



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN DE UN ENLACE DE FIBRA
ÓPTICA Y EVALUACIÓN DE LOS SERVICIOS DE
TRANSPORTE GbETHERNET CON DIFERENTES
NIVELES DE SERVICIO (SERVICE LEVEL
AGREEMENT)**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

P R E S E N T A

ABNER ELÍAS LUNA TOLEDO

**DIRECTOR DE TESIS:
ING. ÁLVARO ALEJANDRO MARROQUÍN MORA**



CIUDAD UNIVERSITARIA, Cd. Mx., 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por su esfuerzo, dedicación, consejos y amor para salir adelante en los momentos difíciles.

A mis amigos y compañeros de Universidad quienes me brindaron su apoyo incondicional sin esperar algo a cambio.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería por enseñarme todos los conocimientos necesarios para solucionar problemas para bien de nuestro país.

A mi asesor de tesis Ing. Álvaro Marroquín, sus conocimientos, sus orientaciones y su paciencia fueron fundamentales para mi formación como Ingeniero.

Un especial agradecimiento a la empresa ALMA LABORATORIOS por ser un apoyo fundamental para el desarrollo de la presente tesis.

A los miembros de mi Jurado por su tiempo dedicado a la revisión de este trabajo y por sus valiosas observaciones.

ÍNDICE

1	Marco Teórico.....	1
1.1	Introducción.....	1
1.2	Planteamiento del problema y solución	1
1.3	Objetivo.....	2
1.4	Redes en la actualidad.....	2
1.5	Fibra Óptica para Comunicaciones.....	3
1.5.1	Atenuación	5
1.5.1.1	Medición de la atenuación por método de pérdidas por Inserción.....	6
1.5.1.2	Método de Atenuación por Reflectometría.....	6
1.5.2	Dispersión	8
1.5.2.1	Dispersión Cromática	9
1.5.2.2	Dispersión por Modos de Polarización.....	10
1.5.3	Ventajas del uso de Fibras Ópticas	12
1.6	GbEthernet para Redes de Transporte.....	13
1.6.1	Características de GbEthernet.....	15
1.6.2	Calidad de Servicio (QoS)	16
1.6.3	Niveles de priorización de servicios.....	16
1.6.3.1	Acuerdo de Niveles de Servicio (Service Level Agreement)	17
1.7	Estándares para evaluar la calidad de servicio (QoS)	18
1.7.1	Estándar RFC2544.....	18
1.7.1.1	Pruebas de RFC2544	18
1.7.1.2	Desventajas de RFC2544.....	19
1.7.2	Estándar ITU-T.Y.1564.....	20
1.7.2.1	Pruebas de Configuración de Servicio.....	20
1.7.2.2	Pruebas de Prestaciones de Servicio	21
1.7.2.3	Ventajas del estándar ITU.Y.1564 sobre RFC2544	22
2	Definición del enlace de fibra óptica a evaluar	24
2.1	Equipos de Medición para caracterización de la capa física.....	24
2.2	Características del Enlace 1	26
2.2.1	Metodología para la caracterización de la capa física del Enlace 1	26
2.2.1.1	Medición de la atenuación del Enlace 1.....	26
2.2.1.2	Medición de la Dispersión Cromática en el Enlace 1	27

2.2.1.3	Medición de la Dispersión por Modos de Polarización en el Enlace 1..	28
2.2.2	Configuración de equipos para la caracterización de la Capa Física del Enlace 1	29
2.2.2.1	Configuración de OTDR para el Enlace 1	29
2.2.2.2	Configuración del Analizador de Dispersión Cromática y de la fuente de Dispersión Cromática para el Enlace 1.....	30
2.2.2.3	Configuración del Analizador por Modos de Polarización y de la fuente de Dispersión por Modos de Polarización para el Enlace 1	34
2.2.3	Inventario de Equipos terminales para Sitios A y B.....	36
2.2.3.1	Equipos terminales del Sitio A	36
2.2.3.2	Equipos terminales del sitio B.....	37
2.3	Características del Enlace 2	39
2.3.1	Metodología para la caracterización de la capa física del Enlace 2	39
2.3.1.1	Medición de la atenuación del Enlace 2.....	39
2.3.1.2	Medición de la Dispersión Cromática en el Enlace 2	40
2.3.1.3	Medición de la Dispersión por Modos de Polarización en el Enlace 2..	40
2.3.2	Configuración de equipos para la caracterización de la Capa Física del Enlace 2	41
2.3.2.1	Configuración de OTDR para el Enlace 2.....	41
2.3.2.2	Configuración del Analizador de Dispersión Cromática y de la fuente de Dispersión Cromática para el Enlace 2.....	42
2.3.2.3	Configuración del Analizador por Modos de Polarización y de la fuente de Dispersión por Modos de Polarización para el Enlace 2.....	45
2.3.3	Inventario de Equipos Terminales para el Sitio C	48
2.3.3.1	Equipos terminales del sitio C.....	48
2.4	Características del Enlace 3.....	49
2.4.1	Metodología para la caracterización de la capa física del Enlace 3	49
2.4.1.1	Medición de la atenuación del Enlace 3.....	50
2.4.1.2	Medición de la Dispersión Cromática en el Enlace 3	50
2.4.1.3	Medición de la Dispersión por Modos de Polarización en el Enlace 3..	51
2.4.2	Configuración de equipos para la caracterización de la Capa Física del Enlace 3	52
2.4.2.1	Configuración de OTDR para el Enlace 3.....	52
2.4.2.2	Configuración del Analizador de Dispersión Cromática y de la fuente de Dispersión Cromática para el Enlace 3.....	53
2.4.2.3	Configuración del Analizador por Modos de Polarización y de la fuente de Dispersión por Modos de Polarización para el Enlace 3.....	56

2.4.3	Inventario de Equipos terminales para el Sitio D.....	58
2.4.3.1	Equipos terminales del sitio D.....	59
2.5	Características del Enlace 4.....	60
2.5.1	Metodología para la caracterización de la capa física del Enlace 4.....	60
2.5.1.1	Medición de la atenuación del Enlace 4.....	60
2.5.1.2	Medición de la Dispersión Cromática en el Enlace 4.....	61
2.5.1.3	Medición de la Dispersión por Modos de Polarización en el Enlace 4..	62
2.5.2	Configuración de equipos para la caracterización de la Capa Física del Enlace 4	62
2.5.2.1	Configuración de OTDR para el Enlace 4.....	62
2.5.2.2	Configuración del Analizador de Dispersión Cromática y de la fuente de Dispersión Cromática para el Enlace 4.....	63
2.5.2.3	Configuración del Analizador por Modos de Polarización y de la fuente de Dispersión por Modos de Polarización para el Enlace 4.....	67
2.5.3	Inventario de equipos para el sitio E.....	69
2.5.3.1	Equipos terminales del sitio E.....	69
3	Resultados de Mediciones del Enlace.....	71
3.1	Resultados Caracterización Capa Física del Enlace 1.....	71
3.1.1	Mediciones de OTDR (Reflectómetro Óptico) para el Enlace 1.....	71
3.1.2	Medición de Dispersión Cromática obtenida para el Enlace 1.....	73
3.1.3	Medición de Dispersión por Modos de Polarización obtenida para el Enlace 1	75
3.2	Resultados Caracterización Capa Física del Enlace 2.....	75
3.2.1	Mediciones de OTDR (Reflectómetro Óptico) para el Enlace 2.....	75
3.2.2	Medición de Dispersión Cromática obtenida para el Enlace 2.....	78
3.2.3	Medición de Dispersión por Modos de Polarización obtenida para el Enlace 2	79
3.3	Resultados Caracterización Capa Física del Enlace 3.....	79
3.3.1	Mediciones de OTDR (Reflectómetro Óptico) para el Enlace 3.....	79
3.3.2	Medición de Dispersión Cromática obtenida para el Enlace 3.....	82
3.3.3	Medición de Dispersión por Modos de Polarización obtenida para el Enlace 3	83
3.4	Resultados Caracterización Capa Física del Enlace 4.....	83
3.4.1	Mediciones de OTDR (Reflectómetro Óptico) para el Enlace 4.....	83
3.4.2	Medición de Dispersión Cromática obtenida para el Enlace 4.....	86
3.4.3	Medición de Dispersión por Modos de Polarización obtenida para el Enlace 4	87

4	Análisis de Resultados.....	88
4.1	Reporte de Análisis para el Enlace 1	88
4.2	Reporte de Análisis para el Enlace 2.....	90
4.3	Reporte de Análisis para el Enlace 3.....	92
4.4	Reporte de Análisis para el Enlace 4.....	94
5	Prueba de Activación de Servicios de Transporte Gigabit Ethernet	96
5.1	Características de la Red de Fibra Óptica	96
5.2	Acuerdo SLA establecido entre el Operador y Cliente	96
5.3	Equipos utilizados para la realizar la Prueba de Activación de Servicios.....	97
5.4	Diagrama de Conexiones	98
5.5	Configuración de equipos.....	99
5.5.1	Configuración de Equipo Local (Maestro)	99
5.5.1.1	Configuraciones Generales para realizar la Prueba.....	99
5.5.1.2	Configuración de Parámetros SLA para el Servicio de Gaming Interactivo 102	
5.5.1.3	Configuración de Parámetros SLA para el Servicio de Video HD	104
5.5.1.4	Configuración de Parámetros SLA para el Servicio de VoIP.....	105
5.5.2	Configuración de Equipo Reflector (Loopback).....	107
5.6	Resultados de la Prueba	109
5.6.1	Resultados de las Pruebas de Configuración de Servicio	110
5.6.1.1	Resultados de la Prueba de Configuración de Servicio para Gaming Interactivo110	
5.6.1.2	Resultados de la Prueba de Configuración de Servicio para Vídeo HD 111	
5.6.1.3	Resultados de la Prueba de Configuración de Servicio para Volp	111
5.6.2	Resultados de la Prueba de Prestaciones de Servicio.....	112
5.6.3	Resumen de Resultados obtenidos	112
5.6.4	Información Técnica documentada	113
5.7	Análisis de Resultados de la Prueba	113
6	Conclusiones	115
7	Referencias	117

1 Marco Teórico

1.1 Introducción

Las redes de telecomunicaciones de hoy en día están siendo diseñadas para transportar diferentes tipos de servicios con nuevas aplicaciones. Para poder transportar estas nuevas aplicaciones a diferentes puntos de una región es necesario contar con una red de transporte. Una red de transporte nos permite comunicar dos o más usuarios, puede aplicarse en servicios de voz, datos, vídeo, juegos, comercio en línea, transacciones entre otras y debe contar con tres características principales: capacidad, calidad y confiabilidad.

Actualmente la tecnología de transporte Ethernet continúa teniendo una constante evolución y los servicios basados en esta tecnología deben ser capaces de atender a la nueva gran variedad de aplicaciones antes mencionadas. Cada una de estas aplicaciones impone nuevos requerimientos de rendimiento de red y también en la metodología para validar el rendimiento de los servicios basados en Ethernet. Cada tipo de servicio basado en Ethernet es afectado de una forma distinta y cada servicio tiene que cumplir con un rendimiento mínimo, por lo que cada servicio tiene que pasar por una serie de pruebas para poder verificar la calidad de servicio (QoS). Es aquí cuando la priorización en el servicio se vuelve necesaria, cada proveedor tiene que configurar la red para definir la adecuada prioridad de tráfico de servicios en la red. Lo anterior se lleva a cabo asignando diferentes niveles de prioridad dependiendo del tipo de servicio [1]. Los distintos niveles de prioridad son estipulados en un SLA (por sus siglas en inglés Service Level Agreement), en donde cada cliente exige el mínimo de característica del transporte Ethernet para que sus diferentes servicios trabajen adecuadamente.

1.2 Planteamiento del problema y solución

Con base en lo anterior, en la presente tesis se implementó una solución para poder determinar si un enlace de fibra óptica podía transportar adecuadamente el tráfico generado por el usuario final con diferentes servicios basados en Ethernet en su red a una velocidad de 1 GbEthernet, así como conocer si se cumplen con los niveles SLA establecidos entre operador y cliente.

La solución implementada consistió en la caracterización a nivel capa física (Capa 1 del Modelo OSI) y la realización de una prueba de activación de servicios GbEthernet mediante una serie de mediciones con equipos especiales y con base en un análisis de los resultados obtenidos se determinó si el enlace de fibra óptica podía transportar adecuadamente el tráfico generado, con la calidad de servicio (QoS) adecuada, respetando los niveles SLA establecidos entre operador y cliente por conducto de un contrato. Así mismo se propusieron recomendaciones al operador del enlace de fibra óptica, para poder mejorar el rendimiento de la misma y entregarle un mejor servicio al cliente.

1.3 Objetivo

Caracterizar un enlace de fibra óptica a nivel capa física, es decir, realizar mediciones de Dispersión Cromática (CD) y Dispersión por Modos de Polarización (PMD) así como también mediciones con OTDR, para determinar si el enlace de fibra óptica cumple con la necesidad de velocidad de transmisión de 1 GbEthernet contratada por el cliente conforme a los estándares internacionales.

Realizar la activación del enlace mediante la prueba ITU-T Y.1564 para determinar si es posible transportar diferentes tipos de tráfico Ethernet a una velocidad de 1 GbEthernet conforme al acuerdo de niveles de servicio del usuario final (SLA), así como evaluar la calidad de servicio (QoS).

1.4 Redes en la actualidad

Desde el comienzo del nuevo milenio se han ido presentando diversos cambios en la industria de las redes de telecomunicaciones. Estos cambios son producidos por varios factores.

El primero y el más importante es la implacable necesidad de hacer crecer una red de datos en cuanto a capacidad se refiere. El constante crecimiento de los usuarios de internet demanda un incremento en el ancho de banda disponible, en consecuencia, la capacidad de la red tiene que aumentar. El tráfico de internet ha ido creciendo rápidamente por muchos años, estudios demuestran que en los últimos años el tráfico de internet se ha estado duplicando de cuatro a seis meses [2]. Por otro lado, el acceso a tecnologías de banda ancha como lo son el DSL (Digital Subscriber Line) y los módems, los cuales proveen anchos de banda por usuario de alrededor de un 1 Mb/s, se han estado desplegado extensamente. Estadísticas demostraron que en el 2008 cerca del 55% de los adultos ya tenían acceso a banda ancha en sus casas, mientras que solo el 10% tenía acceso telefónico a través de las líneas de 28-56 kb/s [2].

Así mismo, las empresas hoy en día requieren una alta velocidad y confiabilidad en la red para llevar a cabo sus negocios. Generalmente las empresas requieren interconectar múltiples sitios dentro de su misma compañía o también interconectarse con otras compañías para realizar principalmente transacciones de negocios [2]. Por lo tanto, la red que se encuentre dando servicio a una determinada empresa debe ser muy confiable, ya que un fallo en un momento clave puede traducirse en pérdidas monetarias.

El comercio en línea (on-line) es otro de los servicios que hoy en día ha revolucionado al mundo tecnológico y que por supuesto también exige cierta capacidad en la red para llevar a cabo sus funciones. Actualmente existen miles de personas que han comprado o vendido algún objeto a personas de diferentes lugares a través de la red. Se han creado hasta el día de hoy diversos sitios en donde se puede realizar la compra y venta de productos en línea haciendo la adquisición de los mismos más rápida y eficiente.

Otro servicio que está teniendo una constante demanda de ancho de banda y calidad de servicio es el denominado "Gaming". Los videojuegos han ido evolucionando a lo largo de

los últimos años no solo en cuanto a calidad de gráficos sino también en cuanto a la forma de jugar con otras personas. En un principio las consolas de videojuegos no tenían la opción de poder conectarse a una red para así jugar con otras personas de forma no presencial. Hoy en día eso ha cambiado cualquier videojuego de cualquier consola tiene la opción de poder realizar partidas en línea (on-line), lo cual permite a todos los usuarios (Gamers) poder enfrentarse en tiempo real con cualquier persona del mundo. Además de poder realizar estas partidas también pueden descargar y comprar videojuegos, escuchar música, ver vídeos, navegar en la red, mandar mensajes a otros usuarios e incluso crear grupos o chats privados en los que con el uso de una diadema pueden hablar con otros usuarios y así poder comunicarse con ellos durante sus partidas.

Los servicios de voz, datos y vídeo también han ido cambiando en los últimos años. Actualmente las personas pueden contratar planes telefónicos en los que se les ofrece estos tres servicios por un monto específico que varía dependiendo de la cantidad de datos que el usuario quiera contratar. Existen también planes tarifarios que sólo cobran una cierta cantidad por el uso de datos, las llamadas, los mensajes de texto e inclusive hasta los mensajes mandados desde una red social son totalmente gratis. Hoy en día, los servicios de transporte de datos son capaces de proporcionar calidad de servicio (Qos) y llevar nuevas y diferentes aplicaciones a un punto determinado.

Como se puede observar, actualmente existen nuevas aplicaciones y nuevos servicios que si bien muestran muchos beneficios para los usuarios, exigen a la red la capacidad y calidad suficiente para que estos puedan funcionar sin ningún problema. Derivado de lo anterior avances tecnológicos han logrado reducir continuamente el costo de ancho de banda, pero esto a su vez ha estimulado el desarrollo de nuevas aplicaciones que hacen más uso de ancho de banda afectando los patrones de comportamiento.

Estos factores han impulsado el desarrollo de nuevas tecnologías para hacer crecer la eficiencia y confiabilidad en una red. Como se mencionó anteriormente, la fibra óptica es el medio físico más eficiente para el transporte de datos, su rápida transición de los laboratorios al campo laboral ha fomentado el desarrollo de redes ópticas de alta capacidad.

1.5 Fibra Óptica para Comunicaciones

En el año de 1960 experimentos demostraron que la información codificada en señales de luz podría ser transmitida dentro de una guía de onda circular elaborada con fibra de vidrio. Esta guía de onda proporcionaba el medio para guiar la señal de luz con la potencia necesaria para poder decodificarla en el otro extremo. Estos primeros experimentos determinaron que la transmisión de señales de luz era posible a través de este medio, desde ese entonces surgió lo que hoy conocemos como fibra óptica [2].

La fibra óptica es una guía de onda cilíndrica muy delgada construida a base de filamentos de vidrio la cual consiste de cuatro partes principales tal y como se muestra en la figura 1.1.

El núcleo (Core) es el elemento que se encargará de transportar los diferentes haces de luz que viajen dentro de la fibra y generalmente es fabricado con cuarzo fundido, plástico transparente o vidrio.

El recubrimiento (Cladding) se encarga del confinamiento de los haces de luz dentro del núcleo por medio del efecto de reflexión total interna que se explicará más adelante, y es fabricado generalmente con los mismos materiales que el núcleo.

La capa de amortiguamiento (Buffer) ayuda a disminuir las pérdidas de la luz en la fibra óptica provocadas por micro curvaturas, normalmente es fabricada con plástico suave.

Comúnmente la fibra óptica está contenida dentro de un cable que lleva por nombre cable óptico el cual contiene elementos de refuerzo que protegen a la fibra óptica de factores externos, como lo son cambios drásticos de temperatura, derramamiento de líquidos etc.

El cable óptico se compone básicamente de elementos de refuerzo y la cubierta externa, tal y como se observa en la figura 1.2.

La cubierta externa es la encargada de proteger a la fibra contra factores externos extremos como pueden ser abrasión, aceite, solventes y otros líquidos o contaminantes que pudieran causar pérdidas en el enlace de fibra óptica.

Los elementos de refuerzo más utilizados en un cable óptico son los llamados hilos de Kevlar. Los hilos de Kevlar le dan a la fibra óptica resistencia para que esta adquiera cierta fortaleza mecánica, contra factores como: tensión, presión y maleabilidad (manejo del cable).

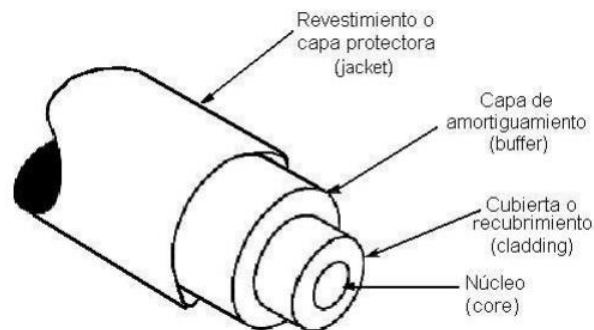


Figura 1.1. Partes que conforma una fibra óptica [3].

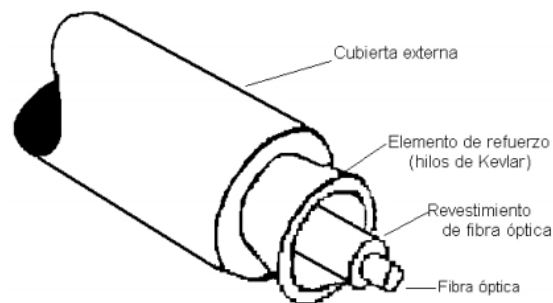


Figura 1.2. Partes que componen un cable óptico [3].

La fibra óptica es el medio físico más utilizado en una red de comunicaciones óptica puesto que ofrece un gran ancho de banda. Sin embargo, existen dos fenómenos importantes que afectan a la información que viaja a través de la fibra óptica, los cuales son atenuación y dispersión. A continuación, en las secciones siguientes se describirá cada uno de estos fenómenos.

1.5.1 Atenuación

La atenuación es una pérdida de potencia respecto a la distancia, matemáticamente se define de la siguiente manera:

$$A = 10 \log \left(\frac{P_{in}}{P_{out}} \right) [dB] \quad 1-1$$

Donde P_{in} es la potencia de la señal a la entrada y P_{out} es la potencia de la señal a la salida.

El coeficiente de atenuación es la atenuación que existe en un enlace medido en decibeles [dB] por unidad de kilómetro [km], de tal forma que:

$$\alpha = \frac{A [dB]}{L [km]} \quad 1-2$$

Donde:

A Es la atenuación en el enlace en [dB] y L es la longitud del enlace dado en km.

La atenuación puede ser ocasionada por factores intrínsecos o a factores extrínsecos.

Los factores intrínsecos son debidos al material, por ejemplo, el material con la cual fue fabricada la fibra óptica puede tener micro curvaturas o un cierto grado de impurezas las cuales pueden ocasionar pérdidas en la propagación de la luz debido a efectos de absorción o del retroesparcimiento (Scattering).

Los factores extrínsecos se deben a factores externos que no son propios del material, ejemplos de estos factores son los empalmes, los conectores y acoplamientos que son generalmente conexiones entre la fibra óptica y el transmisor o entre la fibra óptica y el receptor.

Así mismo, la atenuación en decibeles por kilómetro varía dependiendo de la longitud de onda con la cual se esté trabajando. Lo anterior se representa en una gráfica llamada ventanas de transmisión o ventanas de atenuación (figura 1.3) que muestran el valor de la atenuación para una determinada longitud de onda en particular [3]. Las longitudes de onda comúnmente utilizadas son:

- $2.6 \left[\frac{dB}{km} \right] @ 850 \text{ nm}$
- $0.5 \left[\frac{dB}{km} \right] @ 1300 \text{ nm}$

- $0.2 \left[\frac{dB}{km} \right] @ 1550 \text{ nm}$
- $0.4 \left[\frac{dB}{km} \right] @ 1620 \text{ nm}$

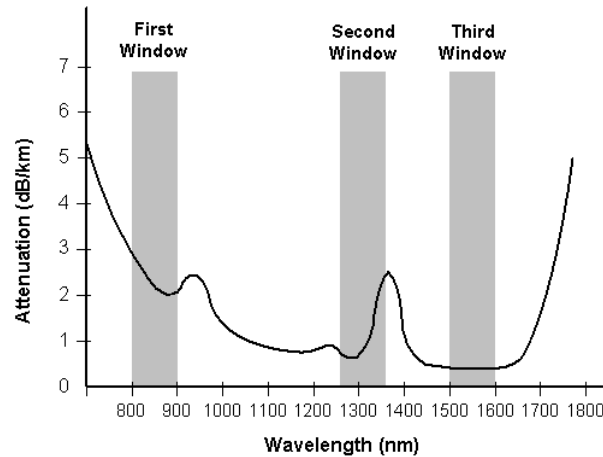


Figura 1.3. Ventanas de transmisión de las comunicaciones ópticas [3].

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-T por sus siglas en inglés) ha creado una serie de recomendaciones para los cables de fibra óptica. Entre otras cosas en estas recomendaciones se establecen los valores de atenuación en decibeles por kilómetro que debe tener cada tipo de fibra para poder lograr un transporte de información con las menores pérdidas posibles. Por ejemplo, para la fibra G.652 a 1310 nm , el coeficiente de atenuación debe tener un valor aproximado a 0.35 dB/km , mientras que en 1550 nm el coeficiente de atenuación debe ser aproximadamente 0.25 dB/km .

1.5.1.1 Medición de la atenuación por método de pérdidas por Inserción

El método de Pérdida por Inserción hace uso de una fuente de luz y un medidor de potencia óptica, puede ser aplicado para redes de enlaces, componentes del enlace, cables ópticos y cualquier dispositivo de red que se requiera medir su pérdida de potencia óptica por inserción.

Este método nos da la Potencia total sin obtener detalle de lo que pasa dentro del enlace. Normalmente se utiliza cuando se está instalando los enlaces para confirmar la correcta operación de los mismos.

1.5.1.2 Método de Atenuación por Reflectometría

El método de Reflectometría para medir atenuación nos permite conocer el detalle de cada evento que sucede en el enlace, suministrando la contribución de cada uno de ellos y la Potencia Total.

- OTDR

El OTDR es un equipo de medición que permite medir la atenuación de todos los elementos, la distancia y eventos que existen en un enlace de fibra óptica. Así mismo, puede localizar empalmes y conectores que se hayan colocado a lo largo del enlace, teniendo como ventaja el solo medir de un lado del enlace sin tener que recorrerlo todo.

Un OTDR cuenta con tres elementos principales, los cuales son [4]:

- Fuente de luz a una longitud de onda fija.
- Medidor de Potencia.
- Un reloj interno con generador de pulsos.

La luz proveniente de la fuente se lleva hacia un conector de salida del OTDR a través de un elemento óptico pasivo que solo deje salir la luz sin tener ningún retorno hacia la fuente.

La fibra óptica se conecta al conector de salida del OTDR para transmitir la luz en ella, debido al esparcimiento Rayleigh la mayor parte de la luz se transmitirá, pero una pequeña parte se reflejará regresando hacia el OTDR.

El OTDR cuenta con un medidor de potencia que mide la potencia reflejada de cada evento que le llega a través del elemento óptico pasivo. Los datos son registrados con relación al tiempo configurado con el OTDR.

La medición del tiempo en que tarda en ir y regresar la luz hasta el último enlace de fibra óptica, se base en un reloj interno con generador de pulsos. El OTDR puede calcular la velocidad que tardó en ir y venir la luz puesto que se conoce el índice de refracción de la fibra óptica que se está midiendo, y en base a estos datos hace una relación para mostrar en un trazo la distancia en lugar y tiempo.

Un procesador interno se encarga de controlar los tres elementos principales para presentar un trazo promedio de la potencia que se refleja con relación a la distancia.

Los componentes que conforman un OTDR y su funcionamiento de manera gráfica se presentan en la figura 1.4.

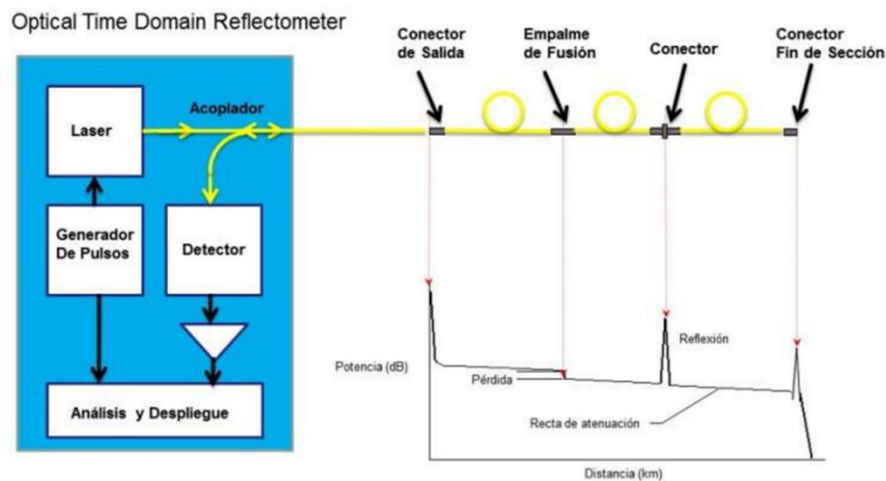


Figura 1.4. Funcionamiento de un OTDR [4].

Los parámetros más importantes que se pueden y deben configurar para realizar una correcta medición con un OTDR son los siguientes [4]:

1. Ancho de Pulso: Se define como el tiempo durante el cual el láser del OTDR está encendido y determina la potencia de la señal retro-dispersada. Un pulso ancho amplifica la señal de retorno haciéndola más fácil de distinguir al ruido, aumentando la relación S/R, sin embargo, disminuye la resolución y aumenta la zona muerta. Un pulso corto, aumenta la resolución y disminuye la zona muerta.
2. Tiempo de adquisición: Se refiere al tiempo que tardará el equipo en realizar la prueba.
3. Longitud de Onda: Se refiere al láser que utilizara el OTDR para realizar la prueba.
4. Índice de refracción(OR): Corresponde al índice de refracción de la fibra a medir.

Otros parámetros configurables en un OTDR son:

1. Coeficiente de retroesparcimiento(BSC): Es la proporción de la luz reflejada propagada en la fibra durante transmisiones ópticas. Varía de acuerdo a la estructura y los materiales de la fibra.
2. Rango: Es la longitud aproximada del enlace de fibra óptica a medir.
3. Resolución: Corresponde al nivel de puntos muestreo que el equipo realiza en la medición. Pueden ser tres tipos: Gruesa (Pocos puntos de muestreo), Mediana, Fina (Muchos puntos de muestreo).
4. Modo de Pérdidas: Es el tipo de pérdidas que el equipo mostrará al final de la medición. Pueden ser: pérdidas en dB/km, pérdidas por empalme y pérdidas entre dos puntos.

Por otro lado, otros parámetros propios del OTDR que son de suma importancia para entender el funcionamiento del mismo son:

1. Rango Dinámico: Determina la pérdida óptica total que se puede analizar en el OTDR y el alcance en longitud en función de las pérdidas del enlace a medir.
2. Zona muerta: Es la distancia que el OTDR no puede ver, debido a que una fuerte reflexión óptica satura al circuito de detección del OTDR durante un periodo de tiempo específico.

1.5.2 Dispersión

La luz que viaja dentro de la fibra óptica puede presentar ciertas pérdidas de potencia debido a la atenuación presente en el enlace la cual depende de diversos factores, los cuales se revisaron en la sección anterior. Así mismo la luz que viaja dentro de la fibra

óptica puede sufrir alteraciones en el ancho del pulso limitando la tasa de transmisión debido a efectos de dispersión.

La dispersión de la luz es un fenómeno en el cual la velocidad de fase de una onda depende de su frecuencia, lo cual provoca un ensanchamiento en los pulsos de luz. En consecuencia, existirá una interferencia intersímbolo entre los pulsos que lleguen al final de la fibra óptica, lo que haría muy complicado hacer una correcta decodificación de la información puesto que el receptor no podrá reconocer entre un “0” o un “1”.

Existen tres tipos de dispersión que se presentan en la fibra óptica, sin embargo, para los fines de la presente tesis solo se describirán dos tipos: Dispersión Cromática (CD) y Dispersión por Modos de Polarización (PMD) las cuales afectan a las fibras monomodo.

1.5.2.1 Dispersión Cromática

Debido a que las fuentes emisoras de luz no son monocromáticas (es decir no emiten una sola longitud de onda), no todas las frecuencias viajan a la misma velocidad dentro de la fibra óptica unas llegaran más rápido que otras, lo que provocará un ensanchamiento de los pulsos, que se traduce en una interferencia entre bits (figura 1.5), un aumento en la tasa de errores (BER) y una reducción en el ancho de banda de la fibra [4].

La dispersión cromática en una fibra monomodo es el resultado de la combinación de la dispersión intrínseca del material de la fibra y de la geometría de la fibra como guía de onda.

Existen varios métodos para compensar este efecto entre los más comunes están:

- Combinar la fibra con una DSF (Dispersion Shifter Fiber) ó DCF (Dispersion Compesating Fiber).
- Utilizar módulos de compensación

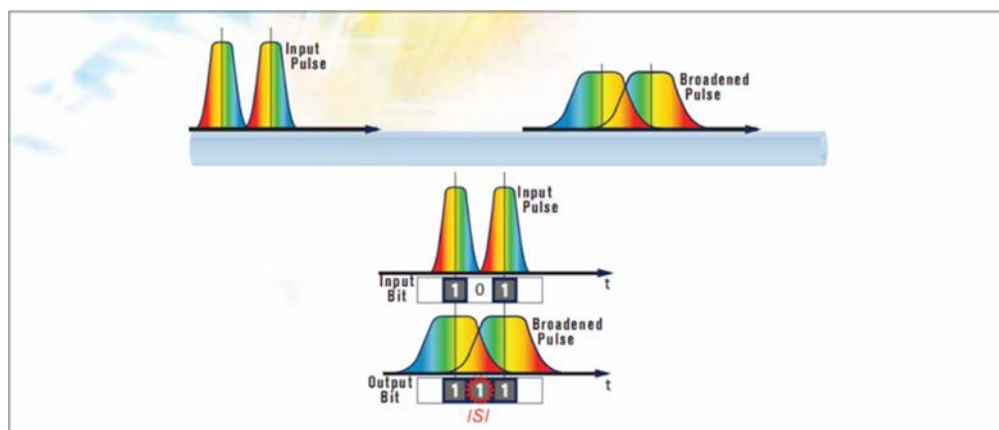


Figura 1.5. Dispersión cromática [4].

Métodos para medir dispersión cromática

- Método de Retardo de Pulso

Este método hace uso de un OTDR para medir el tiempo de propagación de pulsos con diferente longitud de onda, es un método de aproximación de baja exactitud. No permite la medición sobre elementos no bidireccionales como el amplificador óptico y solo mide enlaces con un solo tipo de fibra [4].

Ventajas

- Es un método de bajo costo y solo es necesario realizar las mediciones desde un lado del enlace.

Desventajas

- La longitud de onda de la fuente del OTDR no tiene buena exactitud, además de que el máximo número de puntos es solo de 8 para obtener la curva de dispersión. Este método es sólo recomendable para enlaces cortos (50 km).

- Método de diferencia de fase

Se basa en la medición de los cambios de fase entre señales de diferentes longitudes de onda moduladas en amplitud, con respecto a la longitud total de la fibra [4]. Para aplicar este método se necesita una fuente de luz de banda ancha y un analizador de Dispersión Cromática. Ambos equipos se conectan mediante un jumper de prueba con el fin de establecer una referencia de fase inicial. Después, establecer la referencia se realiza la medición en el enlace de fibra óptica. El equipo mide el corrimiento de fase que existe al comparar la fase inicial con la fase que se obtiene al medir el Enlace de Fibra óptica.

Es un método de una alta exactitud ya que llegan a medir hasta 950 puntos en pasos de 0.1 nm.

Ventajas

- Gran número de puntos para obtener la curva
- Puede medir cualquier enlace aun cuando existan fibras de diferente tipo, además de que permite medir sobre amplificadores ópticos y compensadores.
- Posee mayor exactitud
- Puede medir enlaces de grandes distancias

Desventajas

- Mayor costo
- Se requieren las dos puntas del enlace.

1.5.2.2 Dispersión por Modos de Polarización

La Dispersión por Modos de Polarización (PMD) es provocada por el fenómeno de birrefringencia, la cual provoca una variación de la velocidad de las componentes

ortogonales haciendo que cada una viaje a una velocidad diferente (figura 1.6). La birrefringencia es una propiedad de los materiales anisotrópicos y provoca que la luz viaje a dos velocidades distintas dependiendo del camino que tome [4].

La diferencia en tiempo que les toma a las dos componentes ortogonales de un pulso de luz en recorrer toda la fibra es llamada “Retardo Diferencial de Grupo” o PMD instantáneo. Al igual que la CD, la PMD provoca ensanchamiento de los pulsos que viajan en la fibra, provocando interferencia entre bits limitando la tasa de transmisión.

La Dispersión por Modos de Polarización es provocada por factores internos de la propia fibra óptica, como por ejemplo elipticidad del núcleo o bien por factores externos como pueden ser esfuerzos mecánicos tales como cambios bruscos en la temperatura, el viento o ciertas vibraciones. También el sometimiento a cierto estrés en la instalación de la fibra puede provocar un incremento en la PMD.

Para compensar el efecto de la PMD en la fibra óptica se han desarrollado varios métodos entre los cuales están:

- Utilizar fibras ópticas especiales como fibra PANDA o BOW-TIE
- Módulos de Compensación

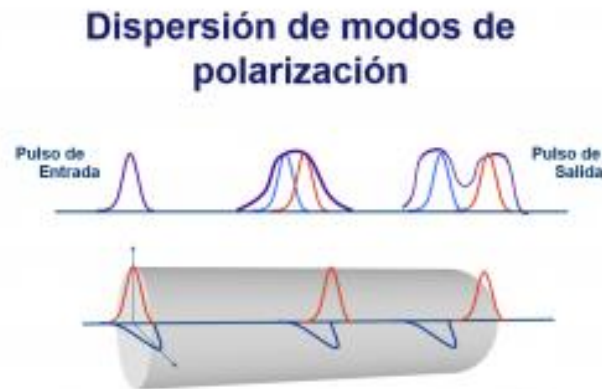


Figura 1.6. Dispersión por Modos de Polarización (PMD) [4].

Métodos para medir Dispersión por Modos de Polarización

- Método Analizador Fijo

Al enlace de fibra óptica a medir se le conecta a la entrada un polarizador fijo y a la salida un polarizador rotativo. La luz que se emite por una fuente de banda ancha pasa a través del polarizador fijo, al salir la luz se dirige hacia el enlace de fibra óptica a medir y posteriormente pasa por un polarizador rotativo. Los resultados se visualizan en un Analizador de Espectro Óptico (OSA por sus siglas en inglés), al espectro obtenido se le aplica la transformada rápida de Fourier dando como resultado el valor de PMD del enlace [4].

Ventajas

- Bajo Costo
- Mediciones rápidas

Desventajas

- Es influido por el movimiento de la fibra
- No es muy recomendable para mediciones en campo
- Método interferométrico

Este método se basa en la medición directa del retardo de tiempo.

Al igual que el método de analizador fijo este método también usa una fuente de luz de banda ancha, así como un polarizador fijo conectado a la entrada del enlace de fibra óptica a medir y un polarizador rotativo conectado a la salida del mismo. En lugar de tener un OSA a la salida del polarizador rotativo se tiene un Interferómetro [4].

Como el espectro de la fuente es muy amplio, la interferencia sólo se producirá cuando los retardos entre los dos brazos del interferómetro son iguales. Es decir, el interferómetro es similar a un analizador, donde los modos de polarización que sufren los acoplamientos a lo largo de la trayectoria óptica sufren interferencia entre sí.

Ventajas

- Mayor exactitud
- Es apto para realizar mediciones en campo

Desventajas

- Mayor costo

1.5.3 Ventajas del uso de Fibras Ópticas

El utilizar a la fibra óptica como medio físico para la transmisión de datos ofrece numerosas ventajas, entre las cuales se encuentran:

a) Ancho de banda.

El ancho de banda que ofrece la fibra óptica comparado con el que ofrece un coaxial es sumamente superior. Los cables ópticos son capaces de presentar una capacidad de transmisión superior en 500 veces a la capacidad de transmisión de sus homónimos coaxiales [3].

