text{ s}$.

El tiempo de subida es entonces $\frac{1}{2 \times 155 \times 10^6} \text{ s}$.

La dispersión máxima tolerable será el inverso del ancho de banda.

Luego, para cada fibra:

$$\text{Fibra 1: } Longitud_{MAX1} = \frac{\text{Dispersión máxima 1}}{\text{Dispersión intramodal 1}}.$$

$$\text{FFibra 2: } Longitud_{MAX2} = \frac{\text{Dispersión máxima 2}}{\text{Dispersión intramodal 2}}.$$

Resolución

Voy a calcular la longitud máxima permitida por atenuación y dispersión para cada tipo de fibra. La longitud más corta de las dos será la longitud máxima viable para esa fibra.

La longitud máxima viable para cada tipo de fibra en el sistema de transmisión por fibra óptica, considerando tanto la atenuación como la dispersión, es la siguiente:

He desarrollado los cálculos en python quedando el código de la siguiente manera:

```
# Datos proporcionados
potencia_transmisor_dbm = -1 # dBm
sensibilidad_receptor_dbm = -30 # dBm
tasa_bits = 155e6 # 155 Mbit/s

# Coeficientes de atenuación (dB/km) y dispersión intramodal (ps/km)
para cada fibra
coef_atenuacion_1 = 0.2 # dB/km
dispersion_intramodal_1 = 16 # ps/km
coef_atenuacion_2 = 0.23 # dB/km
dispersion_intramodal_2 = 4 # ps/km

# Cálculo de la atenuación total permitida
atenuacion_total_permitida = potencia_transmisor_dbm -
sensibilidad_receptor_dbm # dB

# Longitud máxima por atenuación
long_max_atenuacion_1 = atenuacion_total_permitida / coef_atenuacion_1
# km
long_max_atenuacion_2 = atenuacion_total_permitida / coef_atenuacion_2
# km

# Cálculo del tiempo de subida (aproximadamente la mitad del período
del bit)
tiempo_subida = 1 / (2 * tasa_bits) # s

# Ancho de banda debido al tiempo de subida
ancho_banda = 1 / (2 * tiempo_subida) # Hz

# Dispersión máxima tolerable (ps)
dispersion_maxima = 1 / ancho_banda * 1e12 # ps

# Longitud máxima por dispersión
long_max_dispersion_1 = dispersion_maxima / dispersion_intramodal_1 #
km
long_max_dispersion_2 = dispersion_maxima / dispersion_intramodal_2 #
km

# Longitud máxima viable para cada fibra (menor de las dos
restricciones)
```

```
long_max_viable_1 = min(long_max_atenuacion_1, long_max_dispersion_1)
long_max_viable_2 = min(long_max_atenuacion_2, long_max_dispersion_2)

print("long_max_atenuacion_1: ", long_max_atenuacion_1)
print("long_max_dispersion_1: ", long_max_dispersion_1)
print(" ")
print("long_max_atenuacion_2: ", long_max_atenuacion_2)
print("long_max_dispersion_2: ", long_max_dispersion_2)
print(" ")
print("SOLUCIÓN: ")
print("long_max_viable_1: ", long_max_viable_1)
print("long_max_viable_2: ", long_max_viable_2)
```

La respuesta de la consola es la siguiente:

```
long_max_atenuacion_1: 145.0
long_max_dispersion_1: 403.22580645161287

long_max_atenuacion_2: 126.08695652173913
long_max_dispersion_2: 1612.9032258064515

SOLUCIÓN:
long_max_viable_1: 145.0
long_max_viable_2: 126.08695652173913
```

CONCLUSIÓN

- Para la fibra 1, con un coeficiente de atenuación de 0,2 dB/km y dispersión intramodal de 16 ps/km, la longitud máxima viable es de 145 km.
- Para la fibra 2, con un coeficiente de atenuación de 0,23 dB/km y dispersión intramodal de 4 ps/km, la longitud máxima viable es de aproximadamente 126,1 km.
- En ambos casos, la longitud máxima está determinada por la limitación de la atenuación.

[Volver al índice.](#)

Ejercicio 3.

