

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
REDES DE COMUNICACIONES ÓPTICAS
TALLER No.5

Integrantes: Castillo Jorge, Juela Danny

- **Consulte al menos un datasheet de los elementos de un sistema OPS.**

Optical Couplers - Special Wavelengths [1]

Es un dispositivo pasivo que no permite seleccionar el tipo de longitud de onda simplemente permite unir los extremos de 3 o más fibras ópticas. Reduce la potencia óptica y realiza conexiones permanentes.



Fig. 1. Optical coupler 980 nm

- Acopladores especiales monomodo con longitudes de onda centrales a 460, 532, 630, 830, 980, 1064, 1480 y 1625 nm.
- Relaciones de acoplamiento especificadas por el cliente.
- Pérdidas bajas
- Directividad superior a 55dB
- Alta estabilidad y confiabilidad

Tabla 1. Especificaciones del datasheet

Parámetro	Especificaciones
Longitud de onda (nm)	488,532,633,830,980, 1064, 1480,1625
Anchura de operación (nm)	± 15
Coupling ratio	1/99~50/50
Fiber PN	SM450, SM600, SM800, HI1060flex, SMF-28
Typical excess Loss (dB) P	0.4,0.4; 0.3; 0.2; 0.15,0.15; 0.1,0.1
Typical excess Loss (dB) A	0.5,0.5; 0.4; 0.3; 0.2,0.2; 0.15,0.15
Directividad (dB)	≥ 55

Optical conectors:

Tipo de Pulido	Monomodo		Multimodo	
	Pérdidas de inserción	Pérdidas de retorno	Pérdidas de inserción	Pérdidas de retorno
Pulido PC	< 0.4 dB (0.2 dB)	≥ 40 dB	<0.25 dB	≥ 22 dB
Pulido SPC	< 0.4 dB (0.2 dB)	≥ 45 dB	<0.25 dB	≥ 36 dB

Pulido UPC	< 0.4 dB (0.2 dB)	≥55dB	-	-
Pulido APC	< 0.4 dB (0.2 dB)	≥65dB	-	-

Tabla 2. Características conector FC

Tipo de Pulido	Monomodo		Multimodo	
	Pérdidas de inserción	Pérdidas de retorno	Pérdidas de inserción	Pérdidas de retorno
Pulido PC	< 0.4 dB (0.2 dB)	≥40dB	<0.25 dB	≥22 dB
Pulido SPC	< 0.4 dB (0.2 dB)	≥45dB	<0.25 dB	≥36 dB
Pulido UPC	< 0.4 dB (0.2 dB)	≥55dB	-	-
Pulido APC	< 0.4 dB (0.2 dB)	≥65dB	-	-

Tabla 3. Características conector SC

Tipo de Pulido	Monomodo		Multimodo	
	Pérdidas de inserción	Pérdidas de retorno	Pérdidas de inserción	Pérdidas de retorno
Pulido PC	< 0.4 dB (0.2 dB)	≥40dB	<0.25 dB	≥20 dB
Pulido SPC	< 0.4 dB (0.2 dB)	≥45dB	-	-
Pulido UPC	< 0.4 dB (0.2 dB)	≥55dB	-	-

Tabla 4. Características conector LC

Tipo de Pulido	Monomodo	
	Pérdidas de inserción	Pérdidas de retorno
Pulido PC	< 0.4 dB (0.12 dB)	≥45dB
Pulido UPC	< 0.4 dB (0.12 dB)	≥55dB
Pulido APC	< 0.4 dB (0.12 dB)	≥65dB

Tabla 5. Características conector E-2000

Tipo de Pulido	Monomodo		Multimodo	
	Pérdidas de inserción	Pérdidas de retorno	Pérdidas de inserción	Pérdidas de retorno
Pulido PC	< 0.4 dB (0.2 dB)	≥40dB	<0.2 dB	-
Pulido SPC	< 0.4 dB (0.2 dB)	≥45dB	-	-
Pulido UPC	< 0.4 dB (0.2 dB)	≥55dB	-	-

Tabla 6. Características conector ST

Optical switch



Fig. 2. ARRIS Optical Switch OS42S1S [2]

Se puede encontrar de tipo electromecánicos y electroópticos, a pesar de sus diferencias funciona bajo el principio adaptarse a las condiciones o fallas que pueden sufrir un sistema de comunicaciones ya que sus enlaces no son permanentes pueden redirigir el tráfico si algún cable falla.

- Velocidad de conmutación rápida (<5 ms típica)
- Umbrales de conmutación configurables por el usuario para analógicos y aplicaciones de transporte digital
- Baja pérdida de inserción
- Ventana de longitud de onda operativa de 1290-1620 nm
- Monitoreo y control remoto del estado
- Conexión / salida en caliente
- Módulo enchufable compacto único para NC4000, NC2000 y plataformas Vhub

Tabla 7. Especificaciones Datasheet

Características	Especificaciones
General	
Hot plug-in/out	
Velocidad conmutación	<5 ms típico, 10 ms máx.
Óptica Interfaz	
Conector óptico	SC/APC
Requerimientos de Potencia	
Voltaje de Entrada	24 VDC
Consumo de Potencia	1.6 W
Óptico	
Longitud de onda	1290-1620 nm
Potencia de entrada	25 dBm máx.
Pérdidas por inserción	1.2 dB típicos, 1.6 dB máx.
Isolation	70 dB típico, 60 dB min
Pérdidas por retorno	55 dB típico, 45 dB min
Directividad del fotodiodo-tap	25 dB min

Fast tunable laser

Laser sintonizable de cavidad externa su principio radica en colocar un LASER semiconductor dentro de una cavidad externa, incorporando un mecanismo seleccionador de longitud de onda, permitiendo emitir una determinada longitud de onda.

Los láseres de retroalimentación distribuida (DFB) unen una amplia capacidad de sintonización y una alta potencia de salida. El elemento selectivo de frecuencia, una rejilla de Bragg está integrado en la sección activa del semiconductor y garantiza un funcionamiento continuo de frecuencia única. Debido a la ausencia de componentes sensibles a la alineación, los láseres DFB exhiben una estabilidad y confiabilidad excepcionales. Los láseres funcionan en las condiciones ambientales más adversas, incluso en el Ártico o en experimentos aéreos.



Fig. 3. LASER DFB Comercial

Fast tunable filter

El filtro sintonizable MEMS Compact WDM PON de DiCon está optimizado para seleccionar un canal de entre cuatro u ocho canales ITU de 100Ghz adyacentes. Tiene un tamaño compacto para una fácil integración y se basa en la tecnología MEMS de larga duración y alta confiabilidad probada en la industria de DiCon [3].

El filtro sintonizable MEMS Compact WDM PON de DiCon funciona mediante el uso de una rejilla para desmultiplexar la luz entrante y luego dirige con precisión el canal solicitado a la fibra de salida, utilizando un espejo MEMS ultra estable y confiable patentado[3].

Tabla 8. Especificaciones del datasheet

Parámetros	Rango
Rango Variable	
O-Band	1290 a 1320 nm
C-Band	1529 a 1564 nm
L-Band	1575 a 1610 nm
Potencia óptica	< 500 mW
Tipo Fibra	9/125 um monomodo

Optical gates

Las puertas ópticas se clasifican según sus estructuras de diseño. Se divide en dos principalmente, es decir, puertas basadas en amplificadores ópticos no semiconductores y semiconductores [4].

- SOA (Semiconductor O.A)
 - Problemas de diafonía en WDM.
- FOA (Fiber Optical Amplifier)
 - EDFA (Erbium Doped Fiber O.A.)
 - Estandar actual, gran uso, solo 3ra ventana

- PDFA (Praseodymium DFA)
 - 2da ventana, malas prestaciones
- RAMAN O.A.
 - Protagonismo ascendente desde hace unos 5 años.

