

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
REDES DE COMUNICACIONES ÓPTICAS
TALLER No.1

Integrantes: Castillo Jorge, Juella Danny

1. TEMA:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES ÓPTICAS

2. OBJETIVOS:

- Diseñar un sistema de comunicaciones ópticas punto a punto mediante el uso del software OptiSystem.
- Analizar el presupuesto de potencia del sistema.
- Variar los parámetros del sistema afín de obtener el máximo (óptimo) rendimiento del sistema.
- Analizar los resultados obtenidos.

3. REQUERIMIENTO PREVIOS

- Conocimiento de Comunicaciones Ópticas.
- Conocimientos de Software OptiSystem.

4. EQUIPO Y SOFTWARE

- Un equipo de cómputo (Desktop o laptop).
- Conexión a Internet.
- Software OptiSystem.

5. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

5.1. Antecedentes

Un sistema de comunicaciones ópticas consiste en la integración de varios componentes que permiten la transmisión de información a través de enlaces ópticos. La Fig. 1 muestra el esquema general de un enlace punto a punto.

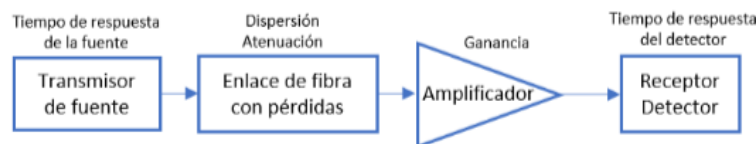


Fig. 1. Diagrama de un enlace óptico punto a punto.

5.2. Parámetros del sistema

Diseñe y simule un sistema óptico punto a punto con las siguientes características:

- Capacidad del sistema: 1 Gbps.
- BER = 10^{-9}
- OSNR = 12 dB
- Longitud (alcance): 200 Km

Seleccione los componentes (e.g., fibra óptica, fuente del transmisor, detector del receptor, empalmes, etc.) y justifique su utilización. En la Fig. 2. Se muestra un ejemplo de un sistema de comunicaciones punto a punto utilizando el software de simulación.

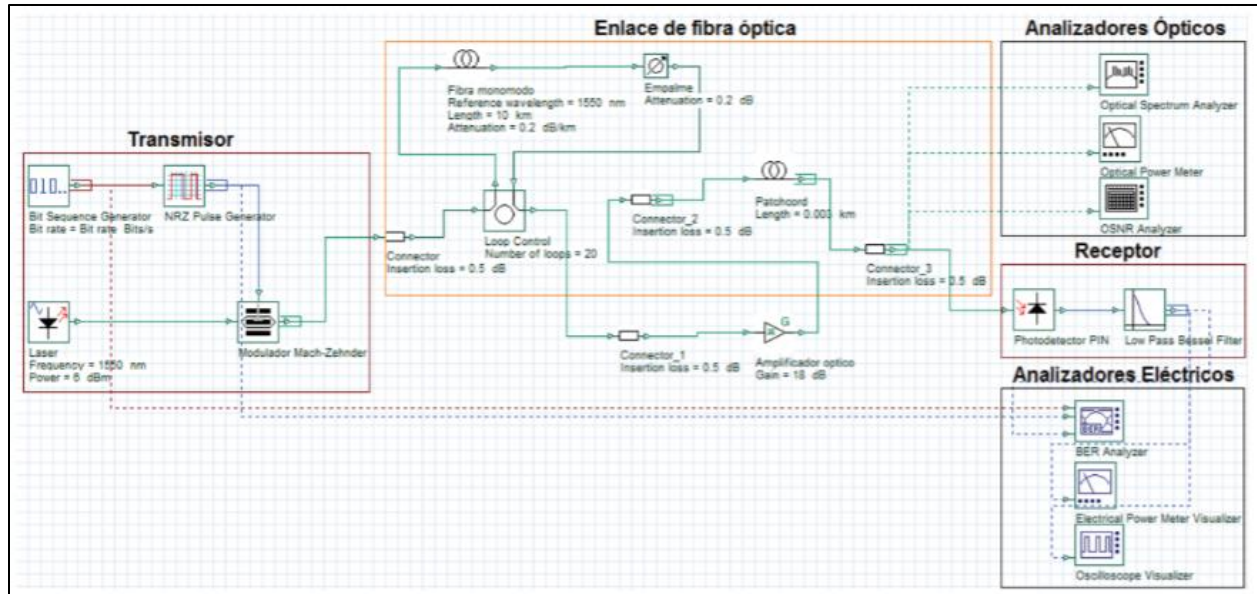


Fig. 2. Diagrama de un enlace óptico punto a punto.

- Se ha establecido el uso de un modulador Mach-Zehnder debido a que la capacidad del sistema correspondiente a 1Gbps.
- El Loop Control empleado se utiliza para mantener monitoreada una longitud de fibra de 10 km con 20 empalmes.
- Los conectores correspondientes al diseño presentan una atenuación típica de 0.5 dB.
- En cuanto a la fibra empleada se ha establecido una longitud de 200 km correspondiente a la solicitada.

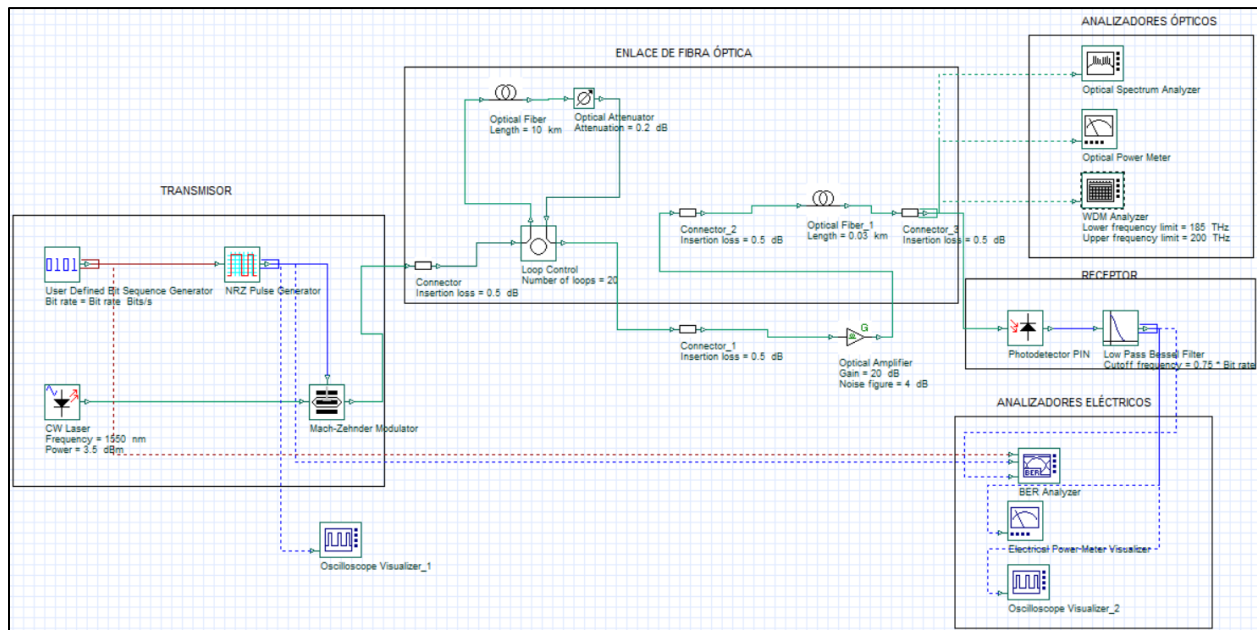


Fig. 3. Diseño propuesto en OptiSystem.

- **Realice el cálculo del presupuesto del enlace.**

Conectores= 4 → pérdidas por cada una de ellas 0.5dB

Empalme = 19 → pérdidas por cada uno es 0.2 dB

Fibra óptica= 200 Km → en toda la fibra 40 dB

Patch Core = 0.003km → 0.0006dB

$$P_{Tx} - \alpha_{total} + G = \text{Sensibilidad}_{Rx} + \text{margen seguridad}$$

$$\alpha_{total} = \alpha_{tx-fo} + \alpha_{fo} + \alpha_{fo-rx} + \alpha_{conectores}$$

α_{tx-fo} : pérdidas de acoplamiento de luz entre la fuente y la fibra, las cuales dependerán del tipo de fuente, el tipo de fibra [óptica y sus características como apertura numérica y ángulo de aceptación.

α_{fo} : pérdidas propias de la fibra óptica presentes por la atenuación.

α_{fo-rx} : pérdidas del acople entre la fibra y el receptor, las cuales son mínimas debido a que la mayoría de los detectores presentan un área sensitiva mayor que la mayoría de los núcleos de fibra óptica.

$\alpha_{conectores}$: pérdidas por conectores, empalmes, fusiones, las cuales dependen de la cantidad de ellos presentes en el enlace.

$$\alpha_{total} = \alpha_{tx-fo} + \alpha_{fo} + \alpha_{fo-rx} + \alpha_{conectores}$$

$$\alpha_{total} = 0.1[dB] + [200 \times 0.2[dB]] + 0.01[dB] + [(19 \times 0.2[dB]) + (4 \times 0.5[dB])]$$

$$\alpha_{total} = 45.91[dB]$$

$$P_{Tx} - \alpha_{total} + G = \text{Sensibilidad}_{Rx} + \text{margen seguridad}$$

$$3.5[dBm] - 45.91[dB] + G = -25[dBm] + 3[dB]$$

$$G = 20.41[dB]$$

- **Realice el análisis del diagrama del ojo, BER y la OSNR para determinar la calidad del enlace.**

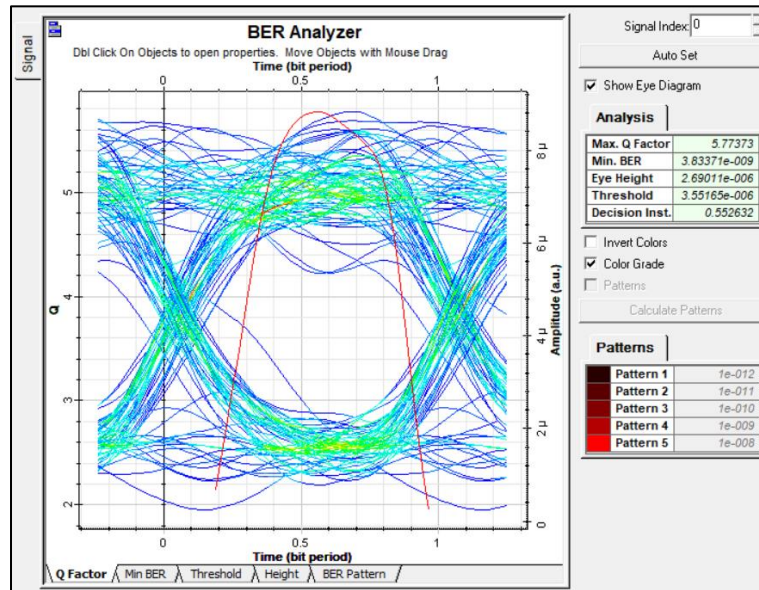


Figura 4. Diagrama del ojo

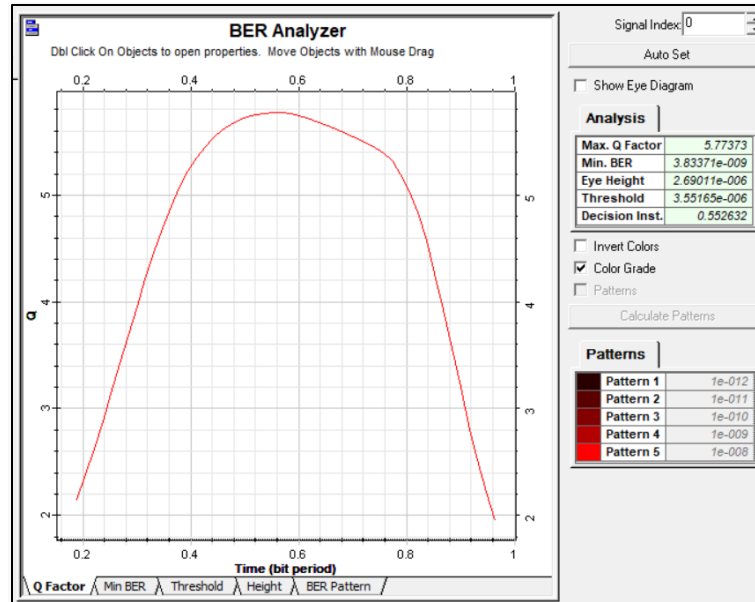


Figura 5. BER

Frequency (THz)	Signal Power (dBm)	Noise Power (dBm)	OSNR (dB)
193.41449	-24.957481	-34.975692	10.018211

Figura 6. OSNR

Análisis: Como se puede observar en el diagrama superior, el BER solicitado corresponde a 3.8×10^{-9} . Se puede observar que tiene una apertura decente para un sistema común, pero puede mejorar. Con respecto a la relación señal a ruido se considera un valor de entre 20 y 15 dB como aceptable, para el caso de estudio el valor de 10 dB no se puede establecer, a continuación, se modifican los parámetros a fin de obtener un correcto desempeño.

- **Varíe los parámetros (justifique su variación) para obtener un máximo (óptimo) desempeño del sistema.**

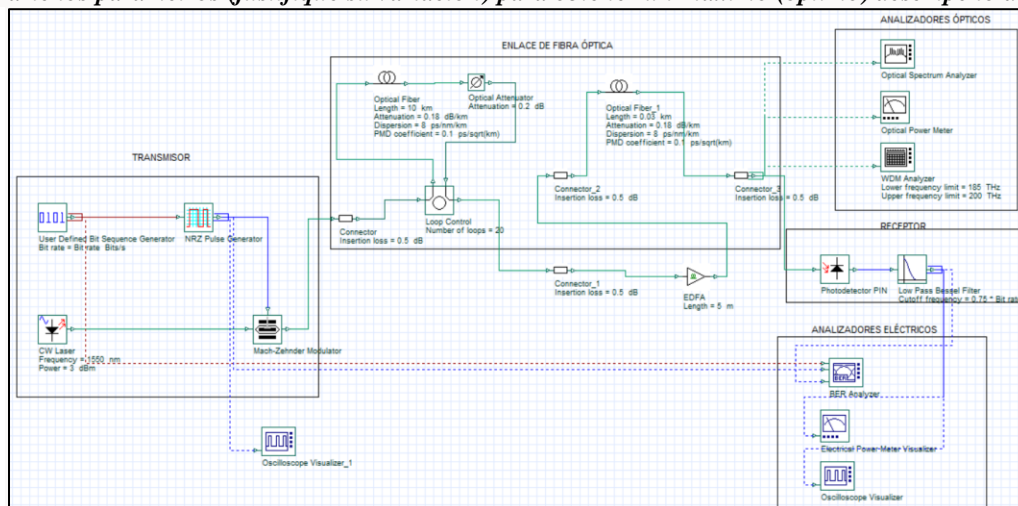


Fig. 7. Diseño propuesto en OptiSystem (Optimizado).

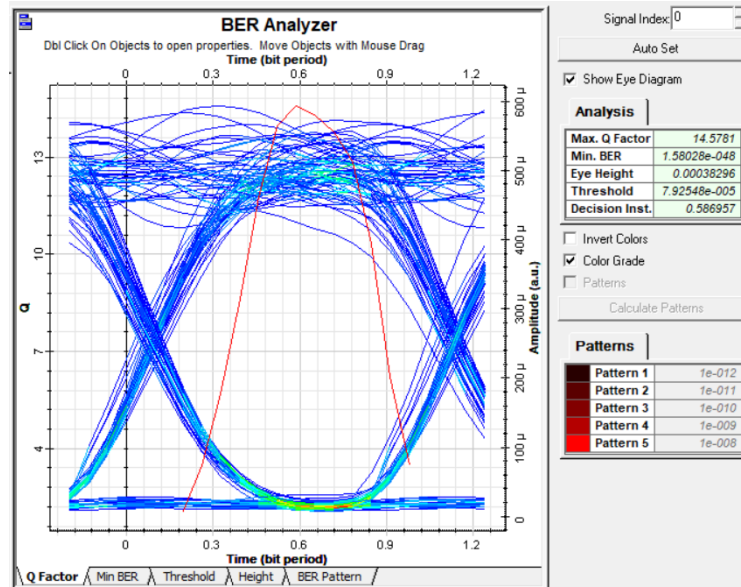


Figura 8. Diagrama del ojo

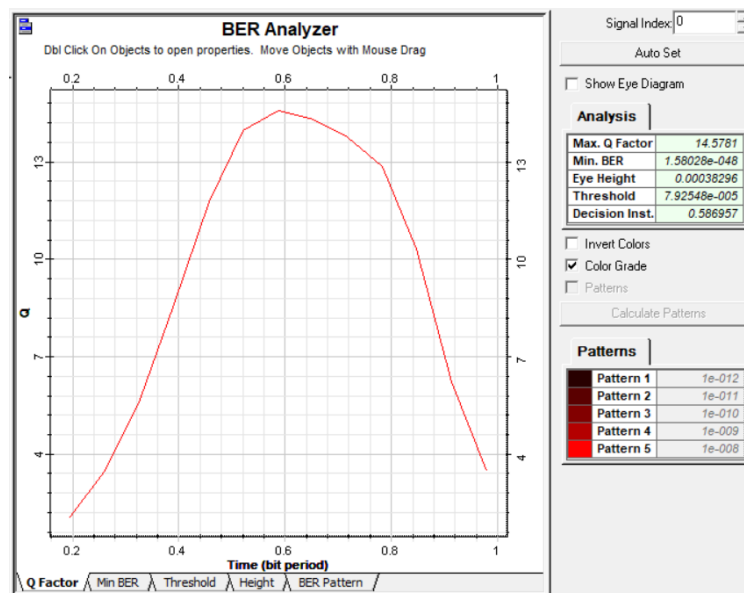


Figura 9. BER

Frequency (THz)	Signal Power (dBm)	Noise Power (dBm)	OSNR (dB)
193.41449	-5.6121875	-18.859033	13.246846

Figura 10. OSNR

Explicación:

Se ha implementado una fibra óptica SMF-28 a fin de optimizar el sistema dado que se trabaja a 1550 nm además un amplificador EDFA, el cual opera en el rango de 1530 a 1625 nm. Como se puede observar en la figura superior, el BER ha disminuido significativamente, por otro lado, la relación señal a ruido a incrementado hasta 13 dB, a continuación, se procede a variar las fuentes a fin de obtener un mejor desempeño.

Amplificador EDFA

- ❖ Tecnología de fibra de doble revestimiento codopada con erbio.
- ❖ El preamplificador de bajo ruido incorporado elimina la necesidad de conexión en cascada EDFA, lo que reduce en gran medida la degradación del CNR y MER del sistema.
- ❖ Rango de potencia total de salida: hasta 23dBm ~ 37dBm (5W) opcional.
- ❖ Interfaz de gestión de red perfecta, en línea con el protocolo de gestión de red SNMP.
- ❖ Adopte una estructura madura de respaldo en caliente de doble potencia dedicada a los servidores y coopere con un sistema de control de temperatura inteligente controlado por microcomputadora para mejorar de manera efectiva la confiabilidad del sistema.
- ❖ El panel posterior se puede quitar y reemplazar de manera flexible de acuerdo con el número de puertos de salida.



Fig. 11. Amplificador EDFA WSEE.

Item	Unit	Parameters	Notes
Bandwidth	nm	1535~1565	
Input optical power range	dBm	-10 ~ +10	Nominal input +3dBm
Total output optical power range	dBm	24~31	
Optical power stability	dBm	±0.1	
Noise figure pin	dB	≤ 5.0	@+0dBm Input, λ=1550nm
Reflection loss	Input	dB	≥ 45
	Output	dB	≥ 45
Output Optical ports		4 ports	Customized
Optical connector		SC/APC; SC/PC; LC/APC; LC/PC	Customized
C/N	dB	≥ 50	The test conditions are performed by GT/T 184-2002.
C/CTB	dB	≥ 63	
C/CSO	dB	≥ 63	
Supply voltage	V	AC220V(160V ~ 265V) / AC110V (90V ~130V) / DC48V (38V- 58V)	Customized
Power consumption	W	≤ 10	
Working TEMP	°C	-5 ~ +42	
Max relative humidity	%	Maximum 95% non - condensing	
Storage TEMP	°C	-30 ~ +70	
Maximum storage relative humidity	%	Maximum 95% no condensing	
Size	mm	357(W)*482(L)*44(H)	
Packing size (one set)	mm	595(W)*490(L)*120(H)	
Packing size (two sets)	mm	595(W)*490(L)*230(H)	

Fig. 12. Características Técnicas Amplificador EDFA WSEE.

Dado que el amplificador óptico posee 4 puertos, se emplearán 2 conectores tipo SC con pulido APC.

SC/APC Singlemode Fast Fiber Optic Connector

El conector rápido de montaje en campo SC / PC proporciona una terminación rápida y fácil de fibras en el campo. Hay opciones disponibles para 900 micrones, lo que permite al instalador terminar y hacer la conexión en minutos en el equipo y los paneles de conexión de fibra. Este sistema de conectores elimina cualquier requisito de epoxi, adhesivos o costosos hornos de curado y pulido e inspección de superficies de fibra.

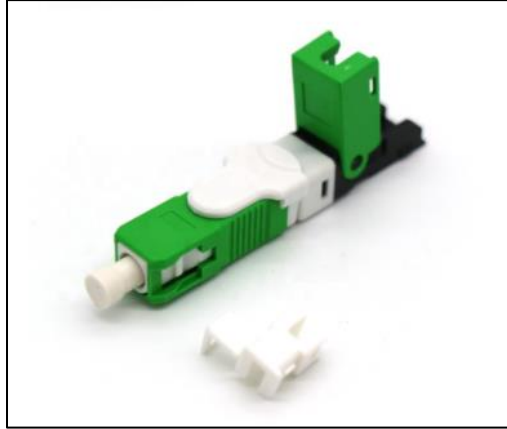


Fig. 13. Conector SC/APC.

CARACTERÍSTICAS

- Baja pérdida de inserción, 0.2dB, 0.3dB, cliente opcional
- Alta pérdida de retorno, 40dB, 45dB, 50dB, cliente opcional
- Fiable, durabilidad de más de 500 veces el apareamiento.
- Baja sensibilidad ambiental, adoptar un entorno complejo
- Aplicación: equipos de medición de telecomunicaciones de comunicaciones de datos, láseres monomodo, proyectos ONU FTTH.