A manera de ejemplo como una sola fibra óptica se han podido establecer hasta 2.600 comunicaciones simultáneas [3].

b) Atenuación

Actualmente las fibras ópticas monomodo presentan atenuaciones que están en el orden de 0.2 dB a 0.3 dB [3]. Cabe señalar que los valores de atenuación varían dependiendo de la longitud de onda con la que se esté trabajando, por ejemplo, para el estándar G.652 para una longitud de onda de 1550 nm la atenuación típica es de 0.25 dB/Km y para una longitud de onda de 1310 nm la atenuación típica es de 0.35 dB/Km.

c) Inmunidad Electromagnética

Al estar construida con materiales dieléctricos la fibra óptica no se ve afectada por los campos electromagnéticos. Además, no constituye fuente de radiación electromagnética al no emitir radiación alguna, por lo cual se convierte en el medio ideal de transporte cuando se requiere hacer una instalación donde hay fuertes campos electromagnéticos, como por ejemplo líneas de transporte de alta tensión [3].

d) Reducción de Tamaño

La utilización de la fibra óptica reduce considerablemente el tamaño de los cables. Haciendo una comparativa con los cables de cobre, un cable que contiene 900 pares de cobre de 80 mm de diámetro, es equivalente a un cable óptico de 4 mm de diámetro [3].

e) Bajo peso

Haciendo de nuevo la comparación con los cables de cobre, los cables de fibra óptica presentan un peso mucho menor a estos, por lo que los cables de fibra óptica pueden ser utilizados en aplicaciones donde el peso es determinante, como por ejemplo la industria aeronáutica o espacial [3].

f) Inviolabilidad

En cuanto a la seguridad de la información que viaja por este medio de transmisión podemos decir que es sumamente buena, puesto que es prácticamente imposible acceder a ella sin afectar los niveles de potencia lumínica y por tanto a la transmisión.

Por otro lado, al no producir radiación alguna, la aplicación de cualquier otra técnica de escucha es inútil [3].

g) Rentabilidad

En las redes interurbanas usar fibra óptica es más rentable que usar cobre, puesto que el costo por sección de fibra óptica es más barato que el costo de una sección de cobre.

Utilizar fibras ópticas da pie a migrar en un futuro a mayores velocidades de transmisión, puesto que este medio de transmisión es capaz de soportar grandes velocidades, cuando exista un aumento en la rentabilidad de la red [3].

1.6 GbEthernet para Redes de Transporte

Gigabit Ethernet (GbE) se ha ido empleando en forma creciente en redes metropolitanas para poder interconectar múltiples redes de empresa. GbE emplea el conocido protocolo IEEE 802.3.

En la capa física un dispositivo Ethernet conecta al medio óptico a la capa MAC. Conforme a la arquitectura Ethernet la capa física es dividida en tres capas, las cuales son:

- Medio dependiente físico ("Physical Medium Dependent", PMD)
- Medio físico anexo ("Physical Medium Attachment", PMA)

- Subcapa física de codificación (“Physical Coding Sublayer”, PCS).

El Medio dependiente físico (PMD) se encarga de realizar la conexión física y señalización al medio, un ejemplo de esto son los transceptores ópticos [5].

El Medio físico anexo (PMA) provee de un medio independiente a la subcapa PCS para soportar diferentes medios físicos con bits orientados serialmente. Esta capa forma grupos de códigos seriales por transmisión y desensambla los códigos de grupos seriales cuando los bits son recibidos [5].

La subcapa física de codificación (PCS) contiene la codificación y un serializador o multiplexor [5].

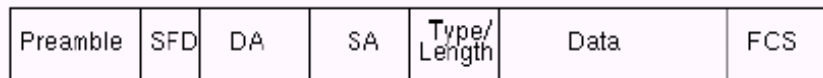


Figura 1.7. Trama empleada en Gigabit Ethernet [5].

En la figura número 1.7, se muestra la trama Gigabit Ethernet la cual se describe a continuación.

- El preámbulo consta de 7 bytes, contiene un patrón alternante de unos y ceros para avisar al receptor que una trama va a llegar, además provee la sincronización de las distintas capas físicas.
- “Start-of-frame delimiter” (SFD), consta de 1 byte. El SFD es un patrón alternante de unos y ceros que finaliza con dos bits 1 consecutivos indicando que el siguiente bit es el primer bit de la izquierda en el primer byte de la dirección del destino.
- “Destination Address” (DA) consta de 6 bytes. Este campo identifica qué estaciones deben recibir la trama.
- “Source address” (SA) al igual que el campo DA consta de 6 bytes e identifica la estación emisora.
- “Length Type” este campo consta de 2 bytes. Contiene el número de bytes de datos del cliente MAC.
- “Data” Secuencia de bytes, con un número cualquiera entre 46 y 1500 (El mínimo para el total de la trama es 64 bytes).
- “Frame check sequence” (FCS) consta de 4 bytes. Es una secuencia que contiene un valor de comprobación redundante cíclica de 32 bit (CRC), su función específica es la de encontrar tramas erróneas.

1.6.1 Características de GbEthernet

Ethernet tiene la característica de ser de tipo full dúplex, es decir, puede enviar y recibir información en ambas direcciones al mismo tiempo y además posee una tecnología de conmutación que le permite crear un link punto a punto entre los dispositivos, permitiendo con esto un mayor ancho de banda, además de una reducción de retardos debido a que el mensaje irá únicamente hacia el dispositivo que se supone es el receptor.

Dentro del modelo OSI, Ethernet se encuentra en la capa 1 (Física) y en la capa 2 (Enlace de datos), tal y como se muestra la siguiente figura 1.8.

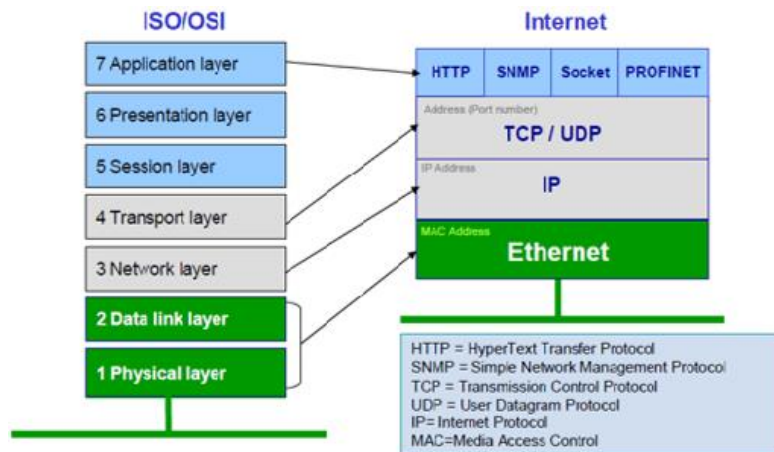


Figura 1.8. Ethernet y el modelo OSI [6].

Ethernet tiene la capacidad de correr múltiples protocolos de diferentes aplicaciones al mismo tiempo en el medio físico.

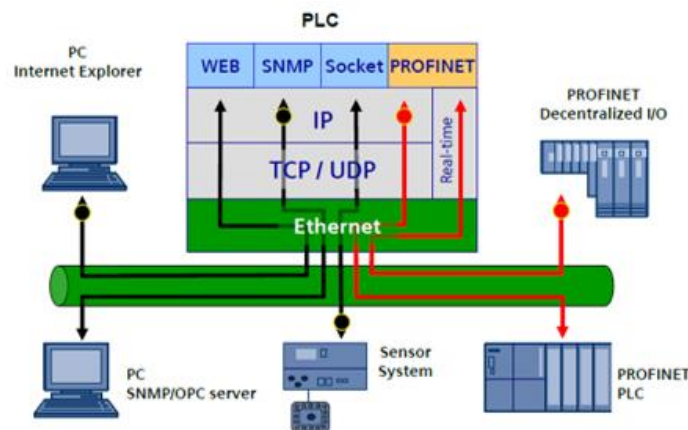


Figura 1.9. Ejemplo de los diferentes protocolos que pueden correr sobre Ethernet [6].

Los estándares del protocolo Ethernet definen muchos aspectos de la comunicación de red, incluidos el formato y el tamaño de la trama, la temporización y la codificación.

Así mismo Ethernet es un estándar que ofrece un gran número de ventajas, entre las cuáles se destacan [6]:

- Fácil instalación: Debido a que las formas de conexión más comunes son el cable coaxial y el par trenzado.
- Tecnología conocida: Es el sistema que domina el mercado desde hace varios años.
- Existen varias formas de cableado eficientes y baratas.
- Gran ancho de banda.

1.6.2 Calidad de Servicio (QoS)

El hecho de que una red de comunicación suministre las aplicaciones que el abonado espera, a la velocidad prometida y con la funcionalidad anunciada, depende de la calidad de servicio QoS [7]. La QoS se define mediante un conjunto de parámetros que describen un flujo de paquetes o células (datagramas) generado por una sesión de Internet. Ello puede abarcar servicios punto a punto, multipunto, de multidifusión y de radiodifusión [8].

La UIT ha publicado diversos manuales y cerca de 200 normas técnicas llamadas recomendaciones sobre la QoS, que están actualmente en vigor [7], abordando parámetros como:

- Velocidad de las redes de acceso
- La congestión de las redes troncales
- El retardo en la transmisión (latencia)
- La variación del retardo (fluctuación de fase)
- La pérdida de información durante la transmisión

Las estadísticas anteriores describen la calidad de servicio de un determinado flujo de datagramas. Es importante que dichas estadísticas sobre la QoS se mantengan, desde el lugar de origen hasta el destino final [8], para que el usuario final pueda hacer uso de un servicio en particular de la mejor manera posible.

1.6.3 Niveles de priorización de servicios

Las redes Ethernet proporcionan hoy en día servicios sensibles y en tiempo real. Dichos servicios son los diferentes tipos de tráfico que la red puede transportar. El tráfico de red se puede clasificar en tres categorías: datos, tiempo real y alta prioridad. Así mismo cada tipo de tráfico es afectado de forma distinta por las características de red y tiene que ser conformado para cumplir con los objetivos de rendimiento mínimos.

Para asegurar la QoS los proveedores tienen que configurar sus redes para definir cómo será priorizado el tráfico de la red. Esto se lleva a cabo asignando diferentes niveles de

prioridad dependiendo del tipo de servicio y ajustando la configuración de la red con algoritmos de prioridad. Las tramas se marcan en un campo específico para poder diferenciar el tráfico, y esto permite a los elementos de red diferenciar y discriminar el tráfico según la prioridad que tenga.

1.6.3.1 Acuerdo de Niveles de Servicio (Service Level Agreement)

El acuerdo de nivel de servicio (SLA) es un contrato entre el proveedor de servicio y el cliente, que garantiza que se cumplirá un rendimiento mínimo para los servicios [1]. En otras palabras, un SLA define un conjunto de servicios específicos, personalizados conforme a las necesidades de un cliente, en cual se pueden establecer parámetros de calidad que pueden ser de carácter técnico como por ejemplo disponibilidad o de carácter organizacional como por ejemplo tiempo de notificación. Adicionalmente un SLA también puede definir reducciones en las tarifas y descuentos que se aplican cuando un proveedor de servicios no cumple con los parámetros de servicio deseados o no cumple con el acuerdo [9].

El tráfico del cliente se puede clasificar en tres clases diferentes, en donde a cada clase le corresponde un color diferente, dicha clasificación se presenta a continuación:

- a) Tráfico garantizado (CIR, committed information rate) se refiere al ancho de banda que está disponible de forma garantizada siempre para un servicio específico y donde los KPIs (key performance indicators) se cumplen de forma garantizada. Los KPIs son características específicas de tráfico que indican el rendimiento mínimo de un tipo concreto de tráfico. Cuando el tráfico es verde, la red debe garantizar estos requerimientos mínimos para todo el tráfico. Los indicadores típicos KPI son: ancho de banda, retardo de tramas (latencia), pérdida de tramas y variación del retardo de tramas (jitter) [1].
- b) El tráfico amarillo (EIR, excess information rate) se refiere al exceso de ancho de banda por encima del CIR que puede estar disponible dependiendo del uso de la red, y donde los KPIs no están garantizados [1].
- c) El tráfico rojo (descartado) se refiere al tráfico por encima del CIR o del CIR/EIR y que no puede ser transmitido sin descartar otros servicios. Es, por tanto, destruido [1].

En la figura 1.10 se muestra el tráfico del cliente en sus tres diferentes niveles.



Figura 1.10. Semáforo Indicador de Niveles [1]

1.7 Estándares para evaluar la calidad de servicio (QoS)

1.7.1 Estándar RFC2544

El estándar RFC2544 describe las pruebas de evaluación comparativa para los dispositivos de red. Los proveedores pueden utilizar estas pruebas para medir y describir las características de rendimiento de sus equipos [10]. Además, explica seis pruebas fuera de servicio, lo que significa que se utilizan las pruebas cuando se termina de instalar el enlace y antes de ponerlo en servicio, un analizador de tráfico genera tramas específicas para evaluar la velocidad de transmisión (Throughput), la latencia, la tasa de pérdidas de tramas, la tolerancia de ráfaga, la recuperación en condiciones de sobrecarga y la recuperación de reinicio [10].

Esta recomendación fue diseñada para evaluar el rendimiento y características de los dispositivos de red en 1999. Se ha utilizado también para proveer métricas de rendimiento de las redes o circuitos Ethernet (debido a que no había Recomendaciones de la ITU-T con relación a los servicios Ethernet) además de que permite controlar los tamaños de tramas, duración y número de intentos [11].

Los resultados RFC2544 son presentados de manera que provee datos para el análisis de la entrega de servicios, activación y/o evaluación de la red y sus dispositivos.

1.7.1.1 Pruebas de RFC2544

En la RFC2544 se definen cuatro pruebas principales, las cuales son:

- *Prueba de rendimiento total (capacidad): Throughput*

Es la tasa máxima de trama que el dispositivo bajo prueba puede procesar sin perder trama alguna, de manera más específica es la tasa más rápida en la que las tramas de prueba transmitidas por el dispositivo bajo prueba son iguales a las tramas de prueba enviadas por el equipo de prueba [11].

Esta prueba permite:

- a) Transmitir un número específico de tramas
- b) Transmitir a una tasa de específica
- c) Compara Tx a Rx

- *Prueba de latencia (tiempo en que va y viene el paquete): Latencia*

Mide el tiempo que tarda el dispositivo bajo prueba en procesar las tramas [11].

Esta prueba permite:

- a) Transmitir una secuencia de tramas de un tamaño específico
- b) Transmitir a la tasa de rendimiento predeterminada

c) Medir la diferencia entre los tiempos marcados

- *Prueba de tasa de perdidas (cuantos paquetes se perdieron): Packet Loss*

En esta prueba se mide el porcentaje de tramas no pasadas por el dispositivo bajo prueba con una carga constante [11].

Esta prueba permite:

- a) Transmitir una secuencia de tramas de un tamaño seleccionado
- b) Transmitir un número conocido de tramas
- c) Realizar conteo de entrada y conteo de salida

- *Prueba de tramas punta a punta (prueba de buffer): Back to Back*

Es la habilidad del dispositivo bajo prueba de procesar un aumento repentino de tramas [11].

Esta prueba determina:

- a) Transmitir tramas a la máxima tasa
- b) Transmitir a varios tamaños de trama
- c) Determinar los mejores resultados
- d) Capacidad del almacenamiento temporal del dispositivo bajo prueba.

1.7.1.2 Desventajas de RFC2544

El constante avance que están teniendo las redes de telecomunicaciones hoy en día ha provocado que la RFC2544 este quedando de alguna manera obsoleta en algunos puntos.

Esta recomendación fue publicada en 1999 para pruebas de dispositivos de redes en el laboratorio, no para servicio en campo.

Así mismo no incluye todas las mediciones requeridas para los servicios de hoy día (Parámetros SLA) por ejemplo los siguientes [11]:

- Packet Jitter
- Out of Sequence
- QoS measurement
- Multiple concurrent service levels

Requiere de múltiples pruebas para validar un SLA completo y no es adaptable a mediciones de largo plazo.

Agregado a lo anterior no incluye el tiempo por reconfiguración y guardado de reportes para cada servicio y no realiza mediciones simultáneas para diferentes servicios [11].

Hoy en día esto es un gran problema ya que los requerimientos del tipo de tráfico de red se han diversificado y han evolucionado hacia un tráfico de muchos tipos con aplicaciones en tiempo real de vídeo y voz. En la mayoría de los casos, el enlace de datos proporcionado a los usuarios finales puede incrementarse en tasa de línea, dependiendo de los

requerimientos futuros del cliente, tasa que viene determinada y condicionada por el límite del enlace, o el grado de calidad basado en un SLA (Service Level Agreement) y/o el contrato con el cliente [12].

La combinación del cambio de los perfiles de tráfico de usuario incluyendo tamaños de tramas múltiples y flujos con diferentes prioridades, hace que la RFC2544 se quede como un estándar de pruebas algo limitado. Los aspectos más importantes que deben incluir los proveedores de servicio en sus pruebas son el testeo múltiple y simultáneo de varios flujos de tráfico, la confirmación del “policing” por flujo, la medida del tiempo de transferencia y el jitter a lo largo de la red y la verificación que la red puede manejar tráfico con determinadas ráfagas durante momentos de tiempo cortos [12].

Todas las carencias que tiene la RFC2544 en cuanto a mediciones técnicas para la verificación de un SLA y el constante crecimiento y/o evolución de las redes de telecomunicaciones resultaron en la necesidad de elaborar un nuevo estándar para evaluar el rendimiento de una red de transporte Ethernet.

1.7.2 Estándar ITU-T.Y.1564

Este nuevo estándar está dirigido hacia diferentes configuraciones de tráfico de red asegurando que la calidad se mantenga a lo largo de redes con múltiples flujos. Este nuevo estándar también permite a los ingenieros introducir información sobre el Criterio de Aceptación del Servicio (SAC por sus siglas en inglés de Service Acceptance Criteria) que normalmente está basada en un subconjunto de SLAs de usuario. A través de la introducción de información SAC antes del comienzo de la prueba, se posibilita el configurar un criterio simple de pasa/falla, simplificando los resultados y los puntos críticos para el ingeniero de red [12].

Sus funciones principales son validar los principales indicadores de una eficiente operación de Servicios Ethernet. Además, valida la configuración de cada servicio definido y la calidad de cada servicio definido en los SLAs [11].

El estándar describe dos pruebas principales, las cuales se describirán a continuación.

1.7.2.1 Pruebas de Configuración de Servicio

Durante esta etapa, cada uno de los flujos de prueba individuales se completa de modo secuencial, confirmando que no existe ningún problema en la configuración de la red. El proveedor de servicio tiene la capacidad de configurar cada flujo de prueba individualmente para diferentes tamaños de tramas o en un mixto de tramas llamado EMIX, y también puede ajustar el Throughput y otra información de cabecera como las direcciones MAC, ajustes VLAN, direcciones IP, DSCP, etc. El estándar también permite a los ingenieros configurar los diferentes tipos de servicios para caracterizar como: CIR, EIR, Traffic Policing, etc [12].

Las pruebas se completan en cuestión de segundos, permitiendo monitorizar y reportar los parámetros SLA:

- IR (Information Rate-Tasa de información)
 - FLR (Frame Loss Ratio-Tasa de paquetes perdidos)
 - FDV (Frame Delay Variation-Variación de retardo de trama)
 - FTD (Frame Transfer Dealy- Latencia)
- Metodología de Pruebas de Configuración de Servicio (figura 1.11)
 - 1) Para cada servicio se genera una rampa de tráfico de manera secuencial, primero hasta el CIR, luego hasta el EIR y finalmente sobre el EIR.
 - 2) Verifica que el CIR y el EIR estén configurados apropiadamente
 - 3) Verifica todos los parámetros SLA en cada rampa (Umbral Pasa/Falla para cada parámetro)

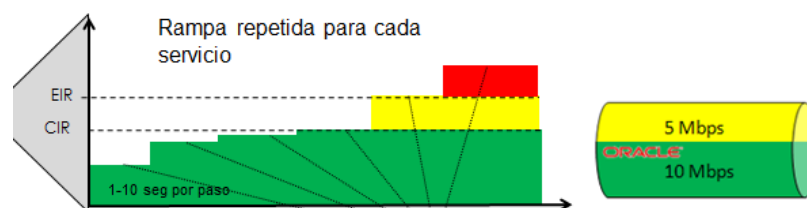


Figura 1.11. Prueba de configuración de servicio ITU.Y.1564 [4].

1.7.2.2 Pruebas de Prestaciones de Servicio

Una vez que se han completado las pruebas de configuración de red, confirmando que la red es capaz de trabajar con una carga de tráfico determinada y durante una duración de tiempo requerido, las Pruebas de Prestaciones de Servicio completan esta fase a través de la generación de todos los servicios de prueba simultáneamente a un CIR pre configurado y por un periodo de tiempo de 15 min, 2h o 24 h o el seleccionado por usuario. Generar todos estos servicios y meterlos a la red de prueba durante este tiempo, permite a los ingenieros comprobar si otros servicios están afectando al servicio bajo prueba y también comprobar y medir estadísticas de Disponibilidad (AVAIL Availability) [12].

Con el analizador generando cada flujo de tráfico y reportando los resultados SLA: IR, FTD, FDV, FLR y AVAIL para cada trama simultáneamente, se puede comprobar cómo se reduce el tiempo de prueba comparándolo con la RFC2544 con un análisis más completo de la red de transporte Ethernet.

- Metodología de Pruebas de Prestaciones de Servicio (figura 1.12)
 - 1) Genera todos los servicios al mismo tiempo al nivel CIR y mide todos los parámetros SLA simultáneamente (Throughput, Latency, Frame Loss, Packet Jitter y AVAIL).
 - 2) Umbral Pasa/Falla para cada parámetro (en cada dirección).

El tiempo de prueba sugerido es de 2 horas (dependiendo de los clientes, podría ser menor a 2 minutos). Puede ser escalado a tiempos de prueba largos (ej. 24 horas) [11].

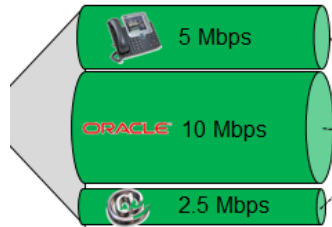


Figura 1.12. Prueba de Prestación de servicio ITU.Y.1564 [4].

1.7.2.3 Ventajas del estándar ITU.Y.1564 sobre RFC2544

El estándar ITU.Y.1564 se ha convertido en el estándar ideal para la prueba y activación de los diferentes servicios Ethernet y para la validación de un SLA de manera completa.

A diferencia de la RFC2544 el estándar ITU.Y.1564 ofrece mayores ventajas sobre este, lo que lo hace un estándar más eficiente y eficaz para la validación de SLA entre usuario y proveedor [11].

La tabla 1.1 muestra los beneficios que tiene ITU.Y.1564 sobre la RFC2544.

Tabla 1.1. Características principales ITU.Y.1564

Características ITU.Y.1564	Beneficios
Metodología adaptada a los servicios Ethernet de hoy en día: (Con métricas de todos los parámetros clave en el SLA: Throughput, Frame Loss, Latency, Packet Jitter para múltiples servicios de manera simultánea.	Valida un SLA completo con una única prueba. Optimizado para calidad de servicio.
La prueba es mucho más rápida que RFC2544.	Activaciones 8 veces más rápidas que con RFC2544 (basados en circuitos con 4 clases de servicio diferentes).
Resultados bidireccionales para todos los servicios (Configuración Dual Test)	Mediciones 100% correctas a la primer prueba 100% seguro

Sin duda, la ventaja principal que ofrece el estándar ITU.Y.1564 sobre la RFC2544 es el ahorro de tiempo. En pruebas de campo se han logrado ahorrar hasta 753 horas aproximadamente, ya que ITU.Y.1564 válida un SLA completo con una sola prueba

El estándar ITU.Y.1564 es por lo tanto la opción hoy en día para poder hacer una verificación completa de los SLA establecidos entre usuario y cliente, de una manera más rápida y eficiente.

2 Definición del enlace de fibra óptica a evaluar

En este capítulo se definen las características más importantes del enlace de comunicaciones por fibra óptica caracterizada, incluyendo los diagramas de conexiones utilizados, las configuraciones correspondientes a cada equipo de medición y los equipos terminales que conformaron la red de Fibra Óptica.

El enlace de comunicaciones caracterizado se conformó por cuatro enlaces de fibra óptica con distancias ópticas distintas. Cada uno de los enlaces fue caracterizado a nivel capa física, lo cual implicó realizar mediciones de Dispersión Cromática (CD), Dispersión por Modos de Polarización (PMD) y mediciones con OTDR. El tipo de Fibra óptica utilizada en cada enlace de fibra óptica fue la correspondiente a la recomendación ITU-T G.652 según el operador, lo que permitió hacer una comparación de los valores de Atenuación, Dispersión Cromática y Dispersión por Modos de Polarización recomendados por ITU-T para este tipo de Fibra, con las mediciones obtenidas y así determinar si el enlace cumplía con la velocidad de transmisión de 1 GbE contratado por el cliente.

Como primer punto se presentan los equipos de medición utilizados para llevar a cabo la caracterización de la capa física en el enlace de fibra óptica.

2.1 Equipos de Medición para caracterización de la capa física

En el mercado existen varios fabricantes de equipos de medición y prueba para Telecomunicaciones. En la parte de comunicaciones por fibra óptica varios fabricantes tienen una gran presencia a nivel internacional, entre ellos destacan ANRITSU y EXFO.

La elección del equipo de medición que se debe adquirir depende de las capacidades del equipo en cuanto a interfaces, facilidad de manejo, etc., para evaluar los enlaces que se tienen instalados por el operador de Comunicaciones y el precio más bajo con la mejor relación de eficiencia posible [13].

Algunos de los criterios más importantes que ayudan a tomar esta decisión son los siguientes:

1. Soporte Técnico Local Post-Venta [13].
2. Precio de Venta [13].
3. Capacidad de crecimiento para nuevas actualizaciones de tecnologías [13].
4. Portabilidad (Tamaño del equipo para poder transportarlo) [13].
5. Facilidad de Manejo [13].
6. Diversas Aplicaciones [13].
7. Conceptos de Operación [13].
8. Reputación del Fabricante [13].

Tomando en cuenta algunos de los criterios previamente mencionados, los equipos de medición utilizados para la caracterización se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Equipos de Medición utilizados para la caracterización del enlace.

Fabricante	Equipo de Medición	Modelo
ANRITSU	OTDR (Reflectómetro Óptico)	MT9090A Módulo OTDR MU909015C/C6-058 
EXFO	Analizador de Dispersión por Modos de Polarización	FTB 400 Módulo FTB 5500B 
EXFO	Analizador de Dispersión Cromática	FTB 400 Módulo FTB 5800 
EXFO	Fuente para Analizador de Dispersión Cromática y Dispersión por Modos de Polarización (CD/PMD)	FLS 5834 A 

2.2 Características del Enlace 1

El Enlace 1 está definido entre el sitio A y el sitio B, sus características principales están definidas en la tabla 2.2. Conforme con la Recomendación ITU-T G.652, los valores máximos permitidos del Coeficiente Dispersión Cromática, del Coeficiente de Atenuación y del Coeficiente Dispersión por Modos de Polarización se enuncian en la misma tabla.

Tabla 2.2. Características principales del Enlace 1.

Distancia óptica entre sitios [km]	Tipo de Fibra Óptica	Tecnología que utilizará el enlace	Longitud de onda de operación [nm]	α [$\frac{dB}{km}$]	CD $\frac{ps}{nm \cdot km}$	PMD $\frac{ps}{\sqrt{km}}$
73	Fibra Monomodo ITU-T G.652	Asíncrona (Ethernet)	1550	0.35	17	0.5

2.2.1 Metodología para la caracterización de la capa física del Enlace 1

A continuación, se muestran tres diferentes diagramas de conexión correspondientes a las mediciones que se hicieron con OTDR, Dispersión Cromática y Dispersión por Modos de Polarización, respectivamente.

2.2.1.1 Medición de la atenuación del Enlace 1

Para realizar la medición el OTDR se colocó en el ODF (Optical Distribution Frame) del sitio A. Conforme con la figura 2.1 el OTDR ubicado en el sitio A, se conectó mediante un jumper FC-FC (trazo color amarillo) al puerto del ODF correspondiente al enlace de fibra óptica (trazo color rojo) que se quería medir. Una vez conectado el OTDR al puerto del ODF, se realizó la configuración del equipo para obtener las mediciones correspondientes.

Es importante señalar que antes de realizar cualquier tipo de conexión se verificó la limpieza y calidad de los conectores que se usaron.



Figura 2.1. Diagrama de conexiones utilizado para realizar mediciones con OTDR en el enlace 1.

2.2.1.2 Medición de la Dispersión Cromática en el Enlace 1

Para realizar las mediciones de Dispersión Cromática en los enlaces de fibra óptica de larga distancia, los equipos EXFO utilizan el método llamado “Desplazamiento de Fase”. Este método se utilizó para determinar la Dispersión Cromática en todos los enlaces de fibra óptica que se caracterizaron.

A continuación, se describe el procedimiento para la medición de DC.

1. Establecimiento de una referencia. El establecimiento de la referencia se llevó a cabo conectando directamente la fuente de DC y el Analizador de DC mediante dos jumpers de prueba con terminaciones FC-FC y un acoplador FC-FC, tal y como lo muestra la figura 2.2. Una vez conectados entre sí, se hizo la configuración correspondiente para cada equipo (para conocer más detalle cómo se configuraron cada uno de los equipos refiérase al tema de Configuración de Equipos dada en la sección 2.2.2.2.

El objetivo de establecer una referencia es determinar una fase inicial, que permita hacer una comparación con la fase que resulte al medir el enlace de fibra óptica correspondiente.



Figura 2.2. Establecimiento de referencia para medir Dispersión Cromática.

2. Medición de Dispersión Cromática del enlace. Para llevar a cabo esta medición fue necesario contar con dos ingenieros de Soporte Técnico. Uno ubicado en el sitio A responsable de la manipulación de la fuente de DC y otro ubicado en el sitio B responsable de la operación del Analizador de DC. Una vez establecida la referencia, en un extremo del enlace se conectó la fuente de Dispersión Cromática y en el otro extremo se conectó el Analizador de Dispersión Cromática. La figura 2.3 muestra gráficamente las conexiones antes mencionadas. Como se puede observar en la figura 2.3 la fuente de DC ubicada en el Sitio A, se conectó a través del jumper de prueba 1 FC-FC (trazo amarillo) al puerto del ODF correspondiente al enlace de fibra óptica que se quería medir. Así mismo, el Analizador de DC ubicado en el sitio B se conectó mediante el jumper de prueba 2 FC-FC (trazo color amarillo) al puerto del ODF correspondiente al enlace de fibra óptica que se quería medir. Una vez que se realizaron estas dos conexiones se configuró cada equipo para poder medir la Dispersión Cromática en el enlace de Fibra Óptica



Figura 2.3. Diagrama de conexiones utilizado para realizar mediciones de Dispersión Cromática en el enlace 1.

Es importante señalar que antes de realizar cualquier tipo de conexión se verificó la limpieza y calidad de los conectores que se usaron.

2.2.1.3 Medición de la Dispersión por Modos de Polarización en el Enlace 1

Para medir la Dispersión por Modos de Polarización en el enlace de fibra óptica se realizaron las conexiones mostradas en la figura 2.4. Al igual que en la medición de Dispersión Cromática, para esta medición fue necesario contar con dos Ingenieros de Soporte Técnico. El responsable de la operación de la Fuente de Dispersión por Modos de Polarización ubicado en el sitio A y el responsable de la operación del Analizador de Dispersión por Modos de Polarización ubicado en el sitio B.

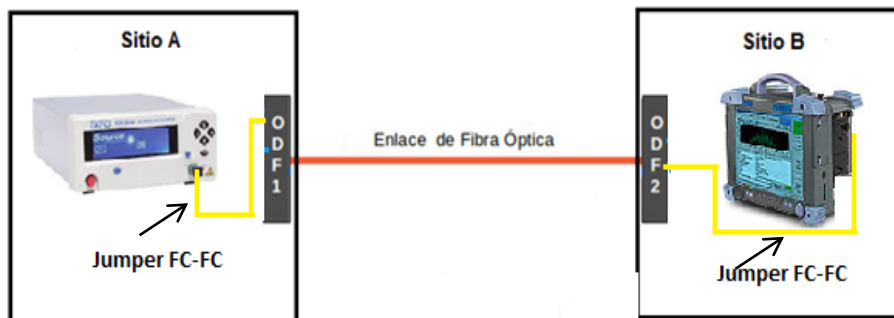


Figura 2.4. Diagrama de conexiones utilizado para realizar mediciones de Dispersión por Modos de Polarización en el enlace 1.

Como se observa en la figura 2.4 la fuente de Dispersión por Modos de Polarización ubicada en el Sitio A, se conectó a través de un jumper FC-FC (trazo color amarillo) al puerto del ODF correspondiente al enlace de fibra óptica que se quería medir. Así mismo el Analizador de Dispersión por Modos de Polarización ubicado en el sitio B se conectó mediante un jumper FC-FC (trazo color amarillo) al puerto del ODF correspondiente a la fibra óptica que se quería medir. Una vez realizadas estas dos conexiones se configuró cada equipo para poder medir la Dispersión por modos de Polarización en el enlace de Fibra Óptica.

Es importante señalar que antes de realizar cualquier tipo de conexión se verificó la limpieza y calidad de los conectores que se usaron.

2.2.2 Configuración de equipos para la caracterización de la Capa Física del Enlace 1

2.2.2.1 Configuración de OTDR para el Enlace 1

La longitud de onda de operación de la red de fibra óptica analizada es de 1550 nm, sin embargo, para poder identificar eventos correspondientes a microcurvaturas, macrocurvaturas, empalmes erróneos, etc. dentro del enlace, también se realizaron mediciones a una longitud de onda de 1310 nm.

1. La configuración de los parámetros correspondientes a la prueba realizada a una longitud de onda de 1310 nm, se muestra en la figura 2.5.



Figura 2.5. Configuración de los parámetros del OTDR para el enlace 1 a 1310 nm.

2. La configuración de los parámetros correspondientes a una longitud de onda de 1550 nm, se muestra en la figura 2.6.



Figura 2.6. Configuración de los parámetros del OTDR para el enlace 1 a 1550 nm.

Las figuras 2.5 y 2.6 muestra la interfaz gráfica del OTDR, los parámetros configurados se describen la sección 1.5.1.2.

2.2.2.2 Configuración del Analizador de Dispersión Cromática y de la fuente de Dispersión Cromática para el Enlace 1

Configuración de la Fuente de Dispersión Cromática

Configuración utilizada para realizar mediciones de Dispersión Cromática con la Fuente modelo CD/PMD FLS-5834A.

1. Verificación de la limpieza y calidad de los conectores utilizados.
2. Conexión de la Fuente y el Analizador de Dispersión Cromática con el enlace de fibra óptica, tal y como se muestra en la figura 2.7.

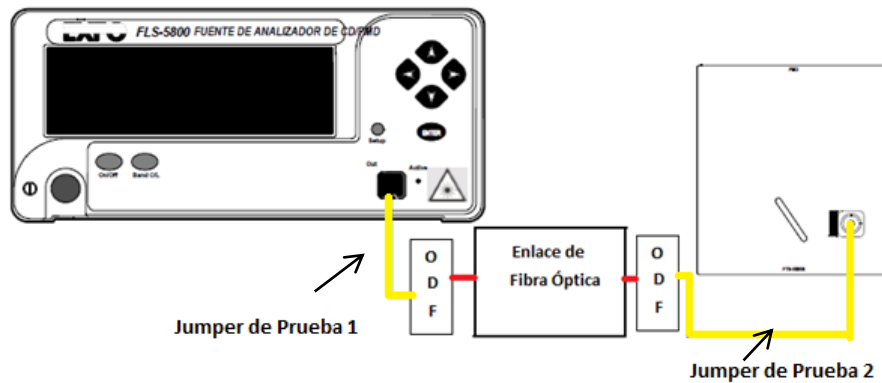


Figura 2.7. Configuración de la Fuente CD/PMD FLS-5834A para realizar mediciones de Dispersión Cromática en el enlace 1.

3. Encendido de la Fuente CD/PMD FLS-5834A.

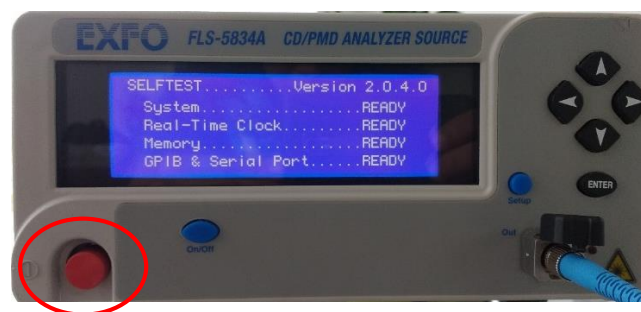


Figura 2.8. Encendido de la Fuente FLS-5834A.

4. Elección del ancho de banda (C+L)

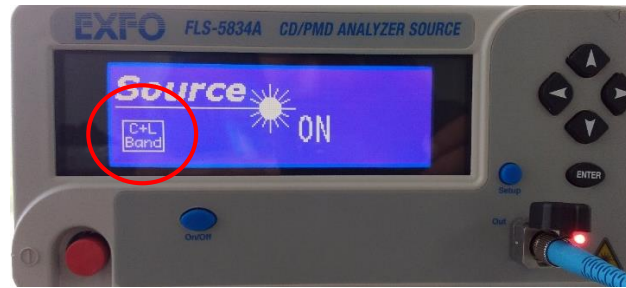


Figura 2.9. Elección del ancho de Banda con el que emitirá la fuente.

5. Encendido de la Fuente (Láser).

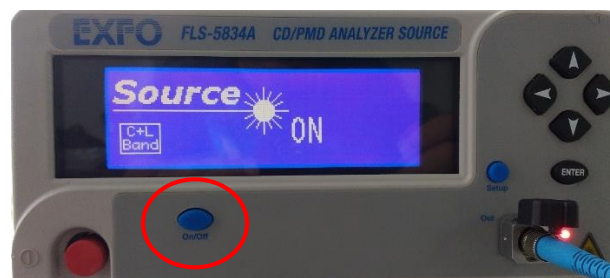


Figura 2.10. Encendido del Láser de la fuente.

Configuración del Analizador de Dispersión Cromática

A continuación, se muestran los parámetros que se configuraron en el Analizador de Dispersión Cromática para la caracterización en el enlace 1.

1. Configuración del rango de longitud de onda en el que se desea realizar las adquisiciones.

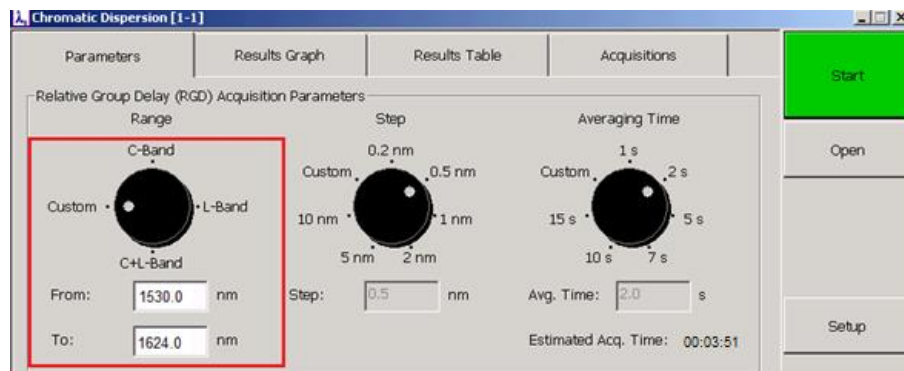


Figura 2.11. Configuración del rango de longitud de onda del Analizador de Dispersión Cromática para el enlace 1.

- Ajuste del incremento de longitud de onda en el que el sistema tomará las mediciones RGD (Retardo de Grupo Relativo) dentro del rango de longitud de onda seleccionado.

