

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DESEMPEÑO EN LA
MIGRACIÓN DE UNA RED DWDM DE 10 A 40 Gbps, ANTE
LAS VARIACIONES DE LAS PROPIEDADES DE UNA
FIBRA COMPENSADORA DE DISPERSIÓN (DCF)**



**Julián Silva Chávez
Yovan Ariel Díaz García**

Universidad del Cauca
**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones - GNTT
Popayán, Abril del 2016**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DESEMPEÑO EN LA
MIGRACIÓN DE UNA RED DWDM DE 10 A 40 Gbps, ANTE
LAS VARIACIONES DE LAS PROPIEDADES DE UNA
FIBRA COMPENSADORA DE DISPERSIÓN (DCF)**

**Julián Silva Chávez
Yovan Ariel Díaz García**

ANEXOS

**Director
Mag. Alejandro Toledo Tovar**

Universidad del Cauca
**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones - GNTT
Popayán, Abril del 2016**

ANEXOS

ANEXO A. GENERALIDADES.....	1
1. SISTEMA WDM, CARACTERÍSTICAS DE DWDM A 10 Y 40 Gbps, DEGRADACIONES ÓPTICAS Y PARÁMETROS DE MONITOREO ÓPTICO.....	1
1.1 <i>COMPONENTES CARACTERÍSTICOS DEL SISTEMA DWDM</i>	5
1.1.1 Transmisor	5
1.1.2 Medio de Transmisión	12
1.1.3 Receptor	14
1.2 MONITOREO DE DESEMPEÑO ÓPTICO.....	15
1.2.1 Degradaciones Ópticas	16
1.3 PARÁMETROS DE DESEMPEÑO ÓPTICO	30
1.3.1 Diagrama del Ojo	30
1.3.2 Factor de Calidad (Factor Q).....	32
1.3.3 Tasa de Error de Bit (BER)	33
1.3.4 Relación Señal a Ruido Óptico.....	34
1.3.5 Jitter	36
1.4 RELACIÓN ENTRE EFECTOS DEGRADANTES Y PARÁMETROS DE DESEMPEÑO ÓPTICO.....	36
1.4.1 Relación entre degradaciones ópticas y parámetros de monitoreo óptico	37
1.4.2 Caracterización de los efectos no lineales y sus parámetros de monitoreo óptico	37
ANEXO B. CÁLCULOS MATEMÁTICOS	39
ANEXO C. RESULTADOS DE SIMULACIÓN PARA LA CONFIGURACIÓN 1.1 (NRZ-OOK A VELOCIDAD DE TRASMISIÓN DE 10 Gbps).....	44
ANEXO D. RESULTADOS DE SIMULACIÓN PARA LA CONFIGURACIÓN 1.2 (RZ-DQPSK, VELOCIDAD DE TRASMISIÓN DE 10 Gbps).....	68
ANEXO E. RESULTADOS DE SIMULACIÓN PARA LA CONFIGURACION 2.1 (NRZ-OOK A VELOCIDAD DE TRASMISIÓN DE 40 Gbps).....	112
ANEXO F. RESULTADOS DE SIMULACIÓN PARA LA CONFIGURACION 2.2 (RZ-DQPSK A VELOCIDAD DE TRASMISION DE 40 Gbps).....	118
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	121

ANEXO A. GENERALIDADES

1. SISTEMA WDM, CARACTERÍSTICAS DE DWDM A 10 Y 40 Gbps, DEGRADACIONES ÓPTICAS Y PARÁMETROS DE MONITOREO ÓPTICO.

El incremento exponencial en los últimos años del ancho de banda requerido por los operadores de fibra óptica ha generado una búsqueda continua del aumento de la capacidad de los sistemas de comunicación óptica a través de técnicas de multiplexación más eficientes y seguras, como WDM [1]. El sistema Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM, *Wavelength Division Multiplexing*) es un modelo que permite combinar dos o más señales ópticas mediante portadoras de diferentes longitudes de onda en una sola fibra logrando optimizar el ancho de banda y tener un mayor flujo o tasas de transmisión de la fibra en comparación a otras tecnologías [2], [3].

En la figura 1 se muestra el sistema WDM reducido, constituido por un transmisor, un multiplexor WDM, el medio de transmisión, un demultiplexor WDM y los receptores de cada longitud de onda. Los transmisores están constituidos principalmente por láseres monomodo, cada uno modulando una longitud de onda diferente, las cuales se combinan en el multiplexor WDM antes de ingresar al medio de transmisión (fibra óptica); finalmente en recepción, las diferentes longitudes de onda se separan mediante un demultiplexor WDM y estas se entregan a los receptores respectivos [4].

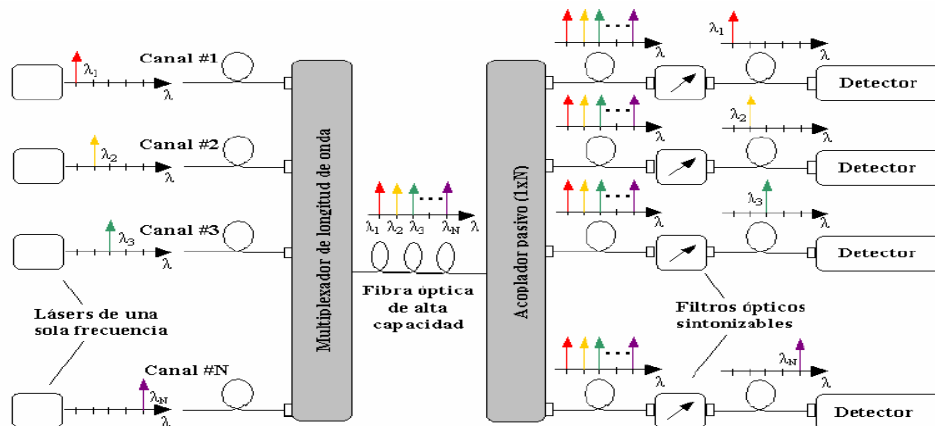


Figura 1. Esquema de un sistema WDM [5].

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, *International Telecommunication Union*) en las recomendaciones G.694.1 [6] y en la G.694.2 [7], clasifica el sistema WDM en Multiplicación por División de Longitud de Onda Densa (DWDM, *Dense Wavelength Division Multiplexing*) y en Multiplicación por División de Longitud de Onda Ligera (CWDM, *Coarse Wavelength Division Multiplexing*) respectivamente. En la tabla 1 se muestran algunas diferencias entre los dos sistemas.

CWDM	DWDM
Definida por longitud de onda	Definida por frecuencias
Comunicaciones de corto alcance	Transmisiones a larga distancia
Utiliza frecuencias de amplio espectro	Frecuencias angostas
Las longitudes de onda se diseminan	Longitudes de onda compactas
Es posible la desviación de longitudes de onda	Se requiere láseres de precisión para mantener los canales dentro del objetivo
Quiebra el espectro en grandes trozos	Divide el espectro en pequeñas partes
La señal lumínica no está amplificada	Se puede utilizar señal lumínica

Tabla 1. Diferencias entre CWDM y DWDM [7].

A pesar de que CWDM presenta bajo consumo de potencia, bajo costo de implementación y bajos requerimientos en el espaciamiento de canales, solo cuenta con 18 canales de longitud de onda (20 nm o 2500 GHz) a través de una única fibra óptica lo que conlleva a una capacidad de transmisión limitada, poco rango de operación (1.271 nm hasta 1.611 nm), cubre una distancia máxima de 80 km sin amplificadores, por este motivo CWDM solo se emplea en redes empresariales o redes metropolitanas de corto alcance [8].

DWDM es una técnica de multiplexación para redes ópticas que permite incrementar considerablemente la capacidad de un canal de fibra óptica, evitando nuevos tendidos y aprovechando un recurso que ya está establecido. Así mismo la transmisión de voz, correo electrónico, video y datos multimedia son algunos ejemplos de los que se puede transmitir simultáneamente por DWDM [9]. Las redes DWDM que trabajan a 10 Gbps tienen separación entre canales (para evitar problemas de diafonía) de 50 y 100 GHz. Para la migración de 10 a 40 Gbps se condicionan los espaciamientos de canal a 100 y 200 GHz para no tener inconvenientes a la hora de implementar la red de fibra óptica [10]. La tecnología DWDM está avanzando a ritmo veloz, aumentando continuamente la cantidad de canales por una misma fibra, la velocidad de canal y los límites de alcance. Estos sistemas de múltiples tramos de larga distancia pueden transportar señales ópticas miles de kilómetros sin regeneración o terminaciones eléctricas [6], [11].

En los sistemas DWDM, las Redes de Área Metropolitanas (MAN, *Metropolitan Area Network*) cubren mayor distancia que una Red de Área Local (LAN, *Local Area Network*) pero menor que una Red de Área Amplia (WAN, *Wide Area Network*), por ejemplo, una ciudad. La red LAN opera en un área geográfica limitada como un edificio o campus, mientras que las redes WAN conectan redes de usuarios sobre un área geográfica grande. Con lo anterior se concluye que el sistema a considerar para el trabajo de grado es DWDM MAN, sus características se encuentran en la tabla 2 [12].

CARACTERÍSTICAS	CWDM	DWDM MAN/WAN	DWDM Largo Alcance
Espaciamiento de los Canales	20 nm (2500 GHz)	0.8 nm (100 GHz)	0.4 nm (50 GHz)
Ventanas Utilizadas	O, E, S, C, L	C, L	C, L, S
Canales por Fibra	4 -16	32 - 80	80 - 160
Capacidad por Canal	2.5 Gbps	10 Gbps	10 – 40 Gbps
Distancias Típicas	Hasta 80 Km	Cientos de Km	Miles de Km
Costos	Bajo	Medio	Alto

Tabla 2. Parámetros típicos en redes CWDM y DWDM [12].

El espectro óptico o ventana de operación utilizada por los sistemas de transmisión óptica se muestra en la figura 2. Estos sistemas utilizan tres ventanas de operación, la primera va desde 800 a 900 nm, utilizada en transmisiones de corto alcance debido a las pérdidas presentadas en la fibra [15]. La segunda va desde los 1200 a 1300 nm que se encuentran en la banda O. La tercera ventana va desde los 1500 a 1600 nm, abarca parte de la banda L, S y completamente la banda C. El estándar de la ITU G.694.1 para sistemas DWDM recomienda las bandas L y C, por consideraciones de atenuación de la fibra óptica ITU G.652, la banda L es más susceptible a este fenómeno lo que conlleva a que sea más utilizada la banda C, la cual va desde 1530 a 1565 nm [13], [14], [15].

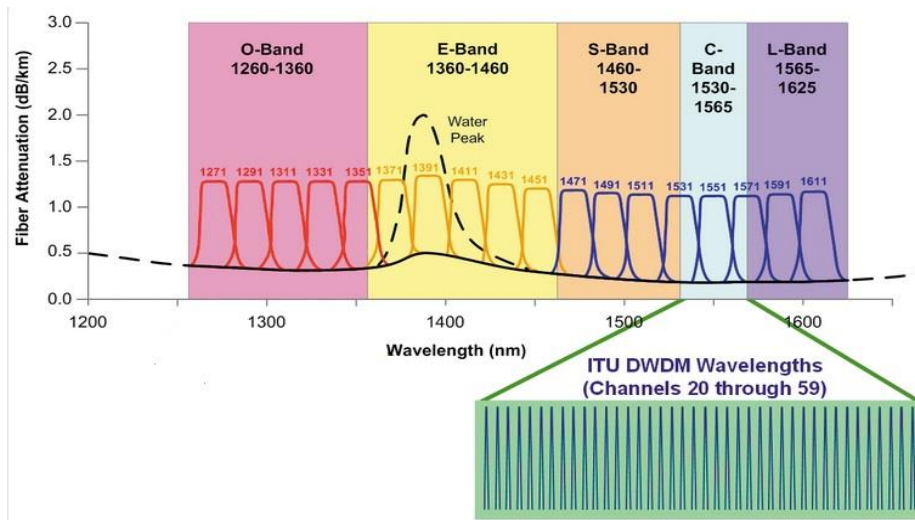


Figura 2. Representación de las longitudes de onda para sistemas ópticos y ventana de operación DWDM [7].

En los sistemas DWDM el tránsito de información se realiza mediante dos modos de transmisión, unidireccional y bidireccional. La figura 3 representa la transmisión unidireccional que hace referencia a múltiples longitudes de onda o lambdas que viajan en la misma dirección y en un solo sentido a través de una fibra óptica. Las longitudes o lambdas están separadas entre sí mediante espaciamiento entre canales para evitar traslape en transmisión y para obtener una comunicación completa en este modo, se realiza mediante redes en anillo o con doble fibra óptica. La figura 4 representa la

transmisión bidireccional en el cual el canal de transmisión es subdividido en dos bandas de transmisión (diferentes longitudes de onda), una para transmitir y otra longitud de onda para recibir, los canales de transmisión son divididos a la mitad, reduciendo el ancho de banda de transmisión. Para este modo de transmisión solo se necesita una fibra óptica para transmitir información en comparación con un modo unidireccional [16].

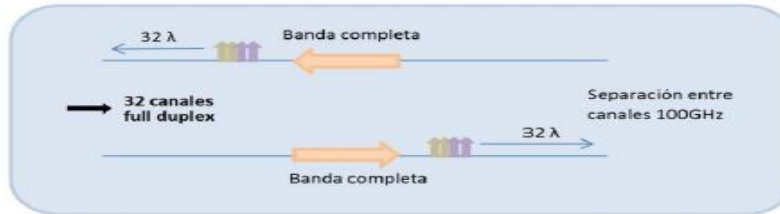


Figura 3. Transmisión unidireccional DWDM [8].

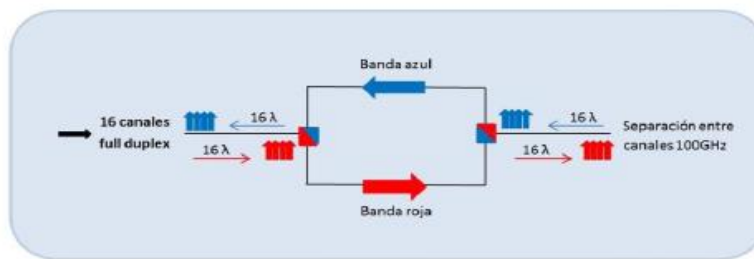


Figura 4. Transmisión bidireccional DWDM [8].

Topología del sistema

La topología es la forma en la que una red es diseñada para interconectarse y comunicarse entre diferentes nodos. Actualmente las topologías punto a punto y en anillo son las más comunes, la primera es la más usada para interconectar puntos de empresas y la segunda para interconectar oficinas, sin embargo, para el trabajo de grado se emplea la topología punto a punto debido a las características que presenta como las velocidades de los canales, la distancia que puede alcanzar (cientos de kilómetros) y por la cantidad de amplificadores, por lo general menores de 10 [8].

- **Topología punto a punto:** se usa para interconectar únicamente dos nodos de red. Cada dispositivo puede tomar el papel de maestro o de esclavo, dependiendo de quién necesite transmitir o recibir datos. La topología puede ser implementada con o sin multiplexor óptico OADM¹. Estas redes están caracterizadas por la facilidad de instalación y operación, velocidades de canales ultra rápidas (10 a 40 Gbps), alta integridad y confiabilidad de la señal, rápida restauración de trayectoria. frecuentemente en redes MAN, los amplificadores no son necesarios [6], [17]. Esta topología se puede visualizar en la figura 5.

¹ Los Multiplexores Ópticos de Inserción Extracción (OADM, *Optical Add-Drop Multiplexer*), permiten extraer longitudes de ondas específicas de un conjunto de señales multiplexadas en longitud de onda e insertar otras en su lugar [18].



Figura 5. Topología punto a punto [17].

Las topologías mencionadas son las más utilizadas, pero existen otras como la topología en malla y en estrella, no son mencionadas en este trabajo de grado, al no ser convenientes su utilización en sistemas DWDM.

1.1 COMPONENTES CARACTERÍSTICOS DEL SISTEMA DWDM

Todo sistema de comunicaciones se caracteriza por sus diferentes componentes desde el transmisor a través de un medio transmisión óptico hasta el receptor. En la Figura 6 se observa el esquema de modulación.

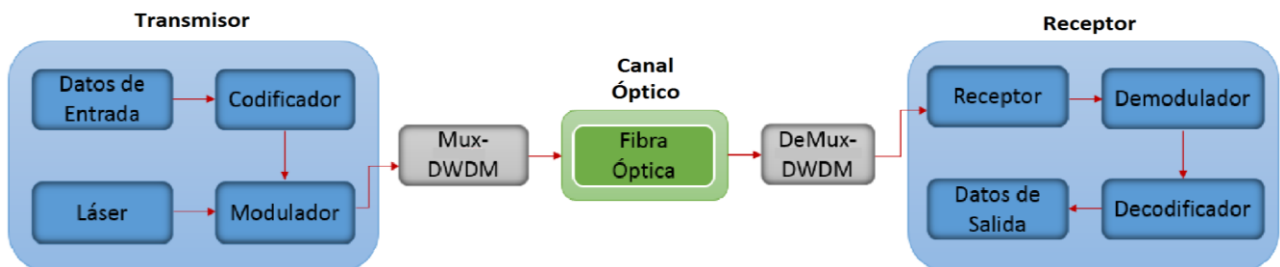


Figura 6. Esquema de un sistema DWDM [2].

A continuación se especifica cada componente y de forma detallada el esquema del sistema presentado.

1.1.1 Transmisor

La función principal de un transmisor óptico es convertir la señal eléctrica de entrada en una señal óptica de salida para enviarla a través de un medio de transmisión. La señal óptica que llevará la información hacia el receptor es generada por el modulador de la onda portadora óptica [15], [8], [19]. Los componentes de este módulo se definen a continuación.

1.1.1.1 Tipo de fuente óptica

En los sistemas de comunicaciones ópticas se definen dos tipos de fuente óptica, los Diodos Emisores de Luz (LED, *Light-Emitting Diodes*) y los láseres de inyección o diodo láser [10]. Para sistemas basados en fibra multimodo, la fuente óptica utilizada típicamente es el LED, y para sistemas con red monomodo en el que se requieren altas

velocidades de transmisión se usa los láser debido a que estos presentan una alta eficiencia de acoplamiento [15], [20]. Dada las características anteriores para el trabajo de grado se utiliza el diodo láser.

1.1.1.2 Potencia de transmisión

La potencia de transmisión se define como el nivel de energía inyectado por la fuente óptica a la onda portadora. El valor normalmente esta entre los 0–7dBm; sin embargo, estos valores pueden variar dependiendo del tipo de fuente, la distancia del enlace y el formato de modulación. La potencia de transmisión es considerada un parámetro muy importante, ya que al aumentar su valor puede incidir en degradaciones ópticas del sistema (fenómenos lineales y no lineales) [21].

1.1.1.3 Tipo de modulación

La Modulación es una técnica que permite combinar una señal de información con una portadora óptica en el transceptor² para ser enviada a través de un canal [22]. La fuente de luz puede ser modulada por dos métodos, modulación directa o modulación externa (Indirecta).

- **Modulación Directa:** la fuente de datos llega al láser y ahí es modulada por el mismo antes de ser transmitida [15]. Esto se puede visualizar en la figura 7.

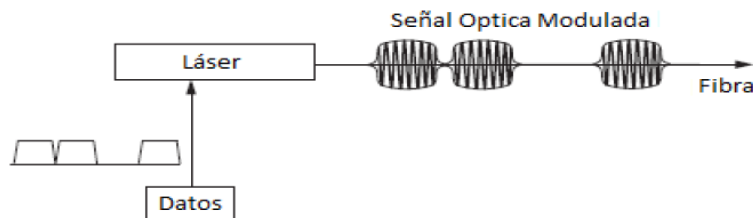


Figura 7. Diagrama en bloques de modulación directa [22].

Esta modulación es utilizada para velocidades inferiores a 2.5 Gbps [6], ya que para sistemas de 10 Gbps o superiores genera frecuencias Chirp³ y limita la velocidad de modulación del láser [22].

- **Modulación Externa (Indirecta):** hace uso de un dispositivo propio de modulación, que reúne la fuente de datos y la fuente óptica para llevar a cabo el proceso de modulación [15]. Ésta modulación se puede visualizar en la figura 8.

² Transceptor, dispositivo que se encarga del envío y recepción de la información, el cual puede ser semidúplex.

³ Chirp, agrupación de frecuencias más altas y más bajas, respectivamente, para las partes anterior y posterior del pulso óptico, lo que ocasiona ensanchamiento en los pulsos.

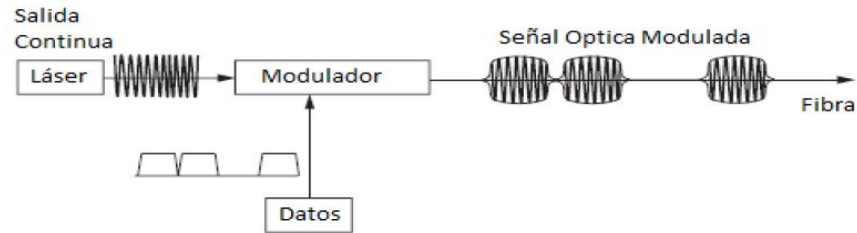


Figura 8. Diagrama en bloques de modulación externa [22].

Dentro de la modulación externa se encuentra el Modulador Mach-Zehnder (MZM, *Mach-Zehnder Modulator*), el cual controla la amplitud de una onda óptica. La señal de entrada pasa por un acoplador direccional que divide la potencia en partes iguales en una guía de ondas en dos brazos del modulador y al final un combinador que suma la señal óptica de los dos brazos en un modo de salida. La suma de estas dos señales puede ser constructiva si están en fase, y es destructiva cuando están en desfase, es decir, se anulan [23], [24], [25].

Para este trabajo de grado, las velocidades de transmisión son de 10 y 40 Gbps. Esto lleva a pensar que es conveniente una modulación externa MZM, ya que una modulación directa a velocidades superiores a 10 Gbps produce efectos degradantes del sistema.

1.1.1.4 Codificación

El codificador es un dispositivo que se encarga de transformar la señal eléctrica en una señal óptica en forma de secuencia de bits, de esa manera la información puede ser transmitida a través de la fibra óptica. Existen dos modos de codificación que se describe a continuación [8].

- **Código de línea Sin Retorno a Cero**

En la Codificación de línea Sin Retorno a Cero (NRZ, *Non Return to Zero*), la señal óptica es conmutada ON/OFF (luz emitida/luz apagada) para transmitir usando un simple código binario 1/0 como se aprecia en la figura 9. Esta codificación no es sensible al ruido de fase de láser, requiere un bajo ancho de banda eléctrico, su configuración es simple en el transmisor y receptor [10], [12] [26].

- **Código de línea con Retorno a Cero**

El Código de línea con Retorno a Cero (RZ, *Return to Zero*) también utiliza ON/OFF para transmitir información pero en este método el pulso se pone en ON la mitad del ancho del pulso que en NRZ, y como resultado presenta mayor robustez a degradaciones ópticas (PMD), la potencia óptica por bit se reduce aproximadamente a la mitad y el impacto de la no linealidad también se reduce (ver figura 9) [10], [12].

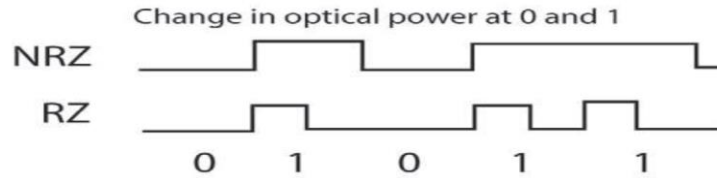


Figura 9. Codificaciones NRZ y RZ [10].

De acuerdo a las dos codificaciones, se puede deducir que RZ ha sido desarrollada para ser más tolerantes a los efectos de degradaciones no lineales comparado con las señales de tipo NRZ, además para velocidades de transmisión de datos más altas y distancias más largas, NRZ puede no ser la mejor opción con formatos de modulación robustos. Posiblemente RZ con un formato robusto presenta una mejor resistencia a los efectos no lineales por su patrón regular de datos de la señal óptica [26]. La codificación es dependiente del formato de modulación que se vaya a utilizar. En este trabajo de grado, para un formato de mayor robustez se considera una codificación RZ y para un formato tradicional se emplea un NRZ [15], [12].

1.1.1.5 Multiplexor-Demultiplexor

El Multiplexor DWDM, es el encargado de combinar las diferentes longitudes de ondas moduladas por los láseres monomodo de transmisión para luego ser enviadas por el medio de transmisión (fibra óptica). El Demultiplexor DWDM, tiene como fin separar las diferentes longitudes de onda para luego ser entregadas a los respectivos receptores.

1.1.1.6 Espaciamento entre canales

El espaciamento entre canales se define como el espacio que existe entre las longitudes de onda central de canales adyacentes. Dicho parámetro permitirá definir cuanta cantidad de información puede ser enviada desde el transmisor al receptor, entre mayor sea la información que se envía, menor será el espaciamento entre canales [15].

El sistema DWDM brinda un espaciamento menor entre longitudes de onda, permitiendo aumentar su capacidad de transporte. Los espaciamentos típicos entre canales según la recomendación de la ITU G.694.1 son de 0.4 nm (50 GHz), 0.8 nm (100 GHz) y 1.6 nm (200 GHz) [8]. En el sistema de comunicación DWDM se debe tener en cuenta que este parámetro tiene gran impacto en la potencia de transmisión, en la distancia del enlace, en el efecto FWM (definido en el ítem de degradaciones ópticas) y en otros parámetros de diseño [15], [26]. Este parámetro permite encontrar las frecuencias centrales nominales para sistemas WDM basados en el estándar de la ITU-T G.694.1 [6]. El espaciamento entre los diferentes canales se efectúa como se muestra en la tabla 3.

Espaciamentos de 12.5 GHz	Espaciamentos de 25 GHz	Espaciamentos de 50 GHz	Espaciamentos de 100 GHz
$193.1+n \times 0.0125$	$193.1+n \times 0.025$	$193.1+n \times 0.05$	$193.1+n \times 0.1$

Tabla 3. Espaciamiento entre canales [26].

De lo anterior se puede determinar la longitud de onda para la frecuencia específica.

$$\lambda[nm] = \frac{2.99792458 \cdot 10^8 [m/s]}{f[THz]} \quad (1)$$

Donde n es cualquier entero positivo o negativo, incluyendo el 0 y 193.1, f es la frecuencia de referencia en THz.

El número de canales en los sistemas DWDM no son comerciales por lo cual se trabaja con uno y cuatro canales, la velocidad de transmisión por canal es de 10 y 40 Gbps, el espaciamiento es de 0.4 nm (50 GHz) y 0.8 nm (100 GHz). El máximo alcance en longitud se logra en banda C, esta permite una mayor robustez al sistema y el diseño, los costos son altos. El estándar ITU G.694.1 recomienda las bandas L y C para los sistemas DWDM, sin embargo, debido a la atenuación de la fibra óptica la banda C es la más usada, la cual comprende la región que va desde los 1530 nm a los 1565 nm [6], [8].

1.1.1.7 Formato de Modulación

Los formatos de modulación en las comunicaciones ópticas permiten mitigar algunas degradaciones de los efectos lineales y no lineales que son provocadas por altas velocidades, grandes alcances y por la potencia de transmisión [25].

Comúnmente los formatos de modulación más utilizados son los tradicionales, estos formatos binarios conocidos como OOK son preferidos para la mayoría de los enlaces debido a su fácil implementación y para sistemas de baja velocidad de transmisión, es decir, para menores a 10 Gbps. En la actualidad, en las comunicaciones ópticas se buscan formatos más eficientes que permitan transmitir mayor cantidad de información a mayor velocidad de transmisión de los mismos (40 Gbps), que permita alcanzar mayores distancias y que sean más robustos frente a las limitaciones por dispersión y efectos no lineales [2], [26]. Estos formatos de modulación son seleccionados teniendo en cuenta la tolerancia al fenómeno o efecto que se desea contrarrestar, la velocidad de transmisión de información y la distancia que se desea alcanzar [25]. Cabe aclarar que en la fibra óptica, el campo óptico tiene tres atributos físicos que pueden ser usados para la transmisión de información (Intensidad⁴, Fase (Frecuencia)⁵ y Polarización⁶), de los cuales se selecciona una modulación de intensidad OOK tradicional y una modulación de fase diferencial DQPSK robusto [10], [26].

⁴ Modulación Óptica de Intensidad, asigna un símbolo independientemente de los símbolos enviados antes o después de este, entonces nos referimos a una modulación sin memoria [10].

⁵ Modulación en Fase Diferencial, debido a la ausencia de una referencia de fase óptica en el receptor, la referencia de fase tiene que ser proporcionada por la propia señal [10].

⁶ Modulación en Polarización, con 100 Gbps el próximo paso en tecnologías de modulación no es solamente usar la información de la fase de la señal sino usar dos diferentes planos de polarización [10].

✓ **Modulación por Desplazamiento de Amplitud**

El formato Modulación por Desplazamiento de Amplitud (ASK, *Amplitude Shift Keying*) también es conocido como Modulación por Encendido y Apagado (OOK, *On-Off Keying*), en el que la amplitud de la portadora respecto a la señal moduladora se hace cero a la salida del modulador, es decir, la amplitud de la señal portadora varía conforme el flujo de bit, mientras que la frecuencia y la fase permanecen constantes como se aprecia en la figura 10 [27].

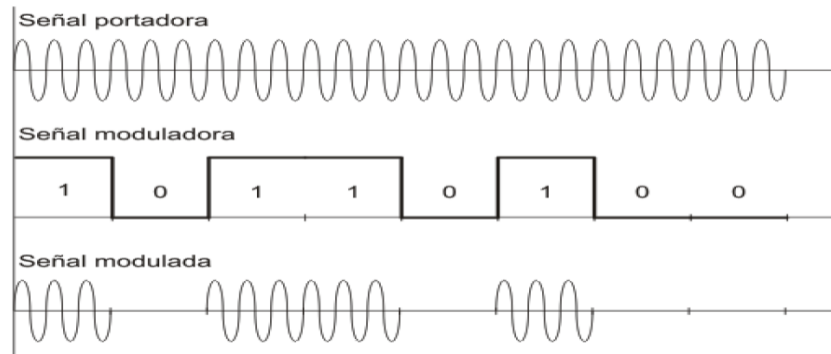


Figura 10. Modulación ASK (Amplitud vs Tiempo) [27].

OOK, es el formato más utilizado en los sistemas de comunicaciones ópticos por su baja complejidad, más sencillo de implementar y de bajo costo debido a que requiere un bajo ancho de banda eléctrico en los transmisores y receptores. Este formato es considerado para sistemas con velocidad de transmisión inferior o igual a 10 Gbps, ya que para velocidades superiores se requiere de un formato más robusto [25]. OOK a pesar de que no es conveniente para velocidades superiores a 10 Gbps, es utilizado para el desarrollo del trabajo de grado debido a que con este se pueden notar los cambios en la señal en recepción, utilizando fibras compensadoras de dispersión ya que con un formato de modulación más robusto, esté podría compensar las degradaciones producidas en la señal transmitida lo que ocasionaría el error de pensar que estos fenómenos degradantes son mitigados por la Fibra Compensadora de Dispersión.

✓ **Modulación por Desplazamiento Diferencial de Fase en Cuadratura**

La Modulación por Desplazamiento Diferencial de Fase en Cuadratura (DQPSK, *Differential Quadrature Phase-Shift Keying*) es un formato de modulación multinivel que transporta más de un bit por símbolo logrando ventajas como la reducción del tiempo requerido para enviar una cantidad de datos dada a través de un ancho de banda limitado, lograr una alta eficiencia espectral, es decir, una alta tasa de bit, aunque el ancho de banda sea bajo [27].

DQPSK es una modulación de fase diferencial que transmite 2 bits de información por símbolo (00, 01, 10 y 11) (ver tabla 4), utiliza 2 MZM en configuración en paralelo operando como modulador de fase [12].

DQPSK	
Bits de Información por Símbolo	Cambio de Fase
00	0°
01	+90°
10	-90° o +270°
11	+180°

Tabla 4. Transiciones de Fase para la Modulación DQPSK [27].

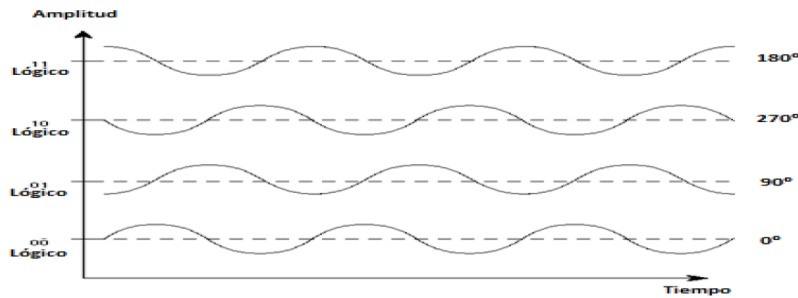


Figura 11. Transiciones de Fase para la Modulación DQPSK [27].

Este formato de mayor robustez es conveniente para velocidades superiores a 10 Gbps, presenta múltiples niveles de señal que llevará más información que las señales binarias, su mayor duración de símbolo reducirá la distorsión inducida por la CD y la PMD. DQPSK presenta un mejor comportamiento ante los efectos no lineales logrando mayores distancias, una mejora en la sensibilidad del receptor y permite un espaciado de canal más cerrado. DQPSK se convierte en un formato más utilizado en los sistemas de transmisión ópticos de alta velocidad para grandes distancias, es decir, superior a 80 km [12], [25].

<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: green; margin-right: 5px;"></div> Ventaja <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-right: 5px; margin-left: 5px;"></div> Desventaja </div>	RZ-DQPSK	
	10 Gbps	40 Gbps
Diagrama del ojo		
Espectro óptico		
Tolerancia al ruido y a la Atenuación	MUY ALTA	BAJO
Tolerancia a la Dispersión Cromática	MEDIO	MUY BAJO
Tolerancia PMD	ALTO	ALTO
Tolerancia SPM-	MEDIO	BAJO
Tolerancia XPM / IXPM	BAJO	BAJO
Tolerancia FWM / IFWM	MEDIO	BAJO

Figura 12. Formatos de modulación RZ/DQPSK a 10 y 40 Gbps frente a los efectos lineales y no lineales [12].

1.1.2 Medio de Transmisión

Este dispositivo hace referencia al medio por el cual se envía la información, en este caso se trata de fibra óptica. La fibra dominante para el sistema de comunicaciones ópticos de gran alcance es la Monomodo (SM, *Single-Mode*), la cual es utilizada en sistemas DWDM, esta fibra tiene un núcleo pequeño de 9 μm , el cual permite sólo un modo de la luz a la vez a través del mismo (núcleo), alcanzando grandes distancias y tasas de transmisión elevadas [28], [29]. La fibra SM está definida por la Unión Internacional de Telecomunicaciones en la Recomendación ITU-T G.652 y la G.651.1 [30], [31]. Esta fibra presenta diferentes tipos de los cuales se destaca la Fibra Monomodo Estándar definida por la recomendación ITU-TG.652.

1.1.1.8 Distancia del enlace

La distancia del enlace es la longitud que hay entre el transmisor y el receptor. En este trabajo el análisis del sistema es planteado para lograr la mayor longitud en un segmento de red, de no ser posible se debe dividir la distancia en un número de span's⁷ que será definido en manera de simulación de acuerdo a los elementos que componen el sistema, tales como la fibra SSMF-28 de Corning, amplificadores y DCF.

1.1.1.9 Pérdidas en los dispositivos ópticos

La atenuación es un factor degradante en todo sistema de comunicaciones y es considerado como la pérdida de luz que sufre la fibra óptica al viajar a través de la misma de un extremo al otro. Es también un fenómeno degradante de la fibra óptica, este problema se nota cuando de hace el balance de potencia en recepción, se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

Pérdidas de la fibra (L_{SSMF})	Pérdidas por empalme (L_{EMP})	Pérdidas por conector (L_{CON})
Es el producto entre la longitud de la fibra (l_{MN}) y el coeficiente de atenuación (dado por el fabricante, A_{MN})	Es el producto entre el número de empalmes (N_{EMP}) y la atenuación (A_{EMP}) que puede ser dada en las especificaciones de la fibra. Esto se da cuando se conectan diferentes tramos de fibra	Es el producto entre el número de conectores (N_{CON}) y la atenuación del mismo (A_{CON}). Esto se da cuando se conecta fibra a diferentes dispositivos del sistema desde el transmisor al receptor
$L_{SSMF} = l_{MN} * A_{MN}$	$L_{EMP} = N_{EMP} * A_{EMP}$	$L_{CON} = N_{CON} * A_{CON}$

Tabla 5. Pérdidas en la fibra en el sistema DWDM.

⁷ Span, hace referencia a una secuencia de segmentos de un enlace, donde cada segmento en km depende del tipo de atenuación de la fibra.

La ecuación (2) resume las pérdidas totales (L_{OOS}) del enlace de comunicaciones (transmisor-receptor).

$$L_{OOS} = L_{MN} + L_{EMP} + L_{CON} \quad (2)$$

1.1.1.10 Amplificador

El amplificador óptico es un dispositivo electrónico que amplifica una señal óptica, específicamente tienen la función de aumentar la potencia de la señal que fue reducida durante la transmisión. En los sistemas tradicionales de comunicación de fibra óptica de larga distancia, la compensación de pérdidas y dispersión se hacía usualmente usando regeneradores electrónicos, los cuales convertían la señal óptica en eléctrica para luego ser procesada en el dominio eléctrico y de nuevo se convertía al dominio óptico. La mejor solución para la compensación de dichos efectos son los amplificadores ópticos que son capaces de amplificar la señal óptica (amplían todas las longitudes de onda) en el propio dominio óptico sin necesidad de ninguna conversión al dominio eléctrico. La amplificación puede ser realizada por una Fibra Amplificadora Dopada de Erblio (EDFA, *Erbium-Doped Fiber Amplifier*), un Amplificador Óptico Raman o un Amplificador Óptico Semiconductor (SOA, *Semiconductor Optical Amplifier*) [22], [32], [33]. En la tabla 6 se muestra una comparación de los tres tipos de amplificación:

	EDFA	RAMAN	SEMICONDUCTOR
Ganancia	30 dB	20 – 25 dB	10 – 20 dB
Potencia de salida	Alta	Alta	Baja
Potencia de entrada	Moderada	Alta	Alta
Crosstalk (Diafonía⁸)	Bajo	Bajo	Muy Alto
Inclinación de ganancia	Alta	Bajo	Alta
Aplicación	Redes metropolitanas y redes de larga distancia	Redes de larga distancia	Redes de corta distancia

Tabla 6. Amplificadores ópticos [9].

Es necesario amplificar la señal de salida porque ésta sufrirá una atenuación acumulada significativa y gracias a la amplificación el receptor tendrá suficiente sensibilidad para detectar la señal. El sistema al tener una ganancia relativamente elevada, evita el uso de un amplificador; de esta manera reduce la complejidad de la red. Por esta razón de ganancia, por las características de la tabla 6 y porque son adecuados en WDM, la amplificación a utilizar para el trabajo de grado es el EDFA [32], [34]. Los SOA son poco utilizados porque sufren una alta figura de ruido y estrecho ancho de banda y los amplificadores RAMAN se usan cuando se requiere amplificación adicional sin que se adicione ruido representativo al enlace [22]. Ahora se hace una descripción más clara de los EDFA.

⁸ Diafonía, es el efecto de cruce de líneas.

- **EDFA:** es un amplificador unidireccional que se usa cuando se requiere la amplificación de una o más longitudes de onda, permite mantener un nivel de potencia detectable por el receptor, opera en la zona cercana a 1.55 μm (banda C), región en la cual la fibra monomodo posee mínimas pérdidas. Otras características del EDFA es que permite alcanzar ganancias hasta los 50 dB y bajo ruido, además posee un amplio ancho de banda [22], [35]. Una de las ventajas con este amplificador es que en sistemas DWDM se pueden lograr distancias máximas en los enlaces [26]. La ecuación (3) muestra la ganancia en decibelios [22].

$$g = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

$$g(\text{dB}) = 10\log\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right) \quad (3)$$

Donde g es la ganancia del amplificador en veces, $g(\text{dB})$ ganancia del amplificador en dB, P_{out} es la potencia de salida y P_{in} la potencia de entrada [22]. Los amplificadores EDFA pueden ser configurados de tres maneras:

- a) Configuración Booster, en el cual el amplificador EDFA se ubica entre el transmisor y la fibra óptica.
- b) Configuración Inline, en el cual el amplificador se usa entre largos span's de fibra óptica.
- c) Configuración Pre-amplificación, el EDFA se coloca después de la fibra de transmisión.

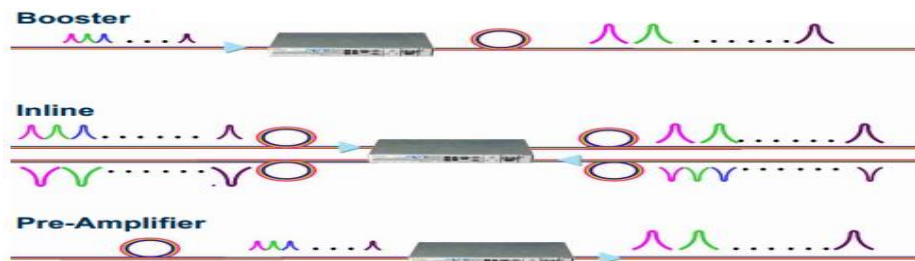


Figura 13. Configuración Booster, Inline y Pre-amplificación del amplificador EDFA [36].

1.1.3 Receptor

El receptor es el módulo encargado de la recuperación de la señal original transmitida, convierte la señal óptica en eléctrica, posteriormente es procesada y amplificada. Este proceso es realizado por un semiconductor conocido como fotodetector [37]. En este módulo recaen todos los parámetros resultantes afectados por degradaciones ópticas.

1.1.1.11 Fotodetector

Este dispositivo es una simple estructura de metal-semiconductor-metal; dos electrodos conectados a un semiconductor, esto lo hace el más simple de los detectores ópticos que exhibe ganancia interna. En los sistemas ópticos se utilizan Fotodetectores como el fotodiodo tipo PIN que es caracterizado porque presenta tiempos de vida útil superior, fácil fabricación, bajo ruido, estabilidad frente a la temperatura y como trabajan a menores tensiones, requieren circuitos de polarización más simples; y los fotodiodos tipo Avalancha (APD, *Avalanche PhotoDiodes*) son más complejos y por ende más costosos, son más sensibles a las variaciones de la temperatura (sensibles a la detección de luz modulada del láser transmisor), se utilizan sobre enlaces de largas distancias donde la potencia de la señal es muy débil y se requiere alta sensibilidad [15], [37].

1.1.1.12 Balance de potencia

El balance de potencia es la conclusión de los parámetros ópticos resultantes de todo el sistema. En esta parte se define el nivel mínimo de potencia promedio o sensibilidad del receptor (P_{RX}) respecto a la P_{TX} , Loos y a la ganancia total (G) por parte de los dispositivos de la red DWDM. Matemáticamente la potencia de recepción se define así:

$$P_{RX} \text{ (dB)} = P_{TX} + \text{Loss} + G \quad (4)$$

1.2 MONITOREO DE DESEMPEÑO ÓPTICO

El Monitoreo de Desempeño Óptico (OPM, *Optical Performance Monitoring*), es el enfoque utilizado para determinar la eficacia⁹ de los canales ópticos en un nivel físico, permitiendo tener un control de calidad sobre la señal que se está transmitiendo en el dominio óptico, logrando la reducción de errores en la señal que viaja a través de la red [38]. En el presente trabajo de grado se adopta OPM en el análisis de la fibra óptica sobre el desempeño de una red DWDM en presencia a degradaciones ópticas. De manera secuencial OPM brinda las herramientas necesarias para resolver incertidumbres de una forma segura y fácil, éstas interrogantes son:

- Que se debe medir en la red → Degradaciones ópticas
- Como se va a medir → Parámetros de monitoreo
- Como se leen los resultados → Técnicas de monitoreo

Modelo de referencia OPM

Este modelo se divide en tres niveles, nivel de monitoreo de transporte, nivel de monitoreo de calidad de la señal y nivel de monitoreo del protocolo. Los tres niveles se explican a continuación [39].

⁹ Eficacia, es la capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera.

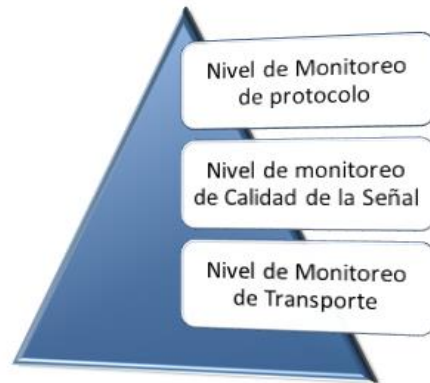


Figura 14. Niveles del modelo de referencia OPM [39].

- Nivel de monitoreo de transporte: se refiere al monitoreo del canal óptico, en este nivel son seleccionadas las herramientas o características del nivel óptico indispensables en el transporte y gestión de la red en la capa DWDM. Para realizar este tipo de monitoreo son utilizadas medidas como: Registro longitud de onda, evaluación en tiempo real de los parámetros que componen la presencia del canal, nivel de potencia y Relación Señal a Ruido Óptica (OSNR, *Optical Signal to Noise Ratio*) espectral [39].
- Nivel de monitoreo de calidad de la señal: se escoge una longitud de onda específica a la cual se le realizan medidas sensitivas de transmisión de señal. Los parámetros o características que son analizados en este nivel son: factor de calidad (Q), resultados arrojados por las mediciones del diagrama del ojo y las distorsiones que se presentan en él, nos aportan los fenómenos que perjudican la señal óptica que viaja por la red como efectos no lineales y dispersiones producidas por la fibra óptica [39].
- Nivel de monitoreo de protocolo: Este nivel está directamente involucrado con el monitoreo del protocolo de datos y el monitoreo de desempeño del protocolo [39].

En este trabajo de grado se realizara monitoreo de la calidad de la señal, debido a que se desea establecer si la DCF permite contrarrestar las degradaciones ópticas provocada en red.

1.2.1 Degradaciones Ópticas

El desempeño y funcionalidad de la red se ve directamente relacionada con las limitaciones de velocidad del enlace y longitud de onda transmitida, las cuales son producidas por degradaciones ópticas, las más importantes consideradas por OPM son: pérdidas totales del enlace, Dispersión Cromática (CD, *Chromatic Dispersion*), Dispersión por Modo de Polarización (PMD, *Polarization Mode Dispersion*), Automodulación de Fase (SPM, *Self phase Modulation*), Modulación de Fase Cruzada (XPM, *Cross Phase Modulation*) y Mezcla de Cuatro Ondas (FWM, *Four Wave Mixing*). En la figura 15 se clasifica las degradaciones presentes en el sistema DWDM.

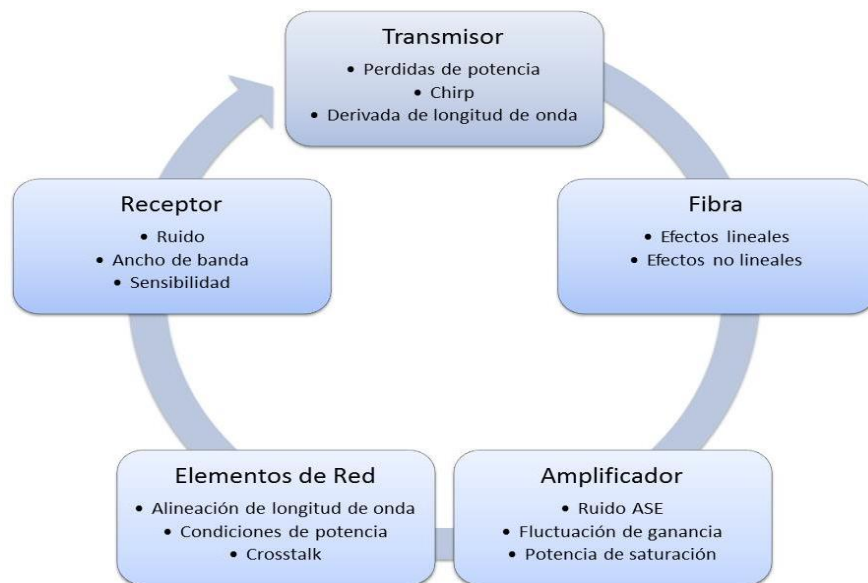


Figura 15. Degradaciones que afectan el sistema DWDM [39].

1.2.1.1 Efectos Lineales

Estos fenómenos son degradaciones que no dependen de la potencia de transmisión como es el caso de la Dispersión Cromática (CD, *Cromatic Dispersion*), la Dispersión por Modo de Polarización (PMD, *Polarization Mode Dispersion*) y las pérdidas causadas por la atenuación y el ruido [26]. En la figura 16 se muestra como están compuestos los fenómenos lineales.

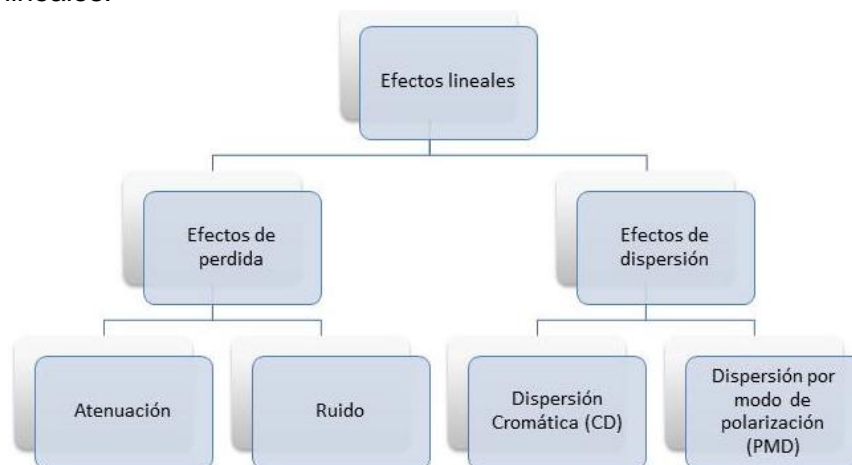


Figura 16. Efectos lineales en una red DWDM [26].

1.2.1.1.1 Atenuación

Como fue mencionado anteriormente la atenuación de la señal óptica representa la disminución de la energía luminosa (Potencia de transmisión) en la propagación de la fibra, las pérdidas producidas por la atenuación producen efectos adversos tales como reducción del ancho de banda, velocidad de transmisión, eficiencia y capacidad del sistema, limita la distancia total del enlace de red [40]. Expresada en la fórmula (5).

$$A(dB) = 10 \log \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \quad (5)$$

Dónde:

A: Atenuación de la fibra, unidades decibels

La tabla 7 muestra la potencia de salida como porcentaje de la potencia de entrada para un cable de fibra óptica a distintos valores de pérdida en dB. Un cable con pérdida de 3 dB reduce la potencia de salida a 50% de la potencia de entrada [35].

Pérdida (dB)	Potencia de salida (%)
1	79
3	50
6	25
9	12.5
10	10
13	5
20	1
30	0.1
40	0.01
50	0.001

Tabla 7. Porcentaje de potencia de salida en función de la pérdida en dB.

En la práctica los operadores optan por tomar los dB de atenuación por la longitud de la fibra, en este sentido se tiene la potencia de recepción expresada en función de la potencia de transmisión, distancia de la fibra y atenuación de la fibra. En modo general se puede decir que la potencia decrece en forma exponencial, dada por la ecuación:

$$P = P_{in}(e^{-(A * l)})$$

Es decir,

$$10 \log \left(\frac{P}{P_{in}} \right) = -(A * l)$$

Por lo tanto, la ecuación en dB estaría dada de la siguiente manera.

$$P(dBm) = P_{in}(dBm) - A(dB/Km) * l(Km) \quad (6)$$

Dónde:

$P=P_{RX}$: Potencia de recepción

l : Distancia del enlace

1.2.1.1.2 Ruido

La luz transportada a través de la fibra óptica no se ve afectada por interferencias de radiación electromagnéticas, lo que la hace inmune frente al ruido; además, la luz externa no penetra la fibra, por lo tanto, no es necesario aislar los cables eléctricos de los ópticos. El ruido es generado en las fibras ópticas en sus extremos, como son el transmisor, receptor amplificadores (Eléctricos) y otros dispositivos que componen la red, ejemplo de

este fenómeno es el ruido cuántico el cual se produce en la conversión del sistema fotónico al eléctrico [41]. Se hace conveniente utilizar dispositivos que introduzcan bajo ruido y que los acoplamiento entre estos y la fibra sean de alta calidad para hacer posible una transmisión de información con menos errores.

1.2.1.1.3 Dispersión cromática

La Dispersión Cromática (CD, *Chromatic Dispersion*) es el retardo o deformación del pulso óptico transmitido a medida que se propaga a través de la fibra óptica y llega al receptor. Estos efectos degradantes se debe a la variación de la velocidad de propagación de las diferentes componentes espectrales contenidas en una señal óptica modulada que en el dominio del tiempo resulta en una distorsión de la señal y en una ampliación del pulso como se aprecia en la figura 17, esto es conocido como dispersión del material. Si el pulso aumenta, su duración temporal a medida que se propaga por la fibra da como resultado una Interferencia Intersimbólica (ISI) en un sistema de transmisión óptico, lo que conlleva a generar errores en la decodificación del pulso [20], [23], [26].

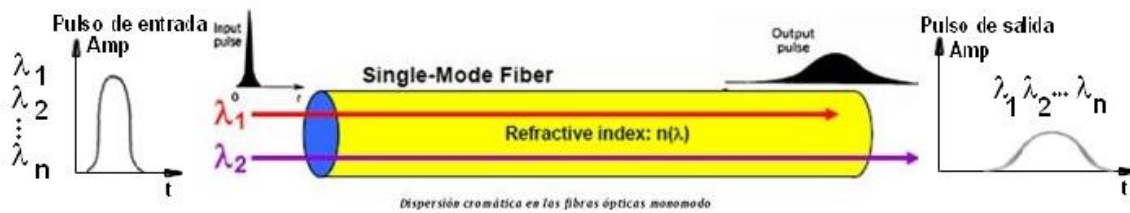


Figura 17. Pulso a la entrada y salida de la fibra óptica, afectado por la CD [8].

El impacto causado por la dispersión del material puede ser descrito por la ecuación (7), estos efectos de dispersión son representados mediante la expansión de la ecuación en una serie de Taylor alrededor de la frecuencia central ω_0 [19], [26].

$$\beta(\omega) = \frac{\omega * n(\omega)}{c} = \beta_0 + \beta_1 \Delta\omega + \frac{1}{2} \beta_2 \Delta\omega^2 + \frac{1}{6} \beta_3 \Delta\omega^3 + \dots \quad (7)$$

$$\beta(\omega) = \frac{\omega * n(\omega)}{c} = \beta_0 + \beta_1(\omega - \omega_0) + \frac{1}{2} \beta_2(\omega - \omega_0)^2 + \frac{1}{6} \beta_3(\omega - \omega_0)^3 \dots$$

- $n(\omega)$: Índice de refracción dependiente de la frecuencia
- C : Velocidad de la luz en el vacío
- β_0 [1/Km]: Representa un cambio de fase constante implicado en la velocidad de fase de la portadora óptica, ecuación (8).

$$V_p = \frac{\omega_0}{\beta_0} = \frac{c}{n(\omega_0)} \quad (8)$$

- β_1 [ps/Km]: Velocidad a la cual la envolvente del pulso se propaga, con la cual se puede obtener el retardo de grupo (V_g), ecuación (9).

$$V_g = \frac{1}{\beta_1} = \left(\frac{d\beta}{d\omega} \Big|_{\omega = \omega_0} \right)^{-1} \quad (9)$$

- β_2 [ps²/ Km]: Parámetro de Dispersión de Velocidad de Grupo (GVD, *Group Velocity Dispersion*), quien es la derivada de la velocidad de grupo con respecto a los componentes de frecuencia del pulso óptico transmitido, el cual viaja a diferentes velocidades en la fibra dando lugar a la propagación del pulso, fenómeno conocido como dispersión y está representado por la ecuación (10).

$$\beta_2 = \frac{dv_g}{d\omega} = \left(\frac{d^2\beta}{d^2\omega} \right)^{-1} \quad (10)$$

- β_3 [ps³/Km]: Pendiente de dispersión de velocidad de grupo (GVD Slope), está definida por la siguiente ecuación.

$$\beta_3 = \frac{d\beta_2}{d\omega} \quad (11)$$

En la práctica se utiliza D [$\frac{ps}{nm \cdot Km}$] para representar la dispersión cromática en una sola fibra óptica, la CD está estrechamente relacionada con la velocidad de grupo. En la ecuación (12), se muestra la CD práctica y la pendiente de dispersión, la cual es la medida en la que varía la dispersión como una función de la longitud de onda de la luz [19], [20].

$$D = \frac{\partial\beta_1}{\partial\lambda} = -\frac{2\pi c}{\lambda^2} \beta_2 \quad D = \frac{\partial D}{\partial\lambda} = \frac{4\pi c}{\lambda^3} (\beta_2 + \frac{\pi c}{\lambda} \beta_3) \quad (12)$$

La CD es el condicionante para las transmisiones a altas velocidades, ya que una red que transmite a 10 Gbps tiene más tolerancia a este fenómeno que una que transmite a 40 Gbps, por lo que está relacionada a la tasa de trasmisión de la red. Matemáticamente se presenta como [12]:

$$BR < \frac{1}{4\Delta t} \quad (13)$$

Donde:

- BR: Tasa de transmisión
- Δt : Máxima dispersión cromática permitida, calculada a partir de la ecuación

Por lo tanto, encontrado el coeficiente de dispersión de la fibra óptica, ecuación (13), el cual en algunos casos esta dado por el fabricante de fibra óptica se optine la dispersión acumulada $\Delta t(\frac{ps}{nm})$, la cual esta representada por la ecuación (14).

$$\Delta t = \mathbf{D}(\lambda)L\Delta\lambda \quad (14)$$

Donde:

- $\Delta\lambda$: Ancho espectral de la fuente de luz (laser o diodo) o longitud de la onda transmitida (nm)

- $L = l_{SSMF}$: Longitud de la fibra óptica (Km)
- $D(\lambda) =$ Coeficiente de dispersión de la fibra óptica

Al solucionar $D(\lambda)$ da como resultado la ecuación (15), de la cual se tiene la pendiente de dispersión cromática S_0 para λ_0 , λ_0 es la longitud de onda cuando $D(\lambda)=0$, siendo λ la longitud de onda en operación. Estos parámetros son dados por el fabricante.

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right] \quad (15)$$

Ya que en la mayoría de sistemas ópticos se emplean fibra de 1550 nm, hay que tener en cuenta la dispersión anómala, se da cuando $D < 0$, entonces $\beta_2 < 0$, pero si $\beta_2 > 0$ causaría que las componentes de baja frecuencia viajen más rápido que las componentes de alta frecuencia produciendo dispersión normal. Dado que la dispersión cromática es dependiente de la longitud de onda y mientras más grande sea esta, mayor es el tiempo de tránsito a través de la fibra, esto conlleva a tener dispersión acumulada teniendo una mayor degradación en la señal transmitida como se aprecia en la figura 18 [15], [8].

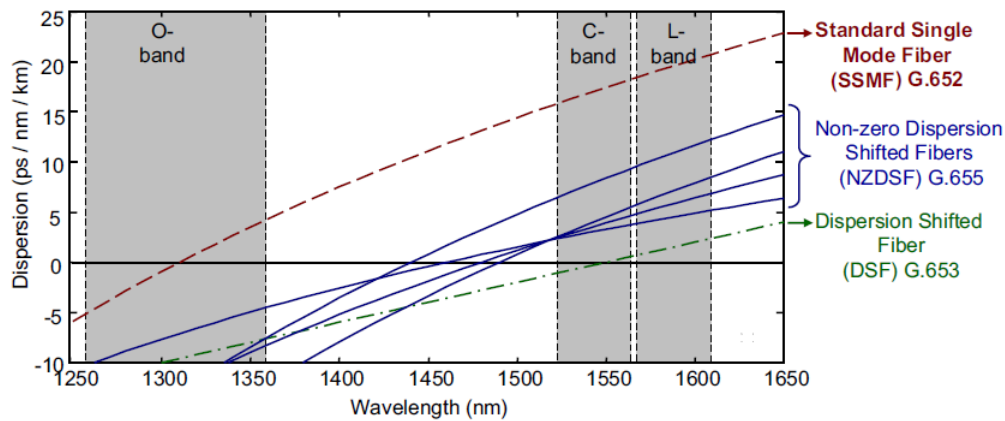


Figura 18. CD en función de la longitud de onda, para fibras ópticas comunes [26].

1.2.1.1.4 Dispersión Modal o Dispersión por Modo de Polarización

La Dispersión por Modo de Polarización (PMD, *Polarization Mode Dispersion*), es un gran limitante para el rendimiento de transmisión en los sistemas de fibra óptica. La PMD solo se da en la fibra óptica monomodo y es el resultado de la diferencia de velocidades de grupo de modos de polarización, generando retardos entre estos y ensanchamiento en los pulsos transmitido, lo que ocasiona interferencia entre símbolos y un aumento en la tasa de error de bit (BER, *Bit Error Rate*), definida más adelante, lo que conlleva a tener una señal defectuosa en recepción, figura 19, ya que el receptor no es capaz de reconocer si el pulso que entra es un "0" o un "1" [42], [43]. Este fenómeno óptico empieza a tener importancia para redes que trabajan a velocidades superiores a 2.5 Gbps [44].

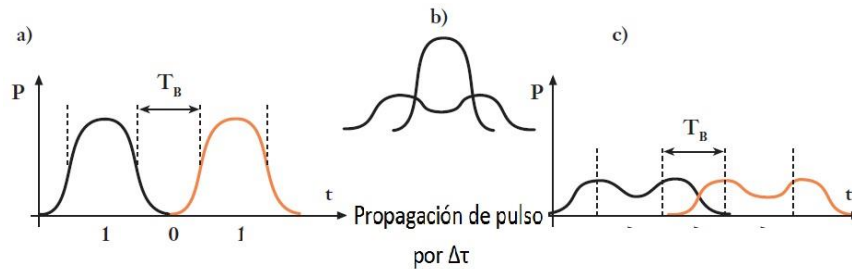


Figura 19. Formación de interferencia de símbolos debido a PMD [20].

El parámetro utilizado para medir la PMD es el valor medio del Retardo Diferencial de Grupo (DGD: *Differential group Delay*), denotado comúnmente como “ $\Delta\tau$ ” y se mide en picosegundos (ps), siendo este la diferencia de retardo entre los modos de polarización que llegan al receptor. Se debe tener en cuenta que es muy difícil obtener resultados de medición en tiempo real debido a las altas frecuencias presentes en transmisión, sin embargo, se considera a la fibra óptica como un material birrefringente¹⁰ que es perturbada en forma aleatoria por dos rayos de luz con velocidades diferentes que dependen de dos estados de polarización originados por la fibra, figura 19. Se asume en cada posición de la fibra óptica una parte de la energía que estará en modo rápido y el resto en modo lento, es decir, la energía es dividida en dos modos de propagación los cuales son perturbados simultáneamente cuando se produce el fenómeno de la PMD [44].

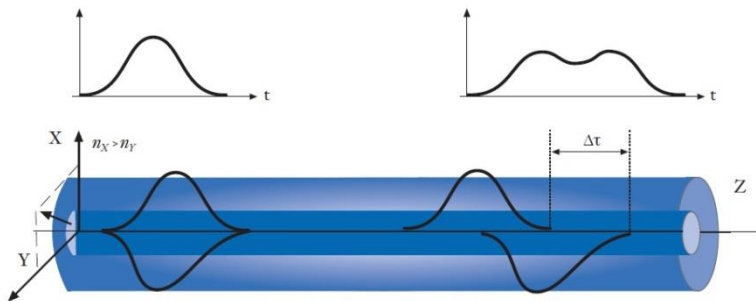


Figura 20. Esquema de propagación de los modos de Polarización en una fibra birrefringente [20].

Al trabajar a velocidades de acceso mayores a 10 Gbps se debe tener en cuenta las recomendaciones de la ITU-T (G53, G54, G55, G56), en las cuales se toma el fenómeno de la PDM en el diseño de redes ópticas y se encuentran las características de las fibras ópticas monomodo con dispersión desplazada, fibra óptica monomodo con corte desplazado, fibra óptica monomodo con dispersión desplazada no nula y fibras ópticas con dispersión no nula para el transporte óptico de banda ancha. Otro parámetro a tener en cuenta para tratar la dispersión por polarización es la longitud de la fibra (L , en Km), ya que PMD es el producto de la raíz cuadrada de esta con un coeficiente de PMD (PMD_{coef} , $PS\sqrt{Km}$), como se aprecia en la fórmula (16).

¹⁰Birrefringencia o doble Refracción, es una propiedad de la fibra óptica, la cual tiene un índice de refracción que depende de la polarización y la propagación de dirección de la luz. Es la causa primaria de la PMD y es producida por la anisotropía o asimetría del medio de propagación.

$$PMD = \langle \Delta\tau \rangle = PMD_{coef} * \sqrt[2]{L} \quad (16)$$

Donde PMD_{coef} , está dado por el fabricante de la fibra, pero esta crece con el tiempo por tensiones en la misma, por cambios de temperatura, curvaturas, paso del tiempo y el medio donde se encuentre la fibra óptica en su vida útil. Las mediciones en la DGD máximo en un enlace de fibra óptica no deben superar el 30% de la ranura temporal de un bit (T_B), para no tener la penalidad de 1 dB de potencia [45]. La PMD máxima permitida está regida por la fórmula (17), dando como resultado los valores máximos de tolerancia de PMD a diferentes tasas de transmisión como se aprecia en la Tabla 8.

$$PMD < \frac{1}{10} TB \quad (17)$$

Dónde: $TB = \frac{1}{R}$ y R: Tasa de trasmisión de la red

Bit Rate (Gbps)	T_B (ps)	$PMD_{m\acute{a}x}$ (ps)
2,5	400	40
10	100	10
40	25	2,5

Tabla 8. Tolerancia máxima de PMD a diferentes tasas de transmisión [46].

1.2.1.2 Efectos No Lineales

Se define a la fibra óptica como un medio lineal en el diseño de sistemas de transmisión básicos, en los cuales las propiedades de la fibra no cambian con la potencia de la señal, este concepto solo es aplicable para sistemas de baja tasa de transmisión y con bajos niveles de potencia. Al aumentar la tasa de transmisión por encima de 10 Gbps y/o incrementar la potencia, se deben considerar los efectos no lineales y su impacto en los sistemas de comunicaciones, ya que en teoría la fibra de silicio es un material no lineal. Para sistemas DWDM los fenómenos no lineales son un factor determinante en la eficiencia, puesto que perturban la tasa de trasmisión y limitan la potencia del sistema [20].

Todos los fenómenos no lineales que pueden llegar a aparecer en la red óptica tienen un fundamento físico basado en la interacción de la radiación transmitida con respecto al silicio de la fibra, estos fenómenos tienen lugar fundamentalmente a través de dos mecanismos [47].

- En el primer mecanismo se da cuanto hay interacción entre los fotones de la señal con alguno de los fonones (modos de vibración de la fibra óptica) del material: El resultado de esta interacción produce dos tipos de dispersión espacial, el Scattering Estimulado de Raman (SRS) y el Scattering Estimulado de Brillouin (SBS).
- El segundo mecanismo es originado por el efecto Kerr (Dependencia del índice de refracción con la intensidad óptica). Este efecto es producido por el confinamiento intenso de la luz en el núcleo de la fibra, el cual origina un valor en la intensidad

óptica que puede exceder los MW/cm^2 , en estas condiciones el índice de refracción se puede ver afectado, inclusive se podría llegar a modificar su valor, traduciéndose a su vez en un cambio de fase de los campos EM que viajan por la fibra. A raíz de este contexto las variaciones en las intensidades ópticas de los diferentes canales WDM se traducirán en perturbaciones en su fase, generando diversos efectos no lineales debido a las múltiples interacciones entre la señal propagada y el ruido, un ejemplo de esto son SPM, XPM, FWM y la IXPM.

En el siguiente esquema se aprecian los fenómenos no lineales anteriormente mencionados según el tipo de interacción que los origina.



Figura 21. Clasificación de los diferentes efectos no lineales de la fibra óptica.

Antes de definir los fenómenos no lineales citados anteriormente, se definen dos parámetros que por su importancia y ya que dependiendo del valor de estos, variará el impacto de las degradaciones en el sistema [48].

- Longitud efectiva: Es la distancia que necesita recorrer la luz para que tenga lugar la generación de cada efecto no lineal, teniendo en cuenta las pérdidas de la fibra. Está expresada por la siguiente ecuación [48].

$$L_{ef}(Km) = \int_0^L e^{-(\alpha z)} dz = \frac{1-e^{-\alpha L}}{\alpha} \quad (18)$$

L: longitud total del enlace, en Km

α : Atenuación de la fibra

Si la atenuación en la fibra óptica es pequeña, la ecuación puede ser aproximada a:

$$L_{ef} \approx \frac{1}{\alpha} \quad (19)$$

- Área efectiva: El valor o distribución de potencia no es uniforme a través del área de la fibra, por lo que en el centro se presenta una mayor concentración que en los extremos [3], [49]. El área efectiva está representada por la siguiente ecuación.

$$A_{ef}(\mu\text{m}^2) = \pi w_0^2 \quad (20)$$

w_0 : Radio del Diámetro de Campo Modal (MFD, *Modal Field Diameter*)

1.2.1.2.1 Efectos no Lineales producidos por la Interacción Fotón-Fonon

- **Scattering Estimulado de Brioullin (SBS, *Stimulated Brioullin Scattering*)**

En la fibra el campo óptico que se desplaza a través de la misma, induce pequeñas variaciones acústicas que conforman lo que es denominado como fonones acústicos. Al generarse una onda acústica por la interacción foton-fonon, la cual se propaga por el núcleo en sentido contrario a la onda óptica, produciendo alteraciones periódicas en la densidad del material, lo que a su vez se traduce en variaciones periódicas en el índice de refracción [47]. En este escenario, se habrá constituido una red Bragg que conlleva a dos repercusiones:

- ✓ La onda óptica sufre dispersión espacial y además se modifica su frecuencia instantánea según la velocidad de propagación de la onda acústica (Efecto Doppler) [47].
- ✓ Si la longitud de onda de radiación de la onda transmitida coincide con la red de Bragg se producirá una reflexión de potencia y si el desplazamiento de la frecuencia es lo suficientemente elevado se producirían problemas de diafonía¹¹ en el sistema DWDM con separación entre canales a 20 MHz [47].

En este proyecto se tendría una separación entre canales superior a 20 MHz, por este motivo SBS nunca será un problema para la migración del sistema DWDM de 10 a 40 Gbps.

- **Scattering Estimulado de Raman (SRS, *Stimulated Raman Scattering*)**

Cuando interactúan los fotones que inciden sobre el silicio de la fibra, las vibraciones que tienen las moléculas y los átomos de la misma producen el efecto Raman. Las vibraciones características del medio o material son conocidas como fonones ópticos.

