

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

Preparatorio 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

Resumen—En este documento se presenta un cuadro comparativo acerca de tres fibras ópticas monomodo de diferentes fabricantes, además realiza un breve resumen acerca de las unidades de medida para cuantificar la atenuación y la dispersión de una fibra óptica, de la misma manera se realiza una breve descripción acerca de las fibras ópticas DSF y NDF, y finalmente se presenta un resumen de los parámetros a configurar para simular una fibra óptica monomodo ZDSF y NZDSF en Optisystem.

Index Terms—Fibra óptica, monomodo, DSF, NDF, ZDSF, NZDSF, simulación, Optisystem.

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]

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

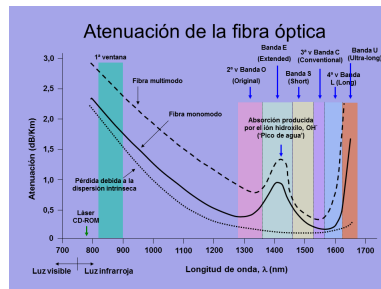


Figura 1. Atenuación de la fibra óptica

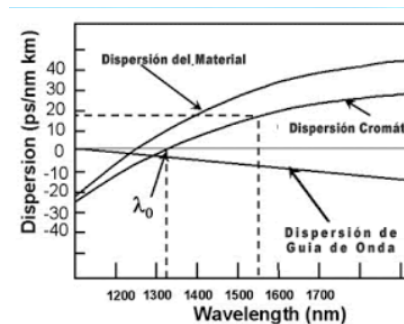


Figura 2. Dispersión de la fibra óptica

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. Realizar un cuadro comparativo de tres (3) hojas de datos de fabricantes de cables de fibra óptica monomodo, hacer énfasis en características de atenuación y dispersión. (Datos que se utilizarán para la realización de la práctica)

Tipo de FO monomodo	Especificaciones generales
Central Tube Dielectric Armour Indoor/Outdoor Cable, 1x24 E9 SMF-28e+® ITU G652.D CT 5.0	<p>Ambiente: Indoor/Outdoor</p> <p>Categoría: SM (OS2)</p> <p>Longitud de onda: 1310, 1383, 1550 (nm)</p> <p>Atenuación: 0.36, 0.36, 0.22 (dB/km)</p>
SST™ Central Tube Steel Armour Outdoor Cable, 4F E9 SMF-28e+® ITU G652.D CT 3.0	<p>Ambiente: Outdoor</p> <p>Categoría: SM (OS2)</p> <p>Longitud de onda: 1310, 1383, 1550 (nm)</p> <p>Atenuación: 0.36, 0.36, 0.22 (dB/km)</p>
SST™ Central Tube Steel Armour Outdoor Cable, 24F E9 SMF-28e+® ITU G652.D CT 5.0	<p>Ambiente: Outdoor</p> <p>Categoría: OS2</p> <p>Longitud de onda: 1310, 1383, 1550 (nm)</p> <p>Atenuación: 0.36, 0.22 dB/km</p>

Cuadro I

CUADRO COMPARATIVO DE FO MONOMODO [2]

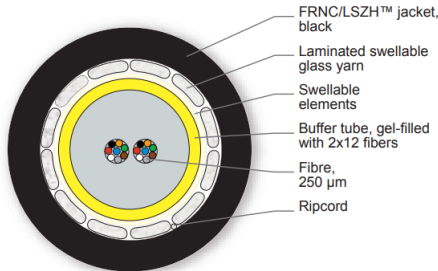


Figura 3. Central Tube Dielectric Armour Indoor/Outdoor Cable, 1x24 E9 SMF-28e+® ITU G652.D CT 5.0 [2]

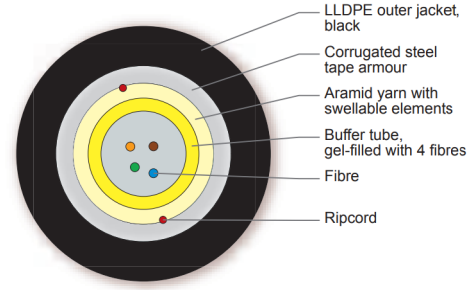


Figura 4. SST™ Central Tube Steel Armour Outdoor Cable, 4F E9 SMF-28e+® ITU G652.D CT 3.0 [2]