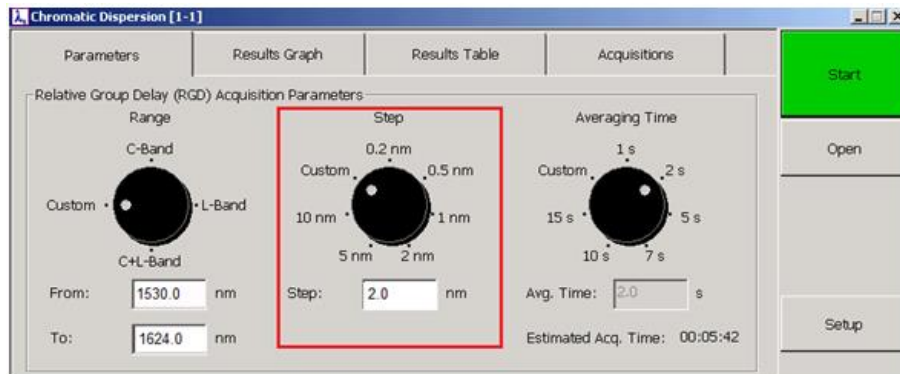


Figura 2.12. Configuración del incremento de longitud de onda del Analizador de Dispersión Cromática para el enlace 1.

- Configuración del tiempo promedio empleado por el sistema en un punto o longitud de onda.

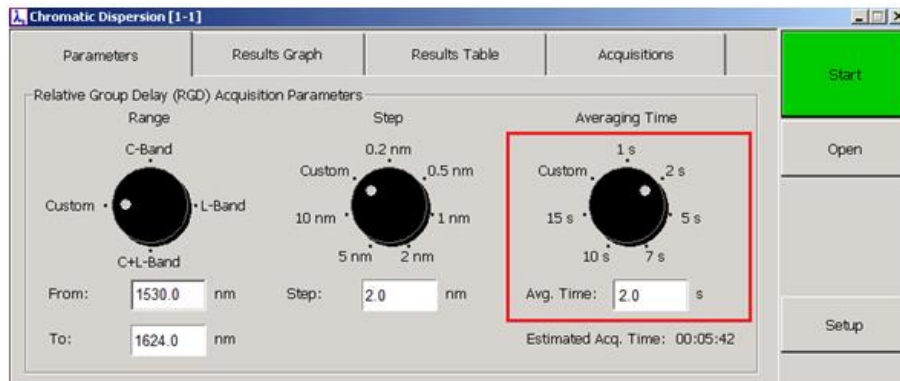


Figura 2.13. Configuración del tiempo promedio del Analizador de Dispersión Cromática para el enlace 1.

- Configuración de las características de la fibra en pruebas. Esta información incluye tipo de fibra, ajuste de datos y longitud de fibra.

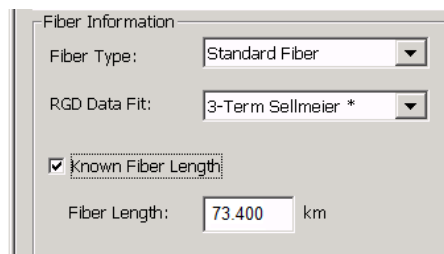


Figura 2.14. Configuración de las características de la fibra bajo prueba del Analizador de Dispersión Cromática para el enlace 1.

5. Configuración del tipo de Fuente que se utilizará para realizar las mediciones de Dispersión Cromática.

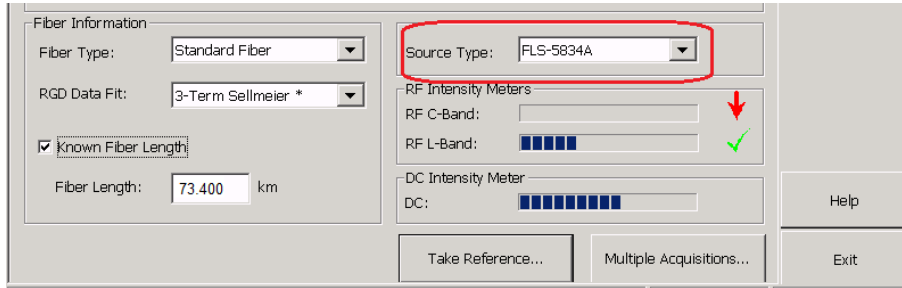


Figura 2.15. Configuración del tipo de fuente utilizada para caracterizarla Dispersión Cromática del enlace 1.

6. Comprobación de Intensidad de la fuente. Una vez que se seleccionó el tipo de fuente fue necesario comprobar la intensidad de la misma. Para ello se encendió la fuente y se verificaron los indicadores de RF Intensity Meter. Las marcas de verificación verdes indican una intensidad adecuada, las flechas arriba y abajo indican que la intensidad es demasiado alta o demasiado baja respectivamente.

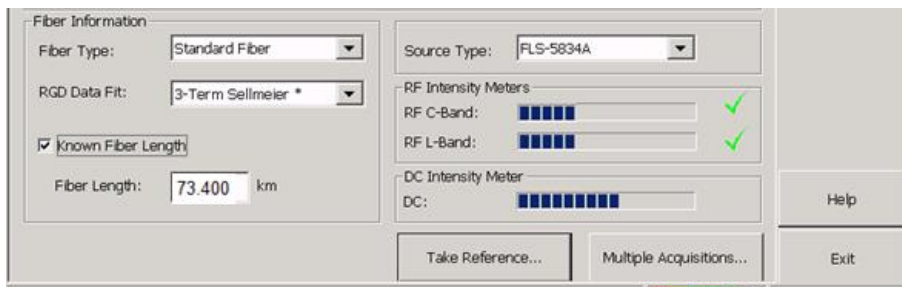


Figura 2.16. Verificación de los niveles de la intensidad de la fuente utilizada para caracterizar la Dispersión Cromática del enlace 1.

7. Configuración para establecer una referencia de fase inicial. Después de haber configurado el tipo de fuente y de haber verificado que los indicadores de RF Intensity estén con un nivel adecuado, se estableció una referencia de fase inicial.

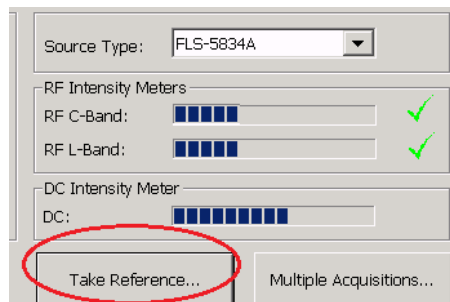


Figura 2.17. Configuración para tomar una referencia en el Analizador de Dispersión Cromática del enlace 1.

2.2.2.3 Configuración del Analizador por Modos de Polarización y de la fuente de Dispersión por Modos de Polarización para el Enlace 1

Configuración de la Fuente de Dispersión por Modos de Polarización

Configuración utilizada para realizar mediciones de Dispersión por Modos de Polarización con la Fuente CD/PMD FLS-5834a.

1. Verificación de la limpieza y calidad de los conectores utilizados.
2. Conexión de la Fuente y el Analizador de Dispersión por Modos de Polarización con el enlace de fibra óptica, tal y como se muestra en la figura 2.18.

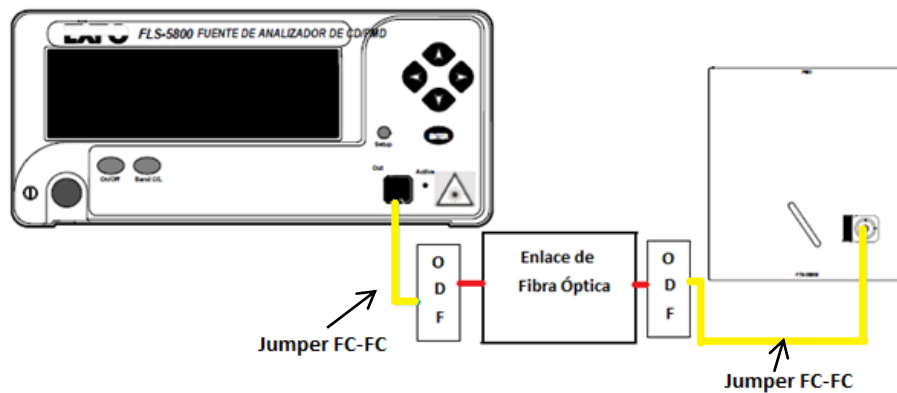


Figura 2.18. Configuración de la Fuente CD/PMD FLS-5834A para realizar mediciones de Dispersión por Modos de Polarización en el enlace 1.

3. Encendido de la Fuente CD/PMD FLS-5834A.

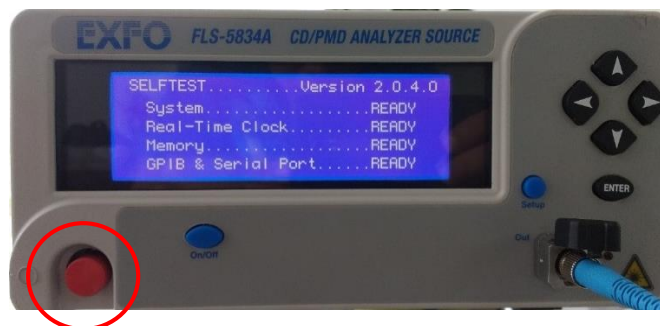


Figura 2.19. Encendido de la Fuente FLS-5834A.

4. Elección del ancho de banda (C+L)

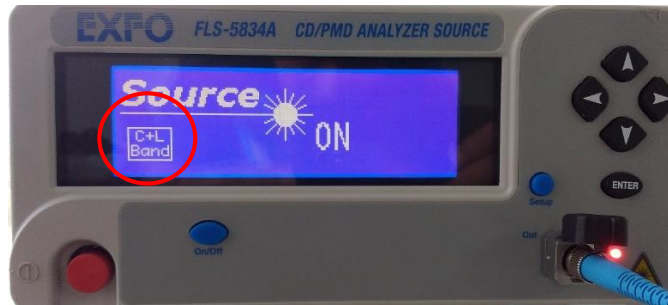


Figura 2.20. Elección del ancho de Banda con el que emitirá la fuente.

5. Encendido de la Fuente (Láser).

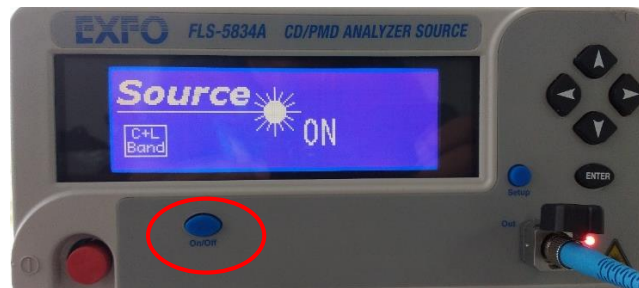


Figura 2.21. Encendido del Láser de la fuente.

Configuración del Analizador de Dispersión por Modos de Polarización

1. Configuración para la personalización de umbrales de coeficiente y valor de PMD.

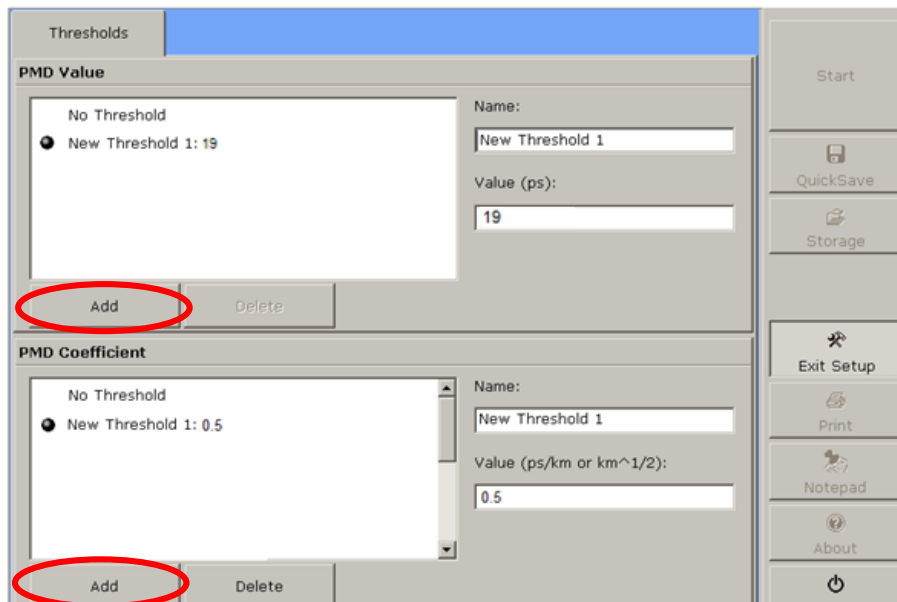


Figura 2.22. Configuración de los umbrales de coeficiente y valor de PMD para el Analizador de Dispersión por Modos de Polarización del enlace 1.

2. Configuración de los parámetros de medición. (Características de la fibra, umbrales de PMD y autonombrado).

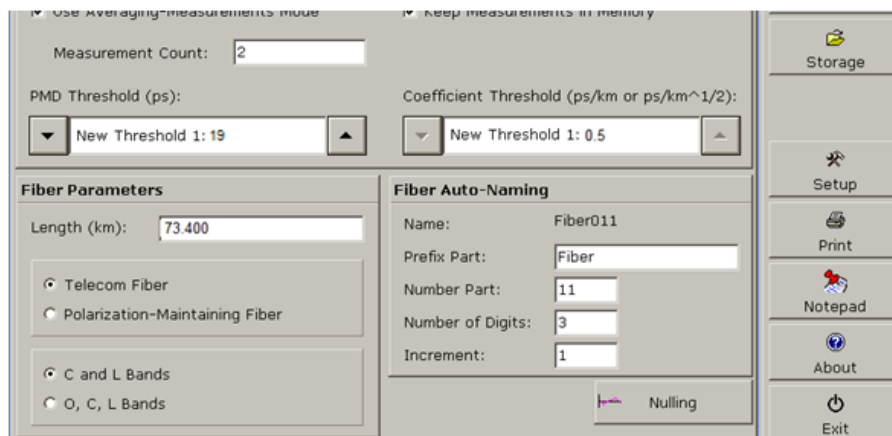


Figura 2.23. Configuración de parámetros de medición para el Analizador de Dispersión por Modos de Polarización para el enlace 1.

2.2.3 Inventario de Equipos terminales para Sitios A y B

Una vez terminadas las mediciones de capa física, el operador de la red solicitó que se realizara un inventario de los equipos terminales de comunicaciones que se tenían en sitio. Después del análisis de la caracterización el operador decidiría si los utilizaba o los reemplazaría para el alcance necesario por el cliente final.

2.2.3.1 Equipos terminales del Sitio A

La información y las fotos de los equipos terminales del sitio A se encuentran organizadas en las tablas 2.3 y 2.4. El equipo terminal CISCO modelo 7609 es un router con una capacidad de conmutación de 720 Gbps. Provee características de alta rendimiento para redes IP/MPLS teniendo su principal aplicación en redes MAN y WAN. Los servicios en la capa óptica que ofrece este equipo destaca Gigabit Ethernet WAN.

Tabla 2.3. Información técnica de equipos terminales (Sitio A).

EQUIPO 1 Router IP-MPLS		NÚMERO DE SERIE 00020519		
FUNCIÓN	MARCA	MODELO	AÑO DE ADQUISICIÓN	AÑO PUESTA EN SERVICIO
Ruteo de paquetes entre segmentos de red.	CISCO	7609	2013	2014



Imagen 2.1. Vista frontal del equipo 1 del sitio A.



Imagen 2.2. Vista trasera del equipo 1 del sitio A.

El equipo CISCO modelo 3560X es un conmutador que proporciona alta eficiencia, alta disponibilidad, escalabilidad, seguridad, eficiencia energética para aplicaciones como telefonía IP, tecnología inalámbrica, video y Gigabit Ethernet.

Tabla 2.4. Información técnica de equipos terminales (Sitio A).

EQUIPO 2 Switch IP-MPLS		NÚMERO DE SERIE 0003069		
FUNCIÓN	MARCA	MODELO	AÑO DE ADQUISICIÓN	AÑO PUESTA EN SERVICIO
Distribución de paquetes dentro de una misma red	CISCO	3560X	2013	2014

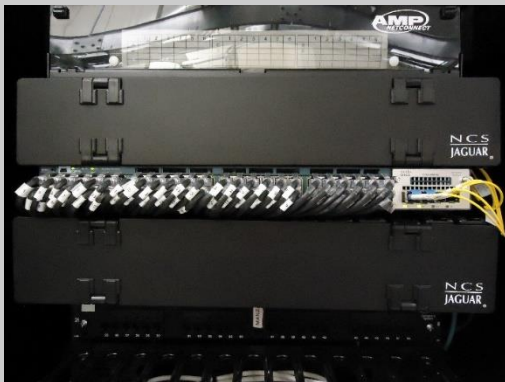


Imagen 2.3. Vista frontal del equipo 2 del sitio A.





Imagen 2.4. Vista trasera del equipo 2 del sitio A.

2.2.3.2 Equipos terminales del sitio B

La información y las fotos de los equipos terminales del sitio B se encuentran organizadas en las tablas 2.5 y 2.6.



El equipo CISCO modelo ME3600X ofrece una velocidad de transporte de 10 Gbps en la capa de acceso para las aplicaciones empresariales y móviles. Ayuda a iniciar los servicios de VPN basadas en MPLS desde el interior de la capa de acceso y facilita los servicios de primera calidad conforme a lo establecido en un acuerdo de nivel de servicio (SLA).

Tabla 2.5. Información técnica de equipos terminales (Sitio B).

EQUIPO 1 Switch IP		NÚMERO DE SERIE 00020159		
FUNCIÓN	MARCA	MODELO	AÑO DE ADQUISICIÓN	AÑO PUESTA EN SERVICIO
Distribución de paquetes dentro de una misma red	CISCO	ME3600X	2012	2012
 <p>Imagen 2.5. Vista frontal del equipo 1 del sitio B.</p>		 <p>Imagen 2.6. Vista trasera del equipo 1 del sitio B.</p>		

El equipo terminal CISCO modelo 7609 es un router con una capacidad de conmutación de 720 Gbps. Provee características de alta rendimiento para redes IP/MPLS teniendo su principal aplicación en redes MAN y WAN. Los servicios en la capa óptica que ofrece este equipo destaca Gigabit Ethernet WAN.

Tabla 2.6. Información técnica de equipos terminales (Sitio B).

EQUIPO 2 Router IP-MPLS		NÚMERO DE SERIE 0007893		
FUNCIÓN	MARCA	MODELO	AÑO DE ADQUISICIÓN	AÑO PUESTA EN SERVICIO
Ruteo de paquetes entre segmentos de red.	CISCO	7609	2012	2012
 <p>Imagen 2.7. Vista frontal del equipo 2 del sitio B.</p>		 <p>Imagen 2.8. Vista trasera del equipo 2 del sitio B.</p>		

2.3 Características del Enlace 2

El Enlace 2 está definido entre el sitio B y el sitio C, sus características principales están definidas en la tabla 2.7. Conforme con la Recomendación ITU-T G.652, los valores máximos permitidos del Coeficiente Dispersión Cromática, del Coeficiente de Atenuación y del Coeficiente Dispersión por Modos de Polarización se enuncian en la misma tabla.

Tabla 2.7. Características principales del Enlace 2.

Distancia óptica entre sitios [km]	Tipo de Fibra Óptica	Tecnología que utilizará el enlace	Longitud de onda de operación [nm]	α [$\frac{dB}{km}$]	CD [$\frac{ps}{nm \cdot km}$]	PMD [$\frac{ps}{\sqrt{km}}$]
43	Fibra Monomodo ITU-T G.652	Asíncrona (Ethernet)	1550	0.35	17	0.5

2.3.1 Metodología para la caracterización de la capa física del Enlace 2

Los diagramas de conexión, correspondientes a las mediciones que se hicieron con OTDR (Reflectómetro Óptico), Dispersión Cromática y Dispersión por Modos de Polarización, en el Enlace 2 se muestran a continuación.

2.3.1.1 Medición de la atenuación del Enlace 2

La figura 2.24 muestra gráficamente las conexiones realizadas.



Figura 2.24. Diagrama de conexiones utilizado para realizar mediciones con OTDR en el enlace 2.

Para realizar la medición el OTDR se colocó en el ODF (Optical Distribution Frame) del sitio B. Conforme con la figura 2.24 el OTDR ubicado en el sitio B, se conectó mediante un jumper FC-FC (trazo color amarillo) al puerto del ODF correspondiente al enlace de fibra óptica (trazo color verde) que se quería medir. Una vez conectado el OTDR al puerto del ODF, se realizó la configuración del equipo para obtener las mediciones correspondientes.

Es importante señalar que antes de realizar cualquier tipo de conexión se verificó la limpieza y calidad de los conectores que se usaron.

2.3.1.2 Medición de la Dispersión Cromática en el Enlace 2

Debido a que la fuente de Dispersión Cromática que se utilizó para caracterizar todos los enlaces de la red de fibra óptica fue siempre la misma, ya no fue necesario establecer una referencia como se hizo en el Enlace 1. Para llevar a cabo esta medición fue necesario contar con dos Ingenieros de Soporte Técnico. Uno ubicado en el sitio B responsable de la manipulación de la fuente Dispersión Cromática y otro ubicado en el sitio C responsable de la operación del Analizador de Dispersión Cromática.

La figura 2.25 muestra las conexiones realizadas.



Figura 2.25. Diagrama de conexiones utilizado para realizar mediciones de Dispersión Cromática en el enlace 2.

Como se puede observar en la figura 2.25, la fuente de Dispersión Cromática ubicada en el Sitio B, se conectó a través del jumper de prueba 1 FC-FC (trazo color amarillo) al puerto del ODF correspondiente al enlace de fibra óptica que se quería medir. Así mismo, el Analizador de Dispersión Cromática ubicado en el sitio C se conectó mediante el jumper de prueba 2 FC-FC (trazo color amarillo) al puerto del ODF correspondiente al enlace de fibra óptica que se quería medir. Una vez que se realizaron estas dos conexiones se configuró cada equipo para poder medir la Dispersión Cromática en el enlace de Fibra Óptica.

Es importante señalar que antes de realizar cualquier tipo de conexión se verificó la limpieza y calidad de los conectores que se usaron.

2.3.1.3 Medición de la Dispersión por Modos de Polarización en el Enlace 2

Para medir la Dispersión por Modos de Polarización en el enlace de fibra óptica número 2 se realizaron las conexiones mostradas en la figura 2.26. Igual que en la medición de Dispersión Cromática, para esta medición fue necesario contar con dos Ingenieros de Soporte Técnico. El responsable de la operación de la Fuente de Dispersión por Modos de Polarización ubicada en el sitio B y el responsable de la operación del Analizador de Dispersión por Modos de Polarización ubicada en el sitio C.



Figura 2.26. Diagrama de conexiones utilizado para realizar mediciones de Dispersión por Modos de Polarización en el enlace 2.

Como se observa en la figura 2.26 la fuente de Dispersión por Modos de Polarización ubicada en el Sitio B, se conectó a través de un jumper FC-FC (trazo color amarillo) al puerto del ODF correspondiente al enlace de fibra óptica que se quería medir. Así mismo el Analizador de Dispersión por Modos de Polarización ubicado en el sitio C se conectó mediante un jumper FC-FC (trazo color amarillo) al puerto del ODF correspondiente a la fibra óptica que se quería medir. Una vez que se realizaron estas dos conexiones se configuró cada equipo para poder medir la Dispersión por Modos de Polarización en el enlace de Fibra Óptica.

Es importante señalar que antes de realizar cualquier tipo de conexión se verificó la limpieza y calidad de los conectores que se usaron.

2.3.2 Configuración de equipos para la caracterización de la Capa Física del Enlace 2

2.3.2.1 Configuración de OTDR para el Enlace 2

Las configuraciones correspondientes a las mediciones con OTDR (Reflectómetro Óptico) a las siguientes longitudes de onda 1310 y 1550 nm para el enlace 2, se muestran en las Figuras 2.27 y 2.28, respectivamente.

1. La configuración de los parámetros correspondientes a la prueba realizada a una longitud de onda de 1310 nm, se muestran en la figura 2.27.



Figura 2.27. Configuración de los parámetros del OTDR para el enlace 2 a 1310 nm.

- La configuración de los parámetros correspondientes a la prueba realizada a una longitud de onda de 1550 nm, se muestra en la figura 2.28.



Figura 2.28. Configuración de los parámetros del OTDR para el enlace 2 a 1550 nm.

Las figuras 2.27 y 2.28 muestra la interfaz gráfica del OTDR, los parámetros configurados se describen la sección 1.5.1.2.

2.3.2.2 Configuración del Analizador de Dispersión Cromática y de la fuente de Dispersión Cromática para el Enlace 2

Configuración de la Fuente de Dispersión Cromática

Configuración utilizada para realizar mediciones de Dispersión Cromática con la Fuente modelo CD/PMD FLS-5834A.

- Verificación de la limpieza y calidad de los conectores utilizados.
- Conexión de la Fuente y el Analizador de Dispersión Cromática con el enlace de fibra óptica, tal y como se muestra en la figura 2.29.

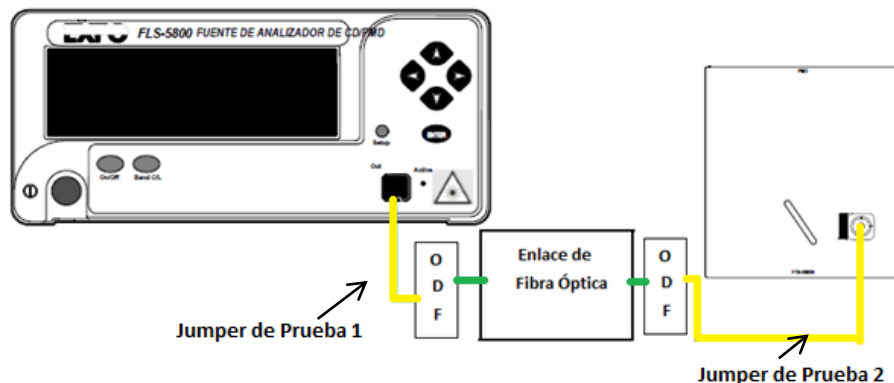


Figura 2.29. Configuración de la Fuente CD/PMD FLS-5834 A para realizar mediciones de Dispersión Cromática en el enlace 2.

3. Encendido de la Fuente CD/PMD FLS-5834A.

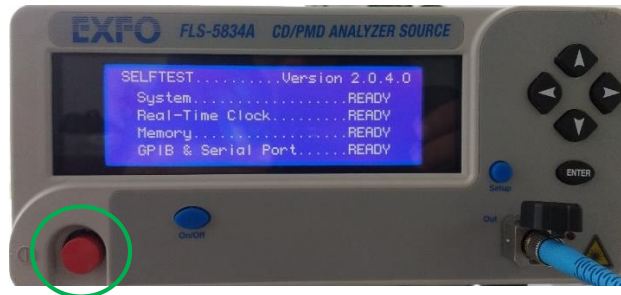


Figura 2.30. Encendido de la Fuente FLS-5834A

4. Elección del ancho de banda (C+L)

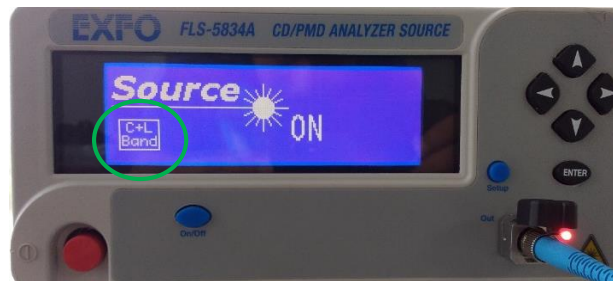


Figura 2.31. Elección del ancho de Banda con el que emitirá la fuente.

5. Encendido de la Fuente (Láser).

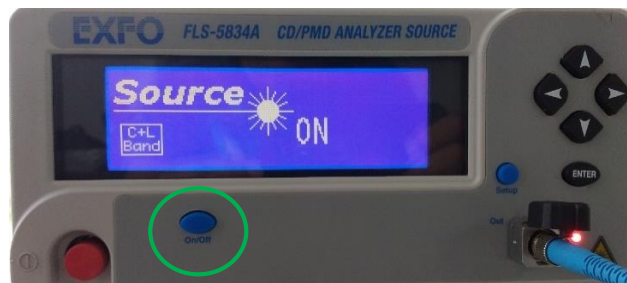


Figura 2.32. Encendido del Láser de la fuente.

Configuración del Analizador de Dispersión Cromática

La configuración realizada para el Analizador de Dispersión Cromática correspondiente al enlace 2, se muestra a continuación.

1. Configuración del rango de longitud de onda en el que se desea realizar las adquisiciones.

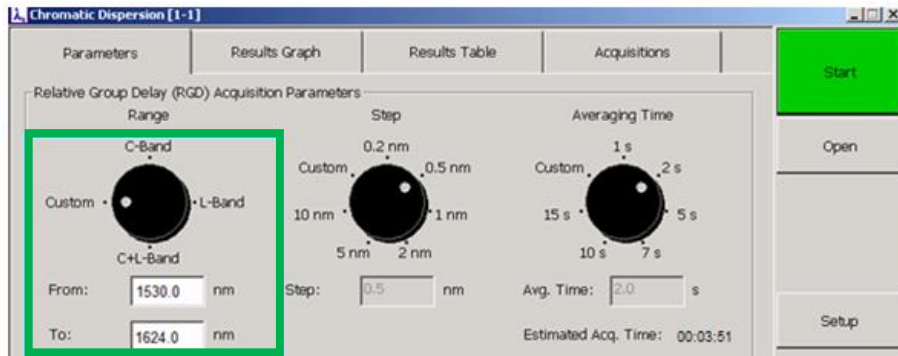


Figura 2.33. Configuración del rango de longitud de onda del Analizador de Dispersión Cromática para el enlace 2.

2. Ajuste del incremento de longitud de onda en el que el sistema tomará las mediciones RGD (Retardo de Grupo Relativo) dentro del rango de longitud de onda seleccionado.

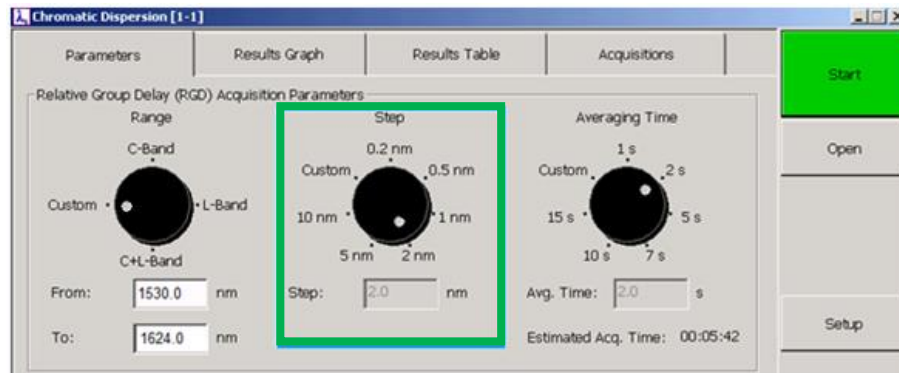


Figura 2.34. Configuración del incremento de longitud de onda del Analizador de Dispersión Cromática para el enlace 2.

3. Configuración del tiempo promedio empleado por el sistema en un punto o longitud de onda.

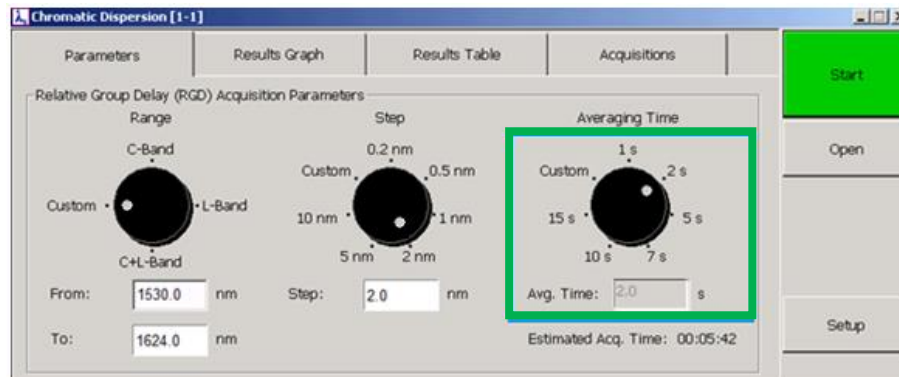


Figura 2.35. Configuración del tiempo promedio del Analizador de Dispersión Cromática para el enlace 2.

- Configuración de las características de la fibra en pruebas. Esta información incluye tipo de fibra, ajuste de datos y longitud de fibra

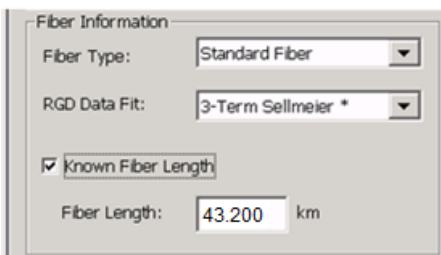


Figura 2.36. Configuración de las características de la fibra bajo prueba del Analizador de Dispersión Cromática para el enlace 2.

- Configuración del tipo de Fuente que se utilizará para realizar las mediciones de Dispersión Cromática.

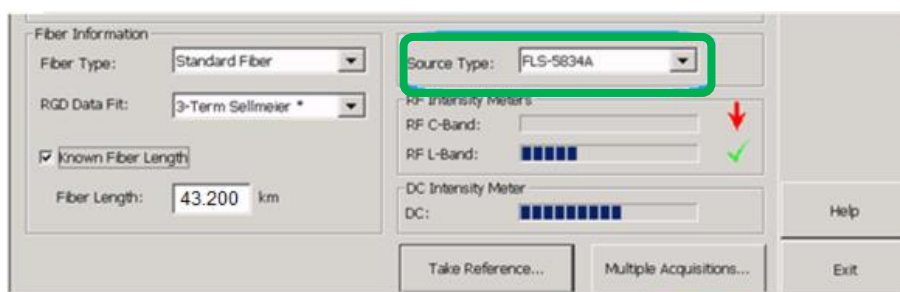


Figura 2.37. Configuración del tipo de fuente utilizada para caracterizar la Dispersión Cromática del enlace 2.

- Comprobación de Intensidad de la fuente. Una vez que se seleccionó el tipo de fuente fue necesario comprobar la intensidad de la misma. Para ello se encendió la fuente y se verificaron los indicadores de RF Intensity Meter. Las marcas de verificación verdes indican una intensidad adecuada, las flechas arriba y abajo indican que la intensidad es demasiado alta o demasiado baja respectivamente.

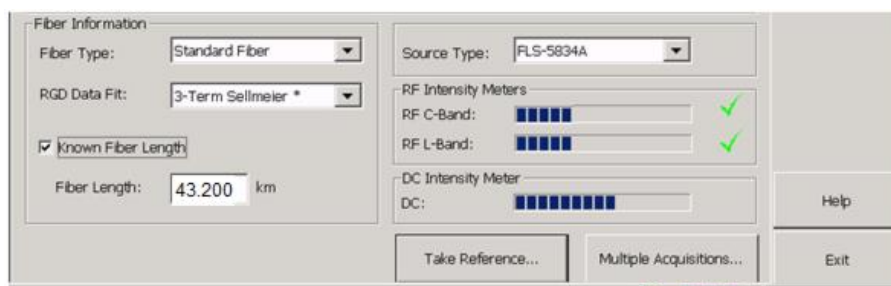


Figura 2.38. Verificación de los niveles de la intensidad de la fuente utilizada para caracterizar la Dispersión Cromática del enlace 2.

2.3.2.3 Configuración del Analizador por Modos de Polarización y de la fuente de Dispersión por Modos de Polarización para el Enlace 2

Configuración de la fuente de Dispersión por Modos de Polarización

Configuración utilizada para realizar mediciones de Dispersión por Modos de Polarización con la Fuente modelo CD/PMD FLS-5834A.

1. Verificación de la limpieza y calidad de los conectores utilizados.
2. Conexión de la Fuente y el Analizador de Dispersión por Modos de Polarización con el enlace de fibra óptica, tal y como se muestra en la figura 2.39.

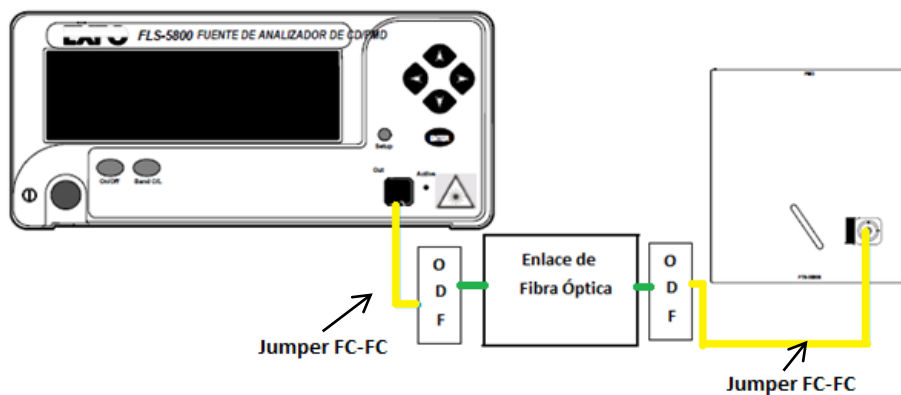


Figura 2.39. Configuración de la Fuente CD/PMD FLS-5834 A para realizar mediciones de Dispersión por Modos de Polarización en el enlace 2.

3. Encendido de la Fuente CD/PMD FLS-5834a.



Figura 2.40. Encendido de la Fuente FLS-5834A.

4. Elección del ancho de banda (C+L)

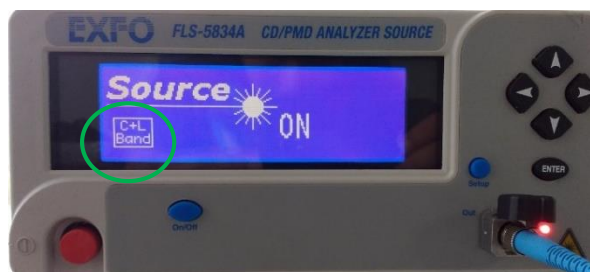


Figura 2.41. Elección del ancho de Banda con el que emitirá la fuente.

5. Encendido de la Fuente (Láser).

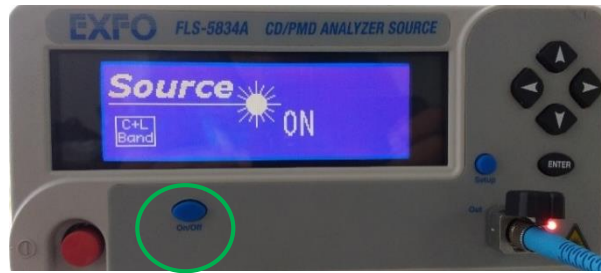


Figura 2.42. Encendido del Láser de la fuente.

Configuración del Analizador de Dispersión por Modos de Polarización

1. Configuración para la personalización de umbrales de coeficiente y valor de PMD.

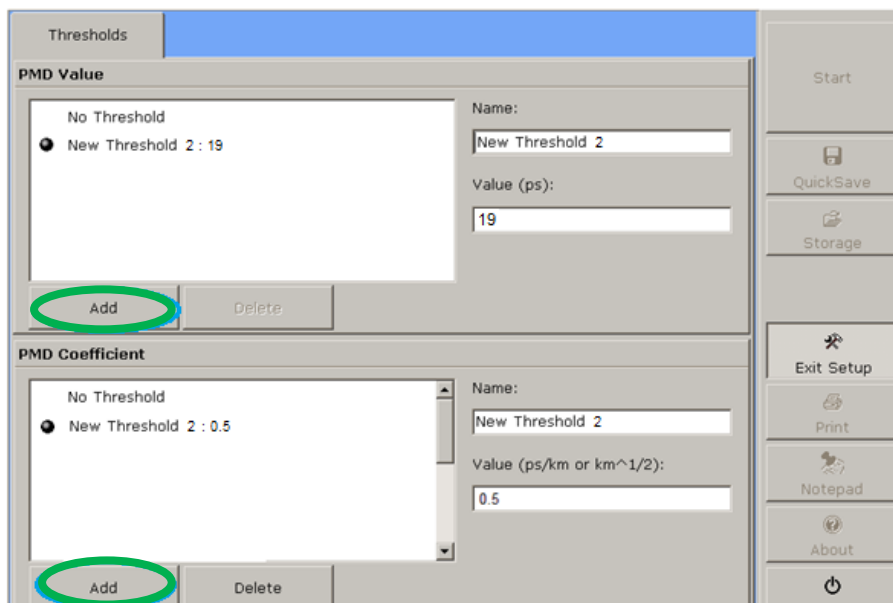


Figura 2.43. Configuración de los umbrales de coeficiente y valor de PMD para el Analizador de Dispersión por Modos de Polarización del enlace 2.

2. Configuración de los parámetros de medición. (Características de la fibra, umbrales de PMD y autonombro).

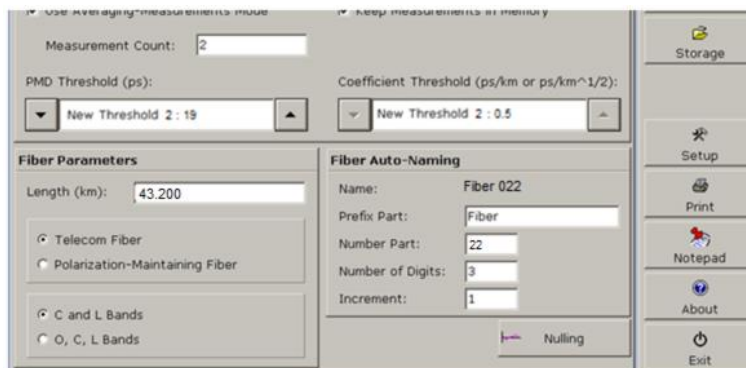


Figura 2.44. Configuración de parámetros de medición para el Analizador de Dispersión por Modos de Polarización para el enlace 2.

2.3.3 Inventario de Equipos Terminales para el Sitio C

Una vez terminadas las mediciones de la capa física, el operador de la red solicitó que se realizara un inventario de los equipos terminales de comunicaciones que se tenían en el sitio. Después del análisis de la caracterización el operador decidiría si los utilizaba o los reemplazaría para el alcance necesario por el cliente final.

2.3.3.1 Equipos terminales del sitio C

La información y las fotos de los equipos terminales del sitio C se encuentran organizadas en las tablas 2.8 y 2.9. El equipo DWDM XTERNA modelo NU WAVE OPTIMA es una plataforma de redes ópticas de usos múltiples diseñada para reducir significativamente el costo de las redes ópticas de alta escalabilidad. Es una plataforma de red óptica muy avanzada capaz de soportar procesamientos de señales de hasta 100 Gbps.

Tabla 2.8. . Información técnica de equipos terminales (Sitio C).

EQUIPO 1 Switch IP-MPLS		NÚMERO DE SERIE 000269878		
FUNCIÓN	MARCA	MODELO	AÑO DE ADQUISICIÓN	AÑO PUESTA EN SERVICIO
Equipo DWDM	XTERNA	UN-WAVE OPTIMA	2012	2012




Imagen 2.9. Vista frontal del equipo 1 del sitio C


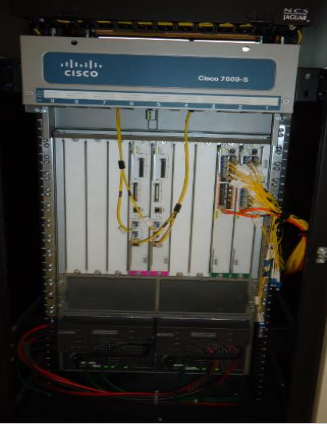



Imagen 2.10. Vista trasera del equipo 1 del sitio C.

El equipo terminal CISCO modelo 7609 es un router con una capacidad de conmutación de 100 Gbps. Provee características de alta rendimiento para redes IP/MPLS teniendo su principal aplicación en redes MAN y WAN. Los servicios en la capa óptica que ofrece este equipo destaca Gigabit Ethernet WAN.

Tabla 2.9. Información técnica de equipos terminales (Sitio C).

EQUIPO 2 Router IP-MPLS		NÚMERO DE SERIE 0001452		
FUNCIÓN	MARCA	MODELO	AÑO DE ADQUISICIÓN	AÑO PUESTA EN SERVICIO
Ruteo de paquetes entre segmentos de red.	CISCO	7609	2011	2013
 <p>Imagen 2.11. Vista frontal del equipo 2 del sitio C.</p>		 <p>Imagen 2.12. Vista trasera del equipo 2 del sitio C.</p>		

2.4 Características del Enlace 3

El Enlace 3 está definido entre el sitio C y el sitio D, sus características principales están definidas en la tabla 2.10. Conforme con la Recomendación ITU-T G.652, los valores máximos permitidos del Coeficiente Dispersión Cromática, del Coeficiente de Atenuación y del Coeficiente Dispersión por Modos de Polarización se enuncian en la misma tabla.

Tabla 2.10. Características principales del Enlace 3.

Distancia óptica entre sitios [km]	Tipo de Fibra Óptica	Tecnología que utilizará el enlace	Longitud de onda de operación [nm]	α [dB/km]	CD [ps/nm · km]	PMD [ps/√km]
72	Fibra Monomodo ITU-T G.652	Asíncrona (Ethernet)	1550	0.35	17	0.5

2.4.1 Metodología para la caracterización de la capa física del Enlace 3

Los diagramas de conexión, correspondientes a las mediciones que se hicieron con OTDR (Reflectómetro Óptico), Dispersión Cromática y Dispersión por Modos de Polarización, en el Enlace 3 se muestran a continuación.

2.4.1.1 Medición de la atenuación del Enlace 3

La figura 2.45 muestra las conexiones que se realizaron para llevar a cabo las mediciones con OTDR entre los sitios C y D.



Figura 2.45. Diagrama de conexiones utilizado para realizar mediciones con OTDR en el enlace 3.

Como se puede observar en la figura 2.45 el OTDR fue colocado en el ODF (Optical Distribution Frame) del sitio C para realizar las mediciones correspondientes.

El OTDR ubicado en el sitio C, se conectó mediante un jumper FC-FC (trazo color amarillo) al puerto del ODF correspondiente al enlace de fibra óptica (trazo color morado) que se quería medir. Una vez conectado el OTDR al puerto del ODF, se realizó la configuración del equipo para empezar con las mediciones correspondientes.

Es importante señalar que antes de realizar cualquier tipo de conexión se verificó la limpieza y calidad de los conectores que se usaron.

2.4.1.2 Medición de la Dispersión Cromática en el Enlace 3

Debido a que la fuente de Dispersión Cromática que se utilizó para caracterizar todos los enlaces de la red de fibra óptica fue siempre la misma, ya no fue necesario establecer una referencia como se hizo en el Enlace 1.

La figura 2.46 muestra las conexiones realizadas para llevar a cabo mediciones de Dispersión Cromática en el Enlace 3. Para realizar esta medición fue necesario contar con dos Ingenieros de Soporte Técnico. Uno ubicado en el sitio C responsable de la manipulación de la fuente Dispersión Cromática y otro ubicado en el sitio D responsable de la operación del Analizador de Dispersión Cromática.



Figura 2.46. Diagrama de conexiones utilizado para realizar mediciones de Dispersión Cromática en el enlace 3.

Como se puede observar en la figura 2.46 la fuente de Dispersión Cromática ubicada en el Sitio C, se conectó a través del jumper de prueba 1 FC-FC (trazo color amarillo) al puerto del ODF correspondiente al enlace de fibra óptica que se quería medir. Así mismo el Analizador de Dispersión Cromática ubicado en el sitio D se conectó mediante el jumper de prueba 2 FC-FC (trazo color amarillo) al puerto del ODF correspondiente al enlace de fibra óptica que se quería medir. Una vez que se realizaron estas dos conexiones se configuró cada equipo para poder medir la Dispersión Cromática en el enlace de Fibra Óptica.

Es importante señalar que antes de realizar cualquier tipo de conexión se verificó la limpieza y calidad de los conectores que se usaron.

2.4.1.3 Medición de la Dispersión por Modos de Polarización en el Enlace 3

Para medir la Dispersión por Modos de Polarización en el enlace de fibra óptica número 3 se realizaron las conexiones mostradas en la figura 2.47.

Igual que en la medición de Dispersión Cromática, para esta medición fue necesario contar con dos Ingenieros de Soporte Técnico. El responsable de la operación de la Fuente de Dispersión por Modos de Polarización ubicada en el sitio C y el responsable de la operación del Analizador de Dispersión por Modos de Polarización ubicado en el sitio D.

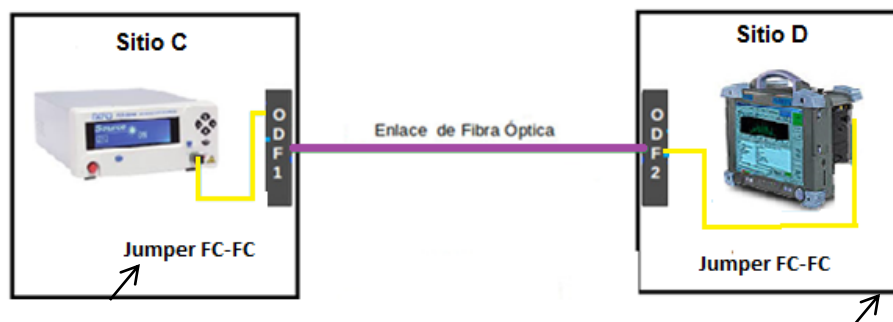


Figura 2.47. Diagrama de conexiones utilizado para realizar mediciones de Dispersión por Modos de Polarización en el enlace 3.

Como se observa en la figura 2.47 la fuente de Dispersión por Modos de Polarización ubicada en el Sitio C, se conectó a través de un jumper FC-FC (trazo color amarillo) al puerto del ODF correspondiente al enlace de fibra óptica que se quería medir. Así mismo el Analizador de Dispersión por Modos de Polarización ubicado en el sitio D se conectó mediante un jumper FC-FC (trazo color amarillo) al puerto del ODF correspondiente a la fibra óptica que se quería medir. Una vez que se realizaron estas dos conexiones se configuró cada equipo para poder medir la Dispersión por Modos de Polarización en el enlace de Fibra Óptica.

Es importante señalar que antes de realizar cualquier tipo de conexión se verificó la limpieza y calidad de los conectores que se usaron.

2.4.2 Configuración de equipos para la caracterización de la Capa Física del Enlace 3

2.4.2.1 Configuración de OTDR para el Enlace 3

Las configuraciones correspondientes a las mediciones con OTDR (Reflectómetro Óptico) a longitudes de onda de 1310 y 1550 nm para el enlace 3, se muestran en las Figuras 2.48 y 2.49, respectivamente.

1. La configuración de los parámetros correspondientes a la prueba realizada a una longitud de onda de 1310 nm, se muestran en la figura 2.48.

Configuración de la prueba		16:55:07	Vista de traza
<input type="checkbox"/> Totalmente Auto	<input type="checkbox"/> Aplicar a todas las LO		
Rango	80 km	Resolución	M:5.00 m
Ancho pulso	1 us	Promedio	60 seg
<input type="checkbox"/> Macrocurvatura	PON	Ninguno	M. Prueba Promedio
IOR	1.4670	BSC	LO 1310nm
Modo Pérd	Pérdidas dB/Km		Análisis de Trazas
1310 nm SM			

Figura 2.48. Configuración de los parámetros del OTDR para el enlace 3 a 1310 nm.

2. La configuración de los parámetros correspondientes a la prueba realizada a una longitud de onda de 1550 nm, se muestra en la figura 2.49.

Configuración de la prueba		16:56:40	Vista de traza
<input type="checkbox"/> Totalmente Auto	<input type="checkbox"/> Aplicar a todas las LO		
Rango	80 km	Resolución	M:5.00 m
Ancho pulso	100 ns	Promedio	60 seg
<input type="checkbox"/> Macrocurvatura	PON	Ninguno	M. Prueba Promedio
IOR	1.4675	BSC	LO 1550nm
Modo Pérd	Pérdidas dB/Km		Análisis de Trazas
1550 nm SM			

Figura 2.49. Configuración de los parámetros del OTDR para el enlace 3 a 1550 nm.

Las figuras 2.48 y 2.49 muestra la interfaz gráfica del OTDR, los parámetros configurados se describen la sección 1.5.1.2.

2.4.2.2 Configuración del Analizador de Dispersión Cromática y de la fuente de Dispersión Cromática para el Enlace 3

Configuración de la fuente de Dispersión Cromática

A continuación, se muestra la configuración utilizada para realizar mediciones de Dispersión Cromática con la Fuente modelo CD/PMD FLS-5834A.

1. Verificación de la limpieza y calidad de los conectores utilizados.
2. Conexión de la Fuente y el Analizador de Dispersión Cromática con el enlace de fibra óptica, tal y como se muestra en la figura 2.50.

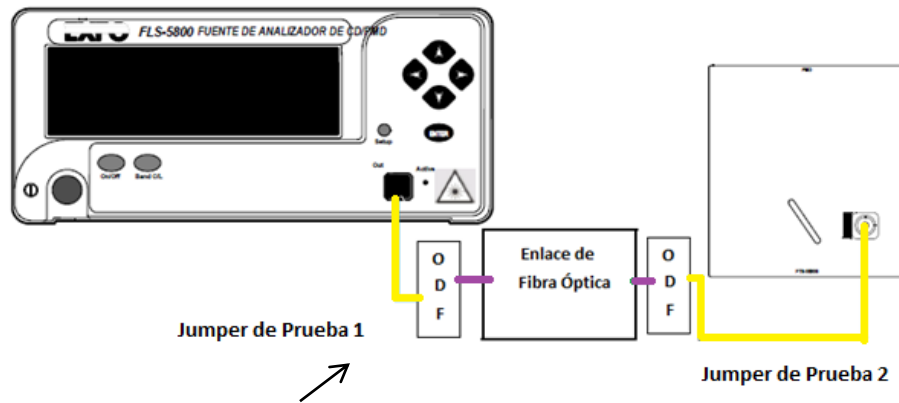


Figura 2.50. Configuración de la Fuente CD/PMD FLS-5834A para realizar mediciones de Dispersión Cromática en el enlace 3.

3. Encendido de la Fuente CD/PMD FLS-5834A.

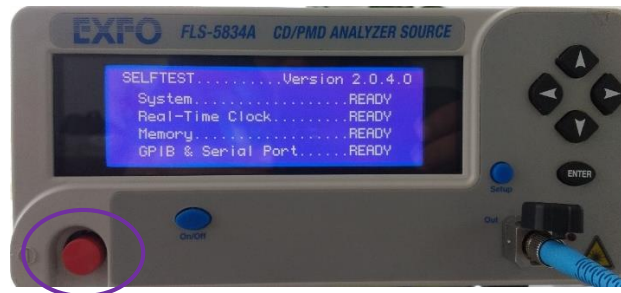


Figura 2.51. Encendido de la Fuente FLS-5834A

4. Elección del ancho de banda (C+L)



Figura 2.52. Elección del ancho de Banda con el que emitirá la fuente.

5. Encendido de la Fuente (Láser).

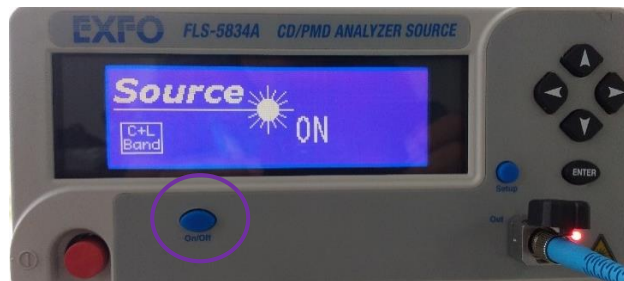


Figura 2.53. Encendido del Láser de la fuente.

Configuración del Analizador de Dispersión Cromática

A continuación, se muestra la configuración del Analizador de Dispersión Cromática que corresponde al enlace 3.

1. Configuración del rango de longitud de onda en el que se desea realizar las adquisiciones.

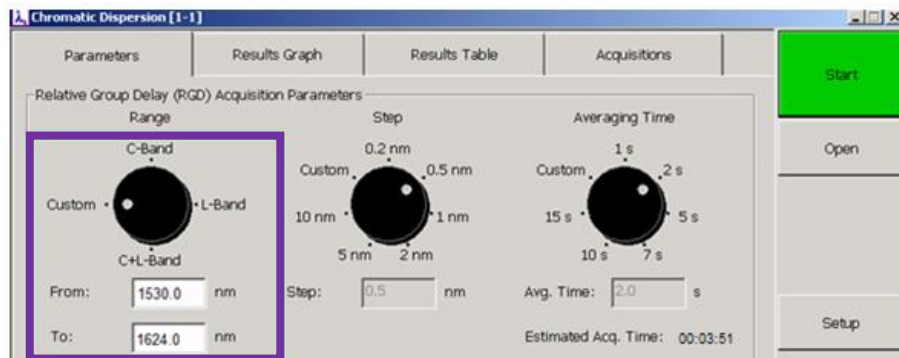


Figura 2.54. Configuración del rango de longitud de onda del Analizador de Dispersión Cromática para el enlace 3.

2. Ajuste del incremento de longitud de onda en el que el sistema tomará las mediciones RGD (Retardo de Grupo Relativo) dentro del rango de longitud de onda seleccionado.

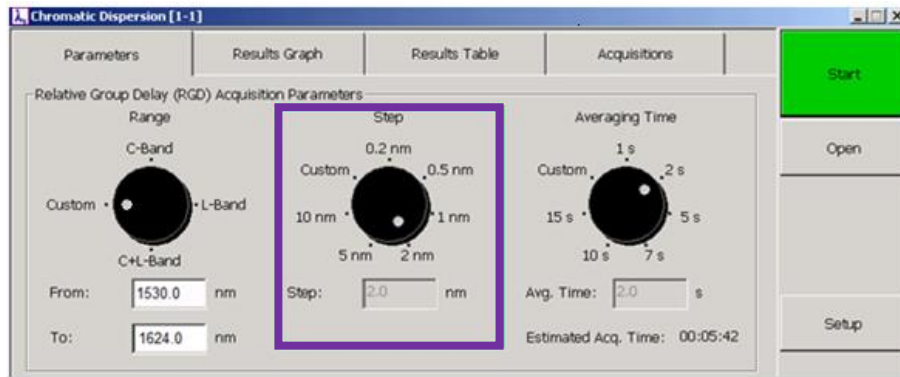


Figura 2.55. Configuración del incremento de longitud de onda del Analizador de Dispersión Cromática para el enlace 3.

3. Configuración del tiempo promedio empleado por el sistema en un punto o longitud de onda



Figura 2.56. Configuración del tiempo promedio del Analizador de Dispersión Cromática para el enlace 3.

4. Configuración de las características de la fibra en pruebas. Esta información incluye tipo de fibra, ajuste de datos y longitud de fibra

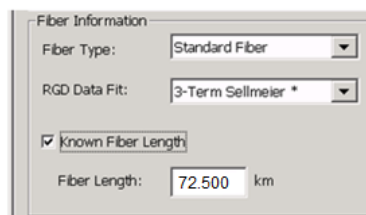


Figura 2.57. Configuración de las características de la fibra bajo prueba del Analizador de Dispersión Cromática para el enlace 3.

5. Configuración del tipo de Fuente que se utilizará para realizar las mediciones de Dispersión Cromática.

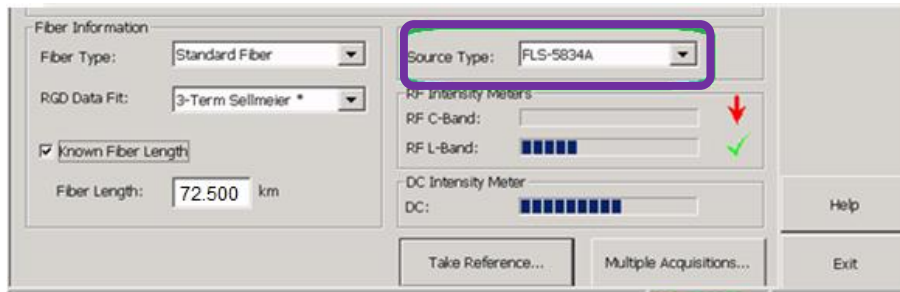


Figura 2.58. Configuración del tipo de fuente utilizada para caracterizar la Dispersión Cromática del enlace 3.

6. Comprobación de Intensidad de la fuente. Una vez que se seleccionó el tipo de fuente fue necesario comprobar la intensidad de la misma. Para ello se encendió la fuente y se verificaron los indicadores de RF Intensity Meter. Las marcas de verificación verdes indican una intensidad adecuada, las flechas arriba y abajo indican que la intensidad es demasiado alta o demasiado baja respectivamente.

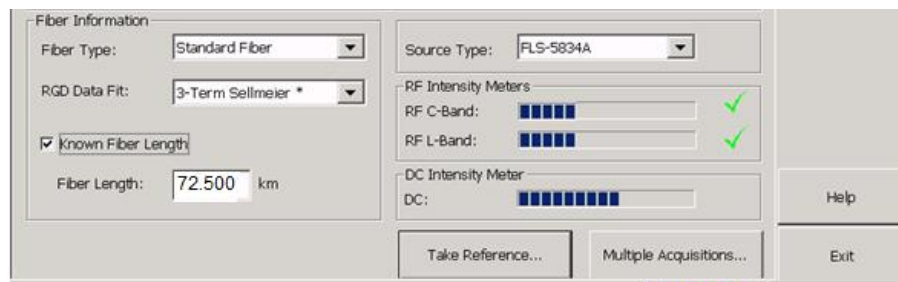


Figura 2.59. Verificación de los niveles de la intensidad de la fuente utilizada para caracterizar la Dispersión Cromática del enlace 3.

2.4.2.3 Configuración del Analizador por Modos de Polarización y de la fuente de Dispersión por Modos de Polarización para el Enlace 3

Configuración de la fuente de Dispersión por Modos de Polarización

Configuración utilizada para realizar mediciones de Dispersión por Modos de Polarización con la Fuente modelo CD/PMD FLS-5834A.

1. Verificación de la limpieza y calidad de los conectores utilizados.
2. Conexión de la Fuente y el Analizador de Dispersión por Modos de Polarización con el enlace de fibra óptica, tal y como se muestra en la figura 2.60.

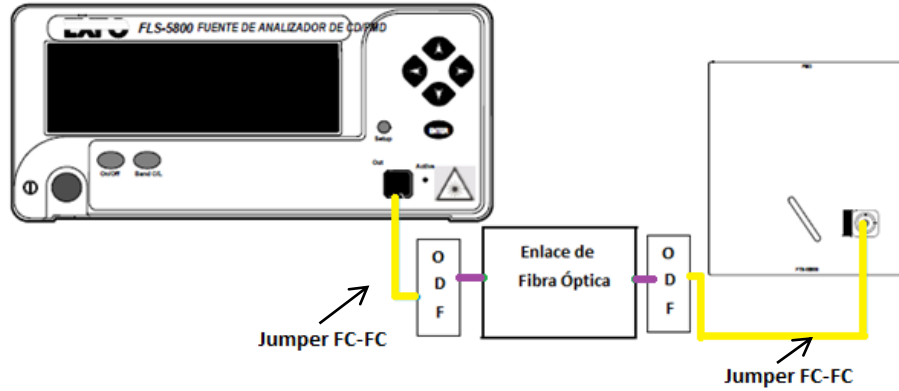


Figura 2.60. Configuración de la Fuente CD/PMD FLS-5834 A para realizar mediciones de Dispersión por Modos de Polarización en el enlace 3.

3. Encendido de la Fuente CD/PMD FLS-5834a.

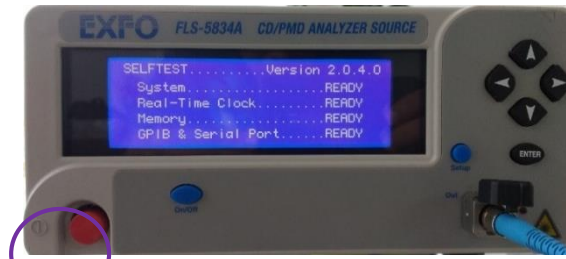


Figura 2.61. Encendido de la Fuente FLS-5834a.

4. Elección del ancho de banda (C+L)



Figura 2.62. Elección del ancho de Banda con el que emitirá la fuente.

5. Encendido de la Fuente (Láser).

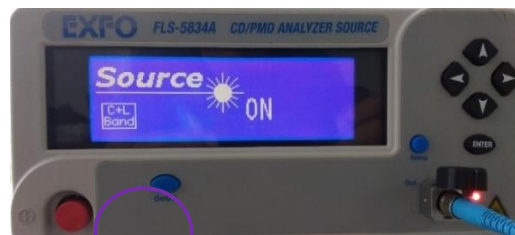


Figura 2.63. Encendido del Láser de la fuente.

Configuración del Analizador de Dispersión por Modos de Polarización

1. Configuración para la personalización de umbrales de coeficiente y valor de PMD.

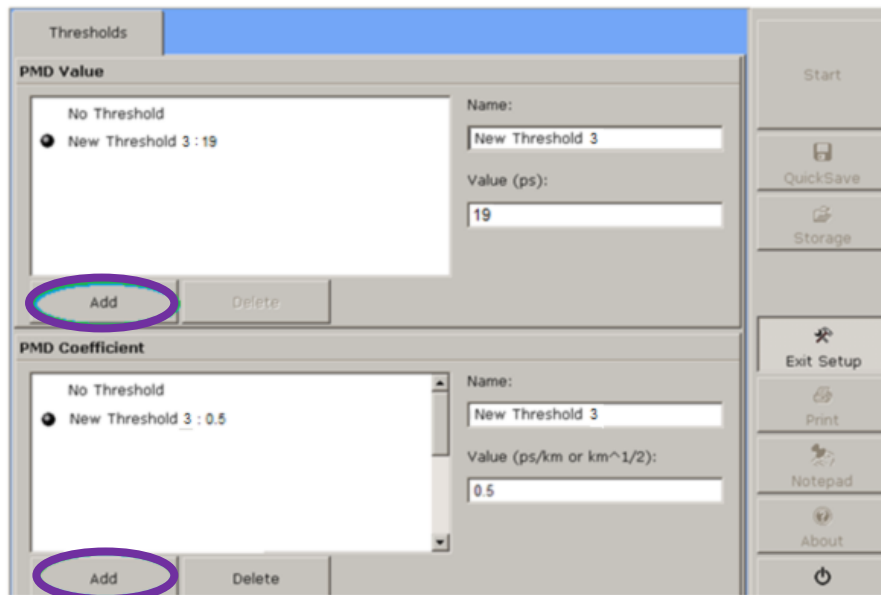


Figura 2.64. Configuración de los umbrales de coeficiente y valor de PMD para el Analizador de Dispersión por Modos de Polarización del enlace 3.

2. Configuración de los parámetros de medición. (Características de la fibra, umbrales de PMD y autonombro).

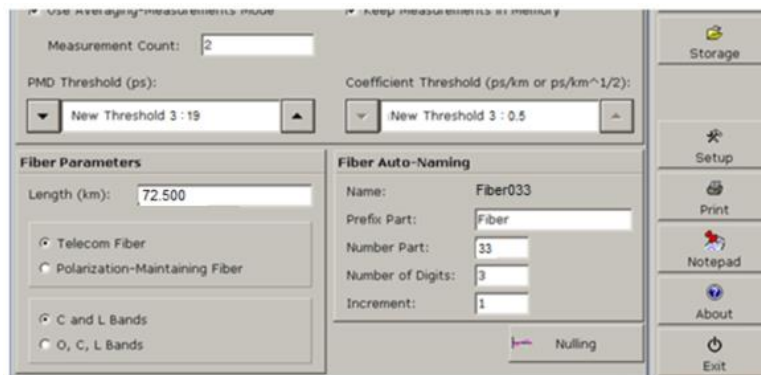


Figura 2.65. Configuración de parámetros de medición para el Analizador de Dispersión por Modos de Polarización para el enlace 3.

2.4.3 Inventario de Equipos terminales para el Sitio D

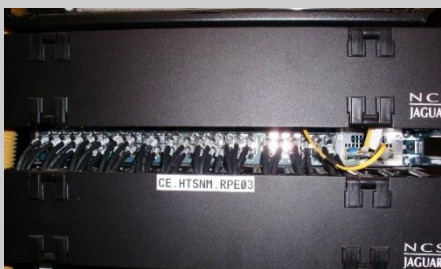

Una vez terminadas las mediciones de capa física, el operador de la red solicitó que se realizara un inventario de los equipos terminales de comunicaciones que se tenían en el sitio. Después del análisis de la caracterización el operador decidiría si los utilizaba o los reemplazaría para el alcance necesario del alcance final.

2.4.3.1 Equipos terminales del sitio D

La información y las fotos de los equipos terminales del sitio D se encuentran organizadas en las tablas 2.11 y 2.12.



El equipo CISCO modelo 3560X es un conmutador que proporciona alta eficiencia, alta disponibilidad, escalabilidad, seguridad, eficiencia energética para aplicaciones como telefonía IP, tecnología inalámbrica, video y Gigabit Ethernet.

Tabla 2.11. Información técnica de equipos terminales (Sitio C).

EQUIPO 1 Switch IP-MPLS		NÚMERO DE SERIE FD01448K0HK		
FUNCIÓN	MARCA	MODELO	AÑO DE ADQUISICIÓN	AÑO PUESTA EN SERVICIO
Distribución de paquetes dentro de una misma red	CISCO	3560X	2012	2014
 <p>Imagen 2.13. Vista frontal del equipo 1 del sitio D.</p>		 <p>Imagen 2.14. Vista trasera del equipo 1 del sitio D.</p>		

El equipo ECI NPT-1020 es una plataforma multiservicio diseñada para el transporte de paquetes ópticos optimizada para nodos de acceso. El NPT-1020 soporta servicios de alta capacidad, incluyendo almacenamiento, lambda y video.

Tabla 2.12. Información técnica de equipos terminales (Sitio D).

EQUIPO 2 Switch IP-MPLS		NÚMERO DE SERIE 35744439		
FUNCIÓN	MARCA	MODELO	AÑO DE ADQUISICIÓN	AÑO PUESTA EN SERVICIO
Distribución de paquetes dentro de una misma red	ECI	NPT-1020	2011	2013
 <p>Imagen 2.15. Vista frontal del equipo 2 del sitio D.</p>		 <p>Imagen 2.16. Vista trasera del equipo 2 del sitio D.</p>		

2.5 Características del Enlace 4

El Enlace 4 está definido entre el sitio D y el sitio E, sus características principales están definidas en la tabla 2.13. Conforme con la Recomendación ITU-T G652, los valores máximos permitidos del Coeficiente Dispersión Cromática, del Coeficiente de Atenuación y del Coeficiente Dispersión por Modos de Polarización para la Fibra óptica ITU-T G 652 se enuncian en la misma tabla.

Tabla 2.13. Características principales del Enlace 4.

Distancia óptica entre sitios [km]	Tipo de Fibra Óptica	Tecnología que utilizará el enlace	Longitud de onda de operación [nm]	α [dB/km]	CD [ps/nm · km]	PMD [ps/√km]
61	Fibra Monomodo ITU-T G.652	Asíncrona (Ethernet)	1550	0.35	17	0.5

2.5.1 Metodología para la caracterización de la capa física del Enlace 4

A continuación, se muestran los diagramas de conexión, correspondientes a las mediciones que se hicieron con OTDR (Reflectómetro Óptico), Dispersión Cromática y Dispersión por Modos de Polarización en el Enlace 4.

2.5.1.1 Medición de la atenuación del Enlace 4

La figura 2.66 muestra las conexiones que se realizaron para llevar a cabo las mediciones con OTDR entre los sitios D y E.



Figura 2.66. Diagrama de conexiones utilizado para realizar mediciones con OTDR en el enlace 4.

Como se puede observar en la figura 2.66 el OTDR fue colocado en el ODF (Optical Distribution Frame) del sitio D para realizar las mediciones correspondientes

El OTDR ubicado en el sitio D, se conectó mediante un jumper FC-FC (trazo color amarillo) al puerto del ODF correspondiente al enlace de fibra óptica (trazo color naranja) que se quería medir. Una vez conectado el OTDR al puerto del ODF, se realizó la configuración del equipo para empezar con las mediciones correspondientes.

Es importante señalar que antes de realizar cualquier tipo de conexión se verificó la limpieza y calidad de los conectores que se usaron.

2.5.1.2 Medición de la Dispersión Cromática en el Enlace 4

Debido a que la fuente de Dispersión Cromática que se utilizó para caracterizar todos los enlaces de la red de fibra óptica fue siempre la misma, ya no fue necesario establecer una referencia como se hizo en el Enlace 1.

La figura 2.67 muestra las conexiones realizadas para llevar a cabo las mediciones de Dispersión Cromática en el Enlace 4. Para realizar esta medición fue necesario contar con dos Ingenieros de Soporte Técnico. Uno ubicado en el sitio D responsable de la manipulación de la fuente Dispersión Cromática y otro ubicado en el sitio E responsable de la operación del Analizador de Dispersión Cromática



Figura 2.67. Diagrama de conexiones utilizado para realizar mediciones de Dispersión Cromática en el enlace 4.

Como se puede observar en la figura 2.67 la fuente de Dispersión Cromática ubicada en el Sitio D, se conectó a través del jumper de prueba 1 FC-FC (trazo color amarillo) al puerto del ODF correspondiente al enlace de fibra óptica que se quería medir. Así mismo el Analizador de Dispersión Cromática ubicado en el sitio E se conectó mediante el jumper de prueba 2 FC-FC (trazo color amarillo) al puerto del ODF correspondiente al enlace de fibra óptica a que se quería medir. Una vez realizadas estas dos conexiones se configuró cada equipo para poder medir la Dispersión Cromática en el enlace de Fibra Óptica.

Es importante señalar que antes de realizar cualquier tipo de conexión se verificó la limpieza y calidad de los conectores que se usaron.

2.5.1.3 Medición de la Dispersión por Modos de Polarización en el Enlace 4

Para medir la Dispersión por Modos de Polarización en el enlace de fibra óptica número 4 se realizaron las conexiones mostradas en la figura 2.68.

Para esta medición también fue necesario contar con dos Ingenieros de Soporte Técnico. El responsable de la operación de la Fuente de Dispersión por Modos de Polarización ubicado en el sitio D y el responsable de la operación del Analizador de Dispersión por Modos de Polarización ubicado en el sitio E.



Figura 2.68. Diagrama de conexiones utilizado para realizar mediciones de Dispersión por Modos de Polarización en el enlace 4.

Como se observa en la figura 2.68 la fuente de Dispersión por Modos de Polarización ubicada en el Sitio D, se conectó a través de un jumper FC-FC (trazo color amarillo) al puerto del ODF correspondiente al enlace de fibra óptica que se quería medir. Así mismo el Analizador de Dispersión por Modos de Polarización ubicado en el sitio E se conectó mediante un jumper FC-FC (trazo color amarillo) al puerto del ODF correspondiente a la fibra óptica que se quería medir. Una vez realizadas estas dos conexiones se configuró cada equipo para poder medir la Dispersión por Modos de Polarización en el enlace de Fibra Óptica.

Es importante señalar que antes de realizar cualquier tipo de conexión se verificó la limpieza y calidad de los conectores que se usaron.

2.5.2 Configuración de equipos para la caracterización de la Capa Física del Enlace 4

2.5.2.1 Configuración de OTDR para el Enlace 4.

Las configuraciones correspondientes a las mediciones con OTDR (Reflectómetro Óptico) a las diferentes longitudes de onda 1310 y 1550 nm para el enlace 3, se muestran en las Figuras 2.69 y 2.70, respectivamente.

1. La configuración de los parámetros correspondientes a la prueba realizada a una longitud de onda de 1310 nm , se muestran en la figura 2.69.



Figura 2.69. Configuración de los parámetros del OTDR para el enlace 4 a 1310 nm.

2. La configuración de los parámetros correspondientes a la prueba realizada a una longitud de onda de 1550 nm, se muestra en la figura 2.70.



Figura 2.70. Configuración de los parámetros del OTDR para el enlace 4 a 1550 nm.

Las figuras 2.69 y 2.70 muestra la interfaz gráfica del OTDR, los parámetros configurados se describen la sección 1.5.1.2.

2.5.2.2 Configuración del Analizador de Dispersión Cromática y de la fuente de Dispersión Cromática para el Enlace 4

Configuración de la fuente de Dispersión Cromática

A continuación, se muestra la configuración utilizada para realizar mediciones de Dispersión Cromática con la Fuente modelo CD/PMD FLS-5834A.

1. Verificación de la limpieza y calidad de los conectores utilizados.
2. Conexión de la Fuente y el Analizador de Dispersión Cromática con el enlace de fibra óptica, tal y como se muestra en la figura 2.71.

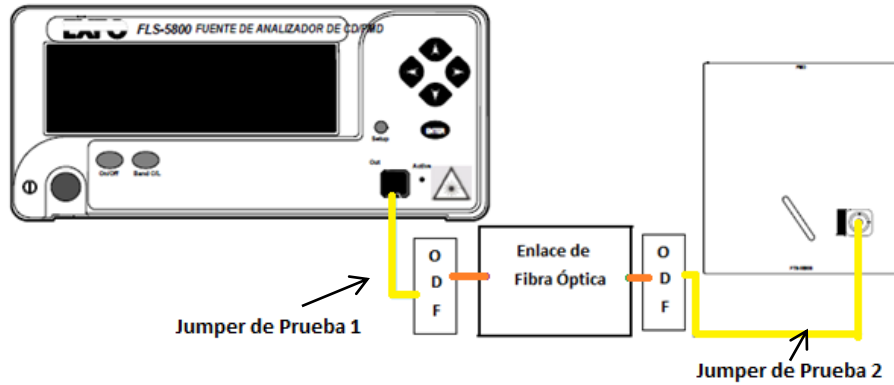


Figura 2.71. Configuración de la Fuente CD/PMD FLS-5834A para realizar mediciones de Dispersión Cromática en el enlace 4.

3. Encendido de la Fuente CD/PMD FLS-5834A.

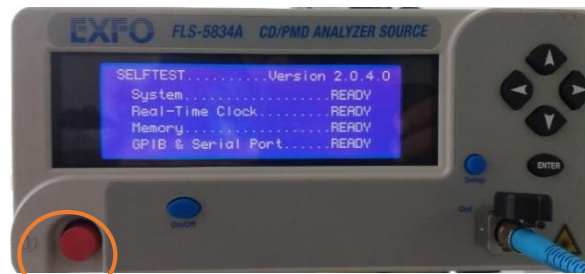


Figura 2.72. Encendido de la Fuente FLS-5834A

4. Elección del ancho de banda (C+L)

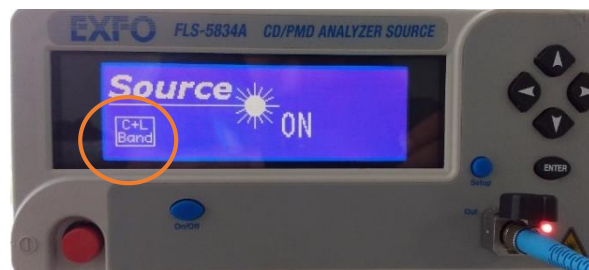


Figura 2.73. Elección del ancho de Banda con el que emitirá la fuente.

5. Encendido de la Fuente (Láser).

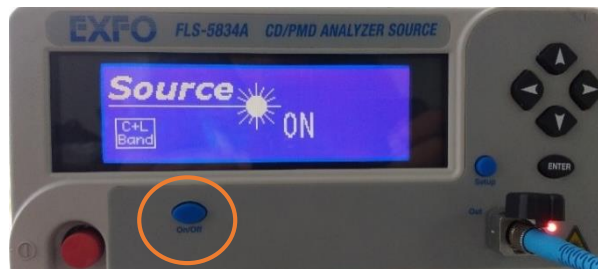


Figura 2.74. Encendido del Láser de la fuente

Configuración del Analizador de Dispersión Cromática

A continuación, se muestra la configuración del Analizador de Dispersión Cromática que corresponde al enlace 4.

1. Configuración del rango de longitud de onda en el que se desea realizar las adquisiciones.

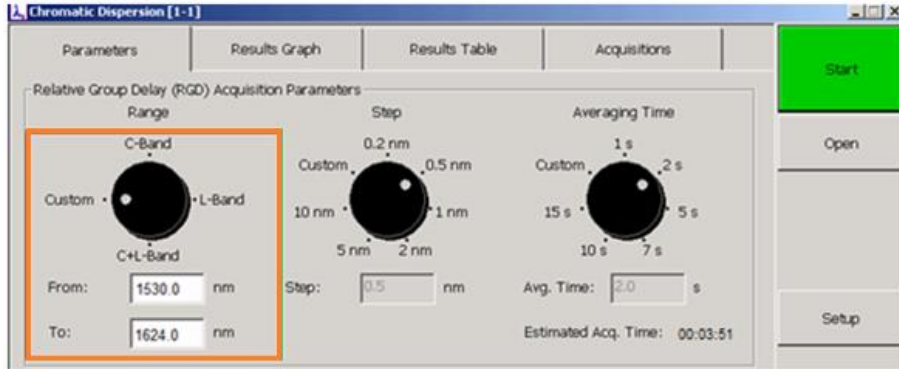


Figura 2.75. Configuración del rango de longitud de onda del Analizador de Dispersión Cromática para el enlace 4.

2. Ajuste del incremento de longitud de onda en el que el sistema tomará las mediciones RGD (Retardo de Grupo Relativo) dentro del rango de longitud de onda seleccionado.



Figura 2.76. Configuración del incremento de longitud de onda del Analizador de Dispersión Cromática para el enlace 4.

3. Configuración del tiempo promedio empleado por el sistema en un punto o longitud de onda

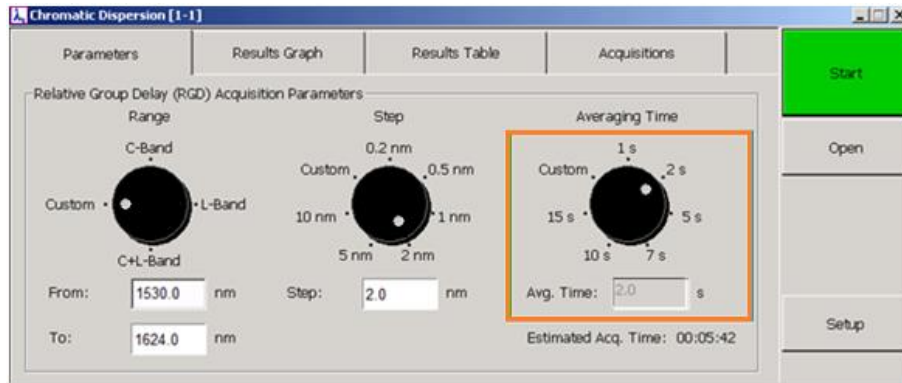


Figura 2.77. Configuración del tiempo promedio del Analizador de Dispersión Cromática para el enlace 4.

4. Configuración de las características de la fibra en pruebas. Esta información incluye tipo de fibra, ajuste de datos y longitud de fibra

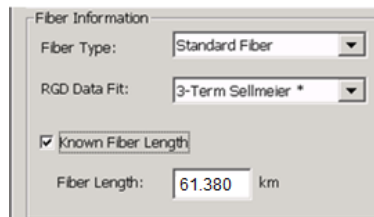


Figura 2.78. Configuración de las características de la fibra bajo prueba del Analizador de Dispersión Cromática para el enlace 4.

5. Configuración del tipo de Fuente que se utilizará para realizar las mediciones de Dispersión Cromática.

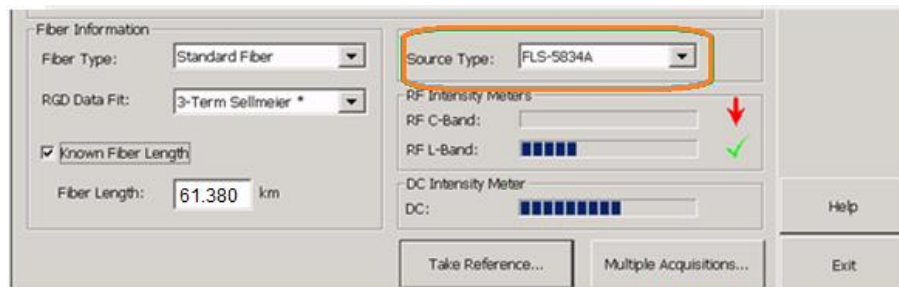


Figura 2.79. Configuración del tipo de fuente utilizada para caracterizar la Dispersión Cromática del enlace 4

6. Comprobación de Intensidad de la fuente. Una vez que se seleccionó el tipo de fuente fue necesario comprobar la intensidad de la misma. Para ello se encendió la fuente y se verificaron los indicadores de RF Intensity Meter. Las marcas de verificación verdes indican una intensidad adecuada, las flechas arriba y abajo indican que la intensidad es demasiado alta o demasiado baja respectivamente.

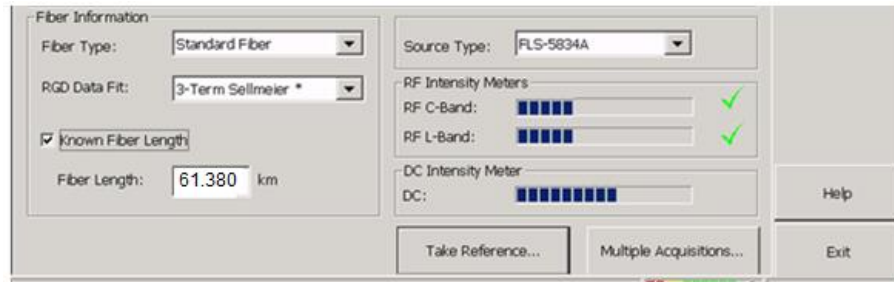


Figura 2.80. Verificación de los niveles de la intensidad de la fuente utilizada para caracterizar la Dispersión Cromática del enlace 4.

2.5.2.3 Configuración del Analizador por Modos de Polarización y de la fuente de Dispersión por Modos de Polarización para el Enlace 4

Configuración de la Fuente de Dispersión por Modos de Polarización

Configuración utilizada para realizar mediciones de Dispersión por Modos de Polarización con la Fuente modelo CD/PMD FLS-5834A.

1. Verificación de la limpieza y calidad de los conectores utilizados.
2. Conexión de la Fuente y el Analizador de Dispersión por Modos de Polarización con el enlace de fibra óptica, tal y como se muestra en la figura 2.81.

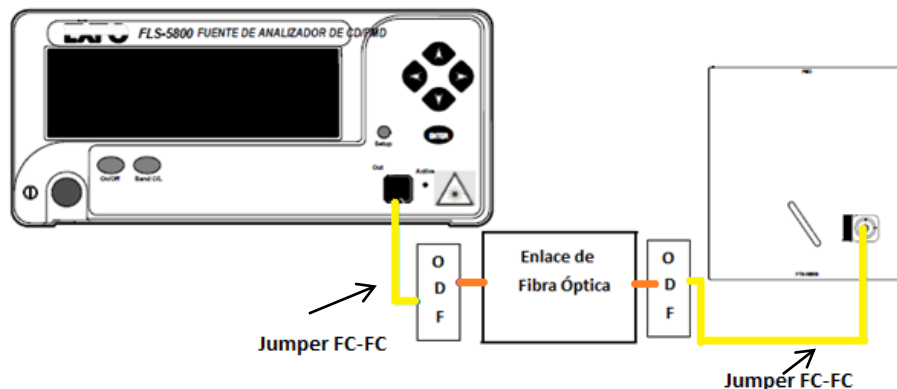


Figura 2.81. Configuración de la Fuente CD/PMD FLS-5834 A para realizar mediciones de Dispersión por Modos de Polarización en el enlace 4.

3. Encendido de la Fuente CD/PMD FLS-5834A



Figura 2.82. Encendido de la Fuente FLS-5834A

4. Elección del ancho de banda (C+L)

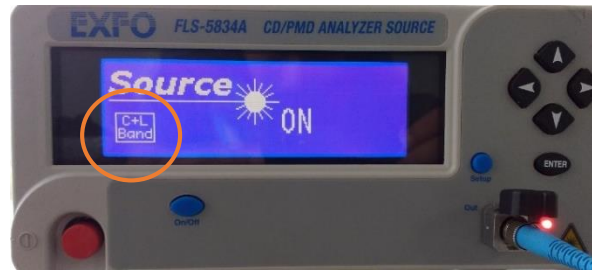


Figura 2.83. Elección del ancho de Banda con el que emitirá la fuente

5. Encendido de la Fuente (Láser).

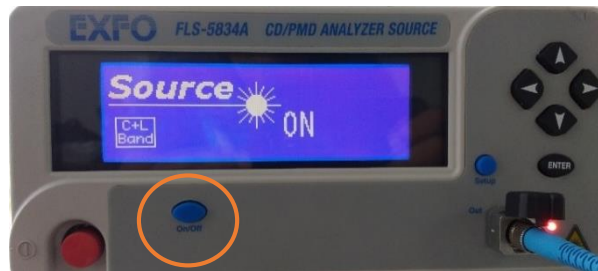


Figura 2.84. Encendido del Láser de la fuente.

Configuración del Analizador de Dispersión por Modos de Polarización

1. Configuración para la personalización de umbrales de coeficiente y valor de PMD.

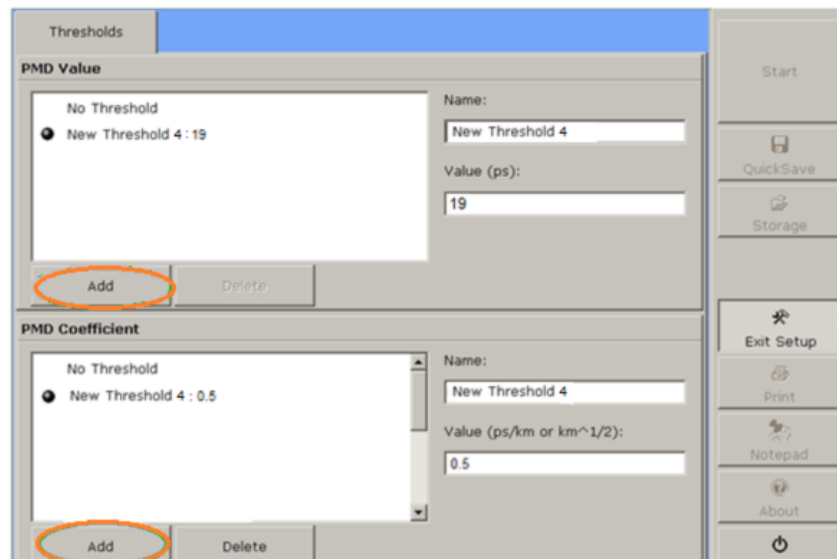


Figura 2.85. Configuración de los umbrales de coeficiente y valor de PMD para el Analizador de Dispersión por Modos de Polarización del enlace 4.

2. Configuración de los parámetros de medición. (Características de la fibra, umbrales de PMD y autonombro).

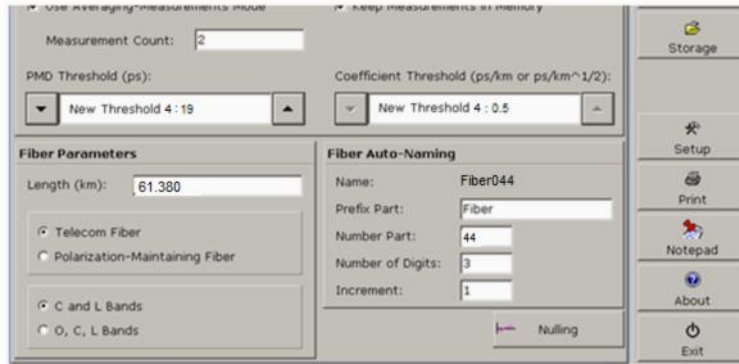


Figura 2.86. Configuración de parámetros de medición para el Analizador de Dispersión por Modos de Polarización para el enlace 4.

2.5.3 Inventario de equipos para el sitio E.

Una vez terminadas las mediciones de capa física, el operador de la red solicitó que se realizara un inventario de los equipos terminales de comunicaciones que se tenían en sitio. Después del análisis de la caracterización el operador decidiría si los utilizaba o los reemplazaría para el alcance necesario por el cliente final.

2.5.3.1 Equipos terminales del sitio E.

La información y las fotos de los equipos terminales del sitio E se encuentran organizadas en las tablas 2.14 y 2.15. El equipo CISCO modelo ME3600X ofrece una velocidad de transporte de 10 Gbps en la capa de acceso para las aplicaciones empresariales y móviles. Ayuda a iniciar los servicios de VPN basadas en MPLS desde el interior de la capa de acceso y facilita los servicios de primera calidad conforme a lo establecido en un acuerdo de nivel de servicio (SLA).

Tabla 2.14. Información técnica de equipos terminales (Sitio E).

EQUIPO 1 Switch IP-MPLS		NÚMERO DE SERIE FD01448K369		
FUNCIÓN	MARCA	MODELO	AÑO DE ADQUISICIÓN	AÑO PUESTA EN SERVICIO
Distribución de paquetes dentro de una misma red	CISCO	ME3600X	2013	2014




Imagen 2.17. Vista frontal del equipo 1 del sitio E.




Imagen 2.18. Vista trasera del equipo 1 del sitio E.

El equipo ECI NPT-1020 es una plataforma multiservicio diseñada para el transporte de paquetes ópticos optimizada para nodos de acceso. El NPT-1020 soporta servicios de alta capacidad, incluyendo almacenamiento, lambda y video.

Tabla 2.15. Información técnica de equipos terminales (Sitio E).

EQUIPO 2 Switch IP-MPLS		NÚMERO DE SERIE 35735300		
FUNCIÓN	MARCA	MODELO	AÑO DE ADQUISICIÓN	AÑO PUESTA EN SERVICIO
Distribución de paquetes dentro de una misma red	ECI	NPT-1020	2011	2014

 <p>Imagen 2.19. Vista frontal del equipo 2 del sitio E.</p>	 <p>Imagen 2.20. Vista trasera del equipo 2 del sitio E.</p>
---	--

3 Resultados de Mediciones del Enlace

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos a nivel capa física para cada enlace de fibra óptica. Cada enlace contiene los resultados de las mediciones que se hicieron con el OTDR (Reflectómetro Óptico), con el Analizador de Dispersión Cromática y con el Analizador de Dispersión por Modos de Polarización.

3.1 Resultados Caracterización Capa Física del Enlace 1

3.1.1 Mediciones de OTDR (Reflectómetro Óptico) para el Enlace 1

1. Trazo OTDR obtenido en el Enlace 1 a una longitud de onda de 1310 nm.

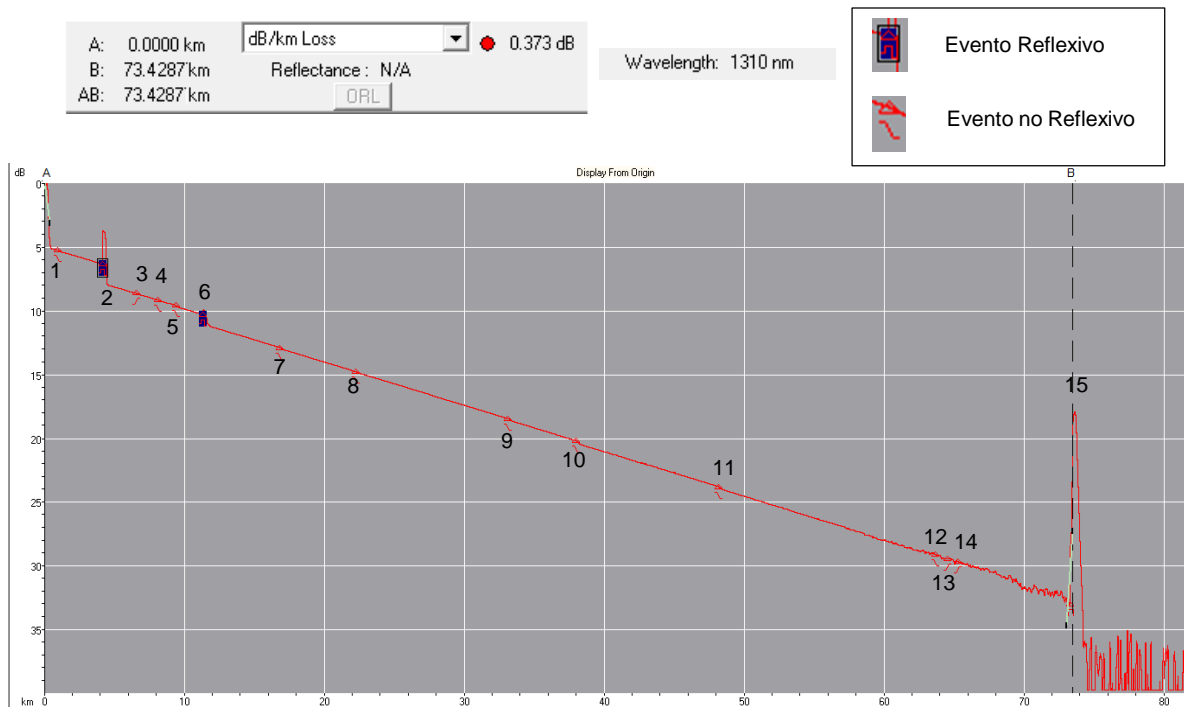


Figura 3.1 Trazo de OTDR realizado a una longitud de onda de 1310 nm para el Enlace 1.

Tabla 3.1 Eventos reflexivos y no reflexivos obtenidos a una longitud de onda de 1310 nm para el Enlace 1.

Feature #/Type	Location (km)	Loss (dB)	Refl (dB)
1/N	0.9345	0.07	
2/R	4.1363	1.44	-41.88
3/N	6.5721	-0.03	
4/N	8.1244	0.04	
5/N	9.4011	0.10	
6/R	11.3313	0.69	-5.47
7/N	16.8412	0.08	
8/N	22.2490	0.04	
9/N	33.0952	0.10	
10/N	37.9975	0.19	
11/N	48.1798	0.14	
12/N	63.6781	0.17	
13/N	64.5462	-0.07	
14/N	65.3070	-0.03	
15/E	73.4287	>5.00	-15.66

Overall (End-to-End) Loss: 28.06 dB

```

----- Page 1 -----
| Language: EN
| Cable ID: LS Cable & Systems 48 fo
| Fiber ID: Enlace 1
| Wavelength: 1310
| Org. Loc: Sitio A
| Term. Loc: Sitio B
| Cable Code:
| Condition: EC
| Operator: Elías Luna
| Comment:
| Supplier:
| OTDR Model:
| S/N:
| Optics Mod: MU909015C/C6-058
| S/N: 262304
| S/W Rev.: OTDR Avanzado 6.14.72.280
| Other:
-----
    
```

Figura 3.2 Información técnica del trazo OTDR realizado a una longitud de onda de 1310 nm para el enlace 1.

2. Trazo OTDR obtenido en el Enlace 1 a una longitud de onda de 1550 nm.

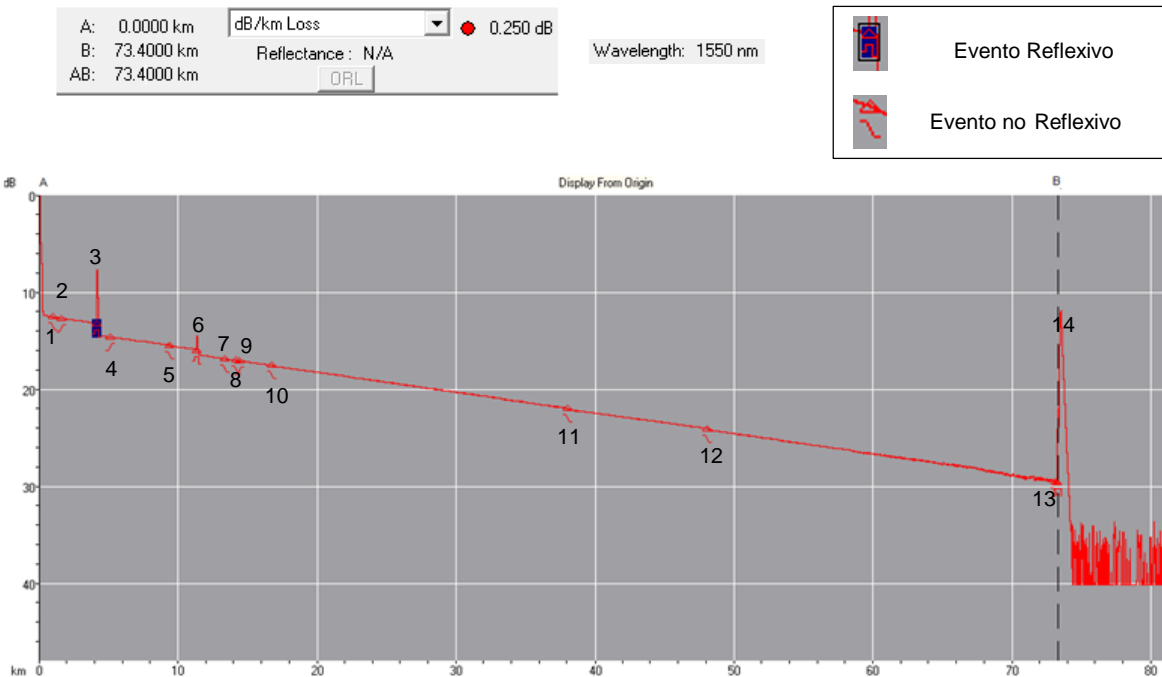


Figura 3.3. Trazo de OTDR realizado a una longitud de onda de 1550 nm para el Enlace 1.

Tabla 3.2 Eventos reflexivos y no reflexivos obtenidos a una longitud de onda de 1550 nm para el Enlace 1.

Feature #/Type	Location (km)	Loss (dB)	Ref1 (dB)
1/N	0.9749	0.05	
2/N	1.5925	-0.03	
3/R	4.1345	1.21	-40.78
4/N	5.1656	-0.04	
5/N	9.4072	0.08	
6/R	11.3265	0.50	-51.93
7/N	13.4090	0.02	
8/N	14.2104	0.03	
9/N	14.4095	-0.03	
10/N	16.7575	0.07	
11/N	38.0067	0.14	
12/N	48.1234	0.13	
13/N	73.1244	0.35	
14/E	73.4000	>5.00	-15.42
Overall (End-to-End) Loss: 17.48 dB			

```

----- Page 1 -----
| Language: EN
| Cable ID: LS Cable & Systems 48 fo
| Fiber ID: Enlace 1
| Wavelength: 1550
| Org. Loc: Sitio A
| Term. Loc: Sitio B
| Cable Code:
| Condition: BC
| Operator: Elías Luna
| Comment:
| Supplier:
| OTDR Model:
| S/N:
| Optics Mod: MU909015C/C6-058
| S/N: 262304
| S/W Rev.: OTDR Avanzado 6.14.72.280
| Other:
    
```

Figura 3.4 Información técnica del trazo OTDR realizado a una longitud de onda de 1550 nm para el Enlace 1.

3.1.2 Medición de Dispersión Cromática obtenida para el Enlace 1

1. Gráfica de Resultados de Dispersión Cromática para el Enlace 1.

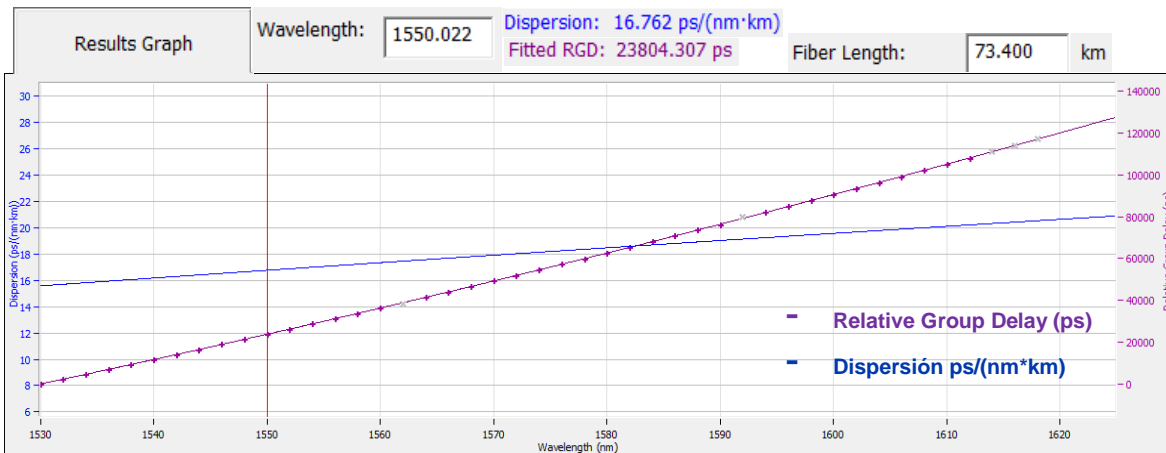


Figura 3.5 Dispersión Cromática a una longitud de onda de 1550 nm para el Enlace 1.

2. Tabla de Resultados de Dispersión Cromática para el Enlace 1.

Tabla 3.3. Resultados de Dispersión Cromática para el Enlace 1.

	Wavelength (nm)	Fitted RGD (ps)	RGD Deviation (ps)	Dispersion (ps/nm)	Dispersion (ps/(nm.km))
<input checked="" type="checkbox"/>	1530.0	17.198	17.198	1143.292	15.576
<input checked="" type="checkbox"/>	1532.0	2312.600	14.555	1152.105	15.696
<input checked="" type="checkbox"/>	1534.0	4625.600	8.636	1160.890	15.816
<input checked="" type="checkbox"/>	1536.0	6956.141	7.242	1169.646	15.935
<input checked="" type="checkbox"/>	1538.0	9304.166	1.658	1178.374	16.054
<input checked="" type="checkbox"/>	1540.0	11669.619	9.311	1187.074	16.173
<input checked="" type="checkbox"/>	1542.0	14052.444	3.806	1195.747	16.291
<input checked="" type="checkbox"/>	1544.0	16452.587	5.282	1204.391	16.409
<input checked="" type="checkbox"/>	1546.0	18869.990	13.707	1213.008	16.526
<input checked="" type="checkbox"/>	1548.0	21304.601	8.016	1221.598	16.643
<input checked="" type="checkbox"/>	1550.0	23756.364	1.907	1230.161	16.760
<input checked="" type="checkbox"/>	1552.0	26225.226	8.388	1238.696	16.876
<input checked="" type="checkbox"/>	1554.0	28711.132	4.828	1247.205	16.992
<input checked="" type="checkbox"/>	1556.0	31214.029	7.493	1255.688	17.107
<input checked="" type="checkbox"/>	1558.0	33733.865	3.778	1264.144	17.223
<input checked="" type="checkbox"/>	1560.0	36270.586	37.635	1272.573	17.338
<input type="checkbox"/>	1562.0	38824.141	610.221	1280.977	17.452
<input checked="" type="checkbox"/>	1564.0	41394.476	34.657	1289.354	17.566
<input checked="" type="checkbox"/>	1566.0	43981.541	1.647	1297.706	17.680
<input checked="" type="checkbox"/>	1568.0	46585.284	7.328	1306.033	17.793
<input checked="" type="checkbox"/>	1570.0	49205.654	8.924	1314.333	17.906
<input checked="" type="checkbox"/>	1572.0	51842.601	20.334	1322.609	18.019
<input checked="" type="checkbox"/>	1574.0	54496.073	0.866	1330.859	18.132
<input checked="" type="checkbox"/>	1576.0	57166.021	5.417	1339.085	18.244
<input checked="" type="checkbox"/>	1578.0	59852.396	0.708	1347.285	18.355
<input checked="" type="checkbox"/>	1580.0	62555.147	17.727	1355.461	18.467
<input checked="" type="checkbox"/>	1582.0	65274.225	27.206	1363.613	18.578
<input checked="" type="checkbox"/>	1584.0	68009.582	2.585	1371.740	18.689
<input checked="" type="checkbox"/>	1586.0	70761.170	0.915	1379.843	18.799
<input checked="" type="checkbox"/>	1588.0	73528.939	17.228	1387.922	18.909
<input checked="" type="checkbox"/>	1590.0	76312.843	70.968	1395.977	19.019
<input type="checkbox"/>	1592.0	79112.833	657.587	1404.009	19.128
<input checked="" type="checkbox"/>	1594.0	81928.862	24.834	1412.017	19.237
<input checked="" type="checkbox"/>	1596.0	84760.884	5.060	1420.001	19.346
<input checked="" type="checkbox"/>	1598.0	87608.851	13.086	1427.962	19.455
<input checked="" type="checkbox"/>	1600.0	90472.717	7.926	1435.900	19.563
<input checked="" type="checkbox"/>	1602.0	93352.436	15.537	1443.815	19.671
<input checked="" type="checkbox"/>	1604.0	96247.962	37.799	1451.707	19.778
<input checked="" type="checkbox"/>	1606.0	99159.250	0.611	1459.577	19.885
<input checked="" type="checkbox"/>	1608.0	102086.254	27.032	1467.424	19.992
<input checked="" type="checkbox"/>	1610.0	105028.929	60.194	1475.248	20.099
<input checked="" type="checkbox"/>	1612.0	107987.231	1.904	1483.050	20.205
<input type="checkbox"/>	1614.0	110961.114	7.019	1490.830	20.311
<input type="checkbox"/>	1616.0	113950.536	44.265	1498.588	20.417
<input type="checkbox"/>	1618.0	116955.452	10.710	1506.324	20.522
<input type="checkbox"/>	1620.0	---	---	1514.039	20.627
<input type="checkbox"/>	1622.0	---	---	1521.731	20.732
<input type="checkbox"/>	1624.0	---	---	1529.403	20.837

Para asegurar que no haya interferencia intersimbólica, se verificó que el ensanchamiento del pulso cumpliera la siguiente condición:

$$\Delta\tau < \frac{1}{2}T_b \tag{3-1}$$

$$\Delta\tau = CD \cdot L \cdot \Delta\lambda \tag{3-2}$$

$$T_b = \frac{1}{B} \tag{3-3}$$

Donde:

$\Delta\tau$ es el ensanchamiento de pulso,

L es la longitud del enlace,

$\Delta\lambda$ es el ancho espectral de la fuente,

T_b es el tiempo de bit, y

B es la velocidad de transmisión.

Para el caso de este primer enlace:

$$\Delta\tau = 16.76 \left[\frac{ps}{nm \cdot km} \right] \cdot 73.4[km] \cdot 0.01[nm] = 12.318 [ps]$$

$$T_b = \frac{1}{B} = \frac{1}{1 [Gbps]} = 1000 [ps]$$

$$12.318 [ps] < 500 [ps]$$

Como la desigualdad se cumple, entonces se puede trabajar a una tasa de 1 Gbps sin tener interferencia intersimbólica.

El porcentaje de ensanchamiento del pulso a 1 [Gbps] se puede calcular como:

$$\% \Delta\tau = \frac{12.3018}{500} \cdot 100 = 2.46\%$$

Con este valor, se puede decir que al final del enlace se recibirá un pulso de 1.0246 nm, sin tomar en cuenta el ensanchamiento causado por PMD.

3.1.3 Medición de Dispersión por Modos de Polarización obtenida para el Enlace 1

1. Gráfica y Resultados de la Dispersión por Modos de Polarización para el Enlace 1.

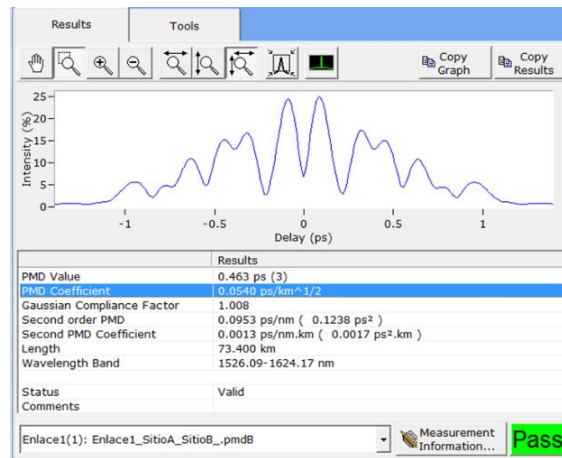


Figura 3.6 Gráfica y Resultados de la Dispersión por Modos de Polarización para el Enlace 1.

En la figura 3.6 se muestra el coeficiente y el valor de la PMD, cuyos valores son $0.0540 \left[\frac{ps}{\sqrt{km}} \right]$ y $0.463 [ps]$, respectivamente.

3.2 Resultados Caracterización Capa Física del Enlace 2

3.2.1 Mediciones de OTDR (Reflectómetro Óptico) para el Enlace 2

1. Trazo OTDR obtenido en el Enlace 2 a una longitud de onda de 1310 nm.

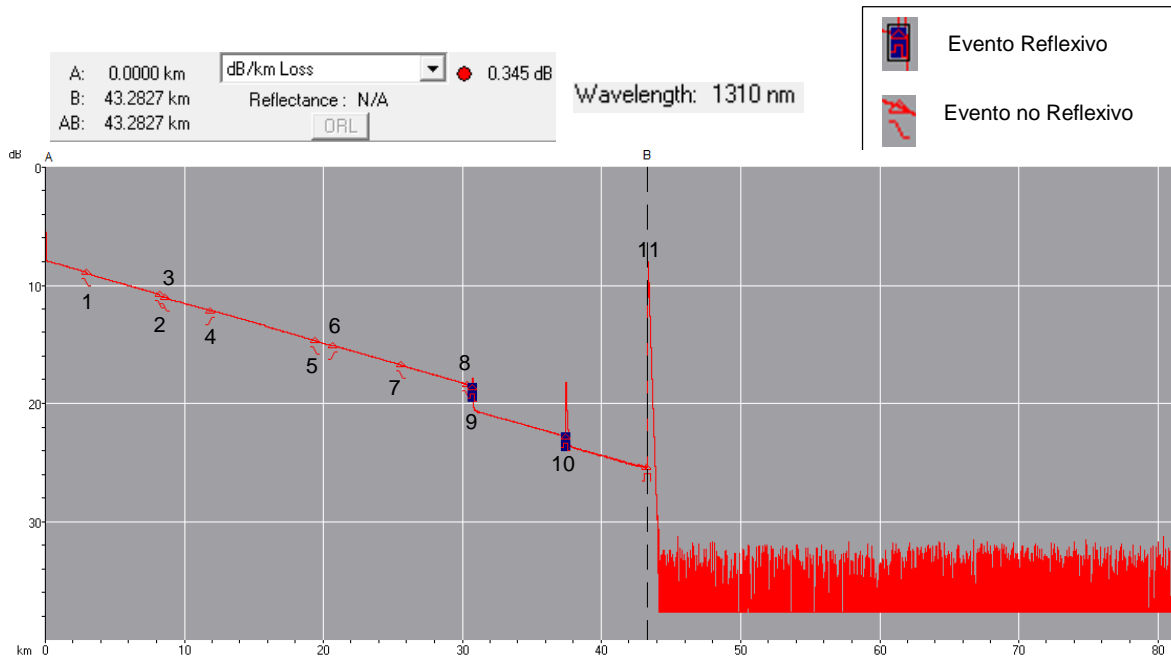


Figura 3.7. Trazo de OTDR realizado a una longitud de onda de 1310 nm para el Enlace 2.

Tabla 3.4 Eventos reflexivos y no reflexivos obtenidos a una longitud de onda de 1310 nm para el Enlace 2.

Feature #/Type	Location (km)	Loss (dB)	Ref1 (dB)
1/N	2.9771	0.12	
2/N	8.2317	0.16	
3/N	8.6504	0.03	
4/N	11.9135	-0.05	
5/N	19.4405	0.03	
6/N	20.6813	-0.06	
7/N	25.6142	0.04	
8/N	30.3530	0.17	
9/R	30.7411	1.86	-58.11
10/R	37.4460	0.73	-42.48
11/E	43.2827	>5.00	-16.25

Overall (End-to-End) Loss: 17.53 dB

```

----- Page 1 -----
| Language: EN |
| Cable ID: LS Cable & Systems 48 fo |
| Fiber ID: Enlace 2 |
| Wavelength: 1310 |
| Org. Loc: Sitio B |
| Term. Loc: Sitio C |
| Cable Code: |
| Condition: BC |
| Operator: Elías Luna |
| Comment: |
| Supplier: |
| OTDR Model: |
| S/N: |
| Optics Mod: MU909015C/C6-058 |
| S/N: 262304 |
| S/W Rev.: OTDR Avanzado 6.14.72.280 |
| Other: |
    
```

Figura 3.8 Información técnica del trazo OTDR realizado a una longitud de onda de 1310 nm para el Enlace 2.

2. Trazo OTDR obtenido en el Enlace 2 a una longitud de onda de 1550 nm.

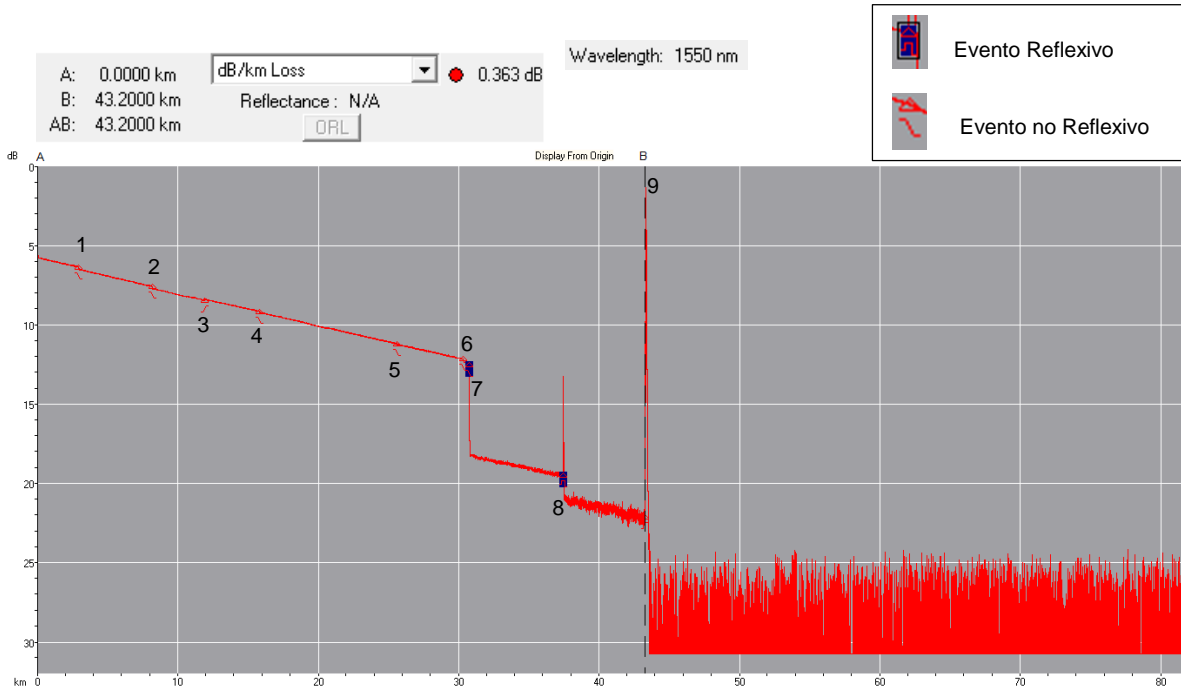


Figura 3.9 Trazo de OTDR realizado a una longitud de onda de 1550 nm para el Enlace 2.

Tabla 3.5 Eventos reflexivos y no reflexivos obtenidos a una longitud de onda de 1550 nm para el Enlace 2.

Feature #/Type	Location (km)	Loss (dB)	Ref1 (dB)
1/N	2.9656	0.15	
2/N	8.2281	0.13	
3/N	11.9186	-0.06	
4/N	15.8081	0.06	
5/N	25.6287	0.04	
6/N	30.3502	0.16	
7/N	30.7484	5.78	
8/R	37.4452	1.43	-45.90
9/E	43.2000	>9.00	-16.45

Overall (End-to-End) Loss: 16.26 dB

```

----- Page 1 -----
| Language: EN
| Cable ID: LS Cable & Systems 48 fo
| Fiber ID: Enlace 2
| Wavelength: 1550
| Org. Loc: Sitio B
| Term. Loc: Sitio C
| Cable Code:
| Condition: BC
| Operator: Elias Luna
| Comment:
| Supplier:
| OTDR Model:
| S/N:
| Optics Mod: MU909015C/C6-058
| S/N: 262304
| S/W Rev.: OTDR Avanzado 6.14.72.280
| Other:
    
```

Figura 3.10. Información técnica del trazo OTDR realizado a una longitud de onda de 1550 nm para el Enlace 2.

3.2.2 Medición de Dispersión Cromática obtenida para el Enlace 2

1. Gráfica de Resultados de Dispersión Cromática para el Enlace 2.

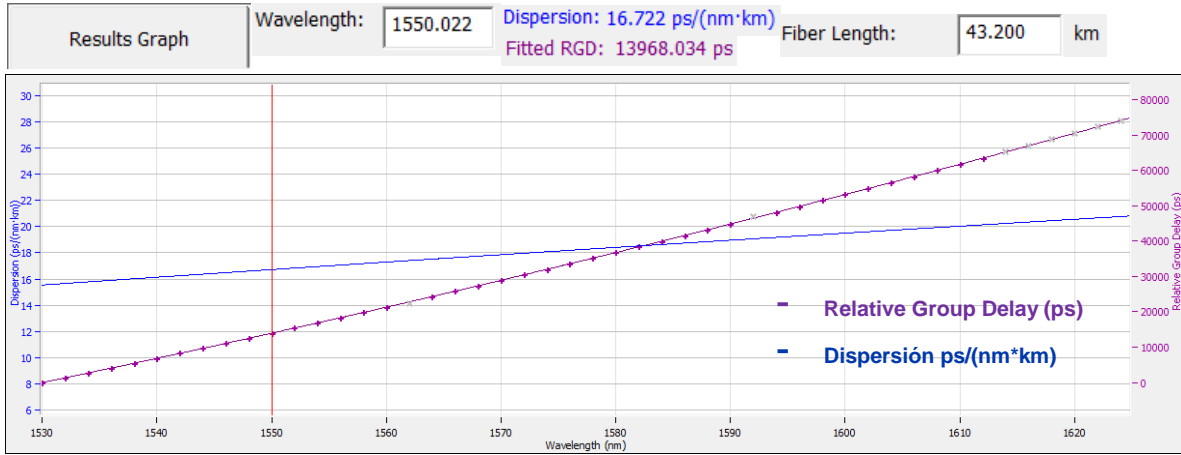


Figura 3.11 Dispersión Cromática a una longitud de onda de 1550 nm para el Enlace 2.

2. Tabla de Resultados de Dispersión Cromática para el Enlace 2.

Tabla 3.6. Resultados de Dispersión Cromática para el Enlace 2.

	Wavelength (nm)	Fitted RGD (ps)	RGD Deviation (ps)	Dispersion (ps/nm)	Dispersion (ps/(nm*km))
<input checked="" type="checkbox"/>	1530.0	-1.006	1.006	671.522	15.544
<input checked="" type="checkbox"/>	1532.0	1347.191	1.348	676.673	15.664
<input checked="" type="checkbox"/>	1534.0	2705.675	10.358	681.808	15.783
<input checked="" type="checkbox"/>	1536.0	4074.410	16.011	686.926	15.901
<input checked="" type="checkbox"/>	1538.0	5453.366	2.339	692.027	16.019
<input checked="" type="checkbox"/>	1540.0	6842.508	3.684	697.112	16.137
<input checked="" type="checkbox"/>	1542.0	8241.804	4.151	702.181	16.254
<input checked="" type="checkbox"/>	1544.0	9651.222	12.986	707.234	16.371
<input checked="" type="checkbox"/>	1546.0	11070.729	8.282	712.271	16.488
<input checked="" type="checkbox"/>	1548.0	12500.294	2.371	717.291	16.604
<input checked="" type="checkbox"/>	1550.0	13939.884	15.308	722.296	16.720
<input checked="" type="checkbox"/>	1552.0	15389.469	3.151	727.286	16.835
<input checked="" type="checkbox"/>	1554.0	16849.016	5.848	732.259	16.950
<input checked="" type="checkbox"/>	1556.0	18318.495	3.216	737.217	17.065
<input checked="" type="checkbox"/>	1558.0	19797.875	8.210	742.160	17.180
<input checked="" type="checkbox"/>	1560.0	21287.124	16.451	747.087	17.294
<input checked="" type="checkbox"/>	1562.0	22786.213	361.562	751.999	17.407
<input checked="" type="checkbox"/>	1564.0	24295.111	4.958	756.896	17.521
<input checked="" type="checkbox"/>	1566.0	25813.787	0.696	761.778	17.634
<input checked="" type="checkbox"/>	1568.0	27342.212	0.114	766.645	17.746
<input checked="" type="checkbox"/>	1570.0	28880.356	0.117	771.497	17.859
<input checked="" type="checkbox"/>	1572.0	30428.190	3.488	776.334	17.971
<input checked="" type="checkbox"/>	1574.0	31985.683	3.268	781.157	18.082
<input checked="" type="checkbox"/>	1576.0	33552.807	8.887	785.965	18.194
<input checked="" type="checkbox"/>	1578.0	35129.533	2.869	790.758	18.305
<input checked="" type="checkbox"/>	1580.0	36715.831	10.098	795.538	18.415
<input checked="" type="checkbox"/>	1582.0	38311.674	2.560	800.302	18.526
<input checked="" type="checkbox"/>	1584.0	39917.032	9.103	805.053	18.635
<input checked="" type="checkbox"/>	1586.0	41531.877	11.703	809.790	18.745
<input checked="" type="checkbox"/>	1588.0	43156.181	8.034	814.512	18.854
<input checked="" type="checkbox"/>	1590.0	44789.917	46.086	819.221	18.963
<input checked="" type="checkbox"/>	1592.0	46433.055	382.307	823.916	19.072
<input checked="" type="checkbox"/>	1594.0	48085.570	6.198	828.597	19.180
<input checked="" type="checkbox"/>	1596.0	49747.432	8.959	833.264	19.289
<input checked="" type="checkbox"/>	1598.0	51418.616	1.112	837.918	19.396
<input checked="" type="checkbox"/>	1600.0	53099.094	3.385	842.558	19.504
<input checked="" type="checkbox"/>	1602.0	54788.838	8.517	847.185	19.611
<input checked="" type="checkbox"/>	1604.0	56487.823	15.250	851.798	19.718
<input checked="" type="checkbox"/>	1606.0	58196.021	10.909	856.398	19.824
<input checked="" type="checkbox"/>	1608.0	59913.406	16.469	860.985	19.930
<input checked="" type="checkbox"/>	1610.0	61639.953	24.458	865.559	20.036
<input checked="" type="checkbox"/>	1612.0	63375.633	7.854	870.120	20.142
<input type="checkbox"/>	1614.0	65120.423	34.444	874.668	20.247
<input type="checkbox"/>	1616.0	66874.296	28.017	879.203	20.352
<input type="checkbox"/>	1618.0	68637.226	22.148	883.725	20.457
<input type="checkbox"/>	1620.0	70409.188	52.792	888.235	20.561
<input type="checkbox"/>	1622.0	72190.157	62.233	892.732	20.665
<input type="checkbox"/>	1624.0	73980.107	2.649	897.216	20.769

Usando las ecuaciones 3-1, 3-2, 3-3, para el caso de este segundo enlace:

$$\Delta\tau = 16.72 \left[\frac{ps}{nm \cdot km} \right] \cdot 43.2[km] \cdot 0.01[nm] = 7.22 [ps]$$

$$T_b = \frac{1}{B} = \frac{1}{1 [Gbps]} = 1000 [ps]$$

$$7.22 [ps] < 500 [ps]$$

Como la desigualdad se cumple, entonces se puede trabajar a una tasa de 1 Gbps sin tener interferencia intersimbólica.

El porcentaje de ensanchamiento del pulso a 1 [Gbps] se puede calcular como:

$$\% \Delta\tau = \frac{7.22}{500} \cdot 100 = 1.44\%$$

Con este valor, se puede decir que al final del enlace se recibirá un pulso de 1.014 nm, sin tomar en cuenta el ensanchamiento causado por PMD.

3.2.3 Medición de Dispersión por Modos de Polarización obtenida para el Enlace 2

1. Gráfica y Resultados de la Dispersión por Modos de Polarización para el Enlace 2.

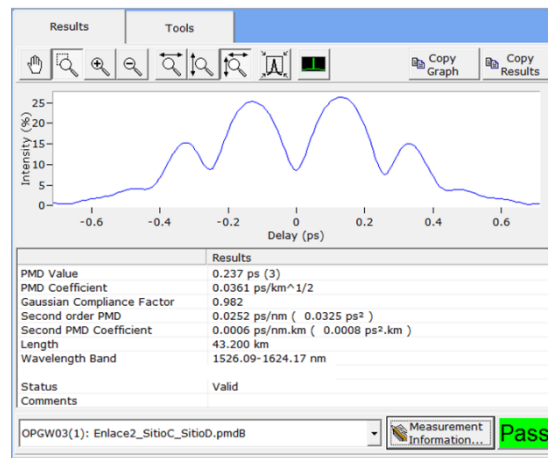


Figura 3.12 Gráfica y Resultados de la Dispersión por Modos de Polarización para el Enlace 2.

En la figura 3.12 se muestra el coeficiente y el valor de la PMD, cuyos valores son $0.0361 \left[\frac{ps}{\sqrt{km}} \right]$ y $0.237 [ps]$, respectivamente.

3.3 Resultados Caracterización Capa Física del Enlace 3

3.3.1 Mediciones de OTDR (Reflectómetro Óptico) para el Enlace 3

1. Trazo OTDR obtenido en el Enlace 3 a una longitud de onda de 1310 nm.

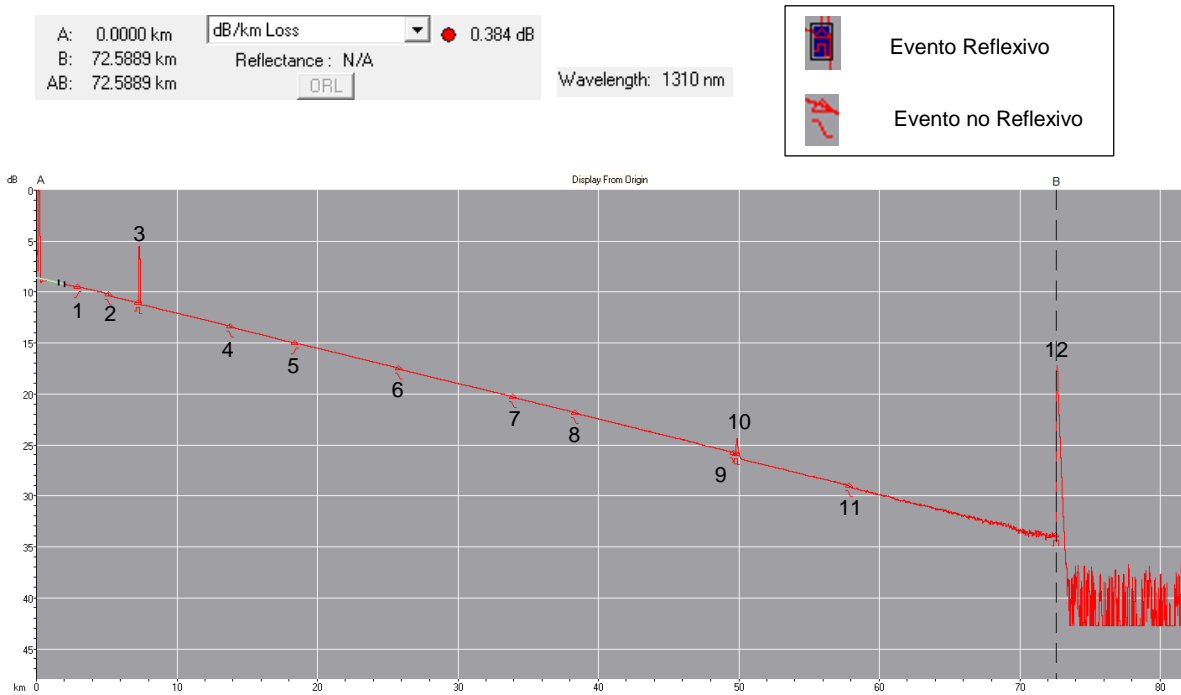


Figura 3.13. Trazo de OTDR realizado a una longitud de onda de 1310 nm para el Enlace 3.

Tabla 3.7 Eventos reflexivos y no reflexivos obtenidos a una longitud de onda de 1310 nm para el Enlace 3.

Feature #/Type	Location (km)	Loss (dB)	Ref1 (dB)
1/N	2.9618	-0.05	
2/N	5.1422	0.19	
3/R	7.2768	0.11	>-38.673
4/N	13.8437	0.10	
5/N	18.3936	-0.08	
6/N	25.8032	0.09	
7/N	33.9378	0.06	
8/N	38.3600	0.06	
9/N	49.6505	0.16	
10/R	49.8190	0.38	-48.66
11/N	57.8669	0.15	
12/E	72.5889	>9.00	-15.08

Overall (End-to-End) Loss: 27.882 dB

```

----- Page 1 -----
| Language: EN |
| Cable ID: LS Cable & Systems 48 fo |
| Fiber ID: Enlace 3 |
| Wavelength: 1310 |
| Org. Loc: Sitio C |
| Term. Loc: Sitio D |
| Cable Code: |
| Condition: EC |
| Operator: Elias Luna |
| Comment: |
| Supplier: |
| OTDR Model: |
| S/N: |
| Optics Mod: MU909015C/C6-058 |
| S/N: 262304 |
| S/W Rev.: OTDR Avanzado 6.14.72.280 |
| Other: |
    
```

Figura 3.14. Información técnica del trazo OTDR realizado a una longitud de onda de 1310 nm para el Enlace 3.

2. Trazo OTDR obtenido en el Enlace 3 a una longitud de onda de 1550 nm.

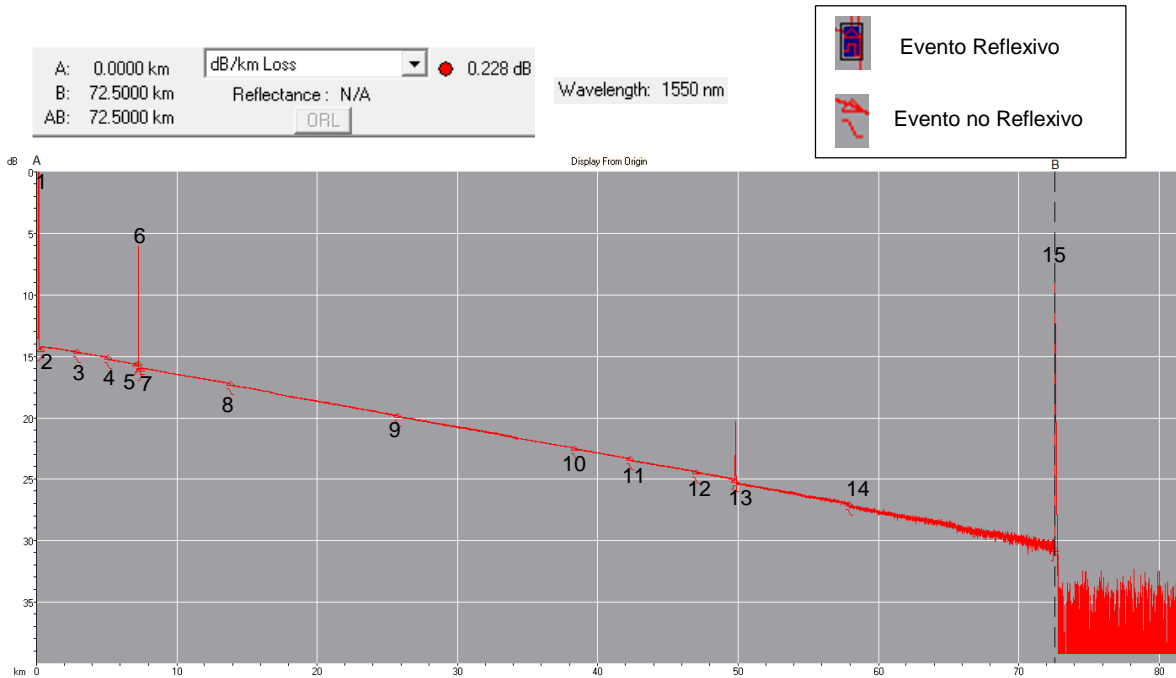


Figura 3.15. Trazo de OTDR realizado a una longitud de onda de 1550 nm para el Enlace 3.

Tabla 3.8 Eventos reflexivos y no reflexivos obtenidos a una longitud de onda de 1550 nm para el Enlace 3.

Feature #/Type	Location (km)	Loss (dB)	Ref1 (dB)
1/R	0.1633	0.92	>-34.358
2/N	0.3267	-0.27	
3/N	2.9248	0.03	
4/N	5.1298	0.18	
5/N	7.1154	-0.08	
6/R	7.2787	0.39	-42.28
7/N	7.4921	-0.11	
8/N	13.8429	0.13	
9/N	25.7768	0.06	
10/N	38.3895	0.06	
11/N	42.3300	0.13	
12/N	47.0464	0.06	
13/R	49.8130	0.29	-49.32
14/N	57.9237	0.22	
15/E	72.5000	>9.00	-14.52

Overall (End-to-End) Loss: 17.22 dB

```

----- Page 1 -----
| Language: EN
| Cable ID: LS Cable & Systems 48 fo
| Fiber ID: Enlace 3
| Wavelength: 1550
| Org. Loc: Sitio C
| Term. Loc: Sitio D
| Cable Code:
| Condition: BC
| Operator: Elias Luna
| Comment:
| Supplier:
| OTDR Model:
| S/N:
| Optics Mod: MU909015C/C6-058
| S/N: 262304
| S/W Rev.: OTDR Avanzado 6.14.72.280
| Other:
  
```

Figura 3.16. Información técnica del trazo OTDR realizado a una longitud de onda de 1550 nm para el Enlace 3.

3.3.2 Medición de Dispersión Cromática obtenida para el Enlace 3

1. Gráfica de Resultados de Dispersión Cromática para el Enlace 3.

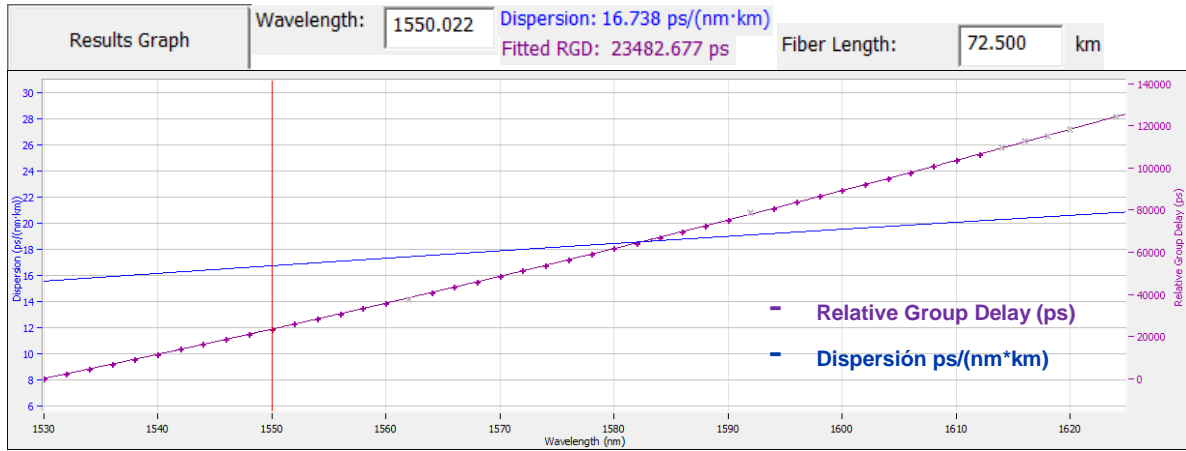


Figura 3.17. Dispersión Cromática a una longitud de onda de 1550 nm para el Enlace 3.

2. Tabla de Resultados de Dispersión Cromática para el Enlace 3.

Tabla 3.9. Resultados de Dispersión Cromática para el Enlace 3.

	Wavelength (nm)	Fitted RGD (ps)	RGD Deviation (ps)	Dispersion (ps/nm)	Dispersion (ps/(nm*km))
<input checked="" type="checkbox"/>	1530.0	18.954	18.954	1127.881	15.557
<input checked="" type="checkbox"/>	1532.0	2283.388	35.821	1136.548	15.677
<input checked="" type="checkbox"/>	1534.0	4565.127	11.156	1145.187	15.796
<input checked="" type="checkbox"/>	1536.0	6864.115	0.117	1153.797	15.914
<input checked="" type="checkbox"/>	1538.0	9180.298	3.898	1162.380	16.033
<input checked="" type="checkbox"/>	1540.0	11513.619	2.040	1170.936	16.151
<input checked="" type="checkbox"/>	1542.0	13864.023	5.952	1179.464	16.268
<input checked="" type="checkbox"/>	1544.0	16231.457	0.978	1187.965	16.386
<input checked="" type="checkbox"/>	1546.0	18615.865	25.235	1196.439	16.503
<input checked="" type="checkbox"/>	1548.0	21017.195	0.860	1204.886	16.619
<input checked="" type="checkbox"/>	1550.0	23482.677	117.03	1213.307	16.735
<input checked="" type="checkbox"/>	1552.0	25870.403	17.712	1221.701	16.851
<input checked="" type="checkbox"/>	1554.0	28322.176	7.637	1230.068	16.966
<input checked="" type="checkbox"/>	1556.0	30790.659	6.912	1238.410	17.082
<input checked="" type="checkbox"/>	1558.0	33275.798	14.110	1246.725	17.196
<input checked="" type="checkbox"/>	1560.0	35777.543	44.361	1255.015	17.311
<input type="checkbox"/>	1562.0	38295.842	636.890	1263.279	17.425
<input checked="" type="checkbox"/>	1564.0	40830.643	46.248	1271.518	17.538
<input checked="" type="checkbox"/>	1566.0	43381.896	12.760	1279.731	17.651
<input checked="" type="checkbox"/>	1568.0	45949.551	13.428	1287.919	17.764
<input checked="" type="checkbox"/>	1570.0	48533.556	21.715	1296.082	17.877
<input checked="" type="checkbox"/>	1572.0	51133.864	28.492	1304.221	17.989
<input checked="" type="checkbox"/>	1574.0	53750.423	30.586	1312.334	18.101
<input checked="" type="checkbox"/>	1576.0	56383.185	1.102	1320.423	18.213
<input checked="" type="checkbox"/>	1578.0	59032.100	29.907	1328.488	18.324
<input checked="" type="checkbox"/>	1580.0	61697.121	28.483	1336.529	18.435
<input checked="" type="checkbox"/>	1582.0	64378.199	73.311	1344.545	18.545
<input checked="" type="checkbox"/>	1584.0	67075.286	19.373	1352.538	18.656
<input checked="" type="checkbox"/>	1586.0	69788.334	21.656	1360.506	18.766
<input checked="" type="checkbox"/>	1588.0	72517.296	32.562	1368.452	18.875
<input checked="" type="checkbox"/>	1590.0	75262.125	139.509	1376.373	18.984
<input type="checkbox"/>	1592.0	78022.774	616.429	1384.272	19.093
<input checked="" type="checkbox"/>	1594.0	80799.196	20.318	1392.147	19.202
<input checked="" type="checkbox"/>	1596.0	83591.346	59.145	1399.999	19.310
<input checked="" type="checkbox"/>	1598.0	86399.177	56.901	1407.828	19.418
<input checked="" type="checkbox"/>	1600.0	89222.644	8.972	1415.635	19.526
<input checked="" type="checkbox"/>	1602.0	92061.702	16.978	1423.419	19.633
<input checked="" type="checkbox"/>	1604.0	94916.305	16.467	1431.180	19.740
<input checked="" type="checkbox"/>	1606.0	97786.409	71.895	1438.920	19.847
<input checked="" type="checkbox"/>	1608.0	100671.969	45.031	1446.637	19.954
<input checked="" type="checkbox"/>	1610.0	103572.941	4.268	1454.332	20.060
<input checked="" type="checkbox"/>	1612.0	106489.281	44.667	1462.005	20.166
<input type="checkbox"/>	1614.0	109420.946	14.761	1469.656	20.271
<input type="checkbox"/>	1616.0	112367.891	241.068	1477.286	20.376
<input type="checkbox"/>	1618.0	115330.074	176.671	1484.894	20.481
<input type="checkbox"/>	1620.0	118307.453	143.734	1492.481	20.586
<input type="checkbox"/>	1622.0	---	---	1500.046	20.690
<input type="checkbox"/>	1624.0	124307.624	65.600	1507.591	20.794

Usando las ecuaciones 3-1, 3-2, 3-3, para el caso de este tercer enlace:

$$\Delta\tau = 16.735 \left[\frac{ps}{nm \cdot km} \right] \cdot 72.5 [km] \cdot 0.01 [nm] = 12.13 [ps]$$

$$T_b = \frac{1}{B} = \frac{1}{1 [Gbps]} = 1000 [ps]$$

$$12.13 [ps] < 500 [ps]$$

Como la desigualdad se cumple, entonces se puede trabajar a una tasa de 1 Gbps sin tener interferencia intersimbólica.

El porcentaje de ensanchamiento del pulso a 1 [Gbps] se puede calcular como:

$$\% \Delta\tau = \frac{12.13}{500} \cdot 100 = 2.42\%$$

Con este valor, se puede decir que al final del enlace se recibirá un pulso de 1.0242 nm, sin tomar en cuenta el ensanchamiento causado por PMD.

3.3.3 Medición de Dispersión por Modos de Polarización obtenida para el Enlace 3

1. Gráfica y Resultados de la Dispersión por Modos de Polarización para el Enlace 3.

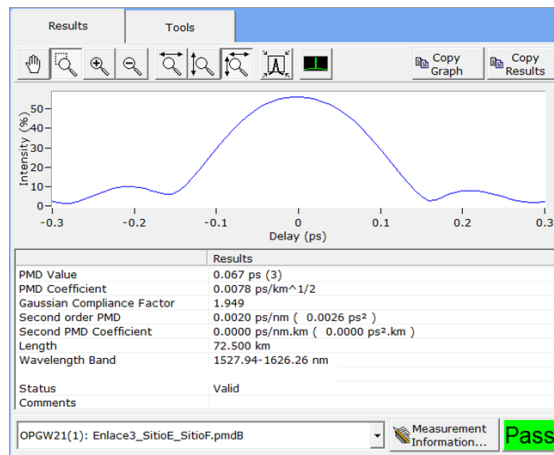


Figura 3.18. Resultados de la Medición de Dispersión por Modos de Polarización para el Enlace 3.

En la figura 3.18 se muestra el coeficiente y el valor de la PMD, cuyos valores son $0.0078 \left[\frac{ps}{\sqrt{km}} \right]$ y $0.067 [ps]$, respectivamente.

3.4 Resultados Caracterización Capa Física del Enlace 4

3.4.1 Mediciones de OTDR (Reflectómetro Óptico) para el Enlace 4

1. Trazo OTDR obtenido en el Enlace 4 a una longitud de onda de 1310 nm.

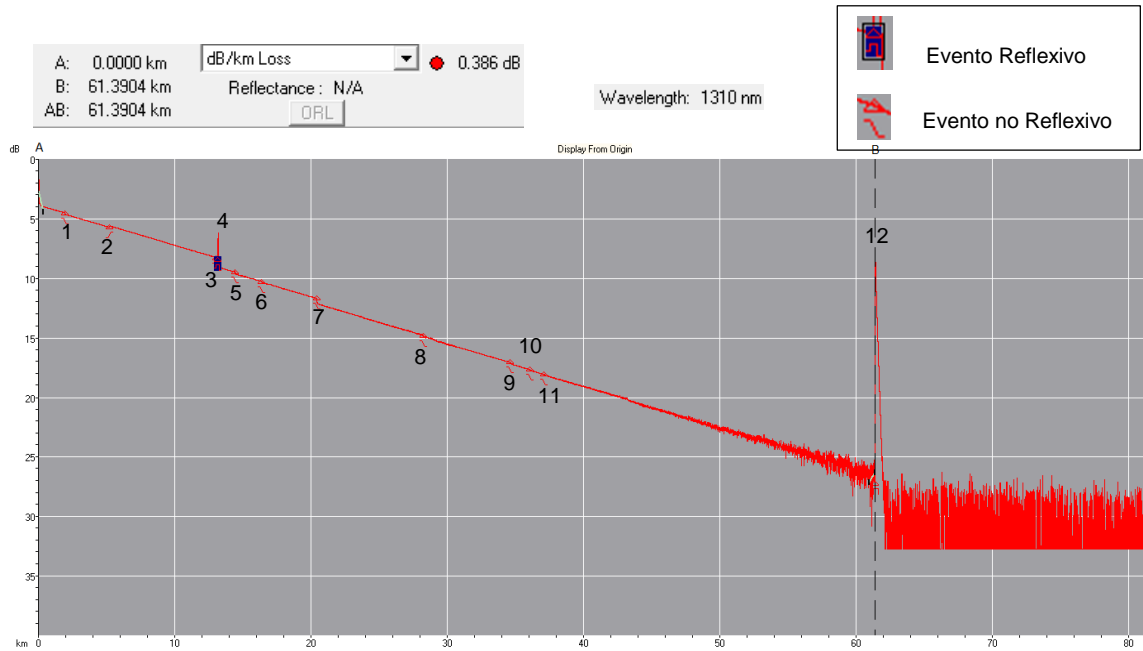


Figura 3.19. Trazo de OTDR realizado a una longitud de onda de 1310 nm para el Enlace 4.

Tabla 3.10 Eventos reflexivos y no reflexivos obtenidos a una longitud de onda de 1310 nm para el Enlace 4.

Feature #/Type	Location (km)	Loss (dB)	Ref1 (dB)
1/N	1.9507	0.10	
2/N	5.2342	-0.12	
3/N	13.0420	0.09	
4/R	13.1901	0.59	-52.04
5/N	14.4616	0.15	
6/N	16.4174	0.06	
7/N	20.4311	0.46	
8/N	28.2543	0.08	
9/N	34.6323	0.11	
10/N	36.0570	0.05	
11/N	37.1141	0.05	
12/E	61.3904	>9.00	-14.19

Overall (End-to-End) Loss: 22.52 dB

```

----- Page 1 -----
| Language: EN
| Cable ID: LS Cable & Systems 48 fo
| Fiber ID: Enlace 4
| Wavelength: 1310
| Org. Loc: Sitio D
| Term. Loc: Sitio E
| Cable Code:
| Condition: BC
| Operator: Elías Luna
| Comment:
| Supplier:
| OTDR Model:
| S/N:
| Optics Mod: MU909015C/C6-058
| S/N: 262304
| S/W Rev.: OTDR Avanzado 6.14.72.280
| Other:
    
```

Figura 3.20. Información técnica del trazo OTDR realizado a una longitud de onda de 1310 nm para el Enlace 4.

2. Trazo OTDR obtenido en el Enlace 4 a una longitud de onda de 1550 nm.

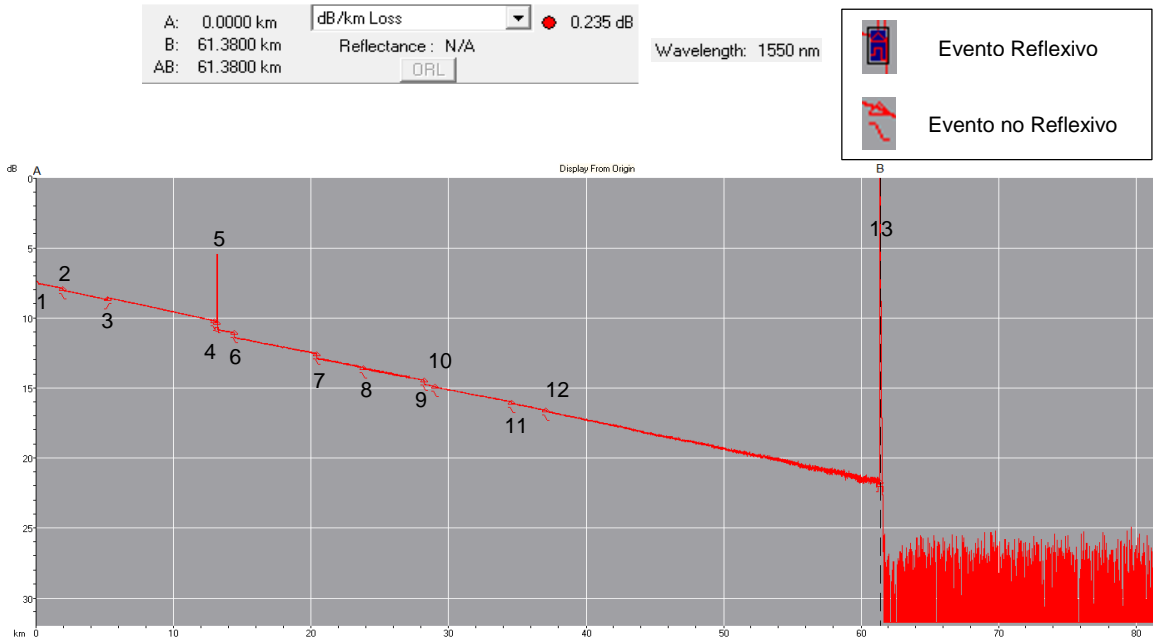


Figura 3.21. Trazo de OTDR realizado a una longitud de onda de 1550 nm para el Enlace 4.

Tabla 3.11 Eventos reflexivos y no reflexivos obtenidos a una longitud de onda de 1550 nm para el Enlace 4.

Feature #/Type	Location (km)	Loss (dB)	Ref1 (dB)
1/N	0.1735	0.12	
2/N	1.9498	0.13	
3/N	5.2268	-0.14	
4/N	13.0160	0.08	
5/R	13.1793	0.47	-52.38
6/N	14.4452	0.33	
7/N	20.4428	0.35	
8/N	23.9320	0.07	
9/N	28.2319	0.29	
10/N	29.0639	0.06	
11/N	34.6174	0.11	
12/N	37.0981	0.07	
13/E	61.3800	>9.00	-14.81

Overall (End-to-End) Loss: 14.43 dB

```

----- Page 1 -----
| Language: EN
| Cable ID: LS Cable & Systems 48 fo
| Fiber ID: Enlace 4
| Wavelength: 1550
| Org. Loc: Sitio D
| Term. Loc: Sitio E
| Cable Code:
| Condition: BC
| Operator: Elias Luna
| Comment:
| Supplier:
| OTDR Model:
| S/N:
| Optics Mod: MU909015C/C6-058
| S/N: 262304
| S/W Rev.: OTDR Avanzado 6.14.72.280
| Other:
    
```

Figura 3.22. Información técnica del trazo OTDR realizado a una longitud de onda de 1550 nm para el Enlace 4.

3.4.2 Medición de Dispersión Cromática obtenida para el Enlace 4

1. Gráfica de Resultados de Dispersión Cromática para el Enlace 4.

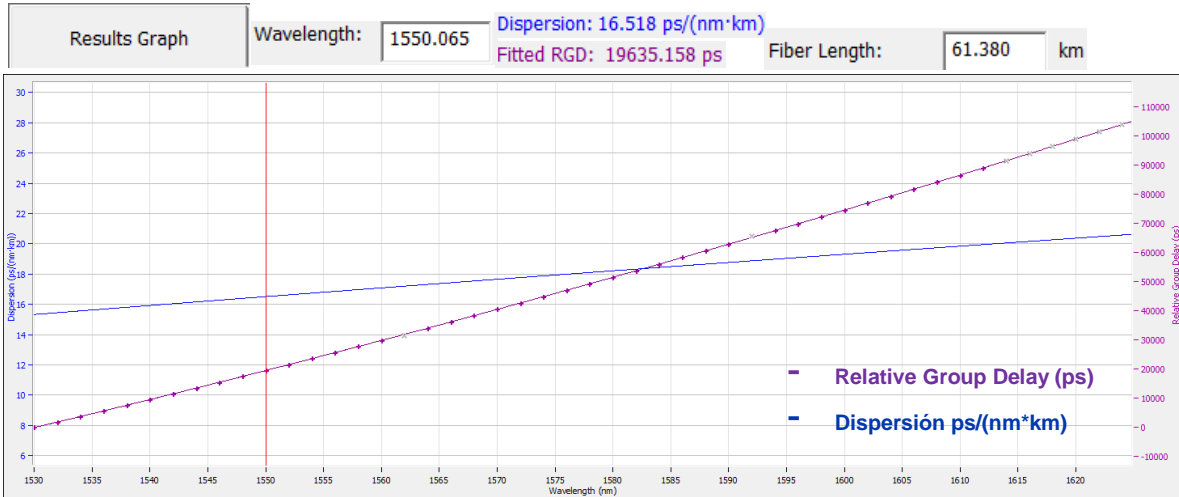


Figura 3.23. Dispersión Cromática a una longitud de onda de 1550 nm para el Enlace 4.

2. Tabla de Resultados de Dispersión Cromática para el Enlace 4.

Tabla 3.12. Resultados de Dispersión Cromática para el Enlace 4.

	Wavelength (nm)	Fitted RGD (ps)	RGD Deviation (ps)	Dispersion (ps/nm)	Dispersion (ps/(nm*km))
<input checked="" type="checkbox"/>	1530.0	4.429	4.429	941.084	15.332
<input checked="" type="checkbox"/>	1532.0	1893.958	9.589	948.441	15.452
<input checked="" type="checkbox"/>	1534.0	3798.178	18.491	955.775	15.571
<input checked="" type="checkbox"/>	1536.0	5717.041	7.659	963.085	15.691
<input checked="" type="checkbox"/>	1538.0	7650.501	6.001	970.371	15.809
<input checked="" type="checkbox"/>	1540.0	9598.509	11.892	977.634	15.928
<input checked="" type="checkbox"/>	1542.0	11561.020	4.671	984.873	16.046
<input checked="" type="checkbox"/>	1544.0	13537.986	17.104	992.089	16.163
<input checked="" type="checkbox"/>	1546.0	15529.362	3.059	999.283	16.280
<input checked="" type="checkbox"/>	1548.0	17535.102	3.162	1006.453	16.397
<input checked="" type="checkbox"/>	1550.0	19555.160	11.246	1013.601	16.514
<input checked="" type="checkbox"/>	1552.0	21589.492	4.109	1020.726	16.630
<input checked="" type="checkbox"/>	1554.0	23638.051	17.424	1027.829	16.745
<input checked="" type="checkbox"/>	1556.0	25700.793	2.877	1034.910	16.861
<input checked="" type="checkbox"/>	1558.0	27777.674	0.408	1041.968	16.976
<input checked="" type="checkbox"/>	1560.0	29868.650	11.762	1049.004	17.090
<input type="checkbox"/>	1562.0	31973.677	504.642	1056.019	17.205
<input checked="" type="checkbox"/>	1564.0	34092.712	20.712	1063.012	17.319
<input checked="" type="checkbox"/>	1566.0	36225.710	0.155	1069.983	17.432
<input checked="" type="checkbox"/>	1568.0	38372.630	9.567	1076.933	17.545
<input checked="" type="checkbox"/>	1570.0	40533.427	3.200	1083.861	17.658
<input checked="" type="checkbox"/>	1572.0	42708.061	10.114	1090.769	17.771
<input checked="" type="checkbox"/>	1574.0	44896.489	0.100	1097.655	17.883
<input checked="" type="checkbox"/>	1576.0	47098.668	0.434	1104.521	17.995
<input checked="" type="checkbox"/>	1578.0	49314.557	15.894	1111.365	18.106
<input checked="" type="checkbox"/>	1580.0	51544.116	4.088	1118.189	18.217
<input checked="" type="checkbox"/>	1582.0	53787.301	12.933	1124.993	18.328
<input checked="" type="checkbox"/>	1584.0	56044.074	6.130	1131.776	18.439
<input checked="" type="checkbox"/>	1586.0	58314.392	10.094	1138.539	18.549
<input checked="" type="checkbox"/>	1588.0	60598.217	11.033	1145.282	18.659
<input checked="" type="checkbox"/>	1590.0	62895.507	71.342	1152.005	18.768
<input type="checkbox"/>	1592.0	65206.223	555.227	1158.708	18.878
<input checked="" type="checkbox"/>	1594.0	67530.325	8.525	1165.391	18.986
<input checked="" type="checkbox"/>	1596.0	69867.774	18.678	1172.055	19.095
<input checked="" type="checkbox"/>	1598.0	72218.530	12.407	1178.699	19.203
<input checked="" type="checkbox"/>	1600.0	74582.556	10.180	1185.324	19.311
<input checked="" type="checkbox"/>	1602.0	76959.812	3.131	1191.929	19.419
<input checked="" type="checkbox"/>	1604.0	79350.259	15.690	1198.515	19.526
<input checked="" type="checkbox"/>	1606.0	81753.861	4.505	1205.083	19.633
<input checked="" type="checkbox"/>	1608.0	84170.578	1.990	1211.631	19.740
<input checked="" type="checkbox"/>	1610.0	86600.374	6.488	1218.161	19.846
<input checked="" type="checkbox"/>	1612.0	89043.210	20.221	1224.672	19.952
<input type="checkbox"/>	1614.0	91499.049	8.995	1231.165	20.058
<input type="checkbox"/>	1616.0	93967.856	12.273	1237.639	20.164
<input type="checkbox"/>	1618.0	96449.592	10.246	1244.094	20.269
<input type="checkbox"/>	1620.0	98944.221	26.724	1250.532	20.374
<input type="checkbox"/>	1622.0	101451.707	15.926	1256.951	20.478
<input type="checkbox"/>	1624.0	103972.014	35.361	1263.353	20.582

Usando las ecuaciones 3-1, 3-2, 3-3, para el caso de este cuarto enlace:

$$\Delta\tau = 16.514 \left[\frac{ps}{nm \cdot km} \right] \cdot 61.38 [km] \cdot 0.01 [nm] = 10.13 [ps]$$

$$T_b = \frac{1}{B} = \frac{1}{1 [Gbps]} = 1000 [ps]$$

$$10.13 [ps] < 500 [ps]$$

Como la desigualdad se cumple, entonces se puede trabajar a una tasa de 1 Gbps sin tener interferencia intersimbólica.

