

EFFECTO DE LA ATENUACIÓN Y LA DISPERSIÓN DE LA FIBRA SOBRE LA TRANSMISIÓN (SIMULACIÓN)

Informe N°4

CP Redes de Comunicaciones Ópticas

1st Ronaldo Almachi

Ingeniería en Telecomunicaciones

Facultad de Eléctrica y Electrónica

Quito, Ecuador

ronaldo.almachi@epn.edu.ec

2nd Cristian Gallo

Ingeniería en Telecomunicaciones

Facultad de Eléctrica y Electrónica

Quito, Ecuador

cristian.gallo@epn.edu.ec

Resumen—En este documento se presenta un resumen acerca de los resultados obtenidos durante el desarrollo de la práctica, además se realiza una modificación al esquema de post-compensación, de tal manera que la dispersión cromática sea compensada por el bloque Ideal Dispersion Compensation, finalmente, usaremos visualizadores para realizar un análisis del esquema de post-compensación.

Index Terms—Optisystem, compensación, dispersión, simulación, atenuación

I. INTRODUCCIÓN

La fibra monomodo tiene un diámetro tan pequeño que los rayos de la luz pueden reflejarse de forma interna por una sola capa. Las interfaces ópticas monomodo suelen usar indicadores LED como fuentes luminosas. Los láseres generan una sola longitud de onda de luz que viaja en línea recta por la fibra monomodo. Comparada con la multimodo, la de fibra monomodo tiene un ancho de banda más alto y puede transportar señales por distancias más largas. [1]

El exceder las distancias máximas de transmisión puede tener como resultado pérdida de señal significativa, lo que produce una transmisión no confiable. [1]

La atenuación es la reducción de la potencia de la señal luminosa que se transmite. Los causantes de la atenuación son componentes de medios pasivos, como cables, empalmes de cable y conectores. Aunque la atenuación es mucho menor en la fibra óptica que en otros medios, igual se produce tanto en la transmisión de multimodo como en la de monomodo. Un vínculo de datos ópticos eficiente debe tener luz disponible suficiente para superar la atenuación. [1]

La dispersión es la propagación de la señal con el paso del tiempo. Los siguientes dos tipos de dispersión pueden afectar

a un vínculo de datos ópticos: [1]

- **Dispersión cromática**—Propagación de la señal con el paso del tiempo como resultado de diferentes velocidades de los rayos de luz. [1]
- **Dispersión modal**—Propagación de la señal con el paso del tiempo como resultado de distintos modos de propagación en la fibra. [1]

II. OBJETIVOS

- Analizar como los esquemas de compensación de la dispersión afectan en el rendimiento de un sistema de transmisión por FO monomodo.
- Analizar los resultados de la simulación de un sistema de TX con esquemas de pre-compensación, post-compensación y compensación simétrica.
- Estudiar diferentes escenarios de atenuación en enlaces de FO monomodo.

III. PREGUNTAS

A. *Presentar un resumen detallado de los resultados obtenidos en las simulaciones de la práctica. Enfatizar los procedimientos realizados dentro del simulador.*

Resultados obtenidos con los datos proporcionados por la hoja guía

- **Esquema de pre-compensación**

Es el esquema presentado a continuación es un sistema óptico punto a punto, con la diferencia que se consideró dispersión en la fibra, esta característica puede ser habilitada en la configuración de la fibra, para este primer caso se tomo como referencia la dispersión propuesta en la hoja guía, de la misma manera valores de atenuación, longitud de la

fibra y potencia del transmisor.

Una de las formas de compensar la dispersión en una red óptica es con trozos de fibra óptica que cuenten con una dispersión negativa de tal manera que se anule la dispersión resultante de la fibra principal, la FO destinada a compensar dicho efecto es de una menor longitud pero con una mayor dispersión por km, también se debe considerar usar un amplificador al final de la fibra para compensar la atenuación de la fibra.

El transmisor y receptor usados son los mismos que ya hemos usado previamente, con la diferencia de que la potencia del transmisor es de 10dBm, mientras que el receptor tiene una sensibilidad de -25 dBm, todo lo ya mencionado se ve reflejado en la figura 1.

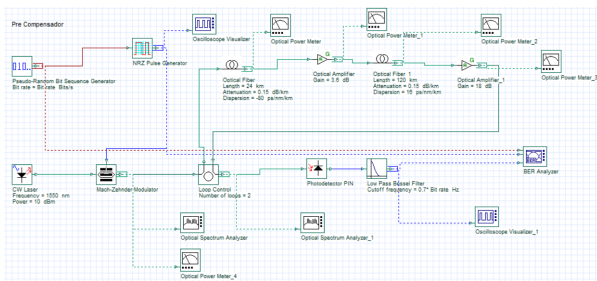


Figura 1. Esquema de pre-compensación

En la figura 2, tenemos la secuencia de bits originales para este caso.

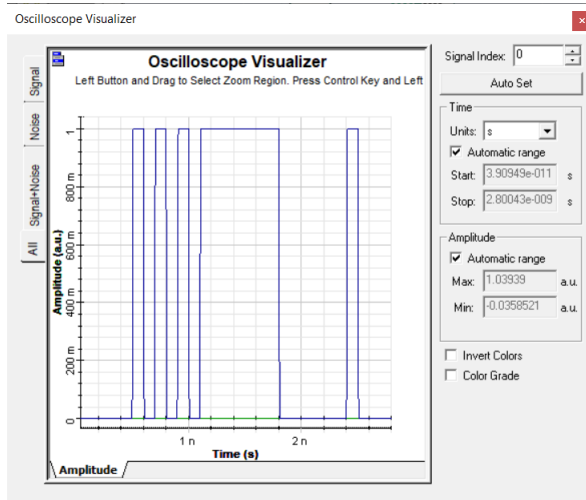


Figura 2. Secuencia de bits originales

En la figura 3, tenemos la secuencia de bits recuperada, lo primero que se puede notar es que la amplitud de las señales ha disminuido, y además cuenta con ruido en la parte superior de los bits, sin embargo, mantiene la forma base de la secuencia de bits originales, por lo que si se podría interpretar de manera adecuada los bits recuperados.

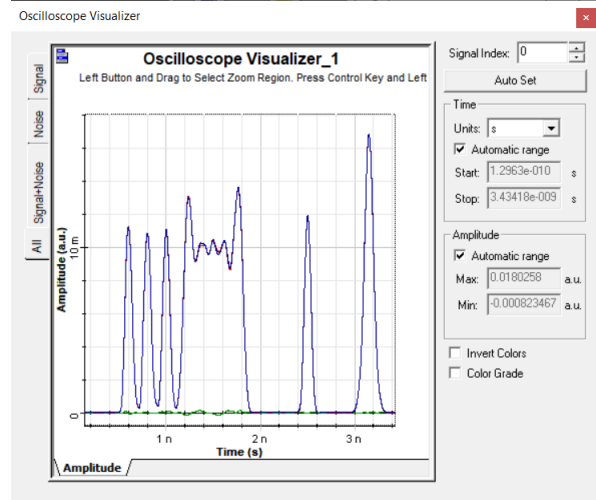


Figura 3. Secuencia de bits recuperados

En el diagrama de ojo presentado en la figura 4, se puede apreciar claramente el efecto que causa la dispersión en la fibra es decir que si se dispersa la luz dentro de la fibra, esto se lo puede notar en la parte superior donde tenemos varias curvas que no se superponen sobre otras, es importante recordar que a pesar de que se uso compensadores de dispersión, dicho efecto no desaparece del todo, por lo que no puede eliminar sino más bien minimizar lo más que se pueda.

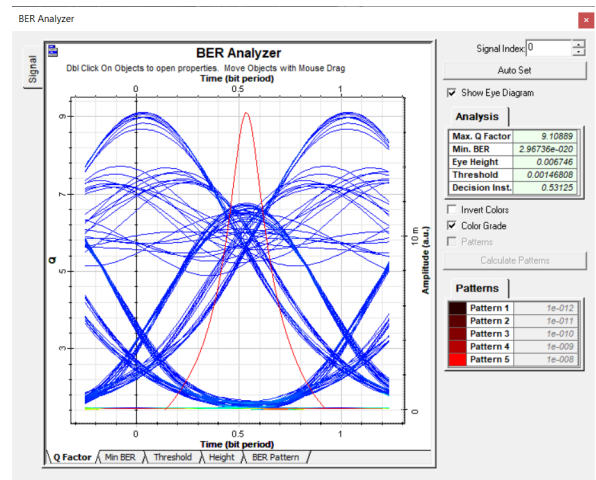


Figura 4. Diagrama de ojo y BER

• Esquema de post-compensación

A diferencia del esquema anterior la etapa de compensación se encuentra después de la fibra principal, es un método diferente pero que cumple la misma función de compensar el efecto de dispersión en la fibra.

La configuración para este caso es la misma que en el caso anterior, es importante mencionar que para compensar el efecto de la atenuación en la fibra se debe colocar un

amplificador con un valor correspondiente a la atenuación dada a lo largo de la fibra, después de cada fibra, esto se lo puede apreciar en la figura 5, además de debe considerar que se obtuvo un BER muy bajo lo cual indica que la transmisión hasta cierto punto ha sido exitosa.

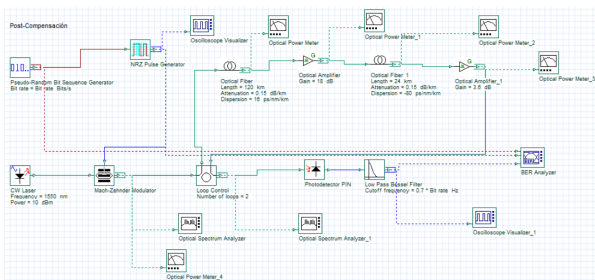


Figura 5. Esquema de post-compensación

En la figura 6, se presenta la secuencia original de bits para este caso.

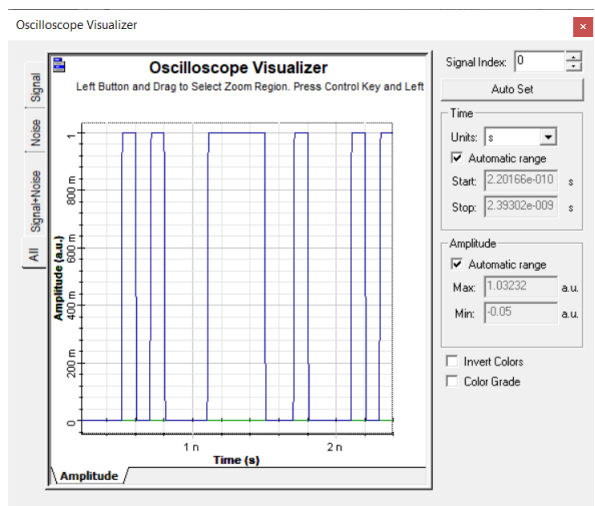


Figura 6. Secuencia de bits originales

La secuencia de bits recuperada como en el caso anterior, tiende a disminuir su amplitud además de tener cierta cantidad de ruido en cada bit, otro cambio no tan notorio a primera vista es que hay un ensanchamiento en los pulsos, esto si lo comparamos con la secuencia original, el ensanchamiento de los pulsos puede representar un problema a la hora de interpretar los bits.

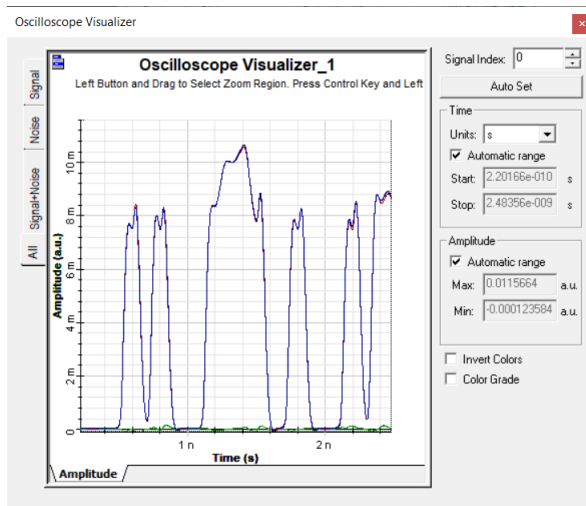


Figura 7. Secuencia de bits recuperados

El diagrama de ojo presentado para este caso indica que el pulso se ha ensanchado, esto no solo se refleja en la parte superior del diagrama de ojo, sino que en la curva de color rojo se tiene una forma aproximada del bit, la cual es ensanchada en la base, y con cierta cantidad de ruido en la parte superior, hasta este punto se puede decir que la post-compensación, tiene un efecto diferente en la transmisión de datos, en este caso el valor de BER es un poco mayor que el caso anterior. pero sigue manteniéndose en un rango adecuado para evitar gran cantidad de errores

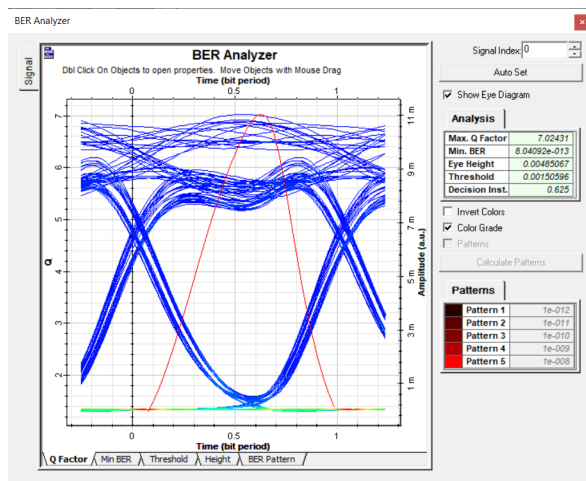


Figura 8. Diagrama de ojo y BER

• Esquema de compensación simétrica

En este caso se usa la pre-compensación y post-compensación de manera simultánea, pero se debe considerar una configuración un tanto diferente, puesto que la fibra principal se divide en dos con un amplificador cada una, y de la misma, mientras que los tramos de fibra compensadora deben ser de una menor longitud. Estos serían los mayores cambios con respecto a la fibra principal y la fibra compensadora,

mientras que se ha añadido dos amplificadores adicionales para compensar efectos de atenuación, el transmisor y el receptor mantienen las mismas configuraciones que en los casos anteriores, tal y como se presenta en la figura 9.

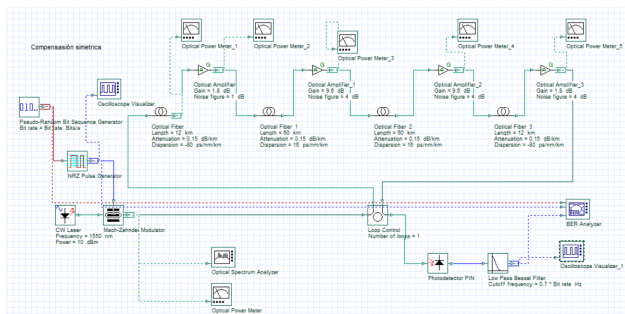


Figura 9. Esquema de compensación simétrica

En la figura 10, se presenta la secuencia de bits originales.

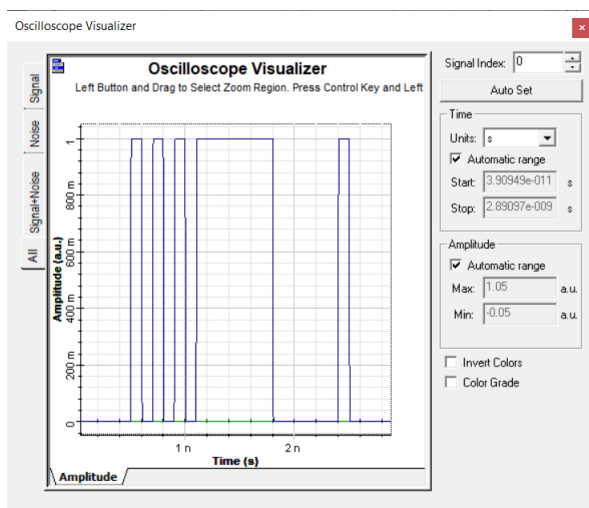


Figura 10. Secuencia de bits originales

La secuencia de bits recuperada en este caso resulta ser la mejor puesto que se tiene una forma de bits muy parecida a la original, además que tiene ruido en la parte superior que puede ser fácilmente eliminado con la ayuda de un regenerador 3R, y con respecto a la amplitud, se ha disminuido pero todas presentan una igual atenuación con lo que se ha conseguido casi suprimir efectos no lineales de la fibra, esto se puede observar en la figura 11.

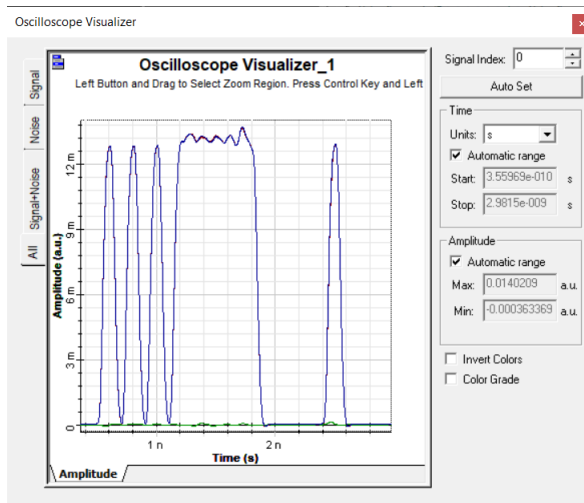


Figura 11. Secuencia de bits recuperados

El diagrama de ojo para este caso resulta ser perfecto, puesto que no tiene ensanchamiento alguno en la parte superior o inferior del diagrama, además la curva de color rojo tiene una forma sinusoidal la cual no presenta ensanchamientos ni ruido en la parte superior de la curva, con respecto al BER se tiene un valor de 0, esto implica que no existen errores en la transmisión de datos, por lo que es el mejor resultado presentado hasta ahora, esto se puede apreciar en la figura 12

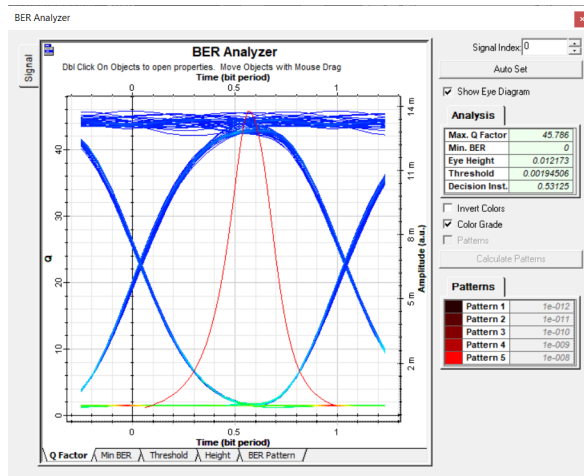


Figura 12. Diagrama de ojo y BER

Resultados obtenidos con los datos consultados para el trabajo preparatorio

• Esquema de pre-compensación

Es el esquema presentado de un sistema óptico punto a punto, con la diferencia que se consideró dispersión en la fibra, está característica puede ser habilitada en la configuraciones de la fibra, para este caso se tomo como referencia la dispersión consultada en el trabajo preparatorio.

Una de las formas de compensar la dispersión en una red óptica es con trozos de fibra óptica que cuenten con una dispersión negativa de tal manera que se anule la dispersión resultante de la fibra principal, la FO destinada a compensar dicho efecto es de una menor longitud pero con una mayor dispersión por km.

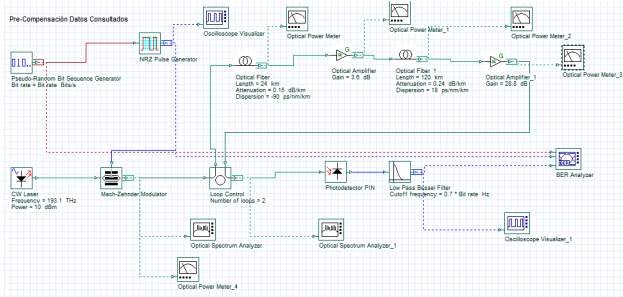


Figura 13. Diagrama de pre-compensación con datos consultados

En la figura 14, tenemos la secuencia de bits originales para este caso, para la red diseñada con pre-compensación.

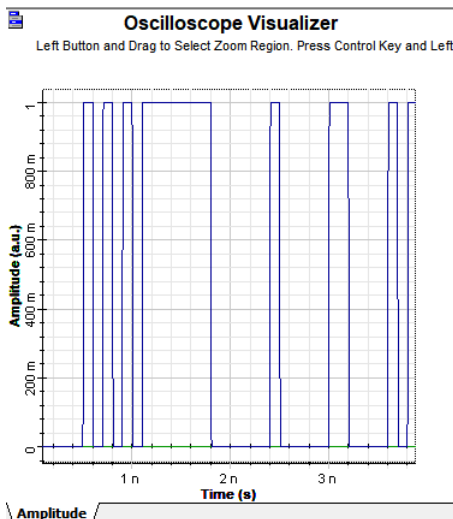


Figura 14. Osciloscopio de Tx

En la figura 15, tenemos la secuencia de bits recuperada, se debe destacar como la amplitud de las señales ha disminuido, y además cuenta con ruido en la parte superior de los bits, sin embargo, mantiene la forma base de la secuencia de bits originales.

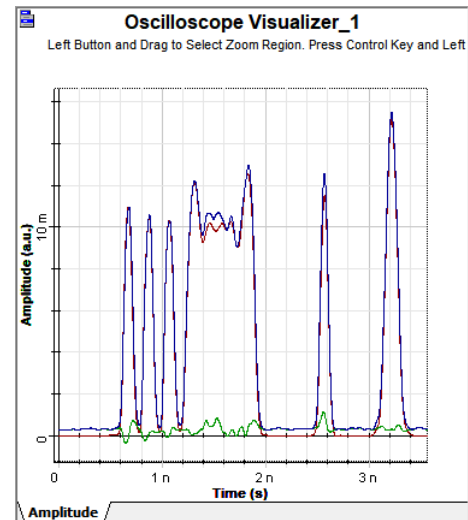


Figura 15. Osciloscopio de Rx

En el diagrama de ojo y BER presentado en la figura 16, se puede apreciar claramente el efecto que causa la dispersión en la fibra es decir que si se dispersa la luz dentro de la fibra, esto se lo puede notar en la parte superior donde tenemos varias curvas que no se superponen sobre otras, y con respecto al BER se tiene un BER bastante bajo, por lo cual la red, tiene un buen desempeño.

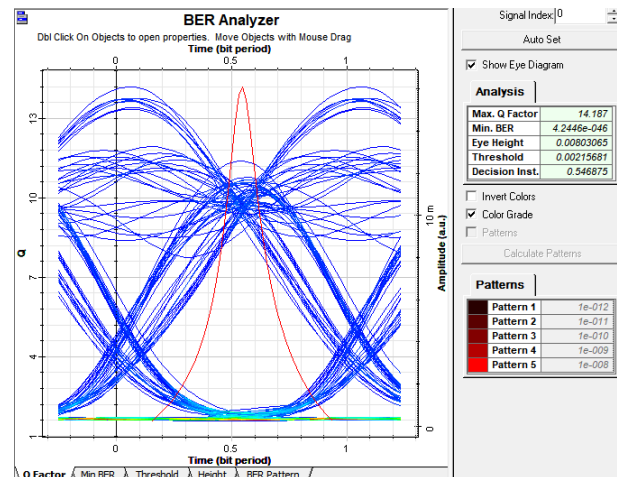


Figura 16. BER y diagrama del ojo

• Esquema de post-compensación

La etapa de compensación se encuentra después de la fibra principal, es un método diferente pero que cumple la misma función de compensar el efecto de dispersión en la fibra. La configuración para este caso es la similar que para la pre-compensación, solo cambia la posición de la fibra compensadora, es decir en este caso ira después de la fibra de dispersión, los resultados en general con respecto al BER es que empeora.

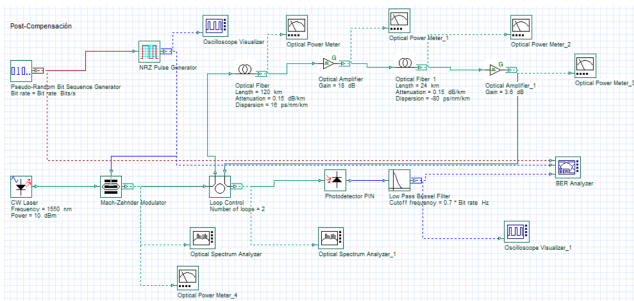


Figura 17. Diagrama de post-compensación con datos consultados

En la siguiente figura tenemos la secuencia de bits que salen del transmisor.

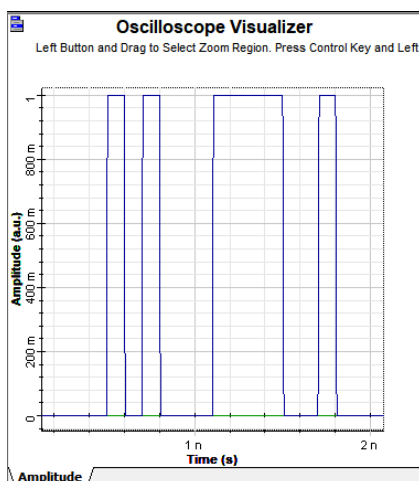


Figura 18. Osciloscopio de Tx

Para la parte de recepción se aprecia una disminución del nivel de la potencia de la señal de los bits, y como se agrega un poco de ruido, a pesar de aquello, se puede recuperar los bits originales.

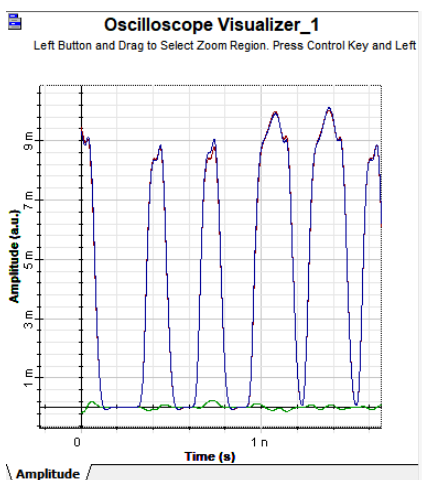


Figura 19. Osciloscopio de Rx

Para el diagrama de ojo y BER, se puede apreciar un mayor efecto que causa la dispersión en la fibra es decir que si disperse la luz dentro de la fibra, además el valor del BER es peor que para la parte de pre-compensación.

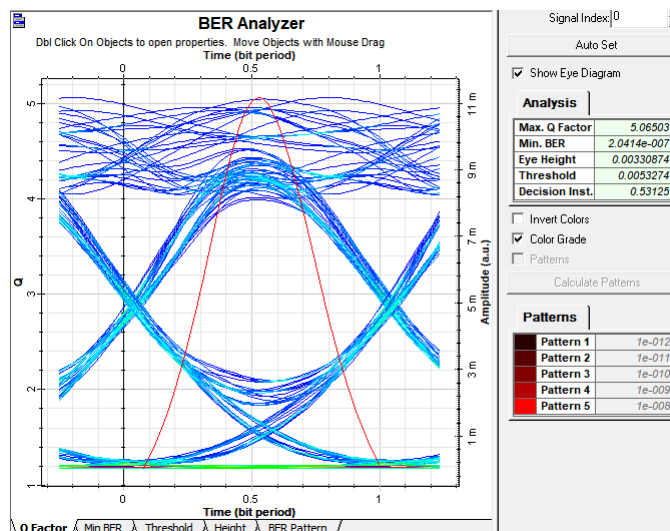


Figura 20. BER y diagrama del ojo

• Esquema de Compensación Simétrica

En este caso se usa tanto la etapa de pre-compensación y post-compensación de manera simultánea, pero con una configuración un tanto diferente, puesto que la fibra principal se divide en dos con un amplificador cada una, y de la misma, mientras que los tramos de fibra compensadora deben ser de una menor longitud.

Es decir como si los tramos de fibra se van a dividir en 4, donde se tiene fibra compensadora, fibra de dispersión, fibra de dispersión, y fibra compensadora, con los datos que se consultaron para el trabajo preparatorio.

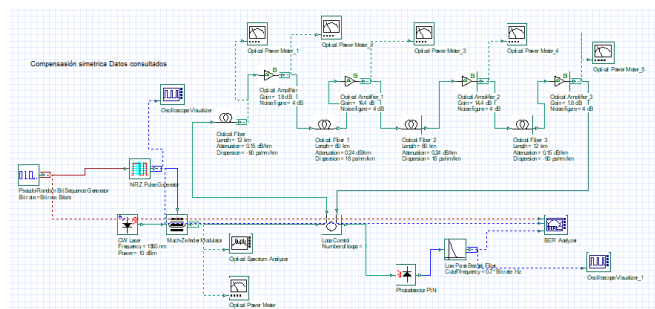


Figura 21. Diagrama de compensación simétrica con datos consultados

Para la figura 22 se aprecia los bits de Tx, que van a pasar por la red.

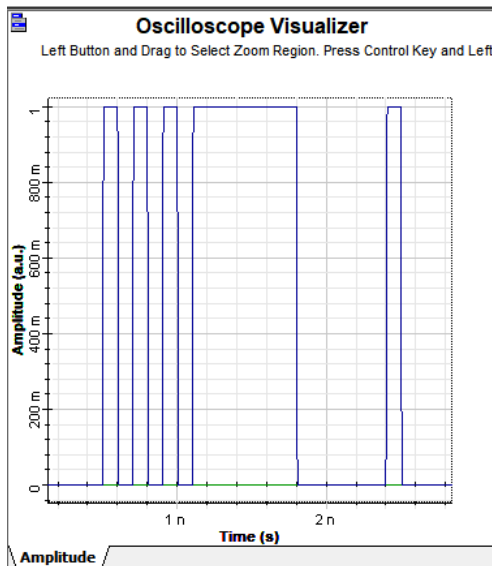


Figura 22. Osciloscopio de Tx

En este caso se pueden apreciar la señal de los bits, con una ligera atenuación, pero sobre todo con poco ruido, lo cual demuestra que el BER va a tender a un valor de 0.

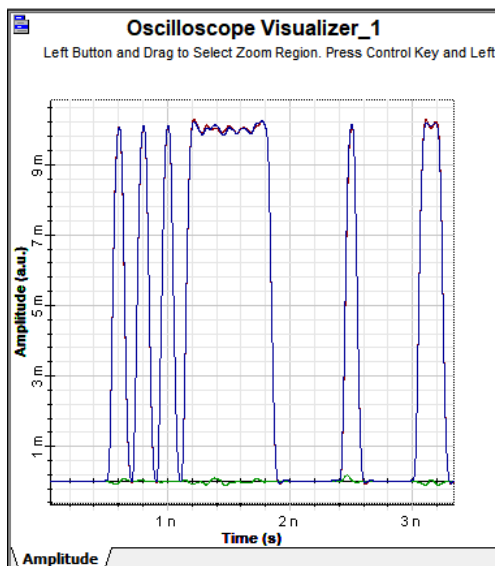


Figura 23. Osciloscopio de Rx

Para el diagrama del ojo y BER, como se aprecia en la figura 24 se obtienen un BER de 0, esto se debe a que en el bloque de Loop Control, el número de loops es de 0, por lo cual también se aprecia que el diagrama de ojo no tiene líneas sobrepuestas.

