

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

*Trabajo de titulación previo
a la obtención del título
de Ingeniero Electrónico*

PROYECTO TÉCNICO:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE GUÍAS DE PRÁCTICAS
PARA EL MANEJO DE EQUIPOS ÓPTICOS DEL
LABORATORIO DE TELECOMUNICACIONES DE LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA”**

AUTORES:

ISMAEL SEBASTIÁN PESANTEZ ROMERO
GABRIEL ESTEBAN PULLA LOJANO

TUTOR:

ING. EDWIN JOHNATAN CORONEL GONZÁLEZ

CO TUTOR:

ING. LUIS FERNANDO GUERRERO VÁSQUEZ

CUENCA - ECUADOR

2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Ismael Sebastián Pesantez Romero con documento de identificación N° 0302222559 y Gabriel Esteban Pulla Lojano con documento de identificación N° 0105343198, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE GUÍAS DE PRÁCTICAS PARA EL MANEJO DE EQUIPOS ÓPTICOS DEL LABORATORIO DE TELECOMUNICACIONES DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Electrónico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, enero del 2020

Ismael Sebastián Pesantez Romero

C.I.: 030222559

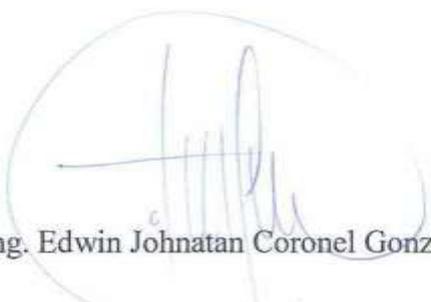
Gabriel Esteban Pulla Lojano

C.I.: 0105343198

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE GUÍAS DE PRÁCTICAS PARA EL MANEJO DE EQUIPOS ÓPTICOS DEL LABORATORIO DE TELECOMUNICACIONES DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA”**, realizado por Ismael Sebastián Pesantez Romero y Gabriel Esteban Pulla Lojano, obteniendo el *Proyecto Técnico* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, enero del 2020



Ing. Edwin Johnatan Coronel González
CI: 0301141222

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Ismael Sebastián Pesantez Romero con documento de identificación N° 03022225599 y Gabriel Esteban Pulla Lojano con documento de identificación N° 0105343198, autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE GUÍAS DE PRÁCTICAS PARA EL MANEJO DE EQUIPOS ÓPTICOS DEL LABORATORIO DE TELECOMUNICACIONES DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA”** certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, enero del 2020



Ismael Sebastián Pesantez Romero
C.I.: 0302222559



Gabriel Esteban Pulla Lojano
C.I.: 0105343198

AGRADECIMIENTOS

A Johnatan Coronel, Fernando Guerrero y Juan Inga por su apoyo en este trabajo.

Ismael Sebastián Pesantez Romero

A Johnatan Coronel, Fernando Guerrero y Juan Inga por su apoyo en este trabajo.

Gabriel Esteban Pulla Lojano

DEDICATORIAS

A mi familia.

Ismael Sebastián Pesantez Romero

A mi familia.

Gabriel Esteban Pulla Lojano

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIAS.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
RESUMEN.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	XIII
ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO.....	XIV
JUSTIFICACIÓN (IMPORTANCIA Y ALCANCES).....	XV
OBJETIVOS.....	XVI
OBJETIVO GENERAL.....	XVI
OBJETIVOS ESPECÍFICO.....	XVI
CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA O ESTADO EL ARTE.....	1
1.1 Componentes de un sistema de onda de luz.....	1
1.1.1 Transmisor óptico.....	2
1.1.2 Fibra óptica como medio de transmisión.....	2
1.1.3 Receptor óptico.....	5
1.2 Transmisión por fibra óptica.....	5
1.2.1 Técnicas de multiplexación.....	5
1.2.2 Estándares de longitud de onda.....	6
1.3 Pérdidas de fibra.....	7
1.3.1 Coeficiente de atenuación.....	7
1.3.2 Absorción de materiales.....	8
1.3.3 Retrodispersión de Rayleigh.....	8
1.4 Redes ópticas pasivas.....	10
1.3.4 Componentes generales de una red PON.....	11
1.3.5 Estándares PON.....	16
1.4.3 Arquitectura de la red de acceso local.....	16
CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS.....	19
2.1 Fusionadora.....	20
2.2 Medidor de potencia óptica.....	21
2.2.1 Operación del OPM.....	23
2.3 Fuente óptica.....	24

2.3.1	Módulo AQ2200-132	24
2.3.2	Módulo AQ2200-342	25
2.4	Analizador de espectros ópticos	26
2.5	Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo	30
2.5.1	Operación del OTDR AQ7280.....	31
2.5.2	Herramientas del OTDR AQ7280.....	32
2.6	Optical Line Terminal	40
2.6.2	Configuración de la UFiber OLT	41
2.7	Optical Network Unit	43
2.7.1	Pantalla led de la ONU NanoG	43
2.7.2	Alimentación	45
2.8	Generador de tráfico	45
2.8.1	Panel de conectores de prueba	46
2.8.2	Modo de prueba.....	48
2.8.3	Pruebas de rendimiento	48
2.8.4	Modos de operación	51
2.8.5	Configuración del conector	53
2.8.6	Generación de tráfico	53
2.8.7	Inserción de eventos	59
2.9	Atormentador de tráfico	60
2.9.1	Panel de conectores de prueba	60
2.9.2	Interfaz gráfica de usuario.....	61
2.9.3	Conexión del Net.Storm.....	62
2.9.4	Análisis de resultados.....	63
2.9.5	Inserción de eventos	64
2.10	Capturador de tráfico	67
2.10.1	Modos de operación	67
2.10.2	Análisis de resultados.....	68
CAPÍTULO 3: DESARROLLO DE PRÁCTICAS		71
3.1	Cálculos de atenuación y nivel de potencia.....	71
3.1.1	Comprobación de los niveles de potencia	74
3.2	Pruebas de reflectometría óptica	76
3.2.1	Modo simple	76
3.2.2	Modo detalle.....	78
3.2.3	Modo PON	80
3.2.4	Análisis de resultados de reflectometría óptica.....	83
3.3	Caracterización del coeficiente de atenuación respecto a la longitud de onda	
	83	
3.4	Caracterización del tipo de láser.....	87
3.4.1	Distributed Feedback Laser Diode.....	87

3.4.2	Fabry Perot Laser Diode	88
3.4.3	Análisis Espectral	91
3.4.4	Wavelength Division Multiplexing.....	92
3.5	Generación de tráfico	93
3.5.1	Generación de tramas Ethernet	95
3.5.2	Generación de paquetes IP	97
3.5.3	Análisis de resultados.....	99
3.6	Provisión de QoS basado en la verificación de parámetros SLA.....	100
3.6.1	Condiciones de evaluación.....	103
3.6.2	Análisis de resultados.....	105
3.6.3	Degradación de tráfico	108
3.6.4	Análisis de resultados con degradación	109
3.7	Configuración de una red GPON	110
3.7.1	Configuración de la OLT	111
3.7.2	Pruebas para el control de ancho de banda	116
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		119
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		122
ANEXOS		124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	<i>Componentes de un sistema de onda de luz</i>	1
Figura 1.2	<i>Componentes de un transmisor óptico</i>	2
Figura 1.3	<i>Estructura de la fibra óptica</i>	3
Figura 1.4	<i>Fibra de índice escalonado</i>	4
Figura 1.5	<i>Fibra de índice graduado</i>	4
Figura 1.6	<i>Componentes de un receptor óptico</i>	5
Figura 1.7	<i>Técnicas de multiplexación para incrementar la capacidad de transmisión de una fibra óptica (a) TDM y (b) WDM</i>	6
Figura 1.8	<i>Proceso de dispersión de la luz</i>	8
Figura 1.9	<i>Arquitectura estándar para redes PON</i>	10
Figura 1.10	<i>Técnicas TDM/TDMA</i>	11
Figura 1.11	<i>Optical Line Terminal</i>	12
Figura 1.12	<i>Optical Network Unit</i>	12
Figura 1.13	<i>Módulo transceptor SFP</i>	13
Figura 1.14	<i>Fusión por alineación de núcleo</i>	14
Figura 1.15	<i>Esquema de un conector óptico</i>	15
Figura 1.16	<i>Esquema de un divisor óptico pasivo</i>	15
Figura 1.17	<i>Arquitecturas de redes de acceso</i>	17
Figura 2.1	<i>Fusionadora FiberFox Mini 5C</i>	20
Figura 2.2	<i>Medidor de potencia óptica Prolite-63B (a) interfaces (b) pantalla</i>	22
Figura 2.3	<i>Plataforma de prueba óptica Yokogawa AQ2200</i>	24
Figura 2.4	<i>Panel Frontal Anritsu MS9740A</i>	27
Figura 2.5	<i>Pantalla de marcador de forma de onda</i>	28
Figura 2.6	<i>Pantalla de marcador de nivel</i>	29
Figura 2.7	<i>Rango de análisis limitado por marcadores de zona</i>	29
Figura 2.8	<i>Descripción del teclado e interfaces del OTDR AQ7280 (a) Panel Frontal (b) Panel Superior</i>	31
Figura 2.9	<i>Forma de onda según el tipo de evento</i>	32
Figura 2.10	<i>Métodos de estimación de pérdidas (a) LSA y (b) TPA</i>	33
Figura 2.11	<i>Método de dos puntos</i>	33
Figura 2.12	<i>Método de cuatro puntos</i>	34
Figura 2.13	<i>Método de cinco puntos</i>	34

Figura 2.14	<i>Método de seis puntos</i>	35
Figura 2.15	<i>Pantalla de configuración en modo PON</i>	38
Figura 2.16	<i>Íconos de la herramienta OTDR Smart Mapper (a) punto de inicio (b) empalme (c) splitter (d) curvatura (e) conector (f) fin de fibra</i>	39
Figura 2.17	<i>UFiber OLT</i>	40
Figura 2.18	<i>Pantalla LED ONU Nano G</i>	44
Figura 2.19	<i>Alimentación PoE de la ONU Nano G</i>	45
Figura 2.20	<i>Descripción del panel frontal del xGenius</i>	45
Figura 2.21	<i>Interfaces de conexión del xGenius</i>	46
Figura 2.22	<i>Modos de operación (a) One-Way (b) Two-way</i>	48
Figura 2.23	<i>Algoritmo de control de admisión</i>	51
Figura 2.24	<i>Perfiles de tráfico (a) Continuo (b) Periódico (c) Rampa (d) Aleatorio</i>	54
Figura 2.25	<i>Formato MPLS.</i>	57
Figura 2.26	<i>Equipo Net.Storm</i>	60
Figura 2.27	<i>Interfaces de conexión del equipo Net.Storm</i>	61
Figura 2.28	<i>Generación de deterioro bidireccional con Net.Storm</i>	62
Figura 2.29	<i>Equipo Net.Hunter</i>	67
Figura 3.1	<i>Topología de red</i>	72
Figura 3.2	<i>Estado de la férula (a) sucia (b) limpia</i>	74
Figura 3.3	<i>Diagrama de conexión en modo simple</i>	76
Figura 3.4	<i>Traza reflectométrica en modo simple</i>	77
Figura 3.5	<i>Diagrama de conexión en modo detalle</i>	78
Figura 3.6	<i>Traza reflectométrica en modo detalle</i>	80
Figura 3.7	<i>Diagrama de conexión en modo PON</i>	81
Figura 3.8	<i>Traza reflectométrica en modo PON</i>	82
Figura 3.9	<i>Pérdida de fibra dependiente de la longitud de onda</i>	84
Figura 3.10	<i>Diagrama de conexión para la caracterización del coeficiente de atenuación</i>	85
Figura 3.11	<i>Caracterización del coeficiente de atenuación respecto a la longitud de onda</i>	86
Figura 3.12	<i>Funcionamiento del ITLA</i>	87
Figura 3.13	<i>Espectro del láser DFB con longitud de onda 1550 nm láser ITLA en el generador de fuente de luz</i>	87
Figura 3.14	<i>Espectro del láser DFB con longitud de onda 1490 nm de la OLT</i>	88

Figura 3.15 <i>Filtro Fabry-Perot</i>	89
Figura 3.16 <i>Espectro del láser Fabry Perot con longitud de onda 650 nm luz visible del OTDR</i>	89
Figura 3.17 <i>Espectro del láser Fabry Perot con longitud de onda 1310 nm luz visible del OTDR</i>	90
Figura 3.18 <i>Espectro del láser Fabry Perot con longitud de onda 1550 nm del OTDR</i>	90
Figura 3.19 <i>Espectro del láser Fabry Perot con longitud de onda 1310 nm del ALBEDO xGenius</i>	91
Figura 3.20 <i>WDM test con la fuente generadora de luz</i>	93
Figura 3.21 <i>Diagrama de conexión para generación de tráfico</i>	94
Figura 3.22 <i>Estructura de trama DIX</i>	95
Figura 3.23 <i>Estructura del paquete IP</i>	97
Figura 3.24 <i>Clases de Tráfico según la ITU-T rec. Y.1541</i>	100
Figura 3.25 <i>ITU-T rec. Y.1541: requerimientos de QoS para nivel IP</i>	101
Figura 3.26 <i>Diagrama de conexión para pruebas de SLA y QoS</i>	103
Figura 3.27 <i>Paquetes capturados</i>	105
Figura 3.28 <i>Cabecera de la capa física</i>	106
Figura 3.29 <i>Cabecera de la capa de enlace</i>	106
Figura 3.30 <i>Cabecera de la capa de red (a) paquete con DSCP CS4 (b) paquete con DSCP EF</i>	107
Figura 3.31 <i>Diagrama de conexión para degradación de tráfico</i>	109
Figura 3.32 <i>Topología de red GPON</i>	111
Figura 3.33 <i>Acceder a la interfaz de configuración</i>	112
Figura 3.34 <i>Configuración de IP de administración</i>	112
Figura 3.35 <i>Configuración de puertos uplink SFP+</i>	113
Figura 3.36 <i>Configuración de un perfil en modo router</i>	114
Figura 3.37 <i>Configuración de gestión en banda</i>	114
Figura 3.38 <i>Configuración (a) Gateway (b) DNS</i>	115
Figura 3.39 <i>Lista de ONUs</i>	115
Figura 3.40 <i>Perfil de operación asignado a la ONU</i>	116
Figura 3.41 <i>Configuración del ancho de banda asimétrico (a) Configuración 10 Mbps descendente y 5 Mbps ascendente (b) Comprobación en speed Test</i>	116

Figura 3.42 <i>Configuración del ancho de banda simétrico (a) Configuración 10 Mbps descendente y 10 Mbps ascendente (b) Comprobación en speed Test</i>	117
Figura 3.43 <i>Configuración sin control de ancho de banda (a) Configuración de ancho de banda deshabilitada (b) Comprobación en speed Test</i>	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Características de los estándar BPON y GPON	16
Tabla 1.2 Descripción de escenarios FTTx	17
Tabla 2.1 Inventario de equipos ópticos del laboratorio	19
Tabla 2.2 Especificaciones técnicas FiberFox Mini 5C	21
Tabla 2.3 Especificaciones técnicas Prolite-63B	22
Tabla 2.4 Operación del Prolite-63B	23
Tabla 2.5 Especificaciones módulo AQ2200-132	24
Tabla 2.6 Especificaciones módulo AQ2200-342	25
Tabla 2.7 Especificaciones del Analizador Espectros Ópticos MS9740A	26
Tabla 2.8 Especificaciones técnicas YOKOGAWA AQ7280	30
Tabla 2.9 Configuración en modo simple	35
Tabla 2.10 Configuración de medición en modo detallado	36
Tabla 2.11 Configuración de análisis en modo detallado	37
Tabla 2.12 Configuración en modo PON	38
Tabla 2.13 Especificaciones de la UFiber OLT	40
Tabla 2.14 Especificaciones de la Ufiber ONU Nano G	43
Tabla 2.15 Pantalla LED de la Ufiber ONU Nano G	44
Tabla 2.16 Descripción de los menús del xGenius	46
Tabla 2.17 Interfaces del xGenius	46
Tabla 2.18 Objetivos RFC-2544	49
Tabla 2.19 Objetivos eSAM	49
Tabla 2.20 Modos de operación global	52
Tabla 2.21 Modos de operación individual	52
Tabla 2.22 Tipos de carga útil	54
Tabla 2.23 Configuración de la capa de enlace	55
Tabla 2.24 Configuración de la capa de red	57

Tabla 2.25 Configuración MPLS	58
Tabla 2.26 Tipos de eventos	59
Tabla 2.27 Interfaces del Net. Storm	61
Tabla 2.28 Interfaz Gráfica del Net.Sotrm	62
Tabla 2.29 Análisis de tramas del Net. Storm	63
Tabla 2.30 Descripción de eventos del Net. Sotrm	64
Tabla 2.31 Control del Ancho de Banda	65
Tabla 2.32 Modos de Duplicación de tramas	65
Tabla 2.33 Inserción de error de tramas	66
Tabla 2.34 Modos de Configuración de Delay & Jitter	66
Tabla 2.35 Modo de Operación Net.Hunter	67
Tabla 2.36 Análisis de tramas Net.Hunter	68
Tabla 3.1 Fuentes de atenuación	71
Tabla 3.2 Atenuación en sentido descendente	73
Tabla 3.3 Atenuación en sentido ascendente	73
Tabla 3.4 Potencia de salida de la OLT y del OTDR	75
Tabla 3.5 Niveles de potencia en sentido descendente	75
Tabla 3.6 Niveles de potencia en sentido ascendente	75
Tabla 3.7 Parámetros de configuración de medida modo simple	76
Tabla 3.8 Parámetros de configuración de búsqueda de evento modo simple.....	77
Tabla 3.9 Resultados modo simple	77
Tabla 3.10 Resumen del enlace modo simple.....	78
Tabla 3.11 Parámetros de configuración de medida modo detalle	78
Tabla 3.12 Parámetros de configuración de búsqueda de evento modo detalle.....	79
Tabla 3.13 Parámetros de configuración pasa/ no pasa modo detalle.....	79
Tabla 3.14 Resultados modo detalle	80
Tabla 3.15 Resumen del enlace modo detalle.....	80
Tabla 3.16 Parámetros de configuración de medida modo PON.....	81
Tabla 3.17 Parámetros de configuración de búsqueda de evento modo PON.....	81
Tabla 3.18 Parámetros de configuración pasa/ no pasa modo PON	82
Tabla 3.19 Resultados modo PON.....	82
Tabla 3.20 Resumen del enlace modo PON.....	83
Tabla 3.21 Resultados obtenidos para el coeficiente de atenuación respecto a la longitud de onda.....	85

Tabla 3.22 Resultados del ancho espectral	91
Tabla 3.23 Resultados WDM.....	93
Tabla 3.24 Métricas BERT y SLA	94
Tabla 3.25 Descripción de la estructura de trama DIX	95
Tabla 3.26 Configuración de unidad y perfil local para generación de tramas Ethernet	96
Tabla 3.27 Configuración de flujos para generación de tramas Ethernet	96
Tabla 3.28 Descripción de la estructura de trama IPv4	97
Tabla 3.29 Configuración de unidad y perfil local para generación de tramas IP	98
Tabla 3.30 Configuración de flujos para generación de tramas IP	99
Tabla 3.31 Resultados de las pruebas BERT y SLA.....	99
Tabla 3.32 Servicios de marca de clase	102
Tabla 3.33 Configuración de unidad y perfil local	102
Tabla 3.34 Configuración de flujos.....	104
Tabla 3.35 Resultados de las pruebas de SLA y QoS	108
Tabla 3.36 Configuración del Net.Storm	109
Tabla 3.37 Resultados de las pruebas de SLA y QoS con degradación.....	110

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo plantear y desarrollar guías de prácticas las cuales están orientadas en la evaluación del medio y servicios en de redes de comunicaciones por fibra óptica.

El primer capítulo está centrado en la fundamentación teórica sobre las características de los sistemas basados en onda de luz, se detallan los componentes, la transmisión y pérdida que existen en las comunicaciones por fibra óptica. Además, se realiza un análisis sobre las Redes Ópticas Pasivas (PON), se mencionan sus componentes generales, estándares y arquitecturas de acceso.

En el segundo capítulo se especifican los equipos ópticos que se encuentran en el laboratorio, se detallan las características y funcionamiento con el fin de familiarizar al usuario con una correcta operación y manipulación.

El tercer capítulo está enfocado en el desarrollo de prácticas, se realizan pruebas que permiten experimentar y obtener resultados de factores importantes en fibras ópticas como atenuación, niveles de potencia, transmisión, espectro óptico, reflectometría. Además, se lleva a cabo pruebas de networking orientadas en la evaluación de Calidad de Servicio (QoS) en redes IP basado en la verificación de parámetros de Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA).

En el cuarto capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones del trabajo realizado.

Finalmente, en los anexos, se adjunta el módulo de guías de prácticas, en los que se incluyen puntos clave de conceptos, experimentación y análisis de resultados de las pruebas realizadas en el tercer capítulo.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la gran cantidad de información que se demanda a través de internet es un factor importante para la implementación de tecnologías que permitan satisfacer los requerimientos de tener más capacidad en la red; para cumplir con este objetivo se han desarrollado las comunicaciones ópticas, las cuales prometen redes de alta velocidad pues tienen la posibilidad de transportar información a tasas de aproximadamente 1 Tb/s, por lo tanto, este enorme potencial de transferencia de datos es la fuerza impulsadora del desarrollo y despliegue mundial de los sistemas de comunicación basados en onda de luz [1].

Las redes ópticas ofrecen una infraestructura a través de la cual se pueden brindar una gran variedad de servicios, ofrecen muchas ventajas en comparación con las redes de cobre, debido a que las fibras de vidrio que se utilizan son inmunes a la interferencia electromagnética, presentan una pérdida de señal relativamente baja, alcanzan longitudes de enlace mucho mayores y pueden transportar una gran cantidad de tráfico de manera flexible, solucionando los problemas que existían con el cobre.

Las redes de acceso óptico de banda ancha son cruciales para el desarrollo actual y futuro de Internet, la continua evolución proporciona a los usuarios acceso a aplicaciones multimedia en tiempo real, esencial para tendencias emergentes como las comunicaciones de audio/video y computación en la nube que gradualmente invaden cada área de nuestras vidas, desde el hogar hasta el lugar de trabajo.

Las redes con arquitectura PON ahora son una tendencia generalizada, por lo que ha habido un cambio significativo en las redes de operadores de telecomunicaciones que migran a una infraestructura óptica, de hecho, ahora es una tecnología madura y en competencia directa con los cables de cobre.

Este trabajo presenta en un formato claro e ilustrativo los conceptos técnicos, científicos y prácticos que se necesitan para la comprensión de las comunicaciones por fibra óptica.

ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO

Las comunicaciones ópticas son, sin duda, el origen de las modernas comunicaciones de banda ancha, sin ellas, no sería viable internet, ni las comunicaciones móviles e inalámbricas tal como las conocemos y utilizamos hoy en día. El creciente desarrollo de la tecnología en este campo ha llevado a que las universidades se actualicen implementando laboratorios con equipos de última generación, con la finalidad de brindar a sus estudiantes ambientes donde puedan desarrollar habilidades que ayuden a relacionarse con el campo laboral de las telecomunicaciones.

Debido a que el laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca no cuenta con un módulo didáctico para desarrollar prácticas basadas en el manejo de equipos ópticos, consideramos oportuno plantear una solución que permita al estudiante poner en práctica sus conocimientos teóricos adquiridos.

JUSTIFICACIÓN (IMPORTANCIA Y ALCANCES)

La Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca recientemente hizo una inversión destinada para equipar la carrera de Telecomunicaciones con un moderno laboratorio con equipos de última generación para comunicaciones ópticas. Para obtener el máximo potencial del nuevo laboratorio, es necesario que exista un correcto diseño para el manejo y aplicaciones con los equipos ópticos, por lo tanto, la finalidad de este estudio es realizar un módulo de guías de prácticas que contribuya a formar profesionales con una base amplia y sólidos conocimientos científicos, tecnológicos y prácticos en redes de fibra óptica.

El presente proyecto de titulación busca solventar una necesidad en el laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana. Está dirigido a los estudiantes que, como herramienta, harán uso de las guías de prácticas documentadas como ayuda para el manejo de equipos ópticos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e implementar guías de prácticas para el manejo de equipos ópticos del laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.

OBJETIVOS ESPECÍFICO

- Determinar el funcionamiento de los equipos ópticos.
- Diseñar prácticas para el uso de los equipos ópticos.
- Emplear las prácticas dentro del laboratorio de telecomunicaciones.
- Contrastar los resultados obtenidos con la teoría.
- Estructurar el módulo de guías de prácticas para el manejo de equipos ópticos.

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA O ESTADO EL ARTE

Este capítulo está centrado en realizar una fundamentación teórica que se requiere para la comprensión de los sistemas basados en onda de luz, además se revisa las características generales de las redes PON.

1.1 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE ONDA DE LUZ

El diagrama **Figura 1.1** muestra cómo está conformado un sistema de comunicación óptica. En esta sección se discute de manera general los problemas relacionados con el transmisor óptico, el canal y el receptor óptico. De manera de proporcionar una visión introductoria sobre los sistemas de comunicación por fibra óptica.

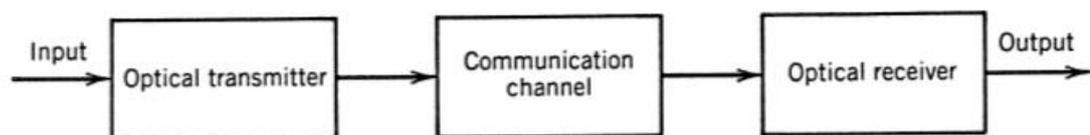


Figura 1.1 *Componentes de un sistema de onda de luz*
Fuente: *Fiber-Optic Communication System*

1.1.1 TRANSMISOR ÓPTICO

Básicamente un transmisor óptico convierte la señal eléctrica a un formato óptico. La **Figura 1.2** muestra en un diagrama de bloques sobre cómo está conformado; consiste en una fuente óptica como diodos emisores o láseres semiconductores, un modulador, el cual genera la señal óptica modulando la señal eléctrica, un acoplador que generalmente es un microlente para dirigir la señal óptica en el plano de entrada de una fibra óptica con la máxima eficiencia posible [1].

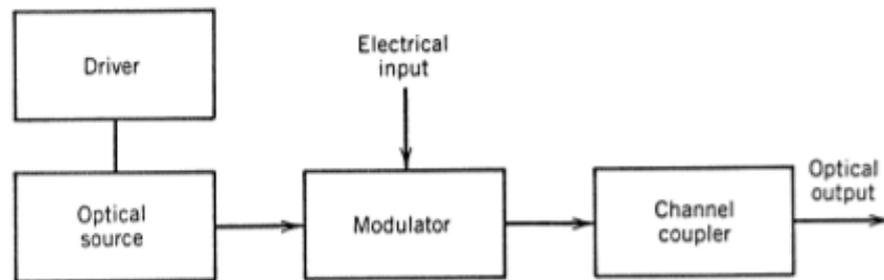


Figura 1.2 Componentes de un transmisor óptico
Fuente: *Fiber-Optic Communication System*

1.1.2 FIBRA ÓPTICA COMO MEDIO DE TRANSMISIÓN

La fibra óptica proporciona un medio por el cual se puede guiar señales de luz; consiste en una guía de onda cilíndrica hecha de materiales dieléctricos como el vidrio o el plástico, está formada por un material de núcleo interno, un material de revestimiento externo y una chaqueta de polímero para mejorar su resistencia mecánica. El núcleo y el revestimiento están diseñados para mantener la señal de luz dentro de la fibra, permitiendo que la luz se transmita a distancias considerables como extensas por lo que es ampliamente utilizada como medio de transmisión, además de su gran capacidad en ancho de banda y baja atenuación [2].

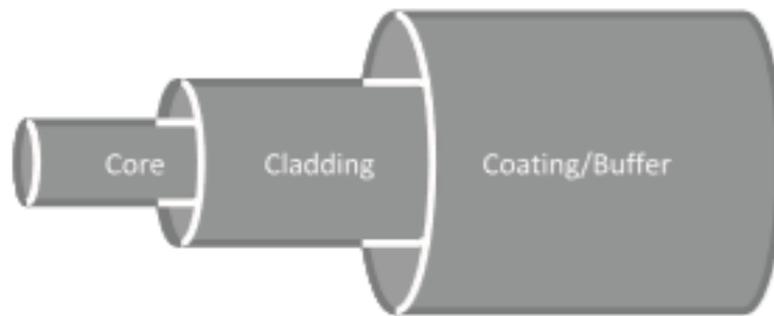


Figura 1.3 Estructura de la fibra óptica
Fuente: *Broadband Optical Access Networks*

La función que cumple la fibra óptica es la del canal de comunicación, ya que actualmente las fibras de sílice pueden transmitir luz con pérdidas muy pequeñas aproximadamente de 0.2 dB/km, sin embargo, las pérdidas por fibra son un factor importante en el diseño pues determinan la distancia máxima de alcance ya sea en redes pasivas o activas [1].

1.1.2.1 FIBRA MULTIMODO

Se utiliza para transmisión a corta distancia, se emplean comúnmente en redes de área local (oficinas, ediciones, campus). Debido a que poseen un núcleo de diámetro grande (aproximadamente $50\ \mu\text{m}$ a $85\ \mu\text{m}$), puede transportar muchos rayos de luz simultáneamente, cada uno propagándose en un ángulo diferente. La fibra óptica multimodo se clasifica por su índice de refracción, puede ser escalonado o graduado.

Las fibras ópticas de índice escalonado están constituidas por un material uniforme cuyo núcleo posee un índice de refracción constante. Un factor importante que considerar es el efecto de dispersión modal que se produce debido a que los rayos de luz viajan en diferentes caminos (zigzag o en línea recta) a lo largo de la fibra óptica, por lo que experimentan diferentes retardos en la propagación, lo que conduce a un ensanchamiento del pulso óptico provocando errores (interferencia entre símbolos) y, por lo tanto, limitando la tasa de transmisión. Este tipo de fibras pueden alcanzar velocidades de 100 Mb/s a una distancia de 1 km. Por lo tanto, las fibras multimodo de índice escalonado se utilizan para aplicaciones de baja velocidad y distancias cortas [3].

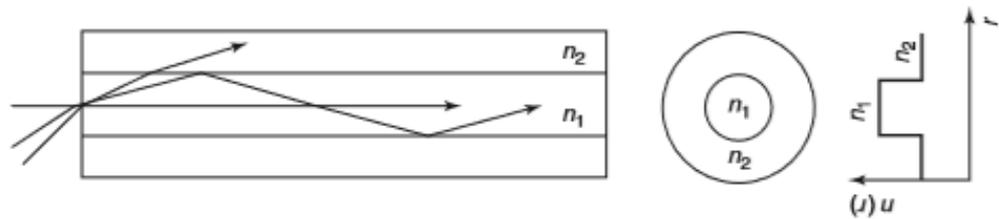


Figura 1.4 *Fibra de índice escalonado*
Fuente: *Broadband Optical Access Networks*

Las fibras ópticas de índice graduado poseen un índice de refracción que disminuye de forma progresiva desde el centro del núcleo hasta el revestimiento. Como se observa en la **Figura 1.5**, cuando la señal de luz viaja en línea recta posee la velocidad de grupo más baja, mientras que cuando viaja en zigzag posee una velocidad de grupo mayor. Por lo tanto, todos los rayos de luz al final de la fibra llegarán al mismo tiempo, minimizando el efecto de dispersión modal. En la práctica, las fibras multimodo de índice graduado pueden alcanzar velocidades de 1 Gb/s a una distancia de 10 km [3].

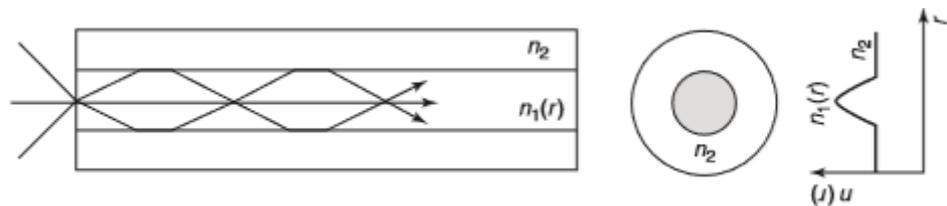


Figura 1.5 *Fibra de índice graduado*
Fuente: *Broadband Optical Access Networks*

1.1.2.2 FIBRA MONOMODO

Las fibras ópticas monomodo soportan la transmisión de un solo haz de luz, por lo que no existe el efecto de dispersión modal, debido a esto son ampliamente utilizadas en aplicaciones de alta velocidad y largas distancias; por ejemplo, las redes ópticas pasivas implementan este tipo de fibra para soportar tasas de transmisión superiores a 1Gb/s hasta 20 km de distancia [3].

1.1.3 RECEPTOR ÓPTICO

El receptor óptico convierte la señal óptica recibida a un formato eléctrico. La **Figura 1.6** muestra en un diagrama de bloques como está compuesto un receptor óptico; consiste en un acoplador de canal para enfocar la señal óptica hacia el fotodetector (generalmente fotodiodos), luego la señal pasa hacia el demodulador que mediante un circuito de decisión identifica los bits como 1 o 0, basándose generalmente en la amplitud de la señal eléctrica [1].

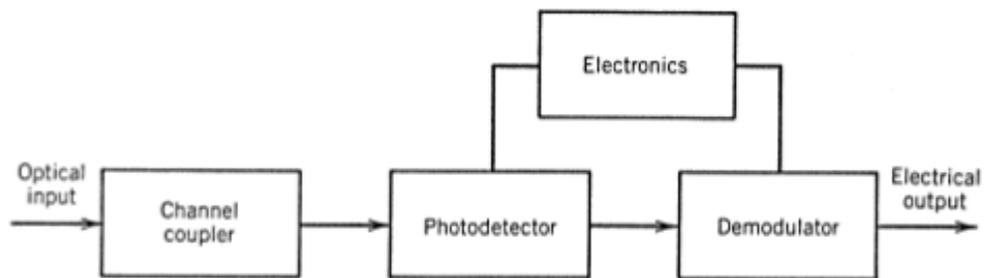
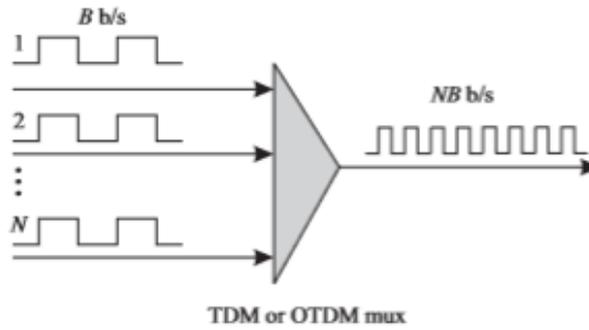


Figura 1.6 Componentes de un receptor óptico
Fuente: *Fiber-Optic Communication System*

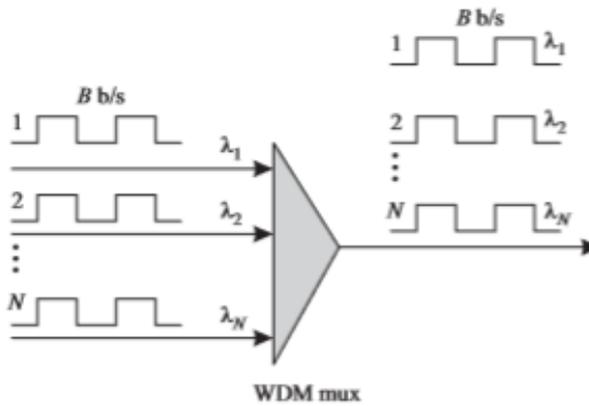
1.2 TRANSMISIÓN POR FIBRA ÓPTICA

1.2.1 TÉCNICAS DE MULTIPLEXACIÓN

La multiplexación se realiza para aumentar la capacidad de transmisión de una fibra óptica; actualmente se utiliza la Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM) y la Multiplexación por División de Tiempo. WDM es básicamente transmitir datos simultáneamente a través de múltiples longitudes de onda de portadora, siendo equivalente a la Multiplexación por División de Frecuencia (FDM). El concepto de TDM es que los suscriptores compartan la misma portadora en tiempos no superpuestos (slots). Por lo tanto, la combinación de WDM con TDM proporcionan una manera de incrementar la capacidad de transmisión en las comunicaciones por fibra óptica.



(a)



(b)

Figura 1.7 Técnicas de multiplexación para incrementar la capacidad de transmisión de una fibra óptica (a) TDM y (b) WDM

Fuente: *Optical Networks a Practical Perspective*

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), en la recomendación ITU-T G.671 define tres categorías de sistemas WDM:

- WDM Grueso (CWDM).
- WDM Denso (DWDM).
- WDM Ancho (WWDM).

1.2.2 ESTÁNDARES DE LONGITUD DE ONDA

La longitud de onda está relacionada con la frecuencia mediante la ecuación

$$c = f\lambda \quad \text{Ecuación 1.1}$$

donde c es la velocidad de la luz en el espacio libre ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$). La velocidad de la luz en la fibra es menor que la del espacio libre (cercana a $2 \times 10^8 \text{ m/s}$). Entonces

para caracterizar una señal WDM, se utiliza la frecuencia o la longitud de onda. La longitud de onda se mide en unidades de nanómetros (nm) o micrómetros (μm). La frecuencia se mide en unidades de Hertz (Hz), en las comunicaciones ópticas están en el orden de los Terahertz.

Las longitudes de onda de interés en las comunicaciones por fibra óptica están centradas alrededor de 0.8, 1.3 y 1.55 μm . La elección del rango de longitud de onda de operación depende de varios factores como tipo de fibra, características del transmisor, el rango de atenuación y la dispersión óptica.

En las recomendaciones ITU-T G.957, las siguientes bandas están definidas para la operación de sistemas monomodo [4]:

- “Original” O-band, 1260 nm hasta 1360 nm.
- “Extended” E-band, 1530 nm hasta 1565 nm.
- “Short wavelength” S-band, 1460 nm hasta 1530 nm.
- “Long wavelength” L-band, 1565 nm hasta 1625 nm.
- “Ultra-long wavelength” U-band, 1625 nm hasta 1675 nm.

1.3 PÉRDIDAS DE FIBRA

Las pérdidas en la fibra óptica representan un factor limitante porque reducen la potencia de la señal que llega al receptor, ya que estos necesitan una cierta cantidad mínima de energía para recuperar la señal con precisión.