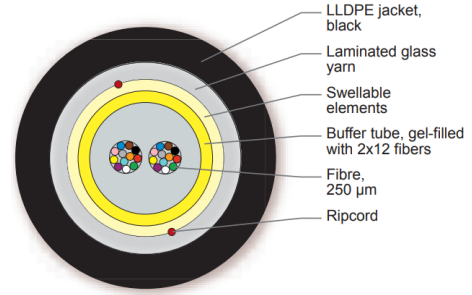


Figura 5. SST™ Central Tube Steel Armour Outdoor Cable, 24F E9 SMF-28e+® ITU G652.D CT 5.0 [2]

B. Investigar e interpretar las unidades de medida que se utilizan para cuantificar la atenuación y la dispersión de una FO.

Atenuación

La atenuación es cualquier tipo de fenómeno que causa la disminución de la potencia de la señal propagada, pero no afecta su forma. [3]

El parámetro de atenuación unitaria a se utiliza en la descripción matemática de las pérdidas de potencia en la fibra óptica, causadas por la atenuación, y se mide a una distancia de 1 km. Se expresa en dB/km y se define por la siguiente fórmula: [3]

$$a = \frac{10}{L} \log\left(\frac{P(l_1)}{P(l_2)}\right) \left(\frac{dB}{km}\right)$$

$P(l_1)$ y $P(l_2)$ – potencia óptica medida en la fibra óptica en los puntos l_1 y l_2 distantes entre sí de L . [3]

La atenuación aumenta exponencialmente con el aumento de la longitud de la fibra, reduciendo así el alcance de transmisión. El aumento de la atenuación de 3 dB corresponde a la caída de la potencia de la señal propagada de 50 %. [3]

Dispersión

Es un cambio de la dirección de la radiación propagada, causada por la falta de uniformidad del material a nivel molecular. [3]

Una característica predominante en las fibras ópticas para telecomunicaciones y multimedia es la dispersión de Rayleigh; existe también la dispersión de Mie y la dispersión estimulada de Raman y Brillouin. [3]

La razón para la ocurrencia de la dispersión de Rayleigh (RR) es la no uniformidad del material del núcleo (causada por la imperfección de la estructura del vidrio) con dimensiones sustancialmente menores que $0,03 \lambda$. RR es inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda de la luz, determinando de ese modo el límite de usabilidad de fibras ópticas de cuarzo para las ondas inferiores a $0,7 \mu m$. La atenuación que depende de RR (a_R) se describe con la siguiente fórmula: [3]

$$a_R = \frac{k}{\lambda^4}$$

k – es una constante del material comprendida en el rango de 0,7 a 0,8 (dependiendo de la cantidad de aditivos) [3]

La dispersión de Mie (RM) se produce cuando la onda de luz se dispersa en las partículas o agregados de moléculas con tamaño comparable o mayor que la longitud de esta onda. Este proceso no está directamente relacionado con la longitud de la onda dispersada, pero con el cociente del tamaño de la partícula y la longitud de onda. Se describe por el parámetro α . [3]

$$\alpha = 2\pi \frac{r}{\lambda}$$

r – radio de la partícula

La dispersión estimulada de Brillouin (SBS) y la dispersión estimulada de Raman (SRS) son fenómenos no lineales. La interacción entre la onda electromagnética y el material del centro se produce después de exceder el valor límite de la potencia óptica. [3]

C. Investigar sobre las fibras DSF - Dispersion-Shifted Fiber y NDF - Nonzero dispersion fiber. ¿Cuáles son los rangos de dispersión cromática que manejan?