El problema principal generado por este efecto es que las frecuencias nuevas que aparecen pueden encontrarse dentro de la banda de los canales WDM adyacentes, generando diafonía en banda y es muy difícil de eliminar mediante filtrado. Al circular un número determinado de canales WDM con una separación en frecuencia, la cual coincida con el margen de ganancia del efecto Raman y además los pulsos de los diferentes canales están alineados temporalmente, existirá una transferencia de potencia de cada canal al siguiente [20]. En la siguiente figura se ilustra el fenómeno citado.

¹¹ Diafonía se presenta cuando parte de una onda denominada perturbadora, aparece en otra denominada perturbada

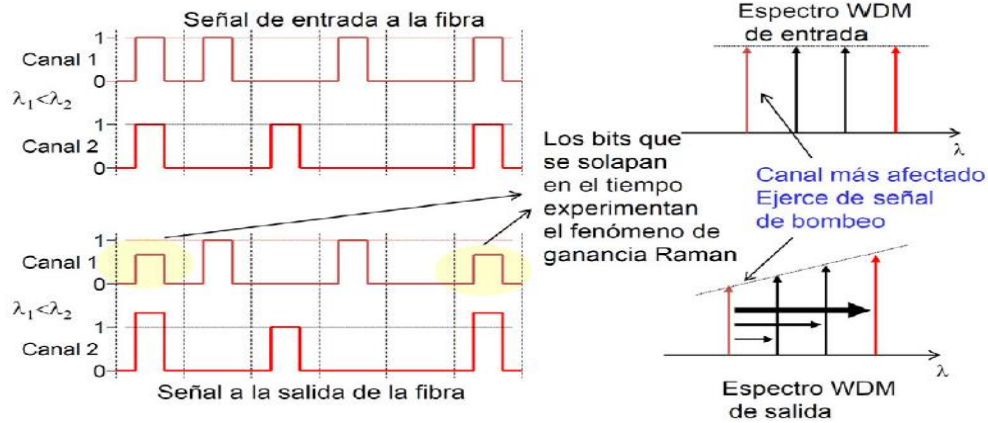


Figura 22. Efecto del SRS en sistemas WDM [47].

En sistemas WDM con separación entre canales menor de 200 GHz (DWDM) la ganancia del efecto Raman no es significativa, pudiendo considerar este efecto como despreciable, excepto para valores de potencia óptica elevados en la fibra, en este caso si sería observable la transferencia de potencia entre los diferentes canales ópticos [50].

1.2.1.2.2 Fenómenos No Lineales producidos por el Efecto Kerr

Las no linealidades que distorsionan la señal de forma variada. Dependiendo de la interacción de cada canal WDM consigo mismo, con el ruido y con el resto de canales, el efecto Kerr se descompone en los fenómenos ilustrados en la figura 23, en el cual el efecto Kerr queda dividido en no linealidades intracanal e intercanal, cuando los pulsos de un mismo canal WDM interactúan entre sí (intracanal) o con pulsos de otros canales del sistema WDM (intercanal), además se divide la señal-señal y la señal-ASE, ya que cada una genera distorsiones diferentes.

En este capítulo no se hace referencia a la señal ASE, ya que esta se produce por inducción de ruido creado por un fenómeno no lineal.

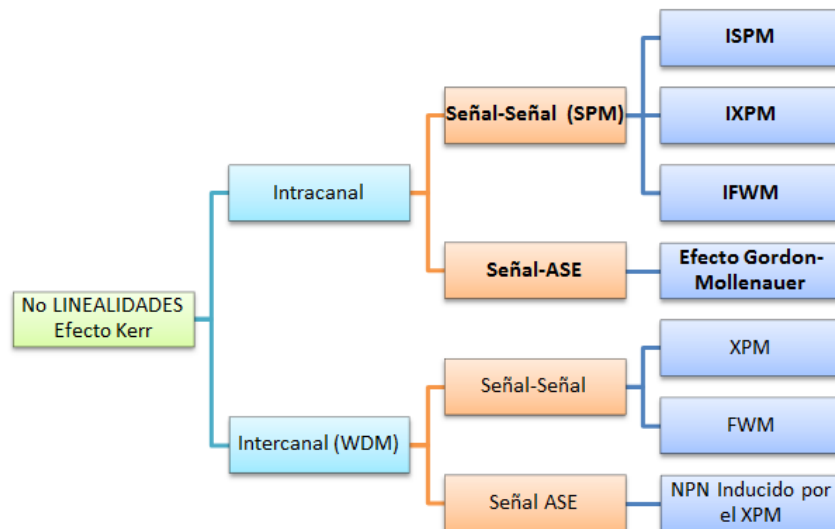


Figura 23. Clasificación de no linealidades derivadas del Efecto Kerr [47].

Efectos No Lineales Intracanal

- **Auto Modulación de Fase**

La Auto Modulación de Fase (SPM, *Self Phase Modulation*) aparece debido a que el índice de refracción de la fibra tiene una componente dependiente de la intensidad. Este índice de refracción no lineal provoca un desplazamiento de fase que es proporcional a la intensidad del pulso. Genera que las diferentes partes del pulso sufran diferentes desplazamientos de fase, lo que provoca que el pulso adquiera un cierto chirp (C), el cual induce a que se modifiquen los efectos de la dispersión sobre el pulso [51]. El chirp generado depende de la longitud de la fibra y de la intensidad de la señal transmitida. En un sistema con alta potencia se podría generar ensanchamiento en los pulsos que viajan por la fibra [52].

El SPM o también llamado ISPM (Isolated Pulse SPM), compensa o modifica los niveles de dispersión cromática que se presentan en la transmisión del pulso, ya que el chirp generado es de signo contrario al de la dispersión. Al tener un coeficiente de dispersión cromática positiva o régimen de dispersión anómalo ($D > 0$), el retardo de grupo de la fibra es mayor por las longitudes de onda más altas y menor para longitudes de onda más bajas, lo que conlleva a que el flanco de subida tienda a ir más lento en comparación con el flanco de bajada [26], lo anteriormente citado se muestra en la figura 24.

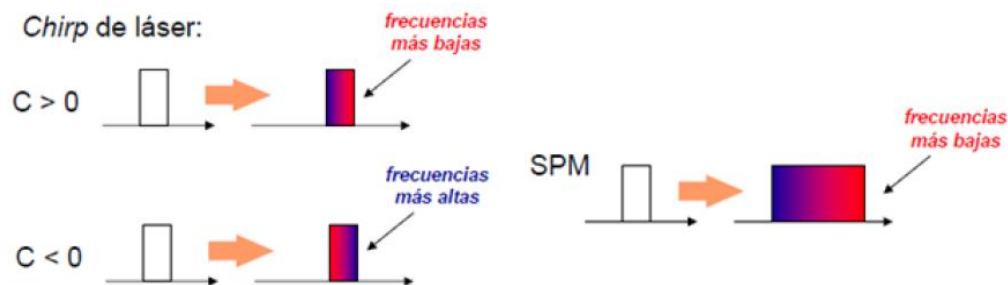


Figura 24. Efecto causado por la SPM a un pulso propagado [26].

- **Modulación de Fase Cruzada Intracanal y Mezcla de Cuatro Ondas Intracanal**

Estos dos efectos no lineales, son predominantes a velocidades iguales o superiores a 40 Gbps. Son generados como consecuencia del solapamiento de pulsos en un mismo canal debido a su ensanchamiento por la dispersión cromática de la fibra, que a su vez estimula el efecto Kerr de la misma. La Modulación de Fase Cruzada Intracanal (IXPM, *Intrachannel Cross-Phase Modulation*) genera un cambio en la frecuencia por la variación en la intensidad de los pulsos traslapados, que al interactuar con la dispersión cromática se convierte en una fluctuación temporal o Jitter¹² de fase [20], [42], [47].

¹² Jitter, es una variación temporal o retardo en el pulso transmitido, es apreciable en la fase o en la amplitud en el diagrama de ojo de recepción

Mezcla de Cuatro Ondas Intracanal (IFWM, *Intrachannel Four Wave Mixing*), es evidente en señales de amplitud modulada o de intensidad, en las cuales crea un pulso fantasma en los slots de tiempo donde un bit "0" es transmitido, generando un error en el decisor de bits del receptor. Además este fenómeno induce transferencia de energía adicional, lo que lleva a tener amplitud de jitter en el símbolo 1 como se muestra en la figura 25, [42], [53].

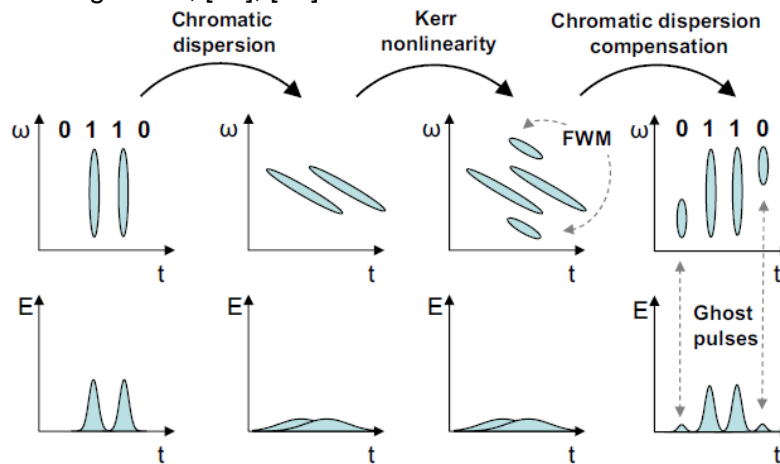


Figura 25. IFWM en la transmisión de bits [42].

En conclusión IXPM afecta la fase de los pulsos; mientras que IFWM genera pulsos de menor tamaño que los iniciales (Pulsos fantasma).

Efectos No Lineales Intercanal

- Modulación de Fase Cruzada

La Modulación de Fase Cruzada (XPM, *Cross Phase Modulation*), es el término por el cual se conoce el conjunto de efectos de la refracción no lineal producida por un canal sobre canales co-propagantes [52]. La modulación cruzada de fase siempre aparece acompañada de la SPM [52]. Este efecto en los sistemas DWDM lleva a que la potencia transmitida de un canal afecte la fase en la señal transmitida por otro canal, provocando un ensanchamiento del espectro óptico del canal afectado, lo que contribuye a reducir la tolerancia del sistema a la dispersión cromática para altas velocidades de transmisión, donde predomina el espectro de la modulación frente al de la fuente de la luz [47]. El efecto más perjudicial se provoca cuando los pulsos a diferentes longitudes de onda están parcialmente solapados en el tiempo, esto debido al cambio de fase no lineal inducido por XPM [20].

Al aumentar la separación entre canales en el sistema WDM disminuye el efecto de la XPM. De esta manera la constante de propagación será diferente para que cada canal se desplace a una velocidad distinta, evitando así la coincidencia temporal entre los pulsos de diversos canales. A medida que se aumenta la tasa

de transmisión, será más difícil que los pulsos de los diferentes canales se encuentren alineados sobre el trayecto de la fibra. En una transmisión que supere los 20 Gbps el efecto no lineal XPM dejara de ser un problema a la propagación el régimen no lineal [47]. En contraste se debe tener en cuenta este fenómeno si se trabaja en un sistema DWDM con más de 10 canales o con espaciamiento entre canales a 25 GHz y efecto SPM para canales con separación de 100 GHz [26].

- **Mezcla de Cuatro Ondas**

Es conocido como Mezcla de Cuatro Ondas (FWM, *Four Wave Mixing*) porque implica la creación de una nueva onda a partir de la interacción de otras tres iniciales. Se genera como consecuencia de la dependencia no lineal del campo eléctrico que viaja por la fibra. En comparación con XPM y SPM las consecuencias sobre el sistema WDM son diferentes, ya que estas generan un ensanchamiento espectral de la señal ya existente en la fibra, mientras el efecto de la mezcla de cuatro ondas es responsable de la generación de nuevas componentes de frecuencia óptica, las cuales interfieren en zonas espectrales ocupadas por las portadoras ópticas del sistema [47]. Las componentes de la señal generada pueden interferir con señales del mismo canal o con señales de canales adyacentes, en número de frecuencias generadas está dada por la siguiente fórmula (21) y se muestra en la figura 26.

$$M = \frac{1}{2}(N^3 - N^2) \quad (21)$$

Dónde:

M: Número de frecuencias resultantes por FWM

N: Número de canales con frecuencias diferentes para cada uno

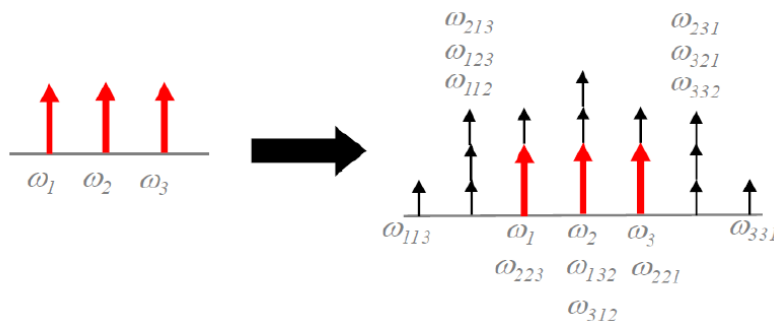


Figura 26. Interacción de tres canales, debido a FWM aparecen nuevas frecuencias [47].

Para que se produzca FWM debe de estar condicionada por “phase matching¹³”, donde el efecto de la FWM depende de la dispersión y el espaciamiento de los canales de la señal [20].

En la siguiente tabla, se enumeran y clasifican las principales degradaciones de la capa óptica que limita la capacidad de los sistemas DWDM [11].

¹³ Encuentro de fase, presente en el caso ideal de fibras sin dispersión.

Variación de la degradación	Frecuencia de Ocurrencia relativa	Descripción
Atenuación	Elevada	
Variaciones de la potencia del canal óptico debido a variaciones de ganancia	Elevada	
Desviación de la frecuencia (o longitud de onda) del valor nominal	Elevada	[UIT-T G.692]
Dispersión por modo de polarización (PMD) (primer orden y órdenes superiores)	Media	Apéndice II de [UIT-T G.663]
Mezcla de cuatro ondas (FWM)	Media	Apéndice II de [UIT-T G.663]
Dispersión cromática	Media	[UIT-T G.652] [UIT-T G.653] [UIT-T G.655]
Pendiente de dispersión cromática	Media	Apéndice III de [UIT-T G.663]
Reflexiones	Media	
Ruido de laser	Media	[b-UIT-T G-sub.39]
Diafonía entre canales	Media	[b-UIT-T G-sub.39]
Modulación de fase cruzada (XPM)	Baja	Apéndice II de [UIT-T G.663]
Automodulación de fase (SPM)	Baja	Apéndice II de [UIT-T G.650.2]

Tabla 9. Principales degradaciones de un sistema DWDM.

1.3 PARÁMETROS DE DESEMPEÑO ÓPTICO

Siguiendo el modelo de referencia OPM, los parámetros de desempeño que se tendrán en cuenta son la BER, el factor Q, OSNR, el diagrama del ojo y el Jitter.

1.3.1 Diagrama del Ojo

En un sistema de comunicación se ve involucrado los equipos de transmisión, recepción, medio de transmisión (fibra óptica) y todo lo que corresponde en una red óptica; el funcionamiento y desempeño de estos son medidos con parámetros como la BER, SNR y la OSNR que proporcionan información acerca de la calidad del enlace. Pero para hacer análisis de una onda de un pulso que se propaga en el canal de transmisión y para encontrar el origen del problema, estos parámetros no son apropiados, por esto es necesario e indispensable el uso del diagrama del ojo que a su vez permite observar la BER, el factor Q, desfases, niveles de potencia, niveles de ruido y la ISI [2], [54].

El diagrama muestra la superposición de diferentes combinaciones posibles de unos y ceros en un rango de tiempo o cantidad de bits determinados. Por ejemplo en la figura 27 se puede apreciar que en una secuencia de 3 bits se tiene una cantidad total de 8 combinaciones diferentes [54].

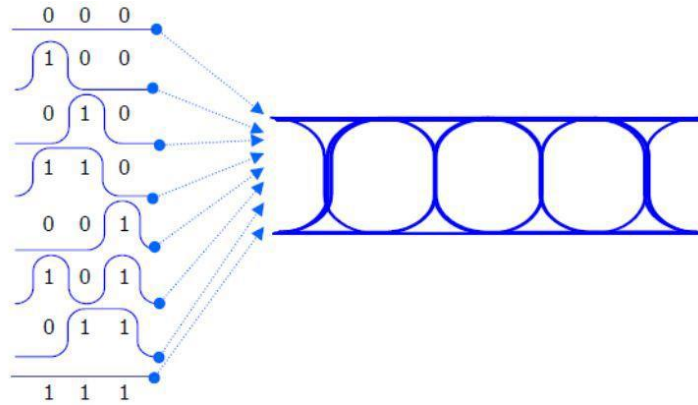


Figura 27. Diagrama del ojo generado por la combinación y superposición de unos y ceros [8].

El diagrama del ojo permite observar parámetros que determinan la calidad de la señal, donde se identifican dos tipos de cruces: cruce de tiempo, en el cual se produce la apertura y cierre del ojo, y cruce de amplitud el cual consiste en el nivel de voltaje que produce la apertura y cierre del ojo definiéndose en el periodo de bit como se muestra en la figura 28 [54].

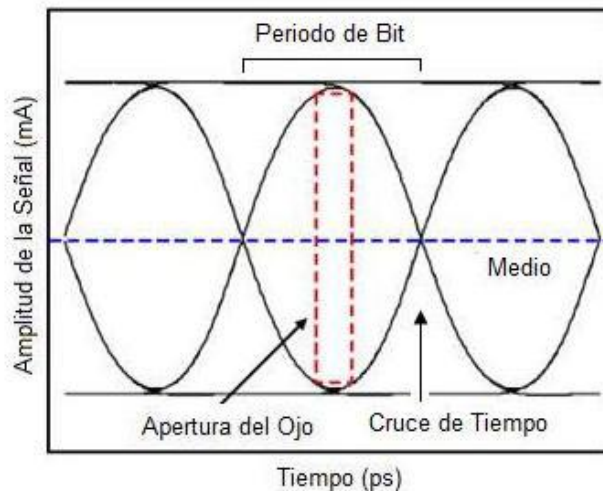


Figura 28. Parámetros del Diagrama del Ojo Ideal [42].

En la anterior figura se puede notar que es un diagrama obtenido de un enlace óptico ideal, es decir, a tasa de transmisión bajas, sin considerar pérdidas por atenuación, sin ningún tipo de ruido en el canal y sin considerar el desplazamiento de fase (jitter) [54].

En la figura 29 a), el eje Y muestra el nivel de amplitud de la señal, que compromete más el desempeño del sistema debido a efectos como la atenuación, la ISI y el margen del ruido provocado por una menor apertura; en el eje X o eje de tiempo se observa el efecto producido por el jitter y el sincronismo sobre la señal (figura 29 b)); las distintas regiones específicas o máscaras del diagrama del ojo, en donde cualquier señal que se propague hace referencia a problemas y errores en la transmisión [26].

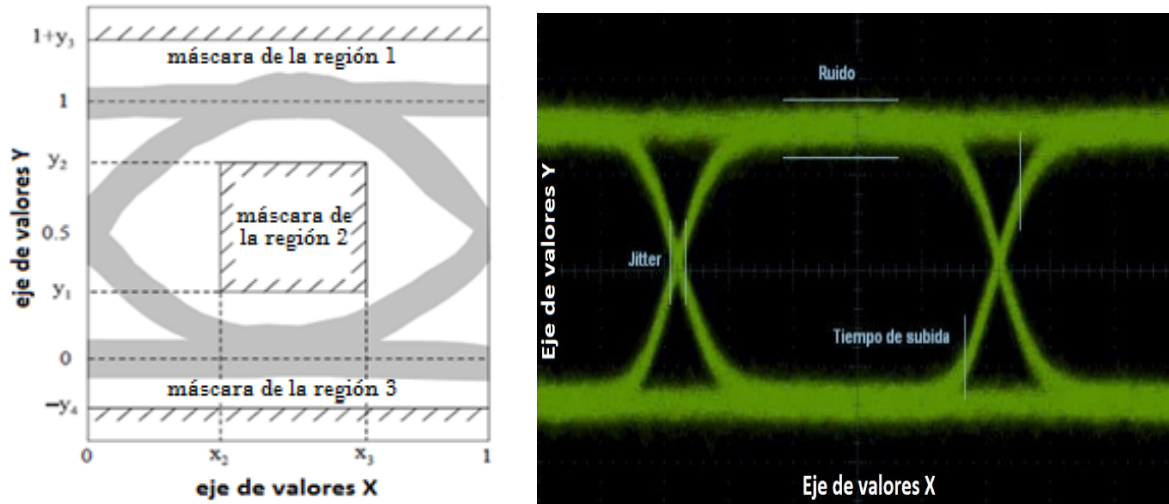


Figura 29. Diagrama del Ojo: a) Regiones [18] y b) Efectos de Jitter, ruido y niveles medios de las señales [8].

1.3.2 Factor de Calidad (Factor Q)

El factor Q se define como la Relación Señal a Ruido Eléctrica (ESNR, *Electrical Signal to Noise Ratio*) en la entrada de un circuito de decisión de un receptor de señal digital, muestra todas las degradaciones causadas por los defectos ópticos y eléctricos sobre un punto de la red óptica. Éste parámetro es útil cuando no se puede efectuar una medición de la BER [2], [12]. Según la recomendación de la ITU-T, una BER de 10^{-12} corresponde a un $Q \approx 7.03$ [43].

En condiciones ideales el factor Q está dado por los niveles lógicos μ_0 y μ_1 , y por la distribución del ruido Gaussiano en torno a los niveles “1” y “0”, definidos por las desviaciones típicas σ_1 y σ_0 , como se aprecia en las siguientes ecuaciones [26]:

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_0 + \sigma_1} \quad (22)$$

$$Q(\text{decibelios}) = 20 * \log_{10} Q(\text{lineal}) \quad (23)$$

En la figura 30 se puede visualizar la relación entre la función de densidad de probabilidad y el factor Q para darle más claridad a la ecuación (22).

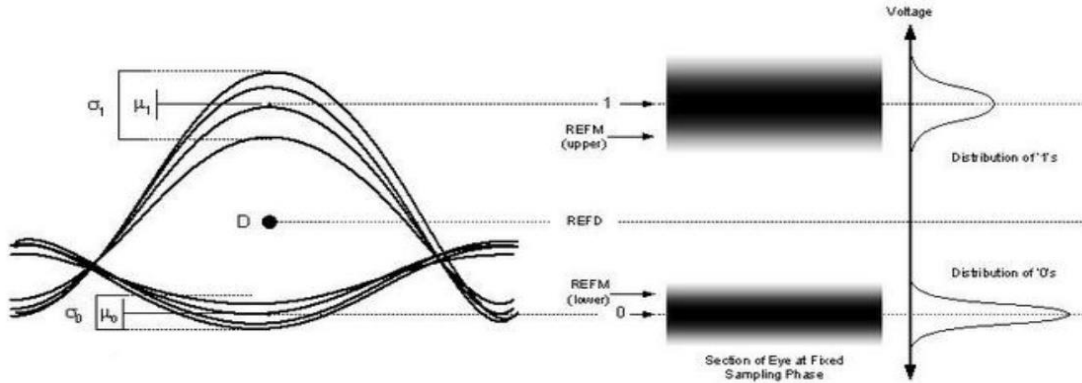


Figura 30. Relación entre la función de densidad de probabilidad y el factor Q [8].

1.3.3 Tasa de Error de Bit (BER)

La Tasa de Error de Bit (BER, *Bit Error Rate*) es el parámetro más usado en la gestión de fallas, por esta razón es considerado el parámetro más importante en las comunicaciones ópticas, representa la relación entre el número esperado de bits errados y los bits transmitidos medidos en recepción, de esta forma se obtiene como resultado el número de bits que se han transmitido erróneamente. La BER se aumenta por el ruido, la atenuación, la dispersión y los efectos no lineales, los cuales se pueden contrarrestar usando mayor potencia de transmisión, reduciendo las pérdidas de la fibra, empleando amplificadores ópticos y/o compensadores de dispersión en el sistema de comunicación [2], [8], [12], [26]. Según la ITU-T para los sistemas de comunicación en general, el valor usual de la BER es de 10^{-12} que significa un bit erróneo por cada mil millones de bits transmitidos [43].

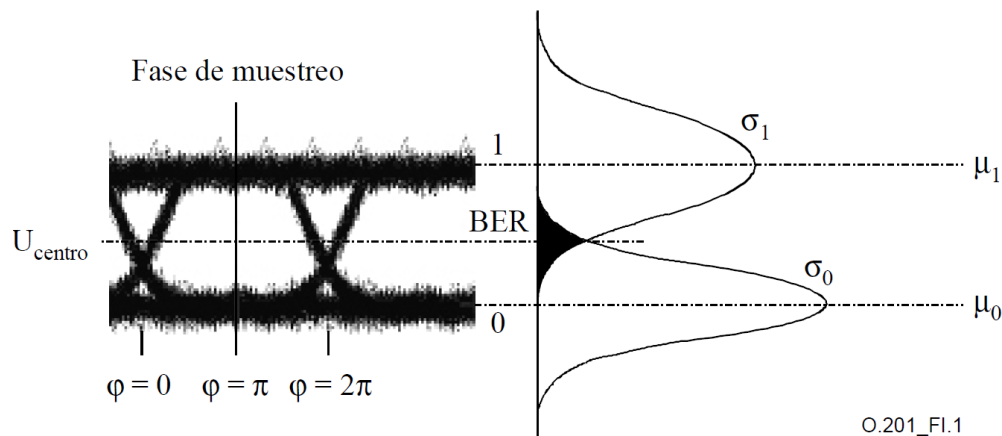


Figura 31. Relación entre la función de densidad de probabilidad y la BER [55].

Observando la figura 30 y 31, se puede notar que hay una relación entre el factor Q y la BER, por lo cual se puede llegar a la siguiente fórmula matemática:

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{Q}{\sqrt{2}} \right) \quad (24)$$

Donde $\text{erfc}(x)$ es la función complementaria de error (erfc , *Complementary Error Function*) representada de la siguiente manera:

$$\text{erf}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-\frac{\beta^2}{2}} d\beta \quad (25)$$

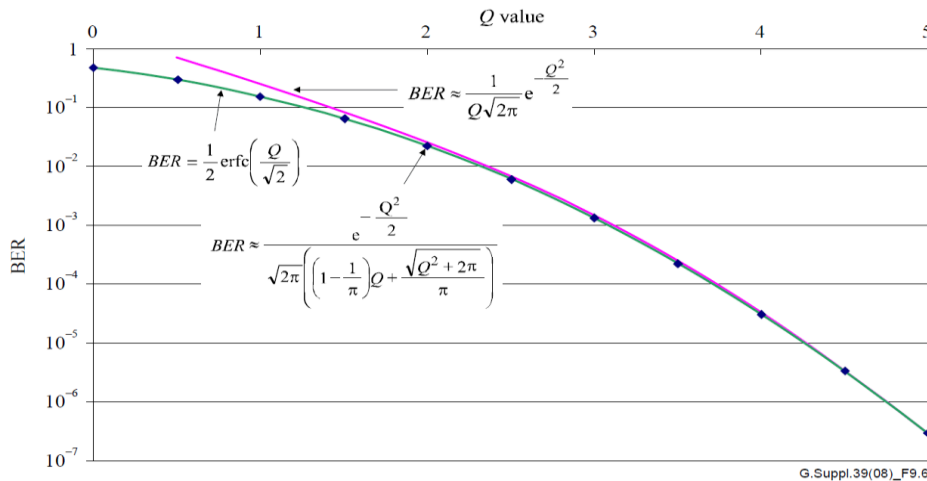
Donde β es el número de onda de propagación. Una aproximación comúnmente usada para esta función es [43]:

$$\text{BER} \approx \frac{1}{Q\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Q^2}{2}} \quad (26)$$

Una expresión alternativa que da respuestas precisas sobre todo el rango de Q se presenta a continuación:

$$\text{BER} \approx \frac{e^{-\frac{Q^2}{2}}}{\sqrt{2\pi} \left(\left(1 - \frac{1}{\pi}\right)Q + \frac{\sqrt{Q^2 + 2\pi}}{\pi} \right)} \quad (27)$$

Las expresiones (25), (26) y (27) se pueden visualizar en la figura 32 que representa la relación entre la BER y el factor Q . Para un $Q > 3$ aproximadamente se utiliza la última expresión, como se muestra en la gráfica.



1.3.4 Relación Señal a Ruido Óptico

La Relación Señal a Ruido Óptico (OSNR, *Optical Signal to Noise Ratio*) se define como la medida de la relación de la potencia de la señal (P_i) con respecto a la potencia de ruido promedio (N_i) en un canal óptico. La OSNR sugiere que tanto es degradada una señal óptica que es transportada dentro de un sistema debido a fenómenos como la atenuación o dispersión [26]. Los factores que afectan principalmente la OSNR son: Formato de modulación, velocidad de transmisión, potencia a la salida de los amplificadores, dispersión en la fibra óptica, ancho de banda y el espaciamiento entre canales [8]. La ecuación representativa de la OSNR (en dB) se muestra a continuación:

$$OSNR = 10\log \frac{P_i}{N_i} + 10\log \frac{B_m}{B_r} \quad (28)$$

Donde B_m es el ancho de banda y B_r es el ancho de banda óptico de referencia típicamente seleccionado para 0.1 nm. En la figura 33 se puede visualizar la relación entre la OSNR y la potencia de la señal de la expresión (28), es decir, hay una proporción directa entre estos dos parámetros.

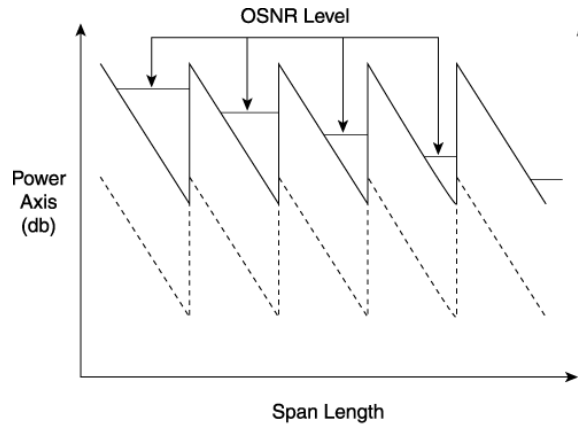


Figura 33. Niveles de OSNR para transmisiones WDM con múltiples etapas [26].

Un ejemplo específico de los factores que afectan la OSNR son las medidas realizadas por la misma en función del DGD para diferentes formatos de modulación (NRZ, ODB, DPSK, DPSK, RZ-DQPSK, OPFDM-DQPSK) en un sistema con velocidad de 43 Gbps y una BER de 10^{-4} , dicho ejemplo se puede apreciar en la figura 34.

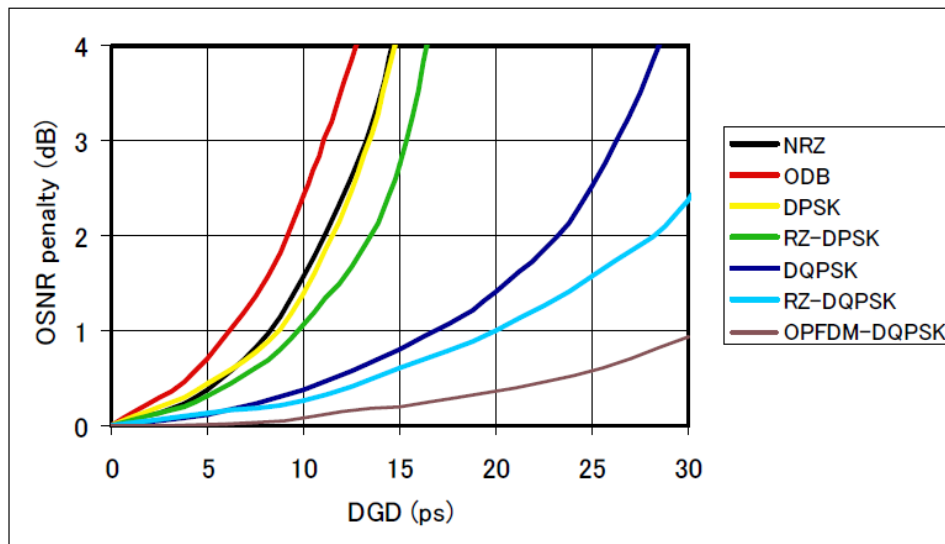


Figura 34. Relación OSNR Vs DGD para diferentes formatos de modulación [43].

Observando la figura anterior se puede deducir que para conseguir una mayor OSNR se recomiendan formatos de modulación de menor robustez o de menor complejidad.

En este trabajo de grado se emplea un sistema DWDM multicanal por lo cual es casi imposible la compensación de la OSNR, lo cual es debido a cada etapa de amplificación que involucra un incremento en los niveles de ruido con respecto a la potencia del canal dando como resultado una menor OSNR [43].

1.3.5 Jitter

Este parámetro corresponde básicamente a una desviación de fase respecto de la posición ideal en el tiempo de una señal digital que se propaga en un canal de transmisión.

El Jitter es un efecto completamente indeseable en cualquier sistema de comunicaciones, que puede degradar totalmente la calidad y desempeño del enlace, introduciendo una serie de problemas al canal por lo cual debe ser tratado adecuadamente. El Jitter puede causar errores en la recepción de bits (degradar la BER), puede producir Interferencia Intersimbólica (ISI, *Intersymbol Interference*) entre los pulsos que se propagan por el canal generando un desplazamiento de las señales que componen el pulso mezclando las mismas, de esta manera, imposibilita el reconocimiento de los niveles respectivos de la señal en el receptor [54].

En la siguiente figura se puede apreciar el efecto del parámetro, donde se muestra un diagrama de ojo completamente cerrado por el efecto del Jitter. El receptor se verá imposibilitado para recobrar el reloj de sincronismo en el receptor y para finalmente recibir la señal transmitida. En la figura 29 b) también se puede apreciar el efecto de dicho parámetro.

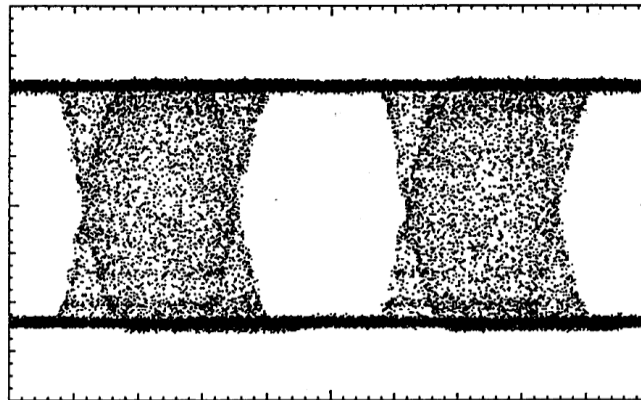


Figura 35. Jitter con 0.5 UI (Unit Interval), o en otras palabras, un desfase, de 0.5 veces el periodo de bit [54].

1.4 RELACIÓN ENTRE EFECTOS DEGRADANTES Y PARÁMETROS DE DESEMPEÑO ÓPTICO

En el transcurso de este capítulo se ha desarrollado una definición detallada de degradaciones ópticas, de los efectos no lineales y de los parámetros de monitoreo óptico, ahora se hace una relación de estos para concluir con que parámetros de monitoreo se miden las degradaciones.

1.4.1 Relación entre degradaciones ópticas y parámetros de monitoreo óptico

A continuación se muestran ciertos efectos de degradación y con qué parámetros de monitoreo óptico se pueden analizar (ver tabla 10).

Degradación Óptica	Parámetro de Monitoreo Óptico
Dispersión Cromática	Longitud de onda de cada canal
PMD	Ber, Factor Q
Diafonía	OSNR
Atenuación	Potencia por el canal DWDM

Tabla 10. Degradaciones y parámetros de monitoreo óptico (Rec. ITU-T G.697) [2].

La tabla anterior muestra el orden de causa-efecto de las degradaciones ópticas (a excepción de la diafonía) y el orden de prioridad de los parámetros de monitoreo óptico [2].

1.4.2 Caracterización de los efectos no lineales y sus parámetros de monitoreo óptico

En la siguiente tabla se muestra la caracterización y los parámetros de desempeño de los efectos no lineales.

Efecto no Lineal	Causa	Dependencia	Impacto	Medida	Minimización del impacto
SPM	Efecto Kerr: índice de refracción dependiente de la intensidad	<ul style="list-style-type: none"> * Longitud de onda de la señal. * Velocidad de transmisión. * Tipo de fibra (área efectiva, dispersión, coeficiente de índice no lineal). 	<ul style="list-style-type: none"> * Ensanchamiento del pulso. * Dispersión de amplitud. * Interferencia entre símbolos. 	<ul style="list-style-type: none"> * Diagrama del ojo. * BER. 	<ul style="list-style-type: none"> * Aumentando la longitud de onda de la señal. * Disminuyendo la tasa de transmisión. * Aumentando el área efectiva de la fibra. * Aumentando la dispersión de la fibra.
XPM	Efecto Kerr: índice de refracción dependiente de la intensidad	<ul style="list-style-type: none"> * Potencia del canal. * Espaciamiento entre canales. * Tipo de fibra (área efectiva, dispersión, coeficiente de índice no línea, longitud efectiva). 	<ul style="list-style-type: none"> * Cambio de amplitud. * Interferencia (ISI). 	<ul style="list-style-type: none"> * Diagrama del ojo. * BER. 	<ul style="list-style-type: none"> * Aumentando la separación de los canales. * Aumentando el área efectiva de la fibra. * Aumentando la dispersión de la fibra. * Aumentando la

		* Velocidad de símbolo.			velocidad de símbolo.
FWM	Interacción múltiple de fotones.	<ul style="list-style-type: none"> * Espaciamiento entre canales. * Potencia de la señal. * Número de canales. * Tipo de fibra (dispersión de la fibra, área efectiva de la fibra). 	<ul style="list-style-type: none"> * Generación de Componentes FWM que interfieren con la señal original y otras señales WDM. * Atenuación en la potencia de los canales existentes. 	<ul style="list-style-type: none"> * Espectro óptico. * BER. * OSNR. 	<ul style="list-style-type: none"> * Aumento de la dispersión cromática. * Modificar la separación espectral entre canales. * Disminuir la intensidad del haz de luz.

Tabla 11. Efectos no Lineales y su relación con los parámetros de transmisión [2].

ANEXO B. CÁLCULOS MATEMÁTICOS

1. Cálculo de los parámetros L_{ef} y A_{ef} de la fibra SSMF-28 Corning:

El coeficiente de atenuación de la fibra SSMF-28 es ≤ 0.235 dB/Km, convertido este valor a unidades lineales (1/Km) [56], [57]:

$$\alpha \left(\frac{dB}{Km} \right) = 4.343 \alpha \left(\frac{1}{Km} \right)$$

$$0.235 \left(\frac{1}{Km} \right) = 4.343 \alpha \left(\frac{1}{Km} \right)$$

$$\alpha = 0.0541 \left(\frac{1}{Km} \right)$$

Uno de los parámetros relacionado a este tipo de fibra es la longitud efectiva, el cual se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$L_{ef} = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{0.0541 \left(\frac{1}{Km} \right)} = 18,48 Km$$

El área efectiva esta definida por: $A_{ef}(\mu m^2) = \pi w_0^2$, donde w_0 es el radio del diámetro del campo modal (MFD), el cual se puede aproximar por el radio del núcleo de la fibra. La fibra SSMF-28 corning tiene un MFD=10.4 μm , con lo que se tiene el campo modal $w_0 = \frac{MFD}{2}$.

$$A_{ef}(\mu m^2) = \pi(5,2)^2$$

$$A_{ef} = 84,94 \mu m^2$$

2. Calculos realizados para obtener la máxima dispersión cromática acumulada, utilizando fibra compensadora de dispersión.

- Para un porcentaje de compensación del 50%, la dispersión acumulada por la fibra monomodo estándar SSMF-28 y la dispersión acumulada al sumarle la fibra compensadora de dispersión se muestran a continuación:

$$D_{link}(\lambda) = 157Km \left[18 \frac{Ps}{nm * Km} + 0.056 \frac{Ps}{nm^2 * Km} (1552.52nm - 1550nm) \right]$$

$$D_{link}(\lambda) = 2848.15584 \frac{Ps}{nm}$$

$$\Delta t_{total} = D_{link}(\lambda) + D_{DCF} * l_{DCF}$$

$$\Delta t_{total} = 2848.15584 \frac{Ps}{nm} + (-100 \frac{Ps}{nm * Km} \times 14.13Km)$$

$$\Delta t_{total} = 2848.15584 \frac{Ps}{nm} - 1413 \frac{Ps}{nm}$$

$$\Delta t_{total} = 1435.15584 \frac{Ps}{nm}$$

- Para un porcentaje de compensación del 75%, la dispersión acumulada por la fibra monomodo estándar SSMF-28 y la dispersión acumulada al sumarle la fibra compensadora de dispersión se muestran a continuación:

$$D_{link}(\lambda) = 174Km \left[18 \frac{Ps}{nm * Km} + 0.056 \frac{Ps}{nm^2 * Km} (1552.52nm - 1550nm) \right]$$

$$D_{link}(\lambda) = 3156.55488 \frac{Ps}{nm}$$

$$\Delta t_{total} = 3156.55488 \frac{Ps}{nm} + \left(-100 \frac{Ps}{nm * Km} \times 23.49Km \right)$$

$$\Delta t_{total} = 3156.55488 \frac{Ps}{nm} - 2349 \frac{Ps}{nm}$$

$$\Delta t_{total} = 807.55488 \frac{Ps}{nm}$$

- Para un porcentaje de compensación del 90%, la dispersión acumulada por la fibra monomodo estándar SSMF-28 y la dispersión acumulada al sumarle la fibra compensadora de dispersión se muestran a continuación:

$$D_{link}(\lambda) = 186Km \left[18 \frac{Ps}{nm * Km} + 0.056 \frac{Ps}{nm^2 * Km} (1552.52nm - 1550nm) \right]$$

$$D_{link}(\lambda) = 3374.24832 \frac{Ps}{nm}$$

$$\Delta t_{total} = 3374.24832 \frac{Ps}{nm} + \left(-100 \frac{Ps}{nm * Km} \times 30.132Km \right)$$

$$\Delta t_{total} = 3374.24832 \frac{Ps}{nm} - 3013.2 \frac{Ps}{nm}$$

$$\Delta t_{total} = 361.04832 \frac{Ps}{nm}$$

- Para un porcentaje de compensación del 50%, la dispersión acumulada por la fibra monomodo estándar SSMF-28 y la dispersión acumulada al sumarle la fibra compensadora de dispersión variado el coeficiente de dispersión de la DCF.

$$D_{link}(\lambda) = 157Km \left[18 \frac{Ps}{nm * Km} + 0.056 \frac{Ps}{nm^2 * Km} (1552.52nm - 1550nm) \right]$$

$$D_{link}(\lambda) = 2848.15584 \frac{Ps}{nm}$$

$$\Delta t_{total} = D_{link}(\lambda) + D_{DCF} * l_{DCF}$$

$$\Delta t_{total} = 2848.15584 \frac{Ps}{nm} + (-297 \frac{Ps}{nm * Km} * 4.75758 Km)$$

$$\Delta t_{total} = 2848.15584 \frac{Ps}{nm} - 1413.00126 \frac{Ps}{nm}$$

$$\Delta t_{total} = 1435.15458 \frac{Ps}{nm}$$

- Para un porcentaje de compensación del 75%, la dispersión acumulada por la fibra monomodo estándar SSMF-28 y la dispersión acumulada al sumarle la fibra compensadora de dispersión variado el coeficiente de dispersión de la DCF.

$$D_{link}(\lambda) = 174 Km \left[18 \frac{Ps}{nm * Km} + 0.056 \frac{Ps}{nm^2 * Km} (1552.52 nm - 1550 nm) \right]$$

$$D_{link}(\lambda) = 3156.55488 \frac{Ps}{nm}$$

$$\Delta t_{total} = 3156.55488 \frac{Ps}{nm} + (-217 \frac{Ps}{nm * Km} * 10.82488 Km)$$

$$\Delta t_{total} = 3156.55488 \frac{Ps}{nm} - 2348.99890 \frac{Ps}{nm}$$

$$\Delta t_{total} = 807.55598 \frac{Ps}{nm}$$

- Para un porcentaje de compensación del 90%, la dispersión acumulada por la fibra monomodo estándar SSMF-28 y la dispersión acumulada al sumarle la fibra compensadora de dispersión variado el coeficiente de dispersión de la DCF.

$$D_{link}(\lambda) = 186 Km \left[18 \frac{Ps}{nm * Km} + 0.056 \frac{Ps}{nm^2 * Km} (1552.52 nm - 1550 nm) \right]$$

$$D_{link}(\lambda) = 3374.24832 \frac{Ps}{nm}$$

$$\Delta t_{total} = 3374.24832 \frac{Ps}{nm} + (-333 \frac{Ps}{nm * Km} * 9.04865 Km)$$

$$\Delta t_{total} = 3374.24832 \frac{Ps}{nm} - 3013.20045 \frac{Ps}{nm}$$

$$\Delta t_{total} = 361.04787 \frac{Ps}{nm}$$

3. Cálculos realizados para obtener la máxima dispersión cromática acumulada, utilizando fibra compensadora de dispersión.

- Para un porcentaje de compensación del 50%, la dispersión acumulada por la fibra monomodo estándar SSMF-28 y la dispersión acumulada al sumarle la fibra compensadora de dispersión se muestran a continuación:

$$D_{link}(\lambda) = 454Km \left[18 \frac{Ps}{nm * Km} + 0.056 \frac{Ps}{nm^2 * Km} (1552.52nm - 1550nm) \right]$$

$$D_{link}(\lambda) = 8236.06848 \frac{Ps}{nm}$$

$$\Delta t_{total} = D_{link}(\lambda) + D_{DCF} * l_{DCF}$$

$$\Delta t_{total} = 8236.06848 \frac{Ps}{nm} + \left(-100 \frac{Ps}{nm * Km} \times 40.86Km \right)$$

$$\Delta t_{total} = 8236.06848 \frac{Ps}{nm} - 4086 \frac{Ps}{nm}$$

$$\Delta t_{total} = 4150.06848 \frac{Ps}{nm}$$

- Para un porcentaje de compensación del 75%, la dispersión acumulada por la fibra monomodo estándar SSMF-28 y la dispersión acumulada al sumarle la fibra compensadora de dispersión se muestran a continuación:

$$D_{link}(\lambda) = 930Km \left[18 \frac{Ps}{nm * Km} + 0.056 \frac{Ps}{nm^2 * Km} (1552.52nm - 1550nm) \right]$$

$$D_{link}(\lambda) = 16871.2416 \frac{Ps}{nm}$$

$$\Delta t_{total} = 16871.2416 \frac{Ps}{nm} + \left(-100 \frac{Ps}{nm * Km} \times 125.55Km \right)$$

$$\Delta t_{total} = 16871.2416 \frac{Ps}{nm} - 12555 \frac{Ps}{nm}$$

$$\Delta t_{total} = 4316.2416 \frac{Ps}{nm}$$

- Para un porcentaje de compensación del 50%, la dispersión acumulada por la fibra monomodo estándar SSMF-28 y la dispersión acumulada al sumarle la fibra compensadora de dispersión variado el coeficiente de dispersión de la DCF.

$$D_{link}(\lambda) = 454Km \left[18 \frac{Ps}{nm * Km} + 0.056 \frac{Ps}{nm^2 * Km} (1552.52nm - 1550nm) \right]$$

$$D_{link}(\lambda) = 8236.06848 \frac{Ps}{nm}$$

$$\Delta t_{total} = D_{link}(\lambda) + D_{DCF} * l_{DCF}$$

$$\Delta t_{total} = 8236.06848 \frac{Ps}{nm} + (-333 \frac{Ps}{nm * Km} * 12.27027Km)$$

$$\Delta t_{total} = 8236.06848 \frac{Ps}{nm} - 4085.99991 \frac{Ps}{nm}$$

$$\Delta t_{total} = 4150.06857 \frac{Ps}{nm}$$

- Para un porcentaje de compensación del 75%, la dispersión acumulada por la fibra monomodo estándar SSMF-28 y la dispersión acumulada al sumarle la fibra compensadora de dispersión variado el coeficiente de dispersión de la DCF.

$$D_{link}(\lambda) = 930Km \left[18 \frac{Ps}{nm * Km} + 0.056 \frac{Ps}{nm^2 * Km} (1552.52nm - 1550nm) \right]$$

$$D_{link}(\lambda) = 16871.2416 \frac{Ps}{nm}$$

$$\Delta t_{total} = 16871.2416 \frac{Ps}{nm} + (-333 \frac{Ps}{nm * Km} * 37.7027Km)$$

$$\Delta t_{total} = 16871.2416 \frac{Ps}{nm} - 12554.9991 \frac{Ps}{nm}$$

$$\Delta t_{total} = 4316.2425 \frac{Ps}{nm}$$

**ANEXO C. RESULTADOS DE SIMULACIÓN PARA LA CONFIGURACIÓN 1.1 (NRZ-
OOK A VELOCIDAD DE TRASMISIÓN DE 10 Gbps)**

Potencia de transmisión (dB)	Canal (Thz)	Distancia (Km)	BER	Q (dB)	Potencia de recepción (dBm)
0	193.1	0	1e-40	33.383162	-6.038
0	193.1	15	1e-40	30.956597	-8.896
0	193.1	35	1e-40	29.739231	-12.637
0	193.1	65	1e-40	24.632148	-18.295
0	193.1	75	1.47888e-28	20.925423	-20.161
0	193.1	85	7.68766e-17	18.523196	-22.014
0	193.1	89	9.06743e-13	17.194155	-22.753
0	193.1	95	3.41354e-10	15.807822	-23.988
0	193.1	105	4.42408e-06	13.027638	-25.792
0	193.1	125	0.00927997	7.436682	-29.531
0	193.1	130	0.016281	6.631478	-30.470
0	193.1	140	0.0227501	6.020600	-32.354

Tabla 12. Máxima distancia alcanzada por un driver rectangular, modulación NRZ-OOK con transmisión de 10Gbps.

Potencia de transmisión (dBm)	Porcentaje de compensación (%)	Longitud SSMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Potencia de recepción (dBm)	BER	Factor Q (dB)
3	100	95	17.1	-30.222	1.06674e-12	17.04487
3	75	95	12.825	-27.855	6.62902e-22	19.81714
3	50	95	8.55	-25.323	1.17806e-23	19.98365
3	25	95	4.275	-23.116	2.0148e-20	19.33474
5	100	95	17.1	-28.222	1.6587e-28	20.92829
5	75	95	12.825	-25.856	4.48422e-35	21.93125
5	50	95	8.55	-23.324	2.27343e-26	20.54662
5	25	95	4.275	-21.119	9.65227e-21	19.34289
6	100	95	17.1	-27.221	1e-40	22.94945
6	75	95	12.825	-24.855	1e-40	24.08297

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

6	50	95	8.55	-22.322	1.90612e-30	21.15129
6	25	95	4.275	-20.114	3.35063e-21	19.67672
9	100	95	17.1	-24.222	1e-40	27.94105
9	75	95	12.825	-21.856	1e-40	26.93088
9	50	95	8.55	-19.323	1.76934e-30	21.30259
9	25	95	4.275	-17.117	3.35209e-20	19.31450
10	100	95	17.1	-23.212	1e-40	29.62589
10	75	95	12.825	-20.784	1e-40	27.17923
10	50	95	8.55	-18.490	1.31943e-29	21.22756
10	25	95	4.275	-16.207	1.2894e-20	19.33492
12	100	95	17.1	-21.213	1e-40	30.56017
12	75	95	12.825	-18.784	1e-40	27.77648
12	50	95	8.55	-16.491	7.75883e-29	21.10714
12	25	95	4.275	-14.207	1.50314e-19	19.11441
15	100	95	17.1	-18.217	1e-40	25.88048
15	75	95	12.825	-15.787	1e-40	29.17645
15	50	95	8.55	-13.494	7.13703e-26	20.44693
15	25	95	4.275	-11.211	7.74328e-18	18.65805

Tabla 13. Comportamiento de la DCF al variar la potencia de transmisión, con post-compensación, canal 193.1Thz

Potencia de transmisión (dBm)	Porcentaje de compensación (%)	Longitud SSMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Potencia de Recepción (dBm)	BER	Factor Q (dB)
3	100	95	17.1	-30.211	1.72518e-12	17.09156
3	75	95	12.825	-27.780	3.79077e-26	20.66390
3	50	95	8.55	-25.487	7.61127e-31	21.19976
3	25	95	4.275	-23.209	5.1747e-20	19.25975

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

5	100	95	17.1	-28.210	4.258e-24	20.24884
5	75	95	12.825	-25.783	3.77513e-38	22.23559
5	50	95	8.55	-23.491	1.48316e-30	21.15671
5	25	95	4.275	-21.206	1.65076e-20	19.35996
6	100	95	17.1	-27.210	1e-40	23.20574
6	75	95	12.825	-24.778	1e-40	24.53025
6	50	95	8.55	-22.485	1.63952e-29	21.00899
6	25	95	4.275	-20.206	8.67182e-21	19.35551
9	100	95	17.1	-24.211	1e-40	27.16034
9	75	95	12.825	-21.784	1e-40	24.53491
9	50	95	8.55	-19.489	4.38563e-28	20.79862
9	25	95	4.275	-17.208	3.28603e-19	19.07519
10	100	95	17.1	-23.210	1e-40	27.25424
10	75	95	12.825	-20.789	1e-40	23.98185
10	50	95	8.55	-18.490	7.46989e-28	20.73391
10	25	95	4.275	-16.206	8.28696e-19	19.06620
12	100	95	17.1	-21.207	1e-40	27.52766
12	75	95	12.825	-18.777	1e-40	23.40324
12	50	95	8.55	-16.490	1.72822e-24	20.32761
12	25	95	4.275	-14.114	2.46229e-19	19.00095
15	100	95	17.1	-18.209	1e-40	24.48765
15	75	95	12.825	-15.866	1.82777e-29	21.03096
15	50	95	8.55	-14.657	2.82747e-21	19.44904
15	25	95	4.275	-11.209	7.64318e-18	17.56704

Tabla 14. Comportamiento de la DCF al variar la potencia de trasmisión, con pre-compensación, canal 193.1Thz.

Potencia de trasmisión (dBm)	Porcentaje de compensación (%)	Longitud SMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Q (dB)	BER	Potencia de recepción (dBm)
3	50	95	8.55	19.95662	1.72739e-22	-25.489
3	75	95	12.825	20.46509	6.10744e-25	-27.783
3	100	95	17.1	16.01210	2.45274e-10	-No detectado
4	50	95	8.55	20.55405	9.05617e-27	-24.489
4	75	95	12.825	21.85097	3.02469e-35	-26.783
4	100	95	17.1	17.46848	5.18831e-14	-29.211
5	50	95	8.55	20.57331	1.49418e-25	-23.485
5	75	95	12.825	22.86040	1e-40	-25.782
5	100	95	17.1	20.24336	4.41263e-25	-28.211
6	50	95	8.55	21.43454	9.50183e-31	-22.488
6	75	95	12.825	24.31309	1e-40	-24.779
6	100	95	17.1	21.83779	7.24787e-35	-27.210

Tabla 15. Comportamiento del sistema DWDM con DCF, al aumentar la potencia de todos los canales, longitud SSMF-28 95 Km, canal de Transmisión 193.1 Thz.

Potencia de trasmisión (dBm)	Porcentaje de compensación (%)	Longitud SMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Q (dB)	BER	Potencia de recepción (dBm)
3	50	96	8.64	19.89099	2.80246e-23	-25.716
3	75	96	12.96	19.40371	1.13859e-20	-28.049
3	100	96	17.28	15.78346	4.44921e-10	-30.500
4	50	96	8.64	20.11231	5.11228e-28	-24.720
4	75	96	12.96	20.70643	8.35177e-27	-27.051
4	100	96	17.28	17.37552	2.70326e-13	-29.501
5	50	96	8.64	20.75847	9.04486e-27	-23.718
5	75	96	12.96	21.86527	2.57593e-35	-26.051
5	100	96	17.28	18.85426	9.615e-19	-28.503
6	50	96	8.64	20.99028	1.73404e-29	-22.715
6	75	96	12.96	23.65389	1e-40	-25.051
6	100	96	17.28	21.45218	3.97242e-31	-27.502

Tabla 16. Comportamiento del sistema DWDM con DCF, al aumentar la potencia de todos los canales, longitud SSMF-28 96 Km, canal de Transmisión 193.1 Thz.

Potencia	Porcentaje de	Longitud	Longitud	Q (dB)	BER	Potencia
----------	---------------	----------	----------	--------	-----	----------

de transmisión (dBm)	compensación (%)	SMF-28 (Km)	DCF (Km)			de recepción (dBm)
3	50	97	8.73	19.75605	9.73077e-22	-25.979
3	75	97	13.095	18.65182	9.35341e-18	-28.290
3	100	97	17.46	15.34220	2.44655e-9	-30.817
4	50	97	8.73	20.58833	2.00426e-26	-24.976
4	75	97	13.095	21.20630	4.55024e-30	-27.287
4	100	97	17.46	16.82539	4.37077e-12	-29.816
5	50	97	8.73	21.16632	1.3798e-30	-23.982
5	75	97	13.095	22.37114	1.26742e-39	-26.289
5	100	97	17.46	18.56542	1.90144e-17	-28.816
6	50	97	8.73	21.19404	8.49706e-31	-22.976
6	75	97	13.095	23.06758	1e-40	-25.287
6	100	97	17.46	21.07465	8.67529e-29	-27.816

Tabla 17. Comportamiento del sistema DWDM con DCF, al aumentar la potencia de todos los canales, longitud SSMF-28 97 Km, canal de Transmisión 193.1 Thz.

Potencia de transmisión (dBm)	Porcentaje de compensación (%)	Longitud SMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Q (dB)	BER	Potencia de recepción (dBm)
3	50	98	8.82	19.37953	6.26555e-20	-26.194
3	75	98	13.23	18.99554	3.21849e-19	-28.572
3	100	98	17.64	14.39382	8.11236e-8	-31.075
4	50	98	8.82	20.32209	1.56814e-14	-25.196
4	75	98	13.23	20.30486	4.94591e-24	-27.573
4	100	98	17.64	16.31793	4.02716e-11	-30.076
5	50	98	8.82	20.93203	1.47103e-27	-24.190
5	75	98	13.23	22.10342	8.88026e-37	-26.571
5	100	98	17.64	18.39510	9.71477e-17	-29.075
6	50	98	8.82	20.97068	4.41291e-29	-23.198
6	75	98	13.23	22.89743	1e-40	-25.572
6	100	98	17.64	20.29555	2.24612e-24	-28.076

Tabla 18. Comportamiento del sistema DWDM con DCF, al aumentar la potencia de todos los canales, longitud SSMF-28 98 Km, canal de Transmisión 193.1 Thz.

Potencia de	Porcentaje de compensación	Longitud SMF-28	Longitud DCF	Q (dB)	BER	Potencia de
-------------	----------------------------	-----------------	--------------	--------	-----	-------------

trasmisión (dBm)	(%)	(Km)	(Km)			recepción (dBm)
3	50	99	8.91	19.83011	3.45184e-22	-26.410
3	75	99	13.365	18.53159	4.84263e-17	-28.812
3	100	99	17.82	14.15574	2.41894e-7	-31.360
4	50	99	8.91	19.91494	5.82395e-23	-25.409
4	75	99	13.365	19.80435	1.6028e-22	-27.811
4	100	99	17.82	16.10301	1.23818e-10	-30.359
5	50	99	8.91	20.73777	1.88743e-27	-24.412
5	75	99	13.365	21.68174	5.53011e-33	-26.813
5	100	99	17.82	18.14702	8.66655e-16	-29.362
6	50	99	8.91	20.87078	9.84904e-29	-23.409
6	75	99	13.365	23.54682	1e-40	-25.814
6	100	99	17.82	20.10675	2.27879e-24	-28.361

Tabla 19. Comportamiento del sistema DWDM con DCF, al aumentar la potencia de todos los canales, longitud SSMF-28 99 Km, canal de Transmisión 193.1 Thz.

Potencia de trasmisión (dBm)	Porcentaje de compensación (%)	Longitud SMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Q (dB)	BER	Potencia de recepción (dBm)
3	50	100	9	19.80778	2.68728e-22	-26.626
3	75	100	13.5	18.32121	6.63372e-16	-29.100
3	100	100	18	13.16003	3.83614e-6	-31.677
4	50	100	9	20.12726	3.8115e-24	-25.625
4	75	100	13.5	19.48598	1.94252e-20	-28.099
4	100	100	18	15.59054	9.73354e-10	-30.675
5	50	100	9	20.63149	1.85911e-26	-24.628
5	75	100	13.5	21.54394	9.97837e-32	-27.099
5	100	100	18	17.12816	3.59647e-13	-29.676
6	50	100	9	20.98215	1.43433e-28	-23.628
6	75	100	13.5	22.82755	1e-40	-26.100
6	100	100	18	19.16240	4.75636e-19	-28.677

Tabla 20. Comportamiento del sistema DWDM con DCF, al aumentar la potencia de todos los canales, longitud SSMF-28 100 Km, canal de Transmisión 193.1 Thz.

Potencia de trasmisión (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Compensación (%)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR out (dB)	Factor Q (dB)	BER	Potencia de recepción (dBm)
0		95		75	0	35	29.006185	14.83106	8.31432e-8	-30.866

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

	29.306621		12.825								
0	29.306621	95			75	2	35	28.982262	18.66892	1.03688e-17	-28.866
0	29.306621	95			75	4	35	28.967630	21.70469	8.9298e-33	-26.866
0	29.306621	95			75	6	35	29.000471	25.32263	1e-40	-24.868
0	29.306621	95			75	8	35	29.017906	25.87776	1e-40	-22.867
0	29.306621	95	8.55	50	0	35	29.018443	17.05461	9.98439e-13	-28.573	
0	29.306621	95			50	2	35	29.016251	19.73495	1.46167e-22	-26.575
0	29.306621	95			50	4	35	28.997277	21.12051	2.46483e-30	-24.571
0	29.306621	95			50	6	35	28.994930	21.13101	1.21027e-29	-22.570
0	29.306621	95			50	8	35	28.998832	21.32552	1.04604e-31	-20.574
3	29.306621	102	13.77	75	0	35	29.458412	10.810183	0.00027956	-32.666	
3	29.306621	102			75	2	35	29.463386	15.473074	1.42531e-09	-30.667
3	29.306621	102			75	4	35	29.490892	18.638491	6.24133e-18	-28.668
3	29.306621	102			75	6	35	29.486533	21.944039	3.62681e-36	-26.667
3	29.306621	102			75	8	35	29.559121	23.575656	1e-40	-24.667
3	29.306621	108	9.72	50	0	35	29.909696	12.440148	1.49764e-05	-31.657	
3	29.306621	108			50	2	35	29.919254	16.043738	1.97346e-10	-29.657
3	29.306621	108			50	4	35	29.906762	17.786430	5.89126e-15	-27.658
3	29.306621	108			50	6	35	29.899681	19.914341	7.68215e-23	-25.660
3	29.306621	108			50	8	35	29.908886	19.819477	7.78149e-23	-23.657
4	29.306621	106	19.08	75	0	35	28.448192	8.72312	0.00321574	-33.688	
4	29.306621	106			75	2	35	28.441541	13.56806	1.04642e-6	-31.689
4	29.306621	106			75	4	35	28.453907	16.79729	4.99047e-12	-29.688
4	29.306621	106			75	6	35	28.438289	20.14883	4.85159e-24	-27.691
4	29.306621	106			75	8	35	28.461026	23.10346	1e-40	-25.689
4	29.306621	111	19.98	50	0	35	29.137462	12.06038	3.27244e-5	-32.364	
4	29.306621	111			50	2	35	29.134934	15.05820	1.009e-8	-30.365
4	29.306621	111			50	4	35	29.148635	17.46441	1.71631e-13	-28.365
4	29.306621	111			50	6	35	29.157634	19.34818	2.37607e-20	-26.362
4	29.306621	111			50	8	35	No Detectado			
5	29.306621	109	14.715	75	0	35	29.410816	7.833466	0.00688991	-34.489	
5	29.306621	109			75	2	35	29.415798	12.352997	1.70761e-05	-32.490
5	29.306621	109			75	4	35	29.408253	15.251480	3.82416e-09	-30.490
5	29.306621	109			75	6	35	29.427759	19.332630	3.59672e-20	-28.491
5	29.306621	109			75	8	35	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado
5	29.306621	117	10.53	50	0	35	29.643938	8.206781	0.00532017	-33.820	
5	29.306621	117			50	2	35	29.656992	12.570308	1.08335e-05	-31.820
5	29.306621	117			50	4	35	29.653412	15.972189	1.75186e-10	-29.824
5	29.306621	117			50	6	35	29.653467	18.490589	2.64764e-17	-27.820
5	29.306621	117			50	8	35	29.676316	19.627813	4.90029e-22	-25.821
6	29.306621	114	15.39	75	0	35	28.386939	6.02060	0.0227501	-35.772	
6	29.306621	114			75	2	35	28.398319	8.51994	0.00384362	-33.773
6	29.306621	114			75	4	35	28.410076	13.11846	3.14427e-6	-31.775
6	29.306621	114			75	6	35	28.414630	16.90846	1.24102e-12	-29.775
6	29.306621	114			75	8	35	28.454974	19.92859	1.72957e-23	-27.774
6	29.306621	119	10.71	50	0	35	29.382808	8.00164	0.00610183	-34.279	
6	29.306621	119			50	2	35	29.392051	11.01164	0.000190534	-32.280
6	29.306621	119			50	4	35	29.406751	15.05097	1.20965e-8	-30.279
6	29.306621	119			50	6	35	29.418193	18.38088	1.78981e-16	-28.282
6	29.306621	119			50	8	35	No Detectado			

Tabla 21. Amplificación Booster, para el segmento de red con DCF, canal de transmisión 193.1Thz.

Potencia de transmisión (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Compensación (%)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR out (dB)	Factor Q (dB)	BER	Potencia de recepción (dBm)
0	29.306621	95	12.825	75	0	35	27.677329	26.24408	1e-40	-13.021
0	29.306621	95		75	2	35	27.843519	27.26282	1e-40	-11.036
0	29.306621	95		75	4	35	27.219673	26.84141	1e-40	-9.036
0	29.306621	95		75	6	35	27.286664	27.68053	1e-40	-7.039
0	29.306621	95		75	8	35	27.265717	27.52345	1e-40	-5.041
0	29.306621	95	8.55	50	0	35	27.806282	21.60609	3.60834e-33	-10.754
0	29.306621	95		50	2	35	27.637643	22.04872	2.53372e-36	-8.749
0	29.306621	95		50	4	35	27.243481	21.66171	4.0708e-33	-6.751
0	29.306621	95		50	6	35	27.671749	22.15918	2.15174e-37	-4.747
0	29.306621	95		50	8	35	27.571501	22.04681	4.15812e-36	-2.743
3	29.306621	102	13.77	75	0	35	28.528813	26.314751	1e-40	-13.489
3	29.306621	102		75	2	35	28.304572	26.371538	1e-40	-11.480
3	29.306621	102		75	4	35	28.154062	26.325909	1e-40	-9.480
3	29.306621	102		75	6	35	28.439178	27.091049	1e-40	-7.490
3	29.306621	102		75	8	35	28.403431	27.097286	1e-40	-5.494
3	29.306621	108	9.72	50	0	35	28.370278	20.524334	1.04058e-25	-11.371
3	29.306621	108		50	2	35	28.418109	20.701476	4.5516e-27	-9.363
3	29.306621	108		50	4	35	28.158186	21.710851	1.87523e-33	-7.370
3	29.306621	108		50	6	35	28.594044	21.169016	3.39011e-30	-5.358
3	29.306621	108		50	8	35	28.258903	21.403169	3.38874e-32	-3.362
4	29.306621	106	14.31	75	0	35	27.401844	25.96410	1e-40	-13.755
4	29.306621	106		75	2	35	27.480235	26.74187	1e-40	-11.757
4	29.306621	106		75	4	35	27.322567	27.06409	1e-40	-9.763
4	29.306621	106		75	6	35	27.557238	26.63136	1e-40	-7.750
4	29.306621	106		75	8	35	27.731346	27.88857	1e-40	-5.750
4	29.306621	111	9.99	50	0	35	28.054619	20.37455	6.60448e-25	-11.497
4	29.306621	111		50	2	35	27.569793	20.78210	3.46323e-28	-9.491
4	29.306621	111		50	4	35	27.882220	20.56028	1.95954e-26	-7.486
4	29.306621	111		50	6	35	27.781946	20.76127	2.19533e-27	-5.504
4	29.306621	111		50	8	35	27.687782	21.87678	1.28482e-34	-3.507
5	29.306621	109	14.715	75	0	35	28.381912	25.541442	1e-40	-13.975
5	29.306621	109		75	2	35	28.522983	26.184270	1e-40	-11.974
5	29.306621	109		75	4	35	28.100912	25.808236	1e-40	-9.973
5	29.306621	109		75	6	35	28.304556	26.401709	1e-40	-7.979
5	29.306621	109		75	8	35	28.371944	26.779901	1e-40	-5.981
5	29.306621	117	10.53	50	0	35	28.455037	20.764247	1.76036e-27	-11.831

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

5	29.306621	117		50	2	35	27.730857	20.247906	3.36347e-24	-9.820
5	29.306621	117		50	4	35	28.153108	20.042622	6.04094e-24	-7.821
5	29.306621	117		50	6	35	28.328887	20.632728	5.20558e-26	-5.809
5	29.306621	117		50	8	35	28.317488	21.003789	3.97863e-28	-3.823
6	29.306621	114	15.39	75	0	35	27.625224	25.25976	1e-40	-14.313
6	29.306621	114		75	2	35	27.650769	26.00111	1e-40	-12.310
6	29.306621	114		75	4	35	27.562790	25.90780	1e-40	-10.320
6	29.306621	114		75	6	35	28.087360	25.65957	1e-40	-8.322
6	29.306621	114		75	8	35	27.655103	26.88869	1e-40	-6.317
6	29.306621	119	10.71	50	0	35	27.381913	20.29810	28.373388	-11.887
6	29.306621	119		50	2	35	27.544356	20.38073	28.292577	-9.890
6	29.306621	119		50	4	35	27.567845	20.51033	28.191595	-7.880
6	29.306621	119		50	6	35	28.223406	21.40370	28.144498	-5.888
6	29.306621	119		50	8	35	27.654572	20.94245	28.239487	-3.904

Tabla 22. Amplificación Inline, para el segmento de red con DCF, canal de Transmisión 193.1 Thz.

Potencia Trx (dBm)	Longitud SSMF-28 (Km)	DCF (%)	Potencia EDFA (dBm)	Factor Q (dB) Booster	BER Booster	Potencia Rx (dBm) Booster	Factor Q (dB) Inline	BER Inline	Potencia Rx (dBm), Inline
0	95	75	4	21.70469	8.9298e-33	-26.866	26.84141	1e-40	-9.036
	95	50		21.12051	2.46483e-30	-24.571	21.66171	4.0708e-33	-6.751
3	102	75		18.638491	6.24133e-18	-28.668	26.325909	1e-40	-9.480
	108	50		17.786430	5.89126e-15	-27.658	21.710851	1.87523e-33	-7.370
4	106	75		16.79729	4.99047e-12	-29.688	27.06409	1e-40	-9.763
	111	50		17.46441	1.71631e-13	-28.365	20.56028	1.95954e-26	-7.486
5	109	75		15.251480	3.82416e-09	-30.490	25.808236	1e-40	-9.973
	117	50		15.972189	1.75186e-10	-29.824	20.042622	6.04094e-24	-7.821
6	114	75		13.11846	3.14427e-6	-31.775	25.90780	1e-40	-10.320
	119	50		15.05097	1.20965e-8	-30.279	20.51033	28.191595	-7.880

Resumen tabla 21 y tabla 22, Amplificación BOOSTER versus amplificación INLINE, para el segmento de red con DCF, canal de Transmisión 193.1 Thz.

Potencia de transmisión (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Compensación (%)	Máximo alcance (Km)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out	Factor Q (dB)	BER	Potencia de recepción (dBm)
5	29.306621	144	19.44	75	163.44	6	35	25.381786	22.725993	1e-40	-10.789
5	29.306621	145	12.96	50	157.96	6	35	24.859689	18.041030	1.69546e-15	-7.407
4	29.306621	165	22.275	75	187.275	6	35	22.340869	19.405782	4.22918e-21	-12.869
4	29.306621	159	14.31	50	173.31	6	35	23.706811	17.030034	7.75735e-13	-8.455
3	29.306621	173	23.355	75	196.355	6	35	20.591203	17.973202	9.46403e-16	-14.042

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

3	29.306621	153	13.77	50	166.77	6	35	24.2623 16	17.12514 7	9.39823 e-13	-8.143
---	-----------	-----	-------	----	--------	---	----	---------------	---------------	-----------------	--------

Tabla 23. Máximas distancias obtenidas con una potencia de EDFA de 3 dBm, canal de Transmisión 193.1 Thz.

Potencia de transmisión (dBm)	OSNR In (dB)	Porcentaje de Compensación (%)	Longitud SMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Potencia a EDFA (dBm)	Ganancia a EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q (dB)	BER	Potencia de recepción (dBm)
5	29.306621	50	150	13.5	4	10	25.931777	17.04277	1.32068e-12	-26.585
	29.306621	75	144	19.44	4	10	25.609242	17.04860	8.79423e-13	-28.604

Tabla 24. Distancias máximas que se alcanza con EDFA, compensando al 75% y 50%, canal de Transmisión 193.1 Thz.

Ptx (dBm)	Área Efectiva (μm^2)	OSNR In (dB)	Porcentaje de Compensación (%)	Longitud SMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q (dB)	BER	Prx (dBm)
5	18	29.306621	50	150	13.5	4	10	25.931699	17.04303	1.32101e-12	-26.585
		29.306621	75	144	19.44	4	10	25.609213	17.04910	8.80282e-13	-28.604
	21	29.306621	50	150	13.5	4	10	25.931810	17.04266	1.32054e-12	-26.585
		29.306621	75	144	19.44	4	10	25.609254	17.04839	8.79059e-13	-28.604

Tabla 25. Distancia máxima que se alcanza al variar el área efectiva de la DCF.

Ptx (dBm)	Área Efectiva (μm^2)	OSNR In (dB)	Porcentaje de Compensación (%)	Longitud SMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q (dB)	BER	Prx (dBm)
5	8	29.306621	50	150	13.5	4	10	25.930723	17.04604	1.32546e-12	-27.168837
	10	29.306621						25.931077	17.04499	1.32379e-12	-27.168602
	12	29.306621						25.931311	17.04427	1.32271e-12	-27.168446
	14	29.306621						25.931478	17.04375	1.32197e-12	-27.168334
	16	29.306621						25.931602	17.04334	1.32143e-12	-27.168251

Tabla 26. Parámetros objetivo al variar el área efectiva de la DCF entre (8-16 μm^2).

Ptx (dBm)	Área Efectiva (μm^2)	OSNR In (dB)	Porcentaje de Compensación (%)	Longitud SMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q (dB)	BER	Prx (dBm)
-----------	-----------------------------------	--------------	--------------------------------	----------------------	-------------------	---------------------	--------------------	---------------	--------	-----	-----------

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

5	23	29.306621	50	150	13.5	4	10	25.931867	17.04247	1.3203e-12	-27.168074
	26	29.306621						25.931937	17.04224	1.32001e-12	-27.168027
	29	29.306621						25.931992	17.04205	1.31978e-12	-27.931992
	32	29.306621						25.932037	17.04190	1.3196e-12	-27.167960
	34	29.306621						25.932062	17.04181	1.3195e-12	-27.167943

Tabla 27. Parámetros objetivo al variar el área efectiva de la DCF entre (23-34 μm^2).

Ptx (dBm)	Área Efectiva (μm^2)	OSNR In (dB)	Porcentaje de Compensación (%)	Longitud SMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q (dB)	BER	Prx (dBm)
5	8	29.306621	75	144	19.44	4	10	25.613480	17.13517	9.84474e-13	-29.455604
	10	29.306621						25.608977	17.05291	8.8769e-13	-29.458010
	12	29.306621						25.609067	17.05150	8.84803e-13	-29.458008
	14	29.306621						25.609130	17.05048	8.82821e-13	-29.458007
	16	29.306621						25.609177	17.04970	8.81379e-13	-29.458007

Tabla 28. Parámetros objetivo al variar el área efectiva de la DCF entre (8-16 μm^2).

Ptx dBm	Área Efectiva μm^2	OSNR In dB	Porcentaje de compensación %	Longitud SMF-28 Km	Longitud DCF Km	Potencia EDFA dBm	Ganancia EDFA dB	OSNR Out dB	Q dB	BER	Prx dBm
5	23	29.306621	75	144	19.44	4	10	25.609276	17.04802	8.78432e-13	-29.458007
	26	29.306621						25.609301	17.04758	8.77685e-13	-29.458007
	29	29.306621						25.609322	17.04722	8.77102e-13	-29.458008
	32	29.306621						25.609338	17.04693	8.76633e-13	-29.458008
	34	29.306621						25.609347	17.04676	8.76368e-13	-29.458008

Tabla 29. Parámetros objetivo al variar el área efectiva de la DCF entre (23-34 μm^2).

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Área Efectiva DCF (Km)	Compensación (%)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q (dB)	BER	Prx (dBm)
5	29.306621	150	8	50	5	10	25.930723	17.046858	1.32546e-12	- 27.168837
	29.306621				10	10	25.930723	17.046858	1.32546e-12	- 27.168837
	29.306621				20	10	25.930723	17.046858	1.32546e-12	- 27.168837
	29.306621				30	10	25.930723	17.046858	1.32546e-12	- 27.168837
	29.306621				40	10	25.930723	17.046858	1.32546e-12	- 27.168837
	29.306621				50	10	25.930723	17.046858	1.32546e-12	- 27.168837
	29.306621				60	10	25.930723	17.046858	1.32546e-12	- 27.168837
	29.306621				70	10	25.930723	17.046858	1.32546e-12	- 27.168837

Tabla 30. Comportamiento segmento de red al variar la potencia del amplificador, con 50% de compensación DCF.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Área Efectiva DCF (Km)	Compensación (%)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q (dB)	BER	Prx (dBm)
5	29.306621	150	34	50	5	10	25.932062	17.042627	1.3195e-12	- 27.167943
	29.306621				10	10	25.932062	17.042627	1.3195e-12	- 27.167943
	29.306621				20	10	25.932062	17.042627	1.3195e-12	- 27.167943
	29.306621				30	10	25.932062	17.042627	1.3195e-12	- 27.167943
	29.306621				40	10	25.932062	17.042627	1.3195e-12	- 27.167943
	29.306621				50	10	25.932062	17.042627	1.3195e-12	- 27.167943
	29.306621				60	10	25.932062	17.042627	1.3195e-12	- 27.167943
	29.306621				70	10	25.932062	17.042627	1.3195e-12	- 27.167943

Tabla 31. Comportamiento segmento de red al variar la potencia del amplificador, con 50% de compensación DCF.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Área Efectiva DCF (Km)	Compensación (%)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q (dB)	BER	Prx (dBm)
	29.306621				5	10	25.613480	17.135265	9.84474e-13	- 29.455604

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

5	29.306621	144	8	75	10	10	25.6134 80	17.13526 5	9.84474 e-13	- 29.455604
	29.306621				20	10	25.6134 80	17.13526 5	9.84474 e-13	29.455604
	29.306621				30	10	25.6134 80	17.13526 5	9.84474 e-13	29.455604
	29.306621				40	10	25.6134 80	17.13526 5	9.84474 e-13	29.455604
	29.306621				50	10	25.6134 80	17.13526 5	9.84474 e-13	29.455604
	29.306621				60	10	25.6134 80	17.13526 5	9.84474 e-13	29.455604
	29.306621				70	10	25.6134 80	17.13526 5	9.84474 e-13	29.455604

Tabla 32. Comportamiento segmento de red al variar la potencia del amplificador, con 75% de compensación DCF.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Área Efectiva DCF (Km)	Compensación (%)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q (dB)	BER	Prx (dBm)
5	29.306621	144	34	75	5	10	25.6093 47	17.04798 4	8.76368 e-13	- 29.458008
	29.306621				10	10	25.6093 47	17.04798 4	8.76368 e-13	29.458008
	29.306621				20	10	25.6093 47	17.04798 4	8.76368 e-13	29.458008
	29.306621				30	10	25.6093 47	17.04798 4	8.76368 e-13	29.458008
	29.306621				40	10	25.6093 47	17.04798 4	8.76368 e-13	29.458008
	29.306621				50	10	25.6093 47	17.04798 4	8.76368 e-13	29.458008
	29.306621				60	10	25.6093 47	17.04798 4	8.76368 e-13	29.458008
	29.306621				70	10	25.6093 47	17.04798 4	8.76368 e-13	29.458008

Tabla 33. Comportamiento segmento de red al variar la potencia del amplificador, con 75% de compensación DCF.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Área Efectiva DCF (Km)	Compensación (%)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q (dB)	BER	Prx (dBm)
5	29.306621	150	8	50	4	10	25.9307 23	17.04604	1.32546 e-12	- 27.168837
	29.306621					15	25.7369 91	17.78385 7	1.04135 e-14	- 22.164916
	29.306621					20	25.6641 98	18.03412 6	4.43764 e-15	- 17.167344
	29.306621					25	25.6576 54	18.16108 7	1.16996 e-15	- 12.172668
	29.306621					30	25.6380 04	18.36228 2	8.67312 e-17	- 10.302305
	29.306621					35	25.6380 04	18.36228 2	8.67312 e-17	- 10.302305

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

29.306621					40	25.6380 04	18.36228 2	8.67312 e-17	- 10.302305
29.306621					45	25.6380 04	18.36228 2	8.67312 e-17	- 10.302305

Tabla 34. Comportamiento segmento de red al variar la potencia del amplificador, con 50% de compensación DCF.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Área Efectiva DCF (Km)	Compensación (%)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q (dB)	BER	Prx (dBm)
5	29.306621	150	34	50	4	10	25.9320 62	17.04181	1.3195e -12	- 27.167943
	29.306621					15	25.7343 86	17.85902 1	1.36371 e-14	- 22.167293
	29.306621					20	25.6712 56	17.93522 8	8.68793 e-15	- 17.166589
	29.306621					25	25.6548 94	17.98492 8	3.26635 e-15	- 12.172325
	29.306621					30	25.6444 88	18.08280 3	2.1295e -15	- 10.294181
	29.306621					35	25.6444 88	18.08280 3	2.1295e -15	- 10.294181
	29.306621					40	25.6444 88	18.08280 3	2.1295e -15	- 10.294181
	29.306621					45	25.6444 88	18.08280 3	2.1295e -15	- 10.294181

Tabla 35. Comportamiento segmento de red al variar la potencia del amplificador, con 50% de compensación DCF.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Área Efectiva DCF (Km)	Compensación (%)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q (dB)	BER	Prx (dBm)
5	29.306621	144	8	75	4	10	25.6134 80	17.13517	9.84474 e-13	- 29.455604
	29.306621					15	25.4477 20	21.28133 4	1.1917e -29	- 24.455774
	29.306621					20	25.4026 47	22.41496 7	6.70989 e-40	- 19.454235
	29.306621					25	25.3930 62	22.65854 0	1e-40	- 14.443609
	29.306621					30	25.3716 93	22.96312 5	1e-40	- 13.635074
	29.306621					35	25.3716 93	22.96312 5	1e-40	- 13.635074
	29.306621					40	25.3716 93	22.96312 5	1e-40	- 13.635074
	29.306621					45	25.3716 93	22.96312 5	1e-40	- 13.635074

Tabla 36. Comportamiento segmento de red al variar la potencia del amplificador, con 75% de compensación DCF.

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Área Efectiva DCF (Km)	Compensación (%)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q (dB)	BER	Prx (dBm)
5	29.306621	144	34	75	4	10	25.609347	17.04676	8.76368e-13	- 29.458008
	29.306621					15	25.449385	21.051898	2.48906e-28	- 24.457042
	29.306621					20	25.404906	22.107885	9.05042e-36	- 19.455665
	29.306621					25	25.375666	22.300547	5.08612e-39	- 14.457703
	29.306621					30	25.398985	22.414971	1.89357e-39	- 13.634246
	29.306621					35	25.398985	22.414971	1.89357e-39	- 13.634246
	29.306621					40	25.398985	22.414971	1.89357e-39	- 13.634246
	29.306621					45	25.398985	22.414971	1.89357e-39	- 13.634246

Tabla 37. Comportamiento segmento de red al variar la potencia del amplificador, con 75% de compensación DCF.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Compensación (%)	Longitud DCF (Km)	Área Efectiva DCF (μm^2)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q (dB)	BER	Prx (dBm)
5	29.306621	173	75	23.355	8	4	30	20.507161	17.182358	5.60004e-13	- 19.068296
5	29.306621	157	50	14.13	8	4	30	23.218681	17.687159	4.18375e-14	- 11.100090

Tabla 38. Distancia máxima alcanzada con un área efectiva, variando los porcentajes de compensación en 75 y 50 %.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Compensación DCF (%)	Longitud DCF (Km)	Atenuación DCF (dBm/km)	Perdidas DCF, por la atenuación (dB)	OSNR Out (dB)	Q (dB)	BER	Prx (dBm)
5	29.306621	157	50	14.13	0.1	1.413	23.192120	17.568118	5.44649e-14	-4.753534
					0.2	2.826	23.200867	17.742627	2.14027e-14	-6.153089
					0.3	4.239	23.213945	17.774119	3.21897e-14	-7.585785
					0.4	5.652	23.234730	17.697477	5.00281e-14	-8.074041
					0.55	7.7715	23.218681	17.687159	4.18375e-14	- 11.100090
					0.7	9.891	23.217004	17.648187	2.58303e-14	- 13.220097
					1	14.13	23.225917	17.550577	3.57099e-14	- 17.456557

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

					2	28.26	23.243750	12.712550	1.11763e-5	-	31.582756
					3.5	49.455	23.255027	6.020600	0.0227501	-	52.778616
5	29.306621	173	75	23.355	0.1	2.3355	20.485998	17.301170	2.90697e-13	-	-8.566235
					0.2	4.671	20.481186	17.322140	1.44665e-13	-	10.897030
					0.3	7.0065	20.487291	17.263896	3.87724e-13	-	13.233668
					0.4	9.342	20.499958	17.188655	4.90237e-13	-	15.561658
					0.55	12.84525	20.507161	17.182358	5.60044e-13	-	19.068296
					0.7	16.3485	20.574516	16.781174	2.38878e-12	-	22.574516
					1	23.355	20.508433	14.728668	2.52887e-8	-	29.576948
					2	46.71	20.505321	6.020600	0.0227501	-	52.934656
					3.5	81.7425	20.505675	6.020600	0.0227501	-	87.967329

Tabla 39. Parámetros encontrados variando la atenuación de la DCF (0.1 a 3.5 dB/Km), para porcentajes de compensación de la DCF de 75 y 50 %.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Compensación DCF (%)	Longitud DCF (Km)	Atenuación DCF (dB/km)	Perdidas DCf, por la atenuación (dB)	OSNR Out (dB)	Q (dB)	BER	Prx (dBm)	
5	29.306621	157	50	14.13	0.24	3.3912	23.233227	17.821365	1.65531e-14	-6.722206	
					0.26	3.6738	23.225286	17.883847	1.56274e-14	-6.990268	
					0.28	3.9564	23.212887	17.757546	1.21942e-14	-7.287632	
					0.3	4.239	23.213945	17.774119	3.21897e-14	-7.585785	
					0.32	4.5216	23.220573	17.753337	3.88651e-14	-7.855485	
					0.34	4.8042	23.201927	17.771079	3.07592e-14	-8.148285	
					0.36	5.0868	23.220675	17.692806	4.99485e-14	-8.418003	
					0.38	5.3694	23.234204	17.660933	4.50416e-14	-8.688921	
5	29.306621	173	75	23.355	0.14	3.2697	20.481675	17.069379	7.80281e-13	-9.499649	
					0.16	3.7368	20.489881	17.390841	1.07953e-13	-9.960441	
					0.18	4.2039	20.483607	17.291429	3.50598e-13	-	10.438228
					0.2	4.671	20.481186	17.322140	1.44665e-13	-	10.897030
					0.22	5.1381	20.483144	17.250127	1.69671e-13	-	11.372891
					0.24	5.6052	20.502110	17.265332	1.78638e-13	-	11.831343
					0.26	6.0723	20.490414	17.085582	1.004e-12	-	12.300585

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

					0.28	6.5394	20.494489	17.368758	9.56843e-14	-12.764867
--	--	--	--	--	------	--------	-----------	-----------	-------------	------------

Tabla 40. Parámetros encontrados variando la atenuación de la DCF (0.24 a 0.38 dB/Km), para porcentajes de compensación de la DCF de 50% y atenuación de la DCF (0.14 a 0.28 dB/Km), para porcentajes de compensación de la DCF de 75%.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Compensación DCF (%)	Lon DCF (Km)	Atenuación DCF (dBm/km)	Perdidas DCF, por la atenuación (dB)	Variaciones en la potencia EDFA (dBm)	OSNR Out (dB)	Q (dB)	BER	Prx (dBm)
5	29.306621	157	50	14.13	0.26	3.6738	4	23.225286	17.883847	1.56274e-14	-6.990268
							14	23.219163	17.738174	4.57908e-14	-6.638605
							24	23.219163	17.738174	4.57908e-14	-6.638605
							34	23.219163	17.738174	4.57908e-14	-6.638605
							44	23.219163	17.738174	4.57908e-14	-6.638605
							54	23.219163	17.738174	4.57908e-14	-6.638605
5	29.306621	173	75	23.355	0.16	3.7368	4	20.489881	17.390841	1.07953e-13	-9.960441
							14	20.489881	17.390841	1.07953e-13	-9.960441
							24	20.489881	17.390841	1.07953e-13	-9.960441
							34	20.489881	17.390841	1.07953e-13	-9.960441
							44	20.489881	17.390841	1.07953e-13	-9.960441
							54	20.489881	17.390841	1.07953e-13	-9.960441

Tabla 41. Parámetros objetivo obtenidos variando la potencia EDFA, con una atenuación de 0.26 dB/Km para 50% de compensación DCF y con atenuación de 0.16 dB/Km para 75% de compensación DCF.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Compensación DCF (%)	Lon DCF (Km)	Atenuación DCF (dBm/km)	Perdidas DCF, por la atenuación (dB)	Variaciones en la potencia EDFA (dBm)	OSNR Out (dB)	Q (dB)	BER	Prx (dBm)
5	29.306621	157	50	14.13	0.26	3.6738	30	23.225286	17.883847	1.56274e-14	-6.990268
							40	23.225286	17.883847	1.56274e-14	-6.990268
							50	23.225286	17.883847	1.56274e-14	-6.990268
							60	23.225286	17.883847	1.56274e-14	-6.990268
							70	23.225286	17.883847	1.56274e-14	-6.990268
							80	23.225286	17.883847	1.56274e-14	-6.990268
5	29.306621	173	75	23.355	0.16	3.7368	30	20.489881	17.390841	1.07953e-13	-9.960441
							40	20.496437	17.445677	4.50774e-14	-7.785862
							50	20.496437	17.445677	4.50774e-14	-7.785862

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

									14		
							60	20.496437	17.445677	4.50774e-14	-7.785862
							70	20.496437	17.445677	4.50774e-14	-7.785862
							80	20.496437	17.445677	4.50774e-14	-7.785862

Tabla 42. Parámetros objetivo obtenidos variando la ganancia EDFA, con una atenuación de 0.26 dB/Km para 50% de compensación DCF y con atenuación de 0.16 dB/Km para 75% de compensación DCF; la potencia EDFA se encuentra fija en 4 dBm.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Compensación DCF (%)	Lon DCF (Km)	Perdidas DCf, por la atenuación (dB)	Atenuación DCF (dBm/km)	OSNR Out (dB)	Q (dB)	BER	Prx (dBm)
5	29.306621	135	30	7.29	0.729	0.1	25.764441	17.218507	2.04508e-13	-3.651921
					1.458	0.2	25.791929	17.240904	1.68332e-13	-4.372873
					2.187	0.3	25.771259	16.999957	1.15567e-12	-5.109341
					2.916	0.4	25.750910	17.008377	1.20543e-12	-5.837143
					4.0095	0.55	25.757721	17.030303	9.6392e-13	-6.929116
5	29.306621	143	40	10.296	1.0296	0.1	24.966756	17.8544151	2.9036e-15	-4.123552
					2.0592	0.2	24.968429	17.698330	9.28021e-15	-5.150034
					3.0888	0.3	24.968751	17.792675	4.76213e-15	-6.181013
					4.1184	0.4	24.952474	17.584774	3.6729e-14	-7.219567
					5.6628	0.55	24.988267	17.580042	1.12774e-13	-8.745728
5	29.306621	157	50	14.13	1.413	0.1	23.192120	17.568118	5.44649e-14	-4.753534
					2.826	0.2	23.200867	17.742627	2.14027e-14	-6.153089
					4.239	0.3	23.213945	17.774119	3.21897e-14	-7.585785
					5.652	0.4	23.234730	17.697477	5.00281e-14	-8.074041
					7.7715	0.55	23.218681	17.687159	4.18375e-14	-11.100090
5	29.306621	165	60	17.82	1.782	0.1	22.078909	18.029945	4.3404e-15	-6.313522
					3.564	0.2	22.047538	17.868652	1.03226e-14	-8.086411
					5.346	0.3	22.069075	17.989511	1.37644e-15	-9.879746
					7.128	0.4	22.074990	17.800991	9.43438e-15	-11.652755
					9.801	0.55	22.044994	17.892274	2.18421e-15	-14.339992
5	29.306621	173	75	23.355	2.3355	0.1	20.485998	17.301170	2.90697e-13	-8.566235
					4.671	0.2	20.481186	17.322140	1.44665e-13	-10.897030
					7.0065	0.3	20.487291	17.263896	3.87724e-13	-13.233668
					9.342	0.4	20.499958	17.188655	4.90237e-13	-15.561658
					12.84525	0.55	20.507161	17.182358	5.60044e-13	-19.068296

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

5	29.306621	179	85	27.387	2.7387	0.1	19.125959	17.889402	7.70845e-15	-
					5.4774	0.2	19.102072	17.957830	7.08572e-15	10.083796
					8.2161	0.3	19.095212	17.764164	2.39072e-14	-
					10.9548	0.4	19.125660	17.666331	3.09477e-14	15.560728
					15.06285	0.55	19.094463	17.461491	3.07636e-14	18.291349
5	29.306621	184	90	29.808	2.9808	0.1	18.489903	17.935937	5.01583e-15	-
					5.9616	0.2	18.496261	17.846895	8.15527e-15	11.271523
					8.9424	0.3	18.493714	17.872672	5.20777e-15	-
					11.9232	0.4	18.494976	17.891226	1.86451e-15	17.235158
					16.3944	0.55	18.523234	17.094363	1.41178e-12	20.221497
5	29.306621	179	100	32.22	3.222	0.1	19.348263	18.246123	1.708119e-16	-
					6.444	0.2	19.386246	18.369080	5.29704e-17	10.563887
					9.666	0.3	19.368150	18.405671	3.48421e-17	-
					12.888	0.4	19.400340	18.221040	9.18704	13.793811
					17.721	0.55	19.376518	17.789008	4.65844e-15	20.228967

Tabla 43. Parámetros objetivo obtenidos variando la longitud de la DCF, para valores de ganancia EDFA de 30 dB y potencia EDFA de 4 dBm.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Compensación DCF (%)	Lon DCF (Km)	Perdidas DCF, por la atenuación (dB)	Atenuación DCF (dBm/km)	OSNR Out (dB)	Q (dB)	BER	Prx (dBm)
5	29.306621	157	50	14.13	4.239	0.3	23.213945	17.774119	3.21897e-14	-7.585785
		174	75	23.49	4.698	0.2	20.259969	17.002020	2.99223e-12	-
		186	90	30.132	3.0132	0.1	17.731777	17.844722	2.24501e-15	11.143345

Tabla 44. Longitudes máximas del segmento de red en donde se cumplen los parámetros objetivos.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Compensación DCF (%)	Lon DCF (Km)	Dispersión DCF ($\frac{Ps}{nm \cdot Km}$)	FOM	OSNR Out (dB)	Q (dB)	BER	Prx (dBm)
5	29.306621	157	50	83.11765	-17	56.66666667	23.098412	6.763238	0.0234459	-

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

				38.18919	-37	123.3333333	23.075811	17.733113	8.74601e-15	-	14.738165
				24.78947	-57	190	23.586949	18.043218	7.33418e-16	-	10.737178
				18.35065	-77	256.6666667	23.538337	16.492737	1.19315e-11	-	-8.855987
				14.56701	-97	323.3333333	22.971243	15.984377	2.42655e-10	-	-7.772051
				14.13	-100	333.3333333	23.213945	17.774119	3.21897e-14	-	-7.585785
				12.07692	-117	390	23.218852	16.383279	2.13622e-11	-	-7.026400
				10.31387	-137	456.6666667	23.500339	17.548512	3.69124e-14	-	-6.480557
				9	-157	523.3333333	22.735088	17.658923	6.3909e-14	-	-6080548
				7.98305	-177	590	23.267207	16.277219	7.01472e-11	-	-5.857170
				7.17259	-197	656.6666667	22.761908	16.231482	6.03429e-11	-	-5.610142
				6.51152	-217	723.3333333	22.599244	16.177557	6.69436e-11	-	-5.426443
				5.96203	-237	790	23.075561	17.616301	1.73444e-14	-	-5.207395
				5.49805	-257	856.6666667	23.073456	17.633227	2.16004e-14	-	-5.069757
				5.10108	-277	923.3333333	22.908280	17.470130	4.80567e-14	-	-4.957720
				4.75758	-297	990	22.965248	17.540266	3.87004e-14	-	-4.857897
				4.45741	-317	1056.666667	22.738136	16.201802	7.34688e-11	-	-4.814109
				4.24324	-333	1110	22.796655	16.104166	1.33448e-10	-	-4.757995

Tabla 45. Parámetros objetivo alcanzados variando la dispersión en la DCF, con un porcentaje de compensación del 50%, atenuación al 0.3 dBm/km.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Compensación DCF (%)	Lon DCF (Km)	Dispersión DCF $\left(\frac{Ps}{nm \cdot Km}\right)$	FOM	OSNR Out (dB)	Q (dB)	BER	Prx (dBm)	
				138.17647	-17	85	20.252491	9.002637	0.00251789	-	34.046327
				63.48649	-37	185	20.229399	17.028908	4.96671e-13	-	19.032225
				41.21053	-57	285	20.426559	16.955457	3.69886e-12	-	14.559555
				30.50649	-77	385	20.547672	17.069058	6.79221e-13	-	12.333169
				24.21649	-97	485	20.250236	17.010330	2.47082e-12	-	11.280513
				23.49	-100	500	20.259969	17.002020	2.99223e-12	-	11.143345
				20.07692	-117	585	20.397163	17.277034	1.2739e-13	-	10.430502
5	29.306621	174	75	17.14599	-137	685	20.143007	17.080029	4.0436e-13	-	-9.908003
				14.96178	-157	785	20.284520	16.751076	4.16129e-12	-	-9.582968

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

				13.27119	-177	885	51.100564	16.889726	1.74503e-12	-9.197903
				11.92386	-197	985	20.102202	17.001831	8.78785e-13	-8.932113
				10.82488	-217	1085	20.101940	17.008119	6.27712e-13	-8.712478
				9.91139	-237	1185	20.107456	16.973600	7.93979e-13	-8.540427
				9.14008	-257	1285	20.129268	16.951524	1.38498e-12	-8.375616
				8.48014	-277	1385	20.175961	16.930307	1.50521e-12	-8.249562
				7.90909	-297	1485	20.137548	16.936482	1.2419e-12	-8.131067
				7.41009	-317	1585	20.045727	16.920784	1.35454e-12	-8.004820
				7.05405	-333	1665	19.809290	16.755534	5.21127e-12	-8.023393

Tabla 46. Parámetros objetivo alcanzados variando la dispersión en la DCF, con un porcentaje de compensación del 75%, atenuación al 0.2 dBm/km.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Compensación DCF (%)	Lon DCF (Km)	Dispersión DCF $\left(\frac{Ps}{nm \cdot Km}\right)$	FOM	OSNR Out (dB)	Q (dB)	BER	Prx (dBm)
5	29.306621	186	90	177.24706	-17	170	18.467661	15.473958	1.93421e-009	-26.393033
				81.43784	-37	370	17.667907	17.161859	5.06394e-13	-16.976883
				52.86316	-57	570	18.099984	17.293804	2.77893e-13	-14.052344
				39.13247	-77	770	18.004890	17.041774	1.36769e-12	-12.722015
				31.06392	-97	970	17.981099	17.133386	9.0803e-13	-11.848806
				30.132	-100	1000	17.731777	17.844722	2.24501e-15	-11.853021
				25.75385	-117	1170	18.324082	16.881555	4.01923e-12	-11.239748
				21.99416	-137	1370	18.013725	18.009418	3.78756e-15	-10.898329
				19.19236	-157	1570	18.241186	17.941605	1.97529e-15	-10.555245
				17.02373	-177	1770	18.362758	17.044671	1.4492e-12	-10.185653
				15.29543	-197	1970	18.320622	17.912136	1.41334e-15	-10.109853
				13.88571	-217	2170	18.150107	17.772726	7.09002e-15	-9.940937
				12.71392	-237	2370	18.462502	16.982235	2.2638e-12	-9.699907
				11.72451	-257	2570	18.397996	17.702422	6.03744e-15	-9.704044
				10.87798	-277	2770	18.390557	17.029449	1.68439e-12	-9.513293
				10.14545	-297	2970	18.645815	17.954321	1.01406e-15	-9.529029
				9.50536	-317	3170	18.640475	17.706559	5.92874e-15	-9.465578
				9.04865	-333	3330	18.621427	17.837133	2.62093e-15	-9.417591

Tabla 47. Parámetros objetivo alcanzados variando la dispersión en la DCF, con un porcentaje de compensación del 90%, atenuación al 0.1 dBm/km.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Compensación DCF (%)	Lon DCF (Km)	Dispersión DCF $\left(\frac{Ps}{nm \cdot Km}\right)$	FOM	OSNR Out (dB)	Q (dB)	BER	Prx (dBm)
5	29.306621	157	50	83.11765	-17	56.66666667	20.920221	15.107121	8.71086e-09	- 28.337521
				38.18919	-37	123.3333333	20.167304	17.730963	6.95438e-15	- 14.729788
				24.78947	-57	190	20.401278	17.838846	4.15994e-15	- 10.724189
				18.35065	-77	256.6666667	20.344182	16.386572	2.06741e-11	-8.863958
				14.56701	-97	323.3333333	21.182227	16.335486	2.70427e-11	-7.751505
				14.13	-100	333.3333333	20.018986	17.785659	1.42552e-14	-7.570207
				12.07692	-117	390	19.756789	16.322625	3.09371e-11	-7.024970
				10.31387	-137	456.6666667	20.645427	17.726458	3.71234e-14	-6.464608
				9	-157	523.3333333	19.953384	17.680794	6.24366e-14	-6.087979
				7.98305	-177	590	19.694875	16.254551	4.60394e-11	-5.838523
				7.17259	-197	656.6666667	19.769995	16.208712	6.67822e-11	-5.605989
				6.51152	-217	723.3333333	20.132996	16.236387	5.39787e-11	-5.419692
				5.96203	-237	790	20.116198	17.641959	4.56449e-14	-5.201248
				5.49805	-257	856.6666667	20.024206	17.603072	4.3284e-14	-5.066203
				5.10108	-277	923.3333333	19.890032	17.570172	3.82357e-14	-4.955750
				4.75758	-297	990	19.791240	17.566577	5.2057e-14	-4.863621
				4.45741	-317	1056.666667	19.594745	16.178827	6.82575e-11	-4.823881
				4.24324	-333	1110	19.534796	16.149989	8.08426e-11	-4.756729

Tabla 48. Parámetros objetivo alcanzados variando la dispersión en la DCF, con un porcentaje de compensación del 50%, atenuación al 0.3 dBm/km y con espaciamento entre canales de 50 GHz.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Compensación DCF (%)	Lon DCF (Km)	Dispersión DCF $\left(\frac{Ps}{nm \cdot Km}\right)$	FOM	OSNR Out (dB)	Q (dB)	BER	Prx (dBm)
				138.17647	-17	85	19.083883	9.600960	0.00134042	- 33.954377
				63.48649	-37	185	18.426876	16.867086	2.52414e-12	- 19.027271

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

5	29.306621	174	75	41.21053	-57	285	18.973609	17.082058	1.45125e-12	-		
												14.573943
				30.50649	-77	385	19.397326	17.077929	1.85013e-12	-	12.481440	
				24.21649	-97	485	18.762306	17.029354	1.00514e-12	-	11.178069	
				23.49	-100	500	18.583534	17.116583	4.06171e-13	-	11.035922	
				20.07692	-117	585	18.394446	16.993075	2.54729e-12	-	10.525191	
				17.14599	-137	685	19.067602	17.052455	2.05379e-12	-	9.978785	
				14.96178	-157	785	17.983832	16.850660	2.49115e-12	-	9.491675	
				13.27119	-177	885	18.731155	16.928623	3.385e-12	-	9.225507	
				11.92386	-197	985	18.933597	16.941971	1.96668e-12	-	9.015271	
				10.82488	-217	1085	18.099705	16.876420	1.57944e-12	-	8.736298	
				9.91139	-237	1185	18.294672	16.878702	4.68072e-12	-	8.590490	
				9.14008	-257	1285	18.103033	16.924913	1.56579e-12	-	8.372483	
				8.48014	-277	1385	18.395647	16.809143	8.2326e-12	-	8.301706	
				7.90909	-297	1485	18.872436	16.881611	1.83501e-12	-	8.121618	
7.41009	-317	1585	18.801464	16.853225	2.08355e-12	-	8.010712					
7.05405	-333	1665	18.455162	16.864263	5.83782e-12	-	8.031007					

Tabla 49. Parámetros objetivo alcanzados variando la dispersión en la DCF, con un porcentaje de compensación del 75%, atenuación al 0.2 dBm/km y con espaciamiento entre canales de 50 GHz.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Compensación DCF (%)	Lon DCF (Km)	Dispersión DCF $\left(\frac{Ps}{nm \cdot Km}\right)$	FOM	OSNR Out (dB)	Q (dB)	BER	Prx (dBm)		
5	29.306621	186	90	177.24706	-17	170	16.715193	17.091748	4.20916e-13	-		
												26.442477
				81.43784	-37	370	17.006279	16.908284	3.24426e-12	-	16.978212	
				52.86316	-57	570	17.145291	17.004302	1.68789e-12	-	14.053956	
				39.13247	-77	770	16.881354	18.136420	1.46519e-15	-	12.793024	
				31.06392	-97	970	17.057661	17.920084	7.63656e-15	-	11.943358	
				30.132	-100	1000	16.674202	17.116777	9.74563e-13	-	11.760638	
				25.75385	-117	1170	16.832359	17.842499	7.23993e-15	-	11.320172	
				21.99416	-137	1370	17.460846	17.005037	1.91871e-12	-	10.731777	
				19.19236	-157	1570	17.612724	17.045302	1.45007e-12	-	10.438127	
				17.02373	-177	1770	17.592999	16.988256	2.1366e-12	-	10.196203	
				15.29543	-197	1970	18.072282	16.926793	3.45883e-12	-	9.992349	

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

				13.88571	-217	2170	18.009055	17.013314	1.98549e-12	-9.824110
				12.71392	-237	2370	17.432083	17.915346	1.83913e-15	-9.804236
				11.72451	-257	2570	17.753079	17.821632	2.67597e-15	-9.715860
				10.87798	-277	2770	17.888875	17.769394	3.79478e-15	-9.621991
				10.14545	-297	2970	18.045793	16.947565	2.98174e-12	-9.430367
				9.50536	-317	3170	18.067952	16.950168	3.03226e-12	-9.368737
				9.04865	-333	3330	17.771371	17.820695	4.41328e-15	-9.408928

Tabla 50. Parámetros objetivo alcanzados variando la dispersión en la DCF, con un porcentaje de compensación del 90%, atenuación al 0.1 dBm/km y con espaciamento entre canales de 50 GHz.

ANEXO D. RESULTADOS DE SIMULACIÓN PARA LA CONFIGURACIÓN 1.2 (RZ-DQPSK, VELOCIDAD DE TRASMISIÓN DE 10 Gbps)

Potencia de transmisión (dBm)	Canal (Thz)	Distancia (Km)	Eye Q		Eye P		Potencia en recepción (dBm)
			Q (dB)	BER	Q (dB)	BER	
0	193.1	0	32.040616	1e-40	32.181967	1e-40	-0.322434
0	193.1	10	32.051261	1e-40	32.181979	1e-40	-2.276363
0	193.1	15	32.060458	1e-40	32.177612	1e-40	-3.287545
0	193.1	20	32.052620	1e-40	32.168466	1e-40	-4.280314
0	193.1	30	32.057947	1e-40	32.190629	1e-40	-6.323097
0	193.1	35	32.051191	1e-40	32.096941	1e-40	-7.285158
0	193.1	40	32.062441	1e-40	32.234684	1e-40	-8.321085
0	193.1	50	31.952154	1e-40	32.089335	1e-40	-10.312512
0	193.1	60	32.053899	1e-40	32.128892	1e-40	-12.294651
0	193.1	65	31.801755	1e-40	31.893988	1e-40	-13.293759
0	193.1	70	31.524916	1e-40	31.486688	1e-40	-14.315616
0	193.1	75	31.058437	1e-40	31.110249	1e-40	-15.329625
0	193.1	80	30.476028	1e-40	30.455161	1e-40	-16.321661
0	193.1	85	29.653615	1e-40	29.462216	1e-40	-17.317176
0	193.1	90	28.985300	1e-40	28.684684	1e-40	-18.307605
0	193.1	95	28.003142	1e-40	27.593400	1e-40	-19.318337

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

0	193.1	100	26.876087	1e-40	26.548833	1e-40	-20.323778
0	193.1	105	26.319118	1e-40	26.267304	1e-40	-21.293187
0	193.1	110	25.351768	1e-40	25.054463	1e-40	-22.284713
0	193.1	120	23.032614	1e-40	22.679953	1e-40	-24.299166
0	193.1	125	22.074592	3.01128e-37	21.815729	7.05623e-34	-25.299880
0	193.1	130	21.254816	4.62466e-31	20.929958	1.45123e-27	-26.305159
0	193.1	140	19.517299	1.85348e-20	19.153673	7.9416e-20	-28.307207
0	193.1	150	18.356859	6.3014e-17	17.974621	2.49063e-15	-30.309716
0	193.1	155	17.791538	2.70751e-14	17.456854	4.28088e-14	-31.309179
0	193.1	156	17.682431	3.43915e-15	17.344216	8.90001e-14	-31.510539
0	193.1	157	17.571777	4.98253e-14	17.244643	1.87922e-13	-31.712652
0	193.1	158	17.469893	6.11319e-14	17.143001	4.41466e-13	-31.912231
0	193.1	159	17.361996	9.14455e-14	17.038239	9.88095e-13	-32.114739
0	193.1	160	17.253859	1.56627e-13	16.934625	2.16944e-12	-32.314876
0	193.1	161	17.147641	2.98161e-13	16.846586	5.50514e-12	-32.517025
0	193.1	162	17.043387	6.34563e-13	16.743082	1.15764e-11	-32.716910
0	193.1	163	17.442533 dB	4.66653e-14	17.025535 dB	1.28669e-12	-32.88361

							9
0	193.1	164	17.336161	9.87862e-14	16.917350	2.94535e-12	-33.084685
0	193.1	165	17.222880	2.25382e-13	16.818788	6.21156e-12	-33.285090
0	193.1	170	16.696898	1.69223e-11	16.293916	6.63049e-11	-34.284572
0	193.1	180	15.450580	1.7049e-09	15.102489	6.50715e-09	-36.302026
0	193.1	190	14.355834	1.53441e-07	14.016105	2.53867e-07	-38.301481
0	193.1	200	13.202221	4.53151e-06	12.852770	5.55411e-06	-40.303653

Tabla 51. Máximo alcance para un canal alrededor de los 193.1 Thz con potencia de 0 dBm.

Potencia de transmisión (dBm)	Porcentaje de compensación (%)	Longitud SSMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Factor Q (dB)	BER	Potencia de recepción (dBm)
0	100	159	28.62	31.531015	1e-40	-48.796264
0	75	159	21.465	31.398409	1e-40	-44.854394
0	50	159	14.31	29.833413	1e-40	-40.896493
0	25	159	7.155	22.830989	1e-40	-36.998779
3	100	159	28.62	31.807448	1e-40	-45.760918
3	75	159	21.465	31.736386	1e-40	-41.821602
3	50	159	14.31	30.152295	1e-40	-37.853198
3	25	159	7.155	23.115566	1e-40	-33.96067

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

						5
5	100	159	28.62	31.78354 0	1e-40	- 43.76479 5
5	75	159	21.465	31.78616 0	1e-40	- 39.82406 9
5	50	159	14.31	30.31940 3	1e-40	- 35.85573 2
5	25	159	7.155	23.27724 7	1e-40	- 31.96384 5
6	100	159	28.62	31.81356 3	1e-40	- 42.76628 1
6	75	159	21.465	31.79328 4	1e-40	- 38.82773 3
6	50	159	14.31	30.39853 4	1e-40	- 34.85794 4
6	25	159	7.155	23.45777 4	1e-40	- 30.96626 6
9	100	159	28.62	31.72086 2	1e-40	- 39.77829 6
9	75	159	21.465	31.71709 0	1e-40	- 35.84062 8
9	50	159	14.31	30.68148 1	1e-40	- 31.86988 1
9	25	159	7.155	24.10657 5	1e-40	- 27.97955 3
10	100	159	28.62	31.70756 6	1e-40	- 38.79030 4
10	75	159	21.465	31.71965 1	1e-40	- 34.85329 1
10	50	159	14.31	30.82265 0	1e-40	- 30.88249 7

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

10	25	159	7.155	24.43052 0	1e-40	- 26.99257 5
12	100	159	28.62	31.56910 5	1e-40	- 36.85767 6
12	75	159	21.465	31.63661 8	1e-40	- 32.92238 5
12	50	159	14.31	31.11916 6	1e-40	- 28.94952 9
12	25	159	7.155	25.16936 6	1e-40	- 25.06127 6
15	100	159	28.62	30.91497 2	1e-40	- 34.37961 2
15	75	159	21.465	31.27830 9	1e-40	- 30.45135 0
15	50	159	14.31	31.16973 9	1e-40	- 26.46936 6
15	25	159	7.155	26.08746 6	1e-40	- 22.58375 3
20	100	159	28.62	27.52657 8	1e-40	- 33.69025 2
20	75	159	21.465	28.96865 5	1e-40	- 29.76060 1
20	50	159	14.31	21.53788 0	1.04705e -31	- 25.75983 7
20	25	159	7.155	6.020600	0.227501	- 21.86852 6
25	100	159	28.62	20.92961 6	9.73969e -29	- 29.68339 6
25	75	159	21.465	21.15132 3	5.65657e -29	- 25.75112 8
25	50	159	14.31	6.020600	0.227501	-

						21.75952 1
25	25	159	7.155	6.020600	0.227501	- 17.83978 6

Tabla 52. Comportamiento de la DCF al variar la potencia de trasmisión con post-compensación, canal 193.1 Thz.

Potencia de trasmisión (dBm)	Porcentaje de compensación (%)	Longitud SSMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Factor Q (dB)	BER	Potencia de recepción (dBm)
3	100	159	28.62	31.417140	1e-40	- 45.817216
3	75	159	21.465	31.236106	1e-40	- 41.841870
3	50	159	14.31	30.360083	1e-40	- 37.882694
3	25	159	7.155	23.624566	1e-40	- 33.992824
5	100	159	28.62	31.798960	1e-40	- 43.806153
5	75	159	21.465	31.694704	1e-40	- 39.868107
5	50	159	14.31	30.285202	1e-40	- 35.915489
5	25	159	7.155	24.393040	1e-40	- 31.996032
6	100	159	28.62	31.572351	1e-40	- 42.822173
6	75	159	21.465	31.880601	1e-40	- 38.877894
6	50	159	14.31	30.622036	1e-40	- 34.910647
6	25	159	7.155	24.933325	1e-40	- 31.000258
9	100	159	28.62	31.912264	1e-40	- 39.869231
9	75	159	21.465	31.874692	1e-40	- 35.931504
9	50	159	14.31	31.105377	1e-40	- 31.959506
9	25	159	7.155	27.366004	1e-40	- 28.033404
10	100	159	28.62	31.960628	1e-40	-

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

						38.899492
10	75	159	21.465	31.690674	1e-40	- 34.968227
10	50	159	14.31	30.981331	1e-40	- 31.008101
10	25	159	7.155	28.489217	1e-40	- 27.094686
12	100	159	28.62	32.009182	1e-40	- 37.002584
12	75	159	21.465	31.867371	1e-40	- 33.071925
12	50	159	14.31	31.028482	1e-40	- 29.129810
12	25	159	7.155	31.108199	1e-40	- 25.241484
15	100	159	28.62	31.908921	1e-40	- 34.300874
15	75	159	21.465	31.685595	1e-40	- 30.372801
15	50	159	14.31	31.055773	1e-40	- 26.488602
15	25	159	7.155	27.970380	1e-40	- 22.837709

Tabla 53. Comportamiento de la DCF al variar la potencia de trasmisión con pre-compensación, canal 193.1 Thz.

Potencia de trasmisión (dBm)	Porcentaje de compensación (%)	Longitud SSMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Factor Q (dB)	BER	Potencia de recepción (dBm)
3	100	300	54	31.974966	1e-40	- 87.933760
3	75	300	40.5	30.543308	1e-40	- 80.507825
3	50	300	27	18.440642	3.67629e-17	- 73.092384
3	25	300	13.5	10.172269	0.000672495	- 65.660604
5	100	300	54	31.897611	1e-40	- 85.924162
5	75	300	40.5	30.576382	1e-40	- 78.50161

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

						4
5	50	300	27	18.77286 2	1.995e-18	- 71.08583 5
5	25	300	13.5	10.54916 1	0.00044321 1	- 63.65928 2
6	100	300	54	31.87556 5	1e-40	- 84.92567 5
6	75	300	40.5	30.71322 9	1e-40	- 77.50104 7
6	50	300	27	19.00148 7	2.96277e- 19	- 70.08503 3
6	25	300	13.5	10.82012 3	0.00031747	- 62.65901 4
9	100	300	54	31.79155 3	1e-40	- 81.93537 7
9	75	300	40.5	30.94242 4	1e-40	- 74.51294 9
9	50	300	27	20.08905 0	6.96608e- 24	- 67.09554 2
9	25	300	13.5	12.23494 0	2.91979e- 05	- 59.66790 7
10	100	300	54	31.76382 5	1e-40	- 80.94808 2
10	75	300	40.5	31.06835 2	1e-40	- 73.52700 0
10	50	300	27	20.61521 0	2.88496e- 26	- 66.10934 9
10	25	300	13.5	13.03761 0	4.36575e- 06	- 58.67986 1
12	100	300	54	31.57558 7	1e-40	- 79.02003 7

12	75	300	40.5	31.280007	1e-40	-71.601954
12	50	300	27	21.785370	3.39101e-33	-64.181272
12	25	300	13.5	15.599097	1.03075e-09	-56.750530
15	100	300	54	30.859219	1e-40	-76.556899
15	75	300	40.5	30.981446	1e-40	-69.121459
15	50	300	27	21.750827	1.34373e-34	-61.714164
15	25	300	13.5	16.593152	7.67525e-12	-54.279027

Tabla 54. Comportamiento de la DCF al variar la potencia de trasmisión con post-compensación a 300 Km, canal 193.1 Thz.

Potencia de trasmisión (dBm)	Porcentaje de compensación (%)	Longitud SMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Q (dB)	BER	Potencia de recepción (dBm)
3	50	300	27	17.730812	2.86916e-14	-72.175096
3	75	300	40.5	30.687297	1e-40	-79.595560
3	100	300	54	31.469323	1e-40	-86.985766
4	50	300	27	17.535970	1.02463e-13	-71.141668
4	75	300	40.5	30.332709	1e-40	-78.574274
4	100	300	54	31.702366	1e-40	-86.008383
5	50	300	27	20.268494	3.11589e-25	-70.142136
5	75	300	40.5	30.187956	1e-40	-77.573951
5	100	300	54	29.868649	1e-40	-84.990787
6	50	300	27	17.569823	6.00794e-14	-69.126607
6	75	300	40.5	28.404806	1e-40	-76.579612
6	100	300	54	29.002745	1e-40	-84.013397

Tabla 55. Comportamiento del sistema DWDM con DCF, al aumentar la potencia de todos los canales, longitud SSMF-28 300 Km, canal de Transmisión 193.1 Thz.

Potencia de transmisión (dBm)	Porcentaje de compensación (%)	Longitud SMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Q (dB)	BER	Potencia de recepción (dBm)
3	50	305	27.45	17.542581	6.37929e-14	-73.419631
3	75	305	41.175	30.478043	1e-40	-80.948316
3	100	305	54.9	31.496188	1e-40	-88.480933
4	50	305	27.45	16.970368	3.51401e-12	-72.388526
4	75	305	41.175	30.393741	1e-40	-79.943586
4	100	305	54.9	31.768124	1e-40	-87.503830
5	50	305	27.45	19.931421	3.15755e-23	-71.390366
5	75	305	41.175	31.009385	1e-40	-78.943413
5	100	305	54.9	29.937576	1e-40	-86.485694
6	50	305	27.45	17.767128	1.14696e-14	-70.384667
6	75	305	41.175	28.406712	1e-40	-77.948857
6	100	305	54.9	28.952974	1e-40	-85.507777

Tabla 56. Comportamiento del sistema DWDM con DCF, al aumentar la potencia de todos los canales, longitud SSMF-28 305 Km, canal de Transmisión 193.1 Thz.

Potencia de transmisión (dBm)	Porcentaje de compensación (%)	Longitud SMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Q (dB)	BER	Potencia de recepción (dBm)
3	50	310	27.9	17.461161	4.34192e-14	-74.662543
3	75	310	41.85	30.040686	1e-40	-82.290125
3	100	310	55.8	31.549477	1e-40	-89.978554
4	50	310	27.9	16.702160	1.07413e-11	-73.640381
4	75	310	41.85	30.232870	1e-40	-81.314096
4	100	310	55.8	31.981846	1e-40	-89.001891
5	50	310	27.9	19.500671	1.29278e-20	-72.641638
5	75	310	41.85	29.036350	1e-40	-80.295547
5	100	310	55.8	29.835157	1e-40	-87.980533

6	50	310	27.9	19.924418	2.65163e-22	-71.648248
6	75	310	41.85	28.436556	1e-40	-79.318689
6	100	310	55.8	28.830582	1e-40	-87.003820

Tabla 57. Comportamiento del sistema DWDM con DCF, al aumentar la potencia de todos los canales, longitud SSMF-28 310 Km, canal de Transmisión 193.1 Thz.

Potencia de transmisión (dBm)	Porcentaje de compensación (%)	Longitud SMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Q (dB)	BER	Potencia de recepción (dBm)
3	50	315	28.35	17.852843	1.31269e-14	-75.886953
3	75	315	42.525	30.546918	1e-40	-83.662066
3	100	315	56.7	31.836118	1e-40	-91.474848
4	50	315	28.35	16.574165	1.55398e-11	-74.892039
4	75	315	42.525	30.202444	1e-40	-82.687565
4	100	315	56.7	30.901102	1e-40	-90.490938
5	50	315	28.35	18.890028	6.85982e-19	-73.891998
5	75	315	42.525	28.961696	1e-40	-81.665840
5	100	315	56.7	29.901765	1e-40	-89.474786
6	50	315	28.35	18.890028	6.85982e-19	-73.891998
6	75	315	42.525	28.961696	1e-40	-81.665840
6	100	315	56.7	29.901765	1e-40	-89.474786

Tabla 58. Comportamiento del sistema DWDM con DCF, al aumentar la potencia de todos los canales, longitud SSMF-28 315 Km, canal de Transmisión 193.1 Thz.

Potencia de transmisión (dBm)	Porcentaje de compensación (%)	Longitud SMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Q (dB)	BER	Potencia de recepción (dBm)
3	50	320	28.8	17.887679	4.90136e-15	-77.121921
3	75	320	43.2	30.637121	1e-40	-85.034600
3	100	320	57.6	32.170948	1e-40	-92.975848
4	50	320	28.8	16.473444	1.50783e-11	-76.144910
4	75	320	43.2	29.680679	1e-40	-84.058350
4	100	320	57.6	30.856784	1e-40	-91.987368

5	50	320	28.8	16.395791	4.65729e-11	-75.123861
5	75	320	43.2	28.803402	1e-40	-83.036805
5	100	320	57.6	29.845220	1e-40	-90.970551
6	50	320	28.8	19.508461	1.7098e-21	-74.150146
6	75	320	43.2	28.492639	1e-40	-82.060444
6	100	320	57.6	29.234294	1e-40	-89.994158

Tabla 59. Comportamiento del sistema DWDM con DCF, al aumentar la potencia de todos los canales, longitud SSMF-28 320 Km, canal de Transmisión 193.1 Thz.

Potencia de transmisión (dBm)	Porcentaje de compensación (%)	Longitud SMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Q (dB)	BER	Potencia de recepción (dBm)
3	50	325	29.25	17.600277	1.78883e-14	-78.370655
3	75	325	43.875	30.627442	1e-40	-86.405355
3	100	325	58.5	32.227148	1e-40	-94.469658
4	50	325	29.25	16.488361	1.71999e-11	-77.396347
4	75	325	43.875	28.825746	1e-40	-85.425061
4	100	325	58.5	30.956668	1e-40	-93.481069
5	50	325	29.25	16.132605	1.05794e-10	-76.372575
5	75	325	43.875	28.692731	1e-40	-84.407542
5	100	325	58.5	30.019461	1e-40	-92.465761
6	50	325	29.25	19.245599	6.61836e-20	-75.399265
6	75	325	43.875	28.565688	1e-40	-83.431475
6	100	325	58.5	29.573371	1e-40	-91.488253

Tabla 60. Comportamiento del sistema DWDM con DCF, al aumentar la potencia de todos los canales, longitud SSMF-28 325 Km, canal de Transmisión 193.1 Thz.

Ptx (dBm)	Os nr in (dB)	DC F (%)	Lon SSM F-28 (Km)	Lon DCF (Km)	Q-Cuadratura		P-Fase		OSNR Out (dB)	PRx (dBm)
					Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER		

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

0	38.653981	50	159	21.465	30.712241	1e-40	30.777340	1e-40	48.709675	-39.962879
		75			32.137214	1e-40	32.124071	1e-40	46.443189	-43.929337
3		50	333	29.97	17.659004	7.65404e-14	17.032246	5.96361e-13	42.192656	-80.368705
		75	598	80.73	17.005676	1.28856e-12	17.096095	5.69447e-13	38.721127	-161.278873
4		50	333	29.97	17.373528	2.99205e-13	17.021354	2.39288e-12	42.433997	-79.396283
		75	672	90.72	17.922979	2.08244e-15	17.362393	7.95983e-14	19.394135	-180.605865
5		50	319	28.71	18.023167	8.25521e-16	17.737838	6.45809e-15	42.524926	-74.888675
		75	697	94.095	17.469285	6.0981e-14	17.008604	9.69037e-13	13.547482	-186.452518
		100	1100	198	30.393421	1e-40	30.552712	1e-40	No detectado	No detectado
6		50	350	31.5	18.070705	5.813e-16	17.580328	1.88335e-14	42.351019	-81.633264
		75	674	90.99	18.194116	2.99005e-16	17.745813	9.99564e-15	20.852773	-179.147227

Tabla 61. Máximo alcance de la SSMF hasta donde se cumple los parámetros objetivos (BER y Q).

Potencia de	OSN R In	Longitud	Longitud	Compensación	Potencia	Ganancia	OSN R out	Q-cuadratura	P-fase	Potencia de
-------------	----------	----------	----------	--------------	----------	----------	-----------	--------------	--------	-------------

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

transmisión (dB m)	(dB)	SS MF-28 (K m)	DC F (K m)	(%)	ED FA (dB m)	EDF A (dB)	(dB)	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	recepción (dB m)
0	38.653980	159	21.465	75	0	35	46.435925	24.096023	1e-40	24.008603	1e-40	-12.290250
0				75	2	35	45.598615	23.641633	1e-40	23.272167	1e-40	-10.313664
0				75	4	35	46.123687	23.717841	1e-40	23.861743	1e-40	-8.894578
0				75	6	35	45.902474	23.490775	1e-40	24.206456	1e-40	-8.886710
0				75	8	35	45.507644	24.191107	1e-40	23.568910	1e-40	-8.890044
0		159	14.31	50	0	35	48.307835	23.482382	1e-40	23.576723	1e-40	-8.325568
0				50	2	35	48.477854	23.068033	1e-40	22.735603	1e-40	-6.349965
0				50	4	35	47.795031	23.473312	1e-40	23.485262	1e-40	-4.932535
0				50	6	35	48.811340	23.220448	1e-40	23.262983	1e-40	-4.924130
0				50	8	35	48.353928	23.544365	1e-40	22.873874	1e-40	-4.928380
3	38.653984	598	80.73	75	0	35	36.333931	6.020600	0.0227501	6.020600	0.0227501	-63.693682
3				75	2	35	37.193634	6.020600	0.0227501	6.020600	0.0227501	-63.872378
3				75	4	35	36.884990	6.020600	0.0227501	6.020600	0.0227501	-63.884990

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

												0
3				75	6	35	37.7 2663 7	6.02 0600	0.02 2750 1	6.02 0600	0.02 2750 1	- 63.8 3200 2
3				75	8	35	37.5 6082 1	6.02 0600	0.02 2750 1	6.02 0600	0.02 2750 1	- 63.7 6265 0
3		333	29. 97	50	0	35	37.1 6499 7	6.02 0600	0.02 2750 1	6.02 0600	0.02 2750 1	- 35.3 8697 0
3				50	2	35	36.2 3351 4	6.02 0600	0.02 2750 1	6.02 0600	0.02 2750 1	- 35.5 2788 9
3				50	4	35	37.8 1997 1	6.02 0600	0.02 2750 1	6.02 0600	0.02 2750 1	- 35.2 8193 7
3				50	6	35	35.9 2189 2	6.02 0600	0.02 2750 1	6.02 0600	0.02 2750 1	- 35.4 7261 8
3				50	8	35	37.4 7085 4	6.02 0600	0.02 2750 1	6.02 0600	0.02 2750 1	- 35.4 3487 8
4		672	90. 72	75	0	35	35.7 4640 8	6.02 0600	0.02 2750 1	6.02 0600	0.02 2750 1	- 69.1 7165 8
4				75	2	35	39.3 1581 4	6.02 0600	0.02 2750 1	6.02 0600	0.02 2750 1	- 69.3 6425 7
4				75	4	35	35.1 3660 3	6.02 0600	0.02 2750 1	6.02 0600	0.02 2750 1	- 69.1 7894 6
4				75	6	35	37.0 6865 6	6.02 0600	0.02 2750 1	6.02 0600	0.02 2750 1	- 69.3 0386 3
4				75	8	35	36.3 1018 4	6.02 0600	0.02 2750 1	6.02 0600	0.02 2750 1	- 69.2 8145

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

												5
4		333	29.97	50	0	35	37.277202	6.020600	0.0227501	6.020600	0.0227501	-35.281583
4				50	2	35	36.424909	6.020600	0.0227501	6.020600	0.0227501	-35.424909
4				50	4	35	37.894532	6.020600	0.0227501	6.020600	0.0227501	-35.179092
4				50	6	35	35.954111	6.020600	0.0227501	6.020600	0.0227501	-35.369213
4				50	8	35	37.524786	6.020600	0.0227501	6.020600	0.0227501	-35.332864
5		697	94.095	75	0	35	34.249104	6.020600	0.0227501	6.020600	0.0227501	-71.041837
5				75	2	35	37.625808	6.020600	0.0227501	6.020600	0.0227501	-71.217911
5				75	4	35	36.969360	6.020600	0.0227501	6.020600	0.0227501	-71.025095
5				75	6	35	34.839334	6.020600	0.0227501	6.020600	0.0227501	-71.164870
5				75	8	35	35.925897	6.020600	0.0227501	6.020600	0.0227501	-71.132163
5		319	28.71	50	0	35	37.031190	6.020600	0.0227501	6.020600	0.0227501	-33.975006
5				50	2	35	35.51552	6.020600	0.022750	6.020600	0.022750	-33.9

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

							7		1		1	6905 6
5				50	4	35	36.7 1028 8	6.02 0600	0.02 2750 1	6.02 0600	0.02 2750 1	- 33.6 7289 4
5				50	6	35	35.6 3183 1	6.02 0600	0.02 2750 1	6.02 0600	0.02 2750 1	- 33.9 7601 7
5				50	8	35	35.7 3496 3	6.02 0600	0.02 2750 1	6.02 0600	0.02 2750 1	- 33.9 2397 7
6		674	90. 99	75	0	35	36.6 2151 8	6.02 0600	0.02 2750 1	6.02 0600	0.02 2750 1	- 69.3 1913 7
6				75	2	35	39.5 7559 3	6.02 0600	0.02 2750 1	6.02 0600	0.02 2750 1	- 69.5 1142 1
6				75	4	35	37.0 9251 7	6.02 0600	0.02 2750 1	6.02 0600	0.02 2750 1	- 69.3 2308 4
6				75	6	35	36.1 4002 3	6.02 0600	0.02 2750 1	6.02 0600	0.02 2750 1	- 69.4 5986 9
6				75	8	35	37.5 9491 4	6.02 0600	0.02 2750 1	6.02 0600	0.02 2750 1	- 69.4 2675 1
6		350	31. 5	50	0	35	35.6 3008 7	6.02 0600	0.02 2750 1	6.02 0600	0.02 2750 1	- 36.1 3224 0
6				50	2	35	36.4 6276 8	6.02 0600	0.02 2750 1	6.02 0600	0.02 2750 1	- 36.3 6185 6
6				50	4	35	36.3 7143 7	6.02 0600	0.02 2750 1	6.02 0600	0.02 2750 1	- 36.2 2973 0
6				50	6	35	36.4 5046	6.02 0600	0.02 2750	6.02 0600	0.02 2750	- 36.3

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

							1		1		1	0607 2
6				50	8	35	36.6 2358 9	6.02 0600	0.02 2750 1	6.02 0600	0.02 2750 1	- 36.3 7467 4

Tabla 62. Amplificación Inline para el segmento de red con DCF, canal de transmisión 193.1 Thz.

Potencia de transmisión (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SS MF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Compensación (%)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Potencia de recepción (dBm)
								Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	
0	38.6 539 80	159	21.465	75	0	35	46.2 1700 2	32.1 5351 9	1e-40	32.1 2519 8	1e-40	- 43.9 0722 8
0				75	2	35	46.3 9331 5	32.1 4795 5	1e-40	32.2 2861 0	1e-40	- 41.9 1146 0
0				75	4	35	46.4 5513 3	32.1 5063 6	1e-40	32.1 0794 1	1e-40	- 39.8 6586 1
0				75	6	35	46.6 3302 2	32.0 8454 6	1e-40	32.0 7458 3	1e-40	- 37.8 7393 9
0				75	8	35	46.3 7891 8	31.8 4463 8	1e-40	31.7 0809 5	1e-40	- 35.8 6910 0
0		159	14.31	50	0	35	48.4 8912 8	30.7 2231 0	1e-40	30.8 0126 8	1e-40	- 39.9 4074 7
0	50			2	35	48.5 5294 6	30.4 0829 4	1e-40	30.4 1885 9	1e-40	- 37.9 8584 6	
0	50			4	35	48.9 4732 7	30.7 6405 8	1e-40	30.8 9980 0	1e-40	- 35.9 3650 5	

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

0				50	6	35	49.1 3503 3	30.4 6770 9	1e- 40	30.2 6054 7	1e- 40	- 33.9 7576 1
0				50	8	35	50.0 2921 9	30.4 1335 5	1e- 40	30.9 2065 0	1e- 40	- 31.9 2072 2
3	38.6 539 84	598	80. 73	75	0	35	35.7 2302 3	17.2 6060 0	6.33 17e- 13	17.1 3654 4	9.83 272	- 164. 2769 77
3				75	2	35	37.7 2696 8	17.4 3774 1	7.38 162 e-14	17.2 4677 0	3.71 662 e-13	- 162. 2730 32
3				75	4	35	39.7 2042 1	20.1 9038 7	3.12 448 e-24	19.7 1614 5	3.08 702 e-21	- 160. 2795 79
3				75	6	35	41.7 2990 1	20.7 1503 8	1.02 962 e-27	20.1 1675 1	1.54 902 e-23	- 158. 2700 99
3				75	8	35	43.7 3232 8	21.1 5412 3	1.40 123 e-29	20.7 0616 2	1.13 283 e-27	- 156. 2676 72
3	333	29. 97	50	0	35	42.2 5690 5	16.8 1048 3	8.51 421 e-12	16.4 4255 5	4.23 81e- 11	- 83.3 4586 8	
3				50	2	35	42.2 6078 2	17.1 3129 0	1.54 981 e-12	16.7 3442 4	1.40 376 e-11	- 81.3 4909 7
3				50	4	35	42.3 8139 5	17.3 7189 9	8.88 302 e-14	17.0 1434 4	2.19 023 e-12	- 79.3 7431 9
3				50	6	35	42.2 9467 1	19.5 3548 3	1.05 978 e-20	18.8 7116 1	9.22 501 e-18	- 77.3 7396 4
3				50	8	35	42.1 0697 9	20.4 1867 9	1.33 794 e-24	19.9 0643 9	5.03 612 e-23	- 75.3 7496

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

												8
4		672	90.72	75	0	35	15.4 1338 5	16.9 9129 9	3.25 165 e-12	16.5 0005 3	1.18 942 e-11	- 184. 5866 15
4				75	2	35	17.4 1107 2	17.7 8918 4	9.18 361 e-15	17.1 6565 8	5.69 68e- 13	- 182. 5889 28
4				75	4	35	19.4 1643 2	17.3 4089 4	9.16 031 e-14	16.8 8014 5	5.89 075 e-12	- 180. 5835 68
4				75	6	35	21.4 2717 3	15.9 6515 3	2.35 458 e-10	15.8 4054 6	2.90 23e- 10	- 178. 5728 27
4				75	8	35	23.4 2969 2	19.5 0403 6	1.01 2e- 20	19.1 5434 0	6.24 429 e-19	- 176. 5703 08
4		333	29.97	50	0	35	42.2 5690 5	16.8 1048 4	8.51 415 e-12	16.4 4255 6	4.23 809 e-11	- 83.3 4585 2
4				50	2	35	42.2 6078 2	17.1 3129 2	1.54 98e- 12	16.7 3442 7	1.40 375 e-11	- 81.3 4908 1
4				50	4	35	42.3 8265 7	17.3 7266 6	8.93 466 e-14	17.0 1562 0	2.12 516 e-12	- 79.3 7437 8
4				50	6	35	42.2 9520 5	19.5 3493 9	1.08 592 e-20	18.8 7145 4	9.21 264 e-18	- 77.3 7398 0
4				50	8	35	42.1 0621 3	20.4 1870 2	1.36 185 e-24	19.9 0608 8	5.12 208 e-23	- 75.3 7495 0
5		697	94.095	75	0	35	No dete ctad o	16.7 7734 1	3.04 575 e-12	16.1 9161 7	8.27 873 e-11	No detec tado
5				75	2	35	10.5	16.7	3.72	16.2	6.58	-

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

							5606 6	6173 6	089 e-12	2939 1	413 e-11	189. 4439 34
5				75	4	35	12.5 7948 5	14.7 8735 2	2.12 773 e-8	14.6 0482 2	6.38 763 e-8	- 187. 4205 15
5				75	6	35	14.5 7337 6	15.3 5639 5	2.33 51e- 9	15.1 6182 0	6.82 58e- 9	- 185. 4266 24
5				75	8	35	16.5 7435 1	18.7 9982 4	2.17 71e- 18	18.4 6178 3	3.51 36e- 16	- 183. 4256 49
5		319	28. 71	50	0	35	42.4 5557 7	17.6 3706 2	1.32 16e- 14	17.2 4508 3	1.72 222	- 79.8 59
5				50	2	35	42.3 4368 3	18.0 4214 8	1.38 855 e-15	17.5 7755 5	2.81 258 e-14	- 77.8 3894 2
5				50	4	35	42.5 9595 2	16.5 6972 1	8.37 894 e-12	16.5 2783 3	1.52 912 e-11	- 75.8 7121 8
5				50	6	35	42.3 5970 5	20.2 6290 6	4.07 554 e-24	19.5 7859 6	8.70 418 e-22	- 73.8 7635 4
5				50	8	35	41.9 8395 6	21.0 7947 0	6.37 86e- 29	20.5 2369 1	6.95 124 e-26	- 71.8 7901 5
6		674	90. 99	75	0	35	14.8 6498 2	16.9 3092 6	5.23 128 e-12	16.4 4303 3	1.62 819 e-11	- 185. 1350 18
6				75	2	35	16.8 6267 6	17.7 2736 3	1.18 761 e-14	17.1 0552 3	7.39 953 e-13	- 183. 1373 24
6				75	4	35	18.8 6800 5	17.2 8396 1	1.28 652 e-13	16.8 2419 8	8.72 943 e-12	- 181. 1319 95

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

6				75	6	35	20.8 7867 2	15.9 1940 2	2.77 449 e-10	15.7 9237 4	3.61 626 e-10	- 179. 1213 28
6				75	8	35	22.8 8117 8	19.4 4517 2	1.09 4e- 20	19.1 0943 9	8.57 203 e-19	- 177. 1188 22
6		350	31. 5	50	0	35	42.3 1690 1	16.1 0374 1	9.52 718 e-11	15.7 1780 9	5.31 723 e-10	- 87.5 6401 2
6				50	2	35	42.2 3446 0	15.2 3990 1	5.60 979 e-9	15.1 4032 2	6.15 405 e-9	- 85.6 3846 5
6				50	4	35	42.3 5575 4	17.8 3720 3	5.48 994 e-15	17.2 2911 2	5.71 628 e-13	- 83.6 0548 8
6				50	6	35	42.3 0513 6	16.3 4607 6	2.83 578 e-11	16.1 3103 5	1.75 241 e-10	- 81.5 9859 6
6				50	8	35	42.3 5295 1	16.1 4896 7	2.83 578 e-11	16.0 1949 8	1.27 249 e-10	- 79.5 9838 2

Tabla 63. Amplificación Booster para el segmento de red con DCF, canal de transmisión 193.1 Thz.

Ptx (dBm)	Área Efectiva (µm ²)	OSNR In (dB)	Porcentaje de compensación (%)	Longitud SMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Prx (dBm)
									Q (dB)	BER	Q (dB)	BER	
5	18	38.653 981	50	319	28.7 1	8	35	41.97 9669	21.08 0069	6.59 66e- 29	20.5 2397 8	7.04 18e- 26	- 71.879 030
		38.653 981	75	697	94.0 95	8	35	16.57 4545	18.80 6568	2.29 778e -18	18.4 8363 7	2.36 17e- 16	- 183.42 5455
	20	38.653 981	50	319	28.7 1	8	35	41.97 9669	21.08 0069	6.59 663e -29	20.5 2397 8	7.04 185e -26	- 71.879 030
		38.653 981	75	697	94.0 95	8	35	16.57 4545	18.80 6568	2.29 778e	18.4 8363	2.36 17e-	- 183.42

										-18	7	16	5455
	21	38.653 981	50	319	28.7 1	8	35	41.97 9669	21.08 0069	6.59 663e -29	20.5 2397 8	7.04 185e -26	- 71.879 030
		38.653 981	75	697	94.0 95	8	35	16.57 4545	18.80 6568	2.29 778e -18	18.4 8363 7	2.36 17e- 16	- 183.42 5455

Tabla 64. Distancia máxima que se alcanza al variar el área efectiva de la DCF.

Ptx (dBm)	Área Efectiva (μm^2)	OSNR In (dB)	Porcentaje de compensación (%)	Longitud SMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Prx (dBm)
									Q (dB)	BER	Q (dB)	BER	
5	8	38.653 981	50	319	28.7 1	4	10	42.66 7220	16.59 7611	6.90 419e -12	16.54 6592	2.118 23e- 11	- 75.87 0970
	10	42.66 7221						16.59 7611	6.90 419e -12	16.54 6592	2.118 23e- 11	- 75.87 0970	
	12	42.66 7221						16.59 7611	6.90 419e -12	16.54 6592	2.118 23e- 11	- 75.87 0970	
	14	42.66 7221						16.59 7611	6.90 419e -12	16.54 6591	2.118 24e- 11	- 75.87 0970	
	16	42.66 7221						16.59 7610	6.90 42e- 12	16.54 6591	2.118 24e- 11	- 75.87 0970	

Tabla 65. Parámetros objetivo al variar el área efectiva de la DCF entre (8-16 μm^2).

Ptx (dBm)	Área Efectiva (μm^2)	OSNR In (dB)	Porcentaje de compensación (%)	Longitud SMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Prx dBm
									Q dB	BER	Q dB	BER	
5	23	38.653 981	50	319	28.7 1	4	10	42.66 7221	16.59 7610	6.90 42e- 12	16.54 6591	2.118 24e- 11	- 75.87 0970
	26	42.66 7221						16.59 7610	6.90 42e- 12	16.54 6591	2.118 24e- 11	- 75.87 0970	
	29	42.66 7221						16.59 7610	6.90 42e- 12	16.54 6591	2.118 24e- 11	- 75.87 0970	
	32	42.66 7222						16.59 7610	6.90 42e- 12	16.54 6591	2.118 24e- 11	- 75.87 0970	

										12		11	0970
	34	38.653 981						42.66 7222	16.59 7610	6.90 42e- 12	16.54 6591	2.118 24e- 11	- 75.87 0970

Tabla 66. Parámetros objetivo al variar el área efectiva de la DCF entre (23-34 μm^2).

Ptx (dBm)	Área Efectiva (μm^2)	OSNR In (dB)	Porcentaje de compensación (%)	Longitud SMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Prx (dBm)
									Q (dB)	BER	Q (dB)	BER	
5	8	38.653 981	75	697	94.0 95	4	10	12.57 9578	14.77 7325	2.34 817e- -08	14.62 6642	3.614 84e- 08	- 187.4 20422
	10	38.653 981						12.57 9578	14.77 7325	2.34 817e- -08	14.62 6642	3.614 84e- 08	- 187.4 20422
	12	38.653 981						12.57 9578	14.77 7325	2.34 817e- -08	14.62 6642	3.614 84e- 08	- 187.4 20422
	14	38.653 981						12.57 9578	14.77 7325	2.34 817e- -08	14.62 6642	3.614 84e- 08	- 187.4 20422
	16	38.653 981						12.57 9578	14.77 7325	2.34 817e- -08	14.62 6642	3.614 84e- 08	- 187.4 20422

Tabla 67. Parámetros objetivo al variar el área efectiva de la DCF entre (8-16 μm^2).

Ptx (dBm)	Área Efectiva (μm^2)	OSNR In (dB)	Porcentaje de compensación (%)	Longitud SMF-28 (Km)	Longitud DCF (Km)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Prx (dBm)
									Q (dB)	BER	Q (dB)	BER	
5	23	38.653 981	75	697	94.0 95	4	10	12.57 9578	14.77 7325	2.34 817e- -08	14.62 6642	3.614 84e- 08	- 187.4 20422
	26	38.653 981						12.57 9578	14.77 7325	2.34 817e- -08	14.62 6642	3.614 84e- 08	- 187.4 20422
	29	38.653 981						12.57 9578	14.77 7325	2.34 817e- -08	14.62 6642	3.614 84e- 08	- 187.4 20422
	32	38.653 981						12.57 9578	14.77 7325	2.34 817e- -08	14.62 6642	3.614 84e- 08	- 187.4 20422
	34	38.653 981						12.57 9578	14.77 7325	2.34 817e- -08	14.62 6642	3.614 84e- -08	- 187.4

Tabla 68. Parámetros objetivo al variar el área efectiva de la DCF entre (23-34 μm^2).

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF -28 (Km)	Área Efectiva DCF (μm^2)	Compensación (%)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Prx (dBm)
								Q (dB)	BER	Q (dB)	BER	
5	38.653 981	319	8	50	5	10	42.66 5671	16.387 314	2.885 62e-11	16.434 602	5.3155 7e-11	- 74.850 351
	38.653 981				10	10	41.95 7675	22.067 580	3.661 72e-36	21.836 681	5.9228 7e-35	- 69.894 279
	38.653 981				20	10	41.24 2750	20.947 258	1.307 97e-28	20.856 349	5.4337 2e-27	- 65.656 550
	38.653 981				30	10	41.24 2750	20.947 258	1.307 97e-28	20.856 349	5.4337 2e-27	- 65.656 550
	38.653 981				40	10	41.24 2750	20.947 258	1.307 97e-28	20.856 349	5.4337 2e-27	- 65.656 550
	38.653 981				50	10	41.24 2750	20.947 258	1.307 97e-28	20.856 349	5.4337 2e-27	- 65.656 550
	38.653 981				60	10	41.24 2750	20.947 258	1.307 97e-28	20.856 349	5.4337 2e-27	- 65.656 550
	38.653 981				70	10	41.24 2750	20.947 258	1.307 97e-28	20.856 349	5.4337 2e-27	- 65.656 550

Tabla 69. Comportamiento segmento de red al variar la potencia del amplificador, con 50% de compensación DCF.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF -28 (Km)	Área Efectiva DCF (μm^2)	Compensación (%)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Prx (dBm)
								Q (dB)	BER	Q (dB)	BER	
5	38.653 981	319	34	50	5	10	42.66 5671	16.387 314	2.885 61e-11	16.434 601	5.3155 7e-11	- 74.850 351
	38.653 981				10	10	41.95 7675	22.067 581	3.661 56e-36	21.836 679	5.9226 2e-35	- 69.894 279

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

38.653 981				20	10	41.24 2751	20.947 255	1.308 27e- 28	20.856 351	5.4337 e-27	- 65.656 550
38.653 981				30	10	41.24 2751	20.947 255	1.308 27e- 28	20.856 351	5.4337 e-27	- 65.656 550
38.653 981				40	10	41.24 2751	20.947 255	1.308 27e- 28	20.856 351	5.4337 e-27	- 65.656 550
38.653 981				50	10	41.24 2751	20.947 255	1.308 27e- 28	20.856 351	5.4337 e-27	- 65.656 550
38.653 981				60	10	41.24 2751	20.947 255	1.308 27e- 28	20.856 351	5.4337 e-27	- 65.656 550
38.653 981				70	10	41.24 2751	20.947 255	1.308 27e- 28	20.856 351	5.4337 e-27	- 65.656 550

Tabla 70. Comportamiento segmento de red al variar la potencia del amplificador, con 50% de compensación DCF.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF -28 (Km)	Área Efectiva DCF (μm^2)	Compensación (%)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Prx (dBm)
								Q (dB)	BER	Q (dB)	BER	
5	38.653 981	697	8	75	5	10	13.56 9519	17.490 340	6.217 21e- 14	17.034 616	9.0853 9e-13	- 186.43 0481
	38.653 981				10	10	18.55 5306	20.178 357	3.690 11e- 24	20.057 436	4.2953 5e-24	- 181.44 4694
	38.653 981				20	10	22.76 5916	20.408 970	9.104 11e- 26	19.608 871	5.9524 5e-22	- 177.23 4084
	38.653 981				30	10	22.76 5916	20.408 970	9.104 11e- 26	19.608 871	5.9524 5e-22	- 177.23 4084
	38.653 981				40	10	22.76 5916	20.408 970	9.104 11e- 26	19.608 871	5.9524 5e-22	- 177.23 4084
	38.653 981				50	10	22.76 5916	20.408 970	9.104 11e- 26	19.608 871	5.9524 5e-22	- 177.23 4084
	38.653 981				60	10	22.76 5916	20.408 970	9.104 11e- 26	19.608 871	5.9524 5e-22	- 177.23 4084

	38.653 981				70	10	22.76 5916	20.408 970	9.104 11e- 26	19.608 871	5.9524 5e-22	- 177.23 4084
--	---------------	--	--	--	----	----	---------------	---------------	---------------------	---------------	-----------------	---------------------

Tabla 71. Comportamiento segmento de red al variar la potencia del amplificador, con 75% de compensación DCF.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF -28 (Km)	Área Efectiva DCF (µm ²)	Compensación (%)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Prx (dBm)
								Q (dB)	BER	Q (dB)	BER	
5	38.653 981	697	34	75	5	10	13.56 9519	17.490 340	6.217 21e- 14	17.034 616	9.0853 9e-13	- 186.43 0481
	38.653 981				10	10	18.55 5306	20.178 357	3.690 11e- 24	20.057 436	4.2953 5e-24	- 181.44 4694
	38.653 981				20	10	22.76 5916	20.408 970	9.104 11e- 26	19.608 871	5.9524 5e-22	- 177.23 4084
	38.653 981				30	10	22.76 5916	20.408 970	9.104 11e- 26	19.608 871	5.9524 5e-22	- 177.23 4084
	38.653 981				40	10	22.76 5916	20.408 970	9.104 11e- 26	19.608 871	5.9524 5e-22	- 177.23 4084
	38.653 981				50	10	22.76 5916	20.408 970	9.104 11e- 26	19.608 871	5.9524 5e-22	- 177.23 4084
	38.653 981				60	10	22.76 5916	20.408 970	9.104 11e- 26	19.608 871	5.9524 5e-22	- 177.23 4084
	38.653 981				70	10	22.76 5916	20.408 970	9.104 11e- 26	19.608 871	5.9524 5e-22	- 177.23 4084

Tabla 72. Comportamiento segmento de red al variar la potencia del amplificador, con 75% de compensación DCF.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF -28 (Km)	Área Efectiva DCF (µm ²)	Compensación (%)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Prx (dBm)
								Q (dB)	BER	Q (dB)	BER	
	38.653 981					10	42.66 7220	16.597 611	6.90419 e-12	16.54 6592	2.1182 3e-11	- 75.870 970
	38.653					15	42.66	16.597	6.90419	16.54	2.1182	-

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

5	981	319	8	50	4		7220	611	e-12	6592	3e-11	75.870 970
	38.653 981					20	42.66 7220	16.597 611	6.90419 e-12	16.54 6592	2.1182 3e-11	- 75.870 970
	38.653 981					25	42.66 7220	16.597 611	6.90419 e-12	16.54 6592	2.1182 3e-11	- 75.870 970
	38.653 981					30	42.66 7220	16.597 611	6.90419 e-12	16.54 6592	2.1182 3e-11	- 75.870 970
	38.653 981					35	42.66 7220	16.597 611	6.90419 e-12	16.54 6592	2.1182 3e-11	- 75.870 970
	38.653 981					40	42.66 7220	16.597 611	6.90419 e-12	16.54 6592	2.1182 3e-11	- 75.870 970
	38.653 981					45	42.66 7220	16.597 611	6.90419 e-12	16.54 6592	2.1182 3e-11	- 75.870 970

Tabla 73. Comportamiento segmento de red al variar la ganancia del amplificador, con 50% de compensación DCF.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF -28 (Km)	Área Efectiva DCF (µm²)	Compensación (%)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Prx (dBm)
								Q (dB)	BER	Q (dB)	BER	
5	38.653 981	319	34	50	4	10	42.66 7222	16.597 610	6.904 2e-12	16.546 591	2.1182 4e-11	- 75.870 970
	38.653 981					15	42.66 7222	16.597 610	6.904 2e-12	16.546 591	2.1182 4e-11	- 75.870 970
	38.653 981					20	42.66 7222	16.597 610	6.904 2e-12	16.546 591	2.1182 4e-11	- 75.870 970
	38.653 981					25	42.66 7222	16.597 610	6.904 2e-12	16.546 591	2.1182 4e-11	- 75.870 970
	38.653 981					30	42.66 7222	16.597 610	6.904 2e-12	16.546 591	2.1182 4e-11	- 75.870 970
	38.653 981					35	42.66 7222	16.597 610	6.904 2e-12	16.546 591	2.1182 4e-11	- 75.870 970

	38.653 981					40	42.66 7222	16.597 610	6.904 2e-12	16.546 591	2.1182 4e-11	- 75.870 970
	38.653 981					45	42.66 7222	16.597 610	6.904 2e-12	16.546 591	2.1182 4e-11	- 75.870 970

Tabla 74. Comportamiento segmento de red al variar la ganancia del amplificador, con 50% de compensación DCF.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF -28 (Km)	Área Efectiva DCF (µm ²)	Compensación (%)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Prx (dBm)
								Q (dB)	BER	Q (dB)	BER	
5	38.653 981	697	8	75	4	10	12.57 9578	14.777 325	2.348 17e-08	14.626 642	3.6148 4e-08	- 187.42 0422
	38.653 981					15	12.57 9578	14.777 325	2.348 17e-08	14.626 642	3.6148 4e-08	- 187.42 0422
	38.653 981					20	12.57 9578	14.777 325	2.348 17e-08	14.626 642	3.6148 4e-08	- 187.42 0422
	38.653 981					25	12.57 9578	14.777 325	2.348 17e-08	14.626 642	3.6148 4e-08	- 187.42 0422
	38.653 981					30	12.57 9578	14.777 325	2.348 17e-08	14.626 642	3.6148 4e-08	- 187.42 0422
	38.653 981					35	12.57 9578	14.777 325	2.348 17e-08	14.626 642	3.6148 4e-08	- 187.42 0422
	38.653 981					40	12.57 9578	14.777 325	2.348 17e-08	14.626 642	3.6148 4e-08	- 187.42 0422
	38.653 981					45	12.57 9578	14.777 325	2.348 17e-08	14.626 642	3.6148 4e-08	- 187.42 0422

Tabla 75. Comportamiento segmento de red al variar la ganancia del amplificador, con 75% de compensación DCF.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF -28 (Km)	Área Efectiva DCF (µm ²)	Compensación (%)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Prx (dBm)
								Q (dB)	BER	Q (dB)	BER	
	38.653 981					10	12.57 9578	14.777 325	2.348 17e-08	14.626 642	3.6148 4e-08	- 187.42 0422

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

5	38.653 981	697	34	75	4	15	12.57 9578	14.777 325	2.348 17e-08	14.626 642	3.6148 4e-08	- 187.42 0422
	38.653 981					20	12.57 9578	14.777 325	2.348 17e-08	14.626 642	3.6148 4e-08	- 187.42 0422
	38.653 981					25	12.57 9578	14.777 325	2.348 17e-08	14.626 642	3.6148 4e-08	- 187.42 0422
	38.653 981					30	12.57 9578	14.777 325	2.348 17e-08	14.626 642	3.6148 4e-08	- 187.42 0422
	38.653 981					35	12.57 9578	14.777 325	2.348 17e-08	14.626 642	3.6148 4e-08	- 187.42 0422
	38.653 981					40	12.57 9578	14.777 325	2.348 17e-08	14.626 642	3.6148 4e-08	- 187.42 0422
	38.653 981					45	12.57 9578	14.777 325	2.348 17e-08	14.626 642	3.6148 4e-08	- 187.42 0422

Tabla 76. Comportamiento segmento de red al variar la ganancia del amplificador, con 75% de compensación DCF.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Compensación (%)	Longitud DCF (Km)	Área Efectiva DCF (μm ²)	Potencia EDFA (dBm)	Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Prx (dBm)
									Q (dB)	BER	Q (dB)	BER	
5	38.653 981	743	75	100.30 5	8	20	10	10.1 5786 3	19.56 5045	8.558 53e-21	19.08 6799	1.045 1e-18	- 189.8 4213 7
5	38.653 981	357	50	32.13		10		43.0 8632 7	17.34 7857	1.606 96e-13	17.03 8684	1.607 83e-12	- 79.37 0078

Tabla 77. Distancia máxima alcanzada con un área efectiva, variando los porcentajes de compensación en 75 y 50 %.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Compensación (%)	Longitud DCF (Km)	Atenuación DCF (dBm/km)	Perdidas DCF, por la atenuación (dB)	OSNR Out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Prx (dBm)
								Q (dB)	BER	Q (dB)	BER	
					0.1	3.213	43.086 328	17.34 7858	1.606 94e-	17.03 8684	1.607 82e-	- 64.91

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

5	38.653 981	357	50	32.13					13		12	1577
					0.2	6.426	43.086 326	17.34 7858	1.606 95e- 13	17.03 8684	1.607 83e- 12	- 68.12 4577
					0.3	9.639	43.086 326	17.34 7858	1.606 94e- 13	17.03 8684	1.607 82e- 12	- 64.91 1577
					0.4	12.852	43.086 327	17.34 7858	1.606 95e- 13	17.03 8684	1.607 83e- 12	- 74.55 0577
					0.55	17.671 5	43.086 327	17.34 7857	1.606 96e- 13	17.03 8684	1.607 83e- 12	- 79.37 0078
					0.7	22.491	43.086 326	17.34 7857	1.606 95e- 13	17.03 8684	1.607 84e- 12	- 84.18 9577
					1	32.13	43.086 327	17.34 7857	1.606 95e- 13	17.03 8684	1.607 84e- 12	- 93.82 8578
					2	64.26	43.086 326	17.34 7857	1.606 95e- 13	17.03 8683	1.607 84e- 12	- 125.9 58579
					3.5	112.45 5	25.846 420	17.34 7857	1.606 96e- 13	17.03 8684	1.607 84e- 12	- 174.1 53580
5	38.653 981	743	75	100.3 05	0.1	10.030 5	42.714 957	19.56 5045	8.558 5e-21	19.08 6799	1.045 1e-18	- 144.7 04886
					0.2	20.061	42.714 956	19.56 5045	8.558 56e- 21	19.08 6799	1.045 09e- 18	- 154.7 35386
					0.3	30.091 5	35.234 113	19.56 5046	8.558 5e-21	19.08 6799	1.045 1e-18	- 164.7 65887
					0.4	40.122	25.203 614	19.56 5045	8.558 52e- 21	19.08 6799	1.045 1e-18	- 174.7 96386
					0.55	55.167 75	10.157 863	19.56 5045	8.558 53e- 21	19.08 6799	1.045 1e-18	- 189.8 42137
					0.7	70.213 5	Canal no detecta do	19.56 5045	8.558 58e- 21	19.08 6799	1.045 1e-18	Canal no detect ado
					1	100.30 5	Canal no detecta do	19.56 5045	8.558 46e- 21	19.08 6799	1.045 09e- 18	Canal no detect ado
					2	200.61	Canal	19.56	8.558	19.08	1.045	Canal

							no detectado	5045	57e-21	6799	1e-18	no detectado
					3.5	351.0675	Canal no detectado	6.020600	0.227501	6.020600	0.227501	Canal no detectado

Tabla 78. Parámetros encontrados variando la atenuación de la DCF (0.1 a 3.5 dB/Km), para porcentajes de compensación de la DCF de 75 y 50 %.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Compensación (%)	Longitud DCF (Km)	Atenuación DCF (dBm/km)	Perdidas DCF, por la atenuación (dB)	OSNR Out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Prx (dBm)
								Q (dB)	BER	Q (dB)	BER	
5	38.653981	357	50	32.13	0.24	7.7112	43.086327	17.347858	1.60695e-13	17.038684	1.60783e-12	-69.409777
					0.26	8.3538	43.086327	17.347858	1.60695e-13	17.038684	1.60783e-12	-70.052377
					0.28	8.9964	43.086325	17.347858	1.60695e-13	17.038684	1.60782e-12	-70.694977
					0.3	9.639	43.086326	17.347858	1.60695e-13	17.038684	1.60782e-12	-71.337577
					0.32	10.2816	43.086326	17.347858	1.60695e-13	17.038684	1.60783e-12	-71.980177
					0.34	10.9242	43.086326	17.347858	1.60695e-13	17.038684	1.60783e-12	-72.622777
					0.36	11.5668	43.086325	17.347858	1.60695e-13	17.038684	1.60783e-12	-73.265377
					0.38	12.2094	43.086327	17.347858	1.60695e-13	17.038684	1.60783e-12	-73.907977
5	38.653981	743	75	100.305	0.14	14.0427	42.714956	19.565045	8.55855e-21	19.086799	1.0451e-18	-148.717086
					0.16	16.0488	42.714956	19.565045	8.55854e-21	19.086799	1.04509e-18	-150.723185
					0.18	18.0549	42.714956	19.565045	8.55852e-	19.086799	1.04509e-	-152.7

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

									21		18	29287			
								0.2	20.061	42.714 956	19.56 5045	8.558 56e- 21	19.08 6799	1.045 09e- 18	- 154.7 35386
								0.22	22.067 1	42.714 957	19.56 5045	8.558 52e- 21	19.08 6799	1.045 1e-18	- 156.7 41486
								0.24	24.073 2	41.252 415	19.56 5045	8.558 53e- 21	19.08 6799	1.045 1e-18	- 158.7 47585
								0.26	26.079 3	39.246 315	19.56 5045	8.558 52e- 21	19.08 6799	1.045 1e-18	- 160.7 53685
								0.28	28.085 4	37.240 214	19.56 5046	8.558 44e- 21	19.08 6799	1.045 09e- 18	- 162.7 59786

Tabla 79. Parámetros encontrados variando la atenuación de la DCF (0.24 a 0.38 dB/Km), para porcentajes de compensación de la DCF de 50% y atenuación de la DCF (0.14 a 0.28 dB/Km), para porcentajes de compensación de la DCF de 75%.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSM F-28 (Km)	Compensación DCF (%)	Lon DCF (Km)	Atenuación DCF (dBm/km)	Perdidas DCf, por la atenuación (dB)	Variaciones en la potencia EDFA (dBm)	OSNR Out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Prx (dBm)
									Q (dB)	BER	Q (dB)	BER	
5	38.6 5398 1	357	50	32.1 3	0.24	7.711 2	4	42.78 6868	17.408 144	7.0520 2e-14	16.781 018	5.2599 6e-12	- 75.391 978
							14	42.65 3846	22.997 551	1e-40	22.668 342	6.3956 2e-40	- 65.794 428
							24	42.86 7741	20.438 274	4.8324 7e-26	19.680 907	3.1071 5e-22	- 65.194 338
							34	42.86 7741	20.438 274	4.8324 7e-26	19.680 907	3.1071 5e-22	- 65.194 338
							44	42.86 7741	20.438 274	4.8324 7e-26	19.680 907	3.1071 5e-22	- 65.194 338
							54	42.86 7741	20.438 274	4.8324 7e-26	19.680 907	3.1071 5e-22	- 65.194 338
5	38.6 5398	743	75	100.	0.14	14.04	4	41.09 0060	13.507 013	1.0788 e-06	13.284 479	1.9600 7e-06	- 158.90 99940
							14	43.10	25.763	1e-40	24.246	1e-40	-

1	305	27		1695	736		969		149.34 4379
			24	42.71 4956	19.565 045	8.5585 5e-21	19.086 799	1.0451 e-18	- 148.71 7086
			34	42.71 4956	19.565 045	8.5585 5e-21	19.086 799	1.0451 e-18	- 148.71 7086
			44	42.71 4956	19.565 045	8.5585 5e-21	19.086 799	1.0451 e-18	- 148.71 7086
			54	42.71 4956	19.565 045	8.5585 5e-21	19.086 799	1.0451 e-18	- 148.71 7086

Tabla 80. Parámetros objetivo obtenidos variando la potencia EDFA, con una atenuación de 0.24 dB/Km para 50% de compensación DCF y con atenuación de 0.14 dB/Km para 75% de compensación DCF.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSM F-28 (Km)	Compensación DCF (%)	Lon DCF (Km)	Atenuación DCF (dBm/km)	Perdidas DCF, por la atenuación (dB)	Variaciones Ganancia EDFA (dB)	OSNR Out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Prx (dBm)
									Q (dB)	BER	Q (dB)	BER	
5	38.6 5398 1	357	50	32.1 3	0.24	7.711 2	10	42.65 3846	22.997 551	1e-40	22.668 342	6.3956 2e-40	- 65.794 428
							30	42.65 3846	22.997 551	1e-40	22.668 342	6.3956 2e-40	- 65.794 428
							40	42.65 3846	22.997 551	1e-40	22.668 342	6.3956 2e-40	- 65.794 428
							50	42.65 3846	22.997 551	1e-40	22.668 342	6.3956 2e-40	- 65.794 428
							60	42.65 3846	22.997 551	1e-40	22.668 342	6.3956 2e-40	- 65.794 428
							70	42.65 3846	22.997 551	1e-40	22.668 342	6.3956 2e-40	- 65.794 428
							80	42.65 3846	22.997 551	1e-40	22.668 342	6.3956 2e-40	- 65.794 428
							10	43.10	25.763	1e-40	24.246	1e-40	-

5	38.653981	743	75	100.305	0.14	14.0427		1695	736		969		149.344379
							30	43.101695	25.763736	1e-40	24.246969	1e-40	-149.344379
							40	43.101695	25.763736	1e-40	24.246969	1e-40	-149.344379
							50	43.101695	25.763736	1e-40	24.246969	1e-40	-149.344379
							60	43.101695	25.763736	1e-40	24.246969	1e-40	-149.344379
							70	43.101695	25.763736	1e-40	24.246969	1e-40	-149.344379
							80	43.101695	25.763736	1e-40	24.246969	1e-40	-149.344379

Tabla 81. Parámetros objetivo obtenidos variando la ganancia EDFA, con una atenuación de 0.24 dB/Km para 50% de compensación DCF y con atenuación de 0.14 dB/Km para 75% de compensación DCF; la potencia EDFA se encuentra fija en 14 dBm.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Compensación DCF (%)	Lon DCF (Km)	Pérdidas DCF, por la atenuación (dB)	Atenuación DCF (dBm/km)	OSNR Out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Prx (dBm)
								Q (dB)	BER	Q (dB)	BER	
5	38.653981	325	30	17.55	1.755	0.1	39.602059	17.637333	8.77808e-14	17.139156	1.06727e-12	-53.462820
					3.51	0.2	39.602059	17.637332	8.77804e-14	17.139155	1.06728e-12	-55.217820
					5.265	0.3	39.602059	17.637331	8.77804e-14	17.139154	1.06728e-12	-56.972820
					7.02	0.4	39.602058	17.637330	8.77802e-14	17.139154	1.06729e-12	-58.727820
					9.6525	0.55	39.602058	17.637329	8.77803e-14	17.139153	1.0673e-12	-61.360320
5	38.653981	393	40	28.296	2.8296	0.1	41.266084	17.125253	2.19788e-12	17.221202	2.32808e-13	-68.110404
					5.6592	0.2	41.266084	17.125253	2.19787e-12	17.221202	2.32808e-	-70.940

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

											13	004
					8.4888	0.3	41.266 084	17.125 253	2.1978 6e-12	17.22 1202	2.328 07e- 13	- 73.769 604
					11.3184	0.4	41.266 085	17.125 253	2.1978 8e-12	17.22 1202	2.328 08e- 13	- 76.599 204
					15.5628	0.55	41.266 084	17.125 253	1.1978 7e-12	17.22 1202	2.328 08e- 13	- 80.843 604
5	38.65 3981	454	50	40.86	4.086	0.1	40.394 166	17.606 841	7.6348 6e-14	17.02 7226	2.769 38e- 12	- 81.588 171
					8.172	0.2	40.394 166	17.606 840	7.6348 5e-14	17.02 7226	2.769 37e- 12	- 85.674 171
					12.258	0.3	40.394 166	17.606 840	7.6349 e-14	17.02 7226	2.769 38e- 12	- 89.760 171
					16.344	0.4	40.394 165	17.606 840	7.6349 3e-14	17.02 7226	2.769 38e- 12	- 93.846 171
					22.473	0.55	40.394 165	17.606 840	7.6349 e-14	17.02 7226	2.769 37e- 12	- 99.975 171
5	38.65 3981	582	60	62.85 6	6.2856	0.1	41.475 859	17.100 596	8.9328 5e-13	17.22 0294	3.071 8e-13	- 109.36 7325
					12.5712	0.2	41.475 859	17.100 595	8.9328 5e-13	17.22 0294	3.071 8e-13	- 115.65 2925
					18.8568	0.3	41.475 859	17.100 595	8.9328 9e-13	17.22 0294	3.071 82e- 13	- 121.93 8525
					25.1424	0.4	41.475 859	17.100 595	8.9328 2e-13	17.22 0294	3.071 82e- 13	- 128.22 4125
					34.5708	0.55	41.475 859	17.100 595	8.9328 7e-13	17.22 0294	3.071 81e- 13	- 137.65 2525
5	38.65 3981	930	75	125.5 5	12.555	0.1	16.601 280	17.611 431	1.6043 e-14	17.44 9509	7.555 91e- 14	- 183.39 8720
					25.11	0.2	Canal no detecta do	17.611 431	1.6043 e-14	17.44 9509	7.555 92e- 14	Canal no detecta do
					37.665	0.3	Canal no	17.611 431	1.6043 e-14	17.44 9509	7.555 91e-	Canal no

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

							detecta do				14	detecta do
					50.22	0.4	Canal no detecta do	17.611 431	1.6043 e-14	17.44 9509	7.555 9e-14	Canal no detecta do
					69.0525	0.55	Canal no detecta do	17.611 431	1.6043 e-14	17.44 9509	7.555 91e-14	Canal no detecta do
5	38.65 3981	1452	85	222.1 56	22.2156	0.1	Canal no detecta do	17.748 632	6.2740 7e-15	17.01 5624	1.025 26e-12	Canal no detecta do
					44.4312	0.2	Canal no detecta do	17.748 632	6.2740 6e-15	17.01 5624	1.025 26e-12	Canal no detecta do
					66.6468	0.3	Canal no detecta do	17.748 632	6.2740 6e-15	17.01 5624	1.025 26e-12	Canal no detecta do
					88.8624	0.4	Canal no detecta do	17.748 634	6.2744 9e-15	17.01 5624	1.025 22e-12	Canal no detecta do
					122.185 8	0.55	Canal no detecta do	17.726 543	8.9213 5	17.05 5964	8.963 21e-13	Canal no detecta do
5	38.65 3981	1508	90	244.2 96	24.4296	0.1	Canal no detecta do	22.501 655	7.1872 9e-39	22.45 7683	1.690 95e-40	Canal no detecta do
					48.8592	0.2	Canal no detecta do	22.501 656	7.1872 e-39	22.45 7683	1.690 95e-40	Canal no detecta do
					73.2888	0.3	Canal no detecta do	22.501 657	7.1880 8e-39	22.45 7686	1.690 82e-40	Canal no detecta do
					97.7184	0.4	Canal no detecta do	22.501 681	7.0552 9e-39	22.45 6092	1.749 34e-40	Canal no detecta do
					134.362 8	0.55	Canal no detecta do	22.501 681	7.0552 9e-39	22.45 6092	1.749 34e-40	Canal no detecta do

5	38.65 3981	1459	100	262.6 2	26.262	0.1	Canal no detecta do	31.265 014	1e-40	31.40 4045	1e-40	Canal no detecta do
					52.524	0.2	Canal no detecta do	31.265 016	1e-40	31.40 4044	1e-40	Canal no detecta do
					78.786	0.3	Canal no detecta do	31.265 015	1e-40	31.40 4043	1e-40	Canal no detecta do
					105.048	0.4	Canal no detecta do	31.264 980	1e-40	31.40 3002	1e-40	Canal no detecta do
					144.441	0.55	Canal no detecta do	31.264 980	1e-40	31.40 3002	1e-40	Canal no detecta do

Tabla 82. Parámetros objetivo obtenidos variando la longitud de la DCF, para valores de ganancia EDFA de 10 dB y potencia EDFA de 14 dBm.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSM F-28 (Km)	Compensación DCF (%)	Lon DCF (Km)	Perdidas DCF, por la atenuación (dB)	Atenuación DCF (dBm/ km)	OSNR Out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Prx (dBm)
								Q (dB)	BER	Q (dB)	BER	
5	38.653 981	454	50	40.86	22.473	0.1	40.394 165	17.60 6840	7.634 9e-14	17.02 7226	2.76 937 e-12	- 99.97517 1
		930	75	125.55	12.555	0.1	16.601 280	17.61 1431	1.604 3e-14	17.44 9509	7.55 591 e-14	- 183.3987 20
		1508	90	244.29 6	24.4296	0.1	Canal no detecta do	22.50 1655	7.187 29e- 39	22.45 7683	1.69 095 e-40	Canal no detectado

Tabla 83. Longitudes máximas del segmento de red en donde se cumplen los parámetros.