Item	Paramete
Cable Scope	3.0 x 2.0 mm Bow-type Drop Cable 2.0/3.0 indoor cable
Fiber Diameter	125μm (652 & 657)
Coating Diameter	250μm
Mode	SM
Operation Time	about 15s(exclude fiber presetting)
Insertion Loss	≤ 0.3dB(1310nm & 1550nm)
Return Loss	≤ -40dB
Success Rate	>98%
Reusable Times	>10 times
Tighten Strength of Naked Fiber	>5 N
Tensile Strength	>50 N
Teperature	-40~+85°C
On-line Tensile Strength Test (20 N)	IL ≤ 0.3dB
Durabilitiy (500 times mating)	IL ≤ 0.3dB
Drop Test(4m concrete floor, once each direction, three times total)	IL ≤ 0.3dB

Fig. 12. Características Técnicas Conector SC/APC.

- *Varíe las fuentes y receptores y analice los resultados.*

	BER MIN
Fuente 3dBm	
APD	2.07561e-060
PIN	1.58028-e048
Fuente 6 dBm	
APD	1.03777e-125
PIN	4.09899e-101
Fuente 9 dBm	
APD	3.45236e-262
PIN	4.82706e-204
Fuente 12 dBm	
APD	0
PIN	0

Análisis:

Al variar las fuentes y receptores ópticos encontramos que a 12 dBm el BER mínimo es igual, pero a valores inferiores encontramos variación que puede resultar significativa en sistemas ópticos siendo así mejor usar los fotodetectores APD, el detector APD tiene un BER aceptable aun así si incrementamos su potencia el efecto avalancha de su funcionamiento generaría un incremento en el ruido lo cuál no sería ideal para el BER óptimo.

- *Incluya en el sistema un multiplexor ideal 2 a 1 en el lado de transmisión. Considerando una fuente que simule una transmisión de video con una modulación externa 4-QAM y 16-QAM. En el lado de recepción incluya la etapa demultiplexora y los componentes necesarios que permitan el correcto funcionamiento del sistema.*