El porcentaje de ensanchamiento del pulso a 1 [Gbps] se puede calcular como:

$$\% \Delta\tau = \frac{10.13}{500} \cdot 100 = 2.02\%$$

Con este valor, se puede decir que al final del enlace se recibirá un pulso de 1.02 nm, sin tomar en cuenta el ensanchamiento causado por PMD.

3.4.3 Medición de Dispersión por Modos de Polarización obtenida para el Enlace 4

1. Gráfica y Resultados de la Dispersión por Modos de Polarización para el Enlace 4.

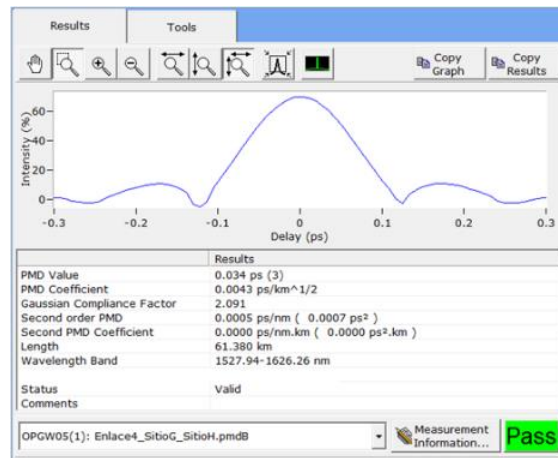


Figura 3.24. Resultados de la Medición de Dispersión por Modos de Polarización para el Enlace 4.

En la figura 3.24 se muestra el coeficiente y el valor de la PMD, cuyos valores son $0.0043 \left[\frac{ps}{\sqrt{km}} \right]$ y $0.034 [ps]$, respectivamente.

4 Análisis de Resultados

En este capítulo se presenta el análisis de las mediciones obtenidas en la caracterización de la capa física para cada enlace de fibra óptica. Para realizar el análisis se elaboró un reporte por enlace, en el cual se documentó toda la información necesaria para determinar si el enlace cumplía con la velocidad de transmisión de 1 GbE establecida entre operador y cliente. En el reporte también se documentaron recomendaciones dirigidas al operador de la red para mejorar la calidad de servicio entregada al cliente.

4.1 Reporte de Análisis para el Enlace 1

<h1>Análisis de Enlace</h1>			
Nombre Operador en el Sitio A	Elías Luna		
Cargo	Ing. Soporte Técnico		
Hora de reporte	15:30	Fecha de reporte	05/07/16
Responsable de recepción en el Sitio B: Operador 2			
Descripción de Eventos y Recomendaciones			
<p>Conforme a los resultados obtenidos con el OTDR la distancia óptica real del Enlace 1 fue de 73.400 kilometros.</p> <p>El nivel de perdida en dB/km para la longitud onda de 1310 nm fue de 0.373 mientras que para 1550 nm fue de 0.25, ambos valores se encuentran dentro de los recomendados por la ITU-T para la fibra G.652.</p> <p>Todos los valores de perdida obtenidos excepto el ubicado en el kilómetro 13.4090 son mayores a 0.02 dB. Para una red de transporte es muy importante tener valores de pérdida bajos, ya que en este tipo redes se llevan a cabo procesos de multiplexación y demultiplexación de señales. Los empalmes mecánicos no son una opción para las redes de transporte, ya que introducen pérdidas muy altas. Se recomienda al operador realizar empalmes de fusión que no superen los 0.02 dB de pérdida. Lo anterior se puede conseguir utilizando empalmadoras de fusión que utilicen el método de alineación por núcleo. En el mercado existen varias marcas de empalmadoras de fusión que cuentan</p>			

con este método de alineación, entre las más conocidas por su calidad y eficiencia se encuentra la marca SUMITOMO ELECTRIC LIGHTWAVE.

Se obtuvieron dos eventos de tipo reflexivo a lo largo del enlace. El primer evento reflexivo se ubicó a una distancia de 4.13 kilómetros teniendo un valor de reflectancia de -41 dB y una pérdida mayor a 1dB para ambas longitudes de onda. Este valor de reflectancia se encuentra dentro del rango recomendado por la ITU-T, sin embargo, la pérdida obtenida es muy alta por lo que se recomienda verificar el estado de los acoplamientos mecánicos en ese punto. El otro evento reflexivo se ubicó a una distancia de 11.33 kilómetros teniendo un valor de reflectancia de -5.47 dB para una longitud de onda de 1310 nm y -51.93 dB para una longitud de onda de 1550 nm. El valor de reflectancia obtenido a una longitud de onda de 1310 nm difiere mucho del obtenido a una longitud de onda de 1550 nm y se encuentra fuera del rango recomendado por la ITU-T. Se recomienda al operador utilizar una punta de inspección para verificar la limpieza de los conectores en ese punto. Si en ese punto se tiene un empalme mecánico se recomienda sustituirlo por un empalme de fusión para evitar pérdidas por desalineamiento.

Conforme a la gráfica de Dispersión Cromática obtenida el Retardo de Grupo Relativo (RGD) fue de 23804 ps con un coeficiente de Dispersión Cromática de 16.760 ps/nm*km a una longitud de 1550 nm, valor que se encuentra dentro del rango recomendado por la ITU-T para una fibra G.652. Se registró un valor de Dispersión Cromática a una longitud de onda de 1550 nm de 1230 ps/nm, basados en la recomendación de la ITU-T este valor permite transmitir información a una velocidad de 1 Gbps sin ningún problema. Así mismo, el porcentaje de ensanchamiento del pulso calculado en la sección 3.1.2 fue de 2.46 %, con lo cual se asegura que no existirá interferencia intersimbólica para esta misma velocidad. Si se desea realizar un crecimiento a velocidades de transmisión superiores es necesario utilizar compensadores de Dispersión Cromática para evitar el aumento del BER (Bit Error Rate por sus siglas en Ingles).

El coeficiente de Dispersión por Modos de Polarización registrado fue de $0.0540 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ conforme con la recomendación de la ITU-T este valor permite transmitir a una velocidad de 1 GbE.

Sin embargo, se recomienda al operador realizar mediciones de Dispersión por Modos de Polarización continuamente para determinar en qué momento se registra el máximo valor de PMD y con ello saber cuándo es necesario tomar medidas para disminuir este valor y evitar problemas de Pérdida de Tramas (Frame Loss).

4.2 Reporte de Análisis para el Enlace 2

<h1>Análisis de Enlace</h1>			
Nombre Operador en el Sitio B	Elías Luna		
Cargo	Ing. Soporte Técnico		
Hora de reporte	14:20	Fecha de reporte	06/07/16
Responsable de recepción en el Sitio C: Operador 2			
Descripción de Eventos y Recomendaciones.			
<p>Conforme con la tabla de eventos proporcionada por el OTDR el fin de fibra se localizó a una distancia de 43.200 kilómetros.</p> <p>El nivel de pérdida en dB/km a una la longitud de onda de 1310 <i>nm</i> fue de 0.345, valor que se encuentra dentro del rango recomendado por la ITU-T. Sin embargo, para la longitud de onda de 1550 <i>nm</i> , el valor de la pérdida en dB/km registrado fue de 0.363 , el cual se encuentra fuera del rango recomendado por la ITU-T. Esto es debido a que los empalmes y los acoplamientos mecánicos que se encuentran a lo largo del enlace presentan pérdidas muy elevadas. Los eventos no reflexivos identificados por el OTDR presentan niveles de pérdida superiores a los 0.02 <i>dB</i>. Se recomienda al operador volver a realizar todos los empalmes que se encuentran a lo largo del enlace con empalmadoras de fusión que utilicen el método de alineación por núcleo las cuales proveen pérdidas menores a los 0.02 <i>dB</i>. Por otro lado, el evento reflexivo ubicado en kilómetro 37.44 registró un valor de pérdida superior a 1 <i>dB</i> por lo que es necesario verificar el estado de los conectores en ese punto con ayuda de una punta de inspección. Si después de realizar la limpieza adecuada a los conectores el nivel de pérdida sigue siendo el mismo, será necesario sustituir los conectores o el acoplador mecánico.</p> <p>Al realizar el análisis de pérdida para ambas longitudes de onda se encontró que a una distancia de 30.74 <i>km</i> se tiene una Macrocurvatura (doblez) en el enlace. Los empalmes siempre presentan valores de pérdida similares para diferentes longitudes de onda, para este caso en particular a esa distancia el nivel de pérdida a 1550 <i>nm</i> es aproximadamente 4 <i>dB</i> mayor que la pérdida obtenida a 1310 <i>nm</i>. Se sugiere acudir a ese punto del enlace y encontrar la solución más adecuada para evitar el dobléz existente en la fibra.</p> <p>Analizando la gráfica de Dispersión Cromática se encontró que el coeficiente de Dispersión Cromática obtenido fue de 16.722 <i>ps/nm · km</i> con un Retardo de Grupo</p>			

Relativo (RGD) de 13968 *ps*. Se registró un valor de Dispersión Cromática de 722 *ps/nm* el cual se encuentra dentro de los niveles recomendados por la ITU-T para poder transmitir a una velocidad de 1 GbE a una longitud de 1550 *nm*. Así mismo, el porcentaje de ensanchamiento del pulso calculado en la sección 3.2.2 fue de 1.44 %, con lo cual se asegura que no existirá interferencia intersimbólica para esta misma velocidad. Es importante resaltar que conforme a la recomendación de la ITU-T el valor de Dispersión Cromática obtenido también permite transmitir a una velocidad de 10 GbE sin necesidad de utilizar compensadores de Dispersión Cromática.

La medición de Dispersión por Modos de Polarización registró un valor de coeficiente de PMD de 0.0361 *ps/√km* un valor más bajo que el que se obtuvo en el Enlace 1, por lo que es posible transmitir a una velocidad de 1 GbE según la recomendación de la ITU-T. De igual forma se recomienda al operador realizar mediciones de PMD continuamente para identificar el máximo valor en la medición de PMD y a partir de ahí tomar las medidas necesarias para hacer que este valor se encuentre dentro de las normas establecidas por la ITU-T.

4.3 Reporte de Análisis para el Enlace 3

<h1>Análisis de Enlace</h1>			
Nombre Operador en el Sitio C	Elías Luna		
Cargo	Ing. Soporte Técnico		
Hora de reporte	17:10	Fecha de reporte	07/07/16
Responsable de recepción en el Sitio D: Operador 2			
Descripción de Eventos y Recomendaciones			
<p>Para este enlace la distancia óptica registrada por el OTDR fue de 72.500 <i>km</i>.</p> <p>Para una longitud de onda de 1310 <i>nm</i> el nivel de pérdida en dB/km fue de 0.384 mientras que para 1550 <i>nm</i> fue de 0.228, ambos valores se encuentran dentro del nivel de pérdida en dB/km recomendado por la ITU-T para una fibra G.652.</p> <p>Los valores de reflectancia ubicados en los kilómetros 7.2768 y 0.1633 están fuera del rango recomendado por la ITU-T. Los valores de reflectancia altos regularmente son producidos por la suciedad existente en los conectores. El 90% de las fallas en un enlace de comunicaciones por fibra óptica es debido a la mala limpieza de los mismos. Se recomienda al operador verificar el estado de los conectores con una punta de inspección. Es recomendable que la limpieza se haga en seco (con toallas especiales que no dejen residuos) y también en húmedo (con toallas especiales que no dejen residuos humedecidas con alcohol isopropílico) para poder remover de una mejor manera las impurezas presentes en los conectores. Si después de limpiar varias veces el conector se sigue registrando un valor de reflectancia alto es recomendable reemplazar los conectores o el acoplador mecánico.</p> <p>El valor de pérdida más bajo identificado por el OTDR fue de 0.03 dB mientras que el más alto fue de 0.22 <i>dB</i>. Ambos valores de pérdida son bastante altos para una red de transporte; al igual que en los enlaces anteriores, se recomienda al operador repetir todos los empalmes existentes en el enlace, utilizando empalmadoras de fusión que cuenten con el método de alineación por núcleo para obtener pérdidas no mayores a los 0.02 <i>dB</i>.</p> <p>El valor obtenido de Dispersión Cromática para este enlace fue de 1213 <i>ps/nm</i> el cual es el adecuado para poder transmitir información a una velocidad de 1 GbE con una longitud</p>			

de onda de 1550 nm según las recomendaciones de la ITU-T. Así mismo, el porcentaje de ensanchamiento del pulso calculado en la sección 3.3.2 fue de 2.42% , con lo cual se asegura que no existirá interferencia intersimbólica para esta misma velocidad. Sin embargo, para transmitir a tasas de 10 GbE en adelante es necesario utilizar compensadores de Dispersión Cromática, para evitar un aumento en tasa de pérdida de tramas que complique la detección de los bits en el receptor. Así mismo el coeficiente de Dispersión Cromática obtenido fue de $16.735\text{ ps/nm}\cdot\text{km}$ a una longitud de onda de 1550 nm valor que se encuentra dentro del recomendado por la ITU-T.

El valor del coeficiente de Dispersión por Modos de Polarización que se obtuvo fue $0.0078\text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ valor que resultó ser mucho más bajo que en los Enlaces 1 y 2. El valor obtenido está dentro del rango recomendado por la ITU-T para poder transmitir a una velocidad de 1 GbE . Aunque el valor obtenido es bastante bajo, de igual forma se recomienda al operador realizar mediciones de PMD continuamente para identificar en qué momento se presenta el mayor valor de PMD y tomar las medidas necesarias para evitar un aumento en la tasa de pérdidas de tramas.

4.4 Reporte de Análisis para el Enlace 4

<h1>Análisis de Enlace</h1>			
Nombre Operador en el Sitio D	Elías Luna		
Cargo	Ing. Soporte Técnico		
Hora de reporte	16:00	Fecha reporte de	08/07/16
Responsable de recepción en el Sitio E: Operador 2			
Descripción de Eventos y Recomendaciones			
<p>Conforme la medición obtenida con el OTDR la distancia óptica real para este enlace fue de 61.3800 km.</p> <p>A una longitud de onda de 1310 nm el valor de la pérdida en dB/km fue de 0.386. Así mismo para una longitud de onda de 1550 nm el valor obtenido fue de 0.235 dB/km, ambos valores se encuentran dentro de los niveles recomendados por la ITU-T.</p> <p>Conforme con la tabla de eventos obtenida con el OTDR se registró solo un evento reflexivo, ubicado a una distancia de 13.17 km. El valor de reflectancia registrado para ese evento se encuentra dentro del rango recomendado por la ITU-T. Sin embargo, la pérdida obtenida en ese punto es mayor a los 0.5 dB por lo que se recomienda verificar el acoplamiento mecánico y la limpieza de los conectores.</p> <p>Para el correcto funcionamiento de una red de transporte el valor de pérdida en los empalmes de fusión no debe ser mayor a los 0.02 dB. Conforme a las mediciones obtenidas con OTDR los eventos no reflexivos presentan pérdidas mayores a los 0.05 dB. Si en algún punto del enlace existen empalmes mecánicos se recomienda sustituirlos por empalmes de fusión para que la pérdida obtenida por empalme sea baja. Si todos los empalmes fueron hechos mediante fusión, se recomienda al operador repetirlos con una empalmadora de alineamiento por núcleo que entregue pérdidas por empalme no mayores a los 0.02 dB.</p> <p>Conforme a la medición de Dispersión Cromática se obtuvo un coeficiente de CD (Chromatic Dispersion) de 16.513 ps/nm · km el cual se encuentra dentro del rango recomendado por la ITU.T para una longitud de 1550 nm. Se registró un valor de Dispersión Cromática de 1013 ps/nm el cual permite transmitir a velocidades que van de</p>			

1 GbE a 10 GbE a una longitud de 1550 nm según las recomendaciones de la ITU-T. Así mismo, el porcentaje de ensanchamiento del pulso calculado en la sección 3.4.2 fue de 2.02 %, con lo cual se asegura que no existirá interferencia intersimbólica a una velocidad de 1GbE. Si el cliente desea trabajar a velocidades mayores a 10 GbE será necesario utilizar compensadores de Dispersión Cromática para evitar el aumento de la tasa de pérdidas de tramas.

Conforme a los resultados obtenidos de Dispersión por Modos de Polarización en los demás enlaces, en este Enlace se obtuvo el valor de PMD más bajo. El valor registrado fue de $0.0043\text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ y cumple con la recomendación de la ITU-T para transmitir a una velocidad de 1 GbE sin ningún problema. Sin embargo, aunque el valor es sumamente bajo de igual manera se recomienda al operador realizar mediciones de PMD frecuentemente para saber en qué momento y bajo qué condiciones se presenta el máximo valor de PMD. Teniendo esta información se podrán tomar las medidas necesarias para mantener este valor dentro de los niveles recomendados por la ITU-T.

5 Prueba de Activación de Servicios de Transporte Gigabit Ethernet

El operador procedió a atender las recomendaciones generadas para los problemas detectados en la capa física. Para garantizar que no se tendrían problemas por esa razón. Después, el operador realizó la instalación de los equipos de red (equipos terminales) conformando una red de comunicaciones por fibra óptica. Una vez que los equipos terminales fueron instalados se llevó a cabo la activación del enlace, para ello se realizó la prueba ITU.Y.1564 sobre la red de fibra óptica, para determinar si era posible transportar diferentes tipos de servicios Ethernet conforme al acuerdo de niveles de servicio del usuario final (SLA). Como primer punto se presentan las características de la Red de Fibra Óptica conformada.

5.1 Características de la Red de Fibra Óptica

Las características más importantes de la red de fibra óptica analizada se enuncian en la tabla 5.1.




Tabla 5.1. Características de la Red de Fibra Óptica.

Tecnología de transporte utilizada.	Velocidad de transmisión	Equipos de Red Utilizados.	Sitios que conforman la Red	Distancia óptica entre Sitios.
(Asíncrona) GbEthernet	1 GbE	Switch IP-MPLS XTERNA Switch IP-MPLS ECI Switch IP-MPLS CISCO Router IP-MPLS CISCO	Cinco Sitios: Sitio A Sitio B Sitio C Sitio D Sitio E	Sitio A-Sitio B: 73.4 km Sitio B-Sitio C: 43.2 km Sitio C-Sitio D: 72.5 km Sitio D-Sitio E: 61.38 km

5.2 Acuerdo SLA establecido entre el Operador y Cliente

El acuerdo SLA (Service Level Agreement) entre el operador y el cliente contenía las características que se especifican en la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Acuerdo de Niveles de Servicio (SLA) establecido entre operador y cliente.

Clase de Servicio	 Interactive Gaming 5 Mbps 95 Mbps	 Video HD 204 Mbps	 Vo IP 0.5 Mbps 4 Mbps
CIR (Mbps) (Tráfico Verde)	95	204	4
EIR (Mbps) (Tráfico Amarillo)	5	0	0.5
Encoding	Ninguno	HDTV (MPEG 2)	VoIp G.711
Número de Canales	-	10	32




Conforme con la información contenida en la tabla 5.2 se requería transportar tres diferentes tipos de servicio sobre la Red de Fibra Óptica. Un servicio de datos dedicado para

aplicaciones de Gaming, un servicio de Vídeo de alta definición y un servicio de voz sobre IP.

Cada tipo de servicio es afectado de forma distinta por las características de red por lo que es importante verificar que cada tipo de tráfico cumple con los objetivos de rendimiento mínimos. Para lograr lo anterior se establecieron umbrales para cada tipo de servicio lo cual permitió verificar la calidad de servicio (QoS) existente en la Red de Fibra óptica. Los umbrales para cada tipo de tráfico se obtuvieron de la MEF (Metro Ethernet Forum). En este Foro Internacional se establecieron los valores máximos permitidos (umbrales) de Frame Delay o Latencia, Frame Loss o Pérdida de tramas, Frame Delay Variation o Jitter de paquetes, Available o Disponibilidad, para cada tipo de servicio, con lo cual se puede determinar si los servicios que se transportan en una red de comunicaciones son entregados con la calidad y eficiencia que el cliente requiere.

En la tabla 5.3 se muestran los umbrales correspondientes a los servicios de Gaming, Video HD y VoIp, según el Metro Ethernet en su reunión del 25 al 27 de enero de 2010 en Los Angeles California (USA) [14]. Estos valores fueron los que se utilizaron para evaluar la calidad y eficiencia de los servicios entregados al cliente.

Tabla 5.3. Umbrales permitidos para los servicios: Interactive Gaming, Video HD y VoIp según la Metro Ethernet Forum en 2010.

Parámetro	Interactive Gaming 	Video HD 	VoIP 
Frame Delay	<40 ms	< 100 ms	<350 ms
Frame Delay Variation	<10 ms	< 50 ms	<1 ms
Frame Loss	<3 %	< 0.1%	<3%
AVAIL	100 %	≥99.99%	≥99.99%

La prueba que se utilizó para validar el acuerdo SLA establecido entre operador y cliente fue la ITU-T Y.1564, ya que permite establecer umbrales para cada tipo de servicio, además de verificar los anchos de banda CIR y EIR entregados al cliente con dos pruebas: Configuración de Servicio y Prestación de Servicio.

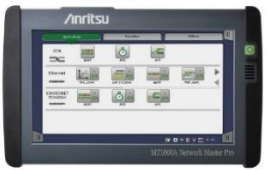

Los equipos de medición que se utilizaron para poder realizar esta prueba se presentan a continuación.

5.3 Equipos utilizados para la realizar la Prueba de Activación de Servicios

La elección de los equipos de medición para poder realizar la prueba ITU-T Y.1564 se basó en las capacidades de los equipos en cuanto a interfaces, facilidad de manejo y la portabilidad. Estas tres características son muy importantes para poder completar pruebas confiables en menos tiempo. El fabricante japonés ANRITSU tiene equipos de medición que cuentan con las tres características antes mencionadas además de ser únicas dentro del mercado de las Telecomunicaciones.

La tabla 5.4 muestra los equipos utilizados para realizar la activación de servicios en la red de fibra óptica mediante la prueba ITU-T Y.1564.

Tabla 5.4 Equipos de Medición utilizados para la Prueba de Activación de Servicios.

Fabricante	Equipo de Medición	Modelo
ANRITSU	Analizador de Tráfico Ethernet. Configuración: Equipo Local (Maestro).	Plataforma: MT1000A Módulo: MU110011A 
ANRITSU	Analizador de Tráfico Ethernet Configuración: Reflector (Loopback)	Plataforma: MT1000A  Módulo: MU110011A

5.4 Diagrama de Conexiones

Para llevar a cabo la prueba ITU-T Y.1564 en la Red de Fibra Óptica se realizaron las conexiones mostradas en la figura 5.1.

Como se puede observar la Red de Fibra óptica del operador conectó a los Sitios 1 y 2 del cliente, por lo que fue necesario verificar el acuerdo SLA para ambos sitios.

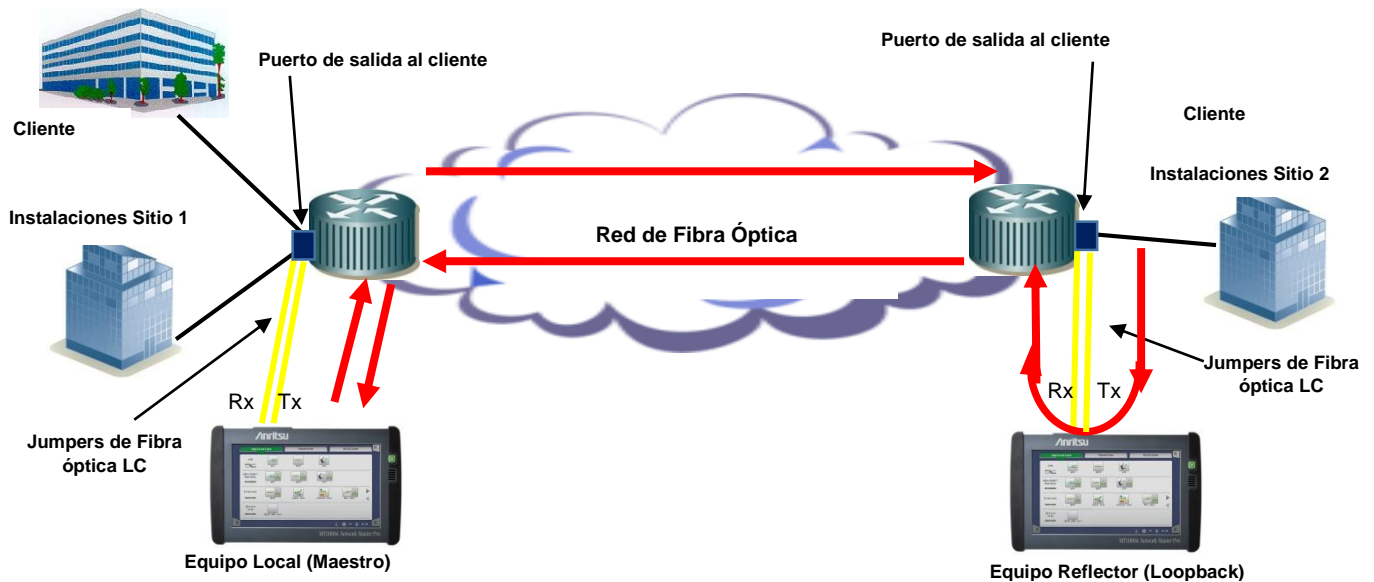


Figura 5.1. Diagrama de conexiones utilizado para realizar la activación de servicios en la Red de Fibra Óptica mediante la prueba ITU-T Y.1564.

Para lograr lo anterior se utilizó un tipo de prueba llamada "Round- Trip Test". Para realizar esta prueba es necesario tener en un sitio un equipo que funcione como Local (Maestro) y en otro sitio tener un equipo que funcione como Reflector (Loopback). El equipo Local

(Maestro) se encarga de enviar el tráfico que contiene los parámetros SLA establecidos por el cliente a la Red de Fibra óptica. Una vez que el tráfico llega al destino el equipo Reflector (Loopback) regresa el tráfico recibido al Equipo Local (Maestro) a través de la red de Fibra óptica para que este realice el análisis de resultados correspondiente. Para poder establecer comunicación entre el equipo Local y el equipo Reflector es necesario configurar en cada uno de ellos las direcciones IP correspondientes a los puntos de la Red que se desean probar.

Conforme a la figura 5.1 el equipo Local (Maestro) se colocó en el Sitio 1 del cliente mientras que el equipo Reflector (Loopback) se colocó en el Sitio 2 del cliente. Cada equipo fue conectado mediante dos Jumpers LC UPC (trazos color amarillo) al puerto de salida del cliente de cada sitio. Para ambos equipos un jumper LC UPC fue utilizado para la recepción mientras que el otro jumper LC UPC fue utilizado para la transmisión.

Para realizar la Prueba de Activación de Servicios fue necesario contar con un Ingeniero de Soporte técnico en el sitio 1 del cliente responsable de la operación del equipo Local (Maestro) y otro Ingeniero de Soporte Técnico en el sitio 2 del cliente responsable de la operación del equipo Reflector (Loopback). Una vez que los equipos fueron conectados a los puertos de salida correspondientes se llevó a cabo la configuración de equipos.

Es importante señalar que antes de realizar cualquier tipo de conexión se verificó la limpieza y calidad de los conectores que se usaron.

5.5 Configuración de equipos

La configuración de cada equipo para realizar la prueba ITU-T Y.1564 se muestra a continuación.

5.5.1 Configuración de Equipo Local (Maestro)

5.5.1.1 Configuraciones Generales para realizar la Prueba

1. **Configuración de interfaz y velocidad de transmisión:** En el menú “Port” se seleccionó la opción **SFP AUTO NEGOTIATE**, para elegir una interfaz óptica a una velocidad de transmisión de 1 GbE, como se muestra en la figura 5.2.

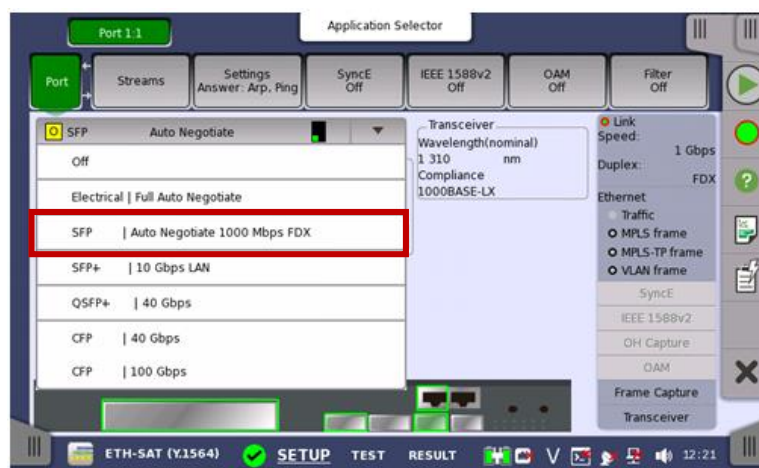


Figura 5.2. Configuración de interfaz y velocidad de transmisión para el Equipo Local (Maestro).

- Verificación de LINK y velocidad de Transmisión:** El estado de conexión (LINK) se verificó observando la parte superior derecha del menú. Cuando existe una conexión exitosa el equipo indica la velocidad de transmisión con la cual se hará la prueba, además de poner el indicador de conexión (Link) en color verde, como se muestra en la figura 5.3.



Figura 5.3. Verificación de Link y velocidad de transmisión del Equipo Local (Maestro).

- Configuración de direcciones MAC y direcciones IP.** Las direcciones MAC y las direcciones IP se configuraron en el menú “Streams”. La dirección IP destino e IP origen fueron proporcionadas por el operador de la red. Las direcciones MAC destino y MAC origen fueron establecidas por defecto por los Ingenieros de Soporte Técnico.

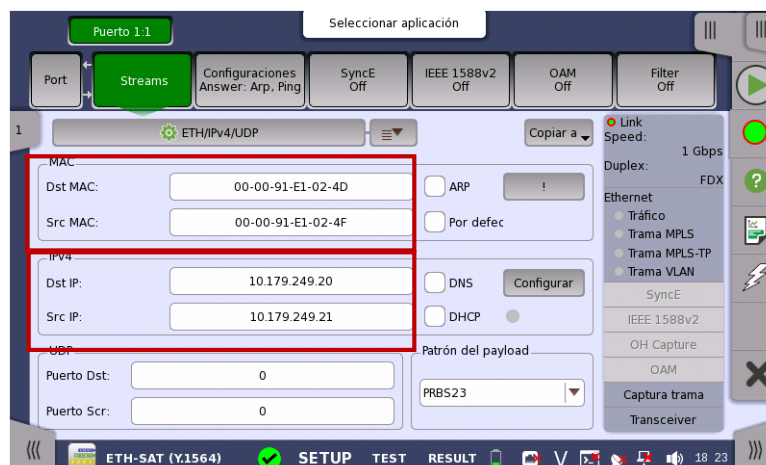


Figura 5.4. Configuración de las direcciones MAC y direcciones IP del Equipo Local (Maestro).

Debido a que la Prueba de Activación de Servicios se realizó sólo entre dos puntos fue necesario utilizar las mismas direcciones MAC y las mismas direcciones IP para cada tipo de servicio. Para lograr lo anterior se copiaron las direcciones MAC y las direcciones IP a todos los “Streams” como se muestra en la figura 5.5.

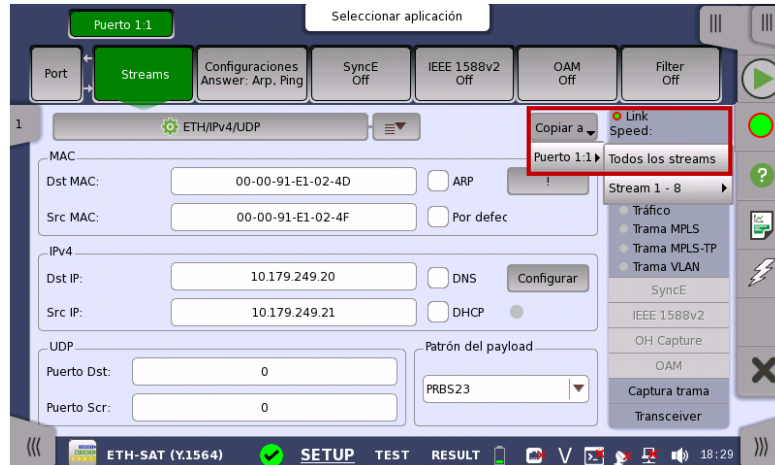


Figura 5.5. Configuración de direcciones MAC y direcciones IP para todos los servicios).

- Configuración del tipo de Prueba:** En el menú “Control” se configuró el tipo de prueba a realizar. El tipo de prueba que utiliza un Equipo Local (Maestro) y un equipo Reflector (Loopback) es el “Round-Trip Test”. La figura 5.6 muestra gráficamente este tipo de Prueba.

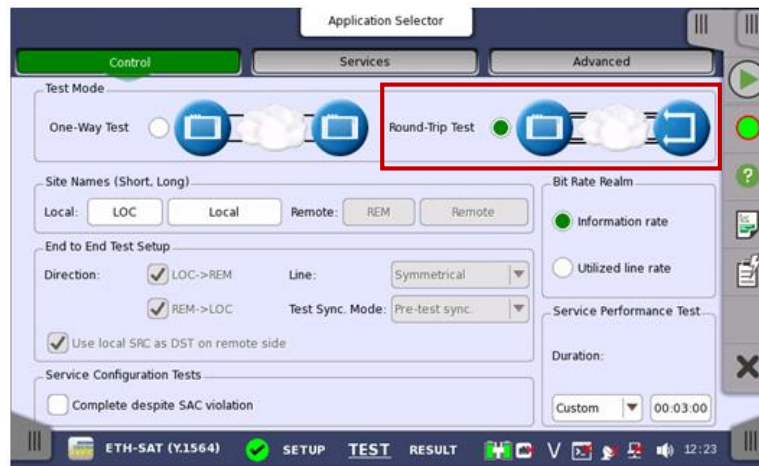


Figura 5.6. Configuración del tipo de prueba.

- Configuración del tiempo de duración de la Prueba de Prestaciones de Servicios:** Por decisión del operador de la red la Prueba de Prestaciones de Servicio fue configurada para que tuviera una duración de 3 minutos

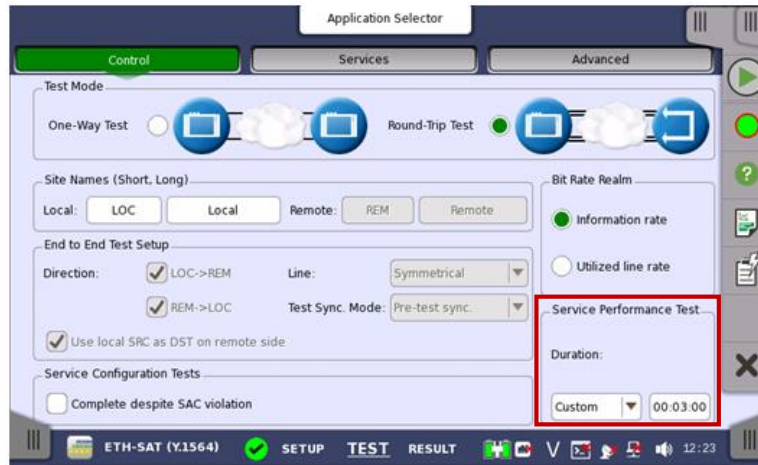


Figura 5.7. Tiempo de duración de la prueba de Prestaciones de Servicio.

5.5.1.2 Configuración de Parámetros SLA para el Servicio de Gaming Interactivo

1. **Configuración del ancho de banda garantizado (CIR) para el servicio de Gaming Interactivo:** Además de establecer el CIR en esta sección también se configuraron el número y la duración de los pasos que generaron la rampa de tráfico. La figura 5.8 ilustra la configuración del CIR y la rampa de tráfico para este servicio.

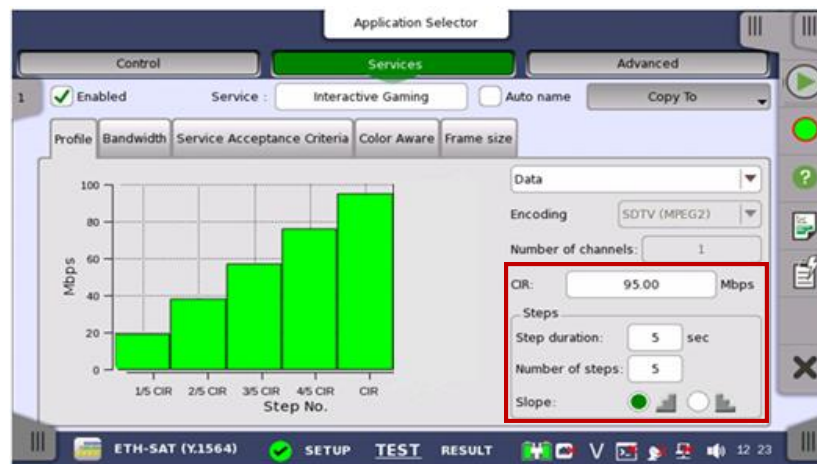


Figura 5.8. Configuración del CIR y generación de la rampa de tráfico para el servicio de Gaming Interactivo

2. **Configuración del exceso de ancho de banda entregado con el mejor esfuerzo (EIR) para el Servicio de Gaming Interactivo:** La figura 5.9 muestra la configuración realizada para establecer el EIR correspondiente.



Figura 5.9. Configuración de EIR para el servicio de Gaming Interactivo.

- Configuración del Criterio de Aceptación de Servicio (Umbrales) para el Servicio de Gaming Interactivo:** Los valores máximos permitidos de FTD, FDV, FL y AVAIL para el servicio de Gaming Interactivo según la Metro Ethernet Forum, se muestran en la figura 5.10.