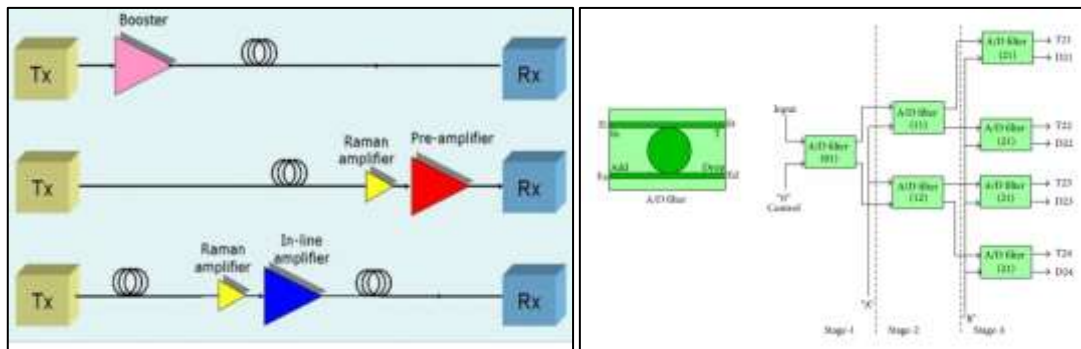


Fig. 4. Esquema de una compuerta lógica óptica

Fiber delay lines

Típicamente se tienen atenuadores de fibra óptica de 5, 10, 15 y 20 dB, o atenuadoras variables en un rango de 2 a 70 dB. Son dependiente de la longitud de onda de trabajo su función principal es permitir adecuar el nivel de potencia óptica, se aplican principalmente en cabeceras de distribución o en nodos principales además de eso evitan la saturación [5].

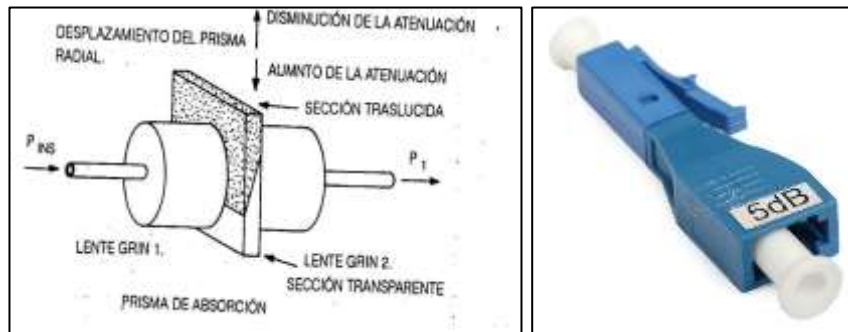
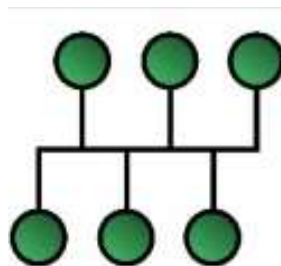


Fig. 5. Atenuadores ópticos

- **Realice la simulación de redes ópticas utilizando las diferentes topologías existentes. Elabore el informe respectivo incluyendo variación de parámetros y la justificación de los valores o dispositivos utilizados, afín de garantizar un óptimo rendimiento de la red.**

- RED BUS



Sistema de transmisión y recepción óptico bidireccional de 10Gbps para una red tipo BUS.

Para la topología bus se han empleado 4 equipos que cuentan con puertos tanto para transmisión como recepción empleando enlaces de fibra bidireccional de 150 km a 1550 nm. Cada equipo cuenta con una potencia de 10 dBm.

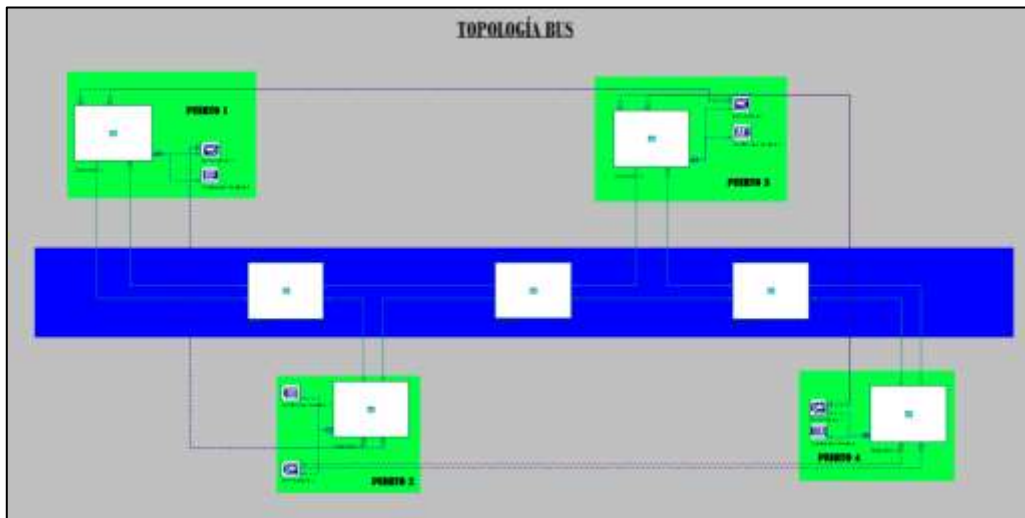


Fig. 6. Red BUS: Sistema de transmisión óptico bidireccional.

Enlace Bidireccional:

Las fibras DCF (Dispersion Compensating Fiber, o fibra compensadora de la dispersión) se caracterizan por tener un fuerte parámetro de dispersión negativo (equivalentemente a $\beta_2 > 0$) en la tercera ventana, de modo que pueden compensar la dispersión cromática introducida por la fibra monomodo estándar. En este apartado analizaremos el uso de estas fibras en la red tipo BUS y el uso de compensación simétrica a fin de subsanar los efectos de la dispersión.

Se ha empleado la fibra óptica Corning ClearCurve ZBL Optical Fiber, compatible con el estándar ITU-T G.652.D, la cual presenta las siguientes características en cuanto a atenuación y dispersión, mismas que han sido configuradas en los enlaces:

Maximum Attenuation	
Wavelength (nm)	Maximum Value* (dB/km)
1310	≤ 0.35
1383**	≤ 0.35
1490	≤ 0.24
1550	≤ 0.20
1625	≤ 0.23

Dispersion	
Wavelength (nm)	Dispersion Value [ps/(nm*km)]
1550	≤ 18
1625	≤ 23

Fig. 7. Parámetros de Corning ClearCurve ZBL Optical Fiber.

De esta forma se han establecido enlaces de 150 km con una dispersión de 16 [ps/(nm*km)] con un amplificador óptico de 30 dB, correspondiente a la longitud del enlace por su atenuación (150 km * 0.2 dB/km).

Para subsanar los efectos de atenuación se han establecido enlaces de 12.5 km con un valor de dispersión correspondiente a -96 [ps/(nm*km)] antes y después del enlace de 150 km (Compensación asimétrica).

Las longitudes de los enlaces de compensación se han definido de la siguiente forma:

$$\text{Enlace de 150 km} \rightarrow 150 \text{ km} * 16 \frac{\text{ps}}{\text{nm} * \text{km}} = 2400 \frac{\text{ps}}{\text{nm}}$$

$$\text{Enlace de 12.5 km} \rightarrow 12.5 \text{ km} * (-96) \frac{\text{ps}}{\text{nm} * \text{km}} = -1200 \frac{\text{ps}}{\text{nm}}$$

$$2 \text{ Enlaces de 12.5 km} \rightarrow -1200 \frac{\text{ps}}{\text{nm}} * 2 = -2400 \frac{\text{ps}}{\text{nm}}$$

$$\text{Enlace de 150 km} + 2 \text{ Enlaces de 12.5 km} = 2400 \frac{\text{ps}}{\text{nm}} - 2400 \frac{\text{ps}}{\text{nm}} = 0$$

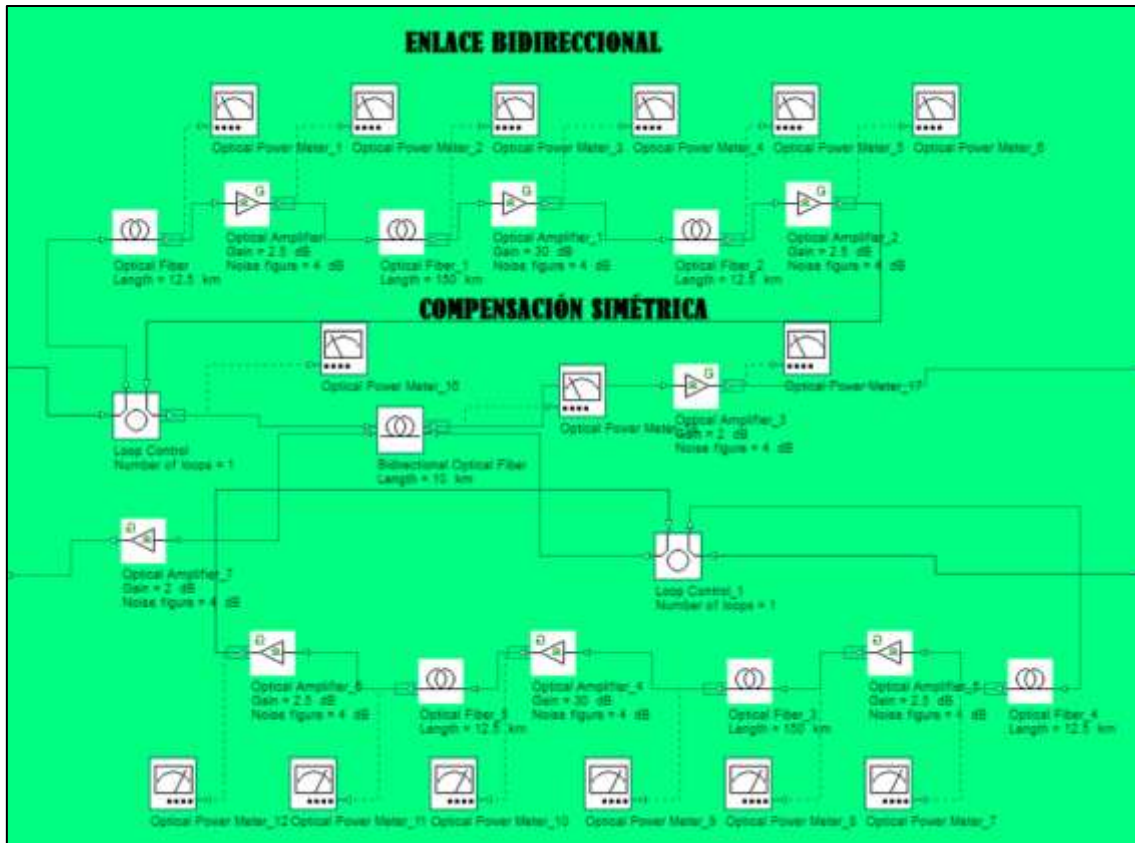


Fig. 8. Subsistema Enlace bidireccional: Compensación simétrica.

Como se observa en la imagen superior, se emplea un enlace bidireccional utilizando el bloque Bidirectional Optical Fiber de 10 km con una atenuación de 0.2 dB/Km, por tal motivo se usa un amplificador de 2 dB.

Equipo de transmisión-recepción

En la figura que se muestra a continuación, el equipo de transmisión emplea una fuente laser de 10 dBm a 1550 nm con modulación externa Mach-Zehnder. Por otro lado, el receptor emplea un fotodetector PIN con filtro pasabajos de Bessel.

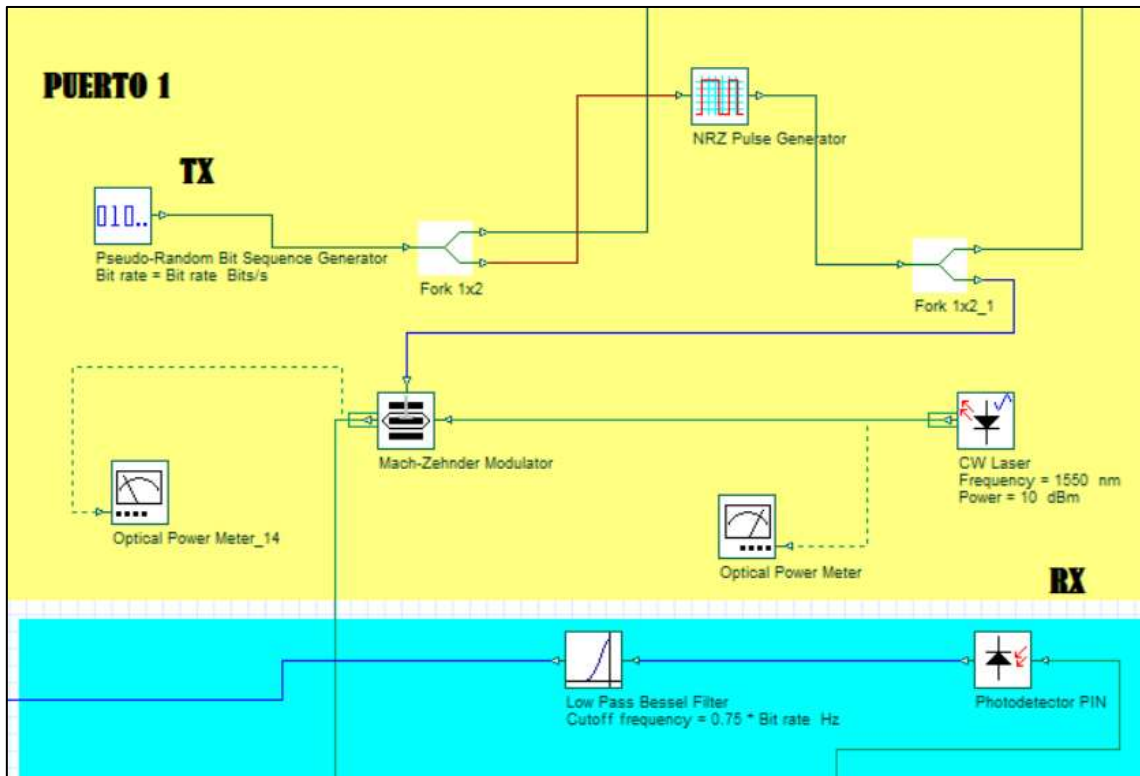


Fig. 9. Subsistema Puerto: Equipo transmisor y receptor.

Dado que los sistemas diseñados corresponden a estructuras muy grandes se han empleado subsistemas que permiten observar de una mejor manera las topologías solicitadas.

RESULTADOS:

Se observan los resultados en el puerto 1, dado que el escenario es el mismo en los demás puertos.

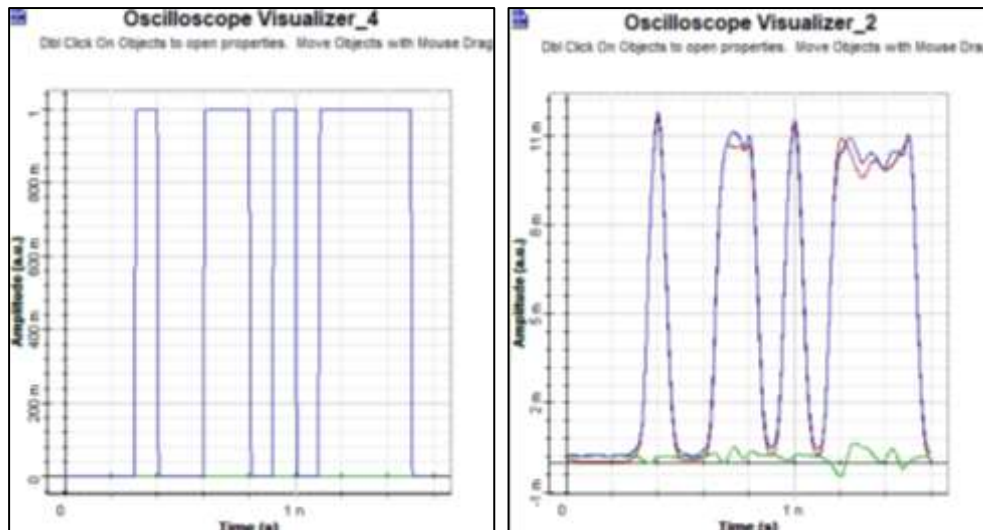


Fig. . Bits en transmisión y recepción.

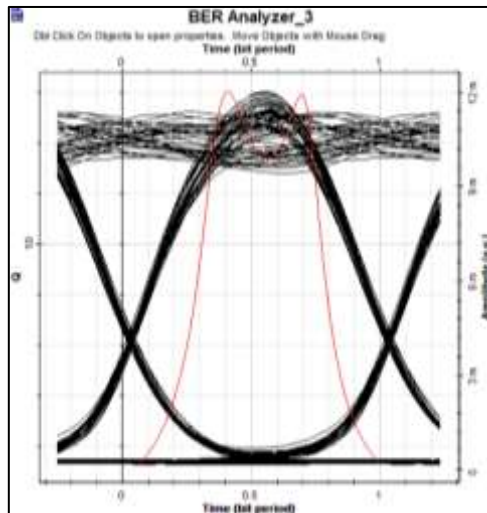
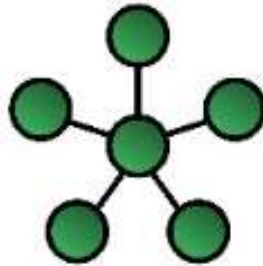


Fig. 10. Diagrama del ojo en recepción.

Max. Q Factor	16.021
Min. BER	3.96124e-058
Eye Height	0.00828163
Threshold	0.00291949
Decision Inst.	0.40625

Fig. 11. BER en recepción.

○ RED ESTRELLA



Sistema de transmisión y recepción óptico bidireccional de 10Gbps para una red tipo ESTRELLA.

Para la topología estrella se han empleado 4 equipos que cuentan con puertos tanto para transmisión como recepción empleando un enlace de fibra bidireccional de 150 km a 1550 nm y un enlace de fibra bidireccional de 150 km a 1330 nm. Cada equipo cuenta con una potencia de 10 dBm.

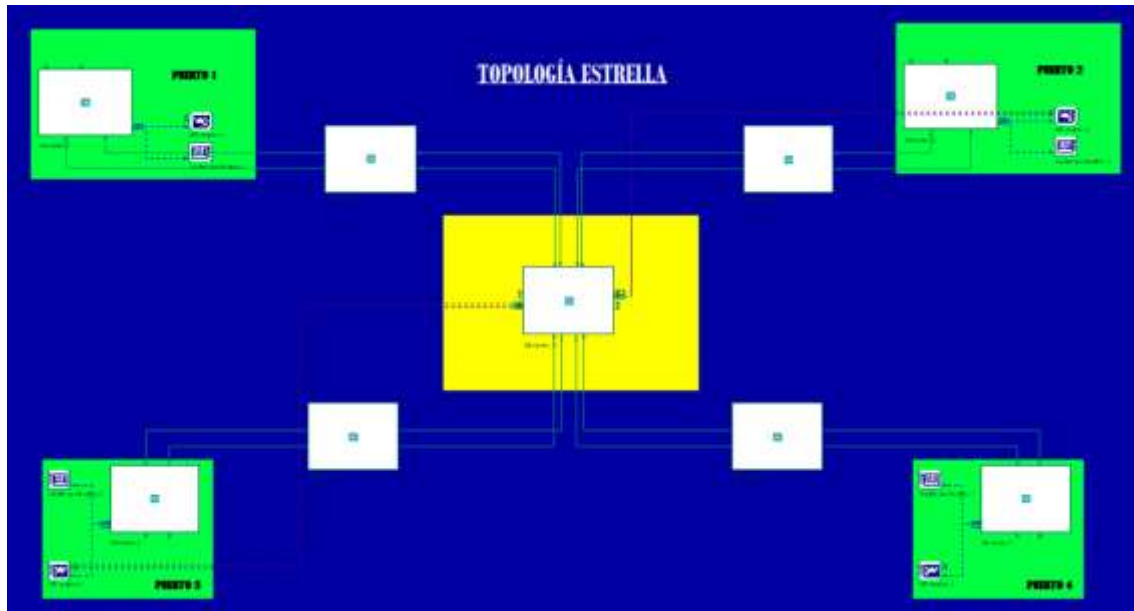


Fig. 12. Red ESTRELLA: Sistema de transmisión óptico bidireccional.

Enlace Bidireccional:

Las fibras DCF (Dispersion Compensating Fiber, o fibra compensadora de la dispersión) se caracterizan por tener un fuerte parámetro de dispersión negativo (equivalentemente a $\beta_2 > 0$) en la tercera ventana, de modo que pueden compensar la dispersión cromática introducida por la fibra monomodo estándar. En este apartado analizaremos el uso de estas fibras en la red tipo BUS y el uso de compensación simétrica a fin de subsanar los efectos de la dispersión.

Se ha empleado la fibra óptica Corning ClearCurve ZBL Optical Fiber, compatible con el estándar ITU-T G.652.D, la cual presenta las siguientes características en cuanto a atenuación y dispersión, mismas que han sido configuradas en los enlaces:

Maximum Attenuation	
Wavelength (nm)	Maximum Value* (dB/km)
1310	≤ 0.35
1383**	≤ 0.35
1490	≤ 0.24
1550	≤ 0.20
1625	≤ 0.23

Dispersion	
Wavelength (nm)	Dispersion Value [ps/(nm*km)]
1550	≤ 18
1625	≤ 23

Fig. 13. Parámetros de Corning ClearCurve ZBL Optical Fiber.

De esta forma se han establecido enlaces de 150 km con una dispersión de 16 [ps/(nm*km)] con un amplificador óptico de 30 dB, correspondiente a la longitud del enlace por su atenuación ($150 \text{ km} * 0.2 \text{ dB/km}$).

Para subsanar los efectos de atenuación se han establecido enlaces de 12.5 km con un valor de dispersión correspondiente a -96 [ps/(nm*km)] antes y después del enlace de 150 km (Compensación asimétrica).

Las longitudes de los enlaces de compensación se han definido de la siguiente forma:

$$\text{Enlace de 150 km} \rightarrow 150 \text{ km} * 16 \frac{\text{ps}}{\text{nm} * \text{km}} = 2400 \frac{\text{ps}}{\text{nm}}$$

$$\text{Enlace de 12.5 km} \rightarrow 12.5 \text{ km} * (-96) \frac{\text{ps}}{\text{nm} * \text{km}} = -1200 \frac{\text{ps}}{\text{nm}}$$

$$2 \text{ Enlaces de 12.5 km} \rightarrow -1200 \frac{\text{ps}}{\text{nm}} * 2 = -2400 \frac{\text{ps}}{\text{nm}}$$

$$\text{Enlace de 150 km} + 2 \text{ Enlaces de 12.5 km} = 2400 \frac{\text{ps}}{\text{nm}} - 2400 \frac{\text{ps}}{\text{nm}} = 0$$

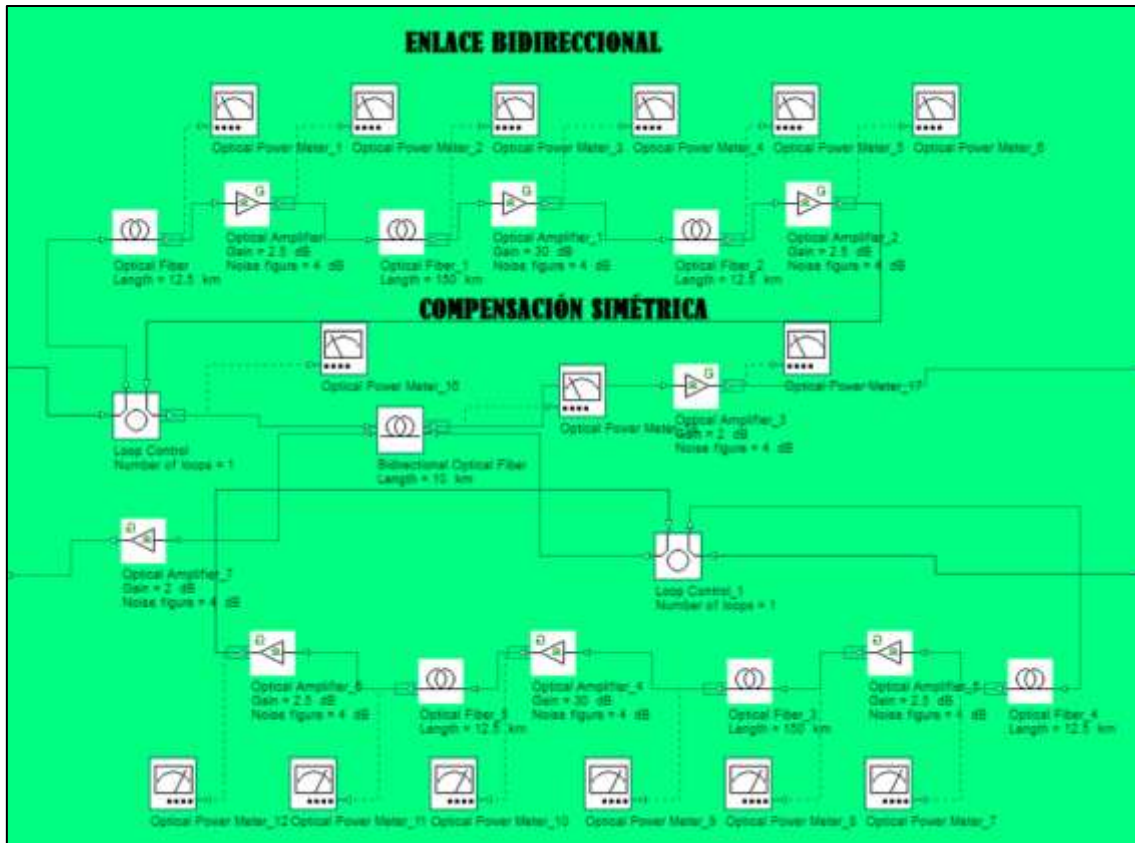


Fig. 14. Subsistema Enlace bidireccional: Compensación simétrica.

Como se observa en la imagen superior, se emplea un enlace bidireccional utilizando el bloque Bidirectional Optical Fiber de 10 km con una atenuación de 0.2 dB/Km, por tal motivo se usa un amplificador de 2 dB.

Equipo de transmisión-recepción

En la figura que se muestra a continuación, el equipo de transmisión emplea una fuente laser de 10 dBm a 1550 nm con modulación externa Mach-Zehnder. Por otro lado, el receptor emplea un fotodetector PIN con filtro pasabajos de Bessel.

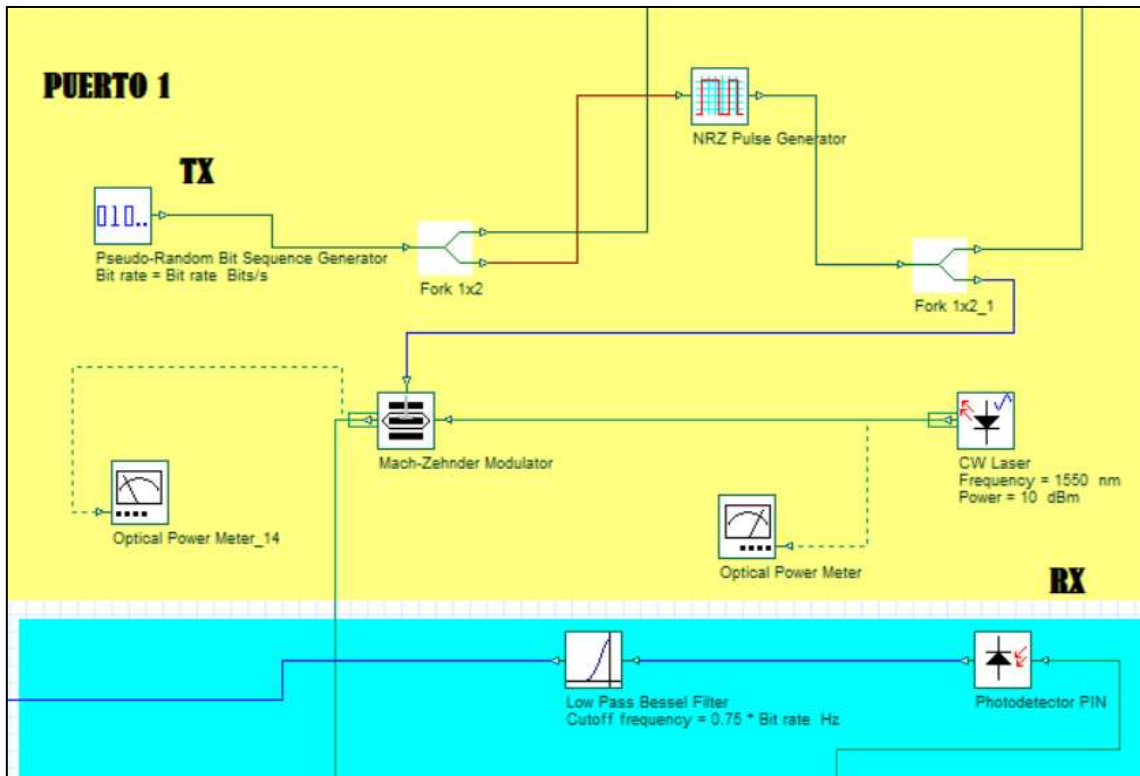


Fig. 15. Subsistema Puerto: Equipo transmisor y receptor.

Dado que los sistemas diseñados corresponden a estructuras muy grandes se han empleado subsistemas que permiten observar de una mejor manera las topologías solicitadas.

RESULTADOS:

Se observan los resultados en el puerto 2, el cual corresponde a 1550 nm.

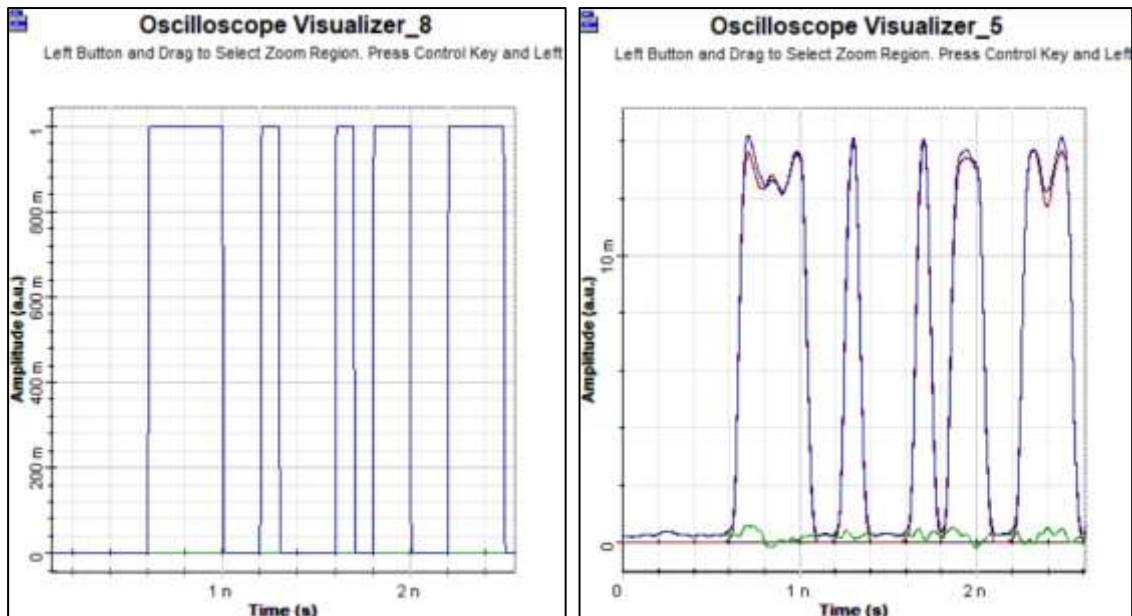


Fig. 16. Bits en transmisión y recepción.

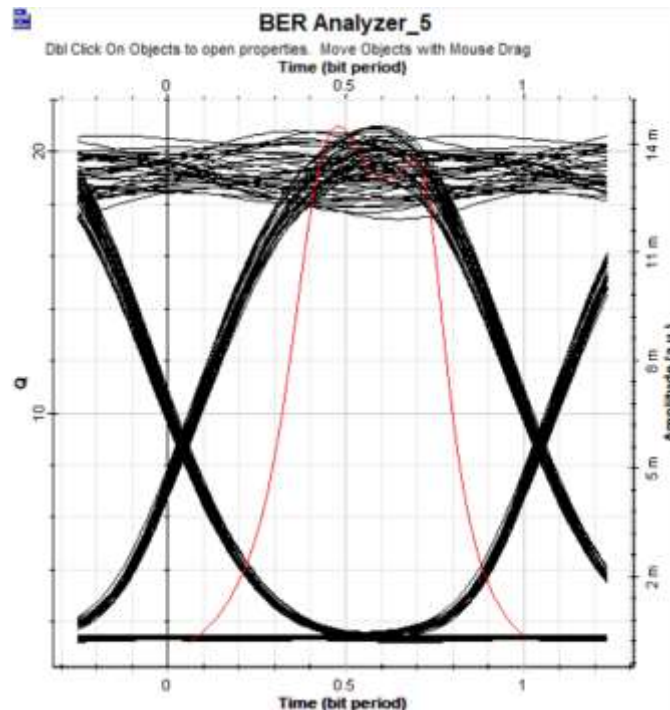


Fig. 17. Diagrama del ojo en recepción.

Max. Q Factor	20.9753
Min. BER	3.89884e-098
Eye Height	0.011109
Threshold	0.00187478
Decision Inst.	0.484375

Fig. 18. BER en recepción.

Se observan los resultados en el puerto 2, el cual corresponde a 1330 nm.

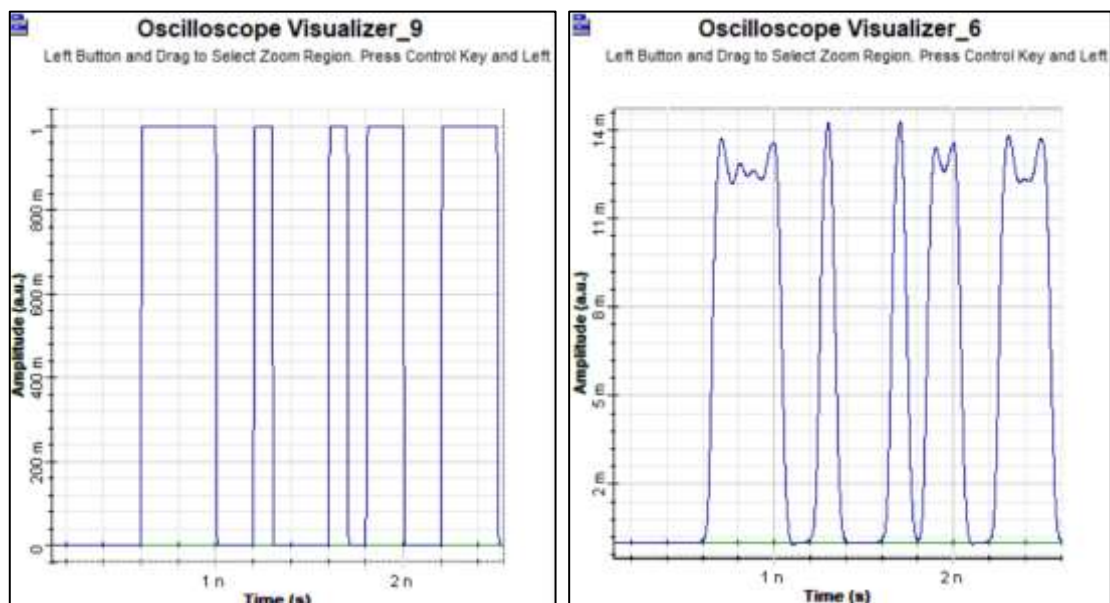


Fig. 19. Bits en transmisión y recepción.

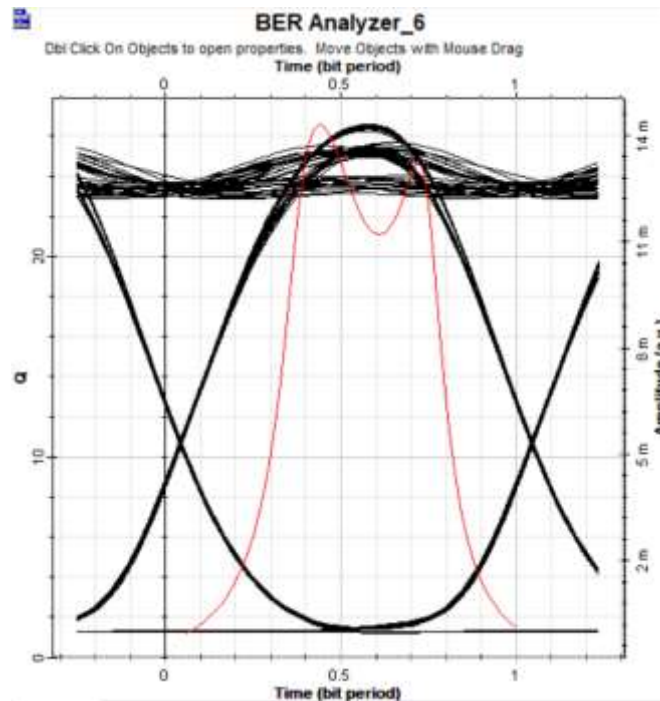


Fig. 20. Diagrama del ojo en recepción.

Max. Q Factor	26.5774
Min. BER	5.05876e-156
Eye Height	0.0116875
Threshold	0.00273068
Decision Inst.	0.4375

Fig. 21. BER en recepción.

○ RED ANILLO

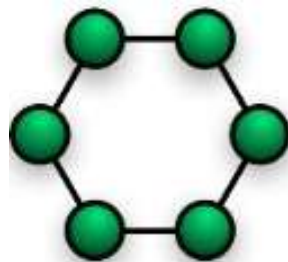


Fig. 22. Topología Anillo

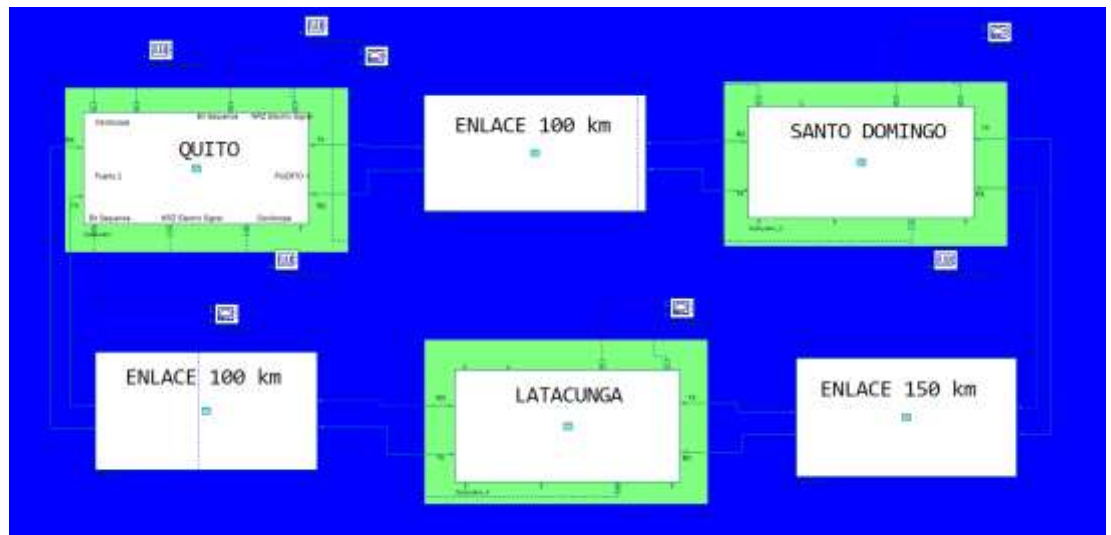


Fig. 23. Esquema planteado para la solución de la topología anillo

En este esquema en un esfuerzo por acercarnos a la realidad proponemos enlaces entre 3 ciudades por medio de la topología anillo que tiene como asegurar la disponibilidad de la red ya que si un enlace se cae o sufre alguna anomalía existe otro enlace independiente que permitirá conectar a dichas ciudades que perdieron el enlace además proponemos un esquema de compensación simétrica ya que la fibra por si sola llega con un mal factor de calidad como se observa en la figura 40, y obteniendo un BER adecuado en la figura 26.

En la figura 24 podemos observar lo que existe en el subsistema de cada ciudad que llamamos puertos de transmisión y recepción los cuales nos permiten realizar la topología en anillo y colocamos puertos de salida para los equipos de medición.

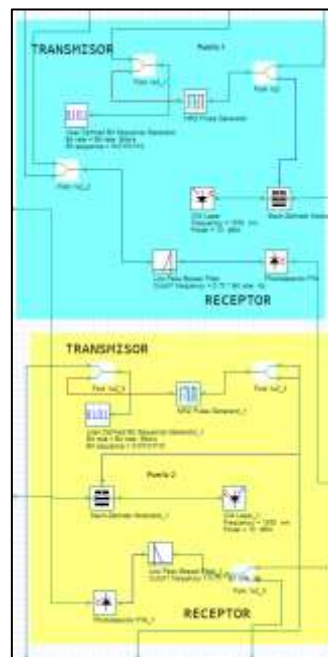


Fig. 24. Subsistema creado para las ciudades.

Maximum Attenuation	
Wavelength (nm)	Maximum Value* (dB/km)
1310	≤ 0.35
1383**	≤ 0.35
1490	≤ 0.24
1550	≤ 0.20
1625	≤ 0.21

Dispersion	
Wavelength (nm)	Dispersion Value (ps/nm.km)
1550	≤ 18
1625	≤ 23

Fig. 25. Parámetros de Corning ClearCurve ZBL Optical Fiber.

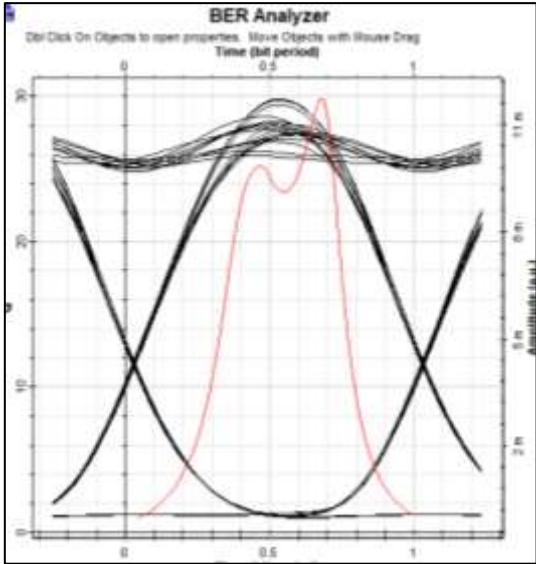


Fig. 26. Enlace Quito- Santo Domingo con Compensación Simétrica Recepción

Max. Q Factor	29.7835
Min. BER	2.84585e-195
Eye Height	0.00947658
Threshold	0.00194583
Decision Inst.	0.671875

Fig. 27. BER en la recepción.

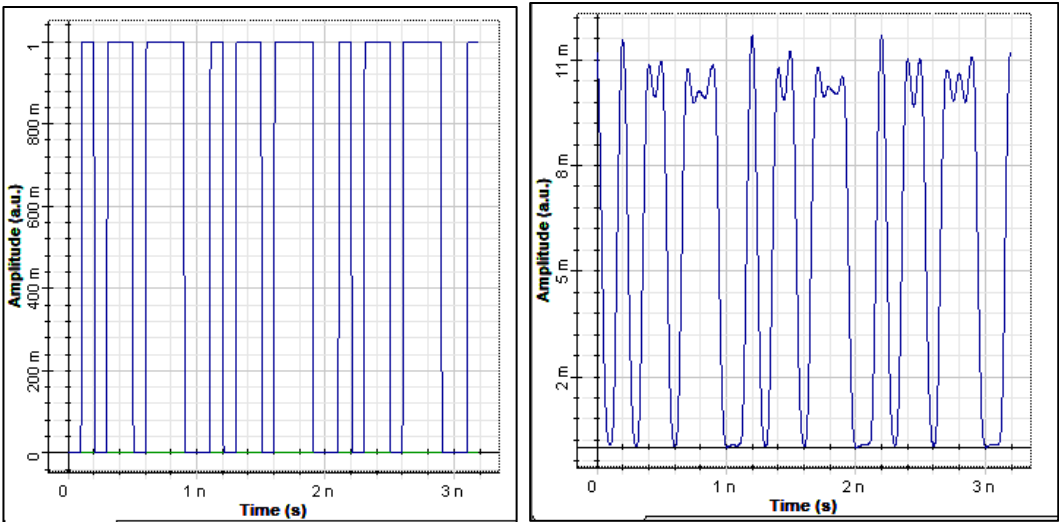


Fig. 28. Bits en transmisión y recepción.

ENLACE COMPENSACION SIMÉTRICA QUITO-SANTO DOMINGO

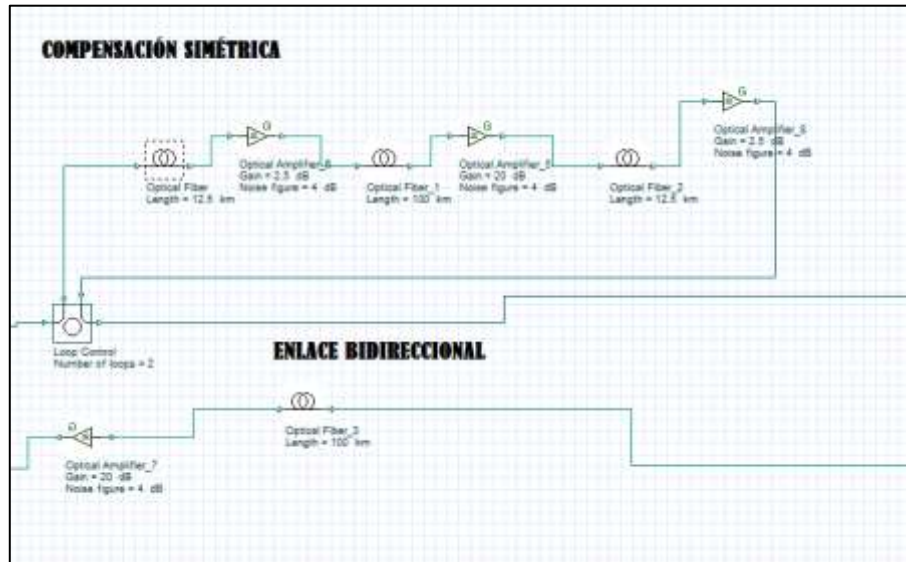


Fig. 29. Subsistema creado para el enlace Quito-Santo Domingo – Latacunga- Quito

$$\text{Enlace de 100 km} \rightarrow 100 \text{ km} * 16 \frac{\text{ps}}{\text{nm} * \text{km}} = 1600 \frac{\text{ps}}{\text{nm}}$$

$$\text{Enlace de 12.5 km} \rightarrow 12.5 \text{ km} * (-64) \frac{\text{ps}}{\text{nm} * \text{km}} = -800 \frac{\text{ps}}{\text{nm}}$$

$$2 \text{ Enlaces de 12.5 km} \rightarrow -800 \frac{\text{ps}}{\text{nm}} * 2 = -1600 \frac{\text{ps}}{\text{nm}}$$

$$\text{Enlace de 100 km} + 2 \text{ Enlaces de 12.5 km} = 1600 \frac{\text{ps}}{\text{nm}} - 1600 \frac{\text{ps}}{\text{nm}} = 0$$