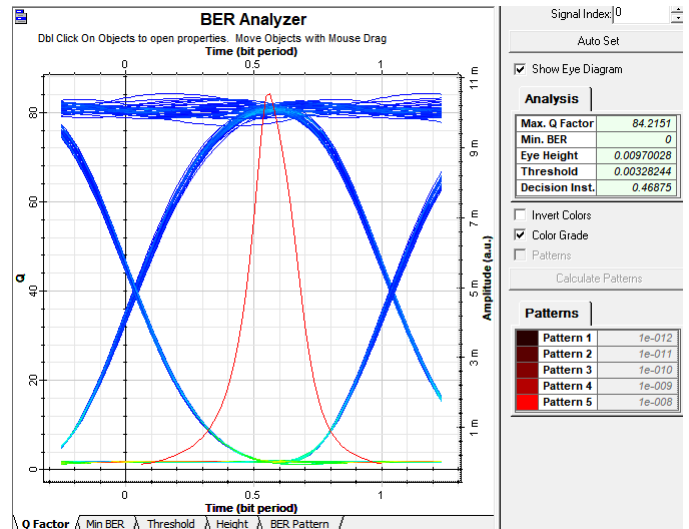


Figura 24. BER y diagrama del ojo

B. Investigar y modificar el esquema implementado de post-compensación durante la sesión de laboratorio, de tal manera que la dispersión cromática del enlace sea compensada con el bloque Ideal Dispersion Compensation de Optisystem en lugar de tramos de fibra óptica DCF.

Dentro de Optisystem se tiene una guía del modo de uso cada bloque y como se debería usar, esto es un poco complicado de interpretar, por lo que la página de Optisystem cuenta con algunos ejemplos de uso, pero el bloque solicitado puede ser usado sin problemas ya que los nombres de los pines son muy descriptivos, tal cual se puede ver en la figura 25, en dicha figura se puede apreciar que el pin de entrada de la fibra se encuentra ubicado en la parte superior de la izquierda, mientras que la salida está en la parte de abajo del mismo lado.

En el bloque Ideal Dispersion Compensation, se puede configurar una frecuencia de referencia, un ancho de banda y la dispersión que se quiere compensar, en este caso la dispersión tiene un valor de -1920, el mismo que teníamos cuando usábamos tramos de FO.

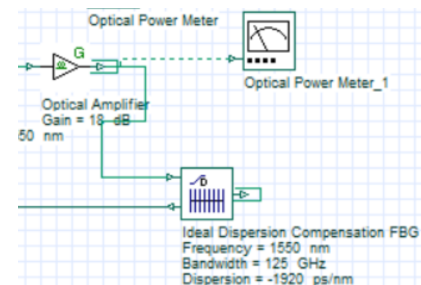


Figura 25. Forma de conexión del bloque Ideal Dispersion Compensation

En la figura 26, se tiene un esquema general del como va integrado el bloque Ideal Dispersion Compensation, en red óptica completa.

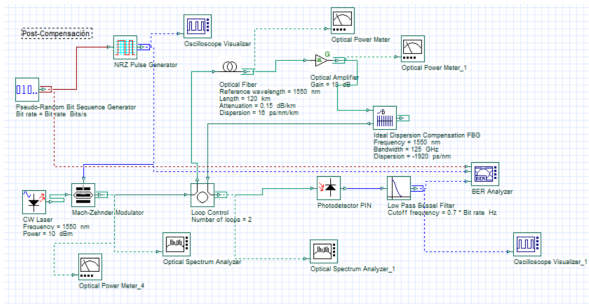


Figura 26. Esquema de post-compensación con el bloque Ideal Dispersion Compensation

C. Incluir visualizadores ópticos en el dominio temporal en el esquema implementado en el numeral B, analizar las gráficas obtenidas en los puntos de TX, después del tramo de FO y después de la compensación de la dispersión cromática.

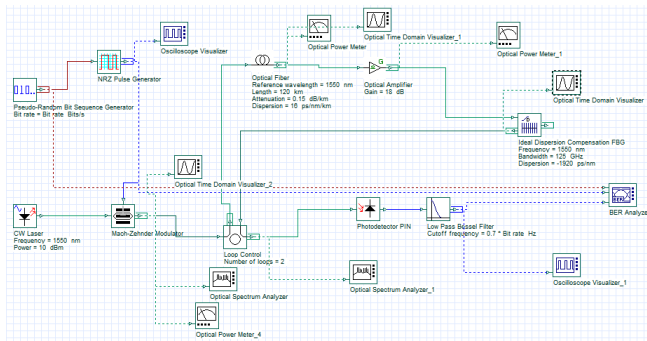


Figura 27. Esquema de post-compensación con el bloque Ideal Dispersion Compensation y Visualizadores Ópticos

Dentro de esta simulación podemos apreciar mediante Optical Time Domain Visualizer, los resultados de la señal de bits en tiempo, que se están transmitiendo por una señal óptica, dentro de la red. Luego de Tx:

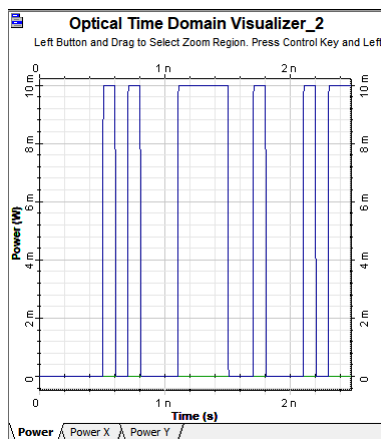


Figura 28. Visualizador en Tiempo luego de Tx

En este caso se recupera la señal de bits perfectamente, solo con una disminución en la potencia de la señal, para que

pueda ser transmitida por la fibra óptica.