Fibra óptica Dispersion-Shifted Fiber (DSF)

La fibra desplazada por dispersión (DSF) se utiliza para compensar la dispersión a una longitud de onda de 1550nm (longitud de onda de dispersión cero). Es un tipo de fibra óptica monomodo con un perfil de índice revestido de núcleo

adaptado para cambiar la longitud de onda de dispersión cero de los 1300 nm naturales en fibras de sílice y vidrio a la ventana de pérdida mínima a 1550 nm. Pero cuando se utiliza en sistemas de multiplexación por división de longitud de onda (WDM), los DSF tienen otros efectos, como la mezcla alta de cuatro ondas (FWM) y la mezcla de fase cruzada (CPM). Así la fibra cambiada de puesto dispersión no-cero se utiliza. [4]

La fibra DSF que se describe en [G.653] se optimiza de origen para utilizarse en la región de 1550 nm, la cual tiene una longitud de onda con dispersión nula cerca de 1550 nm. [4]

Fibra óptica Nonzero Dispersion fiber (NDF)

La fibra NDF tiene un valor de dispersión cromática $D_{máx}$ con signo negativo en la región de longitud de onda de la señal de funcionamiento. Esta dispersión reduce el aumento de los efectos no lineales que pueden ser perjudiciales particularmente en DWDMs. [4]

En la figura 6, se tiene la dispersión cromática para la fibra óptica, la función de las dos fibras ópticas mencionadas anteriormente es de eliminar dicho efecto de dispersión a una longitud de onda de 1550 nm.

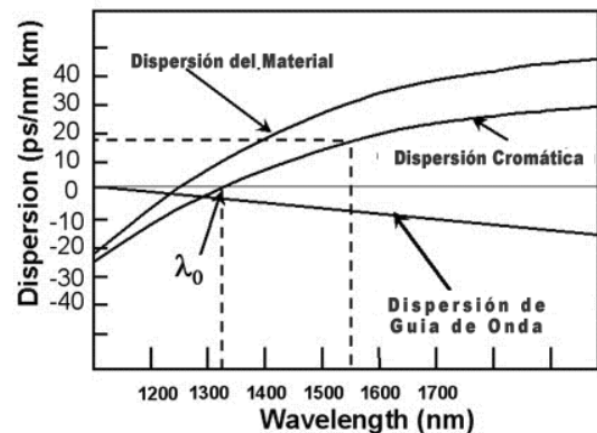


Figura 6. Dispersión en la fibra óptica [4]

D. Investigar los componentes y parámetros a configurar para simular una fibra óptica monomodo ZDSF (Zero Dispersion Shifted Fiber) y NZDSF (Non Zero Dispersion Shifted Fiber) en el simulador Optisystem.

De manera general el proceso para simular fibras ópticas monomodo ZDSF y NZDSF, es el mismo, pero se debe considerar algunos componentes adicionales o que no se han usado hasta la presente práctica, a continuación se describe de manera breve los componentes y el proceso para una simulación sencilla, cabe recalcar que el propósito de las fibras ya mencionadas es tratar de contrarrestar la dispersión cromática, por lo que dicho proceso será enfocado en ese aspecto. [5]

Componentes

• USER DEFINED BIT SEQUENCE GENERATOR

Este generador de secuencia permite al usuario introducir la secuencia de bits con la cual va a trabajar en la simulación. Esta secuencia puede ser escrita directamente por el usuario o a su vez puede ser extraída de un archivo de texto con el formato “dat”. [5]

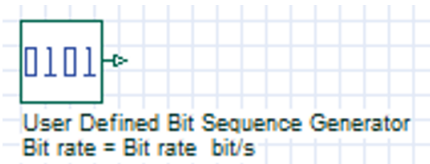


Figura 7. Componente User Defined Bit Sequence generator

• OPTICAL GAUSSIAN PULSE GENERATOR

Este componente, será el encargado de generar los pulsos ópticos de acuerdo a la secuencia de bits de entrada. La razón principal por la cual se ha elegido este tipo de pulso como la señal de entrada en la simulación es debido a la facilidad que brinda para realizar las simulaciones, debido a que su transformada de Fourier es otro pulso gaussiano, esto permite visualizar de una mejor manera los efectos que produce la dispersión en el pulso. [5]