ENLACE COMPENSACION SIMÉTRICA LATACUNGA-SANTO DOMINGO

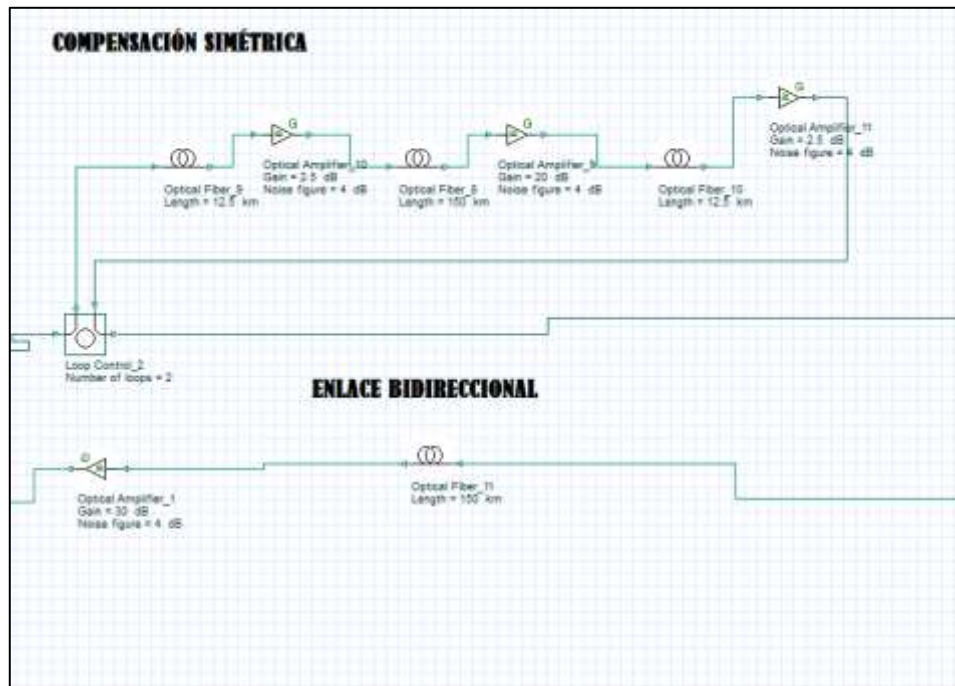


Fig. 30. Subsistema creados para el enlace Santo Domingo – Latacunga

$$\text{Enlace de 150 km} \rightarrow 150 \text{ km} * 16 \frac{\text{ps}}{\text{nm} * \text{km}} = 2400 \frac{\text{ps}}{\text{nm}}$$

$$\text{Enlace de 12.5 km} \rightarrow 12.5 \text{ km} * (-96) \frac{\text{ps}}{\text{nm} * \text{km}} = -1200 \frac{\text{ps}}{\text{nm}}$$

$$2 \text{ Enlaces de 12.5 km} \rightarrow -1200 \frac{\text{ps}}{\text{nm}} * 2 = -2400 \frac{\text{ps}}{\text{nm}}$$

$$\text{Enlace de 150 km} + 2 \text{ Enlaces de 12.5 km} = 2400 \frac{\text{ps}}{\text{nm}} - 2400 \frac{\text{ps}}{\text{nm}} = 0$$

ENLACE COMPENSACION SIMÉTRICA QUITO-LATAACUNGA

$$\text{Enlace de 100 km} \rightarrow 100 \text{ km} * 16 \frac{\text{ps}}{\text{nm} * \text{km}} = 1600 \frac{\text{ps}}{\text{nm}}$$

$$\text{Enlace de 12.5 km} \rightarrow 12.5 \text{ km} * (-64) \frac{\text{ps}}{\text{nm} * \text{km}} = -800 \frac{\text{ps}}{\text{nm}}$$

$$2 \text{ Enlaces de 12.5 km} \rightarrow -800 \frac{\text{ps}}{\text{nm}} * 2 = -1600 \frac{\text{ps}}{\text{nm}}$$

$$\text{Enlace de 100 km} + 2 \text{ Enlaces de 12.5 km} = 1600 \frac{\text{ps}}{\text{nm}} - 1600 \frac{\text{ps}}{\text{nm}} = 0$$

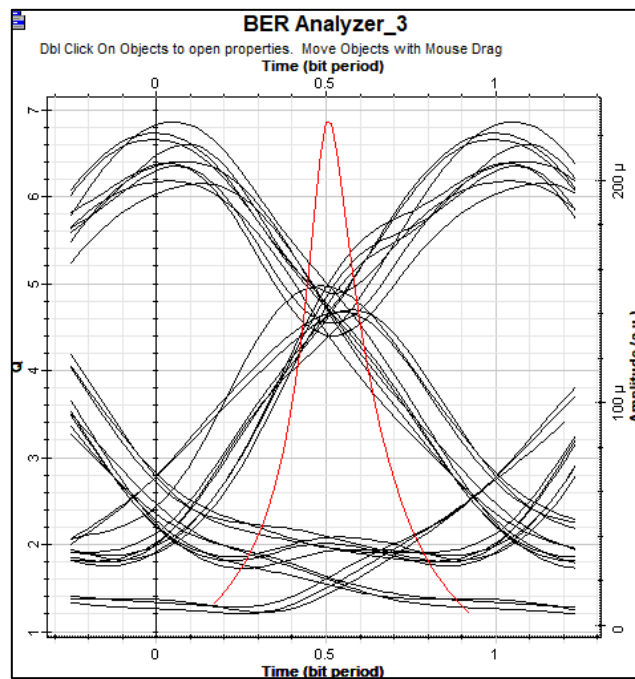


Fig. 40. Enlace Quito-Santo Domingo sin Compensación Simétrica Recepción

Max. Q Factor	6.85592
Min. BER	3.35337e-012
Eye Height	6.42721e-005
Threshold	9.15294e-005
Decision Inst.	0.5

Fig. 41. BER en la recepción.

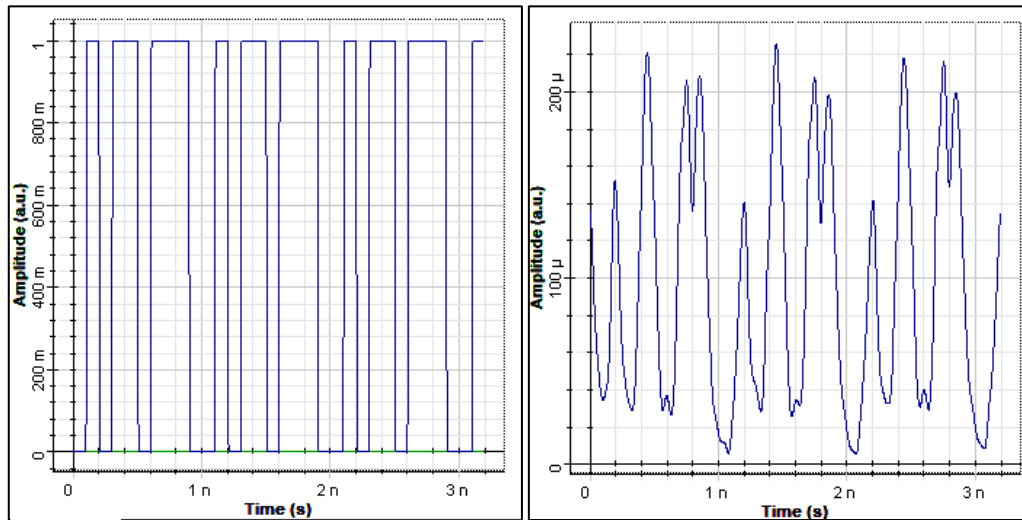


Fig. 42. Bits en transmisión y recepción.

Referencias

- [1] «Optical Couplers - Special Wavelengths 532 630 830 980 1064 1480, oeMarket.com». http://www.oemarket.com/catalog/product_info.php/optical-couplers-special-wavelengths-532-630-830-980-1064-1480-p-77 (accedido jul. 06, 2021).
- [2] «62119-os42s1s.pdf». Accedido: jul. 06, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.commscope.com/globalassets/digizuite/62119-os42s1s.pdf>
- [3] «Tunable Optical Filter Products», *DiCon Fiberoptics*. https://www.diconfiberoptics.com/products/tunable_optical_filter.php (accedido jul. 06, 2021).
- [4] P. Singh, D. Tripathi, S. Jaiswal, y H. K. Dixit, «All-Optical Logic Gates: Designs, Classification, and Comparison», *Adv. Opt. Technol.*, vol. 2014, mar. 2014, doi: 10.1155/2014/275083.
- [5] «Atenuadores Fibra Optica», Silex Fiber Telecom | Fibra Optica y Accesorios. <https://silexfiber.com/atenuadores-fibra-optica/> (accedido jul. 11, 2021).