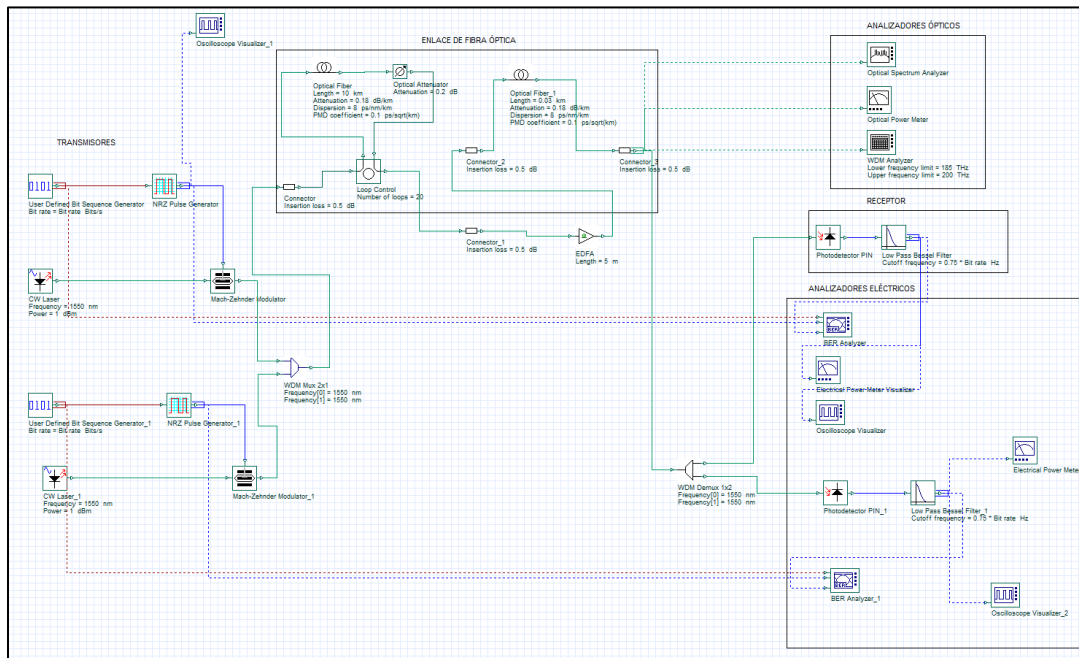


Figura 11. Diseño propuesto con Multiplexor 2 a 1

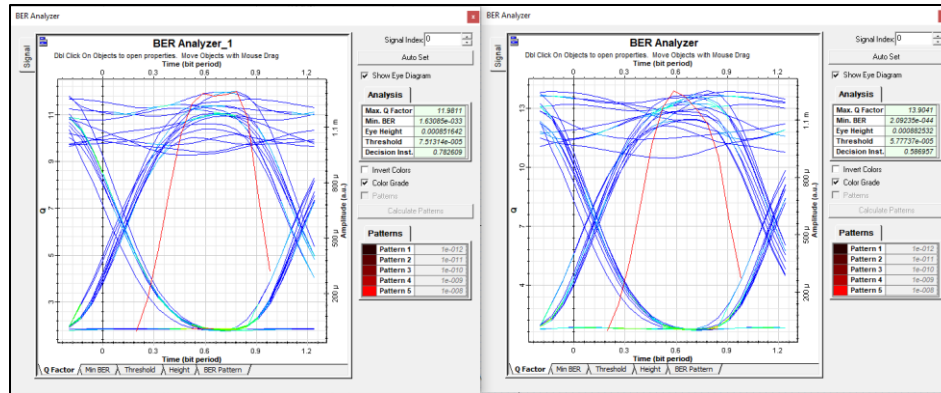


Figura 12. Diagrama del ojo Canal 1 y Canal 2

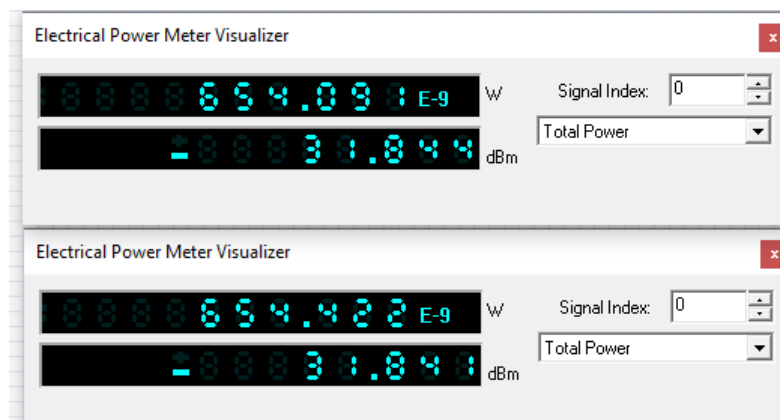


Figura 12. Potencia del Canal 1 y Canal 2

Cuestionario:

- Indique los tiempos de respuesta de transmisores, receptores (especificaciones técnicas) y fibra óptica (dispersión total).

Tiempos de Respuesta	
Transmisor	Lasers COM 1550nm DFB Laser, 20mW Output Power, Coaxial Package Longitud de onda: 1550nm (+/- 5nm) Tiempo de respuesta: 0.3 [ns] Single-Mode Fiber G.657.A1, 0.5 m length Conector de fibra: FC/APC Precio: \$297,00
Receptores	PIN Comercial PTAV622C.98 Longitud de onda: 1200-1600 nm InGaAs PIN GaAS amplificador de bajo ruido Tiempo de respuesta: 0.2 [ns] Rango de recepciones para 50/155/622 Mb/s SDH/SONET/ATM aplicaciones single mode Precio Aproximado: \$
Fibra óptica	SMF-28 1550 atenuación: 0.02 (dB/km) 1550 dispersión: 18 [ps/(nm-km)] PMD< 0.04 (ps/km)

- Indique los rangos de operación (potencia) del transmisor.

Number Item	Unit	Description	Remark
Output Optical Wavelength:1310 or 1550nm (Can be customized)			
1310nm Wavelength Output Power :1mW,3mW ,6mW ,10mW is optional (Usually the Standard power is 6mw or 10mW)			
1550nm Wavelength Output Power :1mW,3mW ,5mW,6mW is optional (MAX is 6mW,Usually the Standard power is 5mW)			
Customer Interface			
1	RF Connector	75Ω" F" connector	
2	Optical Connector	SC/APC	Can be customized
3	DC Supply	DC Adapter	
Optical Parameter			
4	Optical Return Loss	dB	>45
5	Output Optical Wavelength	nm	1310 or 1550 or 1470 or 1610 nm
	Output Optical Power	mW	≤10
6	Optical Fiber Type		Single Mode
RF Parameter			
7	Frequency Range	MHz	40-1000
8	Flatness	dB	±0.5
9	Input Level	dBuV	65-85
10	Output Impedance	Ω	75
11	C/N	dBc	52
Other Parameter			
12	Power Input Voltage	VDC	+6V~18V
13	Power Consumption	W	<1.5
14	Dimensions	mm	90*45*19
15	Net weight	KG	0.066
			Not Include Power Adapter

Fig. 13. Rango de operación de la fuente laser.

