

**ANÁLISIS COMPARATIVO EN EL DESEMPEÑO DE UNA RED DWDM, A 10
Gbps, AL USAR CONFIGURACIONES RAMAN CON FIBRAS DCF**

ANEXOS



**Nicolás Córdoba Valdés
Giovanny Andrés Muñoz Castro**

Universidad del Cauca

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
GNTT – Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones
Popayán, 2015**

ANÁLISIS COMPARATIVO EN EL DESEMPEÑO DE UNA RED DWDM, A 10 Gbps, AL USAR CONFIGURACIONES RAMAN CON FIBRAS DCF

ANEXOS



Trabajo de Grado presentado como requisito para obtener el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

**Nicolás Córdoba Valdés
Giovanny Andrés Muñoz Castro**

Director
Mag. Alejandro Toledo Tovar

Universidad del Cauca

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
GNTT – Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones
Popayán 2015



ANEXO A: COMPONENTES, FUNCIONES, PARÁMETROS, ARQUITECTURA BÁSICA Y EQUIPO EMPLEADO EN UN SISTEMA DWDM

A.1 COMPONENTES DE UN SISTEMA DWDM

1.1 Fuentes de luz

Son dispositivos activos que convierten las señales eléctricas en pulsos de luz que van a ser inyectados en la fibra óptica. Los dispositivos emisores de luz usados en la transmisión óptica deben ser compactos, monocromáticos, estables y de larga duración. Sus características y especificaciones influyen considerablemente en la evaluación del desempeño óptico final del sistema [1] [2].

Las fuentes de luz se diferencian principalmente por la longitud de onda de la luz que emiten y su tecnología. Pueden ser: Fuentes tipo LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) o tipo LED (*Light Emitting Diode*) [2].

a) Fuentes LÁSER

La luz emitida por un láser es producida por emisión estimulada, en donde un fotón genera otro fotón con características idénticas produciendo el efecto de luz coherente (la luz liberada es organizada y todos los fotones se mueven al mismo paso, esto quiere decir, que los fotones tienen el mismo frente de onda en el mismo tiempo) [1] [2].

En la actualidad sobresalen diversos tipos de LASER que se diferencian por la manera de producir el mismo efecto con otro distinto procedimiento, entre estos se encuentran los Láser FP (*Fabry-Perot*), Láser de realimentación distribuido (*Distributed-Feedback*), y Láser VCSE (*Vertical Cavity Surface Emitting*).

❖ Láser FP

Es el diodo laser clásico, funciona en la segunda y tercera ventana. Utilizado para fibras momomodo, económico pero ruidoso, ancho espectral de 3-20 nm y altamente polarizados [2].

❖ Láser DFB

Funciona en la tercera ventana, presenta alto rendimiento en Sistemas DWDM, tiene frecuencias centrales en la región alrededor de los 1310 nm y de 1520 a 1565 nm. Son compatibles con los amplificadores EDFA [2].

❖ Láser VCSE

Puede ser construido con GaAs o InGaAs, posee alta eficiencia por el uso de nuevos semiconductores como espejos por encima y debajo de la zona activa (producción de luz); su emisión es monocromática [2].

b) Fuentes LED

Emiten luz debido a una excitación de sus electrones de la banda de conducción, provocando que pasen a la banda de valencia, esta recombinación produce fotones, partículas especiales que viajan a la velocidad de la luz [2].



Un LED según la estructura interna se clasifica en LED's de homounion y heterounion, los cuales difieren en la cantidad de materiales semiconductores utilizados en las capas P y N, también existe el LED de emisión lateral y el de emisión superficial. A diferencia de los LASER, el Diodo Emisor de Luz posee menor potencia óptica de salida, son más baratos, y su ancho de banda es menor. Son utilizados en fibras multimodo.

1.2 Modulador

El proceso de modulación consiste en variar una o más características de una señal portadora, es decir, es un proceso de manipular de manera controlada las propiedades de una portadora para que contenga la información que va a transmitirse [3] [4].

Existen dos tipos de moduladores, modulador directo y modulador indirecto. Por un lado, la modulación directa es la modulación más sencilla, en la cual se controla directamente la alimentación de la fuente de luz. Por otra parte, la modulación externa hace uso de un dispositivo propio de modulación, que reúne la fuente de datos y la fuente óptica para llevar a cabo la modulación [5].

1.3 Aislador Óptico

Se encarga de dejar pasar la luz en un solo sentido y bloquear totalmente la que se refleja, es decir, bloquear cualquier haz de luz que viaje en contra-propagación al sentido que lleva el haz principal (el bloqueo dispersa la luz que podría causar ruido). Conectores y otros tipos de dispositivos ópticos a la salida del transmisor pueden provocar reflexión o dispersión de la señal óptica, lo cual, ocasiona efectos sobre el haz de luz que hacen que la energía se refleje en la fuente e interfieran su operación [6] [7] [8].

La aplicación más común de los aisladores es a la salida de los láseres para evitar inestabilidades y averías en éstos por posibles reflexiones de luz, de esta manera, el aislador óptico toma un rol importante en la estabilidad de los sistemas ópticos. También son empleados para proteger a los amplificadores y evitar la posibilidad de que estos se comporten como osciladores [6] [8].

1.4 Multiplexor/Demultiplexor Óptico

El multiplexor es un dispositivo eficaz que combina (Multiplexa) diferentes longitudes de onda que llegan a un determinado punto y las transmite a través de una misma fibra de manera simultánea. Cada longitud de onda (Canal) lleva su propia información. Esta combinación es útil para aumentar el ancho de banda de un sistema de fibra óptica. Un multiplexor óptico también posee otras funciones como el control, el ruteo y monitoreo de las longitudes de onda.

El demultiplexor es un dispositivo encargado de separar las componentes de la luz para que estas puedan ser detectadas, esto se logra en base a filtros, los más usados por su eficiencia son los filtros AWG (*Arrayed Waveguide Gratings*), también conocidos como demultiplexor de fase y los FBG (*Fiber Bragg Grating*). La demultiplexación óptica requiere que la separación entre canales sea lo más limpia posible, proporcionando un alto grado de aislamiento entre ellos. Esta debe hacerse antes que la luz sea detectada, porque los fotodetectores son dispositivos de banda ancha que no logran seleccionar una

sola longitud de onda. La Figura A1.1 muestra el funcionamiento de un multiplexor y demultiplexor para un sistema DWDM [3] [9].

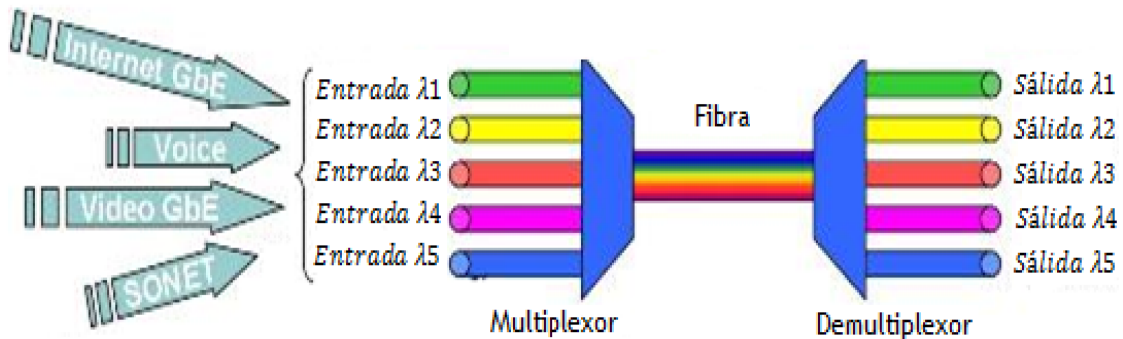


Figura A1.1 Multiplexor/Demultiplexor. Fuente: [12].

1.4.1 Clasificación según su diseño

Los multiplexores y demultiplexores pueden ser activos o pasivos en un diseño; Los diseños pasivos se basan en prismas o filtros, mientras que los activos usan filtros sintonizables (selecciona una longitud de onda de un conjunto de longitudes de onda) [10].

A) Diseños Pasivos

- En base a prismas

Se caracterizan por el efecto arcoíris, es decir, cuando una luz policromática (luz compuesta por más de una longitud de onda) choca una superficie del prisma, cada componente de longitud de onda es refractada diferentemente como se muestra en la Figura A1.2 [10].

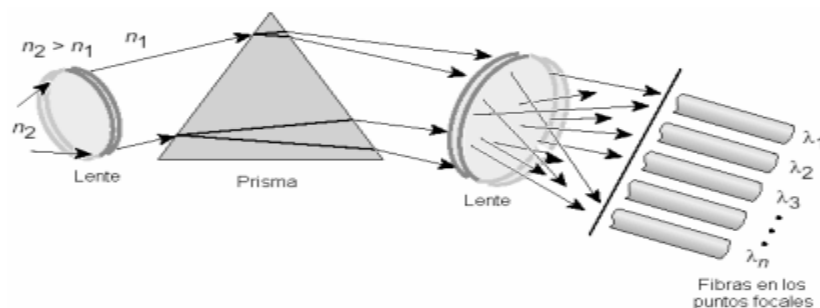


Figura A1.2 Demultiplexación mediante prisma. Fuente: [13].

- En base a filtros

Esta técnica utiliza filtros de película delgada o TFF (*Thin film Filter*) y Matriz de rejillas de guía de onda o AWG (*Arrayed Waveguide Gratings*). Este último dispositivo es a veces llamado enrutador óptico de guía de onda. Los TFF emplean varios filtros de película delgada en el camino óptico, la propiedad de cada filtro es tal que transmite una longitud de onda mientras refleja las demás. Sin embargo, estos dos conceptos se estudiarán en más detalle en la sección de filtros ópticos [10].

B) Diseños Activos

Multiplexor óptico de inserción y extracción (OADM)

Estos dispositivos son capaces de extraer información contenida en cualquiera de las longitudes de la fibra e introducir nuevos datos en alguna de ella sin afectar para nada al resto, de forma totalmente óptica, es decir, OADM permite en puntos intermedio de un enlace DWDM, quitar e insertar una o más longitudes de onda de una gama de longitudes, dejando que el resto no extraídas pasen directamente (Ver Figura A1.3). Representan además, los puntos de entrada y salida para los diferentes canales que posee una fibra utilizando WDM [10] [11] [12].



Figura A1.3 OADM1. Fuente: [14].

Los OADM en vez de combinar y separar las longitudes de onda, pueden remover algunas mientras pasan otras. Contiene tres secciones básicas: un demultiplexor óptico, un conmutador para las funciones de Add/drop y un multiplexor óptico.

Existen dos tipos de OADM's: OADM no reconfigurable (extrae determinadas longitudes de onda, mientras se insertan otras) y OADM reconfigurable (capaz de seleccionar dinámicamente las longitudes de onda que se desean insertar o extraer) [12].

Con la introducción de DWDM en las comunicaciones ópticas, el OADM reconfigurable (ROADM) añadió la posibilidad de intercambiar longitudes de onda o añadirlas de una manera más sencilla, e incluso de manera remota, de esta forma, ya no había necesidad de que los empleados programaran manualmente el poder añadir o quitar longitudes de onda, sino, su configuración se realiza a través de tele-comandos desde un centro de operación, lo cual representa un control total en la capacidad de la red (ver Figura A1.4).

Un ROADM es constituido por tres componentes básicos: Un WSS (*Wavelength Selective Switch*) o conmutador selectivo de longitud de onda, un monitor de canal y un amplificador. El elemento principal es el WSS, componente activo que realiza funciones de intercambio de longitud de onda y monitorización, sin conversión O-E-O (*Optical – Electric – Optical*), lo cual elimina el retardo que se introdujera si la conversión no fuera totalmente óptica [12].

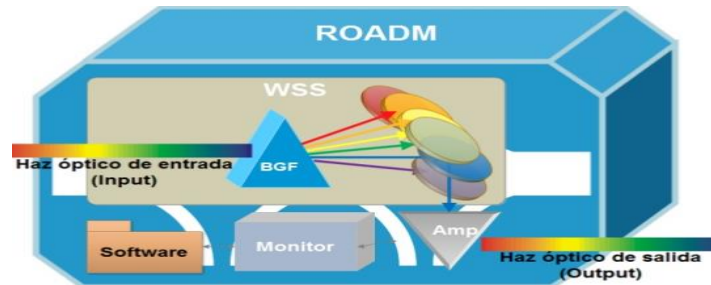


Figura A1.4 Esquema de un ROADM. Fuente: [15].

1.5 Fibra óptica

Su función es guiar ondas luminosas con un mínimo de atenuación, mediante el principio de reflexión total interna se refleja el 100% de luz que choca con una superficie. La propagación de ondas electromagnéticas en forma de luz hacen que la fibra óptica no necesite de voltajes ni corrientes, lo cual la convierte en un medio insensible a la interferencia eléctrica, ventaja importante cuando se desea aprovechar el tendido de redes eléctricas para montar fibra óptica sobre ellas. Uno de los principales beneficios de éste medio guiado es su habilidad de alcanzar grandes velocidades (orden de los Pbps), debido al gran ancho de banda que proporcionan. La transmisión digital por fibra óptica utiliza la luz como portadora, dicha portadora está en el orden de los 10^{14} THz.

Existen varias clasificaciones de las fibras ópticas: según el modo de propagación, en base al índice de refracción y por algunas características especiales propias de algunas fibras.

1.5.1 Clasificación según el modo de propagación

Modo de propagación se refiere a las diferentes trayectorias que puede seguir un haz de luz, existen 2 tipos de fibra: Fibra Multimodo (*Multi Mode Fiber*), y Fibra Monomodo SMF (*Single Mode Fiber*). En la Figura A1.5 se ilustran estos conceptos.

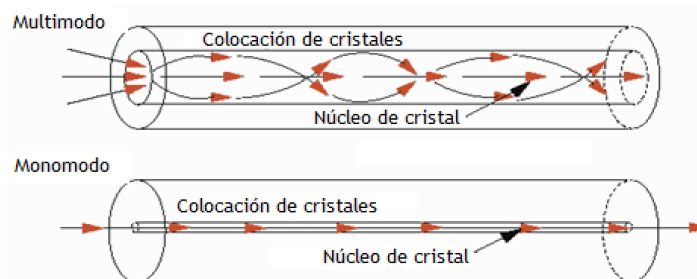


Figura A1.5 Fibra Multimodo y Fibra Monomodo. Fuente: [16].

1.5.1.1 Fibra Multimodo

Permite la propagación de varios modos de transmisión (rayitos de luz) que pueden ser transportados simultáneamente a través del núcleo de la fibra, es adecuada para distancias cortas, como por ejemplo redes LAN o sistemas de video vigilancia. El número de modos que se propagan por una fibra óptica depende de su apertura numérica (capacidad de la fibra de absorber luz). Una de las características de estas fibras es que

su núcleo típicamente esta alrededor de 50, 62, 100 μs , logrando captar más luz que una fibra monomodo, la cual tiene un núcleo de menos de 10 μs . Sin embargo el hecho de captar más luz no indica mejor transmisión, esto se debe a que múltiples rayos van a estar rebotando en el interior del núcleo generándose interferencia unos con otros (ISI: Inter Simbol Interference), los cuales en un momento determinado van a generar distorsión y la señal no va a ser detectada correctamente, es por esta razón, que las fibras multimodo se las utiliza en cortas distancia (<100m) [10] [13].

Existen dos tipos de fibra óptica multimodo:

a) De índice escalonado

Están fabricadas a basa de vidrio o plástico, su núcleo está constituido por un material uniforme cuyo índice de refracción es constante y claramente superior al de la cubierta o manto que lo rodea, la luz internamente se propaga por medio de reflexiones totales en forma de zig-zag dentro del núcleo y se refleja fuera del revestimiento (Ver Figura A1.6). La diferencia brusca y localizada entre ambos índices de refracción dan el nombre a este tipo de fibras [11] [13].

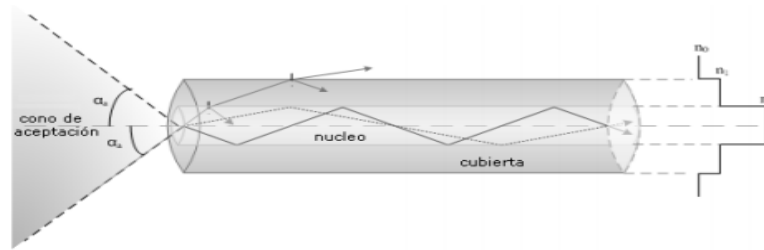


Figura A1.6 Esquema de la fibra óptica multimodo de índice escalonado. Fuente: [7].

b) De índice gradual

Se utilizan en enlaces de más alta capacidad. Por tener un índice gradual los rayos de luz viajan a distinta velocidad, de tal modo que aquellos que recorran mayor distancia se propagan más rápido, reduciéndose la dispersión temporal a la salida de la fibra (Ver Figura A1.7). Este tipo de fibras tiene un ancho de banda de 10 GHz x Km superior al de tipo de fibras de índice escalonado que tienen un ancho de banda de 100 MHz x Km. El índice de refracción en el interior del núcleo no es constante, decrece desde el interior del núcleo al manto [10] [13].

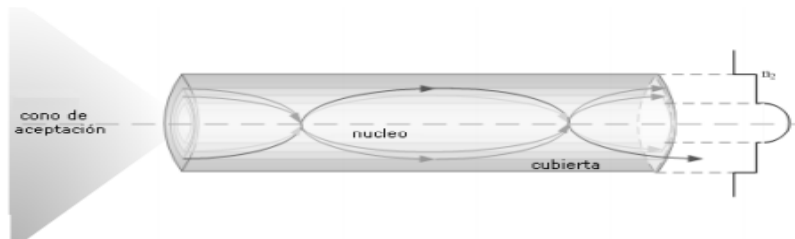


Figura A1.7 Esquema de la fibra óptica multimodo de índice gradual. Fuente: [7].

1.5.1.2 Fibra Monomodo

Solamente se propaga un modo de luz, esto se debe, a que el diámetro de su núcleo es mucho menor y por tanto capta menos energía que una fibra multimodo, de esta manera,

potencializa su capacidad de transporte, ya que reduce la dispersión modal y presenta menos dispersión (Ver Figura A1.8), sin embargo, como desventaja resulta más complicado el acoplamiento de la luz y las tolerancias de los conectores y empalmes son más estrictas, lo cual, la hace más compleja de implantar. Los diámetros de núcleo y revestimiento típicos son 8/125 μs respectivamente.

Es la más usada para telecomunicaciones de gran distancia, tienen un ancho de banda del orden de los THz por km. Con estas características se logra una transmisión a frecuencias mayores, llegando a transmitir hasta 200 Gbps comercialmente hablando. Sus principales limitantes son la dispersión cromática y los efectos no lineales. Algunas de las diferentes características de fibras ópticas monomodos estandarizadas para redes ópticas incluyen, la recomendación UIT G.652 (Fibra Monomodo con Dispersión No Desplazada), G.653 (Fibra Monomodo con Dispersión Desplazada), G 654 (Fibra Monomodo con Corte Desplazado), G.655 (Fibra Monomodo con Dispersión No Desplazada) [14] [6] [10].

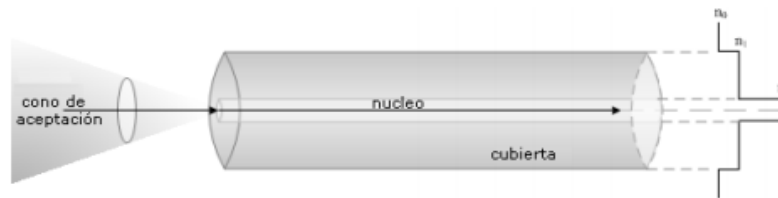


Figura A1.8 Esquema de la fibra óptica monomodo. Fuente: [7].

1.5.2 Clasificación de acuerdo a características especiales propias de algunas fibras.

Existen tres tipos de fibra monomodo y la principal forma de diferenciarlas es por la dispersión cromática. Para una fibra monomodo estándar SMF (*Single-Mode-Fiber*), el punto de dispersión cero se presenta en la segunda ventana en 1310 nm, en una DSF (*Dispersion Shift Fiber*) se desplaza el punto de dispersión cero a la región de los 1550 nm, por último se tiene la fibra de dispersión no nula NZ-DSF, la cual presenta pequeñas cantidades de dispersión, que reducen los efectos no lineales.

1.5.2.1 Fibras Compensadoras de Dispersión (DCF)

Encargadas de combatir la CD, fenómeno lineal que produce ensanchamiento de los pulsos transmitidos. Las DCF presentan una alta dispersión negativa con valores que oscilan entre -100 y -300 ps/nm.km (siendo el primero el de mayor uso comercial), lo que resulta una pendiente negativa para compensar la dispersión positiva de la fibra en las bandas C y L. Funcionan empleando pequeños tramos de fibras de dispersión cromática elevada y de signo contrario a la que ha introducido la fibra principal, con ello, de tramo en tramo, se espera que la dispersión cromática total sea prácticamente nula, así se evita la excesiva deformación de los pulsos de luz y distorsión de la señal. Las formas de ubicar los tramos DCF son: Pre-compensación (La compensación se efectúa al principio de los tramos) y Post-compensación (La ubicación de la DCF es ahora previa al amplificador y posterior a la fibra convencional) [5] [14] [15] [16].

Su principal desventaja, es que la atenuación introducida por este tipo de fibras es aproximadamente tres veces mayor (0,5 dB/km aprox.) que una fibra estándar (0,2dB/km), lo cual aminora la calidad de la señal recibida. Para contrarrestar esto se hace necesario



aumentar el nivel de potencia desde la fuente óptica o con el uso de amplificadores [14] [16].

1.5.2.1.1 Propiedades

Las propiedades más relevantes de la DCF son: la atenuación, el coeficiente de dispersión, la figura de ruido y el área efectiva.

a) Atenuación:

Perdida del nivel de potencia de la señal, cambia linealmente con la distancia del enlace, es decir, a mayor longitud de la fibra mayor atenuación y viceversa, se define con la Ecuación A.1 y Ecuación A.2 [16].

$$L_{OSS} = A_{SSMF}L_{SSMF} + A_{CON}N_{CON} + A_{EMP}N_{EMP} \quad (A.1)$$

Dónde: A_{SSMF} y L_{SSMF} son las pérdidas y la longitud de la SSMF respectivamente, A_{CON} es la atenuación por conectores, N_{CON} número de conectores, A_{EMP} son pérdidas por empalme.

$$L_{OSS_T} = A_{SSMF}L_{SSMF} + A_{DCF}L_{DCF} \quad (A.2)$$

Dónde: A_{SSMF} y L_{SSMF} son las pérdidas y la longitud de la SSMF respectivamente, se considera que en las pérdidas por empalmes y conectores están inmersas en A_{SSMF} , A_{DCF} y L_{DCF} son pérdidas y longitud DCF respectivamente.

b) Coeficiente de Dispersión:

Como ha sido mencionado, la dispersión es un fenómeno lineal que deforma los pulsos transmitidos. Si es excesivo se manifestará en la superposición de 1_s y 0_s, los cuales generan distorsión y errores en decodificación. La Ecuación A.3 describe la dispersión que sufre un pulso, donde Δt es la máxima dispersión permitida.

$$\Delta t = L_{SSMF}D_{SSMF}(\lambda)\Delta(\lambda) + L_{DCF}D_{DCF}(\lambda)\Delta(\lambda) \quad (A.3)$$

Dónde: D_{SSMF} y L_{SSMF} son el coeficiente de dispersión y la longitud de la fibra de la fibra de transmisión respectivamente, $\Delta(\lambda)$ ancho espectral del pulso, L_{DCF} y D_{DCF} son longitud y coeficiente de dispersión de la DCF respectivamente.

Dispersiones típicas de fibras de transmisión usadas comúnmente en la tercera ventana, se enuncian en la Tabla A1.1.

Tabla A1.1 Dispersión de fibras de transmisión usadas alrededor de 1550nm. Fuente: [20].

Tipo de Fibra	Valor de Dispersión [ps/nm/Km]	
Fibra Óptica Monomodo Estándar (SSMF) ITU: G.652	16.5	
Fibra Óptica Monomodo de Dispersión No Cero Desplazada (NZDF) ITU: G.655	Fibra TrueWave® REACH	7.1
	Fibra TeraLight	8
	Fibra TrueWave® RS	4.5
	Fibra de gran área efectiva mejorada (ELEAF, <i>Enhanced Large Effective Area Fiber</i>)	4.2
Fibra Óptica Monomodo de Dispersión Desplazada (DSF) (a 1590 nm) ITU: G.653	2.8	



c) Figura de Mérito (FOM)

Define la relación que existe entre la dispersión y la atenuación de la DCF y se describe en la Ecuación A.4 [16].

$$FOM = -\frac{D_{DCF}}{\alpha_{DCF}} \text{ ó } \frac{|D_{DCF}|}{|\alpha_{DCF}|} \quad (A.4)$$

Dónde: D_{DCF} y α_{DCF} son el coeficiente de dispersión y coeficiente de atenuación de la DCF respectivamente.

d) Área efectiva (A_{EF}):

Es la sección del núcleo de la fibra por la cual atraviesa toda la potencia lumínica. Un valor estimado de la A_{EF} , viene dada por la Ecuación A.5 [17].

$$A_e = \pi w_o^2 \quad (A.5)$$

Dónde: w_o es el radio del diámetro del campo modal (MFD) se puede aproximar al radio del núcleo de la fibra.

1.5.2.2 Fibra de dispersión desplazada (DSF)

Se caracterizan por poseer dispersión nula (cero) en la región de 1550 nm, es decir cualquier longitud de onda que se propague en la banda C no sufrirá efectos de dispersión. Este tipo de fibras denominadas G.653, funcionan perfectamente en escenarios donde se utiliza un único canal (único laser) con la desventaja de que no se aprovecha el ancho de banda de la fibra, por lo cual no son ideales para la transmisión de datos, especialmente si se utilizan canales múltiples, ya que en este tipo de fibras se refuerzan los efectos no lineales, es decir, en la fibra óptica resulta que hay no linealidades destructivas cerca del punto de dispersión cero y no hay compensación efectiva en ello, uno de esos efectos y el más crítico es el mezclado de cuatro ondas (Four Wave Mixing), el cual es más intenso si la dispersión es nula a la longitud de onda de operación, puesto que las señales indeseadas se moverán a la misma velocidad que las señales deseadas, dando lugar a interferencias entre canales y degradaciones significativas que reducen considerablemente el rendimiento del sistema [6] [10] [18] [19] [20] [21].

1.5.2.3 Fibra de dispersión desplazada no nula (NZ-DSF)

Se caracterizan por ser fibras monomodo que tienen una dispersión cromática reducida pero no nula en toda la banda C, positivos (NZDSF+) o negativos (NZDSF-), efectivamente esta estrategia introduce una cantidad controlada de dispersión, que permite reducir el efecto de las no linealidades, que se presentan en sistemas DWDM. Este tipo de fibras se han perfeccionado para operar entre 1500-1600 nm, son ideales para sistemas que utilizan un solo canal. Sin embargo, aunque consiguen lo que parece el mejor de los casos, esto es, combinar dispersión cero y baja atenuación, existe dos situaciones que va en contra de esta deducción, en primer lugar, se incrementan los efectos no lineales, debido a la dispersión nula. Y en segundo lugar, el hecho que los modernos sistemas de comunicación tienen a introducir diferentes longitudes de onda por la misma fibra, de manera que las DSF no son aplicables sistemas que utilizan más de un canal como es el caso de DWDM [1] [4] [5].



Este tipo de fibras denominadas G.655, normalmente tienen una área efectiva de 50 y 72 μm , que es más pequeña que la SSMF (típicamente 80 μm), son fibras de alto uso en avanzadas aplicaciones de telecomunicaciones por su alto rendimiento y eficiencia. Como se ha mencionado, el principio básico de este tipo de fibras es hacer que la dispersión se ubique por arriba o por debajo de los 1550 nm, es decir, no sea nula en la banda de ganancia de los amplificadores dopados de Erblio y suficiente para evitar los efectos no lineales, esta mínima dispersión no causa penalidades en el sistema por la deformación de los pulsos [14] [22].

La Tabla A1.2 muestra los coeficientes típicos de dispersión cromática para diferentes tipos de fibras nombrados anteriormente.

Tabla A1.2 Coeficientes típicos de dispersión cromática para diferentes tipos de fibras. Fuente: [6].

Type of Fiber	Chromatic Dispersion Coeff. at 1550 nm (ps/(nm·km))	Typical Slope at 1550 nm (ps/(nm ² km))	RDS at 1550 nm (nm ⁻¹)	Affective Area Aeff μm^2
NDSF, SSMF (G.652)	17	0.056	0.003	80
DSF (G.653)	<3.5	0.07	0.024 @1590 nm	70
NZ-DSF (G.655)	0.1 to 10	0.045 to 0.085	0.006 to 0.01	50 to 70
(-D) NZ-DSF	-10 to -1	0.04 to 0.1	-0.006 to -0.01	50 to 70
DCF	-100	-0.2	varies	

1.6 Amplificadores Ópticos (AO)

La característica fundamental de un amplificador óptico y por la cual se lo considera como componente indispensable en el medio de transmisión no sólo es por aumentar la potencia de la señal y permitir compensar las pérdidas que introduce los diferentes componentes, sino, por permitir amplificar todas las longitudes de onda a la vez y sin conversión OEO (*Optical – Electric – Optical*), es decir, los AO operan haciendo uso sólo de fotones, sin necesitar la interacción con electrones, lo cual evita colocar dispositivos de conversión optoelectrónica entre tramos de fibra que originen nuevas pérdidas, lo cual mejora la capacidad global de la red y la transmisión a mayores distancias [23].

El fenómeno físico por el cual se produce la amplificación es la *emisión estimulada* anunciado por el físico alemán Albert Einstein, que es el mismo principio con que operan los láseres, con la diferencia que los AO no operan con retroalimentación, la amplificación se produce dentro de un rango de frecuencias estrechamente vinculadas al medio material donde ocurre el fenómeno estimulado (Ver Figura A1.9) [24] [25].

Los AO pueden ser usados independientemente del tipo de modulación y del ancho de banda. Pueden emplearse en otros procesos como la conmutación y la demultiplexación. Se componen principalmente de tres elementos: fibra óptica amplificadora de longitud suficiente, un láser de bombeo y un acoplador. El uso de un segundo laser es adicional. Existen dos ventajas claves que diferencian los amplificadores de fibra óptica de los amplificadores convencionales, primera, la potencia de bombeo es mucho menor, en segundo lugar, los niveles de ruido que se alcanzan son menores (asociados a fenómenos de emisión espontánea y Scattering no controlables) [23] [24].



Figura A1.9 Funcionamiento básico de un amplificador óptico de emisión estimulada. Fuente: [29].

1.6.1 Clasificación según los diferentes usos o aplicación

1.6.1.1 Amplificadores de línea

El amplificador se sitúa sobre un enlace de fibra óptica para remediar la atenuación experimentada por la señal al propagarse a través del medio material como se observa en la Figura A1.10 [25].

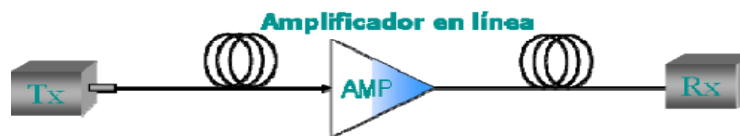


Figura A1.10 Amplificador de línea. Fuente: [30].

1.6.1.2 Preamplificadores

Se ubican inmediatamente antes del receptor (Ver Figura A1.11), con el objetivo de amplificar la señal antes de ser detectada por el fotodetector para mejorar así la OSNR (se representa gráficamente como la razón entre la señal y potencia de ruido como una función de longitud de onda) [25].

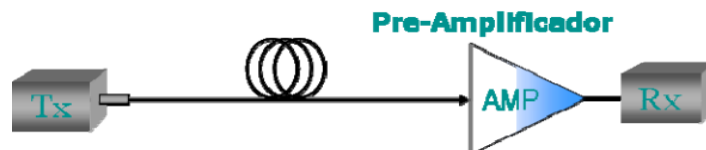


Figura A1.11 Preamplificador. Fuente: [30].

1.6.1.3 Postamplificador o Booster

Se sitúa a continuación de una fuente óptica y se emplea para elevar el nivel de potencia de la señal e incrementar la distancia de transmisión como se observa en la Figura A1.12 [25].

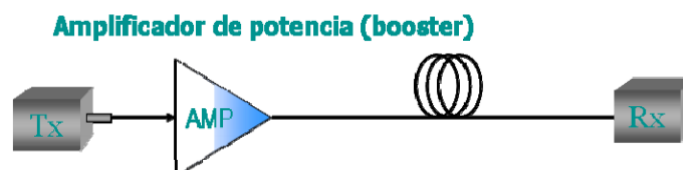


Figura A1.12 Postamplificador. Fuente: [30].

1.6.2 Clasificación según su mecanismo de operación

Los basados en el efecto laser, que utilizan como mecanismo de operación la emisión estimulada y los que emplean la ganancia suministrada por los *efectos scattering estimulada* [23] [24].

La principal diferencia entre ellos es que los amplificadores de emisión estimulada necesitan que el núcleo de la fibra este dopado con algún material especial, como son los EDFAs, mientras que aquellos basados en el scattering o dispersión estimulada no los necesitan, como son los amplificadores Raman y Brillouin, estos dos últimos efectos no lineales; en donde no se produce excitación electrónica, sino, una interacción de fonones de la red no cristalina que forma el material de la fibra, son conocidos como SRS (*Stimulated Raman Scattering*) y SBS (*Stimulated Brillouin Scattering*).

1.6.3 Tipos de regeneradores

Hay 3 tipos de regeneradores: 1R sólo amplifica la señal (Ver Figura A1.13), 2R amplifica la señal y recupera la envolvente (Reconforma la señal basada en los niveles de voltaje, ver Figura A1.14), y 3R regenera por completo la señal (Sincronización, ver Figura A1.15). El uso de ellos dependerá de las necesidades del sistema [12] [17].

1.6.3.1 Regenerador 1R

La “R” significa reamplificación, puede ser opto-electrónico o completamente óptico. La técnica R1 es la más sencilla y la de menor rendimiento, amplifica la señal y los ruidos que adquiere la señal en el canal [12] [17].

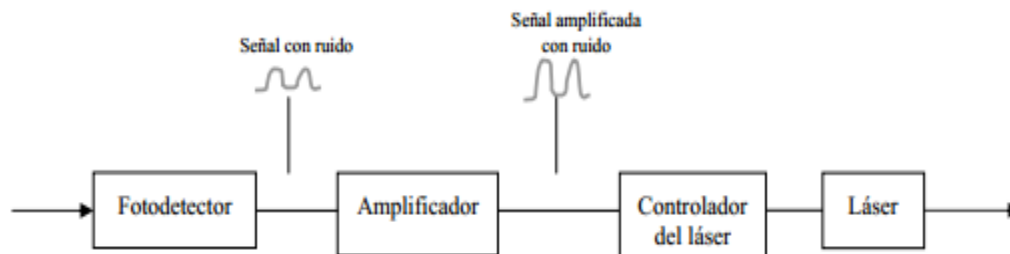


Figura A1.13 Postamplificador. Fuente: [30].

1.6.3.2 Regenerador 2R

Las “2R” significan reamplificación y reordenado, es básicamente un regenerador 1R más etapa de recuperación de la envolvente, es decir, además de una amplificación, un reordenado de la señal a base de discretizar los niveles de entrada. La recuperación del envolvente se hace por medio de un comparador [12] [17].

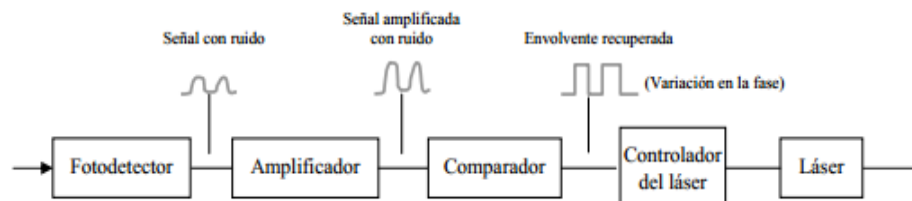


Figura A1.14 Regenerador 2R. Fuente: [21].

1.6.3.3 Regenerador 3R

Las “3R” significan reamplificación, reordenado y resincronización, amplifican la señal (envolvente y sincronía), también eliminan los errores en la señal. El rendimiento de esta técnica es muy elevado, al conseguir que la señal de salida esté lo más limpia posible. Su costo es más elevado que los otros dos regeneradores [12] [17].

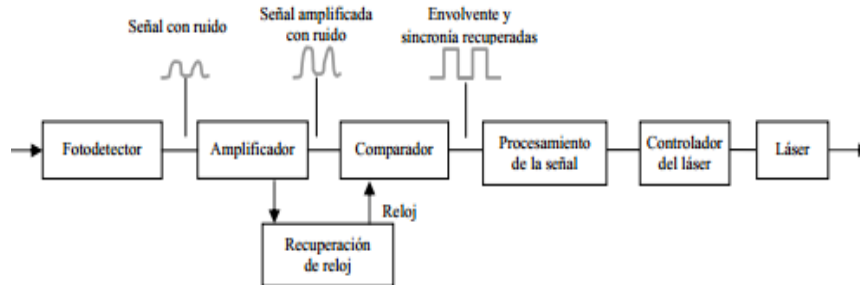


Figura A1.15 Regenerador 3R. Fuente: [21].

1.6.4 Amplificador de fibra dopado de Erblio (EDFA)

Es el amplificador más empleado en la actualidad y los preferidos para utilizar en redes por su gran versatilidad, gran eficiencia de bombeo y ruido intrínseco bajo. Básicamente, amplifican toda una ventana óptica y por consiguiente, todas las longitudes de onda incluidas en esa ventana, operan en el rango de la tercera ventana (típicamente desde 1525 hasta 1565 nm). La característica principal de un EDFA es entregar máxima ganancia en la región 1550 nm, pero, lo anterior dio paso a nuevos inconvenientes producto del aumento de la potencia [1] [24] [25].

El principio de operación de un EDFA considera que al tener una fibra dopada con erbio, y se le inyecta o se la estimula mediante una señal de bombeo excita a los átomos de erbio a liberar energía almacenada como luz adicional, fenómeno que se conoce como emisión, puede ser espontánea o estimulada (Ver Figura A1.16). En bajas tasas de bits la emisión espontánea siempre está presente adicionando ruido mientras que en las altas no ocurre emisión espontánea.

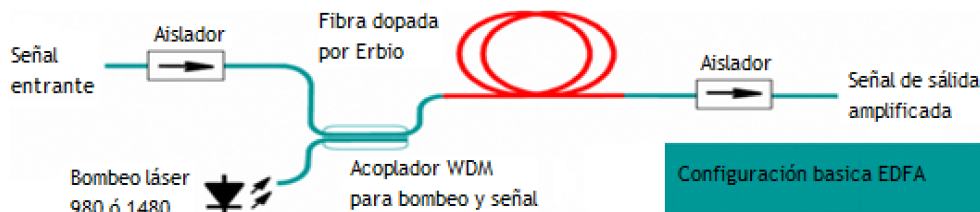


Figura A1.16 Esquema Básico de un EDFA. Fuente: [31].

Estos amplificadores necesitan de un bombeo externo con un láser de onda continua CW a una frecuencia óptica ligeramente superior a la que amplifican. Existen principalmente dos configuraciones como se puede observar en la Figura A1.17.

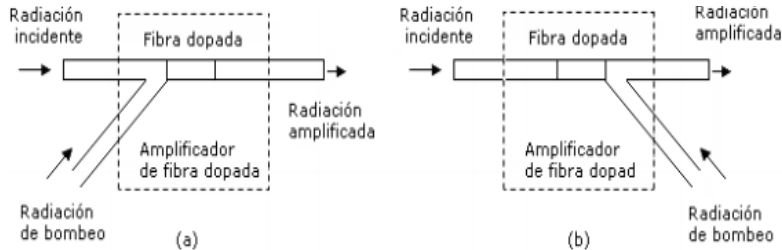


Figura A1.17 Configuraciones de bombeo en un EDFA: (a) Bombeo en el mismo sentido de la señal; (b) Bombeo en sentido inverso. Fuente: [7].

En la Figura A1.17 (a) la radiación de bombeo se introduce a la fibra amplificadora, mediante un acoplador, conjuntamente con la señal de entrada y por ello ambas se propagan en igual sentido a lo largo de la fibra. En la Figura A1.17 (b), el bombeo se propaga en sentido contrario de la señal que se va a amplificar. Dicho bombeo permite ganancias más altas, aunque sus características de ruido son deficientes.

Los amplificadores ópticos dopados de erbio presentan un gran problema, que la ganancia no es plana en todo el ancho de banda, es decir, su ganancia no es uniforme para todas las longitudes de onda, oscilan entre 50 y 5 dB. Una longitud alta va a tener menos potencia de amplificación (menos impulso) que una de longitud de onda baja, en ese contexto, en un amplificador EDFA las longitudes de onda baja se amplifican más que las longitudes de onda alta [18] [25].

Algunas características técnicas que se les atribuye a estos amplificadores son las bajas pérdidas de inserción en las uniones de las fibras, mínima sensibilidad a la polarización, longitud de onda de bombeo 1480 o 980 nm (los EDFA actuales emplean una combinación de ambas longitudes de bombeo, para lograr EDFA's optimizados), potencia de bombeo entre 10 y 50 mw [25].

1.6.5 Amplificador de inserción y extracción (OADM)

Dispositivo que extrae de forma selectiva una longitud de onda o un subconjunto de longitudes de onda del sistema transmisor o de algún punto de la fibra óptica hacia sus puertos requeridos dejando pasar el resto inalterados al puerto de salida, es decir, para las longitudes de onda que no son de interés en ese nodo, el OADM es transparente. Al mismo tiempo puede inyectar selectivamente longitudes de onda desde sus puertos locales hacia el puerto de salida [19] [26].

Los OADM principalmente tienen 2 configuraciones: Configuración en paralelo, que a su vez pueden ser: conmutación de longitud de onda y conmutación de banda (Ver Figura A1.18) y Configuración en serie que pueden ser: conmutación de longitud de onda y conmutación de banda (Ver Figura A1.19) [26].

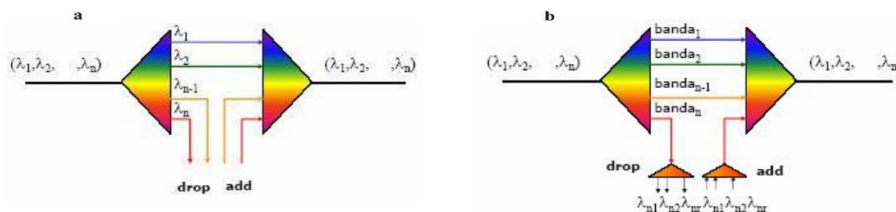


Figura A1.18 Configuración paralelo: a) Conmutación de longitud de onda; b) Conmutación de banda. Fuente: [32].

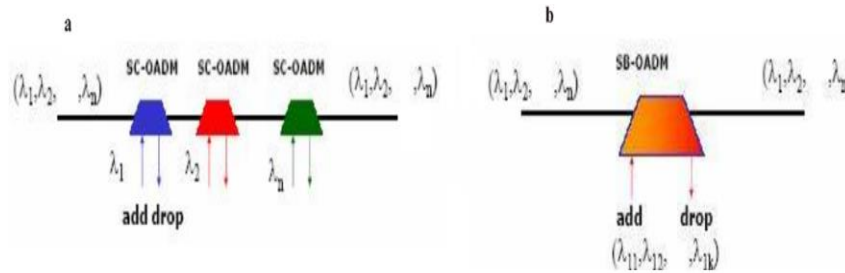


Figura A1.19 Configuración serie: a) Conmutación de longitud de onda; b) Conmutación de banda. Fuente: [32].

Los OADM se pueden dividir en dos categorías, OADM fijos (estáticos) y los OADM reconfigurables (dinámicos). Los primeros permiten adicionar o extraer longitudes de onda previamente preasignadas y no podrán variar durante el funcionamiento del dispositivo, mientras que los segundos (ROADM) permiten mucha más flexibilidad, ya que cualquier longitud de onda puede extraerse, insertarse o encaminarse, sin afectar el tráfico de la red existente, es decir, las lambdas o canales se añaden o se extraen de manera remota [19] [27].

El principal componente de un OADM reconfigurable es el WSS (*Wavelength Selective Switch*), quien se encarga de la multiplexación del rayo de luz. El WSS es el corazón central de un ROADM, es un componente que proporciona la conmutación de cualquier longitud de onda a cualquier punto de salida, es herméticamente sellado con la finalidad que los rayos de luz viajen por el vacío. La luz pasa por ciertos componentes (Ver Figura A1.20), primero, por un *concentrador* que actúa como punto intermedio entre la fibra y el resto de dispositivos del WSS, a partir de ahí, los rayos se propagan hasta el *Diffraction Grating*, quien divide cada haz en colores, seguidamente pasan por una serie de componentes que los manipulan y los dirigen hacia los sistemas Micro-Electro-Mecánicos MEMS con su acrónimo en inglés (*Microelectromechanical systems*), que son un conjunto de espejos que actúan sobre cada uno de los colores permitiéndoles el paso o no (los reflejan situando el espejo en un ángulo tal que no alcance el puerto de salida) [27].

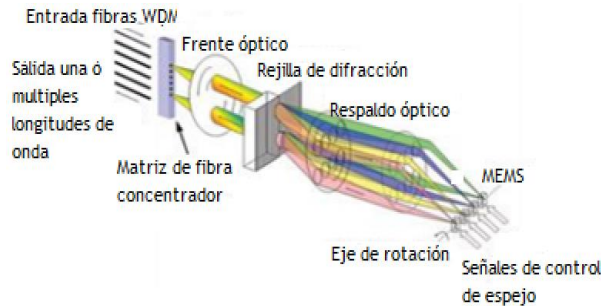


Figura A1.20 Estructura interna de un WSS. Fuente: [33].

1.7 Rejillas de Bragg

La rejilla de Bragg es una variación periódica en el índice de refracción del núcleo de la fibra, por lo general monomodo, el resultado es que la luz de una determinada longitud de onda es reflejada. Son utilizadas para reflejar, filtrar o dispersar la luz evitando la necesidad de utilizar espejos dieléctricos y rejillas de difracción que causen pérdidas de energía de la señal (Ver Figura A1.21), es decir, funciones como reflexión, dispersión y

filtrado del campo electromagnético las realiza de manera eficiente y con baja atenuación. Más grande la rejilla, más grande la banda [17] [28] [29] [30].

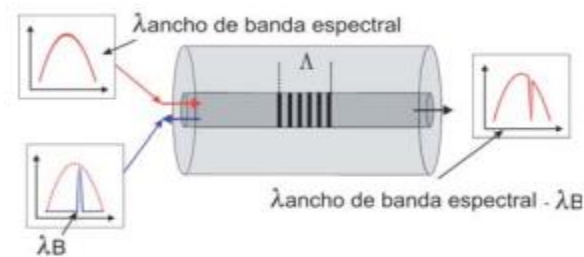


Figura A1.21 Representación gráfica de una rejilla de Bragg en el núcleo de una fibra óptica.

Fuente: [36].

1.8 Circuladores

Un circulador es un dispositivo óptico pasivo de n puertos, aunque, por lo general son 3. Si el circulador es ideal, la señal óptica introducida por el terminal 1 sale directamente por una terminal 2, la introducida por la terminal 2 sale por la terminal 3. Y así sucesivamente hasta que la reflexión del puerto n siga el camino para salir por el terminal 1 (de manera circular), esto permite que la señal de entrada y su reflexión sigan caminos distintos. Básicamente un circulador óptico, separa espacialmente la luz incidente y la reflejada [5] [28] [31]. En la Figura A1.22, se muestra un circulador de 3 puertos, se transfiere la señal con muy baja pérdida al puerto deseado, mientras que brinda un alto aislamiento para la señal no deseada en el otro puerto.

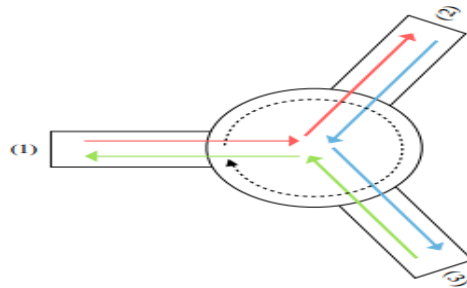


Figura A1.22 Esquema gráfico de los caminos de un circulador de 3 puertos. Fuente: [37].

1.9 Receptores

Los receptores en fibra óptica son también llamados detectores ópticos, dispositivo activo, cuya misión consiste en transformar una señal luminosa en eléctrica, similar a la señal original y recuperar los datos que son transmitidos a través del sistema de comunicaciones ópticas [10] [18] [28].

Los receptores son normalmente fotodiodos, cuya sensibilidad depende del ancho de los pulsos (o de la velocidad de transmisión). El fotodiodo es un diodo semiconductor polarizado en inversa que transforma la señal óptica presente a su entrada en corriente eléctrica a su salida, pueden ser de silicio, arseniuro de galio, germanio, fosfato de indio, u otros semiconductores. Generalmente un fotodiodo produce fotocorrientes muy pequeñas que es necesario amplificar para que los dispositivos electrónicos receptores sean capaces de trasladarlas. Dado que la señal óptica generalmente está debilitada y



distorsionada cuando llega a recepción por las degradaciones ópticas presentes en la fibra, el fotodetector debe cumplir con requisitos como alta sensibilidad en el rango de emisión de la longitud de onda de la señal de luz recibida, adiciones mínimas de ruido, insensible a variaciones de temperatura, larga vida útil y velocidad de respuesta rápida y oportuna [7] [28] [32].

Dos tipos utilizados en la comunicación por fibra óptica son el fotodiodo PIN (donde un material intrínseco se ubica entre las regiones p y n del material) y el fotodiodo de avalancha [1] [17].

1.9.1 Fotodiodo PIN

La luz es absorbida y los fotones se convierten en electrones, consta de tres regiones: p, n y una región "i" no dopada, las zonas p y n altamente conductivas junto a otra intrínseca poco conductiva. Es un detector relativamente fácil de fabricar, altamente fiable, bajo costo [9] [18].

1.9.2 Fotodiodo Avalancha

Los APD son similares a los fotodiodos PIN en cuanto a que trabajan polarizados en inversa, pero su ganancia se obtiene a través de un proceso de amplificación, trabaja como su nombre lo dice, es decir, una pequeña cantidad de fotones pueden desencadenar una avalancha de electrones, tan sólo un fotón actuando en el dispositivo puede liberar muchos de ellos. Se alimentan a altos voltajes (entre 40 y 400 voltios). Una de las principales características es su exactitud y alta sensibilidad. Sin embargo, son más sensibles a la temperatura que los fotodiodos PIN, lo cual eleva su costo de elaboración [5] [7] [9] [18].

A.2 FUNCIONES DE UN SISTEMA DWDM

Las funciones de capa física que ejecuta un sistema típico de Multiplexación Densa por División de Longitud de Onda son básicamente 5 (Ver Figura A2.1). En primer lugar la *Generación de la señal*, de la cual se encarga una fuente laser, que junto con un codificador transmiten información digital que sea entendible entre el transmisor y receptor, la siguiente función es la Combinación de las señales a través de un elemento denominado multiplexor, una vez las señales sean multiplexadas entran al medio de transmisión, en este caso fibra óptica para cumplir la tercera función que es la Transmisión de las señal, en recepción se cumple la cuarta función, Separar las señales recibidas y finalmente como última función la Recepción de la señal. De esta manera, se cumple la transmisión de una señal utilizando tecnología DWDM. Cabe resaltar, que con la introducción de DWDM en redes ópticas, se advirtió la necesidad de crear multiplexores más equipados y desarrollados como los OADM y posteriormente los Reconfigurable OADM (ROADM) [10].

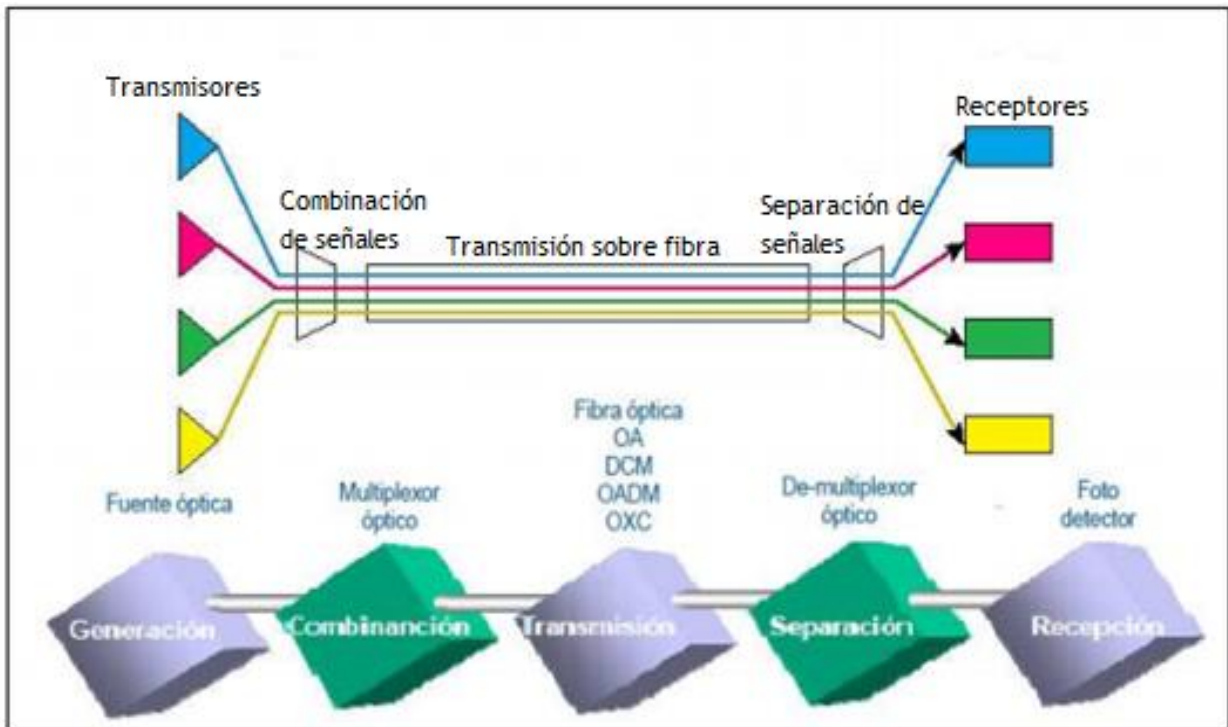


Figura A2.1 Funciones del sistema DWDM. Fuente: [12].



A.3 PARÁMETROS DE UN SISTEMA DWDM

Los sistemas de comunicaciones basados en DWDM se presentan como una de las mejores alternativas para suplir las necesidades actuales de ancho de banda y de recursos de red, sin embargo, es importante reconocer ciertos parámetros que puedan limitar o mejorar el transporte de la señal por la fibra óptica.

3.1 Espaciamiento entre canales

En DWDM se manejan frecuencias de separación entre 200, 100, 50, 25 o 12,5 GHz equivalente a 1.6, 0.8, 0.4, 0.2, y 0.1 nm respectivamente. Según la recomendación G.694.1 regulada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones los valores estandarizados para DWDM son de 100, 50 y 25 GHz [10] [11] [18].

3.2 Ancho de Banda de la señal

El ancho de banda determina la capacidad máxima de información que puede ser transmitida por el medio, es decir, un ancho de banda grande, significa que por una fibra la velocidad máxima en bits por segundo va a ser mayor. Sin embargo, detrás de esa proporcionalidad lineal entre velocidad y ancho de banda, se originan fenómenos no deseados como la dispersión que impiden incrementar excesivamente las velocidades de transmisión. La tecnología DWDM aprovecha de manera más óptima éste parámetro, lo cual representa un incremento en la capacidad de la red, en ese contexto, los sistemas DWDM hacen un mejor uso del espectro. La velocidad de transmisión en las fibras ópticas se mide de dos formas: ancho de banda para señales analógicas y tasa de datos para señales digitales [10] [12].

3.3 Potencia de la señal

La capacidad de cualquier sistema de fibra óptica depende básicamente de la potencia, Si hay exceso de potencia, el amplificador en recepción se satura, y si hay potencia insuficiente, el ruido se interpone en la señal generando dificultades para detectar la señal, es importante resaltar, que el fotodetector es como el ojo humano, si se lo alumbró mucho, no va a poder ver y si no se lo alumbró lo suficiente igualmente no va a lograr ver, de este modo, se debe estar en el rango de funcionamiento adecuado, es decir, dentro del rango de sensibilidad propio del fotodetector para lograr detectar la señal correctamente. La potencia de la señal en los sistemas ópticos decrece exponencialmente con la distancia. La potencia de entrada es proporcionar al laser emisor [10] [32] [33]. Por otro lado, los receptores son normalmente fotodiodos, cuya sensibilidad depende del ancho de los pulsos (o de la velocidad de transmisión).

3.4 Codificación

En sistemas de comunicaciones es muy importante emplear técnicas de codificación (códigos de línea), los cuales surgen de la necesidad de transmitir señales digitales a

través de diversos medios de transmisión, básicamente la codificación de línea es el proceso de convertir información binaria representada en niveles lógicos a un formato de señal que sea adecuado para su transporte, es decir, toma las cadenas de bits de la fuente de información y los convierte a una señal con niveles de tensión unipolares (una sola polaridad) o bipolares (utiliza dos niveles de voltaje, positivo y negativo), lo cual mejora la eficiencia de potencia del sistema de transmisión [4].

Los códigos de línea más utilizados en fibra óptica y en sistemas DWDM son: NRZ (*Non Return to zero*) y RZ (*Return to zero*).

3.4.1 Código NRZ

La codificación no retorno a cero (NRZ), es el tipo de codificación más sencillo. Consiste en la transformación de un 1 en un valor alto de señal (V) y al 0 se le asigna un valor de cero ($0v$) en el caso de un NRZ unipolar (una sola polaridad) o un valor negativo ($-V$), lo que resulta en una codificación bipolar en la que la señal tiene 2 polaridades (Ver Figura A3.1). Mediante la asignación de un nivel de tensión a cada símbolo se simplifica la tarea de codificar un mensaje. Su principal ventaja es que al emplear pulsos de larga duración requiere menor ancho de banda que otros sistemas de codificación que emplean pulsos más cortos. Se dice que es no retorno a cero, porque entre bits consecutivos de valor “1” la señal no pasa por el valor de cero [4] [13] [23].

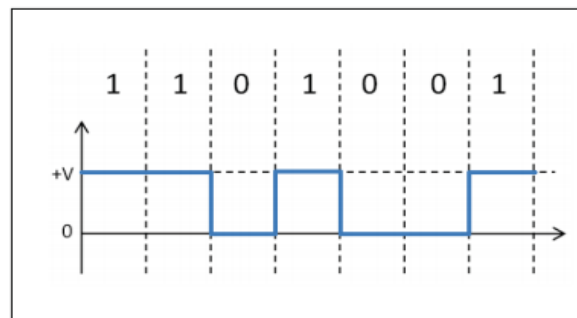


Figura A3.1 Código NRZ. Fuente: [5].

Los sistemas de modulación NRZ se utilizan en redes ópticas de larga distancia, debido a que utilizan un menor ancho de banda. De esta manera, se aprovecha mayormente el ancho de banda óptico de los Amplificadores Dopados de Erblio (EDFA).

La densidad espectral de potencia (PSD) con igual probabilidad de 1_s y 0_s está dada por la Ecuación C.1 y su grafica se muestra en la Figura A3.2 [4].

$$S_1(f) = \frac{V^2 T}{4} \left(\frac{\sin \pi f T}{\pi f T} \right)^2 + \frac{V^2}{4} \delta(f) \quad (C.1)$$

Dónde: V es el nivel de voltaje de 1 binario, $T = \frac{1}{R}$ es la duración de bit, R es la tasa en bits por segundo.

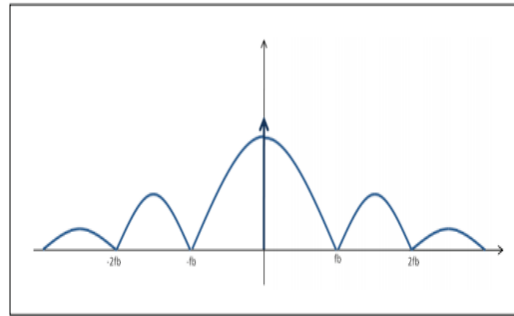


Figura A3.2 Densidad espectral de potencia del código NRZ. Fuente: [5].

La principal limitación de NRZ es la presencia de DC y la ausencia de capacidad de sincronización, porque no hay ningún tipo de información temporal que el receptor pueda usar para decidir dónde está el inicio y el final de cada bit, no hay solución sencilla que garantice que las señales de reloj tanto del transmisor como del receptor estén sincronizadas [4] [13].

Dentro de los códigos NRZ se establece una clasificación adicional (Ver Figura A3.3), códigos tipo NRZ-L (No se retorna a nivel cero) y NRZ-I (No se retorna a cero y se invierte al transmitir el 1).

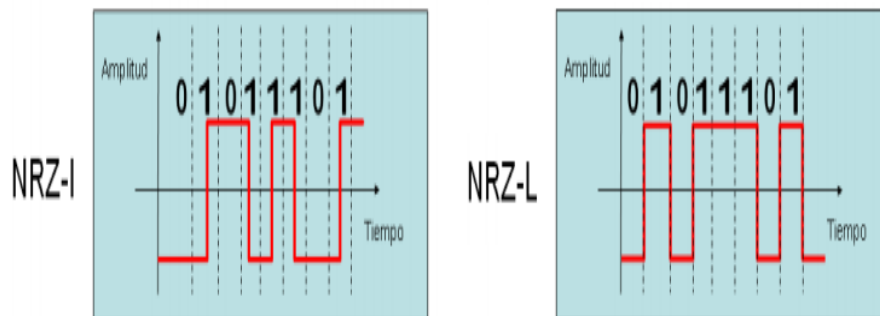


Figura A3.3 Codificación NRZ-I y NRZ-L. Fuente: [5]

3.4.2 Código RZ

La codificación retorno a cero (RZ), describe un código de línea donde la señal vuelve a cero en cada pulso, es decir, mientras que un pulso óptico está presente en la primera mitad de la duración del bit, el nivel de luz retorna a cero durante la segunda mitad. En la codificación RZ, se obtiene un tren de pulsos de duración más corta que en la codificación NRZ, de hecho, este sistema de codificación requiere el doble de ancho de banda que el sistema NRZ, otra limitación, son las largas cadenas de caracteres 0s, que pueden provocar pérdida de sincronización. La principal ventaja de RZ es que, al ser los pulsos más estrechos, se reduce el efecto de dispersión [4] [13].

Se destaca, que hay dos tipos de retorno a cero, RZ unipolar (nivel de valor 0) y RZ bipolar (nivel de valor negativo) como se observa en la Figura A3.4, pero, la

caracterización propia de los RZ en el cual la señal vuelve a cero después de cada semi-intervalo del bit se mantiene.

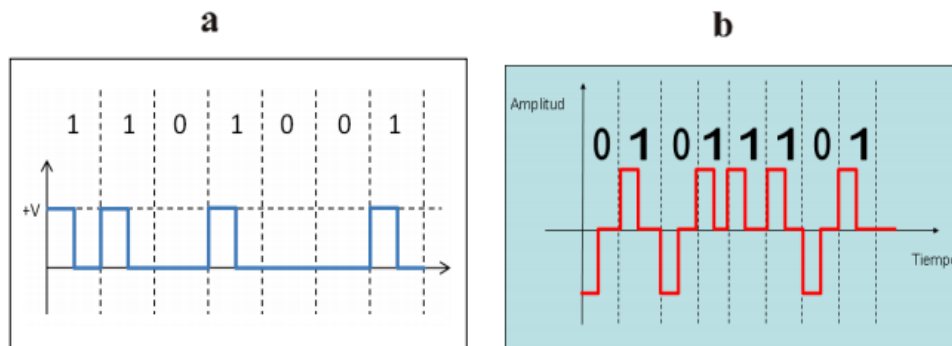


Figura A3.4 Código RZ: (a) unipolar; (b) bipolar. Fuente: [5].

La densidad espectral de potencia de un código RZ se caracteriza por presentar un ancho de banda $2fb \equiv 2 \frac{1}{Tb}$ donde, Rb es la tasa del bit, la Figura A3.5 muestra lo descrito [4].

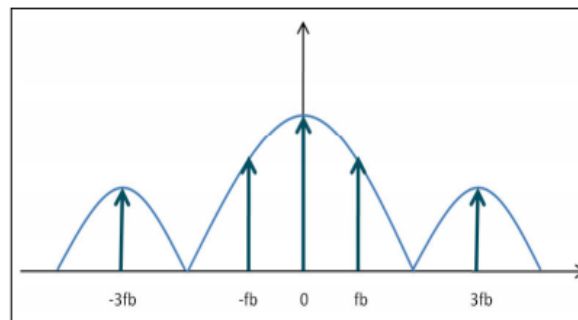


Figura A3.5 Densidad espectral de potencia del código RZ. Fuente: [5].



A.4 EQUIPOS HUAWEI USADOS EN SISTEMAS DWDM.

Tabla A4.1 Parámetros técnicos de la tarjeta STM-64 Equipos HUAWEI. Fuente: [34] [35] [36] [37].

			DWDM SIDE							
			Modo de Codificación	Espaciamiento de canal [GHz]	TX			RX		
Potencia de Operación [dBm]	Frecuencia Central Nominal [THz]	Máxima Dispersión [ps/nm]			Tipo de Receptor	Rango de Longitud de onda de operación [nm]	Sensibilidad [dBm]			
HUAWEI	Optix BWS 1600G	LWF	NRZ	50	-1 a 4	192,1 - 196,05 186,95 - 190,9	800	PIN	1200-1650	-14
				100		192,1 - 196 187 - 190,9				
	OSN 3500	LS-64.2	NRZ	100	3 a 5	192,1 – 196	1600	PIN / APD	1550	-21
	Optix Metro 6040	LBF	NRZ	N/A	-7 a 0	192,1 – 196	800 – 1100	PIN	1200-1650	-16
		TMX	NRZ	N/A	5 a 10	192,1 – 196	800 -1650	PIN / APD	1200-1650	-16 to -26
	Optix OSN 8800&6800&3800	LSX	NRZ	N/A	0 a 3	192,1 – 196	800	PIN	1200-1650	-16

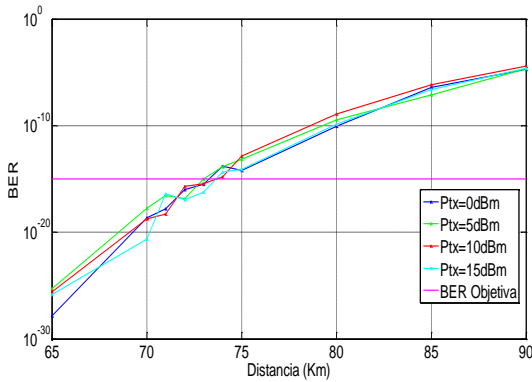


ANEXO B: RESULTADOS DE SIMULACIÓN PARA EL CASO DE REFERENCIA.

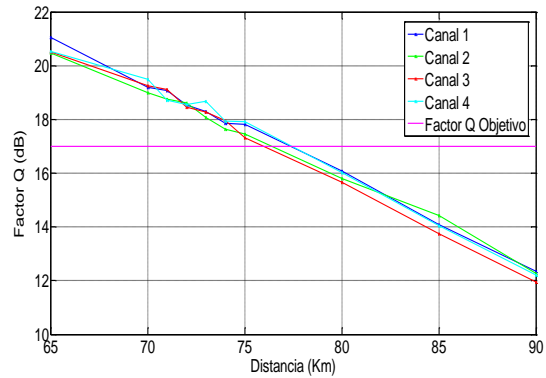
En el presente anexo se muestran diferentes tablas con los resultados de las simulaciones realizadas para cada caso de referencia, en ellas se ha resaltado los valores que cumplen con los valores de BER de 10^{-15} .

Tabla 1 Distancia máxima alcanzada con una potencia de transmisión de 0 dBm.

Distancia (Km)	Canal 1		Canal 2		Canal 3		Canal 4	
	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
65	1,51e-28	21,06	5,27e-26	20,47	2,73e-26	20,52	1,46e-26	20,54
70	2,34e-19	19,20	1,85e-18	18,99	1,80e-19	19,26	2,30e-21	19,50
71	1,61e-18	19,07	2,75e-17	18,75	4,91e-19	19,12	4,07e-17	18,71
72	9,59e-17	18,54	1,43e-17	18,62	2,09e-16	18,45	1,14e-17	18,56
73	3,02e-16	18,29	9,99e-16	18,08	3,42e-16	18,28	5,67e-17	18,68
74	1,59e-14	17,85	1,33e-14	17,63	1,57e-15	17,96	4,25e-15	17,93
75	6,12e-15	17,81	7,05e-14	17,46	1,34e-13	17,32	7,53e-15	17,91
80	9,20e-11	16,08	3,41e-10	15,80	1,30e-09	15,67	1,45e-10	16,02
85	3,81e-07	14,08	7,32e-08	14,43	7,03e-07	13,75	2,38e-07	14,04
90	2,03e-05	12,35	2,09e-05	12,27	3,72e-05	11,95	2,30e-05	12,20



a)



b)

Figura B.1 a) BER vs Distancia y b) Factor Q vs Distancia para una Potencia de transmisión de 0 dBm.

Tabla 2 Distancia máxima para una potencia de transmisión de 5 dBm.

Distancia (Km)	Canal 1		Canal 2		Canal 3		Canal 4	
	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
65	1,00e-40	22,96	2,46e-36	22,08	1,37e-36	22,12	1,00e-40	22,88
70	5,97e-33	21,59	2,91e-31	21,29	7,70e-32	21,45	2,49e-37	22,11
75	1,56e-24	20,35	4,52e-23	19,89	1,20e-23	20,24	1,08e-27	20,74
80	1,37e-20	19,36	3,85e-18	18,89	5,30e-18	18,88	2,20e-21	19,56
81	2,14e-18	19,00	3,11e-17	18,44	1,67e-17	18,72	3,87e-20	19,3
82	6,37e-20	19,20	1,69e-17	18,61	8,30e-18	18,82	1,84e-19	19,12
83	3,35e-18	18,71	1,53e-16	18,28	1,35e-16	18,47	1,77e-17	18,8
84	6,04e-17	18,52	1,39e-15	17,98	3,25e-17	18,47	3,03e-18	18,81
85	1,58e-15	17,84	3,50e-15	17,59	4,14e-15	17,46	4,39e-16	18,11
90	1,24e-11	16,72	1,39e-11	16,47	7,79e-13	17,00	2,97e-13	17,15



ANÁLISIS COMPARATIVO EN EL DESEMPEÑO DE UNA RED DWDM, A 10 Gbps, AL USAR CONFIGURACIONES RAMAN CON FIBRAS DCF.

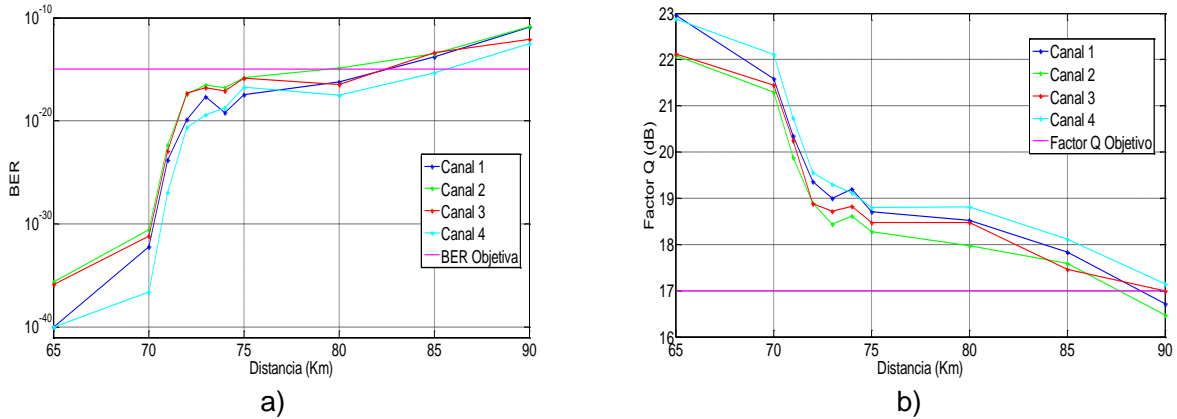


Figura B.2 a) BER vs Distancia y b) Factor Q vs Distancia para una Potencia de transmisión de 5 dBm.

Tabla 3 Distancia máxima alcanzada con una potencia de transmisión de 10 dBm.

Distancia (Km)	Canal 1		Canal 2		Canal 3		Canal 4	
	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
65	4,22e-38	22,35	5,33e-24	20,12	4,37e-23	19,85	6,64e-37	22,08
70	1,83e-37	22,26	3,34e-29	20,96	4,75e-30	21,39	1,01e-39	22,37
75	5,81e-29	21,06	3,84e-22	19,75	3,25e-21	19,59	7,56e-31	21,21
80	6,06e-25	20,26	4,41e-22	19,69	2,32e-20	19,47	3,89e-28	20,8
85	2,73e-24	20,25	1,65e-18	19,03	7,27e-19	19,22	7,93e-26	20,53
86	2,90e-21	19,75	7,15e-18	18,72	5,90e-19	19,15	4,03e-24	20,26
87	1,84e-20	19,39	2,55e-14	17,80	6,72e-16	18,05	2,27e-23	19,99
88	1,01e-20	19,36	4,72e-18	18,67	1,91e-16	18,38	4,04e-19	19,25
89	6,30e-19	18,95	6,30e-16	18,20	9,27e-16	18,32	3,48e-20	19,25
90	5,14e-18	18,81	6,23e-14	17,70	6,36e-16	18,16	5,13e-19	19,05
95	1,20e-13	17,38	8,57e-12	16,68	6,59e-13	17,01	1,15e-15	18,13
100	9,22e-12	16,73	7,49e-11	16,22	1,57e-10	15,98	1,84e-13	17,23
105	1,31e-09	15,50	2,85e-08	14,63	1,26e-08	14,93	1,10e-09	15,67
110	6,41e-08	14,45	2,68e-07	14,007	2,64e-07	14,03	5,51e-08	14,71

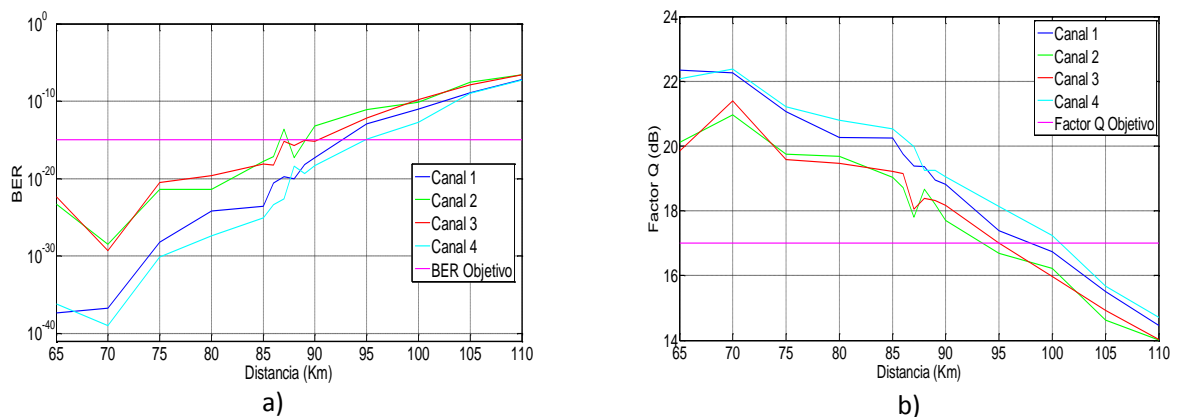


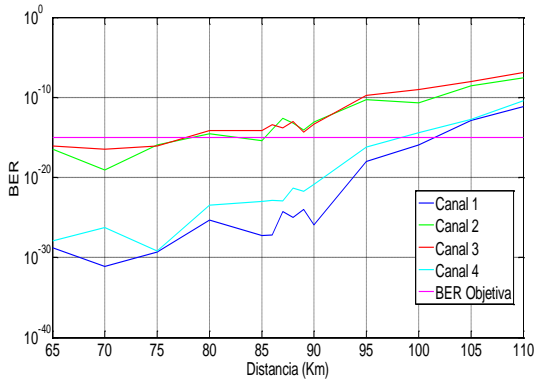
Figura B.3 a) BER vs Distancia y b) Factor Q vs Distancia para una Potencia de transmisión de 10 dBm.



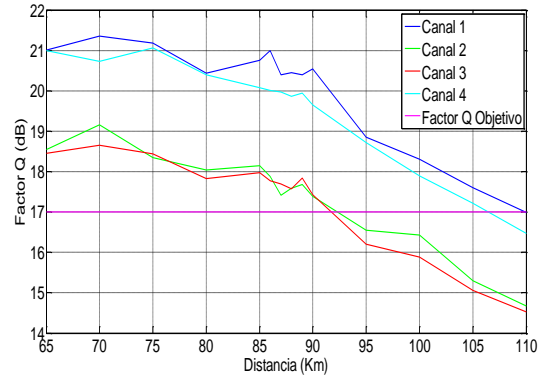
ANÁLISIS COMPARATIVO EN EL DESEMPEÑO DE UNA RED DWDM, A 10 Gbps, AL USAR CONFIGURACIONES RAMAN CON FIBRAS DCF.

Tabla 4 Distancia máxima alcanzada con una potencia de transmisión de 15 dBm.

Distancia (Km)	Canal 1		Canal 2		Canal 3		Canal 4	
	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
65	1,53e-29	21,00	3,30e-17	18,54	8,02e-17	18,45	1,24e-28	21,00
70	7,27e-32	21,35	8,57e-20	19,16	3,24e-17	18,65	5,54e-27	20,73
75	4,84e-30	21,18	1,17e-16	18,35	9,11e-17	18,44	6,78e-30	21,06
80	4,78e-26	20,43	3,01e-16	18,04	7,46e-16	17,83	3,41e-24	20,40
85	5,96e-28	20,75	3,86e-16	18,15	1,00e-15	17,97	9,95e-24	20,08
86	6,49e-28	21,00	9,86e-15	17,88	3,78e-14	17,77	1,36e-23	20,01
87	5,61e-25	20,39	2,27e-13	17,41	1,56e-14	17,69	1,10e-23	19,97
88	1,05e-25	20,45	6,18e-14	17,59	9,27e-14	17,58	4,45e-22	19,87
89	9,75e-25	20,39	8,69e-15	17,68	4,43e-15	17,84	1,95e-22	19,94
90	1,22e-26	20,54	7,78e-14	17,39	4,80e-14	17,43	1,36e-21	19,65
95	9,27e-19	18,85	5,60e-11	16,55	1,88e-10	16,20	6,22e-17	18,72
100	1,10e-16	18,30	2,01e-11	16,43	9,22e-10	15,88	3,96e-15	17,90
105	1,24e-13	17,60	2,97e-09	15,30	9,60e-09	15,06	1,87e-13	17,21
110	6,63e-12	16,99	2,77e-08	14,67	1,37e-07	14,52	3,74e-11	16,47



a)



b)

Figura B.4 a) BER vs Distancia y b) Factor Q vs Distancia para una Potencia de transmisión de 15 dBm.

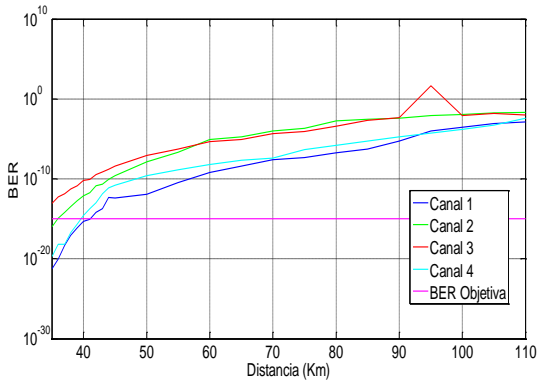
Tabla 5 Distancia máxima alcanzada con una potencia de transmisión de 20 dBm.

Distancia (Km)	Canal 1		Canal 2		Canal 3		Canal 4	
	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
35	5,58e-22	19,67	1,08e-16	18,33	1,00e-15	17,46	2,07e-20	19,49
36	8,38e-21	19,42	1,12e-15	18,025	5,08e-13	17,2	6,55e-19	19,18
37	4,46e-19	19,08	5,97e-15	17,79	1,36e-12	17,05	6,40e-19	18,85
38	9,28e-18	18,75	3,21e-14	17,54	5,66e-12	16,81	1,99e-17	18,51
39	7,43e-17	18,55	1,93e-13	17,26	1,42e-11	16,64	2,29e-16	18,23
40	5,11e-16	18,3	7,88e-13	17,02	6,16e-11	16,38	2,44e-15	17,94
41	9,07e-16	17,94	1,75e-12	16,87	8,50e-11	16,33	1,76e-14	17,71
42	6,63e-15	17,95	1,40e-11	16,47	3,28e-10	15,97	1,03e-13	17,47
43	1,80e-14	17,53	2,33e-11	16,35	7,57e-10	15,83	1,38e-12	17,06
44	4,81e-13	16,99	9,10e-11	16,05	1,67e-09	15,67	7,09e-12	16,79
45	4,19e-13	17,06	2,60e-10	15,85	4,27e-09	15,44	1,65e-11	16,67
50	1,19e-12	16,85	1,45e-08	14,84	8,29e-08	14,60	2,35e-10	16,07
55	3,50e-11	16,18	2,20e-07	13,96	5,48e-07	14,00	1,41e-09	15,70
60	5,84e-10	15,94	7,94e-06	12,62	4,48e-06	13,15	6,53e-09	15,29
65	3,89e-09	15,44	1,93e-05	12,13	8,38e-06	12,77	1,98e-08	14,87
70	2,46e-08	14,85	1,00e-04	11,11	4,62e-05	11,87	4,12e-08	14,53

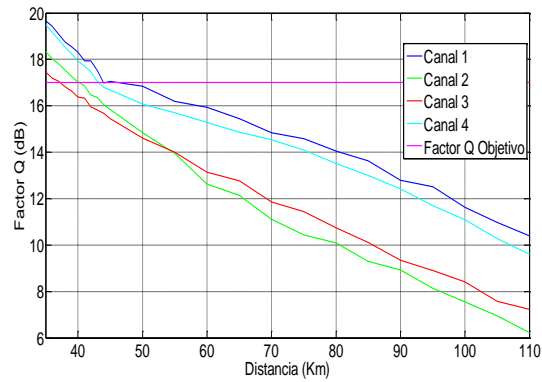


ANÁLISIS COMPARATIVO EN EL DESEMPEÑO DE UNA RED DWDM, A 10 Gbps, AL USAR CONFIGURACIONES RAMAN CON FIBRAS DCF.

75	4,63e-08	14,58	2,00e-04	10,44	8,31e-05	11,44	4,94e-07	14,10
80	1,75e-07	14,05	1,90e-03	10,08	4,00e-04	10,75	1,64e-06	13,51
85	5,45e-07	13,64	3,00e-03	9,29	2,10e-03	10,10	5,15e-06	12,99
90	5,63e-06	12,80	3,80e-03	8,92	4,80e-03	9,34	1,73e-05	12,42
95	9,63e-05	12,51	8,90e-03	8,13	4,50e-03	8,89	5,31e-05	11,69
100	3,00e-04	11,62	1,20e-02	7,55	8,80e-03	8,40	1,50e-04	11,10
105	8,00e-04	10,98	1,70e-02	6,95	1,50e-02	7,58	5,50e-04	10,28
110	1,30e-03	10,38	2,10e-02	6,21	1,10e-03	7,23	4,10e-03	9,60



a)



b)

Figura B.5 a) BER vs Distancia y b) Factor Q vs Distancia para una Potencia de transmisión de 20 dBm.

Tabla 6 Distancia máxima alcanzada con una potencia de transmisión de 25 dBm.

Distancia (Km)	Canal 1		Canal 2		Canal 3		Canal 4	
	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
10	1,00e-40	24,50	1,48e-19	19,01	2,99e-19	19,06	3,29e-30	21,25
12	1,00e-40	22,85	2,45e-16	18,12	3,72e-14	17,52	7,12e-20	19,34
14	1,80e-32	21,58	4,35e-13	17,03	4,51e-13	17,01	1,15e-17	18,76
16	1,46e-22	19,92	1,10e-09	15,41	3,06e-11	16,32	1,75e-17	18,72
18	6,05e-20	19,38	2,84e-08	14,59	4,19e-09	15,67	4,52e-15	17,93
20	4,26e-17	18,41	1,73e-07	14,33	4,80e-08	14,83	4,32e-13	17,15
24	2,09e-14	17,69	4,98e-07	13,95	1,64e-05	13,54	1,92e-09	15,4
28	9,19e-11	16,29	5,32e-06	13,09	9,33e-05	12,36	3,23e-08	14,78
32	3,06E-06	14,42	1,70e-04	11,63	9,80e-04	10,74	3,24e-06	13,39
36	4,00e-04	12,49	1,90e-03	9,76	3,00e-03	9,14	1,50e-04	11,52
40	4,00e-04	10,80	8,50e-03	7,83	1,00e-02	7,50	3,00e-03	9,71
45	4,00e-03	8,80	2,10e-02	6,17	9,80e-04	6,093	8,00e-03	7,87
50	9,80e-03	7,45	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,00e-02	6,45
55	2,00e-02	6,60	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02
60	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02
65	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02
70	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02
75	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02
80	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02
85	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02
90	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02
95	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02
100	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02
105	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02
110	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02



ANÁLISIS COMPARATIVO EN EL DESEMPEÑO DE UNA RED DWDM, A 10 Gbps, AL USAR CONFIGURACIONES RAMAN CON FIBRAS DCF.

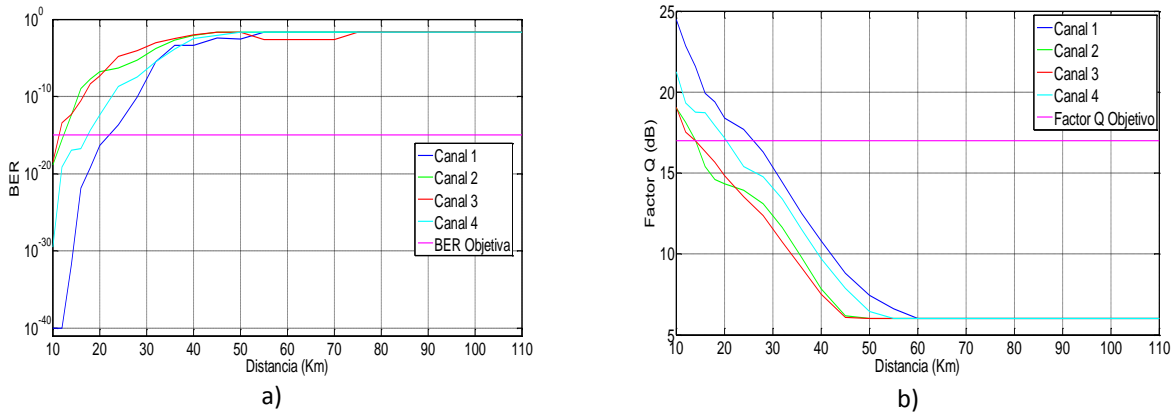


Figura B.6 (a) BER vs Distancia y b) Factor Q vs Distancia para una Potencia de transmisión de 25 dBm

Tabla 7 Distancia máxima alcanzable al realizar variaciones en la potencia de transmisión.

Potencia de transmisión (dBm)	Distancia máxima Longitud DCF (Km)	
	BER Objetiva (10^{-15})	BER Recomendación (10^{-12})
0	73	75
5	84	85
10	86	95
15	85	90
20	35	38
25	10	14

Tabla 8 Parámetros de monitoreo óptico en un tramo de fibra SSMF-28 para diferentes porcentajes de compensación de DCF en post-compensación.

Compensación (%)	Ptx=0dBm y D=73Km			Ptx=5dBm y D=84Km			Ptx=10dBm y D=86Km		
	BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)	BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)	BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)
0	1,41e-29	21,01	-18,48	2,16e-19	19,13	-15,67	1,88e-23	19,92	-11,03
25	2,68e-32	21,59	-20,17	4,66e-40	22,61	-17,62	2,82e-40	22,65	-13,03
50	1,00e-40	23,15	-21,88	1,00e-40	23,68	-19,58	1,00e-40	23,67	-15,03
75	2,67e-33	21,67	-23,58	1,00e-40	24,24	-21,53	1,00e-40	27,32	-17,03
80	6,93e-32	21,42	-23,92	1,00e-40	24,50	-21,92	1,00e-40	28,26	-17,43
100	4,77e-18	18,68	-25,29	3,13e-36	22,01	-23,51	1,00e-40	26,19	-19,05



Tabla 9 Distancia máxima para una potencia de transmisión de 0 dBm realizando compensación al 50 y 75 %.

Compensación (%)	Longitud DCF (Km)	Distancia (Km)	Canal 1		Canal 2		Canal 3		Canal 4	
			BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
50	6,2	84	7,17e-21	19,36	1,39e-19	19,1	9,03e-20	19,27	1,71e-19	19,11
		86	1,37e-18	18,90	1,55e-17	18,59	2,72e-17	18,53	7,63e-18	18,64
		88	2,78e-18	18,78	1,18e-14	17,7	3,22e-16	18,15	5,49e-16	18,14
		90	1,86e-14	17,63	2,97e-14	17,54	9,80e-14	17,53	1,11e-13	17,49
		92	1,45e-13	17,28	8,94e-13	16,97	3,89e-13	17,14	1,90e-11	16,43
		94	3,29e-11	16,33	8,49e-11	16,21	3,73e-10	15,84	3,38e-10	15,85
		96	7,41e-10	15,74	2,91e-09	15,5	3,90e-09	15,28	2,65e-09	15,43
75	9,3	74	6,17e-33	21,51	7,23e-30	21,16	3,13e-27	20,84	6,50e-28	20,94
		76	5,69e-25	20,38	5,09e-24	20,19	1,84e-24	20,15	2,53e-24	20,15
		78	1,01e-21	19,6	2,73e-21	19,57	5,02e-20	19,27	1,52e-20	19,54
		80	2,49e-17	18,72	3,80e-17	18,56	2,72e-17	18,57	5,50e-18	18,71
		82	2,95e-14	17,66	4,76e-15	17,81	1,00e-15	18,24	6,87e-15	17,77
		84	4,54e-14	17,45	1,52e-12	17,11	6,49e-14	17,58	3,29e-13	17,13
		86	4,24e-12	16,68	2,80e-11	16,53	6,01e-12	16,65	8,23e-11	16,32

Tabla 10 Distancia máxima para una potencia de transmisión de 5 dBm realizando compensación entre 50 y 80 %.

Compensación (%)	Longitud DCF (Km)	Distancia (Km)	Canal 1		Canal 2		Canal 3		Canal 4	
			BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
50	7,14	105	1,34e-22	19,80	7,86e-20	19,25	1,59e-19	19,09	1,39e-19	19,09
		107	3,52e-19	19,14	7,83e-18	18,65	7,86e-19	18,99	2,46e-18	18,87
		109	3,39e-16	18,41	3,71e-15	17,82	3,47e-16	18,17	6,75e-15	17,79
		111	5,03e-14	17,54	3,76e-14	17,58	1,83e-12	17,00	1,07e-13	17,33
		113	6,72e-13	17,17	1,59e-12	16,96	4,63e-12	16,88	3,07e-11	16,47
		115	8,45e-11	16,38	2,37e-10	16,14	7,13e-10	15,81	2,28e-10	16,03
55	7,854	106	2,30e-19	19,01	8,13e-18	18,61	1,02e-16	18,40	2,25e-18	18,75
		108	1,25e-17	18,57	1,95e-15	17,69	2,50e-16	18,22	3,65e-15	17,90
		110	7,99e-15	17,83	1,69e-14	17,07	6,24e-14	17,49	2,04e-13	17,36
		111	8,66e-14	17,39	1,53e-12	16,89	4,79e-12	16,86	9,83e-13	17,04
		112	7,13e-13	17,09	5,40e-12	16,87	1,05e-11	16,59	2,12e-12	16,94
		114	1,51e-11	16,51	5,96e-11	16,31	5,38e-10	15,90	4,05e-10	15,91
60	8,568	106	9,35e-17	18,46	5,97e-16	18,22	4,10e-16	18,13	6,31e-16	18,11
		108	2,08e-15	17,91	4,38e-14	17,45	2,36e-13	17,38	1,75e-14	17,60
		109	9,25e-14	17,54	3,98e-13	17,23	1,00e-13	17,33	3,39e-14	17,52



ANÁLISIS COMPARATIVO EN EL DESEMPEÑO DE UNA RED DWDM, A 10 Gbps, AL USAR CONFIGURACIONES RAMAN CON FIBRAS DCF.

		110	2,39e-13	17,30	1,94e-12	16,87	9,17e-12	16,72	6,78e-13	17,09
		112	2,60e-11	16,46	5,54e-11	16,23	2,08e-11	16,64	1,05e-10	16,08
		114	1,01e-10	16,20	9,76e-10	15,74	2,47e-09	15,35	1,31e-09	15,61
65	9,282	104	4,19e-16	18,35	5,12e-16	18,17	1,54e-16	18,36	8,51e-16	18,12
		105	4,04e-16	18,09	2,94e-15	18,10	3,65e-16	18,14	1,28e-14	17,68
		106	3,47e-15	17,89	3,98e-13	17,26	5,37e-15	17,76	3,09e-13	17,34
		107	2,72e-14	17,74	2,06e-13	17,24	3,96e-13	17,12	7,21e-14	17,30
		108	4,54e-13	17,18	1,23e-12	16,91	1,44e-12	17,05	2,63e-12	16,91
		110	1,33e-11	16,64	5,89e-12	16,69	1,21e-10	16,06	2,21e-10	16,05
70	9,996	102	7,99e-17	18,42	6,90e-16	18,17	7,53e-16	18,19	9,87e-16	18,07
		103	8,18e-16	18,04	2,20e-14	17,77	9,46e-16	18,1	1,13e-15	18,06
		104	8,03e-16	18,02	1,42e-14	17,63	5,66e-15	17,79	6,29e-15	17,74
		105	3,81e-14	17,51	3,29e-13	17,30	1,16e-13	17,34	1,80e-13	17,37
		106	3,19e-13	17,22	1,16e-12	16,94	2,15e-12	16,81	3,22e-12	16,88
		108	9,88e-12	16,60	5,36e-11	16,32	1,16e-10	16,19	2,56e-12	16,60
75	10,71	94	6,58e-27	20,58	1,52e-23	19,94	1,47e-21	19,68	7,06e-25	20,22
		96	5,23e-23	19,87	9,47e-21	19,48	9,63e-21	19,35	1,01e-21	19,65
		98	2,97e-20	19,41	1,48e-19	19,08	2,95e-18	18,9	1,86e-18	19,03
		100	2,81e-17	18,70	2,91e-16	18,33	1,14e-16	18,33	4,58e-16	18,1
		102	5,37e-15	17,91	8,67e-15	17,73	4,07e-14	17,56	2,36e-14	17,62
		104	3,14e-13	17,28	3,65e-13	17,17	1,13e-13	17,31	1,85e-12	17,00
80	11,424	98	1,74e-18	18,81	1,32e-18	18,96	3,12e-17	18,66	4,96e-17	18,63
		99	1,45e-16	18,50	1,36e-17	18,61	9,92e-17	18,34	4,79e-16	18,15
		100	2,13e-15	18,14	5,84e-16	18,07	2,81e-17	18,46	4,75e-15	17,88
		101	1,19e-14	17,85	2,66e-14	17,75	1,87e-16	18,21	2,31e-13	17,37
		102	4,08e-14	17,66	1,29e-13	17,28	6,67e-13	17,07	1,43e-13	17,27
		103	1,99e-13	17,25	1,90e-12	16,83	2,34e-12	16,90	9,09e-12	16,77
		104	3,14e-12	16,81	1,40e-12	16,80	4,97e-11	16,21	2,21e-12	16,80

Tabla 11 Distancia máxima para una potencia de transmisión de 10 dBm realizando compensación al 50 y 75 %.

Compensación (%)	Longitud DCF (Km)	Distancia (Km)	Canal 1		Canal 2		Canal 3		Canal 4	
			BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
50	7,31	124	1,47e-20	19,43	2,63e-18	18,73	4,19e-19	19,08	1,72e-22	19,8
		126	5,49e-20	19,47	3,57e-16	18,25	7,16e-19	19,01	1,34e-19	19,11
		128	8,24e-16	18,30	1,01e-14	17,67	2,68e-14	17,58	1,38e-16	18,50
		130	2,50e-15	17,90	3,87e-13	17,29	1,17e-15	17,99	1,77e-15	18,14



ANÁLISIS COMPARATIVO EN EL DESEMPEÑO DE UNA RED DWDM, A 10 Gbps, AL USAR CONFIGURACIONES RAMAN CON FIBRAS DCF.

		132	1,76e-13	17,44	2,71e-12	17,1	5,33e-13	17,13	6,45e-13	17,26
		134	5,83e-11	16,23	6,48e-10	15,94	1,48e-10	16	3,98e-11	16,57
75	10,96	120	1,24e-21	19,58	1,86e-16	18,41	6,56e-19	19,15	9,63e-19	19,02
		122	2,50e-19	19,19	3,01e-15	18,11	3,78e-16	18,16	1,17e-17	18,74
		124	3,65e-17	18,63	4,43e-15	17,99	8,62e-15	17,79	1,03e-16	18,4
		126	2,56e-15	18	4,58e-14	17,56	3,78e-14	17,65	4,86e-13	17,2
		128	3,30e-14	17,59	9,83e-13	17,04	1,51e-12	17	1,67e-12	16,88
		130	2,52e-12	16,81	6,73e-12	16,67	1,61e-11	16,43	1,76e-11	16,43



ANEXO C: RESULTADOS DE SIMULACIÓN PARA EL CASO DE ESTUDIO 1.

En el presente anexo se muestran diferentes tablas con los resultados de las simulaciones realizadas para cada caso de estudio 1: amplificación EDFA sin inyección Raman, en ellas se ha resaltado los valores que cumplen con los valores de BER de 10^{-15} .

Tabla 1 Parámetros ópticos frente a variaciones del porcentaje de compensación de la DCF para una distancia máxima de 84 Km con amplificación EDFA.