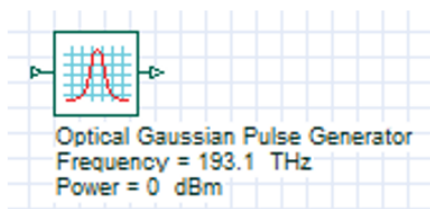


Figura 8. Componente Optical Gaussian Pulse Generator

• OPTICAL FIBER

Este componente es una fibra óptica monomodo, en la cual se toma en cuenta las propiedades reales de la fibra, como por ejemplo las no linealidades y la dispersión que pueden presentarse en la misma. [5]

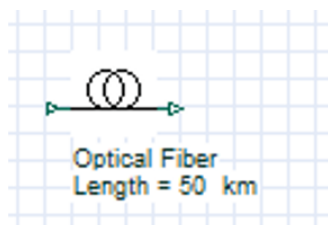


Figura 9. Componente Optical Fiber

Los parámetros más importantes son: [5]

- Main: En esta sección se encuentran las características básicas de la fibra óptica, tales como la distancia de la fibra, la longitud de onda de trabajo, la atenuación, etc.
- Dispersion: Esta sección está relacionada con la dispersión dentro de la fibra óptica, esta parte será configurada de acuerdo a los valores necesarios para el estudio de dispersión cromática.
- Non-linearities: Esta parte está relacionada con las características no lineales que existen en la fibra óptica.
- Numerical: Está relacionado con el modelo de propagación de la fibra y con la ecuación no lineal de Schrödinger, aquí se pueden insertar valores que decida el usuario.
- Graphs: Se puede configurar para ver los gráficos de los resultados en 3D, con las escalas adecuadas, de acuerdo a las necesidades del usuario.

• PIN PHOTODIODE

El fotodiodo PIN es un detector de luz, además se trata de un diodo que tiene introducida una zona que es conocida como intrínseca, esto ayuda a que la eficiencia del diodo sea muy alta. El fotodiodo se encarga de convertir la señal óptica en señal eléctrica. [5]

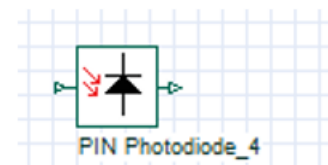


Figura 10. Componente PIN Photodiode

• OPTICAL AMPLIFIER

Este componente es utilizado para aumentar la potencia de la señal óptica, sin la necesidad de convertirla en señal eléctrica como lo hacen los regeneradores, se utilizará este componente para simular a los amplificadores Raman y EDFA, en modo de control de ganancia, para compensar las atenuaciones de las fibras. [5]

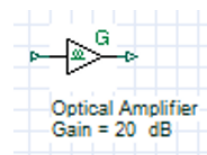


Figura 11. Componente Optical Amplifier

• DEFAULT TIME DOMAIN VISUALIZER

Es utilizado para revisar y visualizar las señales ópticas de una fibra o de un enlace, en el dominio del tiempo. Este componente permite ajustar escalas, colores de las

señales, entre otras características, para que el usuario pueda visualizar los resultados de una mejor manera. [5]

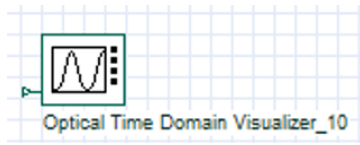


Figura 12. Componente Default Time Domain Visualizer

Proceso de la simulación

1) Etapa de transmisión

Para la etapa de transmisión se utilizarán los componentes User Defined Bit Sequence Generator y Optical Gaussian Pulse Generator. Se utilizará el generador de secuencia de bits, que permite al usuario definir la secuencia de ceros y unos necesaria para realizar el estudio de la dispersión cromática, esta secuencia puede ser considerada como un tren de pulsos que no tiene ningún tipo de codificación, y por donde ingresará la información a transmitir. [5]

Para la parte óptica de la transmisión se ha considerado un generador de pulsos gaussianos, en el cual se variarán los parámetros necesarios para realizar la simulación del proyecto. Una vez que se han conectado estos dos componentes, se puede proceder a la siguiente etapa, que se trata del canal de transmisión. [5]

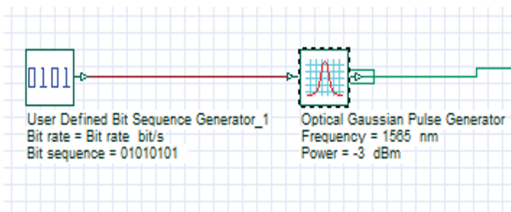


Figura 13. Esquema general de la etapa de transmisión

2) Canal de transmisión

El canal de transmisión está conformado por la fibra óptica, para este proyecto se utilizarán las fibras según los estándares ITU-T G.652 e ITU-T G.655, que son fibras monomodo, con sus respectivas características, tales como: atenuación, dispersión cromática, entre otras. En esta etapa también se tendrá en consideración elementos como amplificadores ópticos y compensadores de dispersión cromática. Debido a las atenuaciones que sufre la señal por el paso a través de la fibra óptica, se debe implementar una fase de amplificación cuando el alcance de transmisión lo amerite, para que la señal llegue a su destino con la potencia adecuada, para cumplir con esta condición

se procederá a utilizar amplificadores EDFA con las respectivas ganancias conforme a los requerimientos de cada situación. [5]

También es necesario añadir compensadores de dispersión en esta etapa, puesto que debido a que el pulso sufre un ensanchamiento producido por la dispersión cromática, esto genera varios errores cuando la información llega a recepción. [5]

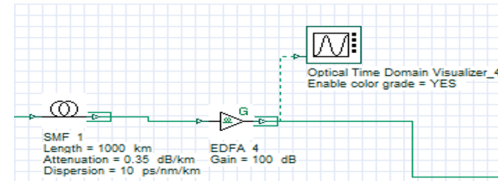


Figura 14. Esquema general del canal de transmisión

3) Etapa de recepción

En esta etapa se requiere de un sistema que sea capaz de recibir la información que inicialmente fue enviada; para este caso se utilizará un fotodiodo PIN, para recibir la información óptica, que después será transformada a una señal eléctrica. Después de este proceso, la señal pasa por un filtro pasa bajo para eliminar el ruido que se genera en las etapas anteriores. [5]



Figura 15. Esquema general de la etapa de recepción

Esquema general

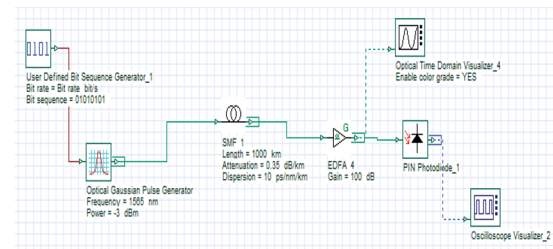


Figura 16. Esquema general

Para realizar la simulación de la dispersión cromática, se tomará en cuenta dos estándares de fibra óptica, los cuales son: ITU-T G.652 D e ITU-T G.655 C y E. Para cada uno de estos estándares, se trabajará con los valores de dispersión cromática que se encuentren en las especificaciones de cada uno de ellos.

Para esto también es necesario tomar en cuenta parámetros como las velocidades de transmisión, las longitudes del enlace y longitudes de onda con las que se trabajará para cada caso. [5]

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).
- [2] “Monomodo”. <https://www.ibertronics.com/Redes/Cableado/Fibra-por-mts/Monomodo> (consultado jul. 05, 2021).
- [3] “Atenuación de la fibra óptica - Delta”. https://shopdelta.eu/atenuacion-de-la-fibra-optica_l6_aid811.html (consultado jul. 05, 2021).
- [4] “DSF Archives”, Fiber Optical Networking, <http://www.fiber-optical-networking.com/tag/dsf> (consultado jul. 05, 2021).
- [5] P. A. Castañeda, “ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL FENÓMENO DE DISPERSIÓN CROMÁTICA EN LAS FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO ITU-T G.652 E ITU-T G.655”, PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES, Departamento de Telecomunicaciones y Redes de Información, EPN, Quito, Pichincha, 2018