Introducción al Diseño de Enlaces Ópticos. Ejercicios.

Ejercicio 1

Se desea diseñar un enlace de comunicaciones ópticas para unir dos centrales de telefonía que distan entre sí una distancia $l = 60km$ y que requiere que:

- No se utilicen regeneradores intermedios
- Longitud de las bobinas de fibra óptica $l_{bob} = 2$ km
- Pérdida por empalme $\alpha_e = 0.1$ dB
- Pérdida por conector $\alpha_c = 1$ dB
- Número de conectores $n_c = 2$
- Código de línea: 7b/8b
- Tiempo de subida de dispositivos optoelectrónicos (emisor,detector) despreciable

Por otra parte, se conocen los datos técnicos de varios emisores ópticos:

Tipo	$\lambda[nm]$	$\Delta\lambda[nm]$	$P_{O,E}[dBm]$	$M_E[dB]$
LD1	900	4	-3	3
LD2	1250	2	-3	2
LED1	850	40	-15	2
LED2	1300	30	-16	4

También se dispone de datos característicos de fibras ópticas, que se muestran a continuación:

Fibra monomodo				
	$\lambda_{EO}[nm]$			
	850	900	1250	1300
Atenuación kilométrica: $\alpha[dB/km]$	1	1.1	0.6	0.5
Coeficiente de dispersión del material	$M = 40\frac{ps}{km \cdot nm}$			
Coeficiente de dispersión por efecto guía-onda	$G = -4\frac{ps}{km \cdot nm}$			
Margen de seguridad de la f.o.	$M_{FO} = 4dB$			

Fibra multimodo				
	$\lambda_{EO}[nm]$			
	850	900	1250	1300
Atenuación kilométrica: $\alpha[dB/km]$	3	3.2	1.7	1.5
Factor de concatenación	$\gamma = 0.7$			
Frecuencia de corte intermodal	$B_0(\lambda) = \frac{850}{\lambda} B_0^*,\ B_0^* = 1.2\ GHz \cdot km$			
Margen de seguridad de la f.o.	$M_{FO} = 4dB$			

Se desea:

a) Evaluar los pares emisor óptico-fibra óptica junto con el sistema de modulación (RZ, NRZ) necesarios para tener una tasa binaria de datos $R_b = 140$ Mbps (aproximadamente una trama E4).
b) Repetir el paso anterior para una tasa de $R_b = 34$ Mbps (aproximadamente una trama E3).
c) Calcular cúal debería de ser la sensibilidad del detector óptico para poder trabajar con los conjuntos fibra-emisor (sólo con fibras monomodo) de los apartados anteriores.

Ejercicio 2

Se va a realizar la conexión entre dos ciudades mediante un enlace óptico que cubrirá una distancia total $l = 42$ km y por el que se pretende transmitir una tasa binaria $R_b = 51.84$ Mbps utilizando un código NRZ. La ventana de trabajo elegida es la tercera ventana (1550nm). Se dispone en stock de los siguientes equipos y fibra:

Equipos optoelectrónicos				
Nombre del equipo	$\lambda[nm]$	Fotoemisor	Fotodetector	Precio
Equipo 1	1550	$P_{O,E} = -3$ dBm $T_s = 3$ ns $\Delta\lambda = 2$ nm	$S_O = -40$ dBm $T_s = 10$ ns	6000
Equipo 2	1550	$P_{O,E} = -15$ dBm $T_s = 15ns$ $\Delta\lambda = 40nm$	$S_O = -40$ dBm $T_s = 0.2ns$ $M = 150$, $x = 0.7$	4800
Equipo 3	1550	$P_{O,E} = -16$ dBm $T_s = 20$ ns $\Delta\lambda = 30$ nm	$S_O = -40$ dBm $T_s = 20$ ns $M = 200$, $x = 0.9$	3600

Fibras disponibles			
Tipo	$\alpha[dB/km]$	Otros parámetros	Precio
Multimodo	0.5	$B_0 = 1.2$ Ghz $\cdot$ km $\gamma = 0.7$ $l_{bob} = 3km$	900 u/km
Monomodo	0.25	$M = 40\frac{ps}{km \cdot nm}$ $G = -4\frac{ps}{km \cdot nm}$ $l_{bob} = 2km$	1500 u/km

Otros datos relevantes del enlace son los siguientes:

- Pérdida por empalme $\alpha_e = 0.2$ dB
- Pérdida por conector $\alpha_c = 0.5$ dB
- Número de conectores $n_c = 2$
- Margen de seguridad del enlace $M_S = 6$ dB

Seleccionar la combinación óptima de los sistemas disponibles considerando dar un servicio adecuado para la transmisión y una reducción de los costes de la instalación.

Ejercicio 3

Se dispone de fibra óptica de índice gradual optimizada (dispersión cromática despreciable) que en primera ventana (850 nm) presenta una anchura de banda modal de 1.2 GHz · km. El factor de concatenación se estima en 0.8 y se prevé el uso de una codificación RZ. Dicha fibra se utiliza para un enlace de 3 km, con explotación en segunda ventana (1300 nm), empleando un diodo láser como transmisor.