Potencia (dBm)	Configuración EDFA	Distancia fibra SSMF-28 (Km)	Compensación (%)	Longitud DCF (Km)	BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)
5	Booster e Inline	84	0	0	2,07e-15	18,13	-6,57
			25	3,57	1,00e-40	22,74	-8,51
			50	7,14	1,00e-40	23,09	-10,46
			75	10,71	1,00e-40	27,34	-12,46
			80	11,42	1,00e-40	29,31	-12,83
5	Inline	84	0	0	9,27e-20	19,12	-6,53
			25	3,57	1,00e-40	23,27	-8,47
			50	7,14	1,00e-40	23,97	-10,42
			75	10,71	1,00e-40	28,44	-12,41
			80	11,42	1,00e-40	30,99	-12,77
			100	14,28	1,00e-40	31,18	-14,38

Tabla 2 Distancia máxima para una potencia de transmisión de 5 dBm utilizando amplificación EDFA en esquema Inline.

Amplificación EDFA	Longitud DCF (Km)	Distancia (Km)	Canal 1				
			BER	Factor Q (dB)	OSNRin (dB)	OSNRout (dB)	Prx (dBm)
Inline	10,71	120	1,00e-40	23,19	36,75	25,7252	-11,12
		132	2,97e-35	21,86	36,75	25,1198	-13,52
		144	1,28e-21	19,59	36,75	24,2664	-15,85
		146	7,65e-18	18,85	36,75	24,2461	-16,23
		150	9,86e-16	18,28	36,75	24,1641	-17,06
		162	6,01e-09	15,39	36,75	22,9908	-19,37
		180	2,50e-04	10,92	36,75	20,894	-22,93
		190	2,90e-03	8,81	36,75	19,4945	-24,85
		200	1,15e-02	7,07	36,75	17,6124	-26,85
		230	2,28e-02	6,02	36,75	12,7045	-32,49
		250	2,28e-02	6,02	36,75	No detectado	No detectado

Tabla 3 Distancia máxima para una potencia de transmisión de 5 dBm utilizando amplificación EDFA en esquema Booster e Inline.

Amplificación EDFA	Compensación (%)	Longitud DCF (Km)	Canal 1		
			Distancia (Km)	BER	Factor Q (dB)
Booster e Inline	50	10,71	130	1,22E-17	18,56
			132	2,94E-18	18,93
			133	2,37E-16	18,23
			134	9,03E-15	17,82
			135	1,06E-13	17,54



ANÁLISIS COMPARATIVO EN EL DESEMPEÑO DE UNA RED DWDM, A 10 Gbps, AL USAR CONFIGURACIONES RAMAN CON FIBRAS DCF.

Tabla 4 Parámetros de monitoreo para segmentos de red concatenados en configuración Inline.

Distancia Total (Km)	Número de span's	Longitud de span (Km)	Configuración EDFA	Factor Q (dB)	BER	OSNRout (dB)	Prx (dBm)
560	8	70	Inline	18,01	1,50e-15	22,3057	-13,98
504	7	72		18,00	6,32e-15	22,0501	-16,27
444	6	74		18,13	1,44e-15	21,5856	-17,67
380	5	76		18,87	2,73e-18	22,0008	-17,79
320	4	80		19,22	5,61e-20	22,3571	-18,70
252	3	84		20,86	1,27e-28	23,6449	-17,44
258	3	86		20,1	2,50e-23	23,0471	-18,72
270	3	90		18,70	5,02e-18	22,2701	-21,09
200	2	100		21,91	8,16e-36	23,8364	-18,17
150	1	150		18,28	9,86e-16	24,1641	-22,35

Tabla 5 Parámetros de monitoreo para segmentos de red concatenados en configuración Booster e Inline.

Distancia Total (Km)	Número de span's	Longitud de span (Km)	Configuración EDFA	Factor Q (dB)	BER	OSNRout (dB)	Prx (dBm)
770	11	70	Booster e Inline	17,57	6,96e-15	25,0821	- 6,33
720	10	72		18,58	1,20e-17	25,0742	- 6,51
740	10	74		18,00	6,89e-15	25,2254	- 6,59
684	9	76		17,96	1,88e-15	24,8200	- 6,76
640	8	80		18,36	6,36e-17	24,7956	- 7,23
588	7	84		18,16	2,97e-15	24,8775	- 7,42
516	6	86		19,08	1,13e-19	24,8553	- 7,75
540	6	90		19,19	1,95e-19	24,4441	- 7,98
500	5	100		18,00	5,03e-15	24,2220	- 10,54
150	1	150		18,20	4,24e-16	23,1090	- 24,35



ANÁLISIS COMPARATIVO EN EL DESEMPEÑO DE UNA RED DWDM, A 10 Gbps, AL USAR CONFIGURACIONES RAMAN CON FIBRAS DCF.

Tabla 6 Parámetros de monitoreo al realizar variación del coeficiente de atenuación de la DCF.

Distancia (Km)	Atenuación DCF (dB/Km)													
	3,5		2,7		1,4		0,55		0,35		0,235		0,1	
	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
70	2,28e-02	6,02	1,70e-03	9,31	1,00e-40	30,33	1,00e-40	31,67	1,00e-40	31,53	1,00e-40	31,44	1,00e-40	31,51
72	2,28e-02	6,02	1,40e-03	9,49	1,00e-40	30,69	1,00e-40	32,18	1,00e-40	31,56	1,00e-40	31,77	1,00e-40	31,62
80	2,28e-02	6,02	1,30e-03	9,60	1,00e-40	30,18	1,00e-40	30,99	1,00e-40	30,43	1,00e-40	30,93	1,00e-40	30,9
90	2,28e-02	6,02	1,30e-03	9,68	1,00e-40	25,42	1,00e-40	25,59	1,00e-40	25,72	1,00e-40	25,18	1,00e-40	25,74
100	2,28e-08	6,02	1,30e-03	9,55	1,00e-40	23,36	1,00e-40	23,69	1,00e-40	23,79	1,00e-40	23,67	1,00e-40	23,61
110	2,28e-02	6,02	1,72e-02	6,55	1,00e-40	22,80	1,00e-40	23,09	1,00e-40	23,02	1,00e-40	23,13	1,00e-40	23,03
146	2,28e-02	6,02	2,28e-02	6,02	4,19e-10	15,75	7,65e-18	18,85	8,18e-16	18,89	8,03e-18	18,90	7,99e-18	18,91
150	2,28e-02	6,02	2,28e-02	6,02	1,99e-07	14,16	9,86e-16	18,28	5,72e-16	18,37	3,50e-16	18,40	2,39e-16	18,42
200	2,28e-02	6,02	2,28e-02	6,02	2,27e-02	6,02	1,15e-02	7,07	1,05e-02	7,54	7,90e-03	7,65	8,00e-03	7,71
250	2,28e-02	6,02	2,28e-02	6,02	2,27e-02	6,02	2,27e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,27e-02	6,02

Tabla 7 Comportamiento de la red ante la variación del coeficiente de dispersión de la DCF.

Distancia (Km)		Coeficiente de dispersión (dB/km*nm)		Longitud DCF (Km)			
				10, 71 (42%)		19, 125 (75%)	
		BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
150	-17	5,03e-03	8,31	1,10e-03	10,00	4,00e-04	10,47
	-50	2,28e-05	12,35	1,32e-11	16,48	2,56e-11	16,60
	-80	1,98e-10	15,99	6,26e-24	20,13	7,33e-16	18,04
	-95	6,76e-15	17,81	1,20e-22	19,98	2,44e-17	18,47
	-100	9,86e-16	18,28	6,81e-25	20,37	2,80e-16	18,40
	-120	1,39e-25	20,33	1,00e-40	22,91	4,03e-12	16,86
	-170	2,68e-30	22,11	8,95e-15	12,72	1,65e-02	6,60
	-250	1,00e-40	22,65	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02
-300	8,93e-18	18,69	2,27e-02	6,02	2,20e-02	6,02	

Tabla 8 Comportamiento de la red ante la variación de diferentes longitud de la DCF con diferentes coeficiente de dispersión.

Distancia (Km)		Coeficiente de dispersión (dB/km*nm)		Longitud DCF (Km)									
				6,375 (25%)		10,71 (42%)		12,75 (50%)		19, 125 (75%)		20,4 (80%)	
		BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
150	-17	1,20e-02	6,97	5,80e-03	8,10	5,00e-03	8,17	1,27e-03	9,63	1,00e-03	9,83	6,50e-04	10,15
	-50	1,60e-03	9,35	2,85e-05	12,23	6,29e-06	12,99	3,24e-11	16,3	4,06e-12	16,82	1,50e-11	16,49
	-80	1,10e-04	11,46	2,37e-10	15,96	1,40e-12	17,15	2,38e-23	20,15	4,04e-21	19,67	1,31e-15	17,97
	-95	1,39e-05	12,53	8,12e-15	17,78	7,78e-19	19,01	1,38e-22	19,98	3,59e-24	20,32	2,52e-17	18,49
	-100	6,64e-06	12,88	9,86e-16	18,28	4,74e-22	19,64	6,81e-25	20,37	9,34e-29	20,89	2,80e-16	18,4



ANÁLISIS COMPARATIVO EN EL DESEMPEÑO DE UNA RED DWDM, A 10 Gbps, AL USAR CONFIGURACIONES RAMAN CON FIBRAS DCF.

-120	1,17e-07	14,28	1,09e-25	20,35	5,49e-24	20,86	1,00e-40	22,89	6,78e-35	21,96	3,08e-12	16,78
-170	4,06e-14	17,67	2,90e-30	21,15	1,00e-40	24,40	1,14e-13	17,34	5,26e-08	14,66	1,60e-02	6,48
-250	2,63e-30	21,20	9,11e-40	22,37	2,74e-17	18,63	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02
-300	1,61e-38	24,24	8,93e-18	18,69	2,67e-05	7,99	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02

Tabla 9 Desempeño de la red al realizar variaciones en la potencia de los dispositivos de amplificación EDFA para diferentes potencias de transmisión.

Potencia EDFA (dBm)	Potencia de Transmisión (dBm)					
	0		5		10	
	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
0	6,05e-12	16,78	9,86e-16	18,28	8,40e-23	19,83
2	6,05e-12	16,78	9,86e-16	18,28	1,43e-22	19,80
4	6,05e-12	16,78	9,86e-16	18,28	8,91e-22	19,71
6	6,05e-12	16,78	9,86e-16	18,28	3,05e-20	19,53
8	6,05e-12	16,78	9,86e-16	18,28	6,06e-20	19,38
10	6,05e-12	16,78	9,86e-16	18,28	6,06e-20	19,38
12	6,05e-12	16,78	9,86e-16	18,28	6,06e-20	19,38
14	6,05e-12	16,78	9,86e-16	18,28	6,06e-20	19,38
16	6,05e-12	16,78	9,86e-16	18,28	6,06e-20	19,38
18	6,05e-12	16,78	9,86e-16	18,28	6,06e-20	19,38
20	6,05e-12	16,78	9,86e-16	18,28	6,06e-20	19,38
21	6,05e-12	16,78	9,86e-16	18,28	6,06e-20	19,38
23	6,05e-12	16,78	9,86e-16	18,28	6,06e-20	19,38

Tabla 10 Desempeño del enlace en el canal 1 frente a las variaciones de las potencias de transmisión de los canales 2, 3 y 4.

Potencia de transmisión para canal 2,3 y 4 (dBm)	Potencia de transmisión para canal 1 (dBm)								
	0			5			10		
	BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)	BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)	BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)
0	1,80e-16	18,27	-13,77	1,10e-12	17,12	-13,74	5,14e-09	15,45	-15,66
5	6,68e-22	19,80	-8,80	9,86e-16	18,28	-8,79	5,18e-13	17,05	-11,40
10	1,73e-35	21,85	-3,79	2,12e-33	21,68	-3,86	1,81e-25	20,54	-7,08
15	1,00e-40	27,42	-1,35	1,00e-40	27,17	-2,10	1,00e-40	25,94	-3,87
20	5,29e-31	21,27	-1,08	1,13e-30	21,23	-1,37	9,83e-30	21,15	-2,12
25	1,44e-05	12,4	-1,39	2,14e-05	12,22	-1,48	5,40e-05	11,79	-1,77

Tabla 11 Comportamiento del canal 1 y 4, ante la variación de la potencia de transmisión de los canales 2 y 3 con una CD=17.

Potencia de transmisión	Potencia de transmisión para canal 1 y 4 (dBm)					
	0		5		10	
	BER	Factor Q	BER	Factor Q	BER	Factor Q



para canal 2 y 3 (dBm)		(dB)		(dB)		(dB)
0	1,15e-09	15,67	6,33e-17	18,47	1,38e-31	21,34
5	6,93e-08	14,52	9,86e-16	18,28	1,00e-27	20,92
10	3,72e-07	14,01	7,89e-15	17,86	7,51e-30	21,09
15	4,93e-05	11,76	2,38e-09	15,47	1,19e-17	18,63
20	2,20e-02	6,02	5,10e-03	9,51	6,43e-06	12,87
25	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02

Tabla 12 Parámetros de monitoreo óptico debido al efecto de XPM mediante la variación del coeficiente de dispersión cromática.

		Potencia de transmisión para canal 1 y 4 (dBm)	
		5	
Potencia de transmisión para canal 2 y 3 (dBm)	CD (ps/nm*Km)	BER	Factor Q (dB)
10	17	7,89e-15	17,86
	15	2,98e-24	20,13
	13	2,20e-25	20,42
	11	4,17e-28	20,97
	9	1,00e-40	25,06
	7	1,00e-40	23,21
	5	5,35e-25	20,42
	3	2,70e-13	17,30
	0	3,96e-05	11,93

Tabla 13 Comportamiento del canal 1, ante la variación de la potencia de los canales 2, 3 y 4 para una CD=17.

Potencia de transmisión para canal 2, 3 y 4 (dBm)	Potencia de transmisión para canal 1 (dBm)					
	0		5		10	
	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
0	8,88e-11	16,34	3,02e-17	18,54	2,15e-20	19,49
2	1,31e-10	16,18	6,33e-17	18,47	1,92e-20	19,47
5	1,58e-10	15,99	9,86e-16	18,28	2,79e-20	19,35
8	5,88e-08	14,54	2,36e-11	16,40	4,20e-20	19,34
12	7,61e-05	11,69	3,30e-09	15,40	9,59e-16	18,20
16	7,80e-03	7,98	2,72e-05	12,25	3,77e-09	15,51
18	2,20e-02	6,02	5,00e-03	9,20	4,96e-06	13,15
20	2,20e-02	6,02	1,20e-02	7,25	1,70e-03	10,00
23	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02
25	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02



Tabla 14 Parámetros de monitoreo óptico debido al efecto de FWM mediante la variación del coeficiente de dispersión cromática.

Potencia de transmisión para canal 1 (dBm)	CD (ps/nm*Km)	Potencia de transmisión para canal 2, 3 y 4 (dBm)					
		0		5		20	
		BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
5	17	3,02e-17	18,54	9,86e-16	18,28	1,20e-02	7,25
	15	1,97e-33	21,75	7,61e-30	21,33	1,30e-02	8,01
	13	1,00e-40	23,57	1,00e-40	23,04	6,60e-03	8,98
	11	1,00e-40	24,37	1,00e-40	23,48	1,90e-03	9,86
	9	1,00e-40	30,83	1,00e-40	30,25	2,70e-03	9,66
	7	1,00e-40	29,26	1,00e-40	28,17	4,50e-03	9,12
	5	1,00e-40	23,32	1,00e-40	23,11	2,20e-02	6,02
	3	3,23e-31	21,53	1,25e-28	20,86	2,20e-02	6,02
	0	2,18e-08	14,87	2,28e-07	14,24	2,20e-02	6,02



ANEXO D: RESULTADOS DE SIMULACIÓN PARA EL CASO DE ESTUDIO 2.

En el presente anexo se muestran diferentes tablas con los resultados de las simulaciones realizadas para cada caso de estudio 2: inyección Raman sin amplificación EDFA, en ellas se ha resaltado los valores que cumplen con los valores de BER de 10^{-15} .

Tabla 1 Parámetros ópticos ante variaciones en la potencia de bombeo a diferentes porcentajes de compensación.

		Longitud DCF (Km)								
		0 (0%)			3,57 (25%)			7,14 (50%)		
Distancia (Km)	Potencia de bombeo (dBm)	BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)	BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)	BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)
84	0	6,04e-17	18,52	-17,01	1,00e-40	22,68	-18,06	1,00e-40	24,04	-20,04
	2	3,98e-18	18,71	-16,96	1,00e-40	22,87	-18,03	1,00e-40	24,53	-20,00
	4	1,70e-18	18,79	-16,94	1,00e-40	23,25	-18,00	1,00e-40	25,24	-19,98
	6	5,52e-19	18,91	-16,86	1,00e-40	23,52	-17,92	1,00e-40	25,48	-19,89
	8	3,63e-19	18,96	-16,84	1,00e-40	23,95	-17,82	1,00e-40	26,02	-19,87
	10	1,51e-19	19,05	-16,76	1,00e-40	24,12	-17,68	1,00e-40	26,27	-19,78
	12	7,67e-20	19,13	-16,62	1,00e-40	24,77	-17,27	1,00e-40	26,66	-19,64
	14	4,36e-20	19,18	-16,22	1,00e-40	24,83	-16,90	1,00e-40	26,86	-19,24
	16	1,51e-20	19,27	-15,84	1,00e-40	24,96	-16,19	1,00e-40	26,90	-18,86
	18	3,67e-24	20,06	-15,14	1,00e-40	25,51	-16,19	1,00e-40	27,26	-18,16
	20	1,23e-25	20,35	-14,01	1,00e-40	26,01	-15,07	1,00e-40	27,45	-17,05
	22	3,17e-26	20,44	-12,24	1,00e-40	26,69	-13,29	1,00e-40	27,70	-15,26
	24	1,17e-26	20,52	-9,58	1,00e-40	26,81	-10,62	1,00e-40	27,85	-12,60
	26	6,06e-27	20,57	-5,19	1,00e-40	27,83	-6,22	1,00e-40	28,09	-8,22
	27	1,26e-15	17,94	1,38	1,75e-14	17,58	0,38	8,32e-12	16,54	-1,57
		Longitud DCF (Km)								
		10, 71 (75%)			11,42 (80%)			14,28 (100%)		
	Potencia bombeo (dBm)	BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)	BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)	BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)
84	0	1,00e-40	24,32	-22,01	1,00e-40	24,40	-22,39	1,00e-40	21,77	-23,98
	2	1,00e-40	24,39	-21,97	1,00e-40	24,41	-22,36	1,00e-40	21,79	-23,94
	4	1,00e-40	24,42	-21,94	1,00e-40	24,43	-22,33	1,00e-40	21,80	-23,91
	6	1,00e-40	24,50	-21,86	1,00e-40	24,51	-22,25	1,00e-40	21,89	-23,82
	8	1,00e-40	24,56	-21,85	1,00e-40	24,66	-22,24	1,00e-40	21,96	-23,81
	10	1,00e-40	24,58	-21,75	1,00e-40	24,68	-22,14	1,00e-40	22,33	-23,71
	12	1,00e-40	25,02	-21,61	1,00e-40	25,30	-22,00	1,00e-40	23,09	-23,67
	14	1,00e-40	25,07	-21,21	1,00e-40	25,56	-21,60	1,00e-40	23,80	-23,17
	16	1,00e-40	25,72	-20,83	1,00e-40	26,00	-21,21	1,00e-40	23,91	-22,79
	18	1,00e-40	26,58	-20,14	1,00e-40	27,16	-20,53	1,00e-40	26,25	-22,10
	20	1,00e-40	27,19	-19,00	1,00e-40	28,29	-19,40	1,00e-40	26,79	-20,97



ANÁLISIS COMPARATIVO EN EL DESEMPEÑO DE UNA RED DWDM, A 10 Gbps, AL USAR CONFIGURACIONES RAMAN CON FIBRAS DCF.

	22	1,00e-40	27,21	-17,22	1,00e-40	28,34	-17,62	1,00e-40	27,82	-19,18
	24	1,00e-40	27,62	-14,55	1,00e-40	28,55	-14,97	1,00e-40	28,37	-16,51
	26	1,00e-40	28,64	-10,15	1,00e-40	29,58	-10,63	1,00e-40	29,63	-12,11
	27	2,24e-07	14,05	-3,65	3,45e-06	13,04	-4,13	1,02e-03	9,80	-5,72

Tabla 2 Parámetros de monitoreo óptico en un tramo de fibra SSMF-28 para diferentes longitudes de DCF con Post-compensación.

Potencia (dBm)	Potencia de bombeo dBm)	Distancia fibra SSMF-28 (Km)	Compensación (%)	Longitud DCF (Km)	Longitud de bombeo (nm)	BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)
5	26	84	0	0	1428,603	6,06e-27	20,57	-5,19
			25	3,57		1,00e-40	27,83	-6,22
			50	7,14		1,00e-40	28,09	-8,22
			75	10,71		1,00e-40	28,64	-10,15
			80	11,42		1,00e-40	29,58	-10,63
			100	14,28		1,00e-40	29,63	-12,11

Tabla 3 Parámetros ópticos al realizar compensación a menos del 50% con amplificación Raman.

Amplificación	Longitud DCF (Km)	Canal 1				
		Distancia (Km)	BER	Factor Q (dB)	OSNRout (dB)	Prx (dBm)
Raman	10,71	148	1,27e-17	18.86	25.19	-22,52
		150	1,33e-16	18.32	25.28	-22,75
		153	1,80e-15	18.04	24.96	-23,10
		155	2,71e-14	17.53	25.34	-23,34
		160	1,18e-10	16.03	25.23	-24,15

Tabla 4 Parámetros de monitoreo para segmentos de red concatenados con amplificación Raman.

Distancia Total (Km)	Número de span's	Longitud de span (Km)	Amplificación	Factor Q (dB)	BER	OSNRout (dB)	Prx (dBm)
1260	18	70	Raman	18,54	3,02e-17	16,6436	- 22,63
1080	15	72		18,44	3,58e-17	16,8980	- 21,73
888	12	74		18,87	6,54e-18	19,7964	- 20,58
760	10	76		18,98	2,21e-18	20,6447	- 20,25
320	7	80		19,33	1,28e-19	22,4275	- 18,84
420	5	84		20,16	1,47e-24	23,3021	- 17,04
430	5	86		17,87	3,16e-15	23,3880	- 18,69
180	4	90		18,22	2,02e-15	23,6400	- 17,85
100	2	100		23,70	1,00e-40	25,3009	- 12,59
153	1	153		18,04	1,80e-15	25,3009	- 16,25



Tabla 5 Parámetros de monitoreo al realizar variación del coeficiente de atenuación de la DCF.

Distancia (Km)	Atenuación DCF (dB/Km)													
	3,5		2,7		1,4		0,55		0,35		0,235		0,1	
	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
70	2,27e-02	6,02	2,27e-02	6,02	1,00e-40	24,60	1,00e-40	32,79	1,00e-40	34,28	1,00e-40	34,41	1,00e-40	34,45
72	2,27e-02	6,02	2,27e-02	6,02	1,00e-40	23,56	1,00e-40	32,89	1,00e-40	33,80	1,00e-40	34,13	1,00e-40	34,37
80	2,27e-02	6,02	2,27e-02	6,02	1,61e-28	21,07	1,00e-40	32,86	1,00e-40	33,45	1,00e-40	33,62	1,00e-40	32,72
90	2,27e-02	6,02	2,27e-02	6,02	2,91e-13	17,19	1,00e-40	27,88	1,00e-40	28,41	1,00e-40	28,57	1,00e-40	28,66
100	2,27e-02	6,02	2,27e-02	6,02	1,78e-06	13,33	1,00e-40	22,91	1,00e-40	24,46	1,00e-40	24,63	1,00e-40	21,74
110	2,27e-02	6,02	2,27e-02	6,02	1,09e-03	9,77	5,56e-36	21,95	1,00e-40	22,86	1,00e-40	23,15	1,00e-40	23,37
146	2,27e-02	6,02	2,27e-02	6,02	2,27e-03	6,02	1,09e-16	18,61	9,21e-15	18,30	1,14e-15	18,14	1,00e-22	19,92
153	2,27e-02	6,02	2,27e-02	6,02	2,27e-02	6,02	6,52e-16	18,04	1,05e-13	16,72	1,88e-09	15,51	1,10e-13	17,53
200	2,27e-02	6,02	2,27e-02	6,02	2,27e-02	6,02	2,27e-02	6,02	2,22e-02	6,10	2,27e-02	6,02	2,27e-02	6,02
250	2,27e-02	6,02	2,27e-02	6,02	2,27e-02	6,02	2,27e-02	6,02	2,22e-02	6,10	2,27e-02	6,02	2,27e-02	6,02

Tabla 6 Comportamiento de la red ante la variación del coeficiente de dispersión de la DCF.

Distancia (Km)	Coeficiente de dispersión (dB/km*nm)	Longitud DCF (Km)							
		10, 71 (41,17%)		13, 005 (50%)		19,50 (75%)		26,01 (100%)	
		BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
153	-17	1,36e-03	9,55	9,10e-04	9,97	1,10e-03	9,73	1,86e-02	6,37
	-50	1,25e-06	13,69	8,46e-08	14,67	7,95e-09	15,04	1,49e-03	9,64
	-80	2,13e-13	17,24	9,65e-19	18,95	3,10e-11	16,32	1,33e-03	9,95
	-95	4,70e-15	17,98	8,43e-26	20,37	3,05e-12	16,85	9,50e-04	10,15
	-100	1,80e-15	18,04	1,70e-26	20,57	1,99e-12	17,02	7,40e-04	10,57
	-120	1,96e-30	21,36	9,44e-27	20,62	1,43e-12	16,95	2,50e-03	9,07
	-170	1,44e-35	21,91	1,00e-40	23,01	1,48e-06	13,40	2,20e-02	6,02
	-250	1,57e-33	21,83	1,40e-13	17,28	2,27e-02	6,02	2,20e-02	6,02
-300	4,43e-16	18,39	2,30e-04	10,88	2,27e-02	6,02	2,20e-02	6,02	

Tabla 7 Comportamiento de la red ante la variación de diferentes longitudes de la DCF con diferentes coeficientes de dispersión.

Distancia (Km)	Coeficiente de dispersión (dB/km*nm)	Longitud DCF (Km)											
		6,375		10,71		12,75		19, 125		20,4		25,5	
		BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
153	-17	4,30e-03	8,51	1,70e-03	9,32	1,30e-03	9,7	1,06e-03	9,78	1,74e-03	9,37	1,73e-02	6,53
	-50	2,10e-04	11,01	1,84e-06	13,52	1,31e-07	14,52	4,04e-08	14,73	2,80e-07	14,21	7,50e-04	10,06
	-80	2,97e-06	13,21	3,33e-13	17,18	9,84e-18	18,84	2,06e-11	16,52	1,42e-09	15,63	2,10e-04	10,96
	-95	8,94e-08	14,44	1,58e-15	18,07	1,35e-26	20,56	1,01e-11	16,69	1,82e-10	16,06	4,00e-04	10,5
	-100	3,27e-08	14,77	1,80e-15	18,04	9,64e-27	20,75	5,52e-13	17,12	5,30e-11	16,36	3,20e-04	10,71



ANÁLISIS COMPARATIVO EN EL DESEMPEÑO DE UNA RED DWDM, A 10 Gbps, AL USAR CONFIGURACIONES RAMAN CON FIBRAS DCF.

	-120	4,15e-11	16,36	1,43e-30	21,38	1,63e-26	20,67	4,08e-14	17,46	1,50e-10	15,99	1,50e-03	9,46
	-170	1,80e-24	20,32	1,26e-35	22,10	1,00e-40	23,27	1,89e-07	14,11	3,01e-05	12,06	2,20e-02	6,02
	-250	1,10e-37	22,36	5,49e-34	21,78	2,10e-14	17,67	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02
	-300	1,00e-40	24,7	1,02e-15	18,12	2,00e-04	10,97	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02

Tabla 8 Desempeño del enlace en el canal 1 frente a las variaciones de las potencias de transmisión de los canales 2, 3 y 4.

Potencia de transmisión para canal 2, 3 y 4 (dBm)	Potencia de transmisión para canal 1 (dBm)								
	0			5			10		
	BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)	BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)	BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)
0	2,20e-02	6,02	-32,39	2,20e-02	6,02	-32,32	2,20e-02	6,02	-32,34
5	3,86e-09	15,45	-27,38	1,80e-15	18,04	-27,41	2,50e-05	12,18	-27,50
10	8,69e-20	19,25	-22,39	1,23e-20	19,37	-22,40	3,97e-18	18,83	-22,43
15	1,00e-40	25,54	-17,40	1,00e-40	25,46	-17,41	1,00e-40	24,56	-17,38
20	8,05e-32	21,5	-12,42	1,56e-31	21,49	-12,43	5,07e-30	21,32	-12,43
25	3,86e-05	12,09	-7,582	4,70e-05	11,92	-7,83	8,65e-05	11,49	-7,85

Tabla 9 Comportamiento del canal 1 y 4, ante la variación de la potencia de transmisión de los canales 2 y 3 con una CD=17.

Potencia de transmisión para canal 2 y 3 (dBm)	Potencia de transmisión para canal 1 y 4 (dBm)					
	0		5		10	
	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
0	4,23e-12	16,68	1,64e-16	18,25	2,09e-30	21,19
5	2,69e-11	16,37	1,80e-15	18,04	5,18e-29	20,99
10	2,73e-09	15,38	1,41e-15	18,01	3,16e-25	20,55
15	9,50e-04	10,07	2,73e-07	14,23	4,45e-13	17,21
20	2,20e-02	6,02	2,00e-03	9,27	2,18e-05	12,25
25	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02

Tabla 10 Parámetros de monitoreo óptico debido al efecto de XPM mediante la variación del coeficiente de dispersión cromática.

Potencia de transmisión para canal 2 y 3 (dBm)	CD (ps/nm*Km)	Potencia de transmisión para canal 1 y 4 (dBm)	
		5	
		BER	Factor Q (dB)
10	17	1,41e-15	18,01
	15	1,40e-24	20,24
	13	1,59e-26	20,69
	11	1,23e-37	22,15
	9	1,00e-40	25,66
	7	1,00e-40	24,56
	5	1,94e-30	21,14



	3	2,09e-14	17,74
	0	2,15e-05	12,24

Tabla 11 Comportamiento del canal 1, ante la variación de la potencia de los canales 2, 3 y 4 para una CD=17.

Potencia de transmisión para canal 2, 3 y 4 (dBm)	Potencia de transmisión para canal 1 (dBm)					
	0		5		10	
	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
0	3,37e-03	8,66	1,33e-16	18,32	6,35e-30	21,08
2	4,18e-03	8,53	1,02e-15	18,12	8,47e-28	20,77
5	3,78e-03	8,49	1,80e-15	18,04	4,20e-27	20,70
8	5,03e-03	8,23	2,09e-10	15,96	6,07e-24	20,24
12	7,61e-03	7,68	1,67e-07	14,15	3,10e-20	19,44
16	2,20e-02	6,02	6,28e-05	12,36	4,81e-12	16,70
18	2,20e-02	6,02	1,47e-03	9,60	2,73e-07	14,24
20	2,20e-02	6,02	9,60e-03	7,55	2,20e-04	11,18
23	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02
25	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02

Tabla 12 Parámetros de monitoreo óptico debido al efecto de FWM mediante la variación del coeficiente de dispersión cromática.

Potencia de transmisión para canal 1 (dBm)	CD (ps/nm*Km)	Potencia de transmisión para canal 2, 3 y 4 (dBm)					
		0		5		20	
		BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
5	17	1,33e-16	18,32	1,80e-15	18,04	9,60e-03	7,55
	15	1,25e-18	18,96	5,87e-17	18,58	8,00e-03	8,31
	13	5,73e-20	19,19	1,18e-18	18,90	2,70e-03	9,33
	11	6,54e-22	19,63	1,22e-22	19,83	1,23e-03	9,63
	9	4,19e-27	20,59	1,56e-25	20,49	1,36e-03	9,70
	7	6,79e-25	20,23	1,84e-24	20,20	8,00e-03	8,51
	5	2,83e-19	19,01	3,03e-18	18,90	2,20e-02	6,02
	3	5,50e-16	18,13	4,39e-14	17,70	2,20e-02	6,02
	0	1,61e-06	13,39	1,06e-05	12,63	2,20e-02	6,02



ANEXO E: RESULTADOS DE SIMULACIÓN PARA EL CASO DE ESTUDIO 3.

En el presente anexo se muestran diferentes tablas con los resultados de las simulaciones realizadas para cada caso de estudio 3: inyección Raman con amplificación EDFA, en ellas se ha resaltado los valores que cumplen con los valores de BER de 10^{-15} .

Tabla 1 Parámetros ópticos ante variaciones en la potencia de bombeo a diferentes porcentajes de compensación.

Distancia (Km)		Longitud DCF (Km)								
		0 (0%)			3,57 (25%)			7,14 (50%)		
		BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)	BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)	BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)
84	0	9,27e-19	18,85	-6,53	1,00e-40	23,27	-8,47	1,00e-40	23,97	-10,42
	2	1,98e-20	19,26	-6,51	1,00e-40	23,62	-8,44	1,00e-40	24,10	-10,38
	4	6,08e-21	19,37	-6,48	1,00e-40	23,80	-7,99	1,00e-40	24,19	-10,14
	6	1,44e-22	19,51	-6,41	1,00e-40	24,21	-7,02	1,00e-40	24,43	-10,01
	8	7,17e-23	19,80	-5,55	1,00e-40	24,37	-6,96	1,00e-40	24,64	-9,98
	10	3,63e-23	19,86	-4,10	1,00e-40	24,55	-6,95	1,00e-40	24,71	-9,95
	12	8,31e-24	19,99	-3,99	1,00e-40	24,57	-6,95	1,00e-40	24,97	-9,91
	14	3,46e-24	20,06	-2,85	1,00e-40	24,60	-6,10	1,00e-40	25,47	-9,87
	16	4,34e-25	20,23	-1,90	1,00e-40	24,85	-5,98	1,00e-40	26,30	-9,82
	18	7,10e-26	20,38	-1,20	1,00e-40	25,05	-5,73	1,00e-40	26,92	-9,11
	20	9,35e-27	20,54	-0,69	1,00e-40	25,16	-5,50	1,00e-40	27,27	-8,84
	22	3,32e-28	20,78	0,20	1,00e-40	25,33	-5,22	1,00e-40	28,57	-7,97
	24	8,90e-29	20,89	1,03	1,00e-40	25,69	-5,05	1,00e-40	29,29	-7,85
	26	1,23e-30	21,15	1,05	1,00e-40	25,93	-4,49	1,00e-40	29,66	-7,79
	27	4,66e-15	17,78	-2,02	1,13e-17	18,60	-5,99	7,89e-19	19,77	-10,01
		Longitud DCF (Km)								
		10, 71 (75%)			11,42 (80%)			14,28 (100%)		
		BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)	BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)	BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)
84	0	1,00e-40	28,44	-12,41	1,00e-40	30,99	-12,77	1,00e-40	31,18	-14,38
	2	1,00e-40	28,56	-12,38	1,00e-40	31,04	-12,75	1,00e-40	31,96	-14,21
	4	1,00e-40	29,08	-12,31	1,00e-40	31,15	-12,50	1,00e-40	32,21	-14,15
	6	1,00e-40	29,32	-12,27	1,00e-40	31,18	-12,42	1,00e-40	32,67	-13,92
	8	1,00e-40	29,39	-12,21	1,00e-40	31,49	-12,30	1,00e-40	33,09	-13,50
	10	1,00e-40	29,45	-11,16	1,00e-40	31,64	-12,21	1,00e-40	33,79	-13,11
	12	1,00e-40	29,53	-11,11	1,00e-40	31,72	-12,12	1,00e-40	33,85	-12,44
	14	1,00e-40	29,59	-10,8	1,00e-40	31,99	-11,92	1,00e-40	34,01	-12,01
	16	1,00e-40	30,02	-10,5	1,00e-40	32,66	-11,50	1,00e-40	34,22	-11,63
	18	1,00e-40	30,39	-10,41	1,00e-40	32,98	-11,15	1,00e-40	34,61	-11,19
	20	1,00e-40	31,62	-9,96	1,00e-40	33,29	-10,9	1,00e-40	34,96	-10,47



ANÁLISIS COMPARATIVO EN EL DESEMPEÑO DE UNA RED DWDM, A 10 Gbps, AL USAR CONFIGURACIONES RAMAN CON FIBRAS DCF.

	22	1,00e-40	31,78	-9,24	1,00e-40	33,72	-10,26	1,00e-40	35,03	-10,28
	24	1,00e-40	31,84	-9,21	1,00e-40	34,01	-10,05	1,00e-40	35,11	-10,13
	26	1,00e-40	33,91	-9,12	1,00e-40	34,15	-9,95	1,00e-40	35,28	-9,98
	27	6,66e-22	19,56	-12,42	9,08e-26	20,53	-14,11	5,46e-29	21,01	-16,06

Tabla 2 Parámetros de monitoreo óptico en un tramo de fibra SSMF-28 para diferentes longitudes de DCF con Post-compensación.

Potencia (dBm)	Potencia de bombeo dBm)	Distancia fibra SSMF-28 (Km)	Compensación (%)	Longitud DCF (Km)	Longitud de bombeo (nm)	BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)
5	26	84	0	0	1428,603	1,23e-30	21,15	1,05
			25	3,57		1,00e-40	25,93	-4,49
			50	7,14		1,00e-40	29,66	-7,79
			75	10,71		1,00e-40	33,91	-9,12
			80	11,42		1,00e-40	34,15	-9,95
			100	14,28		1,00e-40	35,28	-9,98

Tabla 3 Distancia máxima al usar configuración híbrida para una potencia de transmisión de 5 dBm.

Amplificación	Compensación (%)	Longitud DCF (Km)	Canal 1				
			Distancia (Km)	BER	Factor Q (dB)	OSNR out (dB)	Prx (dBm)
EDFA Inline y Raman	39.3	10,71	150	1.68e-21	19.59	28.46	-11.67
			152	1.06e-17	18.80	28.02	-12.11
			154	5.25e-16	18.23	27.91	-13.96
			156	5.38e-16	17.81	27.16	-14.82
			158	7.09e-16	17.58	26.62	-15.83
			160	8.77e-15	17.29	26.01	-16.14
EDFA Booster-Inline y Raman	39.3	10,71	150	6,19e-21	19,62	26,28	-11,49
			152	2,69e-17	18,73	25,94	-11,94
			154	4,22e-17	18,39	25,90	-13,29
			156	6,45e-17	18,35	25,89	-13,71
			158	2,25e-15	17,47	25,64	-13,86
			160	9,27e-14	17,11	25,62	-14,30

Tabla 4 Parámetros de monitoreo óptico para segmentos de red concatenados con amplificación Raman y una etapa de amplificación EDFA, en configuración Inline (Modo Full).

Distancia Total (Km)	Número de span's	Longitud de span (Km)	Configuración EDFA	Factor Q (dB)	BER	OSNRout (dBm)	Prx (dBm)
2520	36	70	Inline	8,54e-15	17,69	22,5203	-11,79
1872	26	72		1,39e-15	18,04	23,9171	- 10,17
962	13	74		2,13e-15	18,00	25,0484	-8,82
912	12	76		6,22e-15	17,91	24,6617	- 8,74
640	8	80		8,04e-15	17,74	25,3145	- 8,40



ANÁLISIS COMPARATIVO EN EL DESEMPEÑO DE UNA RED DWDM, A 10 Gbps, AL USAR CONFIGURACIONES RAMAN CON FIBRAS DCF.

504	6	84		4,65e-15	17,98	25,5152	- 8,11
430	5	86		5,55e-16	18,23	25,3042	- 8,13
360	4	90		2,55e-18	19,03	25,6743	- 7,84
200	2	100		1,00e-20	20,01	25,8408	- 7,84
160	1	160		8,77e-15	17,29	25,6944	- 7,72

Tabla 5 Parámetros de monitoreo óptico para segmentos de red concatenados con amplificación Raman y dos etapas de amplificación EDFA (Modo Full).