Un sistema de transmisión óptico utiliza una fuente óptica de tipo LED que emite en tercera ventana ($\lambda_p = 1550$ nm), una fibra y un receptor. El LED presenta un tiempo de vida de los portadores (τ) de 10 ns y se modula a la máxima tasa de bits permitida. La longitud del enlace de fibra óptica es de $L = 55$ Km. La fibra óptica utilizada presenta coeficiente de dispersión intramodal $D = 16$ ps/(Km·nm) y su longitud de onda de corte es $\lambda_c = 1300$ nm.

Se determine la anchura espectral de emisión del LED para que el sistema soporte la tasa de bits.

[Volver al índice.](#)

Respuesta al ejercicio 3.

Para determinar la anchura espectral de emisión del LED que permita al sistema soportar la máxima tasa de bits, debemos considerar varios factores como la dispersión intramodal de la fibra óptica, la longitud de onda de operación y el tiempo de vida de los portadores del LED.

Primero, determinamos la tasa de bits máxima (B) que se puede lograr con el LED, basándonos en su tiempo de vida de los portadores (τ). La tasa de bits máxima viene dada por la relación:

$$B_{max} = \frac{1}{2\tau}$$

Luego, calculamos la dispersión total (D_{total}) en el enlace de fibra óptica, que se puede obtener como el producto del coeficiente de dispersión intramodal (D) por la longitud del enlace (L):

$$D_{total} = D \times L$$

Finalmente, usamos la relación entre la dispersión total, la tasa de bits máxima y la anchura espectral ($\Delta\lambda$) para determinar la anchura espectral máxima permitida. La relación es:

$$\Delta\lambda \leq \frac{1}{B_{max} \times D_{total}}$$

Ahora, vamos a realizar estos cálculos mediante el siguiente código de python:

```
# Definiendo Los valores dados
tau = 10 * 10**-9 # Tiempo de vida de Los portadores en segundos (10
ns)
L = 55 # Longitud de La fibra óptica en kilómetros
D = 16 * 10**-12 # Coeficiente de dispersión intramodal en ps/(km·nm)

# Calculando la tasa de bits máxima
B_max = 1 / (2 * tau) # en bits por segundo (bps)

# Calculando la dispersión total
D_total = D * L # en ps/nm

# Calculando la anchura espectral máxima permitida
Delta_lambda_max = 1 / (B_max * D_total) # en nm

print("B_max: ", B_max)
print("Delta_lambda_max: ", Delta_lambda_max)
```

Siendo la respuesta de la consola lo siguiente:

```
B_max: 50000000.0
Delta_lambda_max: 22.72727272727273
```

CONCLUSIÓN

La tasa de bits máxima que puede lograr el sistema con el LED es de aproximadamente 50 Mbps (megabits por segundo). Para que el sistema soporte esta tasa de bits, la anchura espectral de emisión del LED debe ser menor o igual a aproximadamente 22.73 nm.

[Volver al índice.](#)

Ejercicio 4.

Se pretende desplegar un sistema de transmisión por fibra óptica que soporte una tasa de bits $B = 100$ Mbps, usando codificación de tipo NRZ. El sistema se compone de un transmisor óptico de tipo LED que emite una potencia óptica $P_{TX} = -15$ dBm en $\lambda_p = 1330$ nm. y anchura espectral de emisión $\Delta\lambda = 20$ nm; la fibra óptica es de tipo G.652 con coeficiente de dispersión intramodal $D = 4$ ps/(Km·nm) y coeficiente de atenuación en tercera ventana $\alpha = 0,34$ dB/Km.

1. Determinar la máxima distancia (L_{max}) a la cual se puede transmitir, considerando que la sensibilidad del receptor es de -26 dBm.
2. Determinar la anchura espectral de emisión del LED para garantizar poder transmitir en el enlace de longitud L_{max} .

Para realizar el mismo sistema, se plantea también usar un transmisor de tipo LASER que emite en $\lambda_p = 1520$ nm; para el enlace de longitud L_{max} , se plantea usar la misma fibra, que presenta un coeficiente de dispersión intramodal $D = 18$ ps/(Km·nm) en tercera ventana.

3. Determinar la anchura espectral del LASER para realizarse el sistema, manteniendo los requerimientos.

[Volver al índice.](#)

Respuesta al ejercicio 4.

He dividido ese ejercicio en tres apartados para una mejor resolución:

APARTADO 1.

En respuesta al apartado 1, para determinar la máxima distancia L_{max} a la que se puede transmitir en un sistema de fibra óptica con las especificaciones dadas, debemos considerar tanto la atenuación de la señal como la dispersión de la misma. Vamos a resolver esto en dos partes: primero calcularemos la distancia máxima basada en la atenuación y luego verificaremos si la dispersión impone un límite más restrictivo.

Cálculo de la distancia máxima basada en la atenuación.

La fórmula para la atenuación en una fibra óptica es:

$$P_{RX} = P_{TX} - 10 \times \log_{10}(e) \times \alpha \times L$$

donde:

- P_{RX} es la potencia del transmisor, en este caso, -15 dBm.
- P_{TX} es la sensibilidad del receptor, en este caso, -26 dBm.
- α es el coeficiente de atenuación, 0,34 dB/Km.
- L es la longitud de la fibra óptica en kilómetros.

Resolviendo para L , obtenemos:

$$L = \frac{P_{TX} - P_{RX}}{10 \times \log_{10}(e) \times \alpha}$$

Cálculo de la distancia máxima basada en la dispersión.

La dispersión intramodal, que afecta principalmente a las fibras multimodo, puede limitar la distancia de transmisión debido a la distorsión del pulso. Sin embargo, como la fibra especificada es del tipo G.652, que es monomodo, la dispersión cromática puede ser el factor limitante principal.

La dispersión cromática se calcula como:

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

donde:

- D es el coeficiente de dispersión intramodal, 4 ps/(Km·nm).
- $\Delta \lambda$ es la anchura espectral de emisión, 20 nm.

El tiempo de dispersión ΔT no debe exceder el tiempo de bit T_b , que para una tasa de 100 Mbps es $T_b = \frac{1}{B} = \frac{1}{100 \times 10^6}$ s. Por lo tanto:

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

Compararemos los límites de distancia obtenidos por atenuación y dispersión y tomaremos el menor como la distancia máxima de transmisión.

Realizaremos los cálculos con según el siguiente código de python

```
import math

# Constantes y parámetros dados
P_TX = -15 # dBm (potencia del transmisor)
P_RX = -26 # dBm (sensibilidad del receptor)
alpha = 0.34 # dB/Km (coeficiente de atenuación)
D = 4 # ps/(Km.nm) (coeficiente de dispersión intramodal)
delta_lambda = 20 # nm (anchura espectral de emisión)
B = 100 * 10**6 # 100 Mbps (tasa de bits)

# Cálculo de la Longitud máxima basada en la atenuación
L_attenuation = (P_TX - P_RX) / (10 * math.log10(math.e) * alpha)

# Cálculo de la Longitud máxima basada en la dispersión
T_b = 1 / B # tiempo de bit
L_dispersion = T_b / (D * delta_lambda) * 10**12 # Convertimos ps a s

# Distancia máxima de transmisión
L_max = min(L_attenuation, L_dispersion)

print("L_attenuation: ", L_attenuation)
print("L_dispersion: ", L_dispersion)
print("L_max: ", L_max)
```

La respuesta de la terminal es la siguiente:

```
L_attenuation: 7.449540006745441
L_dispersion: 125.00000000000001
L_max: 7.449540006745441
```

Como interpretación a los datos, la distancia máxima de transmisión basada en la atenuación es de aproximadamente 7.45 km, mientras que el límite impuesto por la dispersión sería de aproximadamente 125 km. Sin embargo, dado que debemos tomar el valor más restrictivo de estos dos, la máxima distancia a la cual se puede transmitir en este sistema de fibra óptica es de alrededor de 7.45 km.

APARTADO 2.

En respuesta al presente apartado, para determinar la anchura espectral de emisión del LED ($\Delta\lambda$) que garantiza la transmisión en el enlace de longitud L_{max} , debemos considerar cómo la dispersión cromática afecta la transmisión. La distancia máxima de transmisión basada en la

atenuación ya la hemos calculado como aproximadamente 7.45 km. Ahora, necesitamos asegurarnos de que la dispersión no sea un factor limitante a esta distancia.

Como ya hemos indicado en el apartado anterior, la dispersión cromática se calcula como:

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

Para evitar que la dispersión sea un problema, el tiempo de dispersión (ΔT) no debe exceder el tiempo de bit (T_b), que para una tasa de 100 Mbps es $T_b = \frac{1}{B} = \frac{1}{100 \times 10^6}$ s. Por lo tanto:

$$\Delta T \leq T_b$$

$$D \times \Delta \lambda \times L \leq T_b$$

Despejamos $\Delta \lambda$:

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

Vamos a calcular esto usando el valor de L_{max} mediante el siguiente código de python usando el los datos del código del apartado anterior:

```
# Longitud máxima de transmisión calculada anteriormente
L_max = 7.449540006745441 # en km

# Cálculo de la anchura espectral máxima del LED
delta_lambda_max = T_b / (D * L_max) * 10**12 # Convertimos ps a s
para la unidad de delta_lambda

print("delta_lambda_max: ", delta_lambda_max)
```

La respuesta de la consola es la siguiente:

```
delta_lambda_max: 335.59119056160375
```

Como interpretación del código expuesto, la anchura espectral de emisión del LED ($\Delta \lambda$) necesaria para garantizar la transmisión en un enlace de longitud L_{max} de aproximadamente 7.45 km es de alrededor de 335.6 nm. Esto significa que para mantener la dispersión cromática dentro de límites aceptables y no exceder el tiempo de bit para una tasa de 100 Mbps, el LED debería tener una anchura espectral de emisión no mayor a 335.6 nm.

APARTADO 3.

En respuesta al presente apartado, para determinar la anchura espectral del láser que se necesita para mantener los requerimientos del sistema, debemos seguir un enfoque similar al utilizado para el LED, pero esta vez considerando el nuevo coeficiente de dispersión intramodal D para la tercera ventana, que es de 18 ps/(Km·nm), y el hecho de que el láser emite en $\lambda_p = 1520$ nm.

La fórmula clave sigue siendo la misma:

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

Usando el mismo razonamiento que el apartado anterior, obtenemos:

$$D \times \Delta \lambda \times L \leq T_b$$

Y volviendo a despejar $\Delta \lambda$, se obtiene:

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

Usaremos el valor de L_{max} calculado anteriormente y el nuevo valor de D para el láser. Vamos a realizar este cálculo.

Añadimos el siguiente código de python para resolver los cálculos

```
# Nuevo coeficiente de dispersión intramodal para el LASER
D_laser = 18 # ps/(Km·nm)

# Cálculo de la anchura espectral máxima del LASER
delta_lambda_laser_max = T_b / (D_laser * L_max) * 10**12 #
Convertimos ps a s para la unidad de delta_lambda

print("delta_lambda_laser_max: ", delta_lambda_laser_max)
```

La respuesta de la consola en este caso es:

```
delta_lambda_laser_max: 74.57582012480081
```

Como interpretación y conclusión del código expuesto en el presente apartado, La anchura espectral del láser necesaria para mantener los requerimientos del sistema y garantizar la transmisión en un enlace de longitud L_{max} de aproximadamente 7.45 km es de alrededor de 74.58 nm. Esto significa que, para evitar que la dispersión cromática exceda el tiempo de bit para una tasa de 100 Mbps, el láser debería tener una anchura espectral de emisión no mayor a 74.58 nm.

[Volver al índice.](#)

Ejercicio 5.

Se quiere instalar un sistema óptico para poder transmitir una tasa de bits de $B = 622$ Mbps a una distancia de $L = 76$ Km.

La fibra óptica ya desplegada es de tipo G.652D y presenta un coeficiente de dispersión intramodal de $D = 15$ ps/(Km·nm) en tercera ventana.

Para el transmisor óptico se considera un LASER; en particular, se quiere utilizar un LASER con una cavidad óptica de longitud de $250 \mu\text{m}$ de material semiconductor con índice de refracción de 3,8. Además, el LASER, que emite en $\lambda_p = 1520$ nm, presenta una curva de ganancia por unidad de longitud que puede expresarse como:

$$g = [1500 - \gamma(\lambda - \lambda_p)^2]m^{-1}$$

siendo el factor de curvatura $\gamma = 2 \times 10^{19}m^{-3}$.