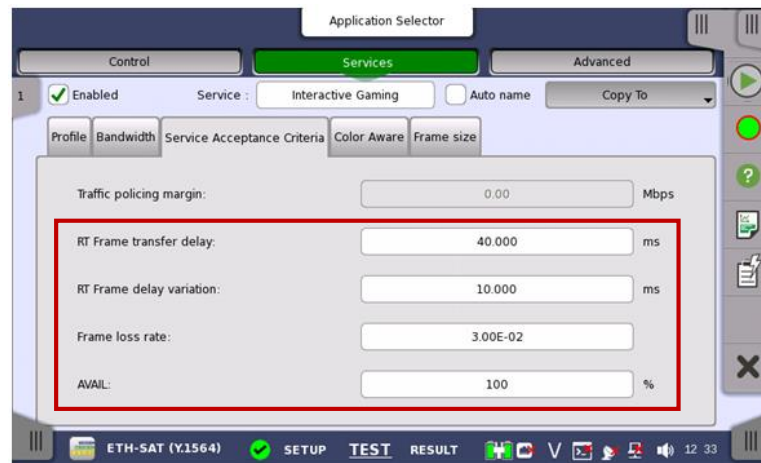


Figura 5.10. Configuración de Umbrales para el servicio de Gaming Interactivo

- Configuración del tamaño de trama para el servicio de Gaming Interactivo:** El tamaño de trama fue constante y establecido por el operador de la Red. La figura 5.11 muestra el tamaño de trama elegido.

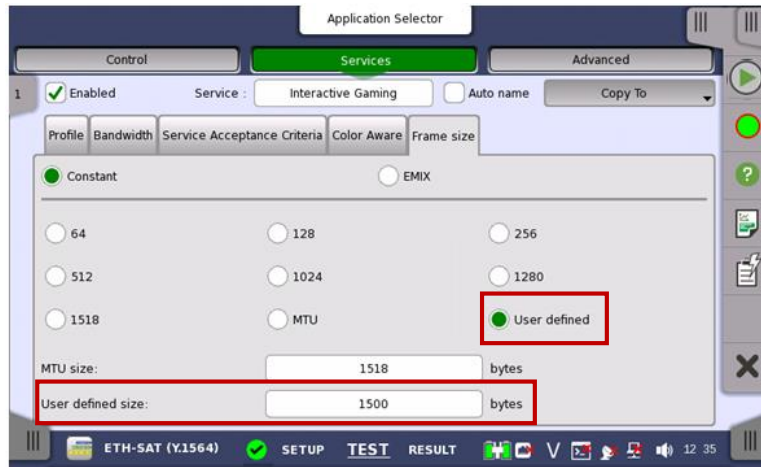


Figura 5.11. Elección del tamaño de trama para el servicio de Gaming Interactivo.

5.5.1.3 Configuración de Parámetros SLA para el Servicio de Video HD

1. **Configuración del ancho de banda garantizado (CIR) para el servicio de Video HD:** La configuración del CIR y la rampa de tráfico para este servicio se muestran en la figura 5.12. Para este servicio fue necesario configurar el tipo de Encoding y el número de canales a utilizar.

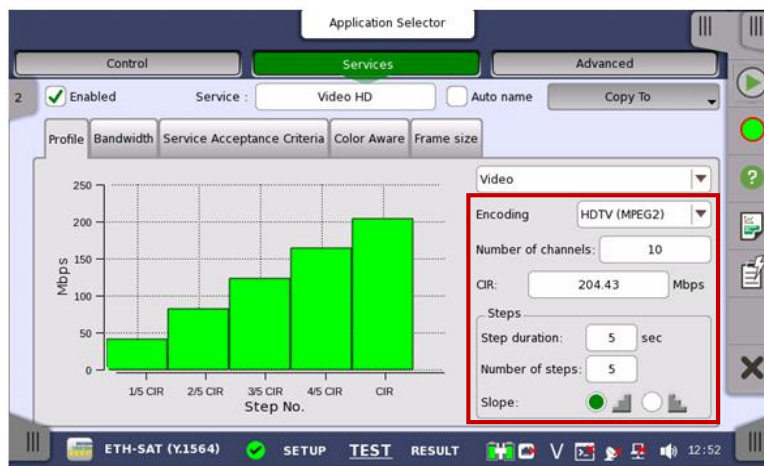


Figura 5.12. Configuración de CIR, Encoding, número de canales y generación de la rampa de tráfico para el servicio de Video HD.

Para el servicio de Video HD el cliente no solicitó al operador de la red un exceso de ancho de banda EIR, por lo que no fue configurado en el equipo.

2. **Configuración del Criterio de Aceptación de Servicio (Umbral) para el Servicio de Video HD:** Los valores máximos permitidos de FTD, FDV, FL y AVAIL para el servicio de Video HD según la Metro Ethernet Forum, se muestran en la figura 5.13.

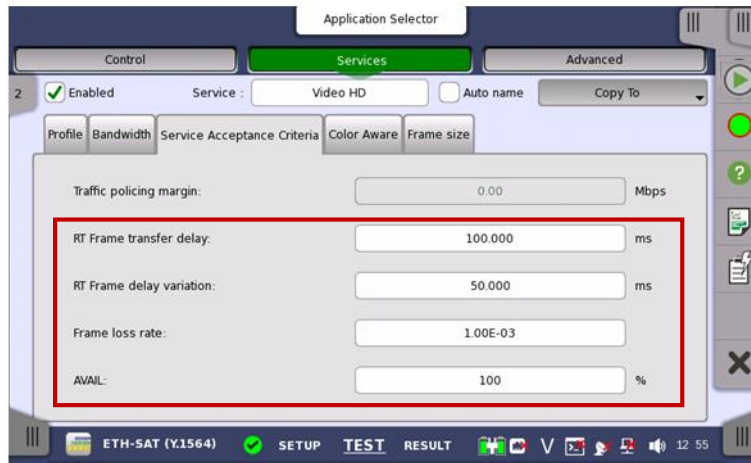


Figura 5.13. Configuración de Umbrales para el servicio de Vídeo HD.

- 3. Configuración del tamaño de trama para el servicio de Vídeo HD:** El tamaño de trama fue constante y establecido por el operador de la Red. La figura 5.14 muestra el tamaño de trama elegido.

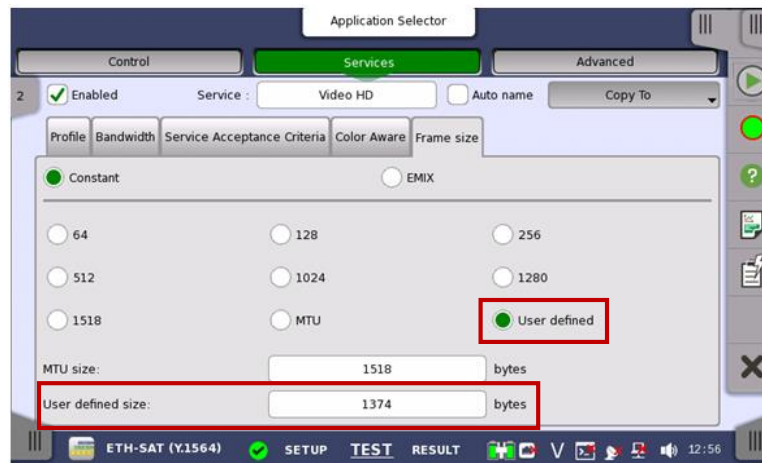


Figura 5.14. Elección del tamaño de trama para el servicio de Vídeo HD.

5.5.1.4 Configuración de Parámetros SLA para el Servicio de VoIP

- 1. Configuración del ancho de banda garantizado (CIR) para el servicio de VoIP:** La figura 5.15 muestra la rampa de tráfico y el valor del CIR configurado para el servicio de VoIP. Para este servicio también fue necesario configurar el tipo de Encoding y el número de canales a utilizar.

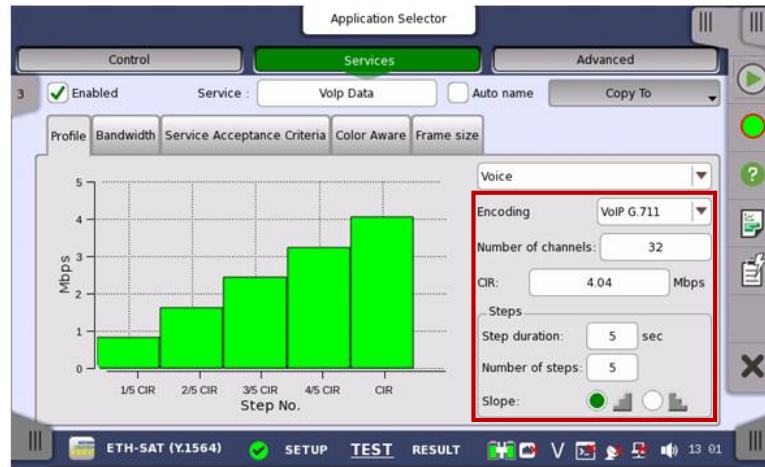


Figura 5.15. Configuración de CIR, Encoding, número de canales y generación de la rampa de tráfico para el servicio de VoIP.

- 2. Configuración del exceso de ancho de banda entregado con el mejor esfuerzo (EIR) para el Servicio de VoIP:** La figura 5.16 muestra la configuración realizada para establecer el EIR correspondiente.



Figura 5.16. Configuración de EIR para el servicio de VoIP.

- 3. Configuración del Criterio de Aceptación de Servicio (Umbral) para el Servicio de VoIP:** Los valores máximos permitidos de FTD, FDV, FL y AVAIL para el servicio de VoIP según la Metro Ethernet Forum, se muestran en la figura 5.17.

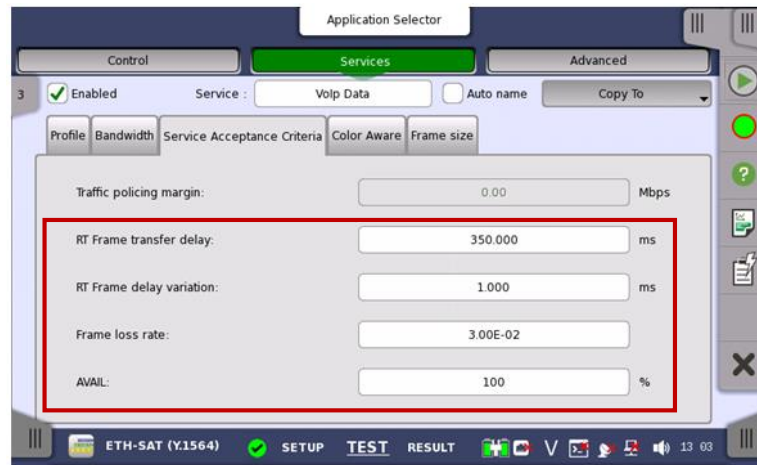


Figura 5.17. Configuración de Umbrales para el servicio de VoIP.

- 4. Configuración del tamaño de trama para el servicio de VoIP:** El tamaño de trama fue constante y establecido por el operador de la Red. La figura 5.18 muestra el tamaño de trama elegido.

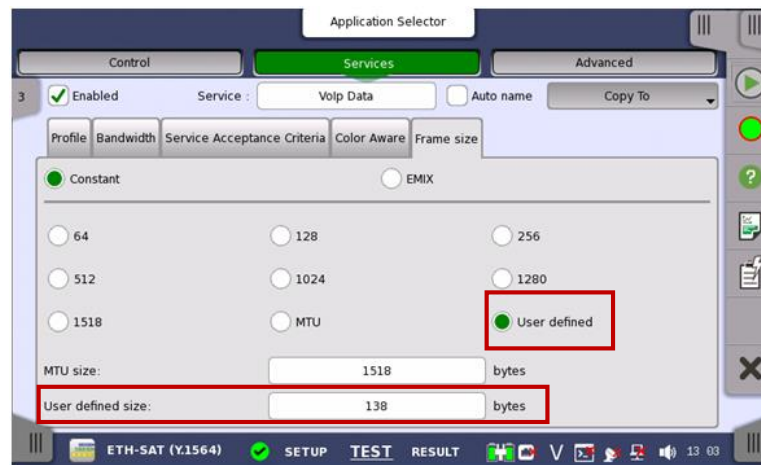


Figura 5.18. Elección del tamaño de trama para el servicio de VoIP.

5.5.2 Configuración de Equipo Reflector (Loopback)

- 1. Configuración de interfaz y velocidad de transmisión:** La interfaz y la velocidad de transmisión en el equipo Reflector deben ser las mismas que se configuraron en el equipo Local, por lo que de igual forma en el menú **“Port”** se seleccionó la opción **SFP AUTO NEGOTIATE**, para elegir una interfaz óptica a una velocidad de transmisión de 1 GbE.

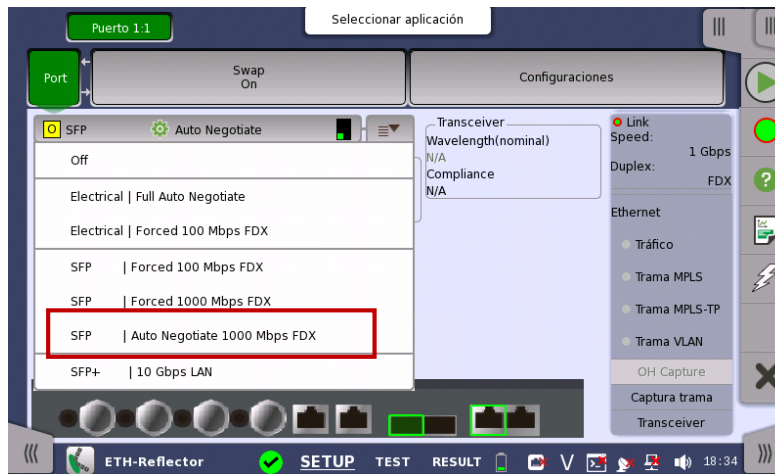


Figura 5.19. Configuración de interfaz y velocidad de transmisión para el Equipo Reflector (Loopback)

- 2. Verificación de LINK y velocidad de Transmisión:** La figura 5.20 muestra el estado de conexión (LINK) y la velocidad de transmisión para el equipo Reflector. Como se puede observar en la parte superior derecha de la imagen, el equipo se sincronizó a una velocidad de transmisión de 1 GbE. y el indicador de conexión (LINK) se puso en color verde.

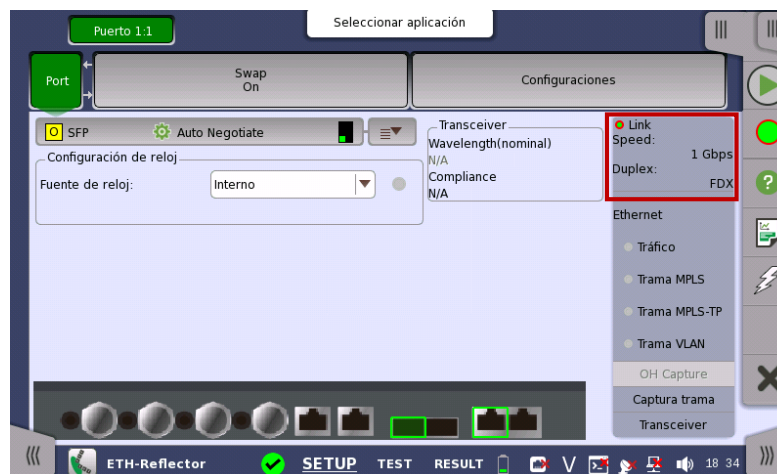


Figura 5.20. Verificación de Link y velocidad de transmisión del Equipo Reflector (Loopback)

- 3. Configuración de “Swap” (Intercambio) de direcciones MAC y direcciones IP:** Para que el equipo Reflector sea capaz de funcionar como un Loop, es necesario activar la función “**Swap**”. Al hacer esto, el equipo Reflector convierte las direcciones MAC fuente e IP fuente del Equipo Local en las direcciones MAC destino e IP destino del equipo Reflector. De esta manera, el equipo Reflector es capaz de regresar el tráfico que recibe del Equipo Local hacia el Equipo Local nuevamente. La figura 5.21 muestra la configuración de esta función.

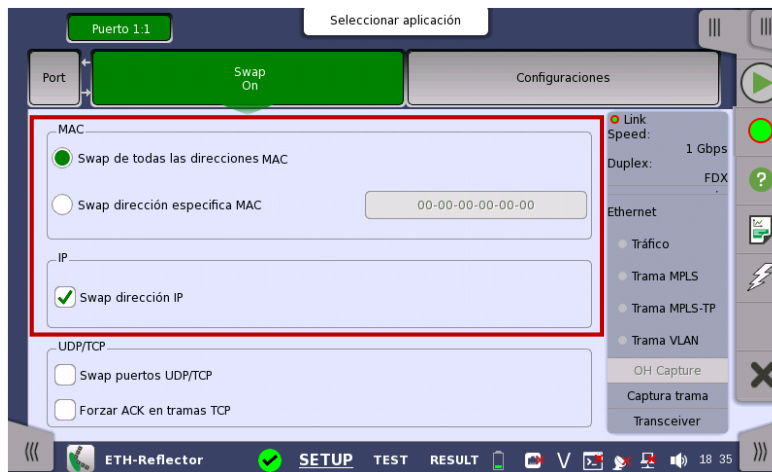


Figura 5.21. Configuración de la función Swap para las direcciones MAC y las direcciones IP.

4. **Configuración de direcciones MAC y direcciones IP:** La figura 5.22 muestra la configuración de la dirección MAC fuente e IP fuente. Al igual que en el equipo Local la dirección IP fue establecida por el operador mientras que, la dirección MAC fue elegida por default por los Ingenieros de Soporte Técnico.

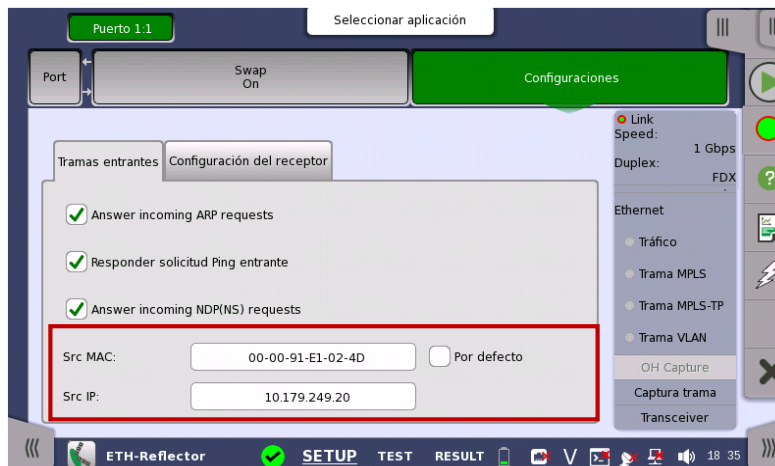


Figura 5.22. Configuraciones de direcciones MAC y direcciones IP para el equipo Reflector.

5.6 Resultados de la Prueba

Después de haber configurado el Equipo Local y el Equipo Reflector, se realizó la prueba ITU-T Y.1564 en la Red de Fibra Óptica. El registro de resultados de la prueba se efectuó en el Equipo Local. Como se explicó en el capítulo 1, la prueba ITU-T Y.1564 consta de dos fases: la Prueba de Configuración de Servicios y la Prueba de Prestaciones de Servicios, los resultados correspondientes a cada fase se muestran a continuación.

5.6.1 Resultados de las Pruebas de Configuración de Servicio

5.6.1.1 Resultados de la Prueba de Configuración de Servicio para Gaming Interactivo

La tabla 5.5 muestra los parámetros SLA obtenidos para cada nivel de CIR e EIR configurados anteriormente.

Tabla 5.5. Resultados de la prueba de Configuración de Servicio para Gaming Interactivo.

1: Interactive Gaming LOC		IR (Mbps)			FL		FTD (ms)			FDV (ms)		
Overall	Pass	Min	Mean	Max	Count	FLR	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
CIR	Pass	Duration 25 sec.										
Step 1	Pass	19.00	19.00	19.01	0	0.00E+00	0.153	0.153	0.153	0.000	0.000	0.000
Step 2	Pass	37.99	38.00	38.00	0	0.00E+00	0.153	0.153	0.153	0.000	0.000	0.000
Step 3	Pass	57.00	57.00	57.00	0	0.00E+00	0.153	0.153	0.153	0.000	0.000	0.000
Step 4	Pass	76.00	76.00	76.01	0	0.00E+00	0.153	0.153	0.153	0.000	0.000	0.000
Step 5	Pass	94.99	95.00	95.00	0	0.00E+00	0.153	0.153	0.153	0.000	0.000	0.000
EIR	Pass	Duration 5 sec.										
Total	Pass	100.00	100.00	100.01	0	0.00E+00	0.153	0.153	0.153	0.000	0.000	0.000

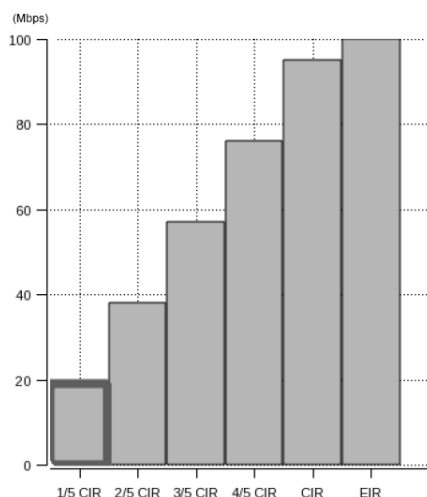


Figura 5.23. Resultados obtenidos para la rampa de tráfico del servicio de Gaming Interactivo.

Los resultados también fueron obtenidos de manera gráfica. La figura 5.23 muestra los resultados que se obtuvieron para la rampa de tráfico configurada para el servicio de Gaming Interactivo. El color verde indica que los parámetros SLA obtenidos para cada nivel de CIR e EIR no sobrepasaron los valores máximos permitidos.

5.6.1.2 Resultados de la Prueba de Configuración de Servicio para Vídeo HD

Los parámetros SLA obtenidos para cada nivel de CIR configurado anteriormente se muestran en la tabla 5.6.

Tabla 5.6. Resultados de la prueba de Configuración de Servicio para Vídeo HD.

2: Video HD LOC		IR (Mbps)			FL		FTD (ms)			FDV (ms)		
Overall	Pass	Min	Mean	Max	Count	FLR	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
CIR	Pass	Duration 25 sec.										
Step 1	Pass	40.88	40.89	40.89	0	0.00E+00	0.149	0.149	0.149	0.000	0.000	0.000
Step 2	Pass	81.77	81.77	81.78	0	0.00E+00	0.149	0.149	0.149	0.000	0.000	0.000
Step 3	Pass	122.65	122.66	122.66	0	0.00E+00	0.149	0.149	0.149	0.000	0.000	0.000
Step 4	Pass	163.54	163.54	163.55	0	0.00E+00	0.149	0.149	0.149	0.000	0.000	0.000
Step 5	Pass	204.42	204.43	204.43	0	0.00E+00	0.149	0.149	0.149	0.000	0.000	0.000
EIR	---	Duration 5 sec.										

Los resultados obtenidos para la rampa de tráfico del servicio de Vídeo HD se muestran en la figura 5.24. El color verde indica que los parámetros SLA obtenidos para cada nivel de CIR no sobrepasaron los valores máximos permitidos

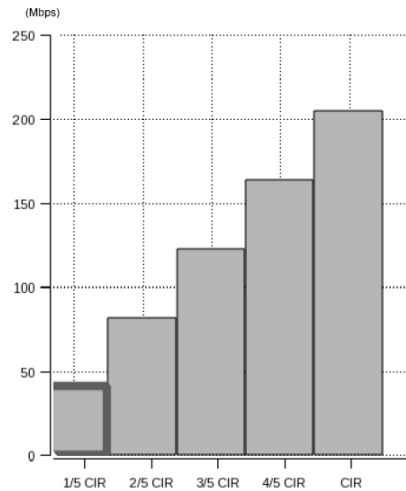


Figura 5.24. Resultados obtenidos para la rampa de tráfico del servicio de Vídeo HD.

5.6.1.3 Resultados de la Prueba de Configuración de Servicio para Voip

La tabla 5.7 muestra los parámetros SLA obtenidos para cada nivel de CIR e EIR pre-configurados.

Tabla 5.7. Resultados de la prueba de Configuración de Servicio para VoIP.

3: VoIP Data LOC		IR (Mbps)			FL		FTD (ms)			FDV (ms)		
Overall	Pass	Min	Mean	Max	Count	FLR	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
CIR	Pass	Duration 25 sec.										
Step 1	Pass	0.81	0.81	0.81	0	0.00E+00	0.109	0.109	0.109	0.000	0.000	0.000
Step 2	Pass	1.62	1.62	1.62	0	0.00E+00	0.109	0.109	0.109	0.000	0.000	0.000
Step 3	Pass	2.43	2.43	2.43	0	0.00E+00	0.109	0.109	0.109	0.000	0.000	0.000
Step 4	Pass	3.24	3.24	3.24	0	0.00E+00	0.109	0.109	0.109	0.000	0.000	0.000
Step 5	Pass	4.04	4.04	4.05	0	0.00E+00	0.109	0.109	0.109	0.000	0.000	0.000
EIR	Pass	Duration 5 sec.										
Total	Pass	4.54	4.54	4.55	0	0.00E+00	0.109	0.109	0.109	0.000	0.000	0.000

La figura 5.25 muestra los resultados que se obtuvieron para la rampa de tráfico configurada para el servicio de Voip. El color verde indica que los parámetros SLA obtenidos para cada nivel de CIR e EIR no sobrepasaron los valores máximos permitidos.

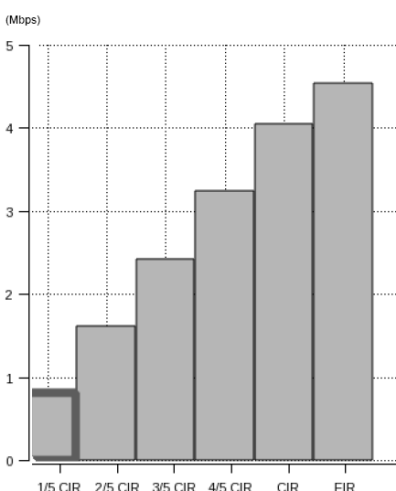


Figura 5.25. Resultados obtenidos para la rampa de tráfico del servicio de VoIP.

5.6.2 Resultados de la Prueba de Prestaciones de Servicio

La tabla 5.8 muestra los parámetros SLA y la disponibilidad obtenida para cada tipo de servicio utilizando únicamente el valor del CIR total pre-configurado para cada uno de ellos.

Tabla 5.8. Resultados de la prueba de Prestaciones de Servicio

Performance		IR (Mbps)			FL		FTD (ms)			FDV (ms)			AVAIL.	UNAV.
Local		Min	Mean	Max	Count	FLR	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	(%)	Count
Overall	Pass	Duration 180 sec.												
1: Interactive Gaming	Pass	94.99	95.00	95.00	0	0.00E+00	0.153	0.153	0.153	0.000	0.000	0.000	100.00	0
2: Video HD	Pass	204.42	204.43	204.44	0	0.00E+00	0.149	0.149	0.153	0.000	0.001	0.004	100.00	0
3: VoIP Data	Pass	4.04	4.04	4.05	0	0.00E+00	0.109	0.137	0.153	0.000	0.010	0.044	100.00	0

5.6.3 Resumen de Resultados obtenidos

En la tabla 5.9 se muestra el análisis pasa/falla para cada fase de la prueba ITU-T Y.1564. Este resumen de resultados permitió saber si las fases de la prueba ITU-T Y.1564 fueron completadas exitosamente.

Tabla 5.9. Resumen de Resultados de la Prueba ITU-T Y.1564A.

Test	Status
Configuration	PASS
1: Interactive Gaming	PASS
2: Video HD	PASS
3: VoIP Data	PASS
Performance	PASS
1: Interactive Gaming	PASS
2: Video HD	PASS
3: VoIP Data	PASS
Overall Test Result	PASS

5.6.4 Información Técnica documentada

La información sobre los equipos utilizados para realizar la prueba ITU-T Y.1564 y del responsable de la operación de los equipos se muestra en la tabla 5.10.

Tabla 5.10. Información y detalles técnicos documentados.

Report Name	SAT 1564 - Customized			
Customer	Cliente			
Project	Service Activation Test			
Operator	Elias Luna			
Notes	Servicio VoIP Data, TV HD y Gaming			
Module Type	Serial no	Performance Verification Date	Performance Verification Due Date	Software Version
MT1100A	6201462523			3.04
MU110011A	6201462573			

5.7 Análisis de Resultados de la Prueba

Para realizar el análisis de la prueba se elaboró un reporte, en el cual se explican los resultados obtenidos para cada fase de la prueba ITU-T Y.1564. En base a los resultados obtenidos se determinó si era posible transportar diferentes tipos de tráfico Ethernet conforme al acuerdo de niveles de servicio (SLA) establecido entre el operador y cliente.

En el reporte también se documentaron recomendaciones dirigidas al operador de la red para mejorar la calidad en los diferentes servicios entregados al cliente.

<h1>Análisis de la Prueba de Activación de Servicios</h1>			
Nombre Operador en el Sitio 1 del cliente	Elías Luna		
Cargo	Ing. Soporte Técnico		
Hora de reporte	10:00	Fecha de reporte	07/09/16
Responsable de recepción en el Sitio 2 del cliente: Operador 2			
Análisis y Recomendaciones			
El análisis gráfico en las Pruebas de Configuración de Servicio mostró que para cada nivel de CIR y EIR, se tienen parámetros SLA que no superan los valores máximos			

permitidos por la MEF (Metro Ethernet Forum) para poder entregar servicios Ethernert con calidad y eficiencia. Conforme al análisis estadístico ningún servicio presentó pérdida de paquetes (FL) o Jitter de paquetes (FDV). Cada tipo de servicio presentó un valor de Latencia (FTD) distinto, no obstante estos valores se encuentran dentro de los recomendados por la MEF (Metro Ethernet Forum). El análisis PASA/FALLA entregado por el equipo mostró que las Pruebas de configuración de Servicio para cada tipo de tráfico se completaron satisfactoriamente sin ningún tipo de error.

Con base a los resultados se comprobó que no existe ningún problema en la configuración de la red para transportar por medio de Ethernet los servicios de Gaming Interactivo, Vídeo HD y VoIP conforme al acuerdo SLA establecido por el cliente.

Con respecto a la Prueba de Prestaciones de Servicios el análisis estadístico demostró que para ningún tipo servicio se obtuvo pérdida de paquetes (FL). El Jitter de paquetes (FDV) fue nulo para el servicio de Gaming Interactivo, mientras que para los servicios de Vídeo HD y VoIP fue de 0.001 y 0.010 ms respectivamente. Como se puede apreciar ambos valores son muy pequeños y no superan los valores máximos permitidos por MEF (Metro Ethernet Forum). La latencia obtenida (FTD) para cada tipo de servicio fue diferente, no obstante, los valores de latencia obtenidos se encuentran dentro de los recomendados por la MEF (Metro Ethernet Forum).

La disponibilidad para todos los servicios fue del 100%, con lo cual se aseguró que la calidad de servicio para los diferentes tipos de tráfico entregados al cliente fue siempre óptima durante el tiempo en que duró la prueba. Así mismo el análisis PASA/FALLA entregado por el equipo mostró que la Prueba de Prestaciones de Servicio se completó existosamente sin ningún tipo de error.

Con base en los resultados se demostró que es posible transportar por medio de Servicios GbEthernet las clases de Gaming Interactivo, Vídeo HD y VoIP de manera simultánea conforme al acuerdo SLA establecido por el cliente.

El análisis general de la prueba ITU-T Y.1564 demostró que es posible transportar los diferentes tipos de tráfico Ethernet conforme al acuerdo de niveles de servicio SLA establecido entre el cliente y el operador a una velocidad de un 1 GbE.

Se recomienda al operador de la red, realizar la prueba ITU-T Y.1564 por un período de 24 horas para poder observar el comportamiento en cuanto a rendimiento y disponibilidad de la red cuando se tiene una gran cantidad de usuarios. De esta manera se pueden tomar medidas para poder evitar problemas de conectividad.

6 Conclusiones

Los enlaces de fibra óptica se han convertido en el medio ideal para transportar grandes cantidades de información a tasas de transmisión muy altas. El constante crecimiento de los usuarios que hacen uso de distintos servicios de comunicaciones ha llevado a tener un estricto control de calidad en estos enlaces. El presente trabajo demostró que la caracterización de un enlace de fibra óptica es algo fundamental para garantizar el transporte de diferentes servicios de comunicaciones GbEthernet.

En particular la caracterización del enlace de fibra óptica documentada en este trabajo ayudó a lo siguiente:

1. Identificar fallas que podían llegar a afectar seriamente la transmisión y recepción de información. El OTDR permitió encontrar una macrocurvatura existente en el kilómetro 30 del Enlace 2, además de identificar eventos reflexivos y no reflexivos con niveles de pérdida altos presentes en todos los enlaces de fibra óptica. Identificar estas fallas permitió recomendarle al operador de la red las soluciones más adecuadas y prácticas para resolver los problemas existentes. Las recomendaciones fueron:
 - a) Volver a realizar los empalmes que presentaban pérdidas mayores a 0.02 dB con empalmadoras de fusión que utilicen el método de alineación por núcleo.
 - b) Verificar el estado y limpieza de los conectores y acopladores mecánicos en donde los eventos reflexivos presentaban pérdidas mayores a 1 dB.
 - c) Evitar que la fibra tenga dobleces a lo largo de su trayectoria.
2. Determinar si el enlace de fibra óptica cumplía con la necesidad de velocidad de transmisión de 1 GbE contratada por el cliente conforme a las recomendaciones de ITU-T. Las mediciones de Dispersión Cromática comprobaron que todos los Enlaces de Fibra óptica podían trabajar a una velocidad de transmisión de 1 GbE sin utilizar módulos de compensación. Así mismo los enlaces no presentaron problemas de PMD (Dispersión por Modos de Polarización) por lo que se podía transmitir información a una velocidad de transmisión de 1 GbE sin tener problemas con la tasa de pérdidas de tramas.
3. Obtener una activación del Servicio a la primera, obteniendo mejores resultados en la Prueba de Activación de Servicios (ITU-T Y.1564). El operador de la red siguió las recomendaciones antes mencionadas para resolver los problemas identificados en enlace de fibra óptica, como resultado los parámetros SLA medidos (FTD, FDV, FL, AVAIL) no superaron los valores máximos recomendamos por el Metro Ethernet Forum, lo que permitió que las fases de Configuración de Servicios y Prestaciones de Servicios se completaran exitosamente.

Por otro lado el establecimiento de un Acuerdo de Niveles de Servicio (SLAs) entre clientes corporativos y operadores que proveen distintos servicios de comunicaciones son muy común en la actualidad. En un Acuerdo de Niveles de Servicio el operador de servicios se compromete a ofrecerle al cliente garantías de disponibilidad de los enlaces contratados. En caso de falla o indisponibilidad de las diferentes clases de servicios de comunicaciones hay ciertas penalizaciones que se traducen en pagar grandes cantidades de dinero. Es por eso que es de gran importancia que un operador de servicios mantenga siempre un nivel de disponibilidad del 100% en su red de transporte de diferentes clases de servicios de comunicaciones.

La Prueba de Activación de Servicios ITU-T Y.1564 realizada en el presente trabajo demostró ser la más eficiente y adecuada para evaluar el acuerdo SLA establecido entre el operador y cliente. En particular la Prueba ITU-T Y.1564 que se documentó en este trabajo ayudo a lo siguiente:

1. Determinar si la red de transporte del operador estaba configurada correctamente para transportar los servicios de comunicaciones conforme al Acuerdo de Niveles de Servicio: La fase de Configuración de Servicios de la prueba ITU-T Y.1564 demostró que la configuración de la red del operador era la adecuada para transportar las diferentes rampas de tráfico de cada tipo de servicio.
2. Evaluar la disponibilidad de cada clase de servicio de comunicaciones contratado por el cliente. La fase de Prestaciones de Servicio de la prueba ITU-T Y.1564 permitió saber si otros servicios estaban afectando a los servicios bajo prueba disminuyendo la disponibilidad de los mismos.
3. Verificar que los parámetros SLA de cada servicio se encontraran dentro de los niveles recomendados por la Metro Ethernet Forum: La Prueba ITU-T Y.1564 permite configurar umbrales PASA/FALLA para cada parámetro SLA. Esto ayudo a determinar si el rendimiento de cada clase de servicio presente en la red era el indicado.
4. Determinar si era posible transportar los servicios de Gaming Interactivo, VoIP y TV HD a una velocidad de 1 GbE conforme al Acuerdo de Niveles de Servicio: Las fases de Configuración de Servicio y Prestaciones de servicio de la prueba ITU-T Y.1564 permitieron hacer la correcta validación del Acuerdo de Niveles de Servicio establecido entre operador y cliente con la velocidad de transmisión contratada.

En general la prueba ITU-T Y.1564 mostró que la disponibilidad de la red para cada clase de servicio era del 100%, que los parámetros SLA para todos los servicios evaluados no superaban los umbrales PASA/FALLA pre-configurados y que las fases de Configuración de Servicios y Prestaciones de Servicios se completaron exitosamente.

Definitivamente, la participación en proyectos de la industria, como el de la presente tesis, muestra la forma de trabajo que desempeña un Ingeniero en Telecomunicaciones, para alcanzar un mejor desarrollo profesional.

7 Referencias

- [1] EXFO, «EXFO Telecom Test and Service Assurance,» 5 Enero 2011. [En línea]. Available: <http://www.exfo.com/es/soluciones/red-metropolitana-nucleo/bu2-transporte-ethernet/ethersam>. [Último acceso: 25 Enero 2016].
- [2] R. Ramaswami, K. N. Sivarajan y G. H. Sasaki, *Optical Networks*, Elsevier, 2010.
- [3] J. Martín Sanz, *Comunicaciones Ópticas*, Madrid: Paraninfo, 1996.
- [4] O. Maldonado, «Alma Laboratorios,» 10 Junio 2013. [En línea]. Available: <http://almalaboratorios.com/>. [Último acceso: 23 Abril 2016].
- [5] J. Capmany Franco y B. Ortega Tamarit, *Redes Ópticas*, Valencia: Limusa, 2009.
- [6] M. Bisaro y E. Danizio, «IEEE 802.3-Redes Ethernet,» 2 Noviembre 2010. [En línea]. Available: <https://definicionycableado.wikispaces.com/file/view/Historia+de+las+redes+Ethernet.pdf..> [Último acceso: 15 Marzo 2016].
- [7] CMTI, «Calidad de Servicio y Neutralidad de la red,» 14 Diciembre 2012. [En línea]. Available: www.itu.int/ITU-D/treg/bestpractices.html. [Último acceso: 16 Marzo 2016].
- [8] ITU, «Redes basadas en el protocolo Internet: Tarificación de los servicios de telecomunicaciones,» 10 Enero 2003. [En línea]. Available: <http://www.itu.int/ITU-D/finance/work-cost-tariffs/publications/ip-finalreport-sp.pdf>. [Último acceso: 16 Marzo 16].
- [9] Comarch, «SLA Monitoring,» 10 Junio 2010. [En línea]. Available: <http://www.comarch.com/telecommunications/products/sla-monitoring/>. [Último acceso: 16 Marzo 16].
- [10] ALBEDO, «Ethernet RFC-2544 explained,» 25 Abril 2013. [En línea]. Available: <http://www.albedotelecom.com/src/lib/WP-RFC2544.pdf>. [Último acceso: 22 Marzo 2016].
- [11] B. Guiguere, «RFC 2544: HOW IT HELPS QUALIFY A CARRIER; EXFO,» 2008 Abril 2008. [En línea]. Available: www.exfo.com./blog/still-testing-rfc-2544-reall.com. [Último acceso: 30 Marzo 2016].
- [12] S. Whitehead, «Testeando Ethernet con ITU Y.1564; Anritsu,» 8 Marzo 2012. [En línea]. Available: www.anritsu.redeweb.com/_txt/688/p86.pdf. [Último acceso: 30 Marzo 2016].
- [13] A. Marroquin, «Análisis del Ruido de Fase (Jitter y Wander) en Redes Síncronas SDH de Comunicaciones,» Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 2009.

- [14] K. Ko y Adtran, «Class of Service – Applications Requirements Summary,» *Metro Ethernet Forum*, p. 31, 25-28 January 2010.
- [15] ITU, «Y.1564 : Metodología de pruebas de la activación del servicio Ethernet,» 29 Febrero 2016. [En línea]. [Último acceso: 15 Octubre 2016].
- [16] ITU, «G.652 : Características de las fibras y cables ópticos monomodo,» 13 Noviembre 2009. [En línea]. [Último acceso: 3 Octubre 2016].