Distancia Total (Km)	Número de span's	Longitud de span (Km)	Configuración EDFA	Factor Q (dB)	BER	OSNRout (dBm)	Prx (dBm)
1960	28	70	Booster e Inline	6,82e-15	17,78	23,8153	-10,70
1944	27	72		5,66e-15	17,83	24,2720	-10,28
888	12	74		1,77e-15	18,02	25,5653	-8,31
836	11	76		7,06e-15	17,93	25,3176	-8,44
640	8	80		7,02e-15	17,89	25,1195	-8,42
420	5	84		8,15e-16	18,04	25,3241	-8,11
430	5	86		7,53e-16	18,23	25,5122	-7,96
360	4	90		2,16e-17	18,50	25,5723	-7,77
200	2	100		2,83e-20	19,46	25,8962	-7,74
160	1	160		6,51e-20	19,21	25,6301	-9,22

Tabla 6 Parámetros de monitoreo óptico para segmentos de red concatenados con amplificación Raman y una y dos etapas de amplificación EDFA (Modo Linear Fiber).

Distancia total (Km)	Número de span's	Longitud de span (Km)	Configuración EDFA	Compensación (%)	Longitud DCF (Km)	BER	Factor Q (dB)
4060	58	70	Inline	50	9,52	5.11e-15	17.94
1872	26	72			9,79	2.79e-15	18.11
1184	16	74			10,06	1.45e-15	18.09
912	12	76			10,33	9.05e-15	17.81
640	8	80			10,88	2.46e-15	18.13
504	6	84			11,42	2.11e-15	18.12
430	5	86			11,69	1.12e-15	18.19
360	4	90			12,24	3.08e-15	18.07
200	2	100			13,60	3.44e-20	19.31
160	1	160			20,40	4.75e-19	18.93
4480	64	70			Booster e Inline	50	9,52
1872	26	72	9,79	7.40e-16			18.17
1184	16	74	10,06	1.55e-16			18.38
912	12	76	10,33	2.42e-15			18.12
640	8	80	10,88	4.29e-15			17.98
504	6	84	11,42	1.71e-15			18.08



ANÁLISIS COMPARATIVO EN EL DESEMPEÑO DE UNA RED DWDM, A 10 Gbps, AL USAR CONFIGURACIONES RAMAN CON FIBRAS DCF.

430	5	86			11,69	8.24e-15	18.01
360	4	90			12,24	1.64e-16	18.31
200	2	100			13,60	1.55e-20	19.35
160	1	160			20,40	8.92e-19	18.87

Tabla 7 Parámetros de monitoreo al realizar variación del coeficiente de atenuación de la DCF.

Distancia (Km)	Atenuación DCF (dB/Km)													
	3,5		2,7		1,4		0,55		0,35		0,235		0,1	
	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
70	2,28e-02	6,02	3,00e-03	8,76	1,00e-40	31,76	1,00e-40	33,71	1,00e-40	33,31	1,00e-40	32,94	1,00e-40	32,37
72	2,28e-02	6,02	3,10e-03	8,78	1,00e-40	31,46	1,00e-40	33,06	1,00e-40	32,64	1,00e-40	32,35	1,00e-40	31,87
80	2,28e-02	6,02	2,70e-03	8,88	1,00e-40	30,84	1,00e-40	32,93	1,00e-40	32,58	1,00e-40	32,17	1,00e-40	31,51
90	2,28e-02	6,02	2,10e-03	9,10	1,00e-40	28,29	1,00E-40	28,76	1,00e-40	28,55	1,00e-40	28,34	1,00e-40	27,99
100	2,28e-02	6,02	2,50e-03	8,96	1,00e-40	24,36	1,00e-40	24,54	1,00e-40	24,43	1,00E-40	24,33	1,00e-40	24,17
110	2,28e-02	6,02	2,80e-03	8,94	1,00e-40	23,22	1,00e-40	23,45	1,00e-40	23,39	1,00E-40	23,32	1,00e-40	23,20
146	2,28e-02	6,02	2,20e-02	6,02	4,04e-33	21,59	5,52e-36	22,07	4,37e-36	22,03	1,14E-36	22,10	3,96e-35	21,94
160	2,28e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,54e-16	18,54	8,77e-15	18,57	1,24e-16	18,58	1,21E-16	18,59	1,49e-16	18,55
200	2,28e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,27e-02	6,02	1,20e-04	10,73	2,00e-04	10,86	3,00E-04	10,90	2,00e-04	10,92
250	2,28e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20E-02	6,02	2,20e-02	6,02

Tabla 8 Comportamiento de la red ante la variación del coeficiente de dispersión de la DCF.

Distancia (Km)	Coeficiente de dispersión (dB/km*nm)	Longitud DCF (Km)					
		10, 71 (39,37%)		20,40 (75%)		27,2 (100%)	
		BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
160	-17	9,60e-04	9,83	4,34e-05	11,97	8,17e-06	12,70
	-50	2,96e-07	14,02	9,15e-22	19,62	2,67e-33	21,70
	-80	9,45e-15	17,05	3,99e-36	22,04	1,00e-40	26,20
	-95	9,08e-15	17,11	1,00e-40	25,15	1,00e-40	24,94
	-100	8,77e-15	17,29	1,00e-40	27,16	1,00e-40	22,91
	-120	3,48e-36	22,00	1,00e-40	25,03	1,15e-20	19,32
	-170	1,00e-40	23,57	4,10e-13	17,33	1,80e-02	6,42
	-250	5,52e-37	22,17	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02
	-300	1,90e-15	18,07	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02



ANÁLISIS COMPARATIVO EN EL DESEMPEÑO DE UNA RED DWDM, A 10 Gbps, AL USAR CONFIGURACIONES RAMAN CON FIBRAS DCF.

Tabla 9 Comportamiento de la red ante la variación de diferentes longitudes de la DCF con diferentes coeficientes de dispersión.

		Longitud DCF (Km)											
		6,375		10,71		12,75		19, 125		20,4		25,5	
Distancia (Km)	Coefficiente de dispersión (dB/km*nm)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
160	-17	1,92e-02	6,25	1,45e-02	6,81	1,04e-02	7,33	4,80e-03	8,47	2,80e-03	8,85	1,50e-03	9,57
	-50	3,50e-03	8,59	1,60e-04	11,15	1,80e-05	12,34	4,39e-11	16,26	2,78e-12	16,99	8,09e-22	19,59
	-80	3,00e-04	10,86	1,07e-08	15,03	3,99e-13	17,11	1,00e-40	22,69	1,00e-40	22,79	1,00e-40	23,15
	-95	4,44e-05	12,05	4,73e-13	17,07	2,68e-21	19,57	1,00e-40	22,55	1,00e-40	22,91	1,00e-40	26,62
	-100	2,28e-05	12,36	8,77e-15	17,29	2,82e-24	20,31	1,00e-40	22,80	1,00e-40	23,92	1,00e-40	26,42
	-120	8,30e-07	13,84	8,60e-26	20,51	1,00e-40	22,98	1,00e-40	28,63	1,00e-40	28,7	1,02e-33	21,61
	-170	3,71e-15	18,01	1,00e-40	22,93	1,00e-40	26,37	2,45e-26	20,74	2,83e-15	17,81	5,30e-03	8,14
	-250	1,00e-40	22,85	1,00e-40	27,16	5,05e-32	21,52	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02
	-300	1,00e-40	22,9	3,34e-31	21,33	1,11e-06	13,56	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02

Tabla 10 Desempeño de la red al realizar variaciones en la potencia de los dispositivos de amplificación EDFA para diferentes potencias de transmisión.

Potencia EDFA (dBm)	Potencia de Transmisión (dBm)					
	0		5		10	
	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
0	1,15e-09	15,67	8,77e-15	17,29	9,04e-30	21,09
2	1,15e-09	15,67	8,77e-15	17,29	7,51e-30	21,09
4	1,15e-09	15,67	8,77e-15	17,29	7,51e-30	21,09
6	1,15e-09	15,67	8,77e-15	17,29	7,51e-30	21,09
8	1,15e-09	15,67	8,77e-15	17,29	7,51e-30	21,09
10	1,15e-09	15,67	8,77e-15	17,29	7,51e-30	21,09
12	1,15e-09	15,67	8,77e-15	17,29	7,51e-30	21,09
14	1,15e-09	15,67	8,77e-15	17,29	7,51e-30	21,09
16	1,15e-09	15,67	8,77e-15	17,29	7,51e-30	21,09
18	1,15e-09	15,67	8,77e-15	17,29	7,51e-30	21,09
20	1,15e-09	15,67	8,77e-15	17,29	7,51e-30	21,09
21	1,15e-09	15,67	8,77e-15	17,29	7,51e-30	21,09
23	1,15e-09	15,67	8,77e-15	17,29	7,51e-30	21,09



Tabla 11 Desempeño del enlace en el canal 1 frente a las variaciones de las potencias de transmisión de los canales 2, 3 y 4.

Potencia de transmisión para canal 2,3 y 4 (dBm)	Potencia de transmisión para canal 1 (dBm)								
	0			5			10		
	BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)	BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)	BER	Factor Q (dB)	Prx (dBm)
0	1,15e-09	15,67	-21,47	1,39e-07	14,43	-21,47	3,40e-07	13,97	-21,38
5	4,18e-17	18,46	-16,56	8,77e-15	17,29	-16,14	2,14e-13	17,24	-16,65
10	5,94e-28	20,85	-11,55	2,19e-27	20,65	-11,56	7,51e-30	21,09	-11,53
15	1,00e-40	26,04	-6,58	1,00e-40	26,02	-6,571	1,00e-40	25,33	-6,57
20	1,22e-27	20,69	-1,59	2,98e-27	20,63	-1,61	3,77e-26	20,44	-2,12
25	1,51e-05	12,38	-1,33	2,46e-05	12,14	-1,42	5,37e-05	11,72	-1,69

Tabla 12 Comportamiento del canal 1 y 4, ante la variación de la potencia de transmisión de los canales 2 y 3 con una CD=17.

Potencia de transmisión para canal 2 y 3 (dBm)	Potencia de transmisión para canal 1 y 4 (dBm)					
	0		5		10	
	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
0	8,88e-11	16,34	2,14e-15	17,49	4,99e-20	19,44
5	9,09e-10	15,83	8,77e-15	17,29	5,51e-20	19,25
10	4,68e-08	14,55	3,24e-14	17,12	1,74e-19	19,19
15	1,10e-04	11,28	1,74e-07	14,27	5,12e-13	17,08
20	2,20e-02	6,02	5,50e-03	8,34	5,20e-04	11,14
25	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02

Tabla 13 Parámetros de monitoreo óptico debido al efecto de XPM mediante la variación del coeficiente de dispersión cromática.

Potencia de transmisión para canal 2 y 3 (dBm)	CD (ps/nm*Km)	Potencia de transmisión para canal 1 y 4 (dBm)	
		5	
		BER	Factor Q (dB)
10	17	3,24e-14	17,12
	15	1,06e-25	20,37
	13	2,71e-31	21,36
	11	1,19e-39	22,41
	9	1,00e-40	26,75
	7	1,00e-40	25,68
	5	2,05e-35	21,91
	3	2,87e-15	17,85
	0	2,46e-05	12,17



Tabla 14 Comportamiento del canal 1, ante la variación de la potencia de los canales 2, 3 y 4 para una CD=17.

Potencia de transmisión para canal 2, 3 y 4 (dBm)	Potencia de transmisión para canal 1 (dBm)					
	0		5		10	
	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)	BER	Factor Q (dB)
0	1,15e-09	15,67	4,18e-17	18,46	5,94e-28	20,85
2	1,94e-08	14,79	5,46e-15	17,85	2,04e-28	20,90
5	1,39e-07	14,43	8,77e-15	17,29	2,19e-27	20,89
8	2,56e-07	14,02	5,86e-13	17,24	7,49e-28	21,06
12	2,96e-06	13,18	3,04e-12	16,74	9,48e-23	19,83
16	4,50e-03	9,20	1,90e-06	13,28	2,82e-12	16,95
18	1,98e-02	6,34	8,60e-04	10,32	2,33e-07	14,31
20	2,20e-02	6,02	1,00e-02	7,67	8,73e-05	11,42
23	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02
25	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02	2,20e-02	6,02

Tabla 15 Parámetros de monitoreo óptico debido al efecto de FWM mediante la variación del coeficiente de dispersión cromática.

Potencia de transmisión para canal 2, 3 y 4 (dBm)	CD (ps/nm*Km)	Potencia de transmisión para canal 1 (dBm)	
		5	
		BER	Factor Q (dB)
0	17	4,18e-17	18,46
	15	2,76e-28	21,10
	13	9,37e-31	21,38
	11	1,00e-40	23,10
	9	1,00e-40	25,71
	7	1,00e-40	23,90
	5	4,28e-30	21,30
	3	3,84e-21	19,43
	0	1,79e-07	14,19
5	17	8,77e-15	17,29
	15	5,36e-27	20,67
	13	5,27e-27	20,79
	11	7,60e-38	22,15
	9	1,00e-40	25,38
	7	1,00e-40	23,50
	5	1,26e-28	20,94
	3	4,98e-18	18,88
	0	3,53e-07	13,91



20	17	1,00e-02	7,67
	15	4,60e-03	9,09
	13	2,80e-03	9,61
	11	3,40e-03	9,54
	9	2,10e-03	10,28
	7	4,90e-03	8,61
	5	2,20e-02	6,02
	3	2,20e-02	6,02
	0	2,20e-02	6,02



REFERENCIAS

- [1] J. R. Santamaría, "Sistemas de Multiplexación CWDM: actualidad, ventajas y desventajas frente a otros sistemas de multiplexación y tendencias," Tesis de Pregrado, Facultad de Ingeniería, Universidad de Costa Rica, Costa Rica, 2004..
- [2] A. F. Ocampo, "Simulación de un enlace de fibra óptica basado en WDM (Wavelength Division Multiplexing) utilizando POFS (Polymer Optical Fiber) en el espectro de luz visible," Tesis de Pregrado, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2014.
- [3] L. D. Melendez, "Estudio de integración de redes DWDM con las redes Metro Ethernet," Tesis de maestría, Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica, 2013.
- [4] R. Blanco, "Desarrollo de una GUI para el estudio de sistemas de comunicaciones ópticas," Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 2012.
- [5] B. Chomycz, Planning Fiber Optic Networks, The McGraw-Hill Professional, 2009.
- [6] E. Alvarez, C. G. Hernández y G. A. Quiroz, "Transmisiones ópticas mediante el uso de solitones," Tesis de Pregrado, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Instituto Politécnico Nacional, México D.F, México, 2007.
- [7] I. Hernández y B. K. Mora, "Análisis del dimensionamiento de una red con fibra óptica para los servicios de televisión, internet y telefonía en la colonia sindicato mexicano de electricistas," Tesis de Pregrado, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Instituto Politécnico Nacional, México D.F, México, 2013.
- [8] C. Ayala y D. Tentori, "Caracterización de un aislador óptico de fibra insensible al estado de polarización," en *e-Gnosis*, pp. 1-8, 2009.
- [9] M. A. Mendoza, "Estudio de factibilidad para el gerenciamiento del proceso de migración de SDH a DWDM de la red de fibra óptica de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones en Quito," Tesis de Maestría, Departamento de Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador, 2013.
- [10] G. M. Armas y G. A. Montero, "Estudio y diseño mediante la técnica de transmisión DWDM para la red SDH del anillo central de la ciudad de Guayaquil de la corporacion nacional de telecomunicaciones E.P, e integración a la red nacional," Tesis de Pregrado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2012.



- [11] C. A. García, "Análisis de la Tecnología IP sobre WDM," Tesis de Pregrado, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 2006.
- [12] D. Sembroiz, "Desarrollo de un algoritmo energy-aware de enrutamiento y asignación de longitudes de onda en redes ópticas," Tesis de Pregrado, Departamento de Arquitectura de Computadores, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España, 2013.
- [13] A. García, "Diseño y caracterización de sistemas optoelectrónicos de comunicaciones basados en fibra óptica," Tesis de Pregrado, Departamento de Tecnología Electrónica, Universidad Carlos III de Madrid, Getafe, España, 2011.
- [14] 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 Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2009.
- [15] J. Sierra y Y. Donoso, "Modelo de asignación predictivo de longitudes de ondas en redes WDM teniendo en cuenta dispersión residual y tráfico unicast/multicast con QoS," en Rev Fac. Ing. Univ. Antioquia, nº 50, pp. 170-180, Dic 2009.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] R. W. Cadena, "Estudio de la red óptica CWDM (Coarse wavelength Division Multiplexing) y propuesta de una metodología de diseño," Tesis de Pregrado, Escuela de Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2005.
- [19] C. E. Sangucho y W. B. Morocho, "Diseño de la red BACKHAUL para una nueva salida de cable submarino, utilizando la fibra óptica del oleoducto de crudos pesados a disposición del estado ecuatoriano," Tesis de Pregrado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2009.
- [20] R. A. Gómez, "Estudio y análisis de pérdidas en redes de fibra óptica basadas en el estándar SONET/SDH y su evolución hacia DWDM," Tesis de Pregrado, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 2007.
- [21] C. del Rio y P. Rodríguez, "Fibras ópticas: Interacción dispersión-chirp en sistemas ópticos modulados directamente," en *ÓPTICA PURA Y APLICADA*, nº 3, pp. 231-247,



2013.

- [22] H. Guano , P. Molina y M. Jiménez, "Estudio y Simulación de los efectos no lineales Scattering ESTimulado de Brillouin (SBS) y Scattering Estimulado de Raman (SRS) en una Fibra Óptica Monomodo," Revista EPN, vol. 33, nº 3, Ene 2014.
- [23] A. Ortiz, "Contribución al estudio de la amplificación Raman en Fibras ópticas," Tesis Doctoral, Dept Fis, Universidad de Córdoba, Córdoba, Colombia, 2013.
- [24] V. de Miguel, "Desarrollo de láser random de fibra óptica multi-longitud de onda conmutable y reconfigurable en tiempo real para interrogación remota de sensores," Tesis de Pregrado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación, Pamplona, España, 2014.
- [25] D. A. Mera y B. F. Pabon, "Estudio y diseño de las redes ópticas WDM (Wavelength Division Multiplexing) y su aplicación en redes de acceso," Tesis de Pregrado, Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador, 2002.
- [26] L. C. Hinojosa, "Temas Selectos de Fibra Óptica," Tesis de Pregrado, Universidad Autónoma del estado de Hidalgo, Pachuca, México, 2007.
- [27] H. Fernández Ramirez, "Diseño e implementación de un Aggregate Manager para el Ofelia Control Framework," Tesis de Pregrado, Facultad de Informática de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2014.
- [28] E. Alvarez, C. G. Hernández y G. A. Quiroz, "Transmisiones ópticas mediante el uso de solitones," Tesis de Pregrado, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Instituto Politécnico Nacional, México D.F, México, 2007.
- [29] I. Márquez, et al, "Sensor distribuido para la detección de esfuerzos de umbral mediante rejillas de Bragg," en *Revista Mexicana de Física*, vol. 49, nº 6, pp. 542-548, Dic 2003.
- [30] N. P. Puente, et al, "Fibras ópticas con inhomogeneidad inducida," en *Rev ingenierías FIME Universidad Autónoma de Nuevo León*, vol. XIV, nº 56, Jul-Sep 2012.
- [31] E. Borland, "Sistema de monitorización de redes ópticas de acceso con multiplexación en longitud de onda," Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España, 2014.
- [32] J. Ferrin, "Estudio y diseño de una propuesta para el mejoramiento de la capacidad de la red de fibra óptica de la UCSG utilizando tecnología," Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2014.



- [33] M. S. Fajardo, «Simulación de códigos de línea destinada a transmisiones de datos en forma digital," Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Santiago de Chile, Guayaquil, Ecuador, 2014.
- [34] Huawei Technologies, OptiX BWS 1600G Technical Description, China, 2006.
- [35] Huawei Technologies, OptiX OSN 3500 Technical Manual, China, 2005.
- [36] Huawei Technologies, Optix Metro 6040, China.
- [37] IBM, OptiX OSN 6800 and OSN 3800, USA, 2011.