- Indique los rangos de operación (potencia) del receptor.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Si	Ge	InGaAs
Longitud de onda	λ	μm	0.4-1.1	0.8-1.8	1.0-1.7
Responsividad	\mathfrak{R}	A/W	0.4-0.6	0.5-0.7	0.6-0.9
Eficiencia	η	%	75-90	50-55	60-70
Corriente de oscuridad	I_d	nA	1-10	50-500	1-20
Tiempo de subida	t_r	ns	0.5-1	0.1-0.5	0.05-0.5
Ancho de banda	AB	GHz	0.3-0.6	0.5-3	1-5

Fig. 14. Rango de operación de los fotodiodos PIN

- Calcule la OSNR.

$$OSNR_{dB} = 58[dB] + Pin_{dBm} - NF_{dB} - \alpha L_{dB} - 10 \log(N)_{dB}$$

$$OSNR_{dB} = 58[dB] + 10_{dBm} - 6_{dB} - 41.91_{dB} - 10 \log(1)_{dB}$$

$$OSNR_{dB} = 20.09_{dB}$$

	Signal Power (dBm)	Noise Power (dBm)	OSNR (dB)
Min value	1.2838108	-18.982884	20.266695
Max Value	1.2838108	-18.982884	20.266695
Total	1.2838108	-18.982884	
Ratio max/min	0	0	0
	(nm)	(nm)	(nm)
Wavelength at min	1550	1550	1550
Wavelength at max	1550	1550	1550

- Calcule las pérdidas totales en el sistema.

$$\alpha_{total} = 0.1[dB] + [200 \times 0.18[dB]] + 0.01[dB] + [(19 \times 0.2[dB]) + (4 \times 0.5[dB])]$$

$$\alpha_{total} = 41.91[dB]$$

- *Escriba al menos dos conclusiones y dos recomendaciones de esta práctica.*

CONCLUSIONES:

- *Con el desarrollo de la práctica se evidenciaron las facultades y destrezas adquiridas a lo largo de la carrera de Telecomunicaciones. Investigar y proponer soluciones ante el diseño de una red óptica implica regirse al costo proporcionado por el cliente sin olvidar la ética profesional que involucra desarrollar un sistema optimo y eficiente. A pesar de no contar con la práctica necesaria y la manipulación física de los equipos, es deber del estudiante mantenerse al tanto de las frecuentes innovaciones y auto educarse a fin de enfrentarse al mundo laboral con el conocimiento necesario.*
- *Con la presente practica logramos aplicar los conocimientos sobre el simulador con la diferencia que se investigó parámetros reales del enlace de fibra lo cual nos acerca a la realidad ya que en la investigación encontramos precios y nos podemos hacer la idea de cuánto costaría un enlaces de fibra óptica, un parámetro importante que pudimos encontrar es la potencia de nuestra fuente ya que al varias existen pequeñas diferencias del BER que al hacerse realidad el proyecto pueden resultar significativas al momento de utilizar un receptor óptico, al revisar los costos de los equipo podemos notar que existen fuentes costosas pero ofrecen ventajas a futuro y para el crecimiento del enlace de fibra óptica.*

RECOMENDACIONES:

- *Revisar la documentación de un equipo comercial es de vital importancia para el diseño de una red óptica, debido a que en muchas ocasiones los valores aleatorios que se usan en la simulación no se encuentran en el mercado. Tener conocimiento de los precios y equipos actuales requiere de un interés propio del ingeniero en Telecomunicaciones.*
- *Revisar los rangos de potencia y sensibilidad de los equipos ya que eso nos evita problemas a la hora de poner en marcha el proyecto, manejar la herramienta de simulación con los parámetros investigados de los equipos nos puede ayudar a adelantarnos a posibles futuros problemas.*

REFERENCIAS:

- [1] WSEELASER. "4 Ports 1550nm Er/Yb Co-doped Optical Amplifier". [En línea] Disponible: <https://www.wseelaser.com/eydfa/4-ports-edfa-optical-amplifier-shandongwanshuo.html>
- [2] Alibaba. "SC/APC Singlemode Fast Fiber Optic Connector". [En línea] Disponible: https://www.alibaba.com/product-detail/Connector-Sc-Connector-SC-APC-Singlemode_62078563910.html?
- [3] G. E. P. Escobar, C. A. C. Guerrero, y M. S. Jiménez, «ESTUDIO Y SIMULACIÓN DE LA PROPAGACIÓN DE SOLITONES EN UNA FIBRA ÓPTICA MONOMODO», p. 216