Luego de la fibra óptica con dispersión:

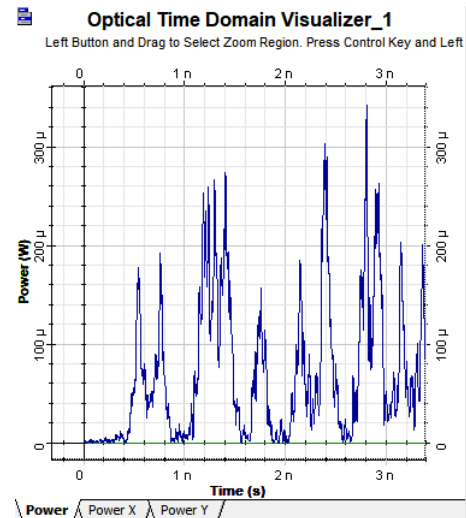


Figura 29. Visualizador en Tiempo luego de F.O.

Luego de la transmisión de la F.O. se aprecia con la señal de bits ha sufrido un ensanchamiento en su señal, por lo cual, se pierde completamente la forma de los bits, además, de que se atenúa la señal de una manera considerable.

Luego del bloque Ideal Dispersion Compensation:

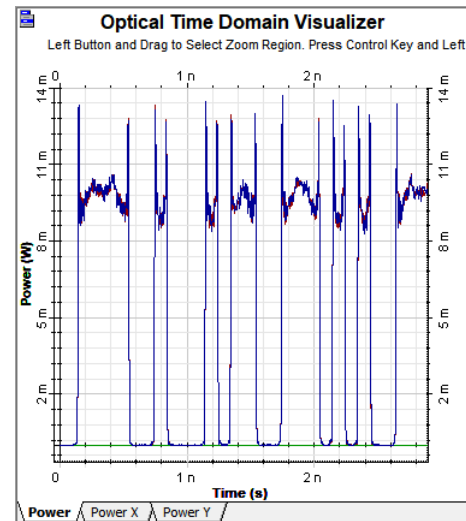


Figura 30. Visualizador en Tiempo luego de Ideal Dispersion Compensation

Luego del bloque de Ideal Dispersion Compensation, se recupera la señal de bits, ya que este bloque sirve como el efecto compensador de la dispersión de la F.O. y permite recuperar el nivel de potencia que se perdió previamente.

IV. CONCLUSIONES

Ronaldo Almachi

- El esquema de pre-compensación, nos da como resultado uno de los rendimientos más bajos debido a que la amplitud de la señal se ve muy afectada por la atenuación, puesto que esta no es lineal, es decir los bits poseen diferente amplitud lo que podría provocar errores de interpretación de estado ya sea 0L o 1L, sin embargo el BER obtenido para este caso resulta ser bastante bajo.
- En el caso de la post-compensación, la atenuación tiende a ser casi la misma para los diferentes bits de información, sin embargo, se tiene un ensanchamiento en los pulsos lo que indica que la dispersión en la fibra no se ha compensado del todo, esto puede provocar errores de sincronización, es por eso que también el BER para este caso ha aumentado, pero aún se mantiene sobre el umbral de error requerido para sistemas ópticos.
- La compensación simétrica aprovecha todas ventajas de los modelos anteriores, dándonos el resultado con el mejor rendimiento, puesto que la amplitud se atenúa en la misma proporción para todos los casos y el ensanchamiento de los pulsos puede ser casi despreciable, todo esto se corrobora con el BER el cual nos da un valor de 0, es decir no hay errores.

Cristian Gallo

- Se puede analizar un sistema de transmisión como afecta la dispersión cromática de la fibra óptica monomodo y cuales son esquemas de compensación para corregir este efecto de la dispersión, como son los esquemas de pre-compensación, post-compensación y compensación simétrica.
- Se puede corregir el efecto de ensanchamiento de los pulsos para los bits, en la transmisión de redes ópticas, mediante el bloque de Ideal Dispersion Compensation, esto en un nivel de simulación, en un nivel práctico se usaría una fibra NZDSF(-), es decir con dispersión negativa.

V. RECOMENDACIONES

Ronaldo Almachi

- Para que la simulación en Optisystem no tienda a demorarse mucho, es recomendable realizar un estimado de la atenuación y colocar un amplificador con el valor de dicha atenuación.
- Cuando se realice un cambio en los parámetros de simulación, es recomendable ejecutar la simulación nuevamente.

Cristian Gallo

- Es recomendable seguir las instrucciones del tutor para la realización de las simulaciones, con el software de Optisystem.
- Verificar los parámetros de diseño entregados en la hoja guía, y verificar que la etapa de compensación funcione correctamente.

REFERENCIAS

- [1] "Pérdida de señal de cable de fibra óptica, atenuación y dispersión - TechLibrary - Juniper Networks". <https://www.juniper.net/documentation/es/release-independent/junos/topics/concept/fiber-optic-cable-signal-loss-attenuation-dispersion-understanding.html> (consultado jul. 05, 2021).