Ptx (dB)	OSNR In (dB)	Longitud SSM F-28	Compensación	Lon DCF (Km)	Dispersión DCF $(\frac{Ps}{nm*Km})$	FOM	OSNR Out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Prx (dBm)
								Q (dB)	BER	Q (dB)	BER	

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

m)		(Km)	DCF (%)									
5	38.6539 81	454	50	240.3 5294	-17	170	Canal no detecta do	18.33810 5	4.4566 5e-16	18.241 927	3.6400 6-16	Canal no detecta do
				110.4 3243	-37	370	41.426 427	17.50505 0	3.2898 4e-14	16.846 100	2.818e -12	- 183.237 771
				71.68 421	-57	570	40.344 288	17.55593 1	2.6027 5e-14	16.944 194	4.7485 1e-12	- 116.928 674
				53.06 494	-77	770	40.372 950	17.58764 4	2.2364 5e-14	16.997 287	3.5423 9e-12	- 106.688 048
				42.12 371	-97	970	40.391 800	17.60204 0	7.8580 8e-14	17.023 216	2.8361 4e-12	- 100.670 219
				40.86	-100	1000	40.394 165	17.60684 0	7.6349 e-14	17.027 226	2.7693 7e-12	- 99.9751 71
				34.92 308	-117	1170	40.404 861	17.63462 0	6.1632 3e-14	17.050 607	2.5619 5e-12	- 96.7099 46
				29.82 482	-137	1370	40.417 055	17.65386 1	5.8202 5e-14	17.067 137	2.2420 5e-12	- 93.9057 52
				26.02 548	-157	1570	40.423 239	17.66894 6	4.9463 9e-14	17.078 043	2.1506 3e-12	- 91.8161 97
				23.08 475	-177	1770	40.430 049	17.68075 6	4.6055 5e-14	17.087 456	2.0356 6e-12	- 90.1987 76
				20.74 112	-197	1970	40.437 865	17.69254 2	4.5001 5e-14	17.098 182	1.8964 3e-12	- 88.9096 75
				18.82 949	-217	2170	40.440 937	17.69733 4	4.2997 4e-14	17.100 494	1.8564 2e-12	- 87.8583 45
				17.24 051	-237	2370	40.445 143	17.70406 3	4.1329 9e-14	17.105 722	1.7989 1e-12	- 86.9843 92
				15.89 883	-257	2570	40.450 160	17.71394 2	3.8529 1e-14	17.114 754	1.7342 e-12	- 86.2463 96
				14.75 09	-277	2770	40.453 408	17.71901 5	3.7386 3e-14	17.118 623	1.6941 9e-12	- 85.6150 26
				13.75	-297	2970	40.456	17.72346	3.6416	17.121	1.6598	-

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

				758			310	3	9e-14	993	2e-12	85.0686 89
				12.88 959	-317	3170	40.458 012	17.72291 8	3.7662 5e-14	17.120 163	1.6404 5e-12	- 84.5913 47
				12.27 027	-333	3330	40.459 929	17.72571 9	3.7061 6e-14	17.122 267	1.6190 3e-12	- 84.2507 15

Tabla 84. Parámetros objetivo alcanzados variando la dispersión en la DCF, con un porcentaje de compensación del 50%, atenuación al 0.1 dBm/km.

Pt x (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSM F-28 (Km)	Compensación DCF (%)	Lon DCF (Km)	Dispersión DCF ($\frac{Ps}{nm*Km}$)	FOM	OSNR Out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Prx (dBm)
								Q (dB)	BER	Q (dB)	BER	
5	38.6539 81	930	75	738.5 2941	-17	170	Canal no detectado	15.39921 7	4.7891 4e-09	15.074 786	6.9677 1e-09	Canal no detectado
				339.3 2432	-37	370	Canal no detectado	16.95293 6	1.1379 9e-12	16.805 422	4.2395 9e-12	Canal no detectado
				220.2 6316	-57	570	Canal no detectado	17.25800 4	1.6715 5e-13	17.102 069	6.1247 3e-13	Canal no detectado
				163.0 5195	-77	770	12.128 061	17.40564 8	6.1229 e-14	17.252 939	2.5534 5e-13	- 187.871 939
				129.4 3299	-97	970	15.489 881	17.48669 2	3.7346 7e-14	17.331 620	1.5865 3e-13	- 184.510 119
				125.5 5	-100	1000	16.601 280	17.61143 1	1.6043 e-14	17.449 509	7.5559 1e-14	- 183.398 720
				107.3 0769	-117	1170	17.702 569	17.54651 8	2.4708 4e-14	17.394 200	9.6728 7e-14	- 182.297 431
				91.64 234	-137	1370	19.269 124	17.58459 7	1.9224 6e-14	17.433 028	7.4973 8e-14	- 180.730 876
				79.96 815	-157	1570	20.436 526	17.61380 6	1.5839 9e-14	17.461 946	6.1741 6e-14	- 179.563 474
				70.93 22	-177	1770	21.339 750	17.63468 0	1.4011 8e-14	17.486 611	5.5906 1e-14	- 178.660

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

										250
63.73	-197	1970	22.060	17.65187	1.2428	17.503	4.7708	-	250	177.939
096			177	2	1e-14	969	1e-14			823
57.85	-217	2170	22.647	17.66715	1.1109	17.521	4.3000	-	250	177.352
714			300	2	1e-14	095	2e-14			700
52.97	-237	2370	23.135	17.67872	1.0265	17.533	3.9355	-	250	176.864
468			540	0	6e-14	960	3e-14			460
48.85	-257	2570	23.547	17.68602	1.0011	17.543	2.5129	-	250	176.452
214			940	8	8e-14	361	1e-14			060
45.32	-277	2770	23.900	17.69413	9.4830	17.552	2.3687	-	250	176.099
491			661	2	4e-15	685	4e-14			339
42.27	-297	2970	24.205	17.70382	8.5873	17.561	2.2453	-	250	175.794
273			798	1	7e-15	997	7e-14			202
39.60	-317	3170	24.472	17.70987	8.238e-	17.569	2.1468	-	250	175.527
568			505	7	15	053	2e-14			495
37.70	-333	3330	24.662	17.71161	8.4515	17.573	2.0897	-	250	175.337
27			812	9	7e-15	116	9e-14			188

Tabla 85. Parámetros objetivo alcanzados variando la dispersión en la DCF, con un porcentaje de compensación del 75%, atenuación al 0.1 dBm/km.

Pt x (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSM F-28 (Km)	Compensación DCF (%)	Lon DCF (Km)	Dispersión DCF ($\frac{Ps}{nm \cdot Km}$)	FOM	OSNR Out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Prx (dBm)
								Q (dB)	BER	Q (dB)	BER	
5	38.653981	1508	90	1437.03529	-17	170	Canal no detectado	6.020600	0.0227501	6.020600	0.0227501	Canal no detectado
				660.25946	-37	370	Canal no detectado	22.385856	6.31397e-39	22.228700	2.33015e-38	Canal no detectado
				428.58947	-57	570	Canal no detectado	22.286783	8.67161e-38	22.191929	6.62318e-38	Canal no detectado
				317.26753	-77	770	Canal no detectado	22.540607	4.83607e-39	22.460862	3.26199e-40	Canal no detectado

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

						do					do	
				251.8 5155	-97	970	Canal no detecta do	22.50502 6	6.8915 8e-39	22.457 565	1.7120 7e-40	Canal no detecta do
				244.2 96	-100	1000	Canal no detecta do	22.50165 5	7.1872 9e-39	22.457 683	1.6909 5e-40	Canal no detecta do
				208.8	-117	1170	Canal no detecta do	22.47987 3	1.7857 6e-38	22.456 642	1.7356 6e-40	Canal no detecta do
				178.3 1825	-137	1370	Canal no detecta do	22.47409 8	1.4786 e-38	22.461 009	1.8478 8e-40	Canal no detecta do
				155.6 0255	-157	1570	Canal no detecta do	22.46078 3	1.7226 1e-38	22.457 773	2.9867 1e-40	Canal no detecta do
				138.0 2034	-177	1770	Canal no detecta do	22.46071 9	1.4692 4e-38	22.464 797	2.8081 8e-40	Canal no detecta do
				124.0 0812	-197	1970	Canal no detecta do	22.45368 0	1.9896 6e-38	22.461 770	3.6553 5e-40	Canal no detecta do
				112.5 788	-217	2170	Canal no detecta do	22.45100 4	2.0524 8e-38	22.462 956	4.1410 8e-40	Canal no detecta do
				103.0 7848	-237	2370	Canal no detecta do	22.44821 9	1.6939 8e-38	22.466 275	4.7027 e-40	Canal no detecta do
				95.05 681	-257	2570	Canal no detecta do	22.44832 9	2.0563 3e-38	22.467 203	4.6726 9e-40	Canal no detecta do
				88.19 35	-277	2770	Canal no detecta do	22.44672 9	2.0922 e-38	22.468 267	5.0480 4e-40	Canal no detecta do
				82.25 455	-297	2970	Canal no detecta do	22.44141 3	1.9053 9e-38	22.468 439	6.0584 4e-40	Canal no detecta do
				77.06	-317	3170	Canal	22.44014	1.9331	22.469	6.4536	Canal

				498			no detectado	4	7e-38	235	1e-40	no detectado
				73.36 216	-333	3330	Canal no detectado	22.44364 5	2.0823 4e-38	22.470 924	6.1579 2e-40	Canal no detectado

Tabla 86. Parámetros objetivo alcanzados variando la dispersión en la DCF, con un porcentaje de compensación del 90%, atenuación al 0.1 dBm/km.

Pt x (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSM F-28 (Km)	Compensación DCF (%)	Lon DCF (Km)	Dispersión DCF ($\frac{Ps}{nm \cdot Km}$)	FOM	OSNR Out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Prx (dBm)
								Q (dB)	BER	Q (dB)	BER	
5	38.6539 81	454	50	240.3 5294	-17	170	55.607 549	10.82640 9	0.0003 10996	11.054 209	0.0002 46633	- 108.125 766
				40.86	-100	1000	55.855 601	11.08771 3	0.0001 9179	11.221 043	0.0001 73325	- 88.1576 74
				12.27 027	-333	3330	55.286 606	11.12622 9	0.0001 78569	11.291 605	0.0001 71779	- 85.3578 19

Tabla 87. Parámetros objetivo alcanzados variando la dispersión en la DCF, con un porcentaje de compensación del 50%, atenuación al 0.1 dBm/km.

Pt x (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSM F-28 (Km)	Compensación DCF (%)	Lon DCF (Km)	Dispersión DCF ($\frac{Ps}{nm \cdot Km}$)	FOM	OSNR Out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Prx (dBm)
								Q (dB)	BER	Q (dB)	BER	
5	38.6539 81	930	75	738.5 2941	-17	170	Canal no detectado	9.206061	0.0022 0805	9.0573 18	0.0025 7437	Canal no detectado
				125.5 5	-100	1000	Canal no detectado	9.896569	0.0011 1294	9.7681 48	0.0013 2835	Canal no detectado
				37.70 27	-333	3330	17.004 450	9.644681	0.0014 7507	9.6973 63	0.0016 8448	- 182.995 550

Tabla 88. Parámetros objetivo alcanzados variando la dispersión en la DCF, con un porcentaje de compensación del 75%, atenuación al 0.1 dBm/km.

Pt x (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSM F-28 (Km)	Compensación DCF (%)	Lon DCF (Km)	Dispersión DCF ($\frac{Ps}{nm \cdot Km}$)	FOM	OSNR Out (dB)	Q-cuadratura		P-fase		Prx (dBm)
								Q (dB)	BER	Q (dB)	BER	
5	38.653981	1508	90	1437.03529	-17	170	Canal no detectado	6.020600	0.0227501	6.020600	0.0227501	Canal no detectado
				244.296	-100	1000	Canal no detectado	18.327218	1.54917e-16	18.551440	1.40719e-17	Canal no detectado
				73.36216	-333	3330	Canal no detectado	18.450101	1.51173e-16	18.686223	8.28812e-18	Canal no detectado

Tabla 89. Parámetros objetivo alcanzados variando la dispersión en la DCF, con un porcentaje de compensación del 90%, atenuación al 0.1 dBm/km y con espaciamento entre canales de 50 GHz.

ANEXO E. RESULTADOS DE SIMULACIÓN PARA LA CONFIGURACION 2.1 (NRZ-OOK A VELOCIDAD DE TRASMISIÓN DE 40 Gbps)

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Factor Q (dB)	BER	OSNR Out (dB)	Potencia Rx (dBm)
5	52.440301	3	25.243493	1e-40	25.612417	-3.372595
		4	21.332831	8.29244e-30	25.648089	-3.435391
		5	17.217690	2.03742e-13	26.503906	-3.583878
		6	13.413976	2.20155e-6	25.974466	-3.842891
		7	9.848503	0.000936542	53.077848	-4.026798

Tabla 90. Parámetros OPM del segmento de red, sin DCF.

Ptx (dBm)	DC F (%)	Lon DCF (Km)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Factor Q (dB)	BER	OSNR Out (dB)	Potencia Rx (dBm)
5		0.72	52.440301	8	21.103704	3.20062e-29	25.589074	-4.6134
	50	0.81		9	18.968073	1.95413e-18	25.814503	-4.800302
		0.9		10	16.990230	3.13858e-12	25.843718	-5.078609
		2.43		18	18.688674	6.60248e-18	26.123472	-7.491546
	75	2.565		19	17.698518	1.98897e-14	25.563138	-7.780126
		2.7		20	16.692816	9.88437e-12	26.147028	-8.094971
		7.29		45	17.665164	3.4453e-14	26.008696	-15.613154
	90	7.452		46	17.332920	1.27151e-13	26.178111	-15.918927
				47	16.887796	4.29273e-12	25.692980	-16.210071
		17.1		95	18.127045	2.12458e-15	26.091477	-31.061980
	100	17.28		96	17.649752	4.88235e-14	25.936003	-31.358661
		17.46		97	16.977296	8.95918e-13	25.553471	-31.652905

Tabla 91. Parámetros objetivos, variando los porcentajes de compensación en la DCF.

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	DC F (%)	Lon DCF (Km)	Longitud SSMF-28 (Km)	Factor Q (dB)	BER	OSNR Out (dB)	Potencia Rx (dBm)
5	52.440301	50	0.27273	9	18.984977	2.09206e-18	25.817911	-3.677034
			0.30303	10	17.006563	2.85979e-12	25.624232	-3.718678
			0.33333	11	15.101655	6.22679e-9	25.971705	-3.766137
		75	1.11982	18	18.767108	5.62673e-18	26.304097	-3.806253
			1.18203	19	17.732684	1.35444e-14	25.615757	-3.843802
			1.24424	20	16.830242	4.53655e-12	26.020016	-3.896747
		90	2.23784	46	17.67570	1.5339e-14	26.019880	-3.871300
			2.28649	47	17.185145	6.61384e-13	25.815251	-3.877584
			2.33514	48	16.860136	3.43714e-12	25.723995	-3.894460

Tabla 92. Parámetros objetivo alcanzados con los valores de DCF hallados en 10 Gbps.

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Dispersión DCF $\left(\frac{Ps}{nm \cdot Km}\right)$	Atenuación DCF (dB)	FOM	Área Efectiva DCF (μm^2)	DCF (%)	Lon DCF (Km)	Longitud SSMF-28 (Km)	Factor Q (dB)	BER	OSNR Out (dB)	Potencia Rx (dBm)
5	52.440301	-297	0.1	2970	8	100	9.09091	150	18.207475	2.89125e-16	22.206185	-5.205223
			0.2	1485					18.234585	8.39656e-16	22.185387	-6.120857
			0.3	990					18.341594	4.78406e-16	22.20	-7.027230
			0.55	540					18.419415	1.63623e-16	22.199583	-9.299546
		-217	0.1	2170			12.4424		18.038043	8.59125e-16	21.731061	-5.546596
			0.2	1085			18.193051		1.15619e-15	21.689315	-6.795368	
			0.3	723.33			18.216710		1.23371e-15	21.716893	-8.037430	
			0.55	394.55			18.224481		1.13025e-15	21.720796	-11.148286	
			0.1	3330			8.10811		18.260385	1.6671e-	21.953586	-5.123878

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

										14		883	
				6.40 185	787. 27	-433				17.23 2409	5.324 28e- 13	21.60 0485	- 7.970 070
				6.11 921	823. 64	-453				17.24 2996	4.833 18e- 13	21.67 7001	- 7.815 807
				5.86 047	860	-473				17.49 0557	3.318 66e- 14	21.90 5722	- 7.644 240
				5.62 272	896. 36	-493				17.43 5515	3.758 14e- 14	21.89 3846	- 7.515 473
				5.40 350	932. 73	-513				17.41 0266	5.053 49e- 14	21.92 1117	- 7.384 399
				4.92 362	1023 .64	-563				17.26 5981	5.372 22e- 13	21.62 6581	- 7.153 825

Tabla 95. Parámetros obtenidos al variar el área de la DCF por debajo de los parámetros establecidos, variando atenuación.

Separación canales (THz)	Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	DCF (%)	Lon DCF (Km)	Dispersión DCF (ps/nm *Km)	Área Efectiva (μm^2)	Atenuación DCF (dB/Km)	Longitud SSM F-28 (Km)	Factor Q (dB)	BER	OSNR Out (dB)	Potencia Rx (dBm)
200	5	52.44 0301	10 0	8.32 432	-333	2	0.55	154	16.94 1675	1.603 39e- 12	23.70 3011	- 8.990 701
						4			17.39 1526	7.215 83e- 14	23.69 4967	- 9.003 192
						8			17.45 282	3.536 37e- 14	23.67 3788	- 9.016 564
						12			17.47 6487	2.873 23e- 14	23.68 7481	- 9.013 644
						14			17.41 4991	4.354 75e- 14	23.69 2997	- 9.011 005
						16			17.41 5221	4.711 67e- 14	23.68 4718	- 9.014 873

Tabla 96. Parámetros obtenidos al variar el área de la DCF por debajo de los parámetros establecidos, con separación entre canales a 200 GHz.

Separación canal	Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	DCF (%)	Área Efectiva	Lon DCF	FO M	Dispersión DCF	Atenuación DCF	Longitud	Factor Q (dB)	BER	OSNR Out	Potencia Rx
------------------	-----------	--------------	---------	---------------	---------	------	----------------	----------------	----------	---------------	-----	----------	-------------

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

es (THz))	(%)	tiva (μm^2)	(Km)	(ps/nm*Km)	(dB/Km)	SSM F-28 (Km)	(dB)	(dBm)				
200G Hz	5	52.440301	100	14	8.32432	605.45	-333	0.55	154	17.414991	4.35475e-14	23.692997	-9.011005
					7.85269	641.82	-353			17.293640	2.91263e-13	23.814107	-8.765079
					7.43164	678.18	-373			17.251391	4.54507e-13	23.698212	-8.530866
					7.05344	714.55	-393			17.251677	3.04245e-13	23.704490	-8.328730
					6.71186	750.91	-413			17.474581	5.12184e-14	23.671646	-8.121100
					6.40185	787.27	-433			17.452822	3.67185e-14	23.550402	-7.949574
					6.11921	823.64	-453			17.412284	4.3926e-14	23.554568	-7.790147
					5.86047	860	-473			17.510076	2.59761e-14	23.603437	-7.649165
					5.62272	896.36	-493			17.460013	3.1897e-14	23.550432	-7.522899
					5.40350	932.73	-513			17.437579	4.17134e-14	23.550342	-7.401712
4.92362	1023.64	-563	17.33	2.67679e-13	23.565065	-7.154814							

Tabla 97. Parámetros obtenidos al variar el área de la DCF por debajo de los parámetros establecidos, variando atenuación, con separación entre canales a 200 GHz.

Ptx (dBm)	Canal (THz)	OSNR In (dB)	Dispersión DCF ($\frac{Ps}{nm*Km}$)	Atenuación DCF (dB)	FO M	Área Efectiva DCF (μm^2)	D CF (%)	Lon DCF (Km)	Longitud SSMF -28 (Km)	Factor Q (dB)	BER	OSNR Out (dB)	Potencia Rx (dBm)
5	200 GHz	52.440301	-333	0.1	3330	12	100	8.32432	154	17.483832	2.90158e-14	23.697397	-5.260620
				0.2	1665					17.422208	4.13264e-14	23.689427	-6.096170
				0.3	1110					17.416790	4.28379e-14	23.682740	-6.929446
				0.55	605.45					17.476487	2.87323e-14	23.687481	-9.013644

Tabla 98. Variaciones de atenuación a velocidad de trasmisión de 40 Gbps con separación entre canales de 200 GHz.

ANEXO F. RESULTADOS DE SIMULACIÓN PARA LA CONFIGURACION 2.2 (RZ-DQPSK A VELOCIDAD DE TRASMISION DE 40 Gbps)

Ptx (dBm)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Q-cuadratura		P-fase		OSNR Out (dB)	Potencia Rx (dBm)
			Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER		
5	51.789809	3	28.613725	1e-40	28.220978	1e-40	52.337970	-0.477686
		4	27.431983	1e-40	27.063938	1e-40	52.662627	-0.663026
		5	26.081513	1e-40	25.694619	1e-40	52.531201	-0.863799
		7	23.210060	1e-40	22.813244	1e-40	52.746764	-1.251416
		11	17.513945	2.96812e-14	17.107633	6.67532-13	52.460411	-2.016810
		12	16.182619	6.6593e-11	15.770150	4.11319e-10	52.478645	-2.273237
		15	12.441684	1.96083e-05	12.066057	3.748e-05	52.559692	-2.836296
		18	9.171229	0.00215735	8.886470	0.002881	52.576716	-3.440189

Tabla 99. Parámetros OPM del segmento de red, sin DCF.

Ptx (dBm)	DCF (%)	Lon DCF (Km)	OSNR In (dB)	Longitud SSMF-28 (Km)	Q-cuadratura		P-fase		OSNR Out (dB)	Potencia Rx (dBm)
					Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER		
5	50	2.07	51.789809	23	18.610887	1.08534e-17	18.216681	5.31603e-16	52.352331	-5.613146
		2.16		24	17.981061	1.29028e-15	17.587392	4.16472e-14	52.489465	-5.845977
		2.25		25	17.352578	8.44866e-14	16.969512	1.3994e-12	52.616354	-6.103193
	75	8.775	65	17.785611	7.52604e-	17.371558	2.45512e-	52.333527	-17.720	

Análisis Comparativo del Desempeño en la Migración de una Red DWDM de 10 a 40 Gbps, ante las Variaciones de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF)

					15		13		665		
		8.91			66	17.562 263	3.403 92e- 14	17.138 747	9.017 77e- 13	52.346 736	- 18.005 280
		9.04 5			67	17.337 857	1.156 08e- 13	16.915 863	2.776 76e- 12	52.556 193	- 18.275 264
	85	30.4 47			199	17.421 219	7.025 57e- 14	17.015 468	1.466 46e- 12	52.348 937	- 56.451 704
	90	189. 702			1171	30.619 467	1e-40	30.505 415	1e-40	Canal no detect ado	Canal no detecta do
		106. 434			657	30.522 270	1e-40	30.424 667	1e-40	10.224 137	- 189.77 5863

Tabla 100. Parámetros objetivos, variando los porcentajes de compensación en la DCF.

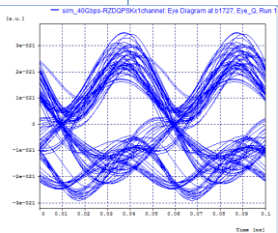
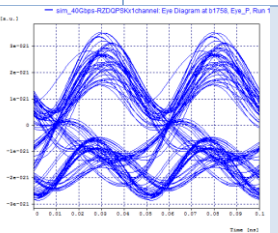
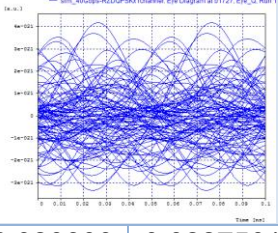
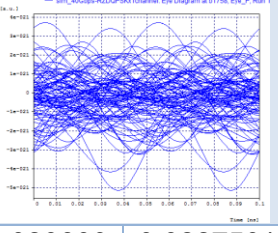
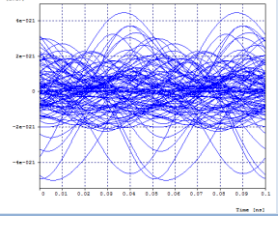
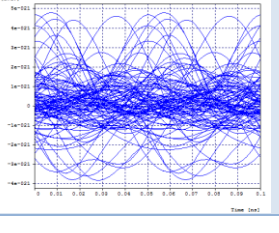
P tx (dB m)	DC F (%)	Lo n DC F (K m)	OS NR In (d B)	Lon gitu d SSM F-28 (Km)	Q-cuadratura		P-fase		OS NR Ou t (d B)	Pot enc ia Rx (dB m)
					Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER		
5	91	45. 74 59 5	51. 78 98 09	930	12.99011 0	4.15003e- 06	12.22950 5	2.17965e- 05	19. 95 63 34	- 180 .04 366 6
										
	95	47. 75 67 6			6.020600	0.0227501	6.020600	0.0227501	19. 72 50 73	- 180 .27 492 7
										
	10 0	50. 27 02 70 27			6.020600	0.0227501	6.020600	0.0227501	18. 70 83 55	- 181 .29 164 5
										

Tabla 101. Parámetros objetivo alcanzados con 40 Gbps con los valores de DCF hallados en 10 Gbps y variando el porcentaje de compensación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Escallón, J. Barrios y A. Toledo, "Incidencia de los parámetros que afectan la calidad de la señal óptica en el desempeño de una red metropolitana WDM," Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, vol. II, n° 12, pp. 12-19, 2008.
- [2] J. G. López, A. Toledo, H. Ordóñez y J. P. Agredo, "Efectos no lineales y su relación con los parámetros de transmisión de una red WDM," Revista Facultad de Ingeniería, UPTC, vol. XX, n° 31, pp. 23-35, Jul-Dic 2011.
- [3] O. I. Gaxiola, "Simulador de un sistema de comunicación óptico empleando multicanalizador por división de longitudes de onda (WDM)," Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, Tijuana B.C, México, 2005.
- [4] H. F. Bermúdez y W. D. Jiménez, "Multiplexación por división de longitud de onda – WDM una nueva alternativa para comunicaciones ópticas," Revista investigación Universidad del Quindío, vol. 18, pp. 49-58, 2008.
- [5] E. J. Gualda, "Optimización de las prestaciones de enlaces ópticos submarinos de gran capacidad y larga distancia mediante el control de la dispersión," Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España, 2005.
- [6] "Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid," ITU-T Rec. G.694.1, Noviembre 2012.
- [7] "Spectral grids for WDM applications: CWDM frequency grid," ITU-T Rec. G.694.2, Diciembre, 2003.
- [8] S. L. Criollo y F. R. Lasso, "Impacto de la fibra óptica sobre el desempeño de una red WDM a 10 Gb/s," Tesis de Pregrado, Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia, 2014.
- [9] J. L. Caizaluisa, "Estudio para la integración de la técnica de multiplexación DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) dentro de un enlace Quito-Guayaquil que utilice SDH como técnica de transmisión para una mediana empresa portadora," Tesis de Pregrado, Facultad de Ingeniería Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2009.
- [10] D. F. Alzate, "Retos en la transmisión de 40/100 Gbps sobre fibra óptica," Revista en Telecomunicaciones e Informática, vol. I, n° 2, pp. 23-60, Jul-Oct 2011.
- [11] "Supervisión óptica para sistemas de multiplexación por división en longitud de onda densa," ITU-T Rec. G.697, Febrero, 2012.
- [12] C. A. Ararat y E. D. Paz, "Análisis del desempeño de los formatos (RZ-NRZ)/DQPSK a 10 y 40 Gbps en una Red Metropolitana DWDM," Tesis de Pregrado, Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia, 2013.
- [13] The Fiber Optic Association, Inc., FOAT Technical Bulletin Guide to Fiber Optic Network Design, Fallbrook, California, USA, 2014.
- [14] J. Kahn y K-Po Ho, "Spectral Efficiency Limits and Modulation/Detection Techniques for DWDM Systems," IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, vol.

- 10, nº 2, pp. 259-272, 2004.
- [15] K. J. Hoyos y J. S. Vélez, "Impacto de las Propiedades de una Fibra Compensadora de Dispersión (DCF) en el Diseño de un Sistema WDM," Tesis de Pregrado, Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia, 2013.
- [16] J. J. Astudillo y E. Y. Ramírez, "Manual para la caracterización de la fibra óptica en DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)," Tesis de Pregrado, Facultad Ingeniería Electrónica, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2014.
- [17] J. F. Cardozo, "Concepto de IP en las nuevas redes integradas," Tesis de Especialización, Facultad de Ingeniería Electrónica, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, 2006.
- [18] L. Velasco, S. Spadaro, J. Comellas y G. Junyent, "Diseño de nodos totalmente ópticos reconfigurables," Grupo de Comunicaciones ópticas, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España, 2005.
- [19] G. P. Agrawal, "Fiber-Optic Communication Systems," Presentación, Institute of Optics University of Rochester.
- [20] J. P. Agredo y H. J. Ordoñez, "Análisis del desempeño en redes WDM frente a variaciones en los parámetros de transmisión y su incidencia en los efectos no lineales," Tesis de Pregrado, Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia, 2010.
- [21] K. Aikawa, J. Yoshida, S. Saitoh, M. Kudoh y K. Suzuki, "Dispersion Compensating Fiber Module," Applied Optics Products Division, Aomori Fujikura Kanaya Ltd., pp. 16-22.
- [22] B. Chomycz, Planning Fiber Optic Networks, The McGraw-Hill Professional, 2009.
- [23] N. Kikuchi, E. Yamada, Y. Shibata y H. Ishii, "High-speed InP-based Mach-Zehnder Modulator for Advanced Modulation Formats," NTT Photonics Laboratories, NTT Corporation, Morinosato Wakamiya, Atsugi, Kanagawa, Japan, 2012.
- [24] M. Modulator, Mach-Zehnder Modulator, Solved with COMSOL Multiphysics 4.4.
- [25] A. G. Salazar y S. F. Chaves, "Diseño a nivel de simulación de un compensador de dispersión cromática basado en estructuras Mach Zehnder para redes DWDM a 2.5 Gbps," Tesis de Pregrado, Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia, 2015.
- [26] G. Gómez y J. F. Grijalba, "Análisis del desempeño de formatos de modulación en comunicaciones ópticas sobre redes WDM," Tesis de Pregrado, Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia, 2010.
- [27] D. C. Eguizabal e I. A. Muñoz, "Impacto del formato de modulación sobre la ISD en una red DWDM a 10 Gbps y 40 Gbps," Tesis de Pregrado, Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia, 2015.
- [28] Corporate Headquarters, Introduction to DWDM for Metropolitan Networks, Cisco

Systems, USA.

- [29] D. F. Melo y J. A. Ruiz, "Análisis de Desempeño de Diferentes Técnicas de Compensación Ópticas y Electrónicas para la Dispersión Cromática en Redes WDM," Tesis de Pregrado, Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia, 2011.
- [30] "Characteristics of a single-mode optical fiber and cable," ITU-T Rec. G.652, Noviembre 2009.
- [31] "Characteristics of a 50/125 μm multimode graded index optical fibre cable for the optical access network," ITU-T Rec. G.651.1, julio 2007.
- [32] J. O. González, "Estudio de la inserción de regeneradores 1R en un enlace óptico WDM punto a punto mediante herramientas CAD," Proyecto fin de Carrera, Departamento de Tecnología Fotónica y Bioingeniería, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 2012.
- [33] D. A. Buelvas, I. D. Télez y E. A. Mateus, "Redes Ópticas DWDM: Diseño e Implementación DWDM Optical Networks: Design and Implementation," Revista Visión Electrónica, Facultad Tecnológica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Año 4. n° 1, pp. 70-80, junio 2010.
- [34] A. L y de la Santísima Trinidad, "Modulación directa de diodos láser de alta velocidad para sistemas de transmisión coherente," Proyecto Final de Carrera, Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España, 2012.
- [35] F. Saavedra, D. Leonelli y A. Lamas, "Propagación de Pulsos Ópticos a Través de Amplificadores de Fibra Dopada con Erbio (EDFA)," Revista Facultad de Ingenierías, Universidad Tarapacá, Arica, Chile, 2005, vol. 13, n° 3, pp. 82-88.
- [36] PacketLight Networks, DWDM Booster Inline and Pre-Amplifier EDFA Solution, 2000-2009.
- [37] Capítulo 3, Fotodetectores, pp. 45-65.
- [38] G. Rossi, T. E. Dimmick y D. J. Blumenthal, "Optical Performance Monitoring in Reconfigurable WDM Optical Networks Using Subcarrier Multiplexing," Journal of Lightwave Technology, december 2000, vol. 18, n° 12, pp. 1639-1648.
- [39] Z. Pan, C. Yu y A. E. Wilner, "Optical performance monitoring for the next generation optical communication networks," Optical Fiber Technology, vol. 16, pp. 20-45, 2010.
- [40] R. A. Pinto, "Sistemas de comunicaciones ópticas," Tesis de Pregrado, Facultad de Ingeniería, Programa Ingeniería en Telecomunicaciones, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia, 2014.
- [41] L. C. Hinojosa, "Temas Selectos de Fibra Óptica," Tesis de Pregrado, Universidad Autónoma del estado de Hidalgo, Pachuca, México, 2007.
- [42] D. Van den Borne, "Robust Optical Transmission Systems: Modulation and Equalization," Tesis Doctoral, Universidad Técnica de Eindhoven, Holanda, 2008.
- [43] "Optical system design and engineering considerations," ITU-T Rec.G.Supplement39, Septiembre, 2012.

- [44] H. Z. Farias, "Dispersión por Modo de Polarización (PMD) en Redes Troncales de Fibra Óptica," Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Santiago de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- [45] A. R. Barrios, "Realización de Patrones de Dispersión del Modo por Polarización (PMD)," Proyecto Fin de Carrera, Departamento de Metrología, Instituto de Física Aplicada, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 2007.
- [46] A. Leiva, M. Tarifeño y R. Olivares, "Efectos de la Dispersión por Modo de Polarización (PMD) en la Propagación de pulsos a través de Fibras ópticas," Revista Chilena de Ingeniería, vol. 15, n° 3, pp. 336-343, 2007.
- [47] A. Macho, "Comunicaciones ópticas de banda ancha con fase modulada: "Estudio de la degradación de la señal óptica," Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 2013.
- [48] S. Martín, "Generación de supercontinuo en fibras ópticas monomodo con fuentes de bombeo continuo," Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España, 2006.
- [49] E. I. Mena y R. E. Mendoza, "Diseño de una Red WDM para Andinatel S.A. en la Provincia de Tungurahua," Tesis de Pregrado, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2009.
- [50] F. Juanni, "The effect of SRS to DWDM Optical System," International Conference on Electrical and Control Engineering, Zhejiang Wanli University, Ningbo, China, 2010.
- [51] H. A. Ballestas, "Análisis del efecto Self Phase Modulation (SPM), en un sistema de comunicación óptico, teniendo en cuenta fenómenos de dispersión," Programa de Ingeniería Electrónica, Área Telecomunicaciones, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia, 2013.
- [52] M. González, "Desarrollo de técnicas no lineales para la medida de la distribución longitudinal de dispersión cromática en fibras ópticas monomodo," Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 2014.
- [53] G. Silva, "Formatos de Modulcao de uma Portadora Óptica com Deteccao Direta," Universidade de Sao Paulo, Curso de Engenharia Eléctrica com enfase em Electronica, Sao Carlos, Brasil, 2011.
- [54] J. A. Dinamarca, "Análisis de Diagramas de Ojo," Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Federico Santa María, Chile, 2002.
- [55] "Equipo de prueba del factor Q para evaluar la calidad de transmisión de los canales ópticos," ITU-T O.201, Julio, 2003.
- [56] J. P. Agredo y H. J. Ordoñez, "Análisis del desempeño en redes WDM frente a variaciones en los parámetros de transmisión y su incidencia en los efectos no lineales," Tesis de Pregrado, Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia, 2010.
- [57] Corning, "Corning SMF-28 Optical Fiber Product Information," Corning Incorporated, Release V100R004, New York, USA, Abril 2002.