Asumiendo que las pérdidas totales de la cavidad óptica (α_t) son de $1500 m^{-1}$, determinar, en primer lugar, si el LASER propuesto permite realizar el sistema.

En el caso de que no lo permitiese, ¿qué parámetros del LASER y de qué manera concreta podrían modificarse para permitir que el sistema pueda implementarse?

[Volver al índice.](#)

Respuesta al ejercicio 5.

Para determinar si el láser propuesto permite realizar el sistema, necesitamos analizar algunos aspectos clave. Vamos a calcular la ganancia del láser en la longitud de onda de operación y luego analizar si esta ganancia es suficiente para compensar las pérdidas y soportar la transmisión de datos a la distancia deseada.

1. Cálculo de la Ganancia del Láser.

La ganancia del láser, g , que se obtiene por la fórmula:

$$g = 1500 - \gamma(\lambda - \lambda_p)^2$$

Donde:

- $\gamma = 2 \times 10^{19} m^{-3}$.
- $\lambda = 1520 nm$ (longitud de onda de operación).
- $\lambda_p = 1520 nm$ (longitud de onda pico).

Primero, vamos a calcular g para $\lambda = 1520 nm$.

$$g = 1500 m^{-1}$$

2. Comparación de la Ganancia con las Pérdidas Totales.

Una vez calculada la ganancia, necesitamos compararla con las pérdidas totales de la cavidad óptica, $\alpha_t = 1500 m^{-1}$. Si la ganancia supera estas pérdidas, el láser es viable para el sistema.

3. Consideraciones Adicionales.

Además, debemos tener en cuenta:

- La tasa de bits $B = 622 Mbps$.
- La distancia $L = 76 Km$.
- El coeficiente de dispersión intramodal $D = 15 ps/km \cdot Km$ de la fibra óptica G.652D.

Estas variables influirán en la eficiencia general del sistema, pero para la viabilidad del láser, el enfoque principal está en la ganancia y las pérdidas.

Procederé nuevamente a calcular la ganancia del láser con el siguiente código de python.

```
# Datos dados
gamma = 2e19 # m^-3
lambda_operacion = 1520e-9 # m (convertido de nm a m)
lambda_p = 1520e-9 # m (convertido de nm a m)
ganancia_base = 1500 # m^-1

# Cálculo de la ganancia del Láser
g = ganancia_base - gamma * (lambda_operacion - lambda_p)**2
print("g: ", g)
```


La respuesta es, como ya indiqué al calcularlo anteriormente:

$$g: 1500.0$$

Dado que esta ganancia es exactamente igual a las pérdidas totales de la cavidad óptica ($\alpha_t = 1500m^{-1}$), el láser está en el umbral de ser viable para el sistema. En otras palabras, la ganancia del láser compensa precisamente las pérdidas de la cavidad, pero no proporciona margen adicional para las pérdidas en la fibra óptica u otros componentes del sistema. En el caso de que nos ocupa no lo consideraremos viable.

En contestación a la pregunta formulada al final del enunciado, podemos considerar las siguientes modificaciones al laser:

1. Longitud de la Cavidad Óptica:

Aumentar la longitud de la cavidad óptica del láser puede incrementar la ganancia neta. Esto se debe a que una cavidad más larga permite más amplificación del haz de luz.

2. Índice de Refracción del Material.

Ajustar el índice de refracción del material semiconductor podría mejorar la eficiencia de la cavidad óptica, lo que se traduce en una mayor ganancia.

3. Optimización de la Longitud de Onda de Operación.

Cambiar la longitud de onda de operación (λ) para acercarla más a la longitud de onda pico (λ_p), donde la ganancia es máxima. Esto podría implicar seleccionar un material semiconductor diferente o ajustar la configuración del láser.

4. Reducir el Factor de Curvatura (γ).

Modificar el diseño o el material del láser para reducir el valor de γ podría aumentar la ganancia, especialmente en longitudes de onda cercanas a λ_p .

[Volver al índice.](#)