Calcular para el peor caso posible el ancho de banda disponible. ¿Sería posible la transmisión de la cuarta jerarquía digital plesiócrona europea?

Nota: La variación de la anchura de banda modal (frecuencia de corte intermodal) con la ventana de trabajo viene dada por la expresión $B_0(1300nm) = B_0(850nm)/K$, con K oscilando entre 4 y 6.

Ejercicio 4

Para enlazar telefónicamente dos localidades que distan 6 km se dispone de dos tipos de fibra multimodo: una de salto de índice ($B_0 = 50$ MHz $\cdot$ km y $\gamma = 0.5$) y otra de índice gradual ($B_0 = 450$ MHz $\cdot$ km y $\gamma = 0.7$). Proyectada un explotación en primera ventana, se consideran dos tipos de fuentes emisoras:

- LED, a 900 nm, con $\Delta\lambda = 40nm$
- LD, a 850 nm, con $\Delta\lambda = 2nm$

Sabiendo que se adoptará una jerarquía digital europea y que no se consideran limitaciones por razones de potencia o ruido, indicar cual es el ancho de banda disponible, el máximo nivel de la jerarquía JDP que se puede transmitir y el número de canales telefónicos disponibles para cada una de las configuraciones posibles.

Datos:

- Código de línea 5b/6b
- Código RZ
- $M(850nm) = 0.1ns/km \cdot nm$, $M(900nm) = 0.04ns/km \cdot nm$

Ejercicio 5

Se tiene un sistema de fibra óptica a 139,264 Mbps (trama E4 de JDP). La explotación es en segunda ventana y el código de línea es 5b/6b. La potencia de la señal óptica inyectada en la fibra por el emisor LD es de -3 dBm. La anchura espectral óptica de emisión de 2 nm y el margen de seguridad se cifra en 9 dB.

La fibra, multimodo de índice gradual, presenta un ancho de banda intermodal de 1 $GHz \cdot km$, siendo $\gamma = 0.7$. El coeficiente de dispersión del material es de $5ps/km \cdot nm$. Se estima una atenuación de 1.5 dB/km, y unas pérdidas totales por conectores de 2 dB. No se consideran considerables las pérdidas por empalmes.

El receptor requiere una potencia óptica recibida de -38 dBm para obtener una probabilidad de error de 10^{-9}. Además, para evitar la necesidad de un igualador se deben considerar unas pérdidas adicionales de 1 dB.

Calcular la máxima separación entre regeneradores para el sistema especificado.

Ejercicio 6

Para un sistema óptico se facilitan los siguientes datos:

- El emisor óptico opera a una longitud de onda de 850 nm, con una anchura espectral óptica de 2nm y una potencia media de señal óptica en la fibra de -3dBm. El margen de seguridad se cifra en 8 dB.
- Se utiliza fibra multimodo de índice gradual con un coeficiente de dispersión del material $M = 0.1ns/km \cdot nm$ y atenuación de 4 dB/km. Se estima que el factor de concatenación es $\gamma = 0.75$.
- El receptor óptico requiere la recepción de una potencia óptica de -47 dBm. También requiere de una pérdidas adicionales de 1 dB para contrarrestar efectos de interferencia entre símbolos y evitar el uso de un igualador.
- Se transmite una trama 4 de JDP ($R_b = 139,264$ Mbps) con un código de línea 5b/6b.

Para el proyecto experimental del sistema óptico llevado a cabo por una compañía telefónica, se presenta un enlace con una longitud de 6300 m y la conexión de los extremos a sus respectivos terminales se realiza mediante conectores ópticos. La bobinas de cable óptico proporcionadas por el suministrador tiene una longitud de 1000m.

Se desea determinar:

a) Teniendo en cuenta criterios exclusivos de potencia, ¿es necesario incluir regeneradores intermedios?
b) La frecuencia de corte intermodal mínima que hace necesario el uso de regeneradores intermedios.

Ejercicio 7

A continuación se muestra la potencia media inyectada en una fibra óptica monomodo por el emisor (que trabaja en segunda ventana en todos los niveles de la JDP europea) y la sensibilidad del receptor para una probabilidad de error de bit de 10^{-9} en ausencia de dispersión temporal.

	34 Mbps	140 Mbps	565 Mbps	1200 Mbps
$P_{O,E}$	-2	-2	-2	-2
$S_o(dBm)$	-50	-42	-33	-28

Se recomienda el uso de un margen de seguridad de 6 dB y una penalización por interferencia entre símbolos de 1 dB.

Para un enlace de 30 km de longitud sin regeneradores intermedios calcúlese para cada nivel de JDP la atenuación específica máxima de la fibra monomodo a utilizar. Considerar que la longitud de las bobinas disponibles es de 1.5 km, que la pérdida estimada por empalme es de 0.3 dB y que cada conector en los extremos presenta unas pérdidas de 1 dB.