1.3.1 COEFICIENTE DE ATENUACIÓN

Los cambios en la potencia óptica promedio P de un flujo de bits que se propaga dentro de una fibra óptica, se rige por la ley de Beer:

$$\frac{dP}{dz} = -\alpha P \quad \text{Ecuación 1.2}$$

Donde α es el coeficiente de atenuación. Si la potencia de ingreso P_{in} es la potencia lanzada en el extremo de la entrada de la fibra de longitud L , la potencia de salida P_{out} viene dado por:

$$P_{out} = P_{in}e^{(-\alpha L)} \quad \text{Ecuación 1.3}$$

La unidad de α está dada por dB/km, utilizando la siguiente relación tenemos:

$$\alpha \left(\frac{dB}{km} \right) = -\frac{10}{L} \log_{10} \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \approx 4.343\alpha \quad \text{Ecuación 1.4}$$

1.3.2 ABSORCIÓN DE MATERIALES

Las pérdidas por absorción de materiales se pueden dividir en 2 categorías, en pérdidas por absorción intrínseca el cual corresponde a la absorción por la sílice fundida y las pérdidas por absorción extrínseca que está relacionada con las pérdidas causadas por las impurezas dentro de la sílice.

La fibra óptica comúnmente está formada por sílice, cualquier material absorbe a ciertas longitudes de onda correspondientes a las resonancias electrónicas y vibracionales asociadas con moléculas específicas. Para las moléculas de Sílice, las resonancias electrónicas ocurren en la región ultravioleta ($\lambda < 0.4 \mu m$), las resonancias vibracionales ocurren en la región infrarroja ($\lambda > 0.4 \mu m$).

Las pérdidas por la absorción extrínseca se deben a la presencia de impurezas, la principal fuente de absorción en las fibras sílice de vanguardia es la presencia de vapores de agua. Los tonos armónicos y combinados con sílice producen una absorción en las longitudes de onda de $1.39 \mu m$, $1.24 \mu m$ y $0.95 \mu m$.

1.3.3 RETRODISPERSIÓN DE RAYLEIGH

El fenómeno de retrodispersión de Rayleigh tiene lugar en los medios transparentes a causa de ciertas carencias puntuales de homogeneidad que se hallan distribuidas aleatoriamente; en estos puntos o centros dispersores, se produce una variación local del índice de refracción; cuando la luz propagándose a través del medio se encuentra con uno de estos centros, es dispersada en múltiples direcciones [5].

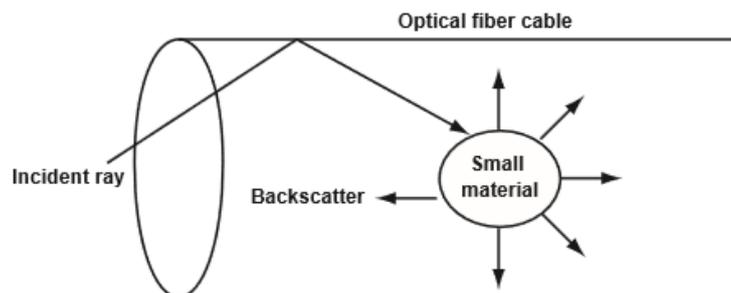


Figura 1.8 *Proceso de dispersión de la luz*

Fuente: *Comunicaciones Ópticas conceptos esenciales y resolución de ejercicios*

En las fibras ópticas, los centros de dispersión se producen durante la fabricación y tienen dos importantes repercusiones:

- La señal es atenuada, siendo la constante de atenuación dependiente de la longitud de onda.

$$\alpha_d = \frac{A}{\lambda^4} \left[\frac{dB}{km} \right] \quad \text{Ecuación 5.5}$$

Donde A es el coeficiente de dispersión de Rayleigh. Para un grupo de partículas es el número de partículas por unidad de volumen N veces la sección transversal.

- Parte de la potencia dispersada va en sentido inverso a la propagación de la señal, regresando por tanto hacia el transmisor; esta potencia retrodispersada (P_{rd}), tiene la relación de proporcionalidad con respecto a la potencia dispersada (P_d).

$$P_{rd} = P_d S \quad \text{Ecuación 6.6}$$

La constante S se denomina fracción de captura y, si bien su valor depende de la geometría de la fibra y de longitud de onda de operación, para las fibras monomodo convencionales alcanza un valor muy reducido del orden de 10^{-3} .

1.3.4 IMPERFECCIONES DE LA GUÍA DE ONDA

Las imperfecciones se presentan en la interfaz de revestimiento que traen pérdidas adicionales a la pérdida neta de la fibra, el proceso físico detrás de estas pérdidas es la dispersión de Mie que se produce debido a la falta de homogeneidad de los índices en una escala más larga que la longitud de onda. Las variaciones del núcleo de la fibra deben mantenerse por debajo del 1% y la pérdida de dispersión resultante es inferior a 0.03 dB/km.

Las curvas en la fibra constituyen otra fuente de pérdida de dispersión, la razón se da un rayo guiado golpea la interfaz de revestimiento con un ángulo mayor al ángulo crítico para experimentar la reflexión interna local, sin embargo, el ángulo disminuye cerca de una curva y llega a ser más pequeño que el ángulo crítico para las curvas cerradas; una parte de la energía del modo se dispersa en la capa de revestimiento.

1.4 REDES ÓPTICAS PASIVAS

Las redes ópticas pasivas (PON) se han desarrollado en respuesta a la demanda cada vez de mayor ancho de banda con el propósito de proporcionar servicios multimedia (voz, datos, video) de una manera más rentable, flexible y de gran capacidad.

Las PON generalmente utilizan topologías tipo árbol, hacen uso de la tecnología WDM y TDM para transmitir y recibir las señales hacia y desde los suscriptores en diferentes longitudes de onda, y en tiempos no superpuestos, optimizando la red. Los canales de subida y de bajada son transmitidos en distintas bandas: 1260 – 1310 nm para upstream y 1480 – 1500 nm para downstream [4].

Básicamente una red PON se caracteriza por el uso de componentes no activos, a excepción de los equipos a nivel de la central como la OLT (Optical Line Terminal) y a nivel de usuario ONU/ONT (Optical Network Unit/ Optical Network Terminal). Los demás componentes como divisores ópticos (splitters) y distribuidores de fibra son pasivos, la **Figura 1.9** muestra una arquitectura estándar para las redes PON.

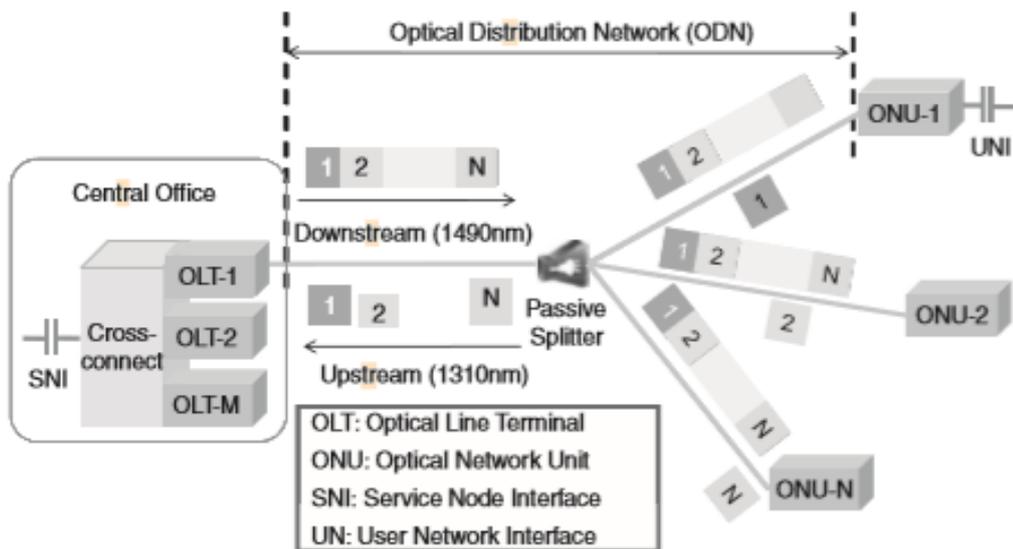


Figura 1.9 Arquitectura estándar para redes PON

Fuente: *Broadband Optical Access Networks*

La OLT y la ONU están conectadas directamente a través de un cable de fibra óptica, que pasa por una red de distribución óptica (ODN), que generalmente posee una configuración punto a multipunto haciendo uso de divisores ópticos. El canal de

bajada (desde la OLT hasta el suscriptor), la transmisión se da desde la OLT hacia cada ONU usando TDM, funciona en modo continuo. El canal de subida (desde el suscriptor hasta la OLT), el acceso se da mediante TDMA, funciona en modo de ráfaga [4].

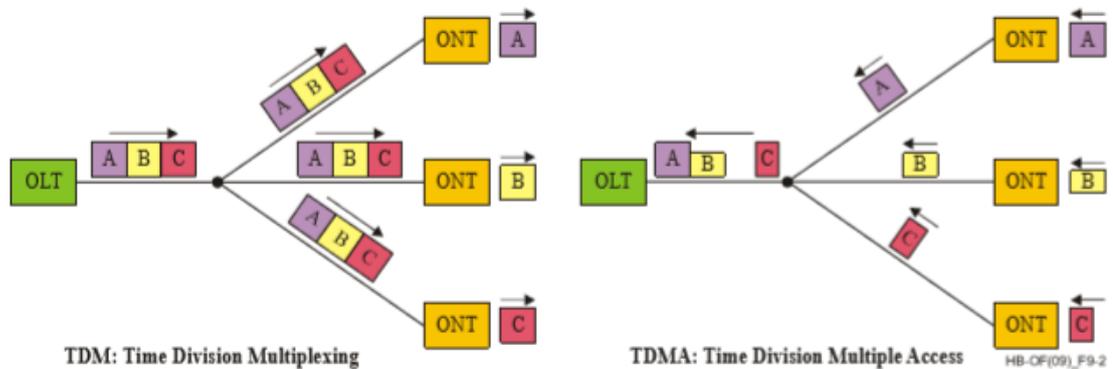


Figura 1.10 Técnicas TDM/ TDMA
Fuente: *Optical fibres, cables and systems*

1.4.1 COMPONENTES GENERALES DE UNA RED PON

1.4.1.1 OPTICAL LINE TERMINAL

La OLT se utiliza en cualquiera de los extremos de un enlace punto a punto para multiplexar y demultiplexar longitudes de onda. Se presentan 3 elementos funcionales dentro de la OLT: transpondedores, multiplexores de longitud de onda y opcionalmente amplificadores ópticos [3].

Un transpondedor adapta la señal proveniente de un cliente de la red óptica a una señal adecuada para usar dentro de la red óptica e inversamente, adapta la señal de la red óptica a una señal adecuada para el cliente. La interfaz entre el cliente y el transpondedor puede variar según la velocidad de bits, distancia, pérdidas o según el cliente; la interfaz común es SONET y se utiliza en corto alcance [3].

Las longitudes de onda generadas por el transpondedor cumplen con los estándares de la ITU, en la ventana de longitud de onda $1.55 \mu\text{m}$ y la señal de entrada de $1.3 \mu\text{m}$; agrega corrección de errores hacia adelante (FEC) para velocidades de 10 Gb/s [3].

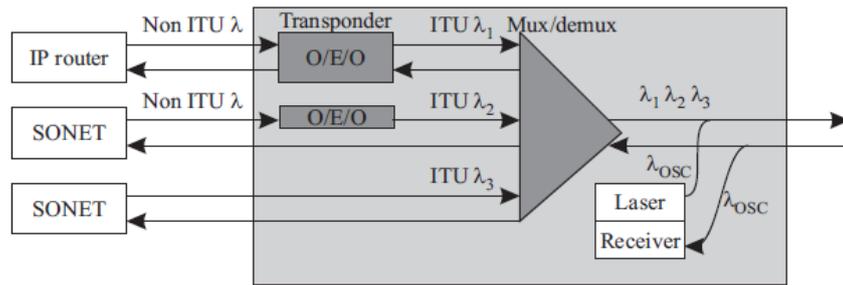


Figura 1.11 *Optical Line Terminal*

Fuente: *Optical networks, A Practical Perspective*

1.4.1.2 OPTICAL NETWORK UNIT

En la red de telecomunicaciones de fibra óptica se proporciona la unidad de red óptica (ONU) al suscriptor para terminar la línea de transmisión de fibra óptica y para proporcionar señales eléctricas. La ONU tiene la función de convertir la señal óptica a eléctrica y demultiplexar la señal eléctrica para dividir las señales de telefonía de banda base, canales de video de banda ancha, datos, etc [3].

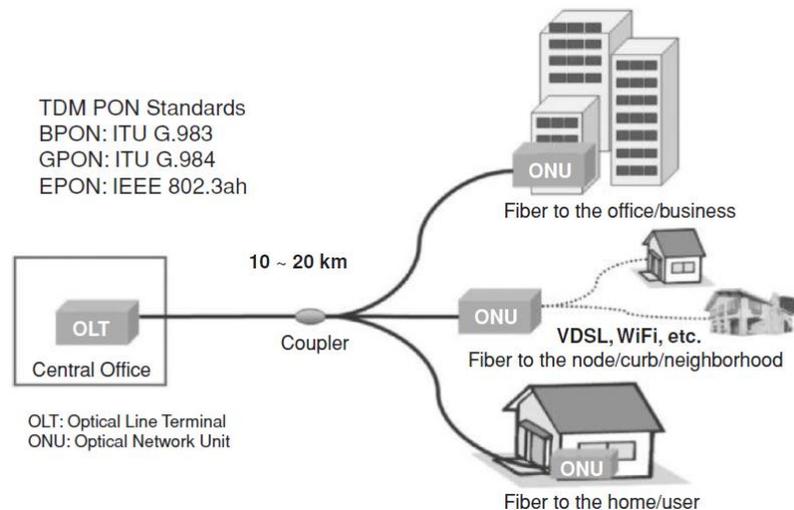


Figura 1.12 *Optical Network Unit*

Fuente: *Broadband Optical Access Network*

1.4.1.3 OPTICAL DISTRIBUTION NETWORK

La conexión entre una OLT y una ONU se denomina red de distribución óptica (ODN), las señales se envían desde y hacia diferentes ONU con una identificación única de la ONU en el encabezado de trama. Estas señales se codifican y multiplexan en diferentes formatos y esquemas según el estándar PON. Para evitar colisiones por

tramas que llegan a través de una OLT desde diferentes ONU, un protocolo de control multipunto permite que solo una ONU transmita en un momento dado [3].

1.4.1.4 TRANSCEPTORES SFP/ SFP+

Los módulos SFP son dispositivos que permiten el acoplamiento de los circuitos eléctricos con una interfaz óptica. Básicamente cumple la función de transmisor y receptor óptico, se utiliza para aplicaciones de telecomunicaciones de alta velocidad.

La diferencia entre SFP y SFP+ son las velocidades de operación, dado que SFP solo admite hasta 4.25 Gbps, se desarrolló el módulo plus que admite velocidades de datos de hasta 16 Gbps, por lo tanto, las aplicaciones y distancias de transmisión son diferentes [6].

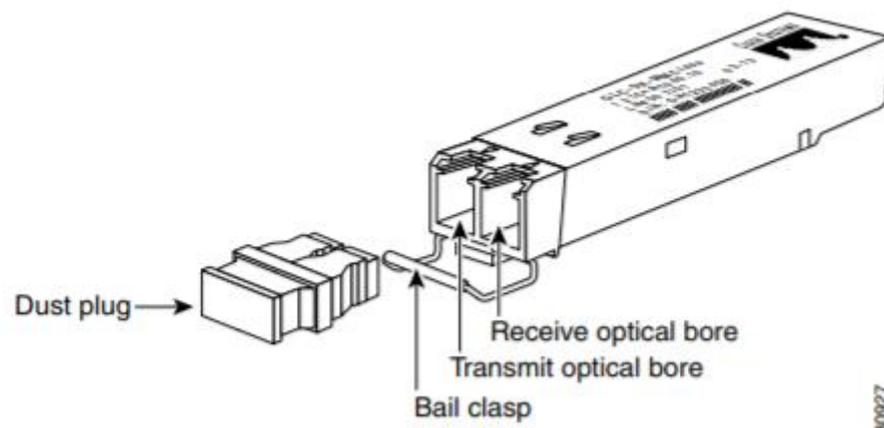


Figura 1.13 Módulo transceptor SFP
Fuente: Cisco SFP and SFP+ Transceiver Module

1.4.1.5 EMPALMES POR FIBRA ÓPTICA

Los empalmes son puntos críticos en una red de fibra óptica, pues afectan directamente a la calidad del enlace y a la vida útil de la red; un empalme debe garantizar una alta calidad (baja pérdida) y estabilidad de rendimiento (resistencia). Existen dos tecnologías para empalmes de fibra óptica, la fusión y la mecánica, la elección de cual usar depende del rendimiento funcional esperado y las condiciones de instalación y mantenimiento [4].

En la actualidad existen dos tecnologías de fusión, por alineación de núcleo y por alineación de revestimiento. La alineación de núcleo es la más utilizada debido a

su baja pérdida de empalme y por ser más flexible a variaciones en las fibras, sin embargo, posee una tecnología más costosa y compleja; emplea una combinación de sistemas de movimiento y detección de imagen y luz que “ven” los núcleos de la fibra para medir y monitorear la posición del núcleo durante el proceso de alineación [7].

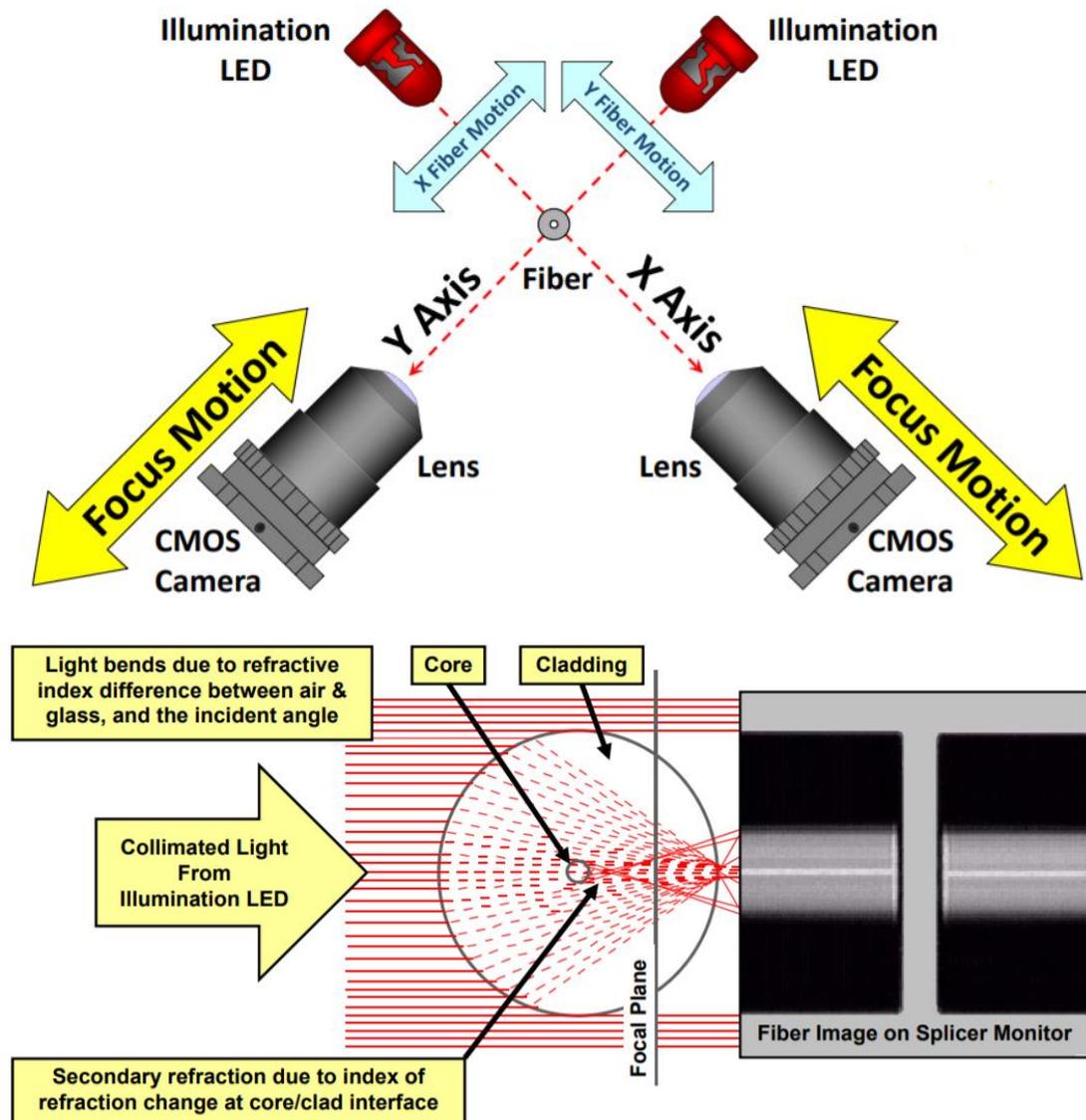


Figura 1.14 Fusión por alineación de núcleo
Fuente: *Understanding How the Appearance of Optical Fiber Splices Relates to Splice Quality*

1.4.1.6 CONECTORES

Los conectores proporcionan un método para unir los extremos de dos fibras ópticas; se utilizan en aplicaciones en las cuales es necesario tener flexibilidad y acceso rápido en términos de configuración de red. Los principales efectos de la

implementación de conectores en un enlace de fibra óptica es la atenuación de la señal transmitida, reflectancia y la reflexión de parte de la señal [4].

Los conectores se caracterizan por su tipo de pulido, los más comunes son de férula tipo APC (Angle Physical Contact), el cual está diseñado con un corte diagonal de 8 grados con la normal, lo que permite que la luz reflejada se desvíe fuera del conector, evitando el efecto de reflexión; la férula tipo UPC (Ultra Physical Contact), tiene un diseño plano que elimina el espacio de aire y fuerza a las fibras a entrar en contacto [8].

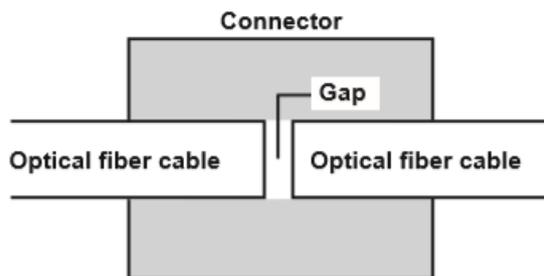


Figura 1.15 Esquema de un conector óptico
Fuente: AQ7280 OTDR User's Manual

1.4.1.7 DIVISORES ÓPTICOS

Los divisores ópticos pasivos, son componentes de ramificación óptica que posee tres o más puertos, que comparte la potencia óptica entre sus puertos de salida de una manera predeterminada, sin amplificación ni conmutación. En redes PON tienen una arquitectura punto – multipunto, son usados para conectar la OLT a varios usuarios; Generalmente poseen configuraciones de 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64 y 1:128. Los divisores ópticos PON se caracterizan por varios efectos como inserción de pérdidas, reflectancia, directividad y uniformidad [4].

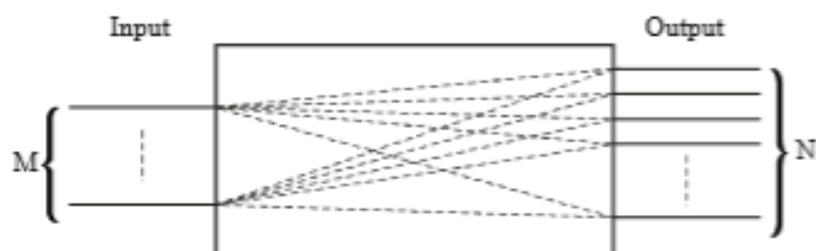


Figura 1.16 Esquema de un divisor óptico pasivo
Fuente: Optical fibres, cables and systems

1.4.2 ESTÁNDARES PON

Las redes PON están categorizadas en función de su arquitectura definida básicamente por su capa física y capacidad de transmisión. La ITU ha definido en las recomendaciones ITU-T G.983 x series para el estándar de banda ancha PON (BPON) y las recomendaciones ITU-T G.984 x-series para el estándar gigabit PON (GPON) [4].

BPON y GPON son muy similares en la capa física, las diferencias más significativas son las velocidades de operación, la relación de divisores ópticos y el alcance.

Tabla 1.1 Características de los estándar BPON y GPON [4]

	BPON		GPON	
	Downstream	Upstream	Downstream	Upstream
Velocidades de operación	622 Mbps	155 Mbps	2.488 Gbps	1.244 Gbps
Relación de divisores ópticos	1:32		1:64, soporte para 1:128	
Máximo alcance	20 km		20 m	

1.4.3 ARQUITECTURA DE LA RED DE ACCESO LOCAL

Dependiendo de las demandas, existen diferentes arquitectas de redes de acceso local. La **Figura 1.17** muestra las recomendaciones mencionadas por la ITU-T, estas representan las redes llamadas FTTx (Fiber To The x), donde “x” representa el alcance de la fibra como fibra hasta la cabina (FTTCab), fibra hasta el borde (FTTC), fibra hasta el edificio (FTTB) y fibra hasta el hogar (FTTH).

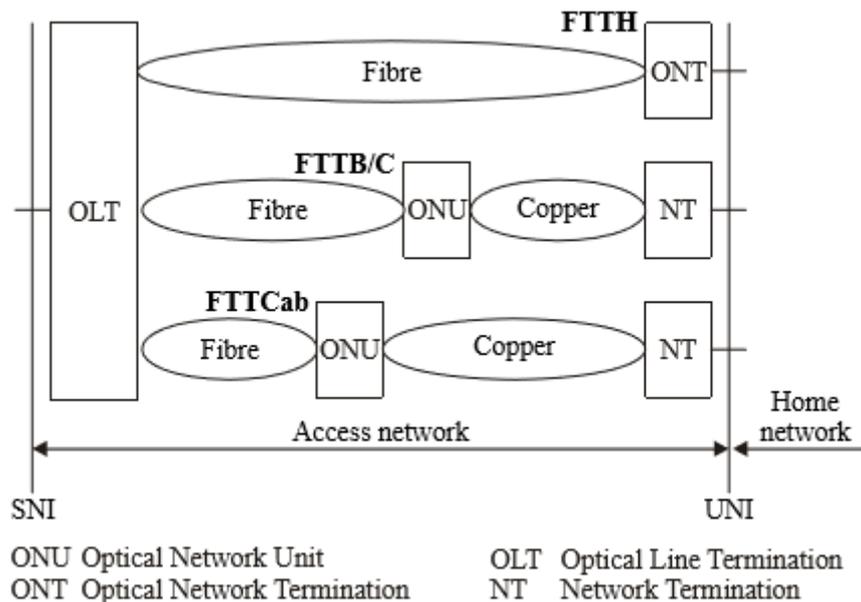


Figura 1.17 Arquitecturas de redes de acceso
 Fuente: *Optical fibres, cables and systems*

Tabla 1.2 Descripción de escenarios FTTx [4]

Denominación	Descripción	Escenarios
FTTCab	La conexión entre la OLT y la ONU es mediante fibra óptica, mientras que la conexión entre la ONU y el suscriptor se hace utilizando cables de cobre existentes en las líneas de distribución	Servicios asimétricos
FTTC		Servicios simétricos
FTTB		Red xDSL
FTTB		Para múltiples viviendas: <ul style="list-style-type: none"> • Servicios simétricos • Servicios asimétricos Para negocios: <ul style="list-style-type: none"> • Servicios simétricos • Líneas privadas
FTTH	La conexión entre la OLT y la ONU es completamente realizada por un cable de fibra óptica	Servicios simétricos Servicios asimétricos

CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS

Este capítulo está centrado en detallar las características, funcionamiento y especificaciones de los equipos ópticos que se encuentran en el laboratorio con el fin de familiarizar al usuario con una correcta operación y manipulación.

Para mayor información técnica se incluyen referencias en las que se encontrará documentación proporcionada por los fabricantes. La **Tabla 2.1** muestra un inventario de los equipos ópticos existentes con los que se realizará las guías de laboratorio.

Tabla 2.1 Inventario de equipos ópticos del laboratorio

Cantidad	Equipo	Marca	Modelo	Referencia
1	Fusionadora	FiberFox	Mini 5C	9
2	OPM	PROMAX	Prolite-63B	10
1	Fuente Óptica	YOKOGAWA	AQ2200	11
1	OSA	Anritsu	MS9740A	12
1	OTDR	YOKOGAWA	AQ7280	14
1	OLT	UBIQUITI	Ufiber OLT	15

4	ONU	UBIQUITI	Nano G	16
2	Generador de Tráfico	ALBEDO	xGenius	17
1	Atormentador de Tráfico	ALBEDO	Net.Storm	20
1	Capturador de Tráfico	ALBEDO	Net.Hunter	21

2.1 FUSIONADORA

La fusionadora Mini 5C utiliza la tecnología de alineación por núcleo, posee LEDs, lentes, cámaras de detección de luz y motores que aseguran una fusión de alta calidad, además tiene incorporado un calentador tipo horno para mejorar la resistencia mecánica de la fusión garantizando un buen rendimiento. La **Tabla 2.2** muestra las características y especificaciones técnicas.



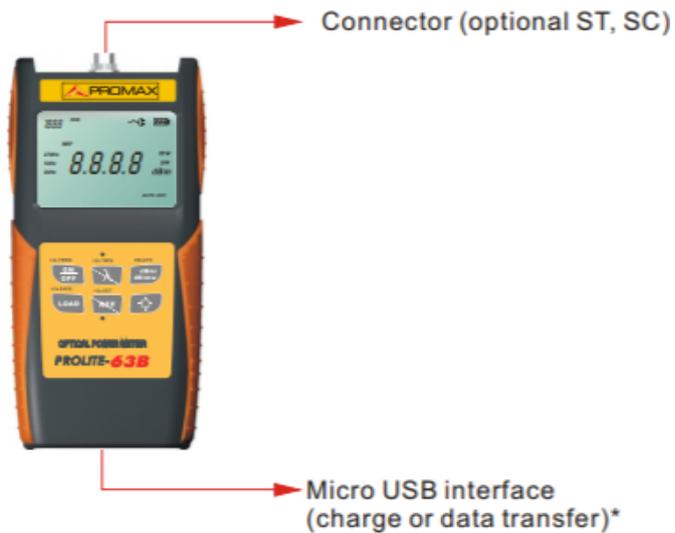
Figura 2.1 Fusionadora FiberFox Mini 5C
Fuente: FiberFox Mini 5C User Manual

Tabla 2.2 Especificaciones técnicas FiberFox Mini 5C [9]

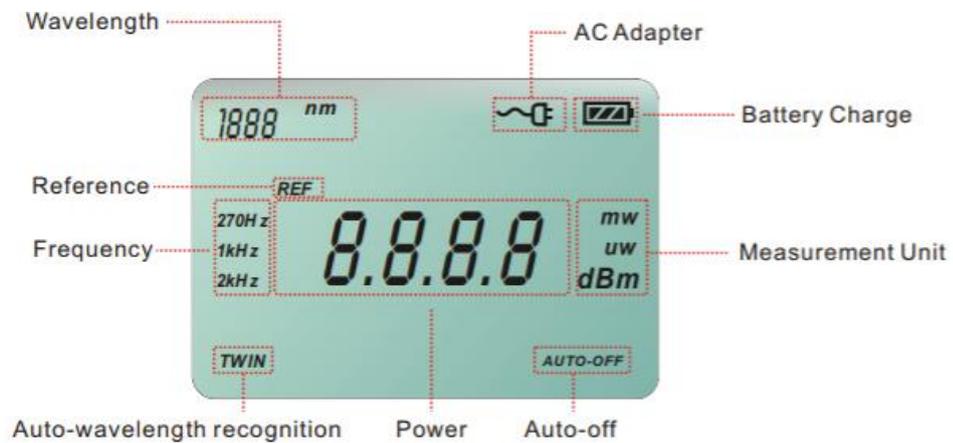
Cámara	Cámara dual de alta precisión	
Display	Pantalla LCD reforzada de 4.3'' de ancho	
Microscopio	x150: X&Y eje de doble vista	
	x300: X eje de una vista	
	x300: Y eje de una vista	
Fuente de alimentación	Entrada	AC 100 ~ 240 V
		50 ~ 60 Hz
		DC 9 ~ 14 V
	Batería de iones de litio	DC 11.1 V
Velocidad de empalme	Rápido	7 sec
	Automático	9 sec
Calentador	Tubillo aplicable	Estandarizado: 20, 25, 30, 35, 40, 60 mm
	Tiempo de calentado	8 ~ 900 sec (Típicamente: 15 sec)
Fibra aplicable	Tipo: Un solo núcleo	
	Tipos de fibra: SM (ITU-TG.652)/ DS(ITU-TG.653)/ NZDS(ITU-TG.652)/ ITU-TG.657 tipo A,B/ MM(ITU-TG.651)	
Diámetro aplicable	0.25 mm / 0.9 mm / 2.0 mm / 2.4 mm / 3.0 mm	
Perdidas por empalme	SM: 0.02 dB	
	MM: 0.01 dB	
	DS: 0.04 dB	
	NZDS: 0.04 dB	
	G.657: 0.02 dB	

2.2 MEDIDOR DE POTENCIA ÓPTICA

En un sistema de transmisión óptica medir la potencia es una forma ideal de determinar la conectividad y atenuación que se producen a lo largo del enlace. El OPM (Optical Power Meter) Prolite-63B es un medidor de potencia óptica funcional pues opera en un amplio rango de longitud de onda, la **Tabla 2.3** muestra las características técnicas del equipo.



(a)



(b)

Figura 2.2 Medidor de potencia óptica Prolite-63B (a) interfaces (b) pantalla
Fuente: Guía de usuario del Prolite-63B

Tabla 2.3 Especificaciones técnicas Prolite-63B [10]

Rango de medición (dBm)	-70 ~ +10 a 1550 nm
Rango de detección de frecuencia	-40 ~ +10 (dBm)
Rango de detección de longitud de onda	-40 ~ +10 (dBm)
Resolución	0.01
Longitud de onda (nm)	850/1300/1310/1490/1550/1625
Detector	InGaAs
Precisión	±5%
Longitud de onda operativa (nm)	800 ~ 1700
Alimentación	baterías de 1.2 V; Adaptador de CA

2.2.1 OPERACIÓN DEL OPM

El Prolite-63B posee un teclado con una amplia variedad de funciones, la **Tabla 2.4** muestra la operación que cumple cada botón del equipo. Para una correcta manipulación se describen las siguientes recomendaciones de uso del equipo.

- Configurar la longitud de onda de trabajo del enlace.
- Limpiar los conectores antes de su uso para evitar lecturas incorrectas.
- Luego del uso del equipo, cubrir el conector y guardar el equipo en su estuche.

Tabla 2.4 Operación del Prolite-63B [10]

Botón	Función
	Enciende/apaga el instrumento. Pulsación larga de 2 sec mientras se enciende el instrumento. No cuenta con función de apagado automático.
	Selecciona la longitud de onda de medición en secuencia de 850/1300/1310/1490/1550/1625 nm y para activar el reconocimiento automático de longitud de onda
	Cambia la unidad de medida entre dBm, dB y mW
	Pulsación larga durante 2 sec para almacenar el valor de prueba actual; pulsación corta de tecla para mostrar el registro.
	Pulsación corta para mostrar el nivel de referencia de la longitud de onda de prueba actual. Pulsación más prolongada para establecer un nuevo nivel de referencia de la longitud de onda de prueba actual.
	Enciende / apaga la retroiluminación

2.3 FUENTE ÓPTICA

La fuente de luz AQ2200 es una plataforma de prueba óptica conformada por dos módulos (fuente de luz y atenuadores) que permiten diseñar y experimentar mediciones con un rango dinámico de longitud de onda y potencia.



Figura 2.3 Plataforma de prueba óptica Yokogawa AQ2200

Fuente: AQ2200 Series Multi Application Test System Ideal Measurement Solution for Optical Devices and Optical Transmission Systems

2.3.1 MÓDULO AQ2200-132

Es un módulo que posee una fuente de luz sintonizable (TLS) con dos salidas que operan en la banda C y L, utiliza un láser de clase 1M tipo ITLA (Integrated Tunable Laser Assembly) lo que permite una transmisión digital óptica de elevada velocidad, la **Tabla 2.5** indica las especificaciones técnicas de este módulo.

Tabla 2.5 Especificaciones módulo AQ2200-132 [11]

Modelo	AQ2200-132
Clase	1M
Tipo de laser	ITLA
Conector	FC/APC
	Banda C (Output 1): 1527.6 nm a 1565.5 nm

Longitud de onda de operación	Banda L (Output 2): 1570.01 nm a 1608.76 nm
Potencia de salida	+ 8.2 dBm a 14.5 dBm
Modulación	CW

2.3.1.2 SEGURIDAD DEL AQ2200-132

El AQ2200-132 tiene una etiqueta de advertencia en forma triangular que indica el peligro por radiación de luz; utiliza un láser clase 1M que según la norma europea IEC60825-1: 2007, son seguros en condiciones normales, pero peligrosos si se emplean instrumentos ópticos para visión directa (binoculares, telescopios, microscopios, lupas) ya que puede causar lesiones oculares [11].

2.3.2 MÓDULO AQ2200-342

Este módulo tiene dos atenuadores ópticos variables, además posee un medidor de potencia incorporado que sirve para monitorear la salida óptica asegurando una potencia óptica constante, la **Tabla 2.6** indica las especificaciones técnicas de este equipo.

Tabla 2.6 Especificaciones módulo AQ2200-342 [11]

Modelo	AQ2200-342
Conector	FC/APC
Número de canales	2
Longitud de onda de operación	1260 nm a 1640 nm
Rango de atenuación	0 dB a 41 dB
Perdidas por inserción	1.8 dB a 2.4 dB
Máxima potencia de entrada	+ 23 dBm

2.4 ANALIZADOR DE ESPECTROS ÓPTICOS

El MS9740A es un analizador de espectros ópticos que mide la distribución de potencia de las longitudes de onda, utiliza una rejilla de difracción para analizar la luz en el rango de longitud de onda desde 600 nm a 1750 nm, también examina y mide las pérdidas de elementos pasivos, como los aisladores ópticos, amplificadores ópticos y cifra de ruido; posee como sistema operativo Windows para la gestión de datos. La indica las **Tabla 2.7** características del equipo [12].

Tabla 2.7 Especificaciones del Analizador Espectros Ópticos MS9740A [12]

Modo de Fibras	Monomodo y Multimodo entre 50/125 μm
Medición de alta velocidad con tiempo de barrido	300 ms
Alta precisión de longitud de onda	± 20 pm
Rango dinámico	42 dB y 70 dB
Alta resolución	0.03 nm
Sensibilidad Rx	-90 nm
Entrada óptica máxima	200 mW
Alimentación	120 & 240 V/ 50-60 Hz

Las aplicaciones del analizador de Espectros es la evaluación de dispositivos ópticos como diodo laser, diodos ópticos, transceptores ópticos; en dispositivos activos como los amplificadores ópticos; análisis en las perdidas en fibras ópticas, acopladores ópticos, aisladores ópticos, filtros ópticos y la monitorización del nivel de señal y longitud de onda de los circuitos de comunicaciones. Para la conexión se utiliza un patch cord de fibra óptica en la entrada, la característica de la fibra es utilizar un conector SC/UPC [12].

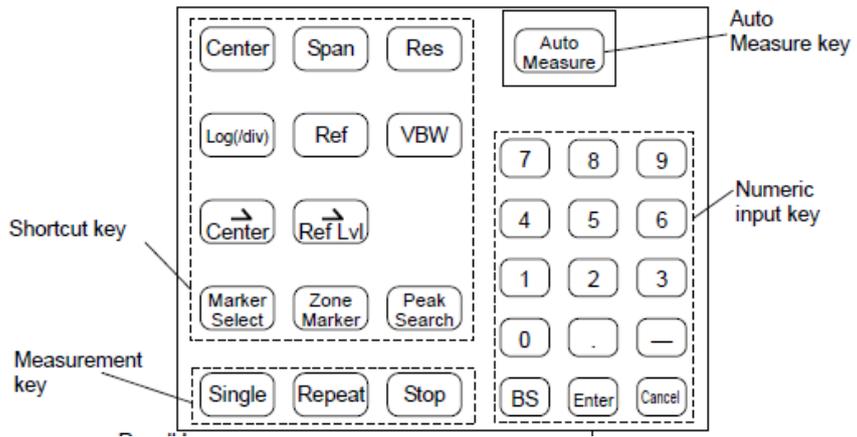
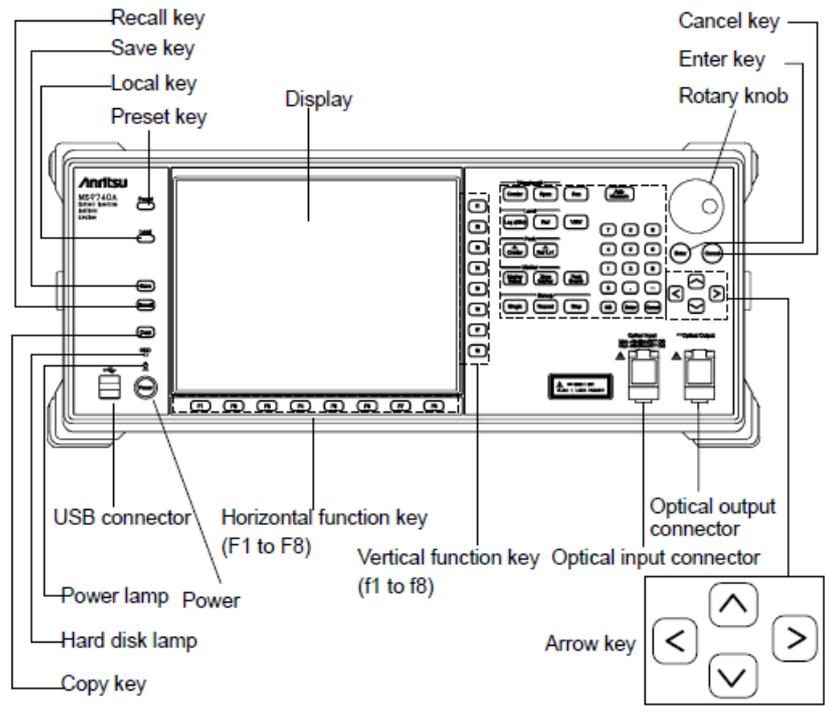


Figura 2.4 Panel Frontal Anritsu MS9740A
Fuente: MS9740A Optical Spectrum Analyzer Operation Manual

Para la calibración se lo realiza utilizando una fuente de luz con calibración externa y se realiza la alineación con el equipo; la señal de ingreso debe poseer una potencia de 20 dBm o mayor con una longitud de onda entre 600 a 1700 nm y ser mono modo. En el teclado de función horizontal se coloca Calibración y automáticamente el equipo adopta esas características [12].

El equipo posee 3 tipos de medida, los procesos que se realizan durante la medición son longitud de onda de pico, nivel de pico, medio ancho del espectro de la

entrada óptica, rango de longitud de onda, resolución ajustada, escala de nivel ajustada [12].

- Medida automática: Establece automáticamente la longitud de onda, el nivel, la resolución con sus mediciones.
- Medida única: Realiza el barrido de onda una sola vez.
- Medición repetida: El barrido de la forma de onda se repite hasta que se presione la tecla Stop.

Los marcadores nos ayudan a leer la forma de onda, longitud de onda en picos y caídas de forma de onda, el ancho del espectro y la diferencia en la longitud de onda entre picos para formas de onda con varios picos [12].

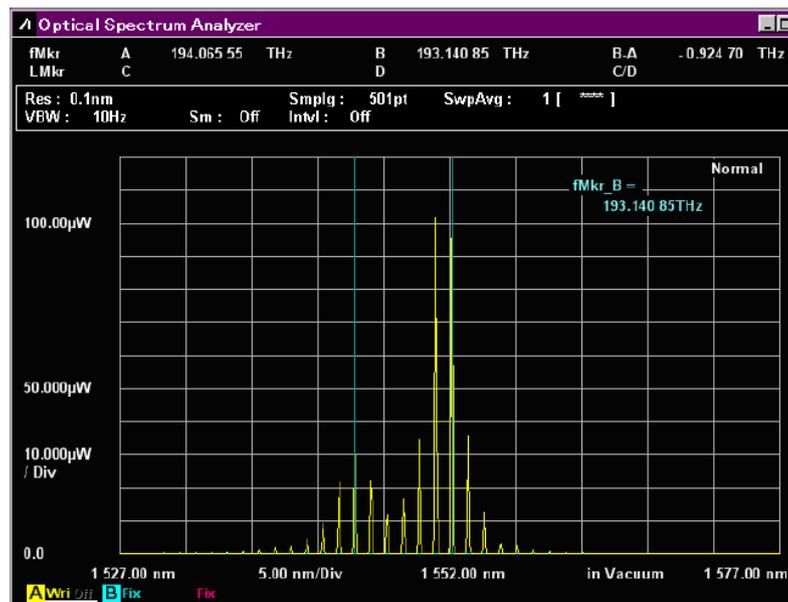


Figura 2.5 Pantalla de marcador de forma de onda.

Fuente: MS9740A Optical Spectrum Analyzer Operation Manual

El marcador de Nivel se utiliza para leer el nivel en picos y caídas de forma de onda, la diferencia de nivel entre picos para formas de onda con varios picos y la diferencia en el nivel de 2 formas de onda [12].

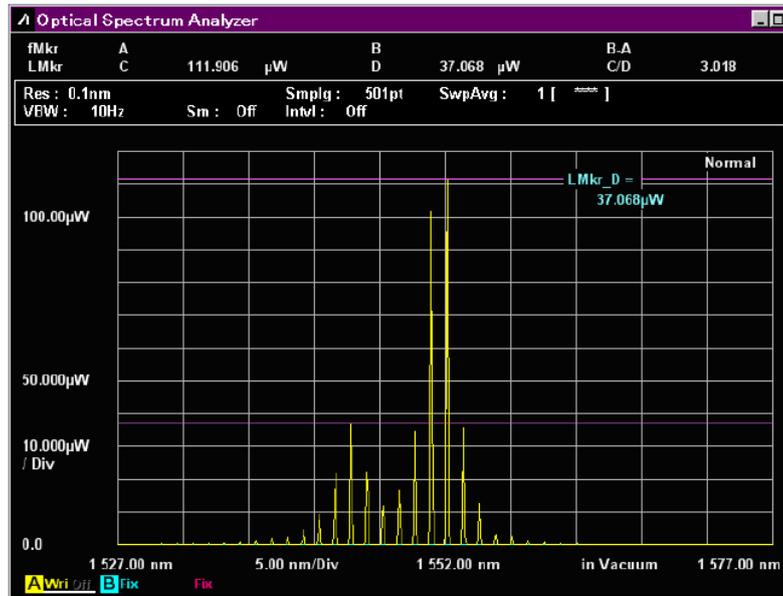


Figura 2.6 Pantalla de marcador de nivel.
Fuente: MS9740A Optical Spectrum Analyzer Operation Manual

El marcador de Zona se usa para leer la diferencia en la longitud de onda y el nivel desde la posición del marcador de traza. El marcador de Zona se utiliza para limitar el rango de longitud de onda para el análisis, como la búsqueda del punto máximo y procesa la parte rodeada con el marco rojo. Ampliación de zona de visualización rodeado con el marco rojo [12].

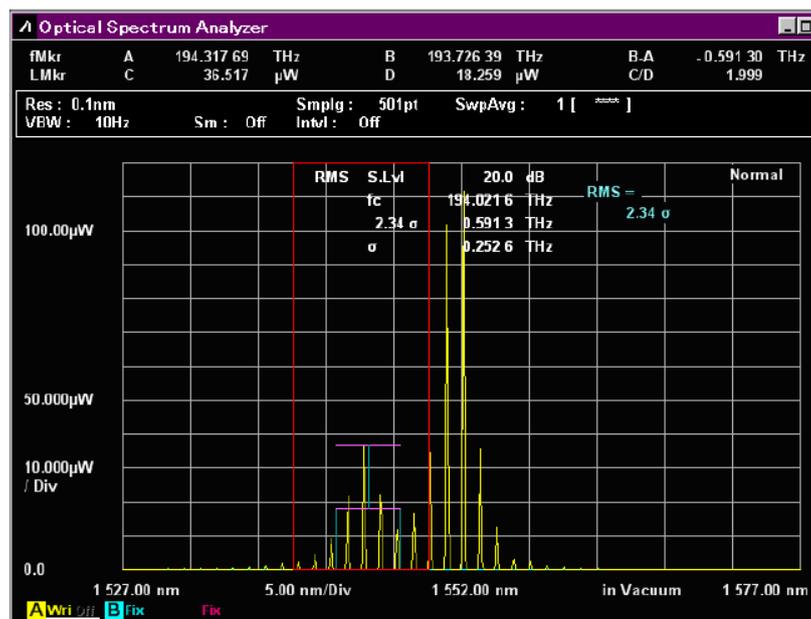


Figura 2.7 Rango de análisis limitado por marcadores de zona.
Fuente: MS9740A Optical Spectrum Analyzer Operation Manual

2.5 REFLECTÓMETRO ÓPTICO EN EL DOMINIO DEL TIEMPO

El OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) es un equipo que se utiliza para la caracterización de una red, tiene la capacidad de evaluar un enlace óptico por completo determinando los eventos (pérdidas, fallas y distancia) que suceden a través de este. Para el diagnóstico el OTDR se basa en la reflexión de Fresnel y la retrodispersión de Rayleigh, enviando un pulso de luz corto a través de la fibra y, a partir de la señal reflejada por eventos determina las pérdidas, fallas o rupturas en el medio de transmisión [13].

El YOKOGAWA AQ7280 cuenta con la unidad OTDR, un módulo medidor de potencia y una fuente de luz visible VLS (Visible Light Source), la **Tabla 2.8** muestra las especificaciones técnicas del equipo.

Tabla 2.8 Especificaciones técnicas YOKOGAWA AQ7280 [14]

Parámetro		Valores
Unidad OTDR	Modo	Simple/ Detallado/ PON
	Longitud de onda	SM 1310 nm/ SM 1550 nm/ SM 1625 nm
	Rango de distancia	200 m hasta 512 km
	Ancho de pulso	3 ns hasta 1 μ s
	Modo de operación	Tiempo Real/ Promedio
Módulo OPM	Longitud de Onda	850 nm/ 1300 nm/ 1310 nm/ 1490 nm/ 1550 nm/ 1625 nm/ 1650 nm
	Modulación	CW/ 270 Hz/ 1 kHz/ 2 kHz
	Unidades	dB/ dBm/ W
Módulo VLS	Longitud de onda	650 nm
	Modulación	CW/ 2 Hz

2.5.1 OPERACIÓN DEL OTDR AQ7280

El OTDR AQ7280 posee un teclado con una amplia variedad de funciones, la **Figura 2.8 (a)** muestra la operación que cumple cada botón del equipo y la **Figura 2.8 (b)** indica las interfaces que posee.

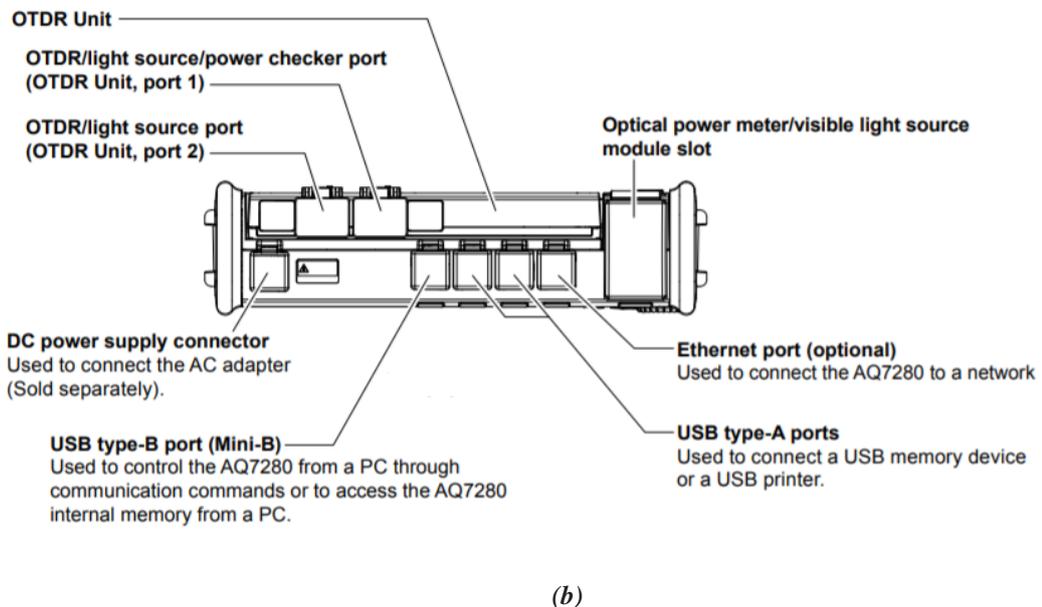
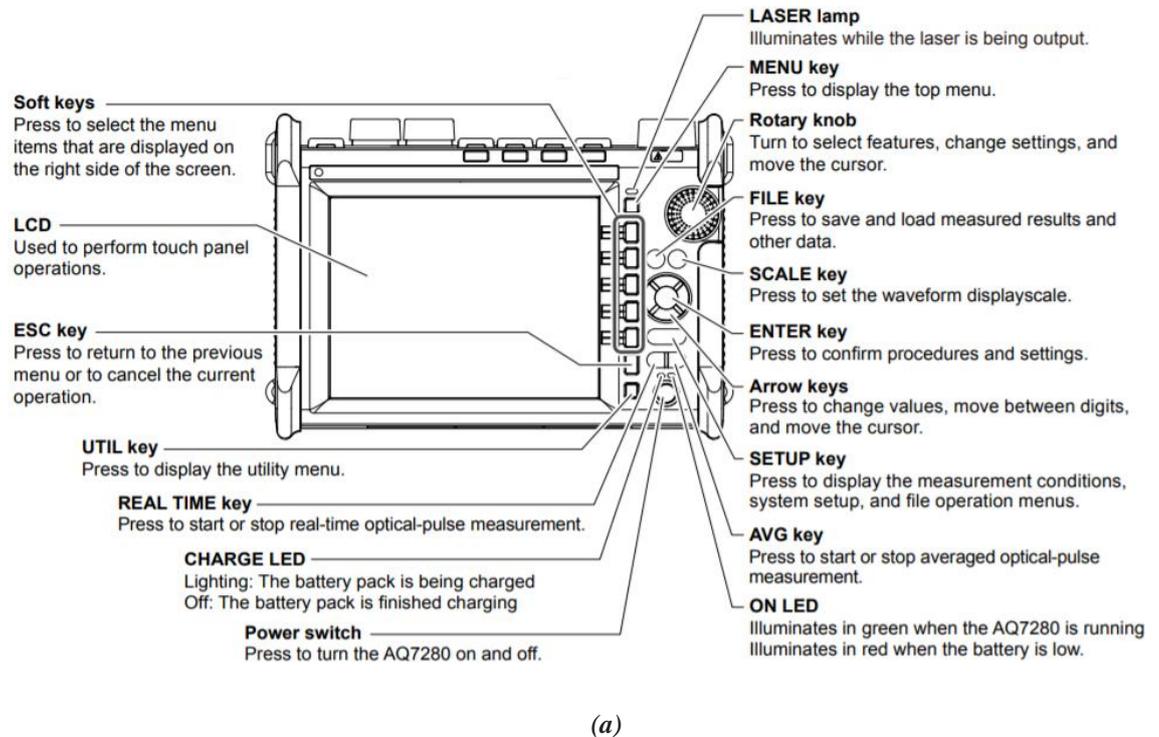


Figura 2.8 Descripción del teclado e interfaces del OTDR AQ7280 (a) Panel Frontal (b) Panel Superior

Fuente: AQ7280 OTDR User's Manual

2.5.2 HERRAMIENTAS DEL OTDR AQ7280

2.5.2.1 UNIDAD OTDR

La unidad OTDR cumple la función principal del AQ7280, es decir, mediante un diodo láser emite un pulso óptico al cable de fibra óptica bajo medición, la luz reflejada que se produce por ciertos eventos es recibida por el detector de luz, la transforma a una señal digital mediante un conversor A/D, después los datos se procesan y promedian para ser desplegados en la pantalla mostrando las distancias a los eventos (pérdidas de transmisión, empalmes, conectores, splitters, fin de fibra, etc.) en el eje horizontal y el nivel de pérdida en el eje vertical del enlace óptico [14].

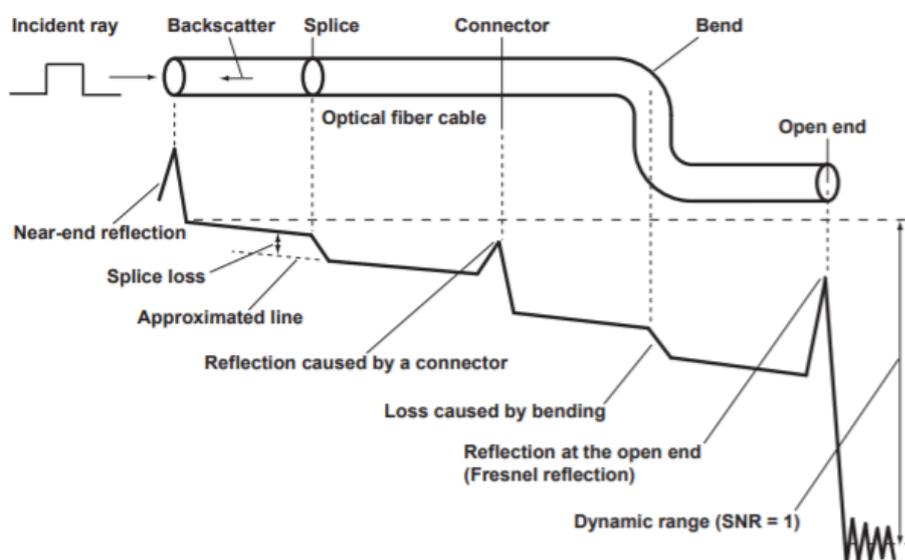


Figura 2.9 Forma de onda según el tipo de evento

Fuente: AQ7280 OTDR User's Manual

Para medir la distancia el AQ7280 toma el tiempo que le toma al pulso incidente en ser reflejado y retornado al equipo; la **Ecuación 2.1** muestra cómo se calcula la distancia [14].

$$L = \frac{c \times T}{2N} [m] \quad \text{Ecuación 2.1}$$

C : velocidad de la luz en el vacío $2.99792 \times 10^8 [m/s]$.

T : tiempo medido desde cuando se generó el pulso óptico hasta cuando recibió la luz reflejada [s].

N : índice de refracción.

Para estimar las pérdidas el AQ7280 utiliza métodos de extrapolación de líneas; existen dos métodos [14]:

- Aproximación por mínimos cuadrados (LSA), calcula la pérdida utilizando el método de mínimos cuadrados sobre todos los datos entre los dos puntos. Se recomienda utilizar este método si no hay eventos como pérdidas y reflexiones en la sección bajo prueba.
- Aproximación de dos puntos (TPA), calcula la pérdida utilizando la diferencia entre los niveles de los dos puntos. Se recomienda utilizar este método si existen eventos como pérdidas y reflexiones en la sección bajo prueba.

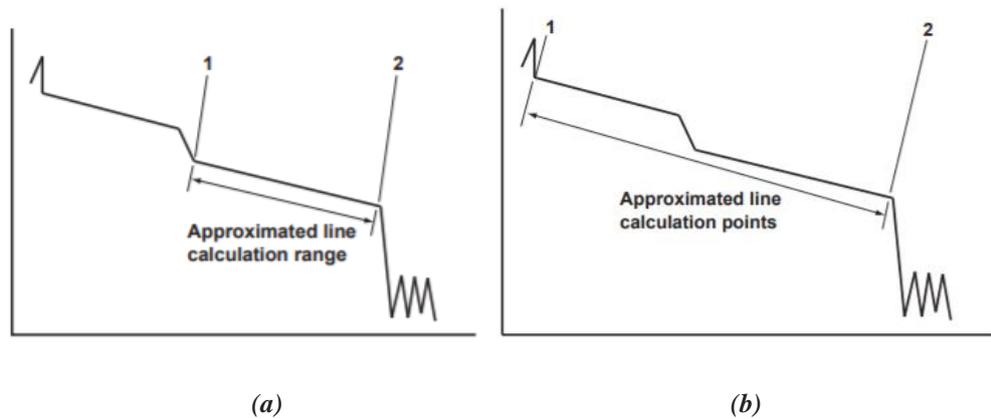


Figura 2.10 Métodos de estimación de pérdidas (a) LSA y (b) TPA
Fuente: AQ7280 OTDR User's Manual

Para analizar la forma de onda se puede usar los cursores y marcadores con el fin de determinar los valores de cada evento, el AQ7280 permite 4 métodos de usar marcadores que se describen a continuación:

- Método de 2 puntos: permite calcular la distancia y la pérdida entre dos puntos. Los marcadores se ubican al inicio y al final de la medida, dejando al evento en medio de los dos puntos como se observa en la **Figura 2.11**.

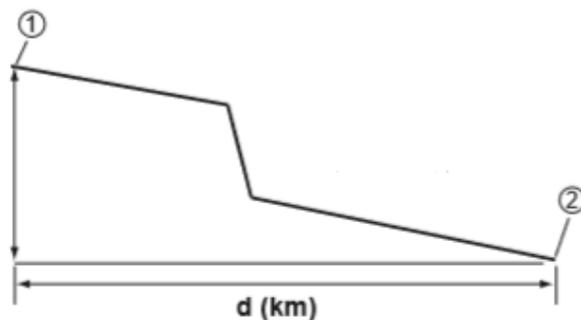


Figura 2.11 Método de dos puntos
Fuente: AQ7280 OTDR User's Manual

- Método de 4 puntos: permite calcular la pérdida (a) del evento mediante el uso de la línea aproximadas de los puntos (1) y (2) y de la línea aproximada de los puntos (3) y (4). El marcador (1) y (4) se ubican al inicio y fin de la medida, mientras que el marcador (2) y (3) se ubican al inicio y fin del evento como se observa en la **Figura 2.12**.

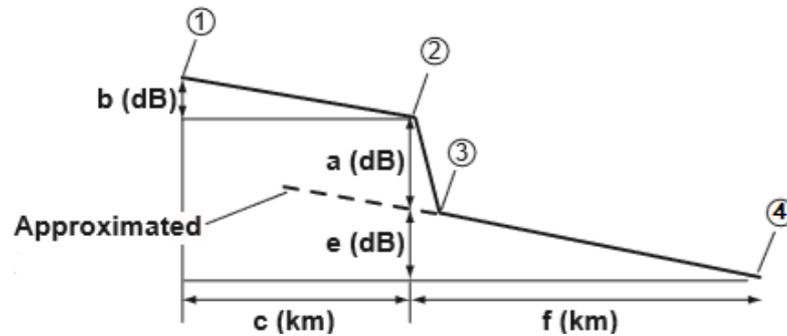


Figura 2.12 Método de cuatro puntos
Fuente: AQ7280 OTDR User's Manual

- Método de 5 puntos: se calcula la pérdida (a); el punto cercano (n), un punto (N) utilizado para calcular la línea aproximada del lado cercano, el punto (E) donde inicia el evento, un punto (F) utilizado para calcular la línea aproximada del lado lejano y el punto (f). Los marcadores se ubican como se muestra en la **Figura 2.13**.

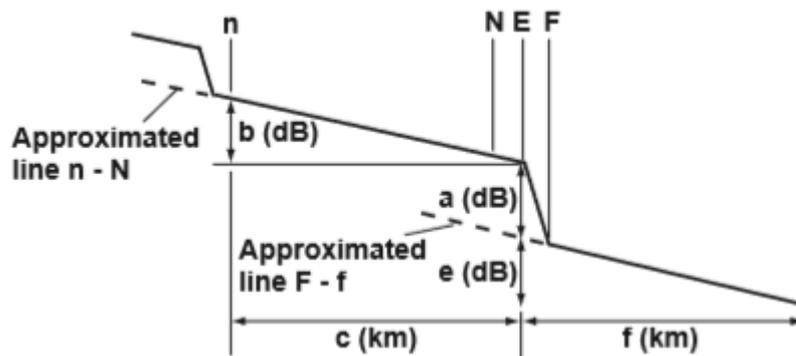


Figura 2.13 Método de cinco puntos
Fuente: AQ7280 OTDR User's Manual

- Método de 6 puntos: se recomienda este método cuando hay dos eventos juntos, marcadores (1) y (2) para la pérdida (b) del primer evento, marcadores (Y1) y (Y2) para la pérdida (a) del segundo evento, los marcadores (Y3) y (3) se usan para la línea aproximada de cada pérdida (ver la **Figura 2.14**).

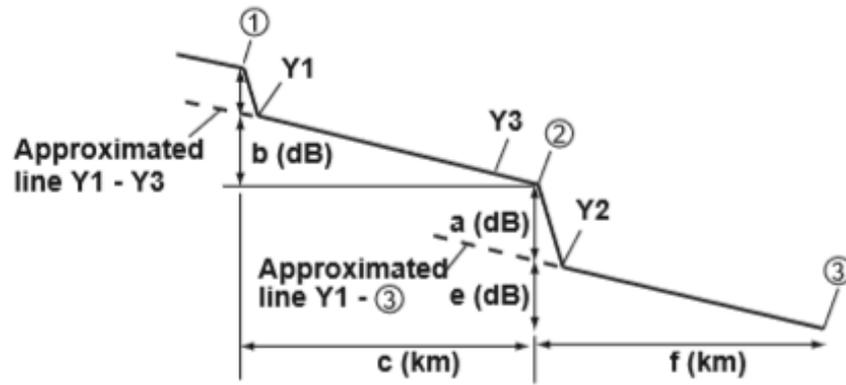


Figura 2.14 Método de seis puntos
Fuente: AQ7280 OTDR User's Manual

La unidad OTDR tiene tres modos de operación (simple, detallado y PON) los cuales se diferencian únicamente en las opciones de configuración para la medición y análisis de eventos [14].

- Modo simple, el usuario tiene acceso a ciertos parámetros de configuración de medida y análisis, mientras que el AQ7280 establece automáticamente el resto de los parámetros como rango de distancia, ancho de pulso, índice de refracción, etc. La **Tabla 2.9** describe el modo de operación simple.

Tabla 2.9 Configuración en modo simple [14]

Modo	Simple	
Condiciones de medida	Longitud de onda	1310 nm/ 1550 nm/ 1625 nm
	Autoguardado	ON/ OFF
Condiciones de análisis	Fin de fibra	3 dB hasta 65 dB
	Método de aproximación	LSA/ TPA

- Modo detallado, se permite al usuario el acceso a más parámetros de configuración de medición y análisis. Se recomienda este modo de operación cuando el usuario conoce varias características del enlace bajo prueba, la **Tabla 2.10** y la **Tabla 2.11** describe el modo de operación detallado.

Tabla 2.10 Configuración de medición en modo detallado [14]

Parámetro		Descripción
Longitud de onda	1310 nm/ 1550 nm/ 1625 nm	-
Rango de distancia	200 m hasta 512 km	Seleccionar un rango de distancia que sea mayor a la longitud del cable de fibra óptica que se medirá. Si especifica un rango más corto el AQ7280 mostrará mediciones incorrectas.
Ancho de pulso	3 ns hasta 1 μ s	La selección del ancho de pulso depende de la distancia. Un ancho de pulso corto permite mayor resolución a distancias cortas; un ancho de pulso largo permite medir distancias largas con menor resolución.
Modo alto SNR	ON/ OFF	Optimiza al equipo para medir eventos en redes PON que se encuentran más allá del splitter. <ul style="list-style-type: none"> • ON: los pulsos ópticos del sistema PON se pueden medir. • OFF: se excluye los eventos más allá del splitter.
Intervalo de muestreo	Normal/ Alta resolución	<ul style="list-style-type: none"> • Normal: utiliza un intervalo de muestra óptimo. • Alta resolución: utiliza el máximo intervalos de muestra (256000 datos), permite un mayor detalle.
Atenuación	0 dB hasta 30 dB	Para evitar una medición incorrecta, especifique la atenuación que existe a lo largo del enlace bajo prueba.
Alarma de fibra en uso	ON/ OFF	Emite un mensaje de advertencia cuando existe transmisión de información por la fibra bajo prueba.
Chequear conexión	ON/ OFF	Verifica el estado de la conexión entre el puerto OTDR y el cable de fibra óptica, enviando una

		advertencia cuando no está conectado correctamente.
Búsqueda de eventos	Automático/ Manual	<ul style="list-style-type: none"> • Automático: muestra los eventos con su descripción en la traza reflectométrica. • Manual: despliega la traza reflectométrica sin señalar los eventos.
Autoguardado	ON/ OFF	Guarda en un archivo las mediciones realizadas.

Tabla 2.11 Configuración de análisis en modo detallado [14]

Parámetro		Descripción
Índice de refracción	1.3 hasta 1.7999	Para una correcta medición, especificar el índice de refracción de la fibra en uso dado por el fabricante.
Retrodispersión	-10 dB hasta -94.99 dB	<p>El AQ7280 tiene los siguientes niveles de luz de retrodispersión preestablecidos que corresponde a cada longitud de onda:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1310 nm: -50 dB • 1550 nm: -52 dB • 1625 nm: -53 dB <p>Estos niveles varían según el ancho de pulso utilizado.</p>
Pérdida por fusión	0.01 dB hasta 9.99 dB	Determina los niveles de pérdida de potencia de referencia a partir del cual se clasificarán los eventos.
Pérdida de retorno	20 dB hasta 70 dB	
Fin de fibra	3 dB hasta 65 dB	
Parámetros pasa/ no pasa	Perdidas por conector	
	Perdidas por fusión	
	Perdidas por retorno	

	Pérdidas por splitter	
	Pérdidas por dB/km	
	Pérdida total	
Macrocurvatura	ON/ OFF	Si está activa permite ver los eventos por curvaturas y compara las mediciones obtenidas con diferentes longitudes de onda.

- En el modo PON, se permite al usuario configurar las condiciones de medición y análisis en función del número de etapas de división óptica, los parámetros son similares al modo detallado, la **Tabla 2.12** describe el modo de operación en modo PON.

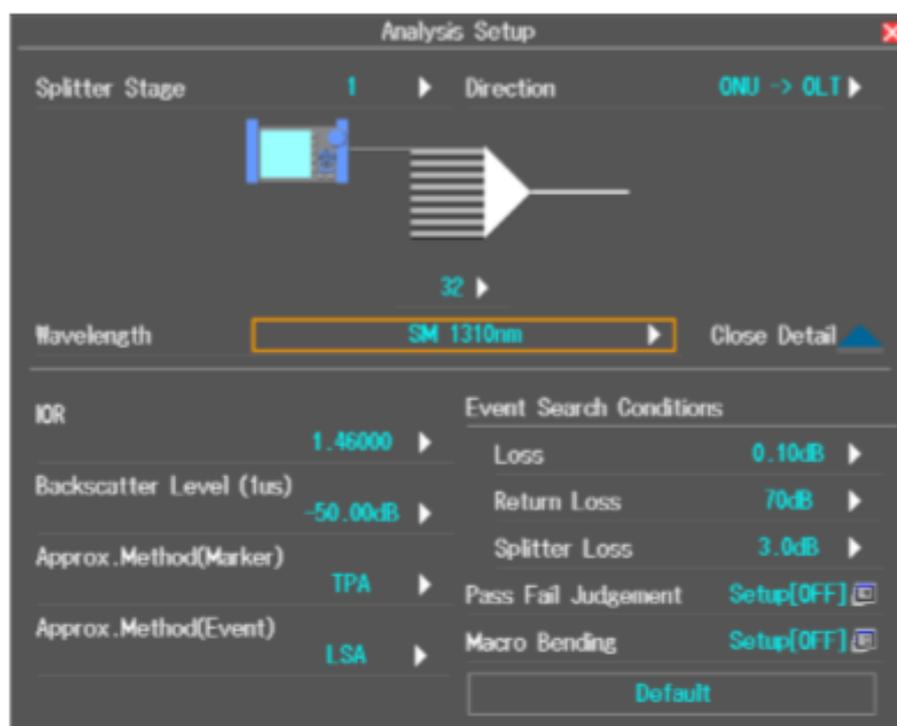


Figura 2.15 Pantalla de configuración en modo PON
Fuente: AQ7280 OTDR User's Manual

Tabla 2.12 Configuración en modo PON [14]

Parámetro		Descripción
Nivel de divisor óptico	1/2	Establece el número de etapas en el enlace bajo prueba.

Dirección	<ul style="list-style-type: none"> • Normal • OLT -> Splitter • OLT -> Splitter. -> ONU • ONU -> Splitter. • ONU -> Splitter -> OLT 	Configura la ruta, ya sea en el canal de bajada (downlink) o subida (uplink).
Configuración de divisor óptico	2/ 4/ 8/ 16/ 32/ 64	Establece la relación total de divisores ópticos.

2.5.2.2 OTDR SMART MAPPER

Esta herramienta trabaja en modo PON, al utilizarla los eventos presentes en el enlace bajo prueba se muestran en forma de íconos.

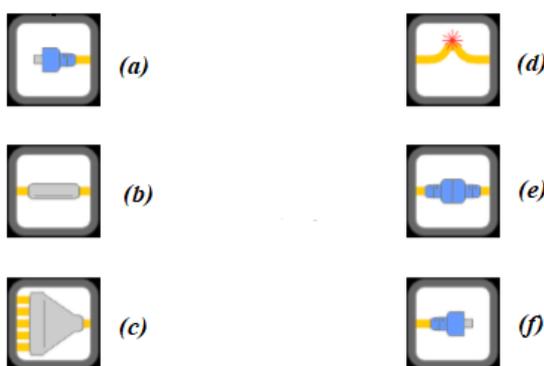


Figura 2.16 Íconos de la herramienta OTDR Smart Mapper (a) punto de inicio (b) empalme (c) splitter (d) curvatura (e) conector (f) fin de fibra

Fuente: AQ7280 OTDR User's Manual

Los resultados de la traza reflectométrica pueden presentarse en dos formatos Lista y Mapa, los cuales se describen a continuación [14]:

- Lista: esta opción presenta las condiciones de análisis y describe los parámetros de cada evento, sin embargo, no hay una representación gráfica del enlace.
- Mapa: esta opción despliega los resultados obtenidos del análisis de eventos, así como una representación gráfica del enlace.

2.5.2.3 MÓDULO OPM

El AQ7280 cuenta con un medidor de potencia óptica para medir pérdidas y potencia, la **Tabla 2.8** describe las características de esta herramienta.

2.5.2.4 MÓDULO VLS

Se puede producir luz visible para identificar visualmente las rupturas en la fibra óptica a prueba, la **Tabla 2.8** describe las características de esta herramienta.

2.5.2.5 LOCALIZADOR DE FALLAS

Esta función permite buscar fallas en un cable de fibra óptica y representar la distancia hasta la avería. Se puede especificar la longitud de onda de operación y el nivel de pérdida para determinar si una falla es el extremo de la fibra o no [14].

2.6 OPTICAL LINE TERMINAL

La UFiber OLT es un equipo de alto desempeño que opera bajo el estándar GPON, posee ocho puertos que pueden soportar hasta 128 usuarios cada uno, dando un total de 1024 clientes, además cuenta con dos puertos SFP+ que proporcionan hasta 10 Gbps de conectividad ascendente, la **Tabla 2.13** indica las especificaciones técnicas.

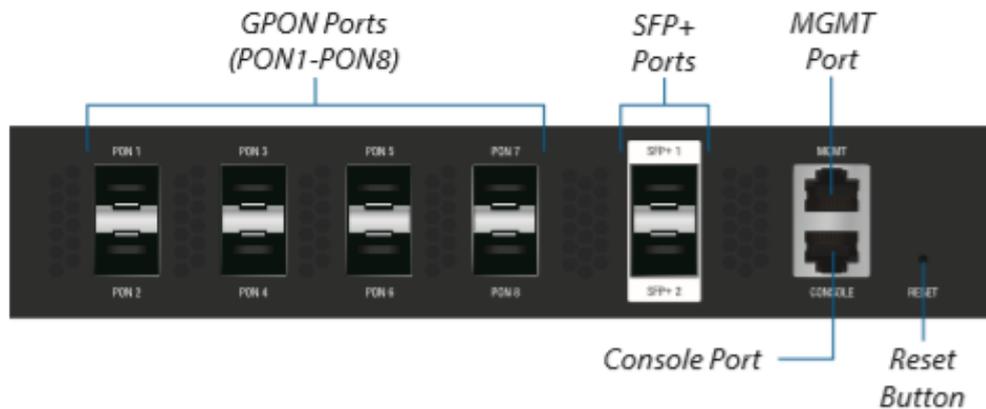


Figura 2.17 UFiber OLT

Fuente: UFiber OLT 8-Port GPON Optical Line Terminal with SFP+ User Guide

Tabla 2.13 Especificaciones de la UFiber OLT [15]

Interfaz	Descripción	
Puertos GPON	Tipo SFP	UF-GP-8B+
	Conector	SC/UPC

	Longitud de onda de operación	<ul style="list-style-type: none"> • Tx: 1490 nm • Rx: 1310 nm
	Potencia de salida	1.5 dBm a 5 dBm
	Sensibilidad	-8 dBm a -28 dBm
	Velocidad	<ul style="list-style-type: none"> • Downstream: 2.488 Gbps • Upstream : 1.244 Gbps
Puertos SFP+	Transceptor SFP+	Soporta conexiones de 1 Gbps o 10 Gbps
	Conector	LC/UPC
Puerto MGMT	Cable RJ45, utilizado para la configuración de la OLT.	
Puerto de Consola	Cable RJ45 a DB9, utilizado para la interfaz de línea de comandos (CLI) cuando se pierda la OLT.	
Botón de Reinicio	<p>Existen dos formas de reiniciar la OLT a las configuraciones de fabrica:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Runtime reset: mantener presionado el botón <i>Reset</i> alrededor de 10 segundos hasta que el LED MGMT parpadee e ilumine de forma continua, después de unos segundos, el LED se apagará y la UFiber OLT se reiniciaría automáticamente. • Power-on reset: desconectar la OLT, presionar el botón <i>Reset</i> y volver a conectar hasta que el LED MGMT comience a parpadear y se apague. 	

2.6.2 CONFIGURACIÓN DE LA UFIBER OLT

La configuración de la UFiber OLT es mediante una interfaz gráfica (GUI) que la vuelve relativamente fácil e intuitiva de realizar, además cuenta con un sistema de gestión de red Ubiquiti (UNMS), que es un software de administración basado en Linux utilizado para gestionar de forma centralizada todos los equipos (router, OLT, switch, ONU) que operan en la red GPON.

2.6.2.1 ACCEDER A LA INTERFAZ DE ADMINISTRACIÓN

La Ufiber OLT se administra a través del puerto MGMT, para acceder al GUI de configuración siga los siguientes pasos:

1. Conectar el cable ethernet desde la computadora al puerto MGMT de la OLT.
2. Configurar la IP del computador dentro del rango de la red con la OLT.
3. Abrir un navegador Web e introducir la dirección de la puerta de enlace (IP del puerto MGMT).
4. Introducir las credenciales:
 - Username: ubnt
 - Password: ubnt

2.6.2.2 CONFIGURACIÓN DE PUERTOS UPLINK SFP+

Los puertos de enlace ascendente SFP+ se utilizan para conectar la red GPON a internet, estos vienen configurados de forma predeterminada con la VLAN nativa 4063, esto permite que el tráfico se reenvíe desde la WAN hacia las ONUs y viceversa.

En los puertos SFP+ se pueden incluir varias VLANs, las cuales pueden ser para proporcionar diferentes servicios como internet, VoIP o IPTV. Para la configuración de estos puertos siga los siguientes pasos:

1. Ir a: Dashboard > SFP+ > Actions > Config.
2. Introducir las VLANs que se desean incluir.
3. Aplicar los cambios.

2.6.2.3 PERFILES DE OPERACIÓN

Las ONUs operan bajo ciertos perfiles que se crean en la Ufiber OLT, en estos, se configura varios parámetros como modo (bridge o router), VLANs (aplicable solo en modo bridge), servicios (control remoto), firewall (aplicable solo en modo router) y control de ancho de banda. Para crear y asignar perfiles a las ONU siga los siguientes pasos:

1. Ir a: ONU Profiles > Add Profile.
2. Crear el perfil y configurar los parámetros necesarios.

3. Ir a: ONU List > Select ONU > Actions > Config.
4. Seleccionar el perfil de operación.

2.7 OPTICAL NETWORK UNIT

La Ufiber ONU Nano G es un equipo de alto rendimiento que posee una pantalla LED que brinda información del estado de la conexión (velocidad, potencia, dirección IP), dispone de un puerto WAN GPON y un puerto GE RJ45 tipo PoE (Power Over Ethernet) para la alimentación y transmisión de datos hacia la red interna, la **Tabla 2.14** muestra las especificaciones técnicas del equipo.

Tabla 2.14 Especificaciones de la Ufiber ONU Nano G [16]

Interfaces	GPON WAN (SC/APC) <ul style="list-style-type: none"> • Downstream: 2.488 Gbps • Upstream: 1.244 Gbps
	GbE LAN (RJ45) <ul style="list-style-type: none"> • 10/ 100/ 1000 Mbps
	Reset (presionar y soltar), restaura el dispositivo a la configuración predeterminada de fábrica.
Potencia de salida	Clase B+: 1.5 dBm a 5dBm
Sensibilidad	-8 dBm a -28 dBm
Alimentación	Tipo PoE: 24 V

2.7.1 PANTALLA LED DE LA ONU NANOG

El LED de cada interfaz indica el estado de conexión de red del dispositivo, la **Tabla 2.15** indica la descripción de la pantalla de la ONU [16].



Figura 2.18 Pantalla LED ONU Nano G
Fuente: Nano G High Performance GPON CPE User Guide

Tabla 2.15 Pantalla LED de la Ufiber ONU Nano G [16]

LED	Estado	Descripción
	Verde	GPON conectado y el dispositivo está integrado en una red y trabajando apropiadamente
	Rojo	No hay conexión GPON.
	Rojo intermitente	El dispositivo es reconocido por la OLT y esperando a ser integrado
	Apagado	No hay energía, el dispositivo está apagado
	Blanco	Encendido, el dispositivo está encendido.
	Apagado	No hay conexión ethernet
	Verde	Hay conexión ethernet
	Intermitente	Actividad ethernet

2.7.2 ALIMENTACIÓN

Para encender el equipo siga los siguientes pasos [16]:

1. Conectar el cable ethernet desde el Nano G hasta el puerto Gigabit PoE del adaptador.
2. Conectar un cable ethernet de la LAN al puerto LAN en el adaptador Gigabit PoE.
3. Conectar el cable de alimentación al adaptador Gigabit PoE.



Figura 2.19 Alimentación PoE de la ONU Nano G
Fuente: Nano G High Performance GPON CPE User Guide

2.8 GENERADOR DE TRÁFICO

El xGenius es una plataforma diseñada para el análisis de redes y servicios basadas en infraestructuras Ethernet/ IP, entre otras; posee varias interfaces (ópticas y eléctricas) de conexión que facilitan la prueba de varios dispositivos o sistemas (ver **Figura 2.20**), además tiene una interfaz gráfica de usuario la cual tiene varios menús en los que se configuran el equipo y se analiza los resultados de las pruebas realizadas (ver **Tabla 2.16**).

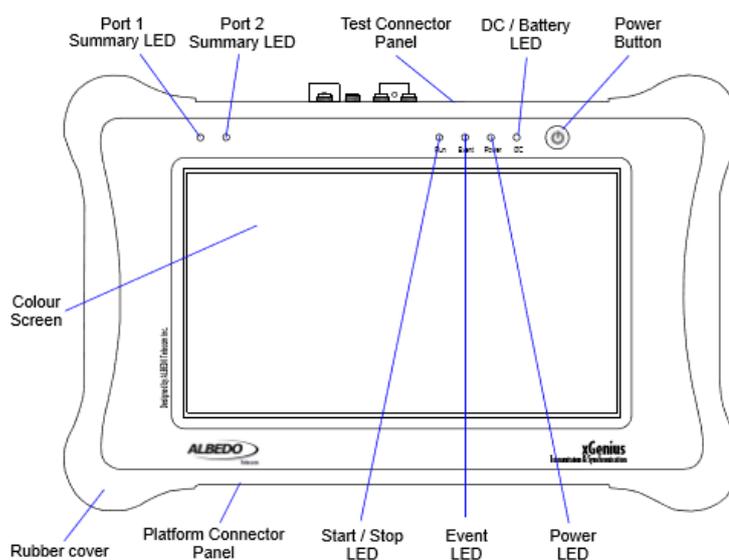


Figura 2.20 Descripción del panel frontal del xGenius
Fuente: xGenius Ethernet & IP Testing Guide

Tabla 2.16 Descripción de los menús del xGenius [17]

Menú	Descripción
TEST	Esta ventana contiene diferentes ítems de configuración relacionados con el modo de prueba, tipo de prueba, ping, traza de ruta, inserción de eventos y modo de inicio y paro.
SETUP	En esta ventana se configuran diferentes parámetros de los puertos del equipo relacionados con el modo de operación, capa física, capa de enlace, capa de red, velocidad de transmisión y carga útil.
RESULTS	En esta ventana se despliegan los resultados de la prueba realizada relacionados con las tramas enviadas y recibidas, tipo de prueba, ping, información del SFP/SFP+, etc.

2.8.1 PANEL DE CONECTORES DE PRUEBA

El xGenius se puede conectar al dispositivo o sistema bajo prueba (DUT/ SUT) a través del panel de conectores, la **Figura 2.21** indica y la **Tabla 2.17** describe las interfaces de conexión que posee el equipo.

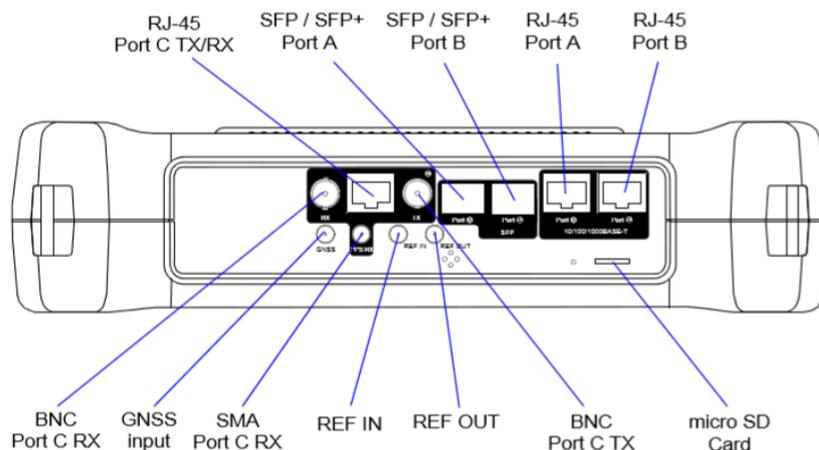


Figura 2.21 Interfaces de conexión del xGenius
Fuente: *xGenius Ethernet & IP Testing Guide*

Tabla 2.17 Interfaces del xGenius [17]

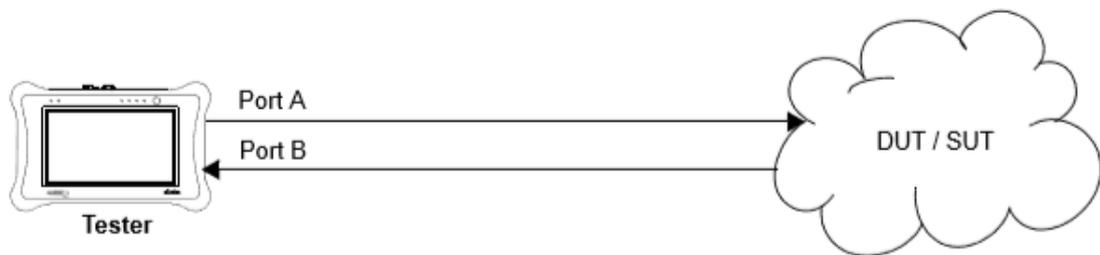
Interfaz	Descripción

Puertos A/B SFP/ SFP+	Se usan para conectar el equipo a la red a través de una interfaz óptica. Soporta velocidades de transmisión y recepción de hasta 10 Gbps. El puerto A y B son similares, a excepción de que el puerto B no posee las capacidades de transmisión del puerto A.
Puertos A/B RJ45	Se usan para conectar el equipo a la red a través de una interfaz eléctrica. Soporta velocidades de transmisión y recepción de 10/100/1000 BASE-T. El puerto A y B son similares, a excepción de que el puerto B no posee las capacidades de transmisión del puerto A.
Puerto C RJ45 Tx/Rx	Tiene una resistencia de entrada/salida 120 Ω balanceada; usado para analizar señales de reloj (1544 kHz, 2048 kHz, 10 MHz, 1 PPS) y generar y analizar señales TDM (E1 y T1)
Puerto C BNC Tx	Tiene una resistencia de salida 75 Ω no balanceada; usado para generar señales TDM (E1 y T1) o como salida de reloj.
Puerto C BNC Rx	Tiene una resistencia de entrada 75 Ω no balanceada; usado para analizar TDM (E1 y T1) o como puerto de entrada de referencia de reloj.
GNSS	Es un conector SMA usado para conectar a una antena GNSS, funciona como sincronización para la unidad de prueba.
Puerto C SMA Rx	Este puerto se utiliza para el análisis de señales 1 PPS 50 Ω no balanceadas.
REF IN	Puede usarse como una entrada de referencia de reloj de 1 PPS utilizada en algunas pruebas de latencia y sincronización.
REF OUT	Salida 1 PPS de referencia; puede usarse como salida de referencia de reloj 1 PPS. La salida esta sincronizada con el oscilador local.

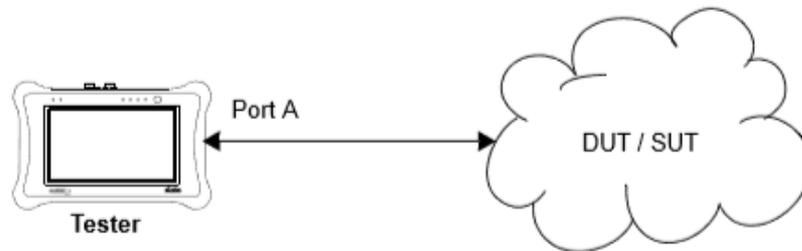
Como se menciona en la **Tabla 2.17**, el puerto A y el puerto B no tienen las mismas capacidades de generación y análisis, el puerto B se comporta de manera secundaria, es decir, puede funcionar como bucle llevando las tramas o paquetes hacia su origen, además de responder a ciertos protocolos como ping o ARP [17].

2.8.2 MODO DE PRUEBA

La conexión del xGenius depende del tipo de prueba que se desee realizar al DUT/SUT. Existen dos modos de operación, en el primero “One-way” el tráfico es generado en el puerto A y recibido en el puerto B, el segundo “Two-way”, el tráfico se transmite y se recibe por el puerto A [17].



(a)



(b)

Figura 2.22 Modos de operación (a) One-Way (b) Two-way
Fuente: *xGenius Ethernet & IP Testing Guide*

2.8.3 PRUEBAS DE RENDIMIENTO

El xGenius tiene la capacidad de medir el rendimiento del DUT/SUT sometiéndolo a pruebas de desempeño como la norma RFC-2544 y eSAM.

La RFC-2544 (Request For Comments) describe diferentes pruebas en las cuales se generará tramas específicas para evaluar el rendimiento, latencia, tasa de pérdidas de tramas, tolerancia, recuperación en condiciones de sobrecarga y de reinicio

del DUT/SUT. Esta norma va dirigida a probar equipos y dispositivos de tal manera de ofrecer a los fabricantes una manera de certificar las prestaciones de sus productos [18].

Tabla 2.18 Objetivos RFC-2544 [18]

Métrica	Descripción
Troughput	Esta prueba determina el máximo número de tramas por segundo que el DUT/SUT puede procesar y reenviar sin perder ninguna trama.
Latency	Esta prueba determina la latencia relacionado con el dispositivo bajo prueba, marca el tiempo que tarda un paquete en viajar a través del DUT/SUT.
Frame Loss Ratio	El objetivo de esta prueba es determinar la tasa de pérdida de trama en todo el rango de velocidades de datos de entrada y tamaños de trama.
Back-to-Back Frames	Una prueba de trama consecutiva determina la capacidad de procesamiento del equipo para que la tasa de transmisión sea la máxima teórica.
System Recovery	Esta prueba determina la velocidad a la que el DUT se recupera de una condición de sobrecarga.

La eSAM (Ethernet Service Activation Methodology) está enfocada a determinar los niveles de calidad de servicio (QoS) en la red con servicios convergentes (voz, video y datos) que dependen de varios parámetros como la arquitectura de red, medios de transmisión, administración de recursos, señalización de tráfico y otros factores; utiliza varias métricas (ver **Tabla 2.19**) para evaluar el retardo, variación y pérdida de trama como IR (Information Rate), FLR (Frame Lost Ratio), FTD (Frame Total Delay) y FDV (Frame Delay Variation) [19].

Tabla 2.19 Objetivos eSAM [19]

Métrica	Descripción
---------	-------------

Load [Mbps]	Cantidad de tráfico de prueba; este siempre debe ser mayor o igual que el IR.
IR [Mbps]	Tasa de bits consumidos bajo la prueba.
FLR	Mide la cantidad de paquetes perdidos sobre el número de total de paquetes enviados.
FTD [ms]	Latencia entre la transmisión y recepción de la trama.
FDV [ms]	Latencia debido a la variación de entrega de paquetes, puede ser por encolamiento o asignación de prioridad.
Avail [%]	Se refiere al a disponibilidad expresada en porcentaje de tiempo a la que el DUT/SUT no ha estado disponible para transmitir/recibir datos durante la prueba.

El tráfico puede clasificarse en tres perfiles de ancho de banda (color) aplicando clase de servicio (CoS), cada perfil está basado en cuatro parámetros que clasifican la prioridad del tráfico [19]:

- Velocidad de Información Comprometida (CIR): tasa a la cual las tramas se entregan según los objetivos de rendimiento (bps).
- Tamaño de Ráfaga Comprometido (CBS): número máximo de paquetes que pueden ser enviados con una tasa menor al CIR (bytes).
- Tasa de Información de Exceso (EIR): tasa a la cual las tramas se entregan, pero no están sujetas a ningún objetivo de rendimiento (bps).
- Tamaño de Ráfaga en Exceso (EBS): número de paquetes sin objetivos de rendimiento que se envían con una tasa menor al EIR (bytes).

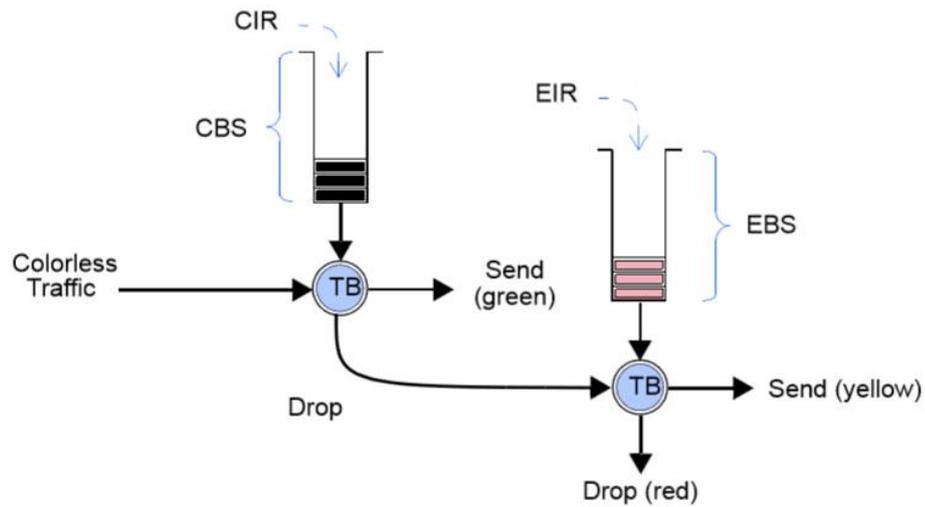


Figura 2.23 Algoritmo de control de admisión
Fuente: eSAM – Performance Assessment

El algoritmo de control de admisión funciona de la siguiente manera:

1. Cuando la trama llega, se determina si está habilitado el control de admisión (Color Mode).
2. Las tramas de mayor prioridad pasan al CBS a una tasa CIR hasta alcanzar su capacidad. El tráfico verde se entrega con la QoS acordada por el proveedor del servicio, con los límites de latencia y pérdida garantizados por el acuerdo SLA.
3. Las tramas secundarias (baja prioridad) pasan al EBS a una tasa EIR hasta alcanzar su capacidad. Todo el tráfico amarillo que pasa por el EBS se reclasifica y se entrega utilizando el mecanismo Best-effort delivery, sin aplicar los límites del acuerdo SLA.
4. El tráfico rojo es descartado.

2.8.4 MODOS DE OPERACIÓN

Se categoriza en dos modos, el primero define la operación global (ver **Tabla 2.20**) que comparten los puertos A y B, y el segundo establece el comportamiento individual (ver **Tabla 2.21**) de cada puerto, es decir, en cada modo se especifica a qué nivel (capa 1, capa 2 o capa 3) trabajará y comportará el xGenius, la elección del modo de operación global e individual dependerá de la aplicación o tipo de prueba que se desee realizar [17].

Tabla 2.20 Modos de operación global [17]

Modo	Descripción
Ethernet endpoint	En este modo el generador opera en capa 2 (enlace), envía y recibe señales de prueba compuesta por tramas Ethernet hacia y desde el DUT/SUT; se utiliza en pruebas de BER, transparencia/ continuidad y desempeño de la red.
IP endpoint	En este modo el generador opera en capa 3 (red), envía y recibe señales de prueba compuesta por tramas IPv4/ IPv6 hacia y desde el DUT/SUT; se utiliza en pruebas de BER, transparencia y desempeño de la red.
IP through	En este modo la señal es monitoreada, se recibe por el puerto A, pasa por el equipo para su análisis y se reenvía al puerto B para ser transmitida. Del mismo modo la operación puede realizarse de manera inversa.
L1 endpoint	Este modo opera específicamente en la capa 1 (física), el equipo no forma tramas, pero puede generar y analizar códigos requeridos para pruebas BER.

Tabla 2.21 Modos de operación individual [17]

Modo	Descripción
Tx/ Rx	Este modo de operación es solamente para el puerto A, se habilita la transmisión y recepción; generalmente se usa con el modo de operación global endpoint.
Monitor	En este modo de operación la transmisión esta deshabilita, funciona para monitorear la red captando el tráfico de manera transparente; se utiliza para obtener estadísticas del tráfico de la red.
Loopback	El puerto receptor se conecta al transmisor enviando todas las tramas recibidas hacia el origen; se utiliza en modos de prueba two-way.
Disabled	Se deshabilita la transmisión y recepción del puerto.

2.8.5 CONFIGURACIÓN DEL CONECTOR

El xGenius posee puertos eléctricos (RJ45) y ópticos (SFP/SFP+), la elección del cual usar dependerá de las características del DUT/SUT. Si se usan los puertos ópticos es posible obtener información del transceptor en el menú resultados como marca, modelo, potencia de transmisión, potencia de recepción y longitud de onda. Por razones de seguridad los puertos ópticos no se encuentran habilitados, para activarlos es necesario ir a la ventana de configuración del puerto y encender el láser [17].

2.8.5.1 PARÁMETROS DE AUTO-NEGOCIACIÓN

La negociación es la velocidad a la cual el xGenius se comunica con el DUT/SUT. Si la auto-negociación está habilitada, el equipo negociará con el DUT/SUT la velocidad de comunicación, mientras que si se encuentra deshabilita, el usuario debe forzar la tasa de transmisión.

2.8.6 GENERACIÓN DE TRÁFICO

El xGenius tiene la capacidad de generar tráfico con perfiles deterministas y aleatorios de ancho de banda; esta función se usa para forzar la red, simulando cargas para medir criterios de rendimiento como errores de bits, pérdida de paquetes o latencia, se pueden generar hasta ocho flujos de tráfico (Puerto A) que se pueden configurar con parámetros específicos de encapsulación y direccionamiento, proporcionando versatilidad en las aplicaciones que requieran generación de tráfico Ethernet e IP [17].

2.8.6.1 PERFIL DE ANCHO DE BANDA

En esta ventana se establece la velocidad de transmisión y el perfil del flujo (ver **Figura 2.24**) de datos; se puede especificar las tramas por segundo, bits por segundo o el porcentaje de la capacidad de transmisión.

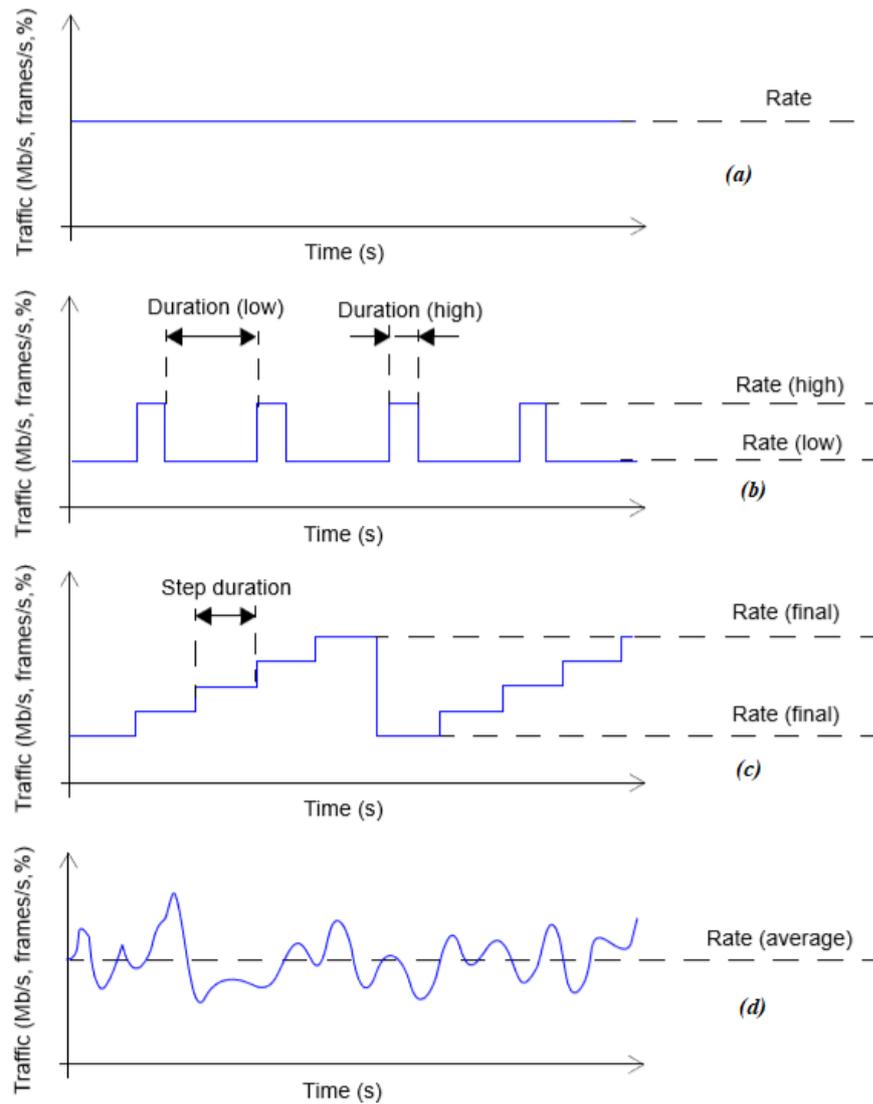


Figura 2.24 Perfiles de tráfico (a) Continuo (b) Periódico (c) Rampa (d) Aleatorio
 Fuente: xGenius Ethernet & IP Testing Guide

2.8.6.2 CARGA ÚTIL

Los datos generados por el xGenius son sintéticos, es decir, no contienen información real, por esta razón las tramas generadas se reemplazan por cargas útiles que simulan el tráfico de usuarios. Estas pueden contener marcas de tiempo o números de secuencia que determinan que métricas de resultados serán analizadas [17].

Tabla 2.22 Tipos de carga útil [17]

Carga útil	Descripción
BERT	Se establece un patrón de bits adecuado para medir la relación de errores de bits (BER). El xGenius incluye soporte para dos tipos

	diferentes de patrones BERT: secuencia binaria pseudoaleatoria (PRBS) o patrones configurables por el usuario de 32 bits.
SLA	Se utiliza para medir la latencia, jitter y la pérdida de paquetes.
All zeros	Se establece el patrón transmitido a ceros.

2.8.6.3 GENERACIÓN DE TRÁFICO ETHERNET

Primero se debe verificar el conector y la auto-negociación. La generación de tramas Ethernet está disponible para el puerto A en el modo Ethernet endponit; se debe configurar la capa física, campo de trama, perfil de ancho de banda y carga útil [17].

Tabla 2.23 Configuración de la capa de enlace [17]

Parámetro	Descripción
Frame size	Es el tamaño de la trama Ethernet incluida MAC de destino, MAC de origen, longitud, carga útil, FCS y etiquetas VLAN. Es posible generar tramas entre 64 y 10000 bits.
Encapsulation	Se configura la forma en que los datos se encapsulan en las tramas Ethernet, las encapsulaciones permitidas son: <ul style="list-style-type: none"> • VLAN: las tramas transmitidas son etiquetadas con la norma IEEE 802.1Q. Cualquier valor entre 0 a 4095 está permitido. • Q-in-Q: las tramas transmitidas llevan dos etiquetas VLAN, una corresponde al proveedor de servicio (S-VLAN, etiqueta sin estándar) y la otra corresponde al cliente (C-VLAN, etiqueta IEEE 802.1Q). • IEEE 802.1ad: similar a Q-in-Q, pero esta opción sigue la norma IEEE 802.1ad. • Local Profile: se establece la prioridad de C-VID y C-VLAN.
Source MAC address from	Se establece el origen de la dirección MAC; existen dos configuraciones posibles: <ul style="list-style-type: none"> • Local: la dirección MAC de origen se establece con la MAC de fábrica asignada al puerto. • Manual: el usuario define la dirección MAC de origen.
Source MAC address	Se establece la dirección MAC de origen si se ha seleccionado el modo manual.

Destination MAC address from	<p>Se establece el destino de la dirección MAC; existen tres configuraciones posibles:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Manual: el usuario define la dirección MAC de destino. • ARP: usa el protocolo de resolución de direcciones (disponible solo en generación de tráfico IP). • Range: el flujo es transmitido a un grupo de direcciones MAC.
Destination MAC address	Se establece la dirección MAC de destino si se ha seleccionado el modo manual.
Address range size	Se configura el rango de direcciones MAC de destino si se ha seleccionado el modo range.
Ethertype	Este campo es el encargado de codificar el tipo de carga útil en el campo de trama. Es un valor fijo y no puede ser establecido por el usuario.
C-VID	Este campo establece el identificador de la VLAN.
C-VLAN priority	Se establece al flujo de datos prioridades para asignar tratamientos específicos a las tramas. Es posible asignar un valor de 0 al 7.
S-VLAN TPID	El campo Ethertype se asociará a la etiqueta S-VLAN en Q-in-Q, son posibles cuatro valores diferentes: 0x8100, 0x9100, 0x9200, 0x9300. Si la encapsulación está configurada en IEEE 802.1ad, el tipo de E-VLAN se establece en 0x88a8.
S-VID	Se establece el identificador de la VLAN para el campo de doble etiqueta.
S-VLAN priority	Se establece al flujo de datos prioridades para asignar tratamientos específicos a las tramas. Es posible asignar un valor de 0 al 7.

2.8.6.4 GENERACIÓN DE TRÁFICO IP

Trabajar en el nivel de capa 3 permite abandonar la red local y llegar a redes remotas, la generación de tramas IP está disponible para el puerto A en el modo IP

endpoint. La configuración física (capa 1) y MAC (capa 2) es similar al modo Ethernet endpoint, con la diferencia de que se encuentra habilitado el protocolo ARP, es necesario configurar el paquete IPv4 (ver **Tabla 2.24**) y opcionalmente usar etiquetas MPLS (Multi-Protocol Label Switching) [17].

MPLS es una tecnología diseñada para acelerar la conmutación de paquetes IP en enrutadores al separar las funciones de selección de ruta y reenvío de paquetes en dos planos (control y reenvío), trabaja entre a capa 2 y capa 3. El plano de control gestiona las rutas con los protocolos de enrutamiento. El plano de reenvío cambia los paquetes IP haciendo uso de etiquetas (LSR) y circuitos virtuales (LSP) para optimizar el proceso de enrutamiento [17].

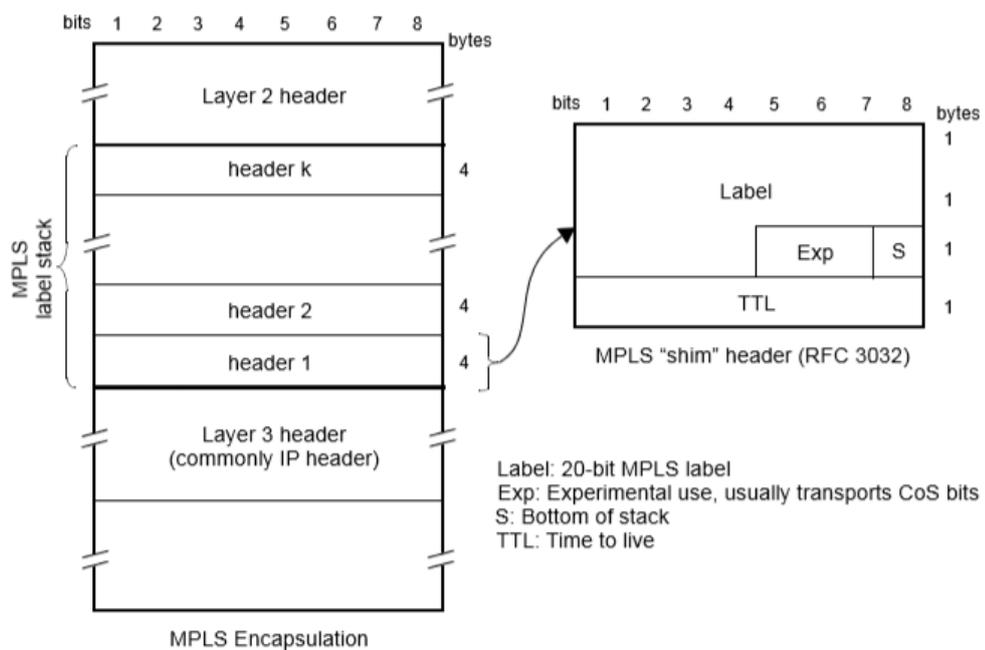


Figura 2.25 Formato MPLS.

Fuente: *xGenius Ethernet & IP Testing Guide*

Tabla 2.24 Configuración de la capa de red [17]

Parámetro	Descripción
Source IPv4 address from	Se establece el origen de la dirección IPv4; existen dos configuraciones posibles: <ul style="list-style-type: none"> Local: la dirección IPv4 de origen se establece con la dirección configurada en el perfil local. Manual: el usuario define la dirección IPv4 de origen.

Source IPv4 address	Se establece la dirección IPv4 de origen si se ha seleccionado el modo manual.
Destination IPv4 address from	Se establece la dirección IPv4 de destino; existen tres configuraciones posibles: <ul style="list-style-type: none"> • Manual: el usuario define la dirección IPv4 de destino. • Range: el flujo es transmitido a un grupo de direcciones IPv4. • Host name: usa el Domain Name Service (DNS) para dar la dirección IPv4 de destino, es necesario un servidor DNS.
Destination IPv4 address	Se establece la dirección IPv4 de destino si se ha seleccionado el modo manual.
Address range size	Se configura el rango de direcciones IPv4 de destino si se ha seleccionado el modo range.
Destination host name	Se establece el nombre del destino si ha seleccionado el modo host name.
DSCP	Differentiated Services Code Point, es un campo de Clase de Servicio (CoS) para asignar prioridades o tratamientos específicos a grupos de paquetes. Es posible asignar un valor de 0 a 63.
TTL	Se establece el tiempo de vida de los paquetes transmitidos.
UDP	Habilita el protocolo de transporte de datagramas de usuario, si está activo, el campo Transport protocol se establece en 17.
Transport protocol	Se configura el protocolo de transporte, 6 para TCP, 17 para UDP y 1 para ICMP.
Source port	Puerto de la capa de transporte de origen transmitido en el encabezado UDP (habilitado solo para transmisiones UDP).
Destination port	Puerto de la capa de transporte de destino transmitido en el encabezado UDP (habilitado solo para transmisiones UDP).

Tabla 2.25 Configuración MPLS [17]

Parámetro	Descripción
-----------	-------------

Stack configuration	<p>Configura el tipo de etiqueta MPLS; se admiten dos tipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Simple: se configura la etiqueta inferior, la clase de tráfico y el TTL para el encabezado MPLS. • Doble: se configura la etiqueta superior e inferior, la clase de tráfico y el TTL para el encabezado MPLS.
Bottom label	Etiqueta usada para cambiar el encabezado MPLS inferior.
Bottom traffic class	Se define el identificador de clase de tráfico para el encabezado MPLS inferior.
Bottom TTL	Se define el tiempo de vida para el encabezado MPLS inferior.
Top label	Etiqueta usada para cambiar el encabezado MPLS superior.
Top traffic class	Se define el identificador de clase de tráfico para el encabezado MPLS superior.
Top TTL	Se define el tiempo de vida para el encabezado MPLS superior.

2.8.7 INSERCIÓN DE EVENTOS

El xGenius tiene la capacidad de insertar eventos en las señales generadas para someter al DUT/SUT a pruebas de estrés, estos pueden ser colocados en varios modos de operación como: simple, ráfaga, aleatorio o mediante una tasa [17].

Tabla 2.26 Tipos de eventos [17]

Tipo de Evento	Descripción
FCS	Frame Check Sequence es un código de detección de errores que se agrega a una trama; este campo genera errores en la verificación de tramas. En la práctica los errores FCS son causados por un enlace con un presupuesto de energía pobre.
IPv4 checksum	Es un algoritmo para proteger el encabezado IPv4 de los paquetes contra la corrupción de datos; este campo genera cuadros con una suma de comprobación IPv4 no válida (disponible en modo IP endpoint).

Undersized frames	Este evento genera tramas más cortas que el tamaño mínimo permitido (64 bytes)
TSE	Test Sequence Errors genera una diferencia entre el patrón de bits (PRBS) transmitido y el recibido (disponible en modos de prueba BER).

2.9 ATORMENTADOR DE TRÁFICO

Albedo Net.Storm es un comprobador portátil con la capacidad de emular diferentes degradaciones que se encuentran en las redes Ethernet e IP, una de sus aplicaciones es la de determinar si una aplicación o dispositivo de red es apropiado en operar en dichas redes [20].



Figura 2.26 Equipo Net.Storm
Fuente: SLA verification + QoS control

2.9.1 PANEL DE CONECTORES DE PRUEBA

El equipo Net.Storm se puede conectar al dispositivo o sistema a través del panel de conectores, la **Figura 2.27** indica y la **Tabla 2.27** describe las interfaces de conexión que posee el equipo [20].

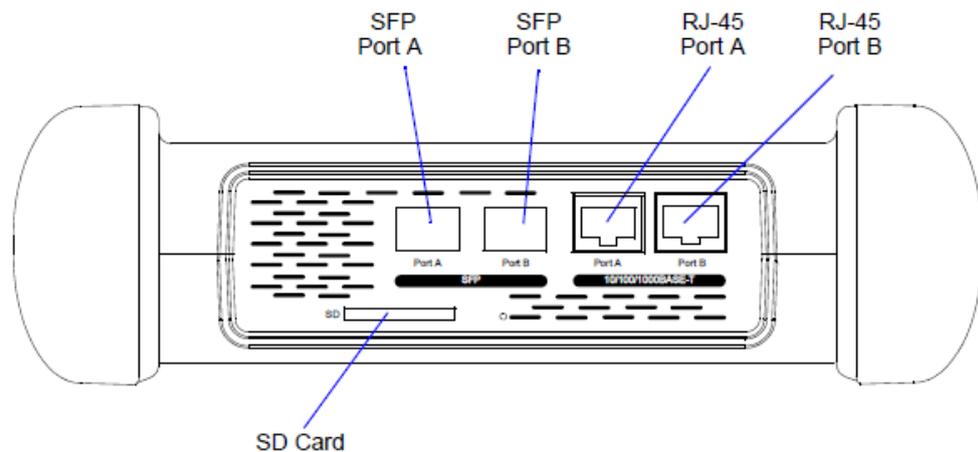


Figura 2.27 Interfaces de conexión del equipo Net.Storm
Fuente: Net.Storm Network Impairment Generator

Tabla 2.27 Interfaces del Net. Storm [20]

Interfaz	Descripción
RJ-45 Puerto A	Primer puerto con 10/100/1000 BASE-T con todas las funciones para la transmisión y recepción de Ethernet.
RJ-45 Puerto B	Segundo puerto con 10/100/1000 BASE-T con todas las funciones para la transmisión y recepción de Ethernet.
Puerto SFP A	Primer puerto utilizado para conectar el comprobador a la red a través de una interfaz óptica con la ayuda del módulo SFP.
Puerto SFP B	Segundo puerto utilizado para conectar el comprobador a la red a través de una interfaz óptica con la ayuda del módulo SFP.
Tarjeta SD	Slot utilizado como dispositivo de almacenamiento externo.

2.9.2 INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO

La pantalla y el teclado permiten al usuario configurar los valores de pruebas y la visualización de resultados; los estados de la conexión se presentan en los Leds y contiene un encabezado con la información sobre el estado actual como fecha, hora, pruebas de ejecución, inserción de eventos e identificador activo del panel. En el panel de interfaz gráfica posee los siguientes elementos explicados en la **Tabla 2.28** [20].

Tabla 2.28 Interfaz Gráfica del Net.Storm [20]

Elementos	Descripción
Test	Contiene los elementos de configuración general, de prueba, prueba retrasada, los objetivos de rendimiento, la inserción de eventos y configuración de informes.
Setup	Proporciona el acceso a la configuración de recursos de prueba que contienen el puerto A y B.
Resultados	Permite al usuario examinar los resultados de las pruebas que previamente haya iniciado al capturar los datos.
File	Menú de gestión de archivos que incluye la configuración, resultados y gestión de archivos de informes, los archivos se pueden copiar, exportar, importar y eliminar.
System	Proporciona herramientas de gestión de plataforma.

2.9.3 CONEXIÓN DEL NET.STORM

La conexión del Net.Storm para la generación de degradación de Ethernet es en modo de paso, lo que permite que el tráfico pase a través del comprobador. La operación del equipo es bidireccional, lo que significa que ambas direcciones de transmisión son procesadas simultáneamente por el equipo, si la generación de deterioro está deshabilitada, Net.Storm no altera el tráfico [20].

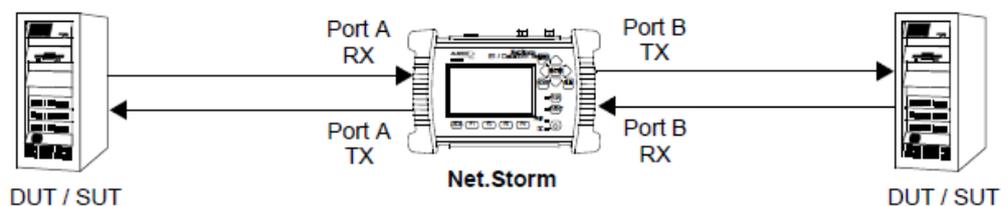


Figura 2.28 Generación de deterioro bidireccional con Net.Storm
Fuente: Net.Storm Network Impairment Generator

2.9.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El equipo Net.Storm no elimina automáticamente las tramas con errores, si se configura en modo espejo las tramas con error se reenvían. Tenemos la **Tabla 2.29** en el análisis de tramas [20].

Tabla 2.29 Análisis de tramas del Net. Storm [20]

Métricas	Descripción
Frames	Número total de tramas recibidas por un puerto de prueba desde el inicio de prueba.
Bytes	Recuento total de bytes recibido por el puerto de prueba desde el comienzo de la prueba.
Broadcast Frames	Número total de tramas de transmisión recibidas (FF:FF:FF:FF:FF:FF) en el campo destino.
Multicast Frames	Recepción de tramas de multidifusión en su dirección MAC de destino establecido en 1.
Control Frames	Número total de tramas de supervisión y control de MAC recibidas, poseen un valor especial de Ethertype (0x8808).
Flow control frames	Número total de tramas de pausa, poseen como característica las tramas de pausa un código de operación 0x0001 y destino MAC 01:80:C2:00:00:01.
Tagged frames	Número total de tramas VLAN de Ethernet recibidas.
FCS errored Frames	Cuenta todos los errores FCS detectados desde el inicio de la prueba.
Oversized frames	Número total de tramas recibidas más grandes que la MTU configurada.
Undersized frames	Número total de tramas recibidas más pequeñas de 64 bytes.
Jabbers	Se define como una trama de más de 1518 bytes con un CRC incorrecto.

2.9.5 INSERCIÓN DE EVENTOS

2.9.5.1 PÉRDIDAS

El Net.Storm proporciona varios modos de inserción de pérdidas de trama explicados en la **Tabla 2.30**.

Tabla 2.30 Descripción de eventos del Net. Storm [20]

Modo	Descripción
Ninguna	Desactiva la inserción de pérdida de trama.
Único	Se inserta una sola pérdida de trama en la primera oportunidad de inserción.
Ráfaga temporizada	Elimina una secuencia de tramas consecutivos dentro de un periodo de tiempo.
Ráfaga de tramas	Suelta un numero configurable de tramas consecutivos.
Ráfaga periódica temporizada	Suelta ráfagas periódicas de tramas, los periodos de tiempo y tramas a transmitir son configurables.
Ráfaga periódica de trama	Suelta ráfagas de trama periódicas, la cantidad de tramas, la separación entre las ráfagas es configurables.
Aleatorio	Los paquetes se eliminan aleatoriamente con una probabilidad constante configurable.
Aleatorio de 2 estados	Simula un canal de transmisión con 2 probabilidades de pérdida diferentes.
Longitud de ráfaga	Las tramas recibidas durante el intervalo de tiempo especificado en este campo se eliminan, en el caso de no recibir ninguna trama dentro del periodo especificado no se descarta ninguna trama.
Separación de ráfagas	Especifica la separación en unidades de tiempo entre ráfagas consecutivas de pérdida.

Probabilidad de perdida	Si el modo de inserción se establece en Aleatorio, esta es la probabilidad de un evento de pérdida de un solo paquete.
Longitud media	Configura la longitud promedio en número de tramas del primer estado en el modo de inserción de 2 estados.

2.9.5.2 ANCHO DE BANDA

Los filtros de control de ancho de banda son útiles en el caso que el usuario desee simular enlaces de ancho de banda más pequeño que la capacidad nominal del canal (10 Mbps, 100 Mbps, 1000 Mbps). La **Tabla 2.31** se describen los diferentes modos de control de ancho de banda.

Tabla 2.31 Control del Ancho de Banda [20]

Métrica	Descripción
Ninguna	Desactiva el control de ancho de banda.
Shaping	Simula un filtro de conformación, el filtro de configuración puede transmitir un token almacenado en su contenedor de token, el depósito se llena con nuevos tokens a una velocidad constante para reemplazar los gastados en las tramas transmitidas.
Policing	Simula un filtro de vigilancia, se permite que un filtro de vigilancia transmita una trama por cada token almacenado en búfer virtual conocido como token bucket, el depósito se llena de nuevos tokens a una velocidad constante para reemplazar los gastados en las tramas transmitidas.

2.9.5.3 DUPLICACIÓN DE TRAMAS

Admite la duplicación de tramas del tráfico, posee los siguientes modos de trabajo explicados en la **Tabla 2.32**.

Tabla 2.32 Modos de Duplicación de tramas [20]

Modo	Descripción
------	-------------

Ninguno	Deshabilita la inserción de duplicados de tramas.
Único	Una sola trama es duplicada en la primera oportunidad en la inserción del evento.
Aleatorio	Los paquetes se duplican aleatoriamente con una probabilidad constante configurable.

2.9.5.4 ERROR DE TRAMAS

El Net.Storm admite la inserción de errores, modifica el campo de tramas seleccionadas y configurables descritas en la **Tabla 2.33**.

Tabla 2.33 Inserción de error de tramas [20]

Modo	Descripción
Ninguno	Deshabilita la inserción de error de trama.
Único	Se agrega un error en la primera oportunidad en la inserción del evento.
Aleatorio	Las tramas con errores se insertan aleatoriamente con una probabilidad constante configurable.

2.9.5.5 DELAY & JITTER

Los filtros de retardo y jitter generan retraso en las tramas de Ethernet/IP. La **Tabla 2.34** se describen los diferentes modos de inserción de retardo.

Tabla 2.34 Modos de Configuración de Delay & Jitter [20]

Modo	Descripción
Ninguna	Desactiva la inserción de retardo & jitter.
Determinista	Agrega un retardo configurable constante en ms o s las tramas de ingreso.

Aleatorio (Uniforme)	Agrega un retraso aleatorio a cada trama de ingreso, la función de densidad de probabilidad en este modo de inserción de retardo es uniforme.
Aleatorio (Exponencial)	Agrega un retraso aleatorio a cada trama de ingreso, la función de densidad de probabilidad es exponencial.

2.10 CAPTURADOR DE TRÁFICO

Es un equipo que posee 2 puertos SFP de 1 Gbps y 2 puertos RJ-45 de 1 Gbps, los puertos SFP tiene las líneas de interfaces A y B, los puertos RJ-45 puede ser usado como interfaces espejo y pueden analizarse con otros equipos. El Net.Hunter tiene la función de capturar el tráfico con propiedades específicas que elija el usuario [21].



Figura 2.29 Equipo Net.Hunter
Fuente: Field Packet Capture

2.10.1 MODOS DE OPERACIÓN

El tráfico se reenvía entre los puertos A y B sin modificaciones o retraso, el tráfico filtrado se reenvía hacia los puertos espejo o un dispositivo de almacenamiento. Puede configurarse para agregar tráfico desde las direcciones de transmisión hacia adelante y hacia atrás y presentarlas como una sola secuencia [21].

Tabla 2.35 Modo de Operación Net.Hunter [21]

Modo de Operación	Descripción
Mirror	El tráfico coincidente desde el puerto de línea A se reenvía al puerto duplicado A y el tráfico coincidente desde el puerto de línea B se reenvía al puerto duplicado B.
Mirror & aggregate	El tráfico coincidente de los puertos de línea A y B se reenvía al puerto duplicado B.
Store	El tráfico correspondiente de los puertos de línea A y B se reenvía a la tarjeta SD.

El equipo Net.Hunter posee 2 puertos SFP para el análisis, se puede utilizar la operación eléctrica y óptica estos son compatibles. En los resultados se muestran las características del SFP y sus características, se almacenan en el equipo e indican su compatibilidad, el vendedor y número del SFP [21].

2.10.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Net.Hunter utiliza estadísticas de tráfico básicas sobre las redes Ethernet con velocidades hasta 1 Gbps, las estadísticas en el puerto A y B son idénticas, algunas estadísticas se refieren al tráfico detectado en los puertos de línea, otras a tramas monitoreadas incluida las caídas de trama en las interfaces espejo primarias o secundarias [21].

Tabla 2.36 Análisis de tramas Net.Hunter [21]

Métrica	Descripción
Frames	Número total de tramas almacenados y transmitidos por un puerto espejo desde que comenzó la acción de captura.
Bytes	Número total de bytes almacenados por el puerto espejo, 1 byte está definido por 8 bits.
Broadcast frames	Número total de tramas de transmitidas con dirección Ethernet (FF:FF:FF:FF:FF:FF) en el campo de destino.

Multicast frames	Tramas de multidifusión tienen su bit en su dirección MAC de destino establecido en 1.
Control frames	Número total de tramas de supervisión y control de MAC transmitidas a un puerto espejo.
Tagged frames	Número total de tramas VLANs transmitidas a un puerto espejo, según IEEE 802.1Q las tramas VLANs contienen un valor de tipo Ethernet de longitud 0x8100.
FCS errored frames	Recuento de todos los errores FCS transmitidos a un puerto espejo, los errores de FCS son causados por errores de transmisión.

CAPÍTULO 3: DESARROLLO DE PRÁCTICAS

Este capítulo está enfocado en el desarrollo de prácticas utilizando los equipos descritos anteriormente. Se proponen varios diseños con la finalidad de brindar un ambiente práctico en un entorno de laboratorio, de tal manera que los usuarios de este módulo puedan formar una base amplia en conocimientos científicos y tecnológicos en redes de fibra óptica.

Considerando la funcionalidad y limitación del laboratorio, se ha planificado un rango entre 45 y 60 minutos para concretar cada práctica.

3.1 CÁLCULOS DE ATENUACIÓN Y NIVEL DE POTENCIA

Es importante contar con un diseño de red, pues hay que considerar ciertos parámetros como: capacidad, distancias y atenuaciones para garantizar un nivel de señal utilizable en la ONU. La atenuación es el factor más importante en el diseño de una red, los eventos que provocan pérdidas se indican en la **Tabla 3.1**.

Tabla 3.1 Eventos de atenuación

Distancia	~ 0.5 dB por km en el sentido descendente 1490 nm
	~ 0.3 dB por km en el sentido ascendente 1310 nm
Conectores	Cada conector provoca una pérdida de ~ 0.6 dB
Empalmes	Cada fusión provoca una pérdida de ~ 0.1 dB

Divisores ópticos	1:2	3.01 dB
	1:4	6.02 dB
	1:8	9.03 dB
	1:16	12.04 dB
	1:32	15.05 dB
	1:64	18.06 dB

Usando la topología de red de la **Figura 3.1**, se determina los niveles de potencia óptica aceptable para la ONU y la OLT, estos valores deben estar dentro del rango de -8 dBm a -28 dBm tomando en cuenta que la potencia de transmisión de ambos equipos es de +3 dBm.

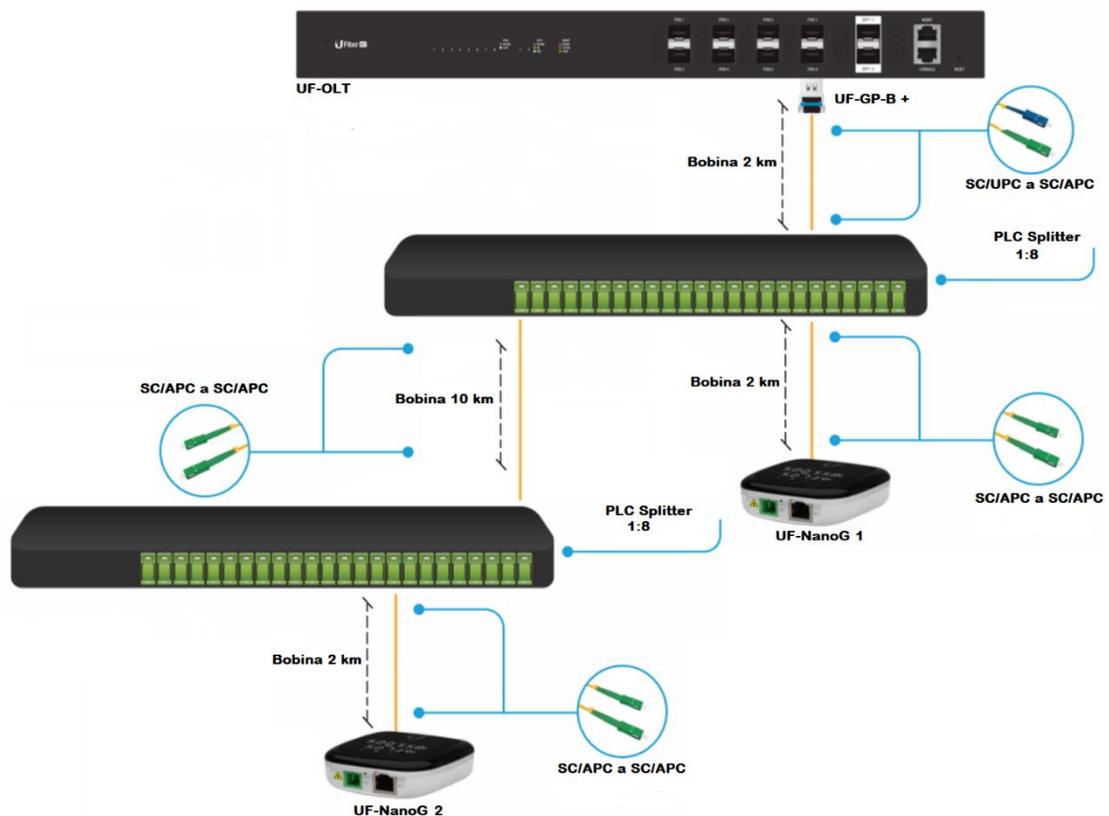


Figura 3.1 *Topología de red*
Fuente: El autor

Tabla 3.2 Atenuación en sentido descendente

ONU	Fuente	Cálculo de pérdida de potencia	Pérdida en dB
ONU 1	Longitud	$0.3 \text{ dB} \times 4 \text{ km}$	1.2 dB
	Conectores	$0.6 \text{ dB} \times 4 \text{ conectores}$	2.4 dB
	Divisor óptico	$9.03 \text{ dB} \times 1 \text{ splitter}$	9.03 dB
	Potencia recibida		-9.63 dBm
ONU 2	Longitud	$0.3 \text{ dB} \times 14 \text{ km}$	4.2 dB
	Conectores	$0.6 \text{ dB} \times 6 \text{ conectores}$	3.6 dB
	Divisor óptico	$9.03 \text{ dB} \times 2 \text{ splitter}$	18.06 dB
	Potencia recibida		-22.86 dBm

Tabla 3.3 Atenuación en sentido ascendente

ONU	Fuente	Cálculo de pérdida de potencia	Pérdida en dB
ONU 1	Longitud	$0.5 \text{ dB} \times 4 \text{ km}$	2 dB
	Conectores	$0.6 \text{ dB} \times 4 \text{ conectores}$	2.4 dB
	Divisor óptico	$9.03 \text{ dB} \times 1 \text{ splitter}$	9.03 dB
	Potencia recibida		-10.43 dBm
ONU 2	Longitud	$0.5 \text{ dB} \times 14 \text{ km}$	7 dB
	Conectores	$0.6 \text{ dB} \times 6 \text{ conectores}$	3.6 dB

	Divisor óptico	9.03 dB × 2 splitter	18.06 dB
	Potencia recibida		-25.66 dBm

3.1.1 COMPROBACIÓN DE LOS NIVELES DE POTENCIA

Antes de iniciar las pruebas de potencia, es necesario revisar el estado de la férula del conector, para hacerlo se utiliza el microscopio óptico “Lightel” el cual mostrará una imagen del aspecto del pulido.



(a) (b)
Figura 3.2 Estado de la férula (a) sucia (b) limpia
Fuente: El autor

Un conector sucio se diferencia fácilmente de uno limpio por las partículas de polvo que este presenta en su férula. Un pulido nítido asegura una óptima transmisión pues se previene los efectos de reflexión interna. Para limpiarlo se utiliza el clicker “Fiber Connector Cleaner”, el cual sirve tanto para cables y adaptadores de fibra óptica.

Para comprobar los cálculos de atenuación y nivel de potencia se utiliza el medidor de potencia óptica y se implementa la topología que se muestra en la **Figura 3.1**. Para el sentido descendente se utiliza como fuente la OLT y en el sentido ascendente se usa el OTDR como fuente empleando la herramienta “fuente de luz”, no se ocupa la ONU como fuente en upstream debido a que al desconectar el puerto PON para medir la potencia óptica el dispositivo se desengancha, por lo que no es posible realizar la medición. Es necesario conocer la potencia de salida tanto de la OLT como del OTDR, los valores medidos se muestran en la **Tabla 3.4**.

Tabla 3.4 Potencia de salida de OLT y OTDR

	Potencia de salida	Longitud de onda
OLT	4.3 dBm	1490 nm
OTDR	-2.68 dBm	1310 nm

OLT – ONU

Tabla 3.5 Niveles de potencia en sentido descendente

ONU	Potencia recibida	Atenuación calculada	Atenuación medida
1	-8.54 dBm	12.63 dB	12.84 dB
2	-24.21 dBm	25.86 dB	28.51 dB

ONU – OLT

Tabla 3.6 Niveles de potencia en sentido ascendente

ONU	Potencia recibida	Atenuación calculada	Atenuación medida
1	-16.11 dBm	13.43 dB	13.43 dB
2	-33.12 dBm	28.66 dB	30.44 dB

Es importante mencionar que la bobina de 10 km de fibra óptica presenta un evento que ocasiona una pérdida de 2.69 dB (ver **Figura 3.4** y **Tabla 3.9**), por lo que el valor calculado con el medido no concuerda para la ONU 2, sin embargo, si tomamos en cuenta esta falla los niveles de potencia son similares, lo que demuestra que el análisis de atenuación en los sentidos descendente y ascendente son correctos.

3.2 PRUEBAS DE REFLECTOMETRÍA ÓPTICA

Para familiarizar al usuario con el manejo del OTDR se realizan mediciones en los modos de operación simple, detalle y PON con el fin de verificar y evaluar el comportamiento de distintos eventos que se presentan en un enlace óptico.

3.2.1 MODO SIMPLE

La **Figura 3.3** indica el diagrama de conexión para operar en el modo simple, con esta opción el usuario tiene acceso limitado a los parámetros de configuración de medida y análisis ya que solo es posible establecer la longitud de onda de operación y el método de aproximación, mientras que el AQ7280 establece automáticamente el resto de los parámetros de configuración como rango de distancia, ancho de pulso, índice de refracción, etc.

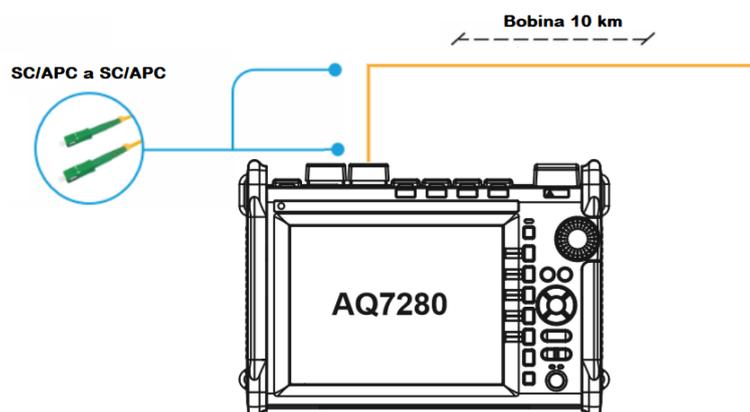


Figura 3.3 Diagrama de conexión en modo simple

Fuente: El autor

Tabla 3.7 Parámetros de configuración de medida modo simple

Condiciones de medida	
Longitud de onda	1310 nm
Rango de distancia	Auto 20 km
Ancho de pulso	Auto 100 ns
Atenuación	Auto
Intervalo de muestreo	1 m

Tabla 3.8 Parámetros de configuración de búsqueda de evento modo simple

Condiciones de búsqueda de evento	
Pérdida de empalme	1 dB
Pérdida de retorno	70 dB
Final de fibra	Auto
P. divisor óptico	13 dB

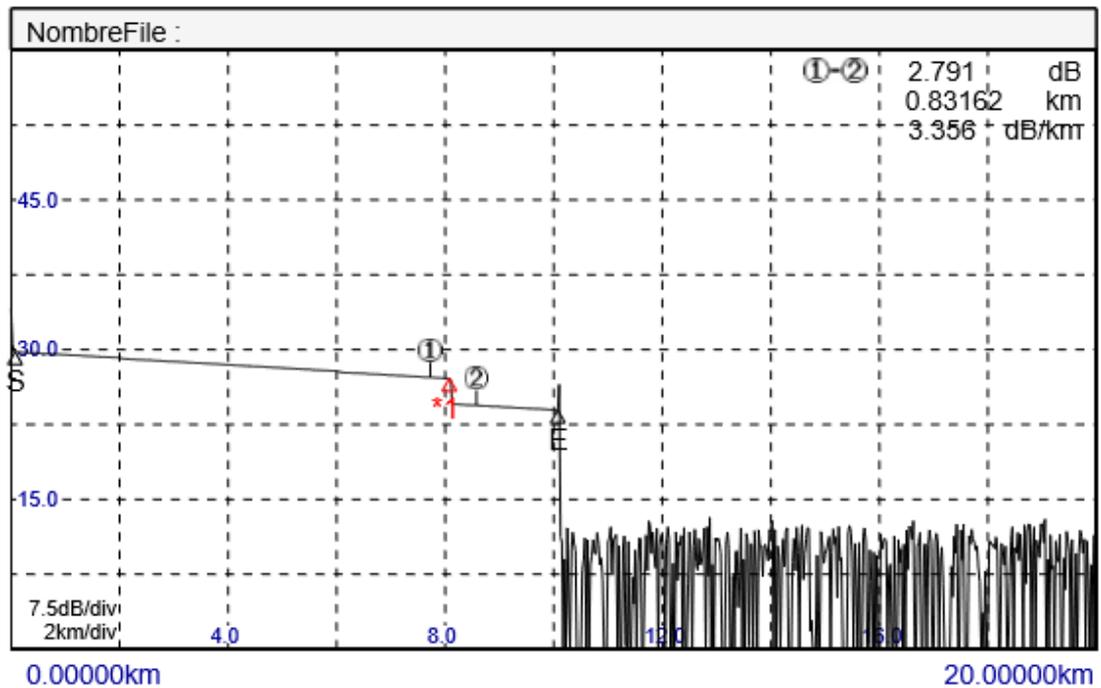


Figura 3.4 Traza reflectométrica en modo simple

Fuente: El autor

Tabla 3.9 Resultados modo simple

N. Evento	Distancia (km)	Pérdida (dB)	P. Ret. (dB)	dB/km	Tipo Evento	Índice refrac.
1	8.05333	2.69	-	0.336	Fusión	1.46
E	10.07385	-	56.464	0.312	Fin de fibra	1.46

Tabla 3.10 Resumen del enlace modo simple

Resumen del enlace	
Distancia	10.07385 km
Pérdida total	5.861 dB
Pérdida de retorno total	33.31 dB
Número de eventos	2

3.2.2 MODO DETALLE

La **Figura 3.5** indica el diagrama de conexión para operar en el modo detalle, esta opción permite al usuario el acceso a más parámetros de configuración de medición y análisis. Se recomienda este modo de operación cuando se conoce varias características del enlace bajo prueba.

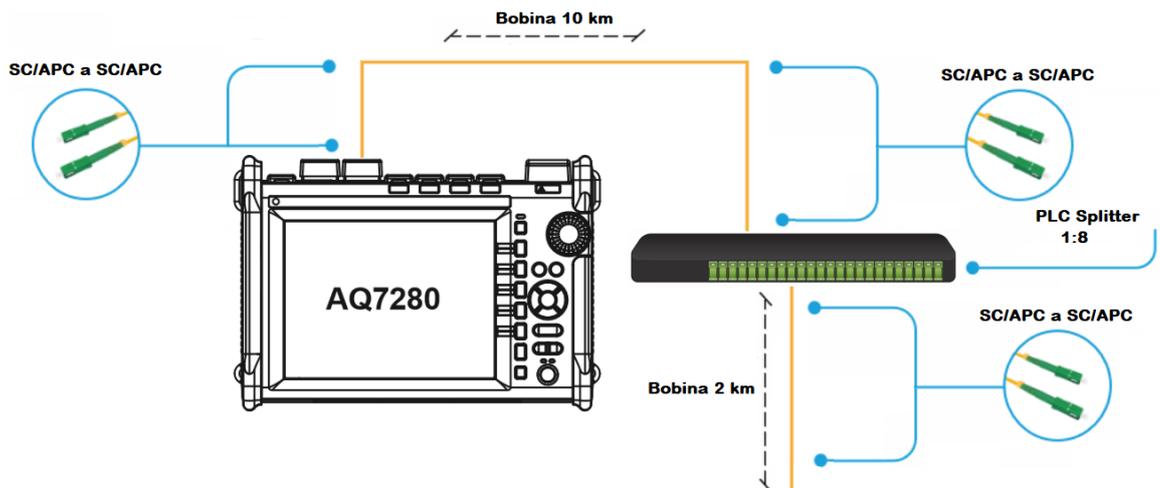


Figura 3.6 Diagrama de conexión en modo detalle

Fuente: El autor

Tabla 3.11 Parámetros de configuración de medida modo detalle

Condiciones de medida	
Longitud de onda	1310 nm
Rango de distancia	20 km
Ancho de pulso	Auto 100 ns
Atenuación	Auto
Intervalo de muestreo	Alta resolución (20 cm)

Tabla 3.12 Parámetros de configuración de búsqueda de evento modo detalle

Condiciones de búsqueda de evento	
Pérdida de empalme	1 dB
Pérdida de retorno	55 dB
Final de fibra	Auto
P. divisor óptico	11 dB

Tabla 3.13 Parámetros de configuración pasa/ no pasa modo detalle

Condiciones pasa/ no pasa	
Pérdida por conector	0.6 dB
Pérdida de empalme	0.1 dB
Pérdida de retorno	55 dB
P. divisor óptico	11 dB
dB/km	1 dB
Pérdida total	10 dB

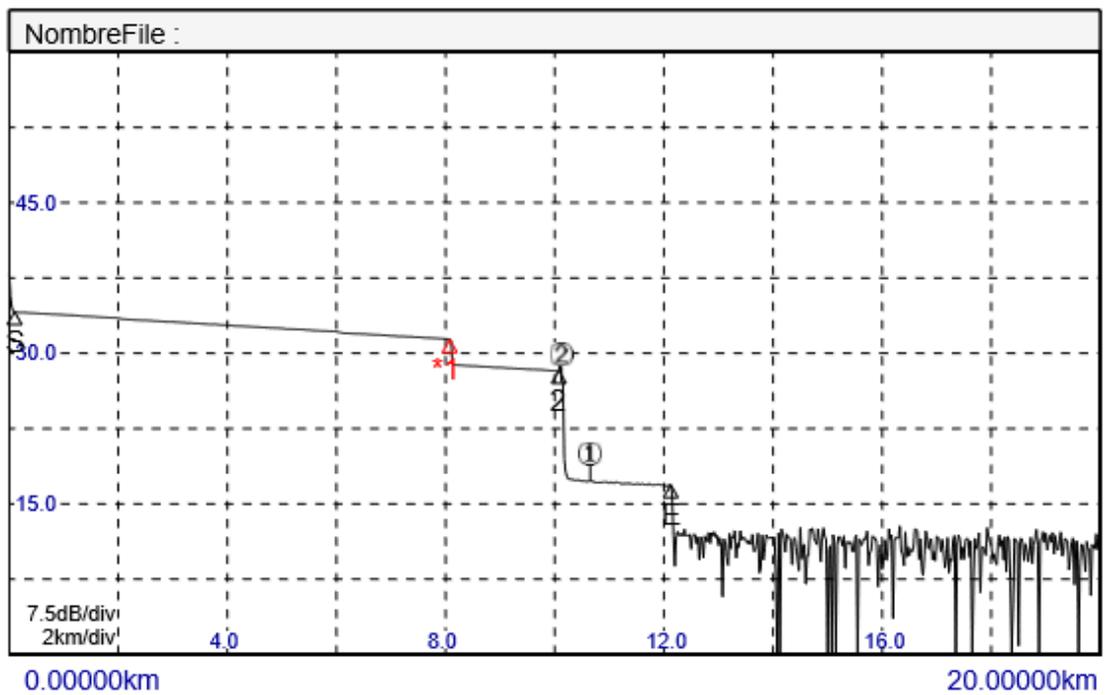
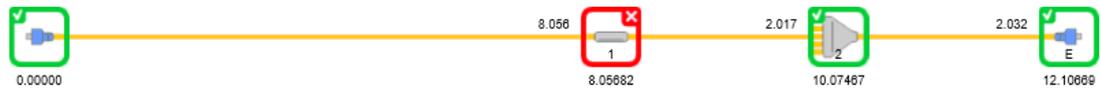


Figura 3.6 *Traza reflectométrica en modo detalle*
Fuente: *El autor*

Tabla 3.14 Resultados modo detalle

N. Evento	Distancia (km)	Pérdida (dB)	P. Ret. (dB)	dB/km	Tipo Evento	Índice refrac.
1	8.05682	2.723	-	0.342	Fusión	1.46
2	10.07427	5.9	59.939	0.314	Splitter	1.46
E	12.10669	17.337	-	0.306	Fin de fibra	1.46

Tabla 3.15 Resumen del enlace modo detalle

Resumen del enlace	
Distancia	12.10669 km
Pérdida total	17.337 dB
Pérdida de retorno total	31.206 dB
Número de eventos	3

3.2.3 MODO PON

La **Figura 3.7** indica el diagrama de conexión para operar en el modo PON, esta opción es similar al modo detallado, permite al usuario configurar las condiciones de medición y análisis en función del número de etapas de división óptica.

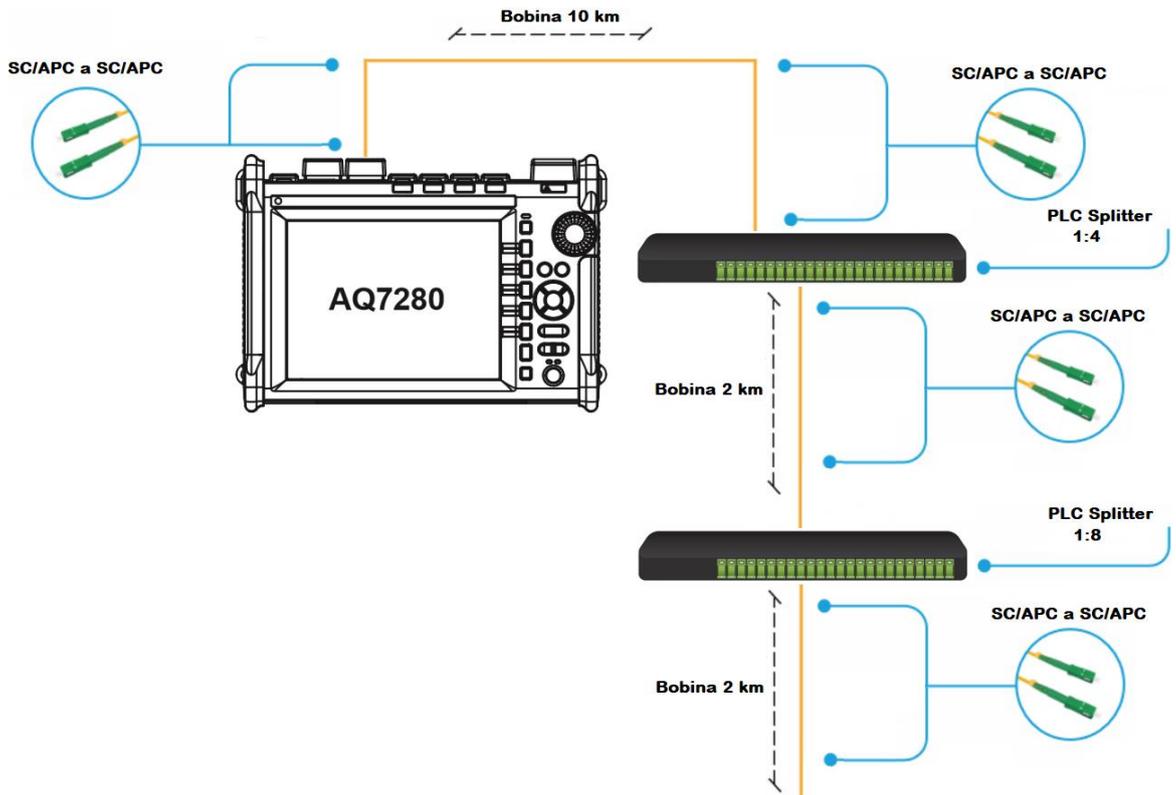


Figura 3.7 Diagrama de conexión en modo PON
Fuente: El autor

Tabla 3.16 Parámetros de configuración de medida modo PON

Condiciones de medida	
Longitud de onda	1310 nm
Rango de distancia	20 km
Ancho de pulso	Auto 500 ns
Atenuación	Auto
Intervalo de muestreo	1 m

Tabla 3.17 Parámetros de configuración de búsqueda de evento modo PON

Condiciones de búsqueda de evento	
Pérdida de empalme	2.5 dB
Pérdida de retorno	70 dB
Final de fibra	Auto
P. divisor óptico	12 dB

Tabla 3.18 Parámetros de configuración pasa/ no pasa modo PON

Condiciones pasa/ no pasa	
Pérdida por conector	1 dB
Pérdida de empalme	0.6 dB
Pérdida de retorno	60 dB
P. divisor óptico	10.5 dB
dB/km	1 dB
Pérdida total	-64.65 dB

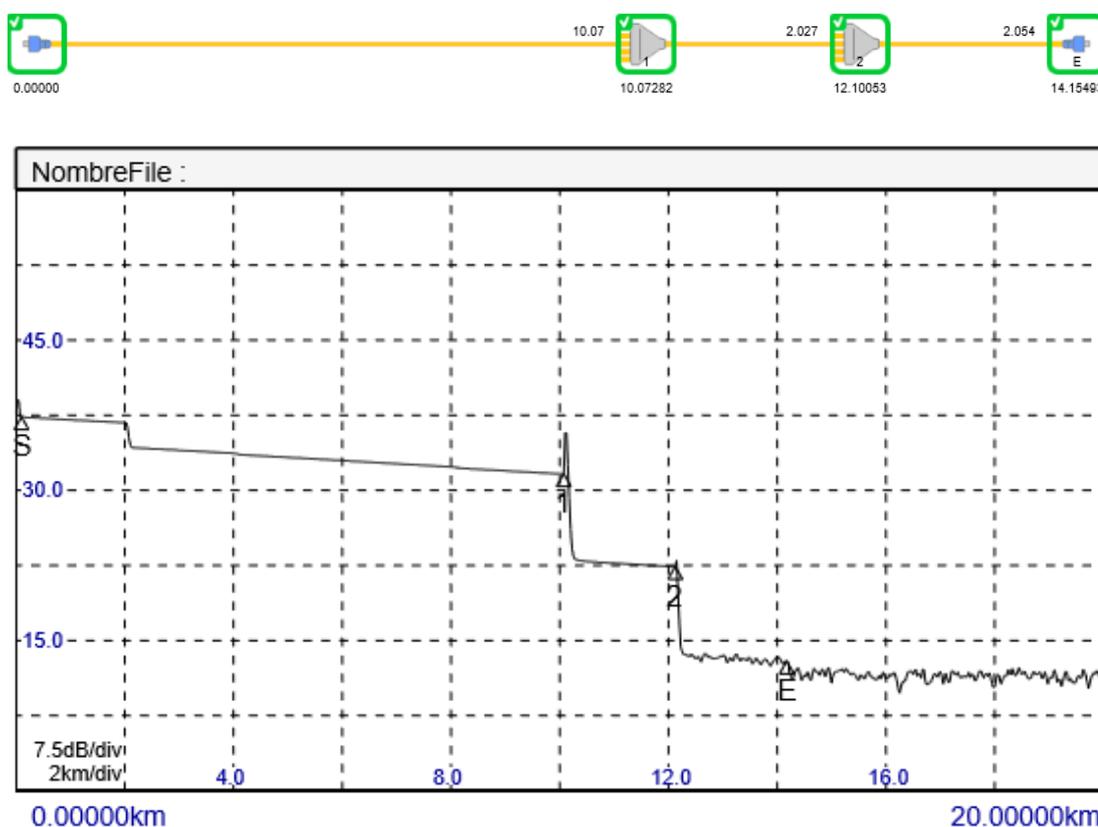


Figura 3.8 Traza reflectométrica en modo PON

Fuente: El autor

Tabla 3.19 Resultados modo PON

N. Evento	Distancia (km)	Pérdida (dB)	P. Ret. (dB)	dB/km	Tipo Evento	Índice refrac.
1	10.07282	5.646	60.074	0.565	Splitter	1.46

2	12.10053	14.901	72.674	0.326	Splitter	1.46
E	14.15496	24.402	-	0.330	Fin de fibra	1.46

Tabla 3.20 Resumen del enlace modo PON

Resumen del enlace	
Distancia	14.1596 km
Pérdida total	24.2402 dB
Pérdida de retorno total	50.162 dB
Número de eventos	3

3.2.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE REFLECTOMETRÍA ÓPTICA

Los resultados de la **Tabla 3.10**, **Tabla 3.15** y **Tabla 3.20** indican que las pruebas realizadas en los tres modos de operación son correctas pues las distancias, nivel de pérdida y eventos concuerdan con los diagramas planteados inicialmente. Cuando se opera en los modos detalle y PON es importante conocer las características del enlace bajo prueba para realizar una correcta configuración de medida, análisis, búsqueda de evento y condiciones de pasa/no pasa ya que, si estos parámetros se encuentran mal establecidos, el OTDR mostrará una medición errónea.

3.3 CARACTERIZACIÓN DEL COEFICIENTE DE ATENUACIÓN RESPECTO A LA LONGITUD DE ONDA

Las pérdidas de fibra representan un factor limitante e importante porque reducen la potencia de la señal que llega al receptor, como estos necesitan una cierta cantidad mínima de energía para recuperar la señal con precisión, la distancia de transmisión está restringida por la atenuación que se da en las fibras ópticas (ver **Ecuación 1.4**), donde el coeficiente α representa la pérdida en unidades de dB/km.

Las pérdidas de fibra dependen de la longitud de onda (λ) de luz transmitida, la **Figura 3.9** muestra el espectro de pérdida α en función de λ .

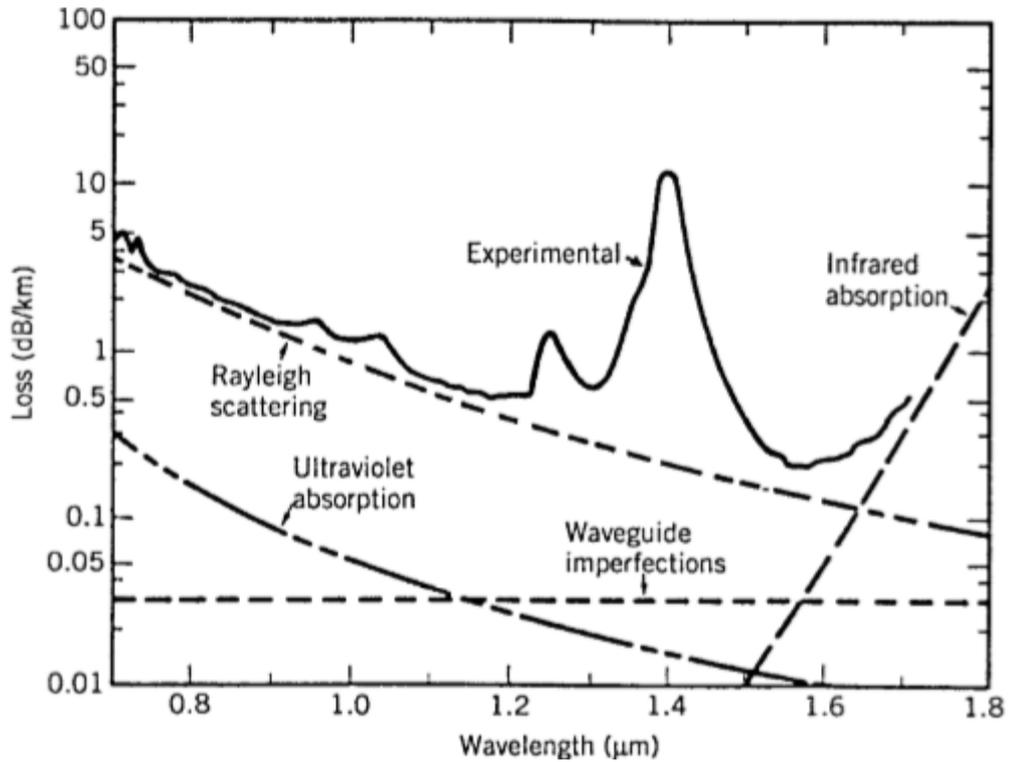


Figura 3.9 Pérdida de fibra dependiente de la longitud de onda
Fuente: *Fiber-Optic Communication System*

La **Figura 3.10** indica el diagrama de conexión para la obtención del coeficiente de atenuación respecto a la longitud de onda. Se utiliza el módulo AQ2200-132 como fuente de luz pues posee un láser sintonizable que opera en las bandas C y L, la bobina de 10 km y el módulo AQ2200-342 para medir la potencia óptica.

Se variará la longitud de onda transmitida cada 5 nm y se medirá la potencia óptica al final de la bobina de 10 km, para determinar el coeficiente de atenuación (ver **Tabla 3.21**) se utiliza la **Ecuación 1.4**. Es importante tomar en cuenta la pérdida por conectores que en la experimentación se determinó que es de 1.94 dB para la salida 1 y 1.92 dB para la salida 2, mientras que la bobina de 10 km presenta un evento que provoca una pérdida de 2.69 dB (ver **Figura 3.4** y **Tabla 3.9**).

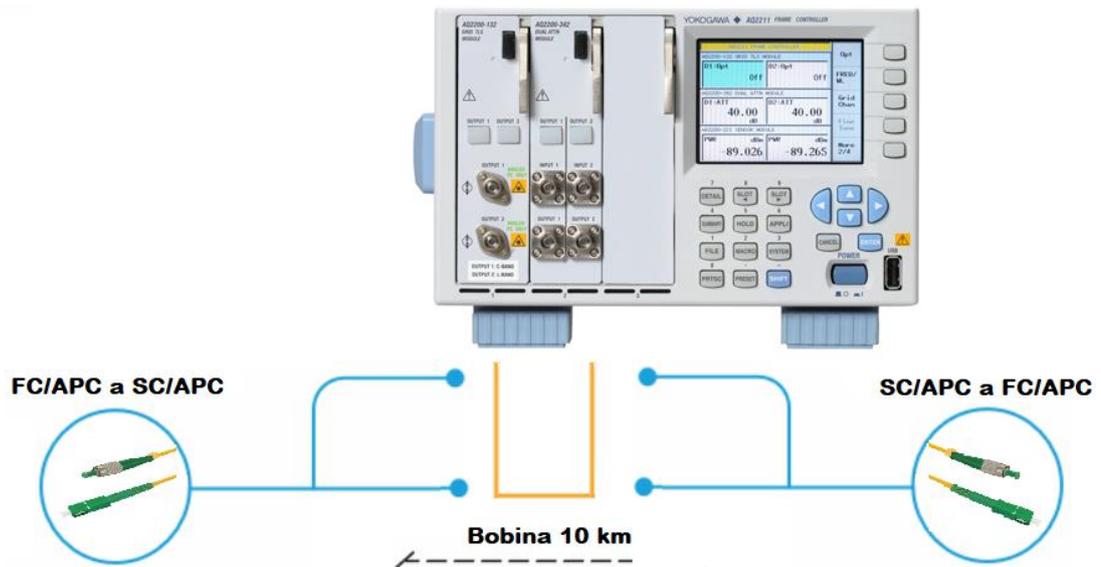


Figura 3.10 Diagrama de conexión para la caracterización del coeficiente de atenuación
Fuente: El autor

Tabla 3.21 Resultados obtenidos para el coeficiente de atenuación respecto a la longitud de onda

Longitud de onda [nm]	Longitud de onda medida [nm]	Potencia de transmisión [dBm]	Potencia de recepción [dBm]	Pérdida de fibra [dB/km]	Pérdida por conectores [dB]
1527	1527.994	10	2.75	0.262	1.94
1530	1530.334	10	2.71	0.266	
1535	1535.036	10	2.77	0.26	
1540	1539.766	10	2.79	0.258	
1545	1545.322	10	2.85	0.252	
1550	1550.116	10	2.89	0.248	
1555	1554.94	10	2.94	0.243	
1560	1559.794	10	2.95	0.242	
1565	1564.679	10	2.98	0.239	1.92
1570	1570.416	10	2.84	0.255	
1575	1575.368	10	2.85	0.254	

1580	1580.35	10	2.81	0.256
1585	1585.365	10	2.75	0.264
1590	1590.411	10	2.76	0.263
1595	1594.641	10	2.81	0.258
1600	1599.746	10	2.85	0.254
1605	1604.885	10	2.84	0.255
1608	1608.329	10	2.81	0.258

La **Figura 3.11** muestra el espectro de pérdida α en función de λ obtenido en el laboratorio, si comparamos los valores adquiridos tras la experimentación con los de la **Figura 3.9** del coeficiente de atenuación en el rango de 1520 nm hasta 1610 nm se observa que son similares, presentando un valor máximo de 0.266 dB/km y un mínimo de 0.239 dB/km.

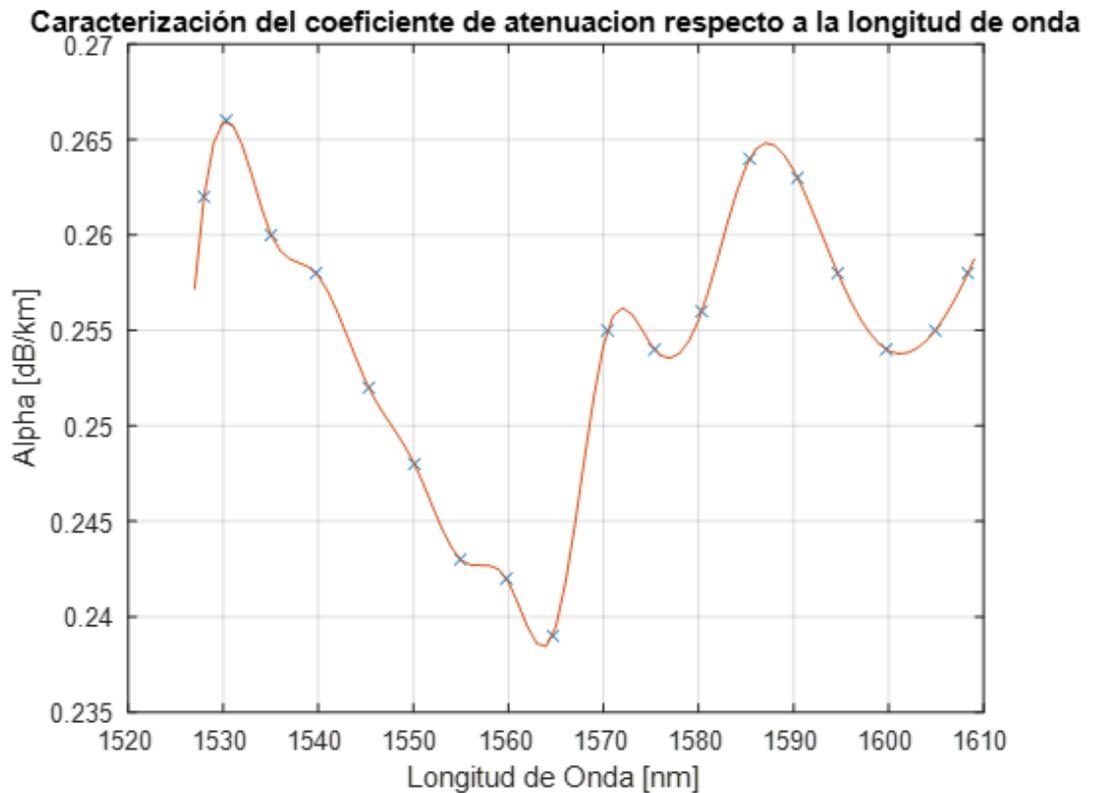


Figura 3.11 *Caracterización del coeficiente de atenuación respecto a la longitud de onda*
Fuente: El autor

3.4 CARACTERIZACIÓN DEL TIPO DE LÁSER

3.4.1 DISTRIBUTED FEEDBACK LASER DIODE

La fuente generadora de luz utiliza el láser ITLA, es sintonizable y ocupa un diodo laser de retroalimentación distribuida (DFB), este laser genera un solo espectro, cubre la banda C y L en longitud de onda lo que posee un control preciso de llegar a esas longitudes de onda. Posee un bloqueador que comprende por 2 fotodiodos y un filtro de etalon, los fotodiodos supervisan la salida óptica y el otro controla la luz que pasa a través de etalon, esto ayuda en que no se genere armónicos ni derivaciones en la longitud de onda [22].

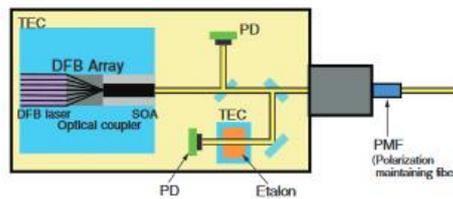


Figura 3.12 Funcionamiento del ITLA
Fuente: Development of ITLA using a full-band tunable laser

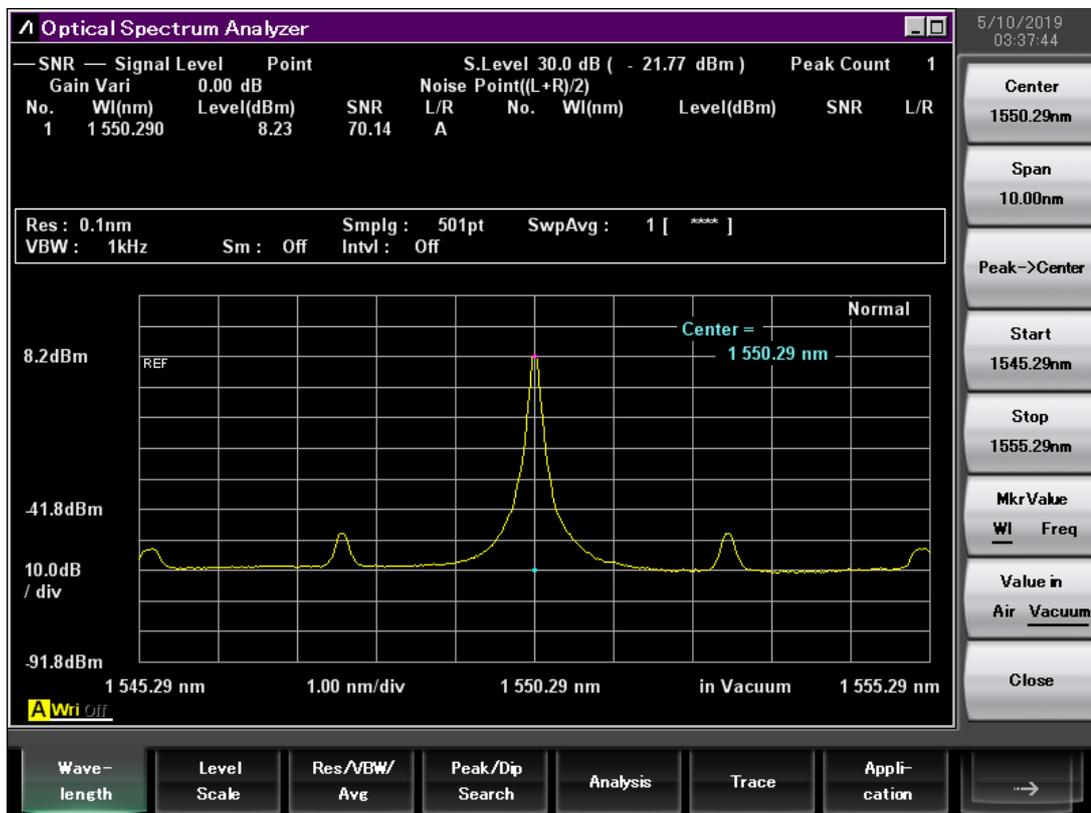


Figura 3.13 Espectro del láser DFB con longitud de onda 1550 nm láser ITLA en el generador de fuente de luz
Fuente: El autor

El OSA muestra el espectro del equipo generador de luz, se observa un solo espectro y su precisión con la longitud de onda varía por 0.3 nm. La OLT trabaja con una longitud de onda de 1490 nm y su tipo de láser es de retroalimentación distribuida (DFB).

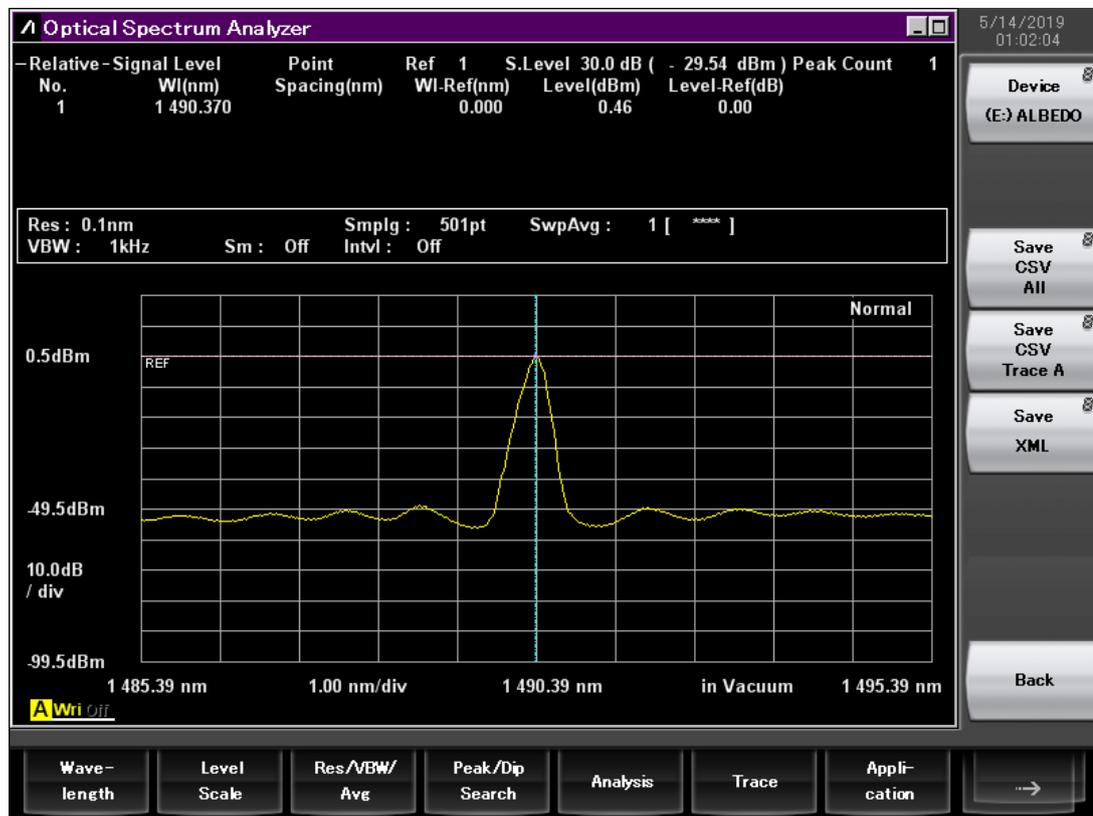


Figura 3.14 Espectro del láser DFB con longitud de onda 1490 nm de la OLT
Fuente: El autor

3.4.2 FABRY PEROT LASER DIODE

El equipo del OTDR genera luz visible a 650 nm y no visible de 1310, 1550 y 1625 nm, y el ALBEDO xGenius a 1310 nm utilizan el láser Fabry Perot que está compuesto por un LED y 2 espejos finales formando una cavidad resonante (ver **Figura 3.15**), que básicamente funcionan como un filtro atenuando las longitudes de onda que no son resonantes y dejando pasar la que sí lo son [23]. Para comprobar el tipo de láser del módulo VLS del OTDR se usa el analizador de espectros ópticos.

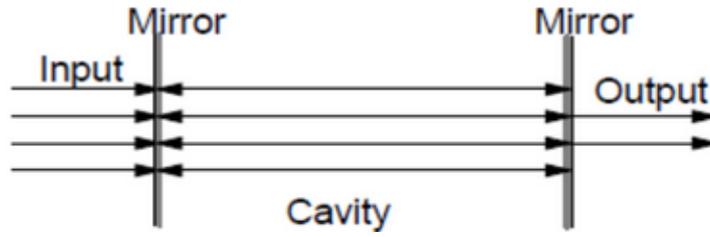


Figura 3.15 Filtro Fabry-Perot

Fuente: Vertical Taper InGaAsP / InP Fabry-Perot Laser Diode for Injection-Locking Applications in WDM PON Systems



Figura 3.16 Espectro del láser Fabry Perot con longitud de onda 650 nm luz visible del OTDR

Fuente: El autor

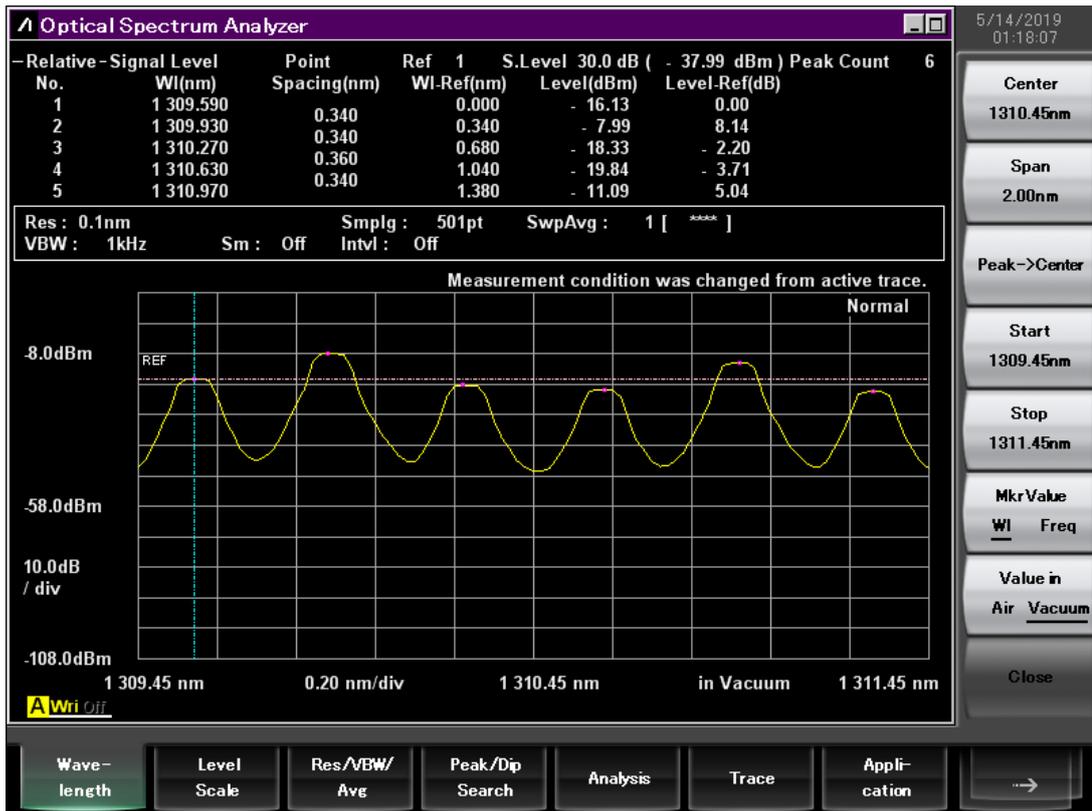


Figura 3.16 Espectro del láser Fabry Perot con longitud de onda 1310 nm luz visible del OTDR
 Fuente: El autor

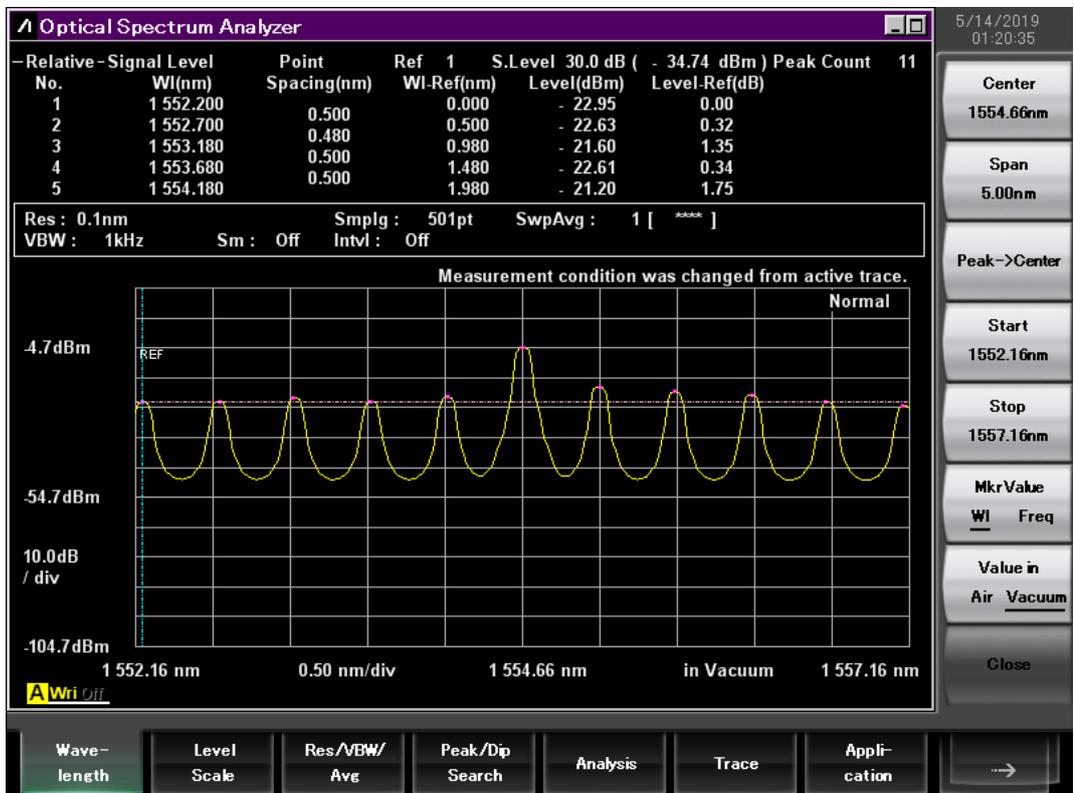


Figura 3.18 Espectro del láser Fabry Perot con longitud de onda 1550 nm del OTDR
 Fuente: El autor

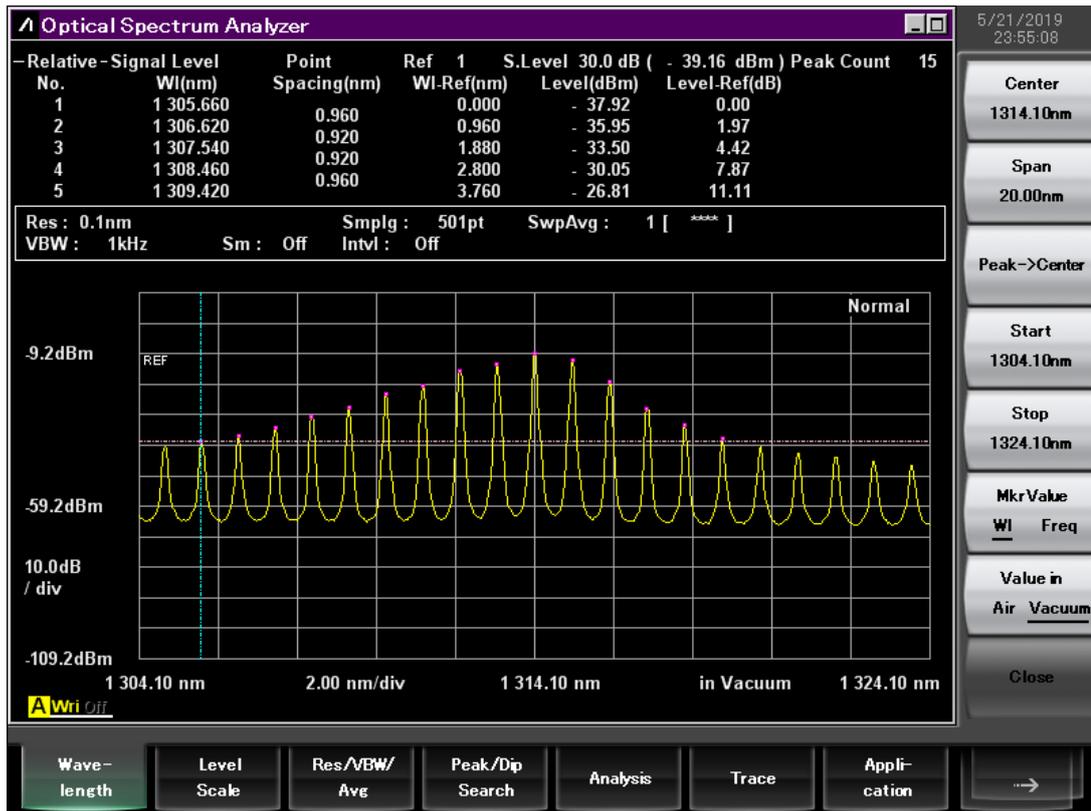


Figura 3.19 Espectro del láser Fabry Perot con longitud de onda 1310 nm del ALBEDO xGenius
Fuente: El autor

3.4.3 ANÁLISIS ESPECTRAL

El OSA muestra las frecuencias resonantes que poseen en las diferentes longitudes de Ondas, el equipo utiliza la siguiente ecuación para calcular la longitud central, y el ancho espectral (FWHM) que representa la anchura en nanómetros en el que es emitido la luz. La **Tabla 3.22** indica las longitudes y FWHM que trabajan los equipos ópticos y el tipo de láser.

$$\lambda_c = \frac{\sum(L_i * \lambda_i)}{\sum L_i} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

$$FWHM = \Delta\lambda = 2.35 \sqrt{\frac{\sum L_i (\lambda_i - \lambda_c)^2}{\sum L_i}} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Tabla 3.1 Resultados del ancho espectral

Equipo	Laser	λ_c [nm]	FWHM [nm]
Fuente de luz	DFB	1550.3	1.26

OLT		1490.37	0.92
OTDR	FP-LD	655.46	2.18
		1310.2	1.205
		1554.66	1.078
xGenius		1314.4	1.122

3.4.4 WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING

La multiplexación por división de longitud de onda es un método para aumentar la capacidad de comunicación de una fibra óptica mediante el uso de múltiples longitudes de onda. GPON hace uso de la tecnología WDM para transmitir y recibir señales hacia y desde los suscriptores en diferentes longitudes de onda, optimizando la red, los canales de subida y de bajada son para upstream de 1310 nm y downstream de 1490 nm. Se emplea la fuente óptica para representar WDM utilizando el módulo AQ2200-132 con sus 2 salidas en la banda C y L que se conectan a un divisor óptico 2:1 para mandar las señales por un solo cable de fibra óptica.

La **Figura 3.20** muestra la tecnología WDM operando con 2 longitudes de onda que trabajan a 1565.7 nm y 1570.6 nm, la **Tabla 3.23** indica los parámetros del ancho espectral, los niveles de potencia y la relación señal a ruido.

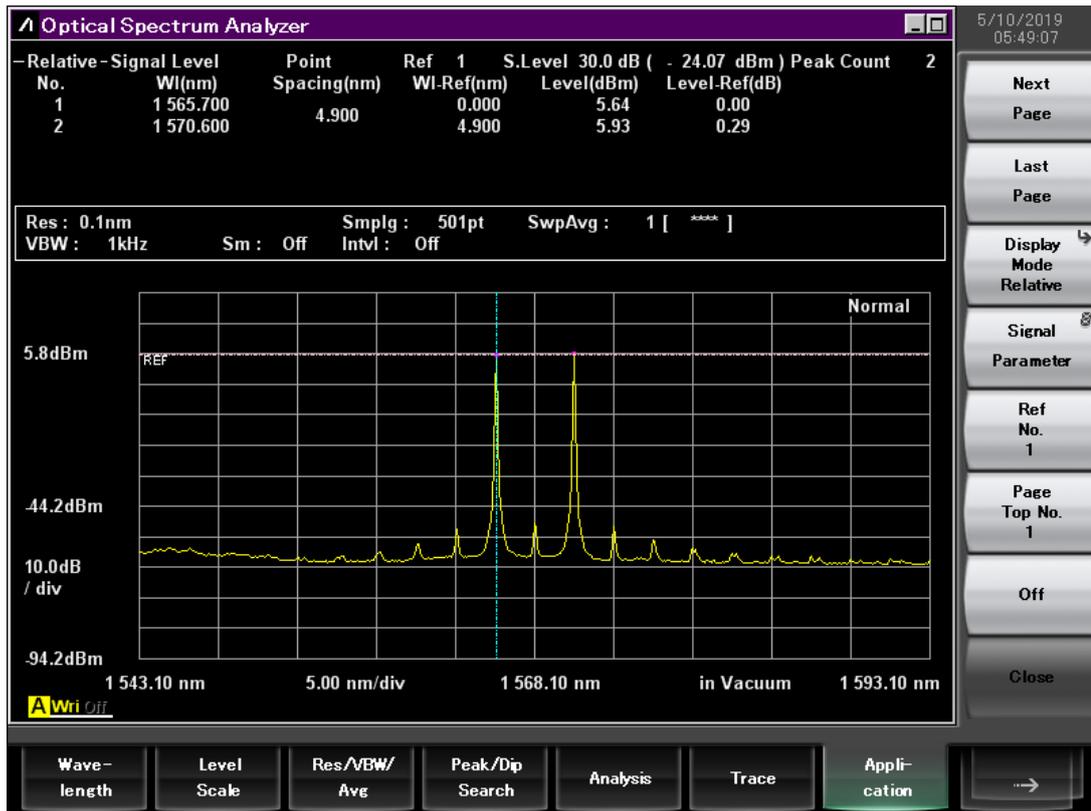


Figura 3.20 WDM test con la fuente generadora de luz
Fuente: El autor

Tabla 3.23 Resultados WDM

No	Longitud de Onda [nm]	FWHM [nm]	Potencia [dBm]	SNR [dB]
1	1565.7	1.26	5.64	67.23
2	1570.6	1.26	5.93	67.8

3.5 GENERACIÓN DE TRÁFICO

El xGenius tiene la capacidad de generar tráfico Ethernet e IP con perfiles deterministas y aleatorios de ancho de banda; la **Figura 3.21** indica el diagrama de conexión para realizar las pruebas.



Figura 3.21 Diagrama de conexión para generación de tráfico
Fuente: El autor

Debido a que los datos generados por el equipo son sintéticos, es decir, no reales, se simulan dos flujos de tráfico con cargas útiles tipo BERT y SLA para medir criterios de rendimiento de errores de bits, pérdida de paquetes y latencia; para entender los resultados de la prueba es necesario conocer los campos que se analizan, la **Tabla 3.24** indica la descripción de cada métrica.

Tabla 3.24 Métricas BERT y SLA

Carga	Métrica	Descripción
BERT	LSS	Lost of Sequence Synchronization, este campo representa que el patrón de prueba PRBS esperado no coincide con el recibido.
	TSE	Test Sequence Error, este campo es un contador acumulativo que representa errores de un 1 bit entre los patrones PRBS transmitidos y recibidos.
	BER	Bit Error Rate, es la relación entre el TSE recibido y el total de bits transmitidos, este campo representa el número de bits recibidos de forma errónea respecto al total de bits enviados en un intervalo de tiempo.
SLA	FTD	Frame Total Delay, representa la latencia entre la transmisión y recepción de la trama.
	FDV	Frame Delay Variation, representa la latencia debido a la variación de entrega de paquetes, puede ser por encolamiento o asignación de prioridad.

	Lost frames	Es la cantidad total de tramas perdidas desde el inicio de la prueba.
--	-------------	---

3.5.1 GENERACIÓN DE TRAMAS ETHERNET

La generación de tramas a nivel de capa 2 se basa en el estándar DIX (Digital/Intel/Xerox) también conocido como Ethernet II, este lleva la estructura que se muestra en la **Figura 3.22** y se encarga de codificar el tipo de carga útil en el campo de la trama.

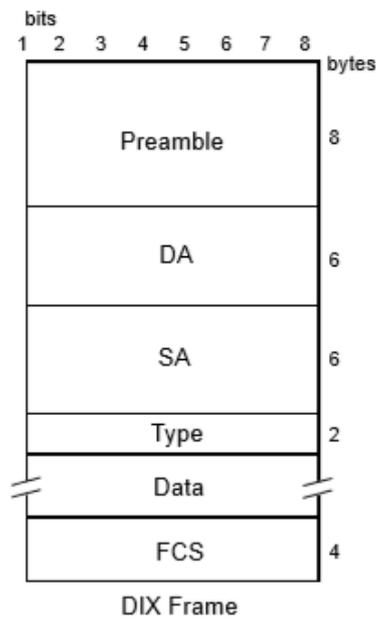


Figura 3.22 Estructura de trama DIX
Fuente: *xGenius Ethernet & IP Testing Guide*

Tabla 3.25 Descripción de la estructura de trama DIX

Preámbulo	Secuencia de bits que indican el inicio de la trama.
Dirección de destino	Dirección MAC de destino.
Dirección de origen	Dirección MAC de origen.
Tipo	Este campo identifica el protocolo de capa superior encapsulado en la trama Ethernet. Los valores comunes son hexadecimales, “0x800” para IPv4, “0x86DD” para IPv6 y “0x806” para ARP.

Datos	Bits de información que contiene la trama.
Frame Checksum Secuence	Secuencia de bits para detección de errores.

Tabla 3.26 Configuración de unidad y perfil local para generación de tramas Ethernet

Campo	Parámetro	Configuración	
Unidad	Método	One-way	
	Modo de operación global	Ethernet endpoint	
Perfil local	Puerto	A	B
	Modo del Puerto	TX/RX	Monitor
	Conector	Óptico	Óptico
	MTU	1518	N/A
	MAC	00:DB:1E:00:13:98	00:DB:1E:00:13:99

Tabla 3.27 Configuración de flujos para generación de tramas Ethernet

Campo	Flujo 1	Flujo 2
Perfil de ancho de banda	Continuo	Continuo
Tasa (%)	50	50
Carga útil	BERT ITU PRBS 2 ³¹	SLA
Tamaño de trama (bits)	1518	1518
MAC de origen	:00:13:98	:00:13:98
MAC de destino	:00:13:99	:00:13:99

3.5.2 GENERACIÓN DE PAQUETES IP

La generación de tráfico a nivel de capa 3 se basa en la estructura de datagrama IPv4 que se muestra en la **Figura 3.23**, trabajar en este nivel permite abandonar la red local y llegar a redes remotas; solo se encuentra disponible para el puerto A en el modo IP endpoint, la configuración de capa 1 y capa 2 es similar al modo Ethernet.

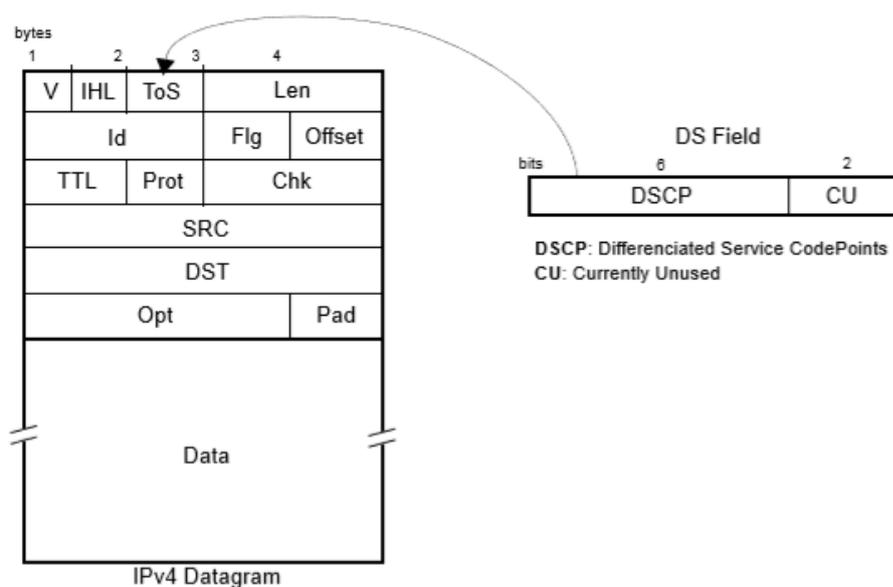


Figura 3.23 Estructura del paquete IP
Fuente: *xGenius Ethernet & IP Testing Guide*

Tabla 3.28 Descripción de la estructura IPv4

Versión	Secuencia de bits que interpretan la versión del protocolo IP v4 o v6.
Longitud del encabezado	-
Tipo de servicio	Este campo está enfocado a calidad de servicio asignando prioridades según el tipo de tráfico.
Longitud total	Longitud total del datagrama incluido encabezado y datos.
Identificación, banderas y desplazamiento de fragmentos	Estos campos permiten que los datagramas se fragmenten y se vuelvan a ensamblar en el destino.
Tiempo de vida	Conteo de saltos que decremента cada vez que pasa por enrutador, si el valor llega a cero la trama se descarta.

Protocolo	Identificación del protocolo de transporte TCP o UDP.
Checksum	Campo para detección de errores mediante la verificación del encabezado.
Dirección de origen	Dirección IP de origen.
Dirección de destino	Dirección IP de destino.
Opciones y relleno	Este campo está relacionado con la seguridad y la depuración.
Datos	Bits de información que contiene la trama.

Tabla 3.29 Configuración de unidad y perfil local para generación de paquetes IP

Campo	Parámetro	Configuración	
Unidad	Método	One-way	
	Modo de operación global	IP endpoint	
Perfil local	Puerto	A	B
	Modo del Puerto	TX/RX	Monitor
	Conector	Óptico	Óptico
	MTU	1518	N/A
	MAC	00:DB:1E:00:13:98	00:DB:1E:00:13:99
	Dirección IP	192.168.1.2	192.168.1.5
	Máscara	255.255.255.0	255.255.255.0

Tabla 3.30 Configuración de flujos para generación de paquetes IP

Campo	Flujo 1	Flujo 2
Perfil de ancho de banda	Continuo	Continuo
Tasa (%)	50	50
Carga útil	BERT ITU PRBS 2^31	SLA
Tamaño de trama (bits)	1518	1518
MAC de origen	:00:13:98	:00:13:98
MAC de destino	:00:13:99	:00:13:99
IP de origen	192.168.1.2	192.168.1.2
IP de destino	192.168.1.5	192.168.1.5
DSCP	-	-

3.5.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

La **Tabla 3.31** muestra los resultados obtenidos en las pruebas, los valores indican un alto rendimiento del sistema de transmisión óptico ya que las métricas como tasa de error de bits, latencia y pérdida de paquetes son mínimas, esto se debe a que el enlace realizado es simple, sin equipos de procesamiento de capa 2 y 3 que degraden el tráfico. Comparando las métricas de BERT y SLA en los modos Ethernet endpoint e IP endpoint, se determina que a nivel de capa 2 se disminuyen los errores y latencia debido a la estructura propia de la trama (ver **Figura 3.22** y **Figura 3.23**) ya que esta posee menos bits de control.

Tabla 3.31 Resultados de las pruebas BERT y SLA

Parámetro	Métrica	Ethernet endpoint	IP endpoint
Trama	IPv4 TX	7,249,095,384 bytes	10,957,410,116 bytes
	IPv4 RX	7,249,095,384 bytes	10,957,410,116 bytes

BERT	LSS	0	0
	TSE	0	16
	BER	0	1.8252e-10 bps
	ES	0	1
SLA	FTD promedio	2.243 μ s	51.36 μ s
	FDV promedio	0.019 μ s	0.019 μ s
	Perdida de tramas	0	0

3.6 PROVISIÓN DE QOS BASADO EN LA VERIFICACIÓN DE PARÁMETROS SLA

La ITU en la recomendación ITU-T rec. Y.1541 define ocho clases de calidad de servicio basadas en la aplicación para definir los objetivos de rendimiento en redes IP (ver **Figura 3.24**). Los servicios de telecomunicaciones se describen a través de los parámetros de ancho de banda y calidad de servicio [24].

Application	Sample	ITU-T Class							
		5	4	3	2	1	0	7	6
Live TV streaming	IPTV, Pay per View, Multi-					YES		YES	YES
Video streaming	VoD, PVS, time-shift TV					YES		YES	
Audio streaming	Music on demand					YES			
Control Protocols	Zapping, Stop/Start/Bwd/Fwd				YES				
Video downloads	VoD		YES						
Video uploads	Closed group of video user		YES						
Downloading	Images, books, etc.	YES							
Web access	Portals	YES							
Telephony	VoIP						YES		
Interactive / low	Videoconferences						YES		
Interactive	Instant Messages			YES					
Mainling	email	YES							
e-business	e-commerce			YES					

Figura 3.24 Clases de Tráfico según la ITU-T rec. Y.1541

Fuente: SLA verification + QoS control: the base for successful VoIP & IPTV deployments

La ITU-T define las características de calidad de servicio en términos de retrasos de paquetes y errores (ver **Figura 3.25**), el conjunto de parámetros que definen la QoS a nivel de IP son [24]:

- Frame Delay (IPTD), latencia de extremo a extremo (ms).
- Delay Variation (IPDV), variación de retardo de paquetes (ms).
- Packet Loss (IPLR), relación entre las tramas enviadas y las tramas de respuesta pérdidas.
- Packages Error (IPER), relación de error de bits en la recepción.
- Disordered Packages (IPRR), relación de paquetes que llegan fueran de orden.

Class	IPTD	IPDV	IPLR	IPER	IPRR	Samples
0	100 ms	50 ms	1×10^{-3}	1×10^{-4}	-	Real-time, jitter sensitive, low delay, very interactive, ie VoIP
1	400 ms	50 ms	1×10^{-3}	1×10^{-4}	-	Real time, jitter sensitive, average delay, interactive
2	100 ms	U	1×10^{-3}	1×10^{-4}	-	Transactions, low delay, very interactive, ie Internet...
3	400 ms	U	1×10^{-3}	1×10^{-4}	-	Transactions, average delay, interactive
4	1 s	U	1×10^{-3}	1×10^{-4}	-	Few missed, i.e. downloads
5	U	U	U	U	-	Best effort, i.e. email
6	100ms	50 ms	1×10^{-5}	1×10^{-6}	1×10^{-6}	High speed, low loss, low delay, interactive, ie IPTV
7	400ms	50 ms	1×10^{-5}	1×10^{-6}	1×10^{-6}	High speed, low loss, average delay, interactive

Figura 3.25 ITU-T rec. Y.1541: requerimientos de QoS para nivel IP
Fuente: SLA verification + QoS control: the base for successful VoIP & IPTV deployments

Utilizando el xGenius se simulan ocho flujos, cada uno está asignado a una clase de servicio (CoS) definida en la ITU-T rec. Y.1541, emulando diferentes aplicaciones con distintas prioridades de tráfico. Para establecer los requerimientos de calidad de servicio se aplica la arquitectura de Servicios Diferenciados (DiffServ), está usa el campo DSCP de la estructura de la trama IP (ver **Figura 3.23**), este parámetro es un código de 6 bits que clasifica cada paquete que ingresa a la red de acuerdo con el tipo de servicio (ToS). La **Tabla 3.32** indica la clase de servicio y el valor DSCP recomendado para cada aplicación, la **Tabla 3.33** muestra la configuración del equipo.

Tabla 3.32 Servicios de marca de clase [25]

Clase	Descripción	DSCP	Código	Probabilidad de caída	Aplicaciones
0	Servicios en tiempo real	46	EF	No aplica	VoIP, videoconferencias
1	Multicast streaming	34	AF41	Baja	IPTV, VoD
2	Protocolos de control	48	CS6	-	Tablas de enrutamiento, señalización
3	Servicios interactivos	32	CS4	-	Mensajes instantáneos
4	Baja pérdida	36	AF42	Meda	VoD, videoconferencias
5	Aplicaciones tradicionales	0	Best Effort	No aplica	Descargas de baja prioridad (portales web, imágenes, libros, etc)
6	Multimedia streaming	26	AF31	Baja	TV streaming
7		28	AF32	Media	Video streaming, audio streaming

Tabla 3.33 Configuración de unidad y perfil local

Campo	Parámetro	Configuración
Unidad	Método	One-way
	Modo de operación global	IP endpoint

Perfil local	Puerto	A	B
	Modo del Puerto	TX/RX	Monitor
	Conector	Óptico	Óptico
	MTU	1518	1518
	MAC	00:DB:1E:00:13:98	00:DB:1E:00:13:99
	Dirección IP	192.168.1.2	192.168.1.10
	Máscara	255.255.255.0	255.255.255.0

3.6.1 CONDICIONES DE EVALUACIÓN

Es importante establecer una adecuada dimensión de trama para la evaluación, lo conveniente es generar una serie de diferentes tamaños ya que muchos flujos tienen una variación de longitud considerable, sin embargo, se simplifica la prueba con flujos a velocidad constante, por lo que se recomienda un tamaño de campo de información fijo. Se sugieren campos de información de 160 o 1500 bytes para la estimación de calidad de funcionamiento a nivel IP [25]. La **Figura 3.26** muestra el diagrama de conexión y la **Tabla 3.34** indica la configuración de los ocho flujos generados.

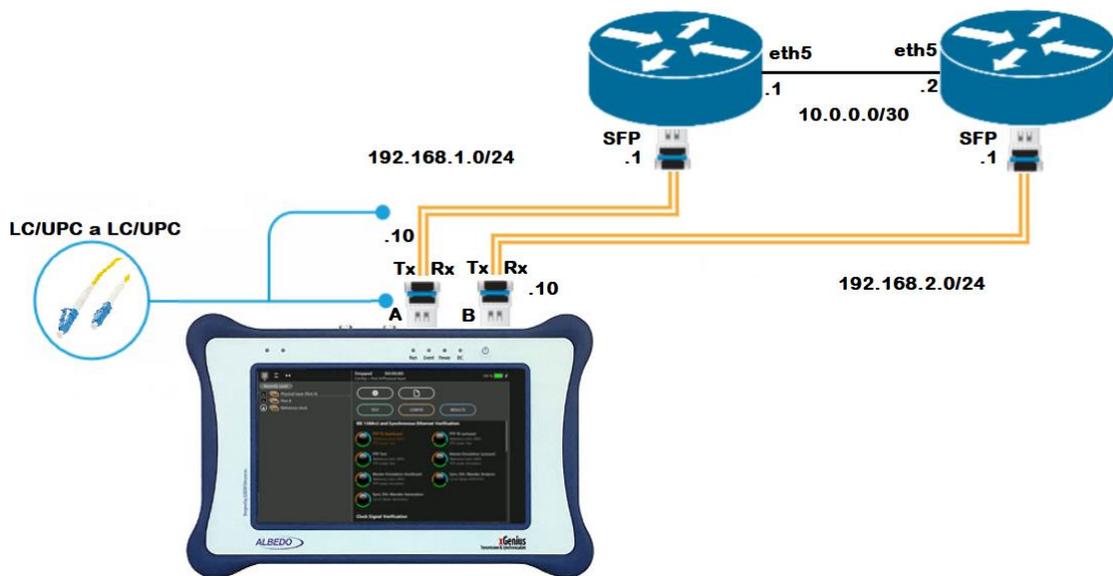


Figura 3.26 Diagrama de conexión para pruebas de SLA y QoS

Fuente: El autor

Tabla 3.34 Configuración de flujos

Campo	Flujo 1	Flujo 2	Flujo 3	Flujo 4
Perfil de ancho de banda	Continuo	Continuo	Continuo	Continuo
Tasa (Mbps)	10	10	10	10
Carga útil	SLA	SLA	SLA	SLA
Tamaño de trama (bytes)	256	256	256	256
MAC de origen	:00:13:98	:00:13:98	:00:13:98	:00:13:98
MAC de destino	:00:13:99	:00:13:99	:00:13:99	:00:13:99
C-VID	10	20	30	40
Prioridad C-VLAN	0	0	0	0
IP de origen	192.168.1.10	192.168.1.10	192.168.1.10	192.168.1.10
IP de destino	192.168.2.10	192.168.2.10	192.168.2.10	192.168.2.10
DSCP	46	34	48	32
	Flujo 5	Flujo 6	Flujo 7	Flujo 8
Perfil de ancho de banda	Continuo	Continuo	Continuo	Continuo
Tasa (Mbps)	10	10	10	10
Carga útil	SLA	SLA	SLA	SLA
Tamaño de trama (bytes)	256	256	256	256
MAC de origen	:00:13:98	:00:13:98	:00:13:98	:00:13:98

MAC de destino	:00:13:99	:00:13:99	:00:13:99	:00:13:99
S-VID	50	60	70	80
Prioridad S-VLAN	0	0	0	0
IP de origen	192.168.1.10	192.168.1.10	192.168.1.10	192.168.1.10
IP de destino	192.168.2.10	192.168.2.10	192.168.2.10	192.168.2.10
DSCP	36	0	26	28

3.6.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Antes de analizar los resultados obtenidos tras la prueba, es necesario verificar los flujos generados. Se usa el software Wireshark para capturar los paquetes que pasan a través de la red y analizar la Unidad de Datos de Protocolo (PDU) asociada a los niveles de capa física, capa de enlace y capa de red.

La **Figura 3.27** muestra un resumen de los paquetes capturados en tiempo real durante la prueba, estos se seleccionan para desplegar las opciones de análisis por cabecera.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1410...	3.610838	192.168.1.10	192.168.2.10	UDP	248	1024 → 1024 Len=206
1410...	3.610838	192.168.1.10	192.168.2.10	UDP	248	1024 → 1024 Len=206
1410...	3.610838	192.168.1.10	192.168.2.10	UDP	248	1024 → 1024 Len=206
1410...	3.611026	192.168.1.10	192.168.2.10	UDP	248	1024 → 1024 Len=206
1410...	3.611026	192.168.1.10	192.168.2.10	UDP	248	1024 → 1024 Len=206
1410...	3.611026	192.168.1.10	192.168.2.10	UDP	248	1024 → 1024 Len=206
1410...	3.611027	192.168.1.10	192.168.2.10	UDP	248	1024 → 1024 Len=206
1410...	3.611027	192.168.1.10	192.168.2.10	UDP	248	1024 → 1024 Len=206
1410...	3.611027	192.168.1.10	192.168.2.10	UDP	248	1024 → 1024 Len=206
1410...	3.611027	192.168.1.10	192.168.2.10	UDP	248	1024 → 1024 Len=206
1410...	3.611027	192.168.1.10	192.168.2.10	UDP	248	1024 → 1024 Len=206
1410...	3.611214	192.168.1.10	192.168.2.10	UDP	248	1024 → 1024 Len=206

Figura 3.27 Paquetes capturados

Fuente: El autor

La **Figura 3.28** muestra la cabecera de la capa física de un paquete generado, esta codifica las tramas y crea las señales ópticas que representan los bits.

```

v Frame 1: 248 bytes on wire (1984 bits), 248 bytes captured (1984 bits) on interface 0
  > Interface id: 0 (\Device\NPF_{27030245-2811-4971-A168-D8B56500EC42})
    Encapsulation type: Ethernet (1)
    Arrival Time: Jul 1, 2019 10:29:59.652245000 Hora est. Pacífico, Sudamérica
    [Time shift for this packet: 0.000000000 seconds]
    Epoch Time: 1561994999.652245000 seconds
    [Time delta from previous captured frame: 0.000000000 seconds]
    [Time delta from previous displayed frame: 0.000000000 seconds]
    [Time since reference or first frame: 0.000000000 seconds]
    Frame Number: 1
    Frame Length: 248 bytes (1984 bits)
    Capture Length: 248 bytes (1984 bits)
    [Frame is marked: False]
    [Frame is ignored: False]
    [Protocols in frame: eth:ethertype:ip:udp:data]
    [Coloring Rule Name: UDP]
    [Coloring Rule String: udp]

```

Figura 3.28 *Cabecera de la capa física*

Fuente: *El autor*

La **Figura 3.29** corresponde a la cabecera Ethernet, esta se divide en dos subcapas. La primera, Control de Acceso al Medio (MAC), proporciona direccionamiento de la capa de enlace, indica las direcciones MAC de origen y destino, estas pertenecen a los puertos A y B del xGenius. La segunda, Control de Enlace Lógico (LLC), esta se comunica con la capa de red, coloca información que identifica la versión del protocolo de capa 3 (IPv4 o IPv6) que se implementa.

```

v Ethernet II, Src: AlbedoTe_00:13:98 (00:db:1e:00:13:98), Dst: AlbedoTe_00:13:99 (00:db:1e:00:13:99)
  > Destination: AlbedoTe_00:13:99 (00:db:1e:00:13:99)
  > Source: AlbedoTe_00:13:98 (00:db:1e:00:13:98)
  Type: IPv4 (0x0800)

```

Figura 3.29 *Cabecera de la capa de enlace*

Fuente: *El autor*

La **Figura 3.30** muestra la estructura de la trama IP, aquí se describen protocolos que proporcionan servicios de direccionamiento, se verifica que el campo DSCP esté etiquetado con diferentes niveles de prioridad, basados en la arquitectura de DiffServ.

```

v Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.1.10, Dst: 192.168.2.10
  0100 .... = Version: 4
  .... 0101 = Header Length: 20 bytes (5)
  > Differentiated Services Field: 0x80 (DSCP: CS4, ECN: Not-ECT)
    Total Length: 1482
    Identification: 0x0000 (0)
  > Flags: 0x00
    Fragment offset: 0
    Time to live: 255
    Protocol: UDP (17)
    Header checksum: 0x313e [validation disabled]
    [Header checksum status: Unverified]
    Source: 192.168.1.10
    Destination: 192.168.2.10
    [Source GeoIP: Unknown]
    [Destination GeoIP: Unknown]

```

(a)

```

v Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.1.10, Dst: 192.168.2.10
  0100 .... = Version: 4
  .... 0101 = Header Length: 20 bytes (5)
  > Differentiated Services Field: 0xb8 (DSCP: EF PHB, ECN: Not-ECT)
    Total Length: 1482
    Identification: 0x0000 (0)
  > Flags: 0x00
    Fragment offset: 0
    Time to live: 255
    Protocol: UDP (17)
    Header checksum: 0x3106 [validation disabled]
    [Header checksum status: Unverified]
    Source: 192.168.1.10
    Destination: 192.168.2.10
    [Source GeoIP: Unknown]
    [Destination GeoIP: Unknown]

```

(b)

Figura 3.30 Cabecera de la capa de red (a) paquete con DSCP CS4 (b) paquete con DSCP EF
Fuente: El autor

La **Tabla 3.35** muestra los resultados obtenidos tras la prueba, las métricas de SLA como FTD, FDV y FLR pueden ser comparadas con los objetivos de rendimiento IPTD, IPDV e IPLR respectivamente, definidos en la referencia de ITU-T rec. Y.1541 (el BER no puede ser medido por la limitación del equipo, este parámetro solo está disponible para el flujo 1). Tras analizar los valores de latencia y pérdida de paquetes se determina que cada flujo, correspondiente a la clase de servicio, se encuentran dentro del rango establecido, cumpliendo los requerimientos de QoS a nivel IP, esto se debe a que la prueba realizada es sencilla, más adelante se simulará una red WAN, en la cual es posible insertar eventos que degraden de cierta forma el tráfico generado.

Tabla 3.35 Resultados de las pruebas de SLA y QoS

Clase	Flujo	FTD [μ s]	FDV [μ s]	FLR	Lost Frames
0	1	25.104	0.921	0.000009	5
1	2	27.892	0.968	0.00001	6
2	3	30.587	0.995	0.000012	7
3	4	33.318	1.023	0.000012	7
4	5	36.063	1.046	0.000014	8
5	6	38.812	1.063	0.000014	8
6	7	41.554	1.080	0.000014	8
7	8	44.278	1.078	0.000014	8

3.6.3 DEGRADACIÓN DE TRÁFICO

Para corromper el tráfico se utiliza el Net.Storm, este equipo tiene la capacidad de emular diferentes degradaciones que se encuentran en las redes Ethernet/IP, simulando una red WAN, mediante la inserción de eventos que provocan latencia y errores en las tramas, de esta manera se puede determinar si una aplicación o dispositivo tiene las condiciones necesarias para operar en la red bajo ciertos requisitos de QoS.

La **Figura 3.31** indica el diagrama de conexión, la configuración del xGenius es similar a la prueba realizada anteriormente (ver **Tabla 3.34**), la configuración del Net.Storm se muestra en la Tabla , los valores de Packet Loss, Delay & Jitter y Bit errors se establecen de acuerdo a la recomendación ITU-T rec. Y.1541.

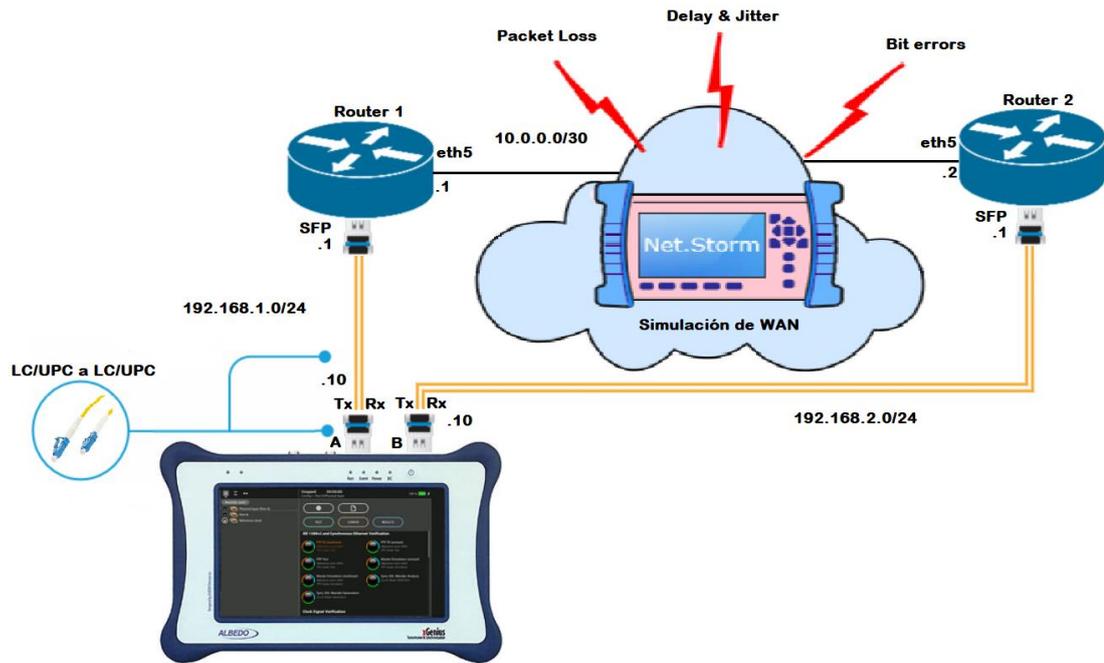


Figura 3.31 Diagrama de conexión para degradación de tráfico
Fuente: El autor

Tabla 3.36 Configuración del Net.Storm

Filtros	Packet Loss	Delay & Jitter [ms]	Bit Errors
1	0.1 %	100	0.01
2	0.1 %	400	0.01
3	0.1 %	100	0.01
4	0.1 %	400	0.01
5	0.1 %	1	0.01
6	N / A	N / A	N / A
7	0.001 %	100	0.0001
8	0.001 %	400	0.01

3.6.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS CON DEGRADACIÓN

La **Tabla 3.35** muestra los resultados obtenidos tras la prueba, el análisis es similar a los mencionado en el **Apartado 3.6.2**.

Es importante notar que cada flujo corresponde a una clase de servicio, estos poseen distintos valores de latencia y pérdida de paquetes debido a la clase de tráfico asignado a cada uno, ya que los parámetros de degradación están configurados y asignados en función de la recomendación ITU-T rec. Y.1541, los resultados obtenidos son los esperados y concuerdan con los valores establecidos en esta norma, cumpliendo los requerimientos de QoS a nivel IP.

Tabla 3.37 Resultados de las pruebas de SLA y QoS con degradación

Clase	Flujo	FTD [ms]	FDV [μ s]	FLR	Lost Frames
0	1	100.073	0.591	0.001131	657
1	2	400.075	0.572	0.001093	635
2	3	100.073	0.614	0.001108	644
3	4	400.075	0.594	0.001179	685
4	5	1000	0.609	0.00144	665
5	6	0.07172	0.525	0	0
6	7	100.072	0.581	0.000014	8
7	8	400.074	0.565	0.000014	8

3.7 CONFIGURACIÓN DE UNA RED GPON

La **Figura 3.32** indica la topología de red, la OLT representa la cabecera de la red GPON que conecta cada puerto PON al dominio de enrutamiento y conmutación utilizando los puertos de enlace ascendente SFP+. En el lado PON se insertan los módulos GPON SFP UF-GP-B+, que soportarán hasta 128 usuarios por puerto, dependiendo de los divisores ópticos que se utilicen.

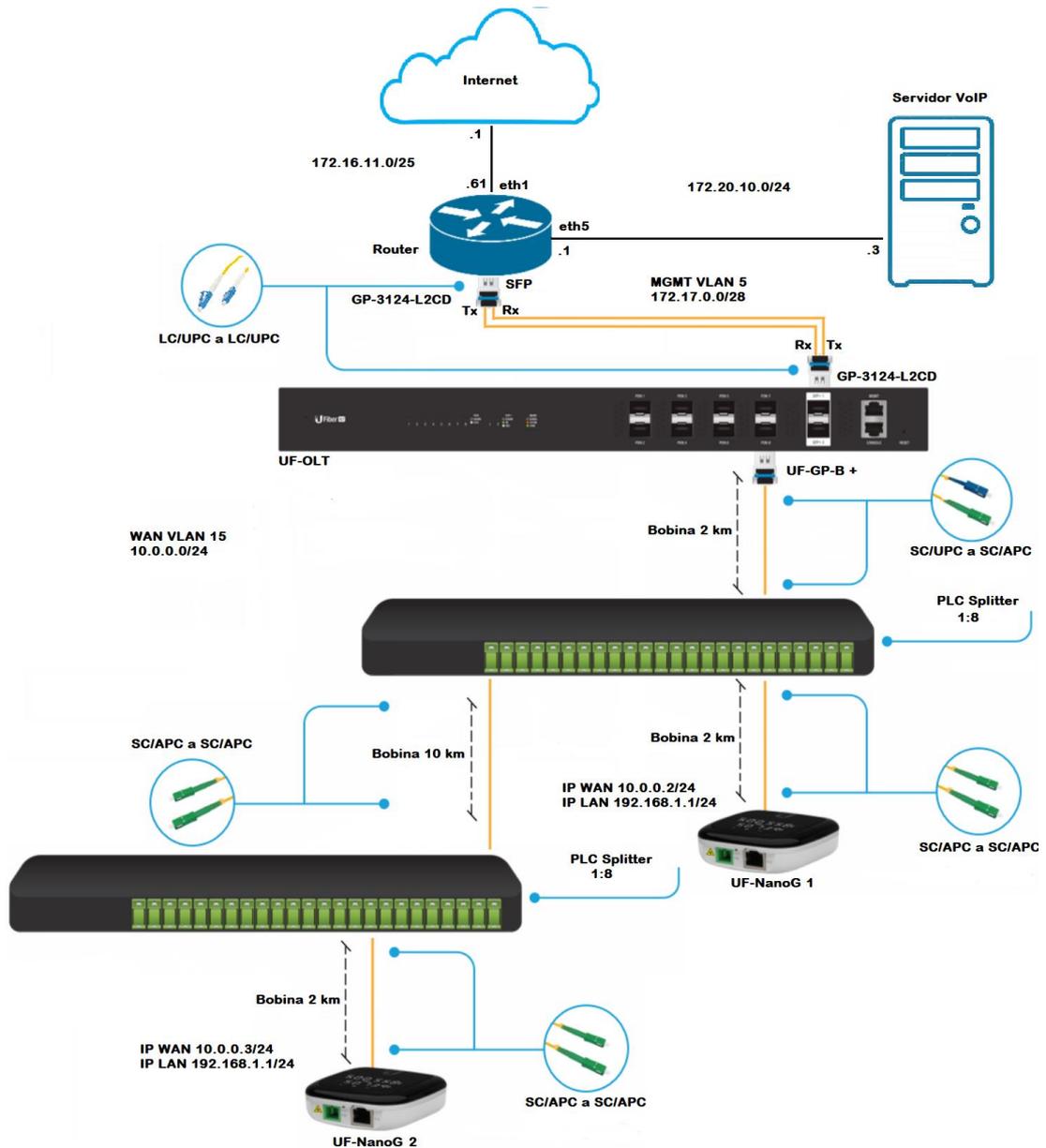


Figura 3.32 Topología de red GPON
Fuente: El autor

3.7.1 CONFIGURACIÓN DE LA OLT

La configuración de la UFiber OLT es mediante una interfaz gráfica (GUI) que la vuelve relativamente fácil e intuitiva de realizar, además cuenta con un sistema de gestión de red Ubiquiti (UNMS), que es un software de administración basado en Linux utilizado para gestionar de forma centralizada todos los equipos (router, switch, OLT, ONU) que operan en la red GPON.

3.7.1.1 ACCEDER A LA INTERFAZ DE ADMINISTRACIÓN

Para acceder al GUI de configuración se debe conectar un computador al puerto MGMT de la OLT e introducir las credenciales de usuario y contraseña (Username: ubnt, Password: ubnt). Es importante verificar que ambos equipos se encuentren en la misma red.

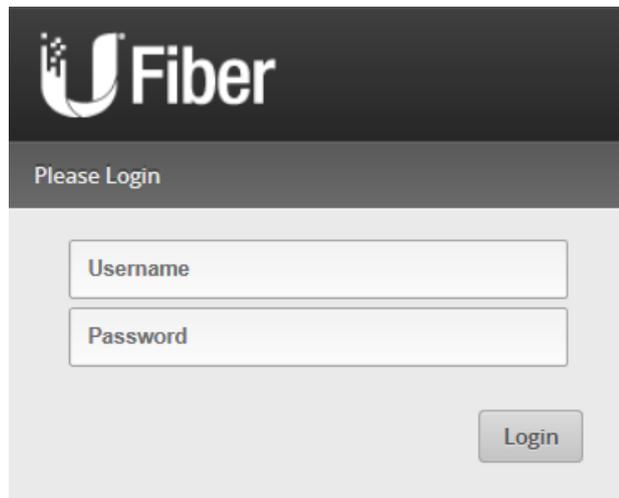


Figura 3.33 Acceder a la interfaz de configuración

Fuente: El autor

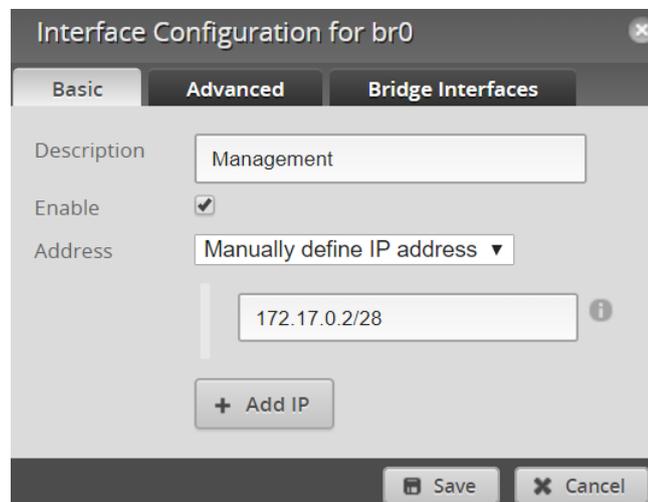


Figura 3.34 Configuración de IP de administración.

Fuente: El autor

3.7.1.2 CONFIGURACIÓN DE PUERTOS UPLINK SFP+

Los puertos de enlace ascendente SFP+ se utilizan para conectar la red GPON a Internet, estos vienen configurados de forma predeterminada con la VLAN nativa

4063 (esta puede cambiarse o ser omitida sin problemas). Se incluyen las VLANs 5 y 15, las cuales corresponden a gestión y WAN respectivamente.

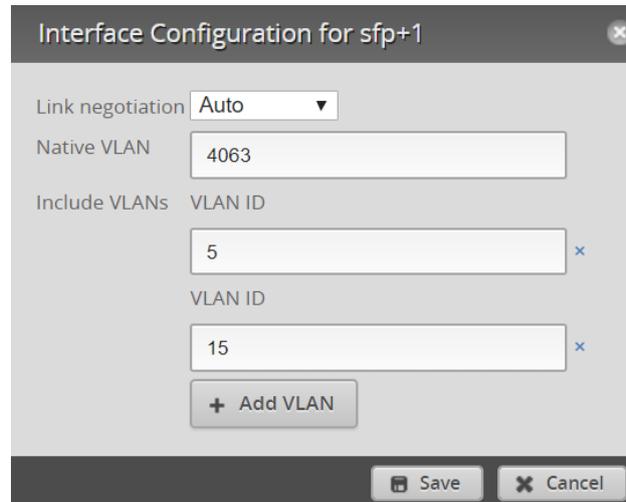


Figura 3.35 Configuración de puertos uplink SFP+
Fuente: El autor

3.7.1.3 PERFILES DE OPERACIÓN

Las ONUs operan bajo ciertos perfiles que se crean en la Ufiber OLT, en estos, se configura varios parámetros como modo de operación (bridge o router), VLANs (aplicable solo en modo bridge), servicios (control remoto), firewall (aplicable solo en modo router) y control de ancho de banda. La **Figura 3.36** indica la creación de un perfil en modo router, aquí se incluye la VLAN 15 que pertenece a la WAN, esta permite el tráfico ascendente y descendente, la ONU podrá realizar servicios NAT y DHCP.

Configuration of ONU Profile GPON

Basic Ports Services Firewall Bandwidth

Name * GPON

Admin password * ubnt

Mode Router ▾

WAN VLAN * 15

WAN mode DHCP client ▾

Primary DNS * 10.0.0.1

Secondary DNS 172.16.1.157

Provision LAN

LAN address * 192.168.1.1/24 ⓘ

DHCP server Enabled ▾

DHCP pool start * 192.168.1.20

DHCP pool end * 192.168.1.100

Lease time * 600

DNS proxy

Enable UPnP

Save Cancel

Figura 3.36 Configuración de un perfil en modo router
Fuente: El autor

3.7.1.4 CONFIGURACIÓN DE GESTIÓN EN BANDA

Por defecto la OLT se administra a través del puerto MGMT, sin embargo, se puede habilitar la función de administración en banda, que permite que la dirección IP de administración sea accesible a través de una VLAN configurada en los puertos de uplink SFP+.

Inband management

Access from SFP+ port(s):

VLAN 5 ⓘ

Figura 3.37 Configuración de gestión en banda
Fuente: El autor

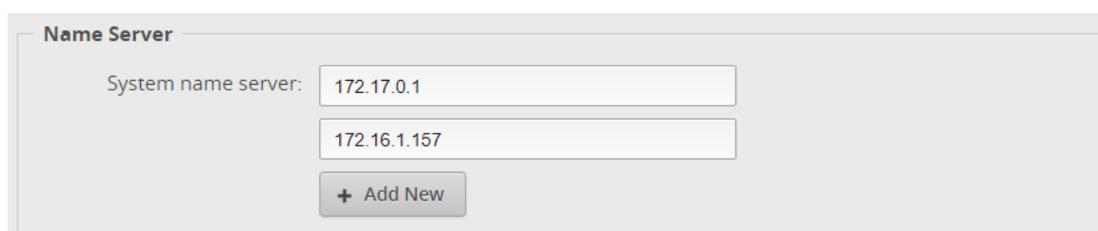
3.7.1.5 CONFIGURACIÓN DE GATEWAY Y DNS

La puerta de enlace predeterminada (Gateway) se configura para tener acceso a redes externas, todos los paquetes que tienen como destino redes remotas se envían al Gateway.



The screenshot shows a configuration panel titled "Gateway". It contains a single text input field labeled "System gateway address:" with the value "172.17.0.1" entered.

(a)



The screenshot shows a configuration panel titled "Name Server". It contains two text input fields for "System name server:". The first field has "172.17.0.1" and the second has "172.16.1.157". Below the fields is a button labeled "+ Add New".

(b)

Figura 3.38 Configuración (a) Gateway (b) DNS

Fuente: El autor

3.7.1.6 ASIGNACIÓN DE PERFIL A LA ONU

Cuando la ONU se engancha a la OLT se muestra en el menú ONU List, aquí se puede verificar el estado, puerto asignado, perfil, niveles de potencia y dirección IP de WAN. Para asignar un perfil de operación se debe seleccionar la ONU y elegir el perfil GPON creado anteriormente como se indica la **Figura 3.40**.

Status	Serial Number	Name	Profile	PON Port
<input type="checkbox"/> Connected	UBNT2073e385	UBNT2073e385	GPON	3

Model	Tx Power	Rx Power	Connection Time	WAN IP Address
NanoG	2.44dBm	-6.72dBm	2h 49m 58s	10.0.0.2

Figura 3.39 Lista de ONUs

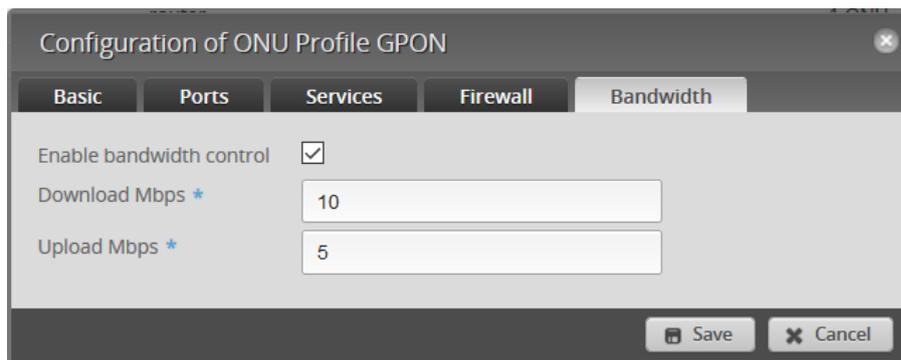
Fuente: El autor



Figura 3.40 Perfil de operación asignado a la ONU
Fuente: El autor

3.7.2 PRUEBAS PARA EL CONTROL DE ANCHO DE BANDA

El control del ancho de banda permite gobernar los flujos de tráfico en una red, de tal manera que no se exceda la capacidad y provoque como resultado una congestión. En la OLT es posible configurar un control de admisión que limita la velocidad del flujo de tráfico enviado y recibido.



(a)



(b)

Figura 3.41 Configuración del ancho de banda asimétrico (a) Configuración 10 Mbps descendente y 5 Mbps ascendente (b) Comprobación en speed Test

Fuente: El autor



(a)



(b)

Figura 3.42 Configuración del ancho de banda simétrico (a) Configuración 10 Mbps descendente y 10 Mbps ascendente (b) Comprobación en speed Test

Fuente: El autor



(a)



(b)

Figura 3.43 Configuración sin control de ancho de banda (a) Configuración de ancho de banda deshabilitada (b) Comprobación en speed Test

Fuente: El autor

La **Figura 3.41 (b)**, **Figura 3.42 (b)** y la **Figura 3.43 (b)** indican las pruebas de rendimiento realizadas, este es un parámetro que mide la transferencia de bits en el en un determinado tiempo, los principales factores que influyen son la cantidad de tráfico, el tipo de tráfico y la latencia encontrada entre los dispositivos de origen al destino, las pruebas de velocidad efectuadas comprueban el control de ancho de banda de la OLT.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Previo a manipular los equipos ópticos es importante conocer el funcionamiento de estos, el usuario debe estar familiarizado con el manejo y proceso de operación, con el fin de realizar las pruebas planteadas sin ningún problema y con la mayor seguridad posible.

En el presente proyecto se diseñan e implementan prácticas basadas en sistemas de comunicaciones por fibra óptica, las pruebas realizadas consideran conceptos técnicos y científicos que permiten evaluar parámetros importantes del medio de transmisión, tales como atenuación, niveles de potencia, espectro óptico, reflectometría y fuentes de luz en redes PON. Los resultados obtenidos corroboran los beneficios de flexibilidad de ancho de banda, alcance y capacidad que presentan las redes de pasivas.

El OPM es práctico implementado dentro de un sistema de transmisión óptica debido a su amplio rango de longitud de onda de operación, permite medir la potencia y determinar la conectividad y atenuación que se produce a lo largo del enlace.

El OTDR ofrece una solución viable para diagnosticar las fallas por desalineación, mal acoplamiento o roturas presentes en las redes PON, debido a que muestra en forma gráfica con una traza los eventos que suceden en la fibra, por lo que permite determinar el nivel de pérdida y la distancia a la que se encuentra.

Los resultados de la prueba para caracterizar el coeficiente de atenuación comprueban que la pérdida que presenta la fibra óptica depende de la longitud de onda de operación, presentando un máximo de 0.266 dB/km y un mínimo de 0.239 dB/km en el rango de 1520 nm hasta 1610 nm, por lo tanto, se constata las ventajas de baja pérdida de señal que presenta el canal óptico como medio de transmisión.

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante el uso del OSA para la caracterización del láser se demuestra que Distributed Feedback (DFB) y Fabry Perot (FP) presentan sus diferencias principales en el tipo de espectro, DFB posee un solo pico exacto en la longitud de onda de operación mientras que FP emite varios armónicos de menor potencia.

El xGenius permite asegurar los parámetros de QoS en aplicaciones de video y voz sobre redes IP debido a su capacidad de generación y análisis de tráfico que proporciona los resultados de rendimiento de la red en términos de errores y latencia, estos pueden ser interpretados para determinar si la red cumple o no con los requerimientos de transmisión de video y audio.

El emulador de red WAN Ethernet/IP Net.Storm tiene la capacidad de generar efectos de degradación comunes en la red, por lo cual, simular las características de rendimiento impuestas por varias situaciones como packet loss, delay, jitter y bit error, y, analizarlas con el xGenius proporcionan la información para la verificación de la capacidad de red de brindar servicios VoD, VoIP y acceso Internet.

Determinar el FTD es una medida crítica para evaluar la calidad de una red utilizada para proporcionar servicios con aplicaciones sensibles al tiempo. El FTD es muy sensible a los efectos de congestión y otras deficiencias que afectan el rendimiento extremo a extremo de la red, por lo tanto, es un parámetro importante de caracterizar.

El módulo de guías de prácticas permite a los usuarios adquirir una base amplia y sólidos conocimientos científicos y tecnológicos en redes de fibra óptica debido a

que se incluyen conceptos y pruebas claves que se presentan en un formato claro e ilustrativo.

Hay que considerar las fallas en el medio como un factor importante, ya que una terminación errónea, como el uso de conectores incorrectos o sucios produce una disminución en las distancias o una falla total en la transmisión. Por esta razón, es importante realizar pruebas rápidas y sencillas de verificación, como usar una luz visible para detectar una fibra deteriorada y un microscopio para evaluar el estado de la férula.

Al enlazar la OLT con el router se recomienda forzar los parámetros de negociación de las interfaces SFP a su máxima velocidad de comunicación que es de 1000 Mbps si se usan los módulos GP-3124-L2CD, ya que, si se encuentra configurada en automática, puede presentar problemas de incompatibilidad de dúplex.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] G. P. Agrawal, *Fiber-Optic Communications Systems, Third Edition.*, vol. 6. 2002.
- [2] R. Romaswami, K. Sivarajon, and G. Sasaki, *Optical Networks A Practical Perspective*, Thrid Edit. United States of America: Morgan Kaufmann.
- [3] L. Kazovsky, N. Cheng, W.-T. Shaw, D. Gutierrez, and S.-W. Wong, *Broadband Optical Access Networks*. John Wiley & Sons, Inc.
- [4] International Telecommunications Union, “Optical Fibres, Cables and Systems,” pp. 144–147, 2012.
- [5] M. C. España Boquera, *COMUNICACIONES ÓPTICAS Conceptos esenciales y resolución de ejercicios*, Ediciones. Madrid, 2005.
- [6] C. Systems and S. Jose, “Cisco SFP and SFP + Transceiver Module Product Numbers :,” *Notes*, 2010.
- [7] D. Duke and D. Mansperger, “Understanding How the Appearance of Optical Fiber Splices Relates to Splice Quality.”
- [8] J. Calvache, “Diseño e Implementacion de un Sistema de Trafico Optico a 10 Gbps para la empresa Complementos Electronicos S.A.,” 2016.
- [9] FiberFox, “Mini 5C User Manual.”
- [10] PROMAX, “Guía de usuario del PROLITE-63B,” 2016.
- [11] Yokogawa, “AQ2200 Series Multi Application Test System Ideal Measurement Solution for Optical Devices and Optical Transmission Systems.”

- [12] Anritsu, “MS9740A Optical Spectrum Analyzer Operation Manual,” pp. 1–16, 2011.
- [13] J. Shi *et al.*, “A low-cost, system-on-chip for Optical Time Domain Reflectometry (OTDR),” *2016 IEEE MTT-S Int. Wirel. Symp. IWS 2016*, no. 1, pp. 4–7, 2016.
- [14] Yokogawa, “AQ7280 OTDR User’s Manual,” 2015.
- [15] Ubiquiti, “UFiber OLT 8-Port GPON Optical Line Terminal with SFP+ User Guide.”
- [16] Ubiquiti, “Nano G High Performance GPON CPE User Guide.”
- [17] ALBEDO, “xGenius Ethernet & IP Testing Guide,” no. October, p. 300, 2017.
- [18] ALBEDO Telecom, “Ethernet RFC-2544 explained,” pp. 1–9, 2013.
- [19] ALBEDO Telecom, “eSAM - Performance Assessment,” pp. 1–13, 2013.
- [20] ALBEDO, “Net.Storm Network Impairment Generator,” p. 78, 2012.
- [21] ALBEDO, “Net . Shark Net . Hunter GbE Frame Capture and Analysis Guide,” p. 84, 2013.
- [22] K. Horikawa, A. Yamamoto, T. Osada, H. Koshi, Y. Yafuso, and T. Kurobe, “Development of ITLA using a full-band tunable laser,” *Furukawa Rev.*, no. 35, pp. 1–5, 2009.
- [23] J. W. Simatupang, “Vertical Taper InGaAsP / InP Fabry-Perot Laser Diode for Injection-Locking Applications in WDM-PON Systems,” no. April, pp. 130–148, 2019.
- [24] ALBEDO Telecom, “SLA verification + QoS control : the base for successful VoIP & IPTV deployments,” 2011.
- [25] International Telecommunications Union, “UIT-T Rec. Y.1541 (02/2006) Objetivos de calidad de funcionamiento de red para servicios basados en el protocolo Internet,” 2006.

ANEXOS

		FORMATO DE GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO / TALLERES / CENTROS DE SIMULACIÓN – PARA DOCENTES	
CARRERA: TELECOMUNICACIONES / ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN		ASIGNATURA:	
NRO. PRÁCTICA:	1	TÍTULO PRÁCTICA: CÁLCULOS DE ATENUACIÓN Y NIVEL DE POTENCIA	
OBJETIVO GENERAL: Implementar una red de pruebas que permita analizar y comprobar los niveles de atenuación y potencia que se dan en un enlace óptico			
OBJETIVOS ESPECÍFICOS: <ol style="list-style-type: none"> 1. Operar y manejar el OPM. 2. Determinar los eventos que generan atenuación. 3. Implementar la topología de red planteada. 4. Realizar los cálculos de atenuación en sentido descendente y ascendente. 5. Medir la potencia óptica en los escenarios planteados. 6. Contrastar los resultados medidos con los calculados. 			
INSTRUCCIONES (Detallar las instrucciones que se dará al estudiante):	1. Verifique las especificaciones técnicas de los siguientes equipos: <ol style="list-style-type: none"> a) Optical Power Meter Prolite 63-B. b) UFiber OLT. c) UFiber ONU. d) OTDR. e) Convolución periódica. 		
	2. Identifique los eventos que generar pérdidas en enlaces ópticos Ver Tabla 1		
	3. Implemente la red de pruebas La atenuación es el factor más importante en el diseño de una red. Usar la topología de la Figura 1 y determinar los niveles de potencia óptica aceptable para la ONU y la OLT, estos valores deben estar dentro del rango de -8 dBm a -28 dBm tomando en cuenta que la potencia de transmisión de ambos equipos es de +3 dBm.		
	4. Opere el OPM, OLT y OTDR Para comprobar los cálculos de atenuación y nivel de potencia se debe utilizar el medidor de potencia óptica, implementar la topología que se muestra en la Figura 1. Para el sentido descendente se utiliza como fuente la OLT y en el sentido ascendente se usa el OTDR como fuente empleando la herramienta “fuente de luz”, no se ocupa la ONU como fuente en upstream debido a que al desconectar el puerto PON para medir la potencia óptica el dispositivo se desengancha, por lo que no es posible realizar la medición. Es necesario conocer la potencia de salida tanto de la OLT como del OTDR.		
	5. Limpieza de conectores y adaptadores Antes de iniciar las pruebas de potencia, es necesario revisar el estado de la férula del conector, para hacerlo se debe utilizar el microscopio óptico “Lightel” el cual mostrará una imagen del aspecto del pulido (ver Figura 2).		

- 6. Meda los niveles de potencia y contraste los valores calculados con los obtenidos en las pruebas
- 7. Genere conclusiones a partir de la comparación de los resultados obtenidos en los escenarios planteados

ACTIVIDADES POR DESARROLLAR

(Anotar las actividades que deberá seguir el estudiante para el cumplimiento de la práctica)

1. LISTADO DE HERRAMIENTAS Y MATERIALES

Herramientas y Materiales

- OLT
- ONUs
- OTDR
- OPM
- SFP UF-GP-B +
- Patch Cord SC/UPC-SC/APC y SC/APC-SC/APC
- Bobinas de lanzamiento (2 km y 10 km)
- PLC Splitter (1:8)

2. MARCO TEÓRICO

De acuerdo con los puntos indicados en la instrucción 2, desarrolle el marco teórico.

2.1. Completar la tabla de eventos que provocan pérdidas

Tabla 1 Eventos de atenuacion		
Distancia	Downstream:	
	Upstream:	
Conectores		
Empalmes		
Divisores ópticos	1:2	
	1:4	
	1:8	
	1:16	
	1:32	
	1:64	

2.2. Completar las tablas de cálculos de atenuación en sentido descendente y ascendente.

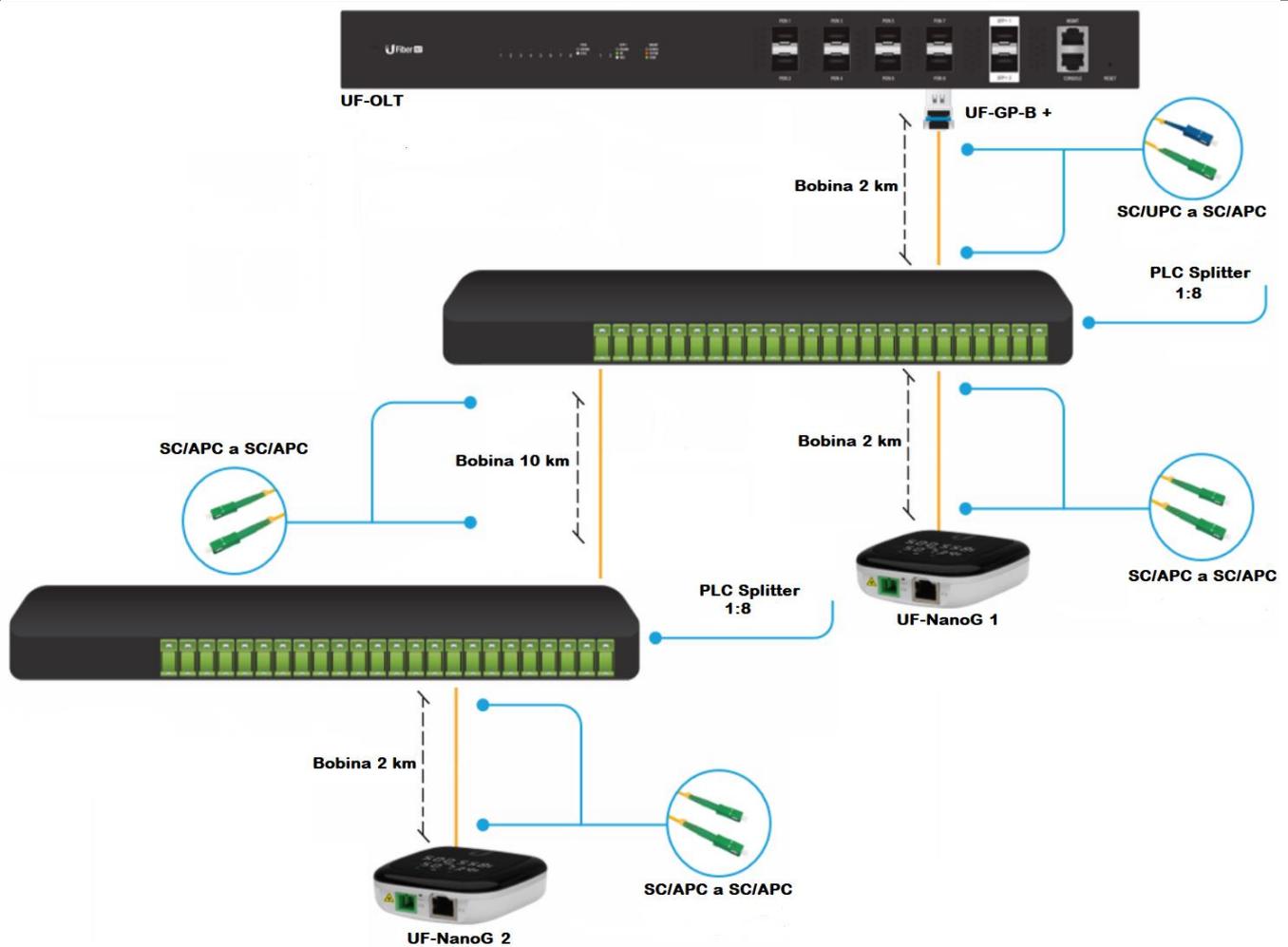


Figura 1 Topología de red

a) Atenuación en sentido descendente:

Tabla 2 Cálculos de atenuación en sentido OLT - ONU			
ONU	Fuente	Cálculo de pérdida de potencia	Pérdida en dB
ONU 1	Longitud		
	Conectores		
	Divisor óptico		
	Potencia recibida		
ONU 2	Longitud		
	Conectores		
	Divisor óptico		
	Potencia recibida		

b) Atenuación en sentido ascendente:

Tabla 3 Cálculos de atenuacion en sentido ONU -OLT			
ONU	Fuente	Cálculo de pérdida de potencia	Pérdida en dB
ONU 1	Longitud		
	Conectores		
	Divisor óptico		
	Potencia recibida		
ONU 2	Longitud		
	Conectores		
	Divisor óptico		
	Potencia recibida		

3. EXPERIMENTACIÓN

De acuerdo con los puntos indicados en la instrucción 3, 4, 5 y 6, desarrolle:

3.1. Limpieza de conectores y adaptadores

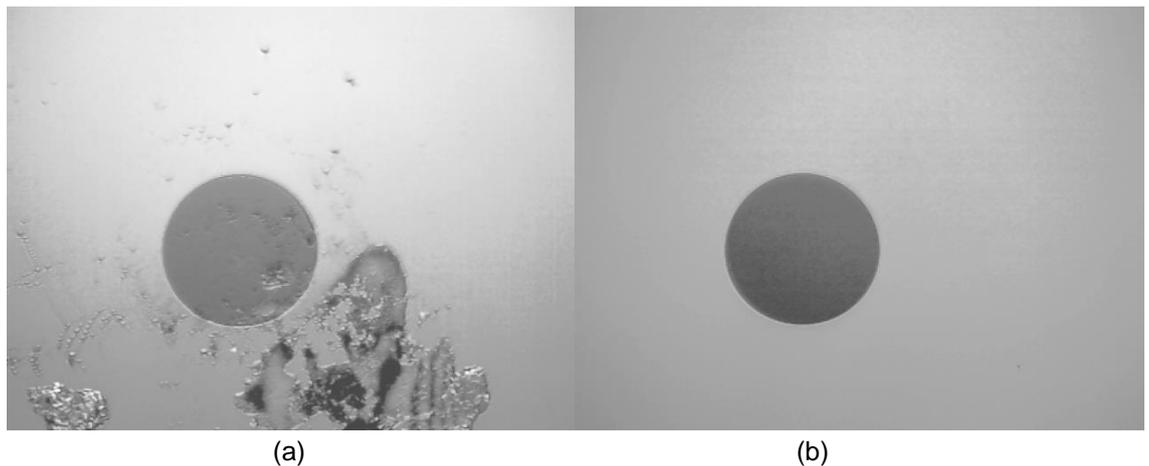


Figura 2 Estado de la férula (a) sucia (b) limpia

Un conector sucio se diferencia fácilmente de uno limpio por las partículas de polvo que este presenta en su férula, un pulido nítido asegura una óptima transmisión pues se previene los efectos de reflexión interna; para limpiarlo se utiliza el clicker “Fiber Connector Cleaner”, el cual sirve tanto para cables y adaptadores de fibra óptica.

3.2. Comprobación de niveles de potencia

Tabla 4 Medición de potencia óptica de salida		
	Potencia de salida	Longitud de onda
OLT		
OTDR		

a) OLT – ONU

Tabla 5 Comparación de resultados sentido descendente			
ONU	Potencia recibida	Atenuación calculada	Atenuación medida
1			
2			

b) OTDR – OLT

Tabla 6 Comparación de resultados sentido descendente			
ONU	Potencia recibida	Atenuación calculada	Atenuación medida
1			
2			

CONCLUSIONES:

-

RECOMMENDACIONES:

-

REFERENCES:

CARRERA: TELECOMUNICACIONES /
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

ASIGNATURA:

NRO. PRÁCTICA:

2

TÍTULO PRÁCTICA: PRUEBAS DE REFLECTOMETRÍA ÓPTICA

OBJETIVO GENERAL:

Implementar escenarios de enlaces ópticos que permitan la familiarización y manejo del OTDR

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Verificar las especificaciones técnicas del OTDR.
2. Conocer la operación en modo simple, detalle y PON.
3. Implementar los escenarios planteados.
4. Configurar el OTDR para la medición y análisis.
5. Obtener la traza reflectométrica.
6. Contrastar los resultados obtenidos con los diagramas planteados inicialmente.

INSTRUCCIONES

(Detallar las instrucciones
que se dará al estudiante):

1. Verifique las especificaciones técnicas de los siguientes equipos:

- a) OTDR.

2. Describa las configuraciones de análisis y medición del OTDR

Para familiarizar al usuario con el manejo del OTDR se realizan mediciones en los modos de operación simple, detalle y PON con el fin de verificar y evaluar el comportamiento de distintos eventos que se presentan en un enlace óptico.

4. Opere el OTDR en modos de prueba simple, detalle y PON

- a) La Figura 1 indican el diagrama de conexión en modo simple, con esta opción el usuario tiene acceso limitado a los parámetros de configuración de medida y análisis ya que solo es posible establecer la longitud de onda de operación y el método de aproximación, mientras que el AQ7280 establece automáticamente el resto de los parámetros de configuración como rango de distancia, ancho de pulso, índice de refracción, etc.

Tabla 1 Condiciones de medida

Longitud de onda	1310 nm
Rango de distancia	Auto 20 km
Ancho de pulso	Auto 100 ns
Atenuación	Auto
Intervalo de muestreo	1 m

- b) La Figura 3 indica el diagrama de conexión para operar en modo detalle, esta opción permite al usuario el acceso a más parámetros de configuración de medición y análisis. Se recomienda este modo de operación cuando se conoce varias características del enlace bajo prueba.

Tabla 2 Condiciones de medida

Longitud de onda	1310 nm
Rango de distancia	20 km
Ancho de pulso	Auto 100 ns
Atenuación	Auto
Intervalo de muestreo	Alta resolución (20 cm)

Tabla 3 Condiciones de búsqueda de evento	
Pérdida de empalme	1 dB
Pérdida de retorno	55 dB
Final de fibra	Auto
P. divisor óptico	11 dB

Tabla 4 Condiciones pasa/ no pasa	
Pérdida por conector	0.6 dB
Pérdida de empalme	0.1 dB
Pérdida de retorno	55 dB
P. divisor óptico	11 dB
dB/km	1 dB
Pérdida total	10 dB

- c) La Figura 5 indica el diagrama de conexión para operar en modo PON, esta opción es similar al modo detallado, permite al usuario configurar las condiciones de medición y análisis en función del número de etapas de división óptica.

Tabla 5 Condiciones de medida	
Longitud de onda	1310 nm
Rango de distancia	20 km
Ancho de pulso	Auto 500 ns
Atenuación	Auto
Intervalo de muestreo	1 m

Tabla 6 Condiciones de búsqueda de evento	
Pérdida de empalme	2.5 dB
Pérdida de retorno	70 dB
Final de fibra	Auto
P. divisor óptico	12 dB

Tabla 7 Condiciones pasa/ no pasa	
Pérdida por conector	1 dB
Pérdida de empalme	0.6 dB
Pérdida de retorno	60 dB
P. divisor óptico	10.5 dB
dB/km	1 dB
Pérdida total	-64.65 dB

4. Obtenga la traza reflectométrica de los esquemas propuestos

5. Genere conclusiones a partir de la comparación de los resultados obtenidos en los escenarios planteados

ACTIVIDADES POR DESARROLLAR

(Anotar las actividades que deberá seguir el estudiante para el cumplimiento de la práctica)

1. LISTADO DE HERRAMIENTAS Y MATERIALES

Herramientas y Materiales

- OTDR
- Patch Cord SC/APC-SC/APC

- Bobinas de lanzamiento (2 km y 10 km)
- PLC Splitter (1:4 y 1:8)

2. MARCO TEÓRICO

De acuerdo con los puntos indicados en la instrucción 1 y 2, desarrolle el marco teórico.

2.1. Investigar sobre el funcionamiento del OTDR

2.2. Investigar el concepto de reflexión de Fresnel en fibras ópticas

2.3. Investigar el concepto de retrodispersión de Rayleigh en fibras ópticas

2.4. Investigar los tipos de eventos que ocurren en un enlace óptico

3. EXPERIMENTACIÓN

De acuerdo con los puntos indicados en la instrucción 3 y 4, desarrolle:

3.1. Obtener la traza reflectométrica en modo simple

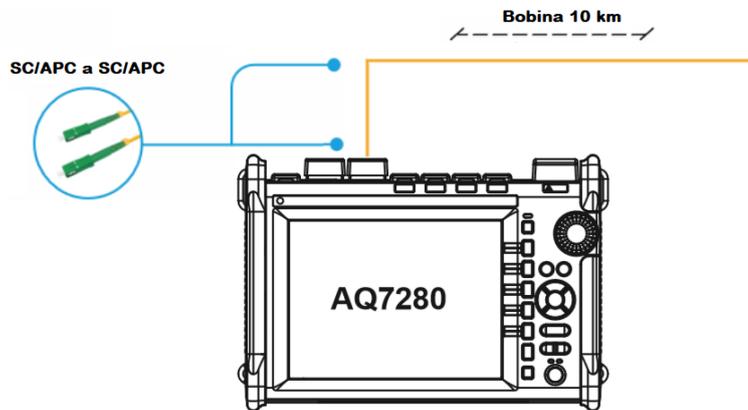


Figura 1 Diagrama de conexión en modo simple

Figura 2 Traza reflectométrica usando modo simple

Tabla 8 Resultados modo simple						
N. Evento	Distancia (km)	Pérdida (dB)	P. Ret. (dB)	dB/km	Tipo Evento	Índice refrac.
1						
E						

Tabla 9 Resumen del enlace simple	
Distancia	
Pérdida total	
Pérdida de retorno total	
Número de eventos	

3.2. Obtener la traza reflectométrica en modo detalle

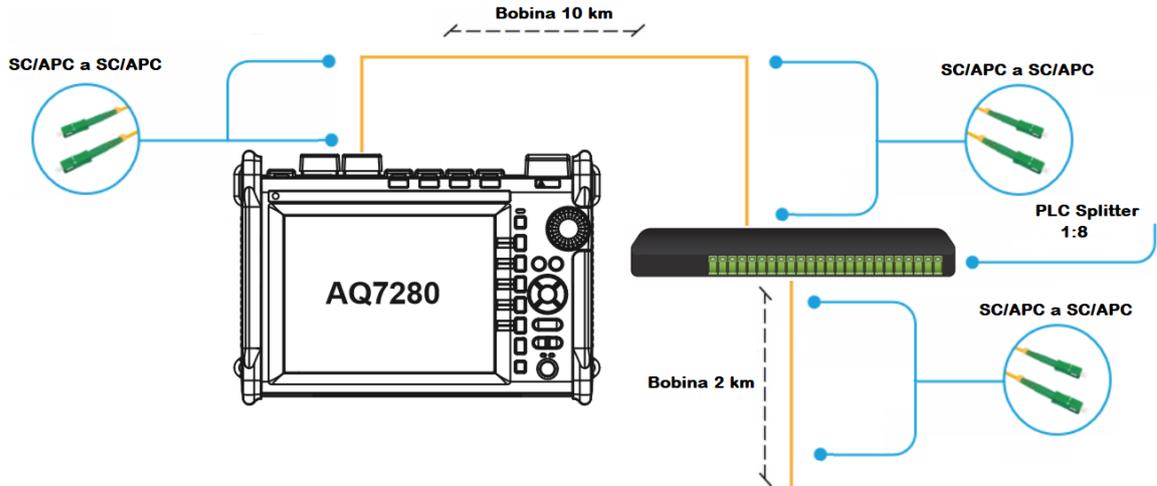


Figura 3 Diagrama de conexión en modo detalle

Figura 4 Traza reflectométrica usando modo detalle

Tabla 10 Resultados modo detalle						
N. Evento	Distancia (km)	Pérdida (dB)	P. Ret. (dB)	dB/km	Tipo Evento	Índice refrac.
1						
2						
E						

Tabla 11 Resumen del enlace detalle	
Distancia	
Pérdida total	
Pérdida de retorno total	
Número de eventos	

3.3. Obtener la traza reflectométrica en modo PON

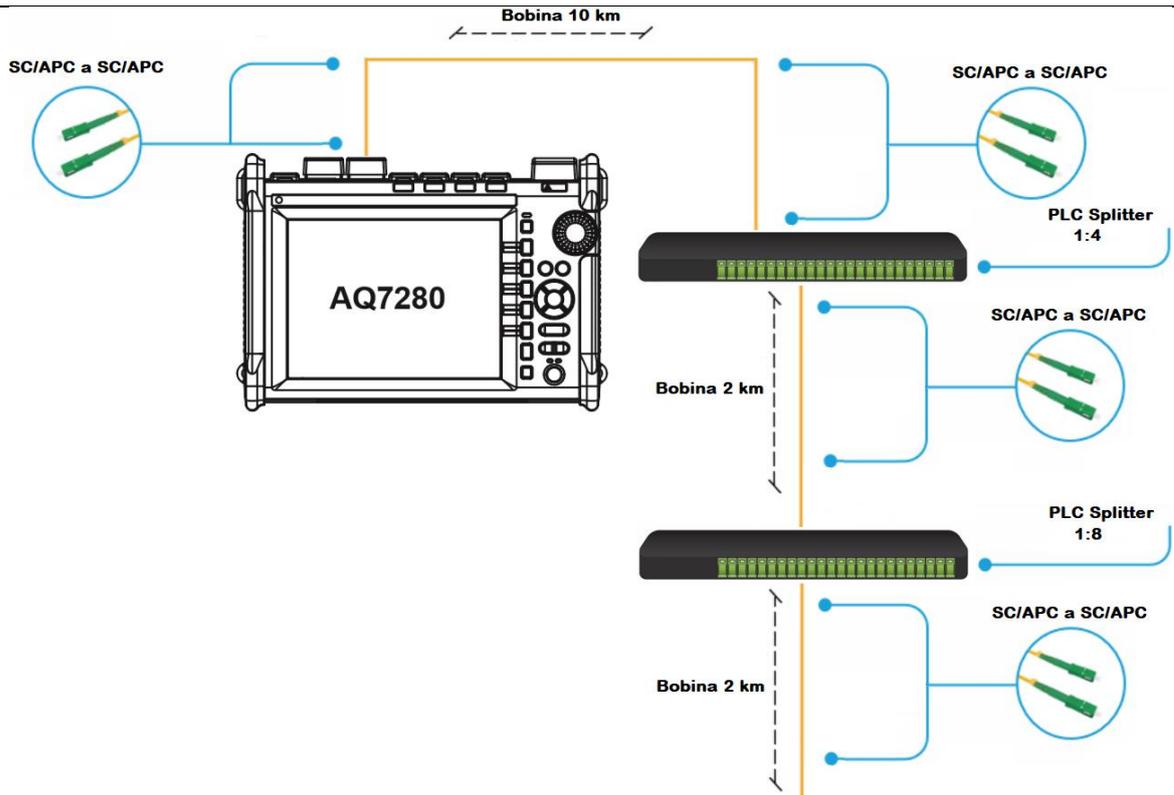


Figura 5 Diagrama de conexión en modo PON

Figura 6 Traza reflectométrica usando modo PON

Tabla 12 Resultados modo PON						
N. Evento	Distancia (km)	Pérdida (dB)	P. Ret. (dB)	dB/km	Tipo Evento	Índice refrac.
1						
2						
E						

Tabla 13 Resumen del enlace PON	
Distancia	
Pérdida total	
Pérdida de retorno total	
Número de eventos	

CONCLUSIONES:

-

RECOMENDACIONES:

-

REFERENCES:

CARRERA: TELECOMUNICACIONES /
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

ASIGNATURA:

NRO. PRÁCTICA:

3

TÍTULO PRÁCTICA: CARACTERIZACIÓN DEL COEFICIENTE DE ATENUACIÓN
RESPECTO A LA LONGITUD DE ONDA.

OBJETIVO GENERAL:

Caracterizar el coeficiente de atenuación con respecto a la longitud de onda de la fuente de luz sintonizable.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Describir las bandas de operación de longitud de onda de los equipos ópticos.
2. Configurar la fuente de luz sintonizable.
3. Generar y tabular los valores para la generar el coeficiente de atenuación.

INSTRUCCIONES
(Detallar las
instrucciones que
se dará al
estudiante):

1. Verifique los siguientes conceptos teóricos:

- a) Energía y potencia de una señal óptica.
- b) Pérdida de fibra dependiente a la longitud de onda.
- c) Bandas de operación en las comunicaciones ópticas.

2. Emplee la fuente de luz sintonizable

- a) La Figura 1 indica el diagrama de conexión para la obtención del coeficiente de atenuación respecto a la longitud de onda. Utilizar el módulo AQ2200-132 como fuente de luz (posee un láser sintonizable que opera en las bandas C y L), la bobina de 10 km y el módulo AQ2200-342 para medir la potencia óptica.
- b) Variar la longitud de onda transmitida cada 5 nm y medir la potencia óptica al final de la bobina de 10 km, para determinar el coeficiente de atenuación. Es importante tomar en cuenta la pérdida de la bobina de 10 km, presenta un evento que provoca una atenuación de 2.69 dB.
- c) Tabular los valores en la Tabla 1 de la potencia recibida y calcular el coeficiente de atenuación. (Tener en consideración las pérdidas por los conectores).
- d) Graficar la caracterización del coeficiente de atenuación con respecto a la longitud de onda con los resultados tabulados en el punto anterior.

3. Genere conclusiones a partir de la comparación de los resultados obtenidos en los escenarios explicados.

ACTIVIDADES POR DESARROLLAR

(Anotar las actividades que deberá seguir el estudiante para el cumplimiento de la práctica)

1. LISTADO DE HERRAMIENTAS Y MATERIALES

Herramientas y Materiales

- Fuente de luz.
- Bobina de 10 km.

2. MARCO TEÓRICO

De acuerdo con los puntos indicados en la instrucción 1, desarrolle el marco teórico.

2.1. Energía y potencia de una señal óptica.

2.2. Pérdidas en la fibra óptica.

2.3. Pérdida de fibra dependiente a la longitud de onda.

2.4. Bandas de operación en las comunicaciones ópticas.

3. Desarrollo

Diagrama de configuración.

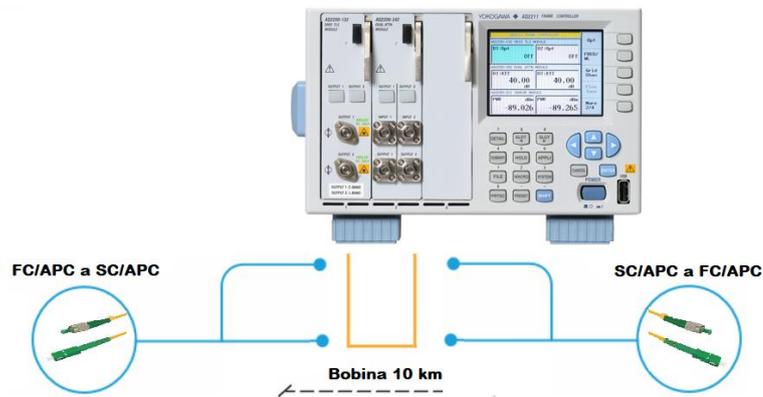


Figura 1 Diagrama de conexión para la caracterización del coeficiente de atenuación

Tabla 1 Tabulacion de valores para la caracterizacion del coeficiente de atenuacion					
Longitud de onda [nm]	Longitud de onda medida [nm]	Potencia de transmisión [dBm]	Potencia de recepción [dBm]	Pérdida de fibra [dB/km]	Pérdida por conectores [dB]
1527		10			
1530		10			
1535		10			
1540		10			
1545		10			
1550		10			
1555		10			
1560		10			
1565		10			
1570		10			
1575		10			
1580		10			
1585		10			
1590		10			
1595		10			
1600		10			
1605		10			
1608		10			

CONCLUSIONES:

-

RECOMENDACIONES:

-

REFERENCES:

CARRERA: TELECOMUNICACIONES /
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

ASIGNATURA:

NRO. PRÁCTICA:

4

TÍTULO PRÁCTICA: CARACTERIZACIÓN DE LÁSER

OBJETIVO GENERAL:

Analizar y Caracterizar el tipo de laser de cada equipo óptico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Establecer y describir el funcionamiento de los tipos de laser de los equipos ópticos.
2. Configurar el Analizador de Espectro Ópticos.
3. Analizar cada espectro su longitud de onda central y FWHM.
4. Analizar el espectro óptico de WDM.

INSTRUCCIONES

(Detallar las instrucciones que se dará al estudiante):

1. Describa el funcionamiento del tipo de laser en los equipos ópticos:

2. Maneje y configure el Analizador de Espectros Ópticos a los equipos del laboratorio.

3. Analizar y Calcular la longitud de onda central y FWHM de cada equipo optico.

- a) Con la fuente de luz utilizar la salida Banda C y programar con las siguientes características para analizar el espectro óptico, obtener el ancho espectral de la longitud de onda y su longitud de onda central. Figura 1.
 - Potencia 10 dBm.
 - Banda C: 1550 nm
- b) Utilizar el OSA con la OLT, encontrar el rango de trabajo, su potencia y tipo de laser que emite. Figura 2.
- c) Utilizar la fuente de luz del OTDR y configurar con las siguientes longitudes de Onda al OSA. Figura 3.
 - Longitud de Onda 650 nm.
 - Longitud de Onda 1310 nm.
 - Longitud de Onda 1550 nm.
- d) Utilizar el xGenius y analizar su espectro con el equipo OSA. Figura 4
- e) Recibir los datos del analizador de espectros ópticos del punto c) y d); compararlos con los valores medidos y calculados de la onda central y el espectro medio ancho utilizando la siguiente ecuación:

$$\lambda_c = \frac{\sum(L_i * \lambda_i)}{\sum L_i}$$

$$FWHM = \Delta\lambda = 2.35 \sqrt{\frac{\sum L_i (\lambda_i - \lambda_c)^2}{\sum L_i}}$$

- f) Repita el proceso anterior para la respuesta al escalón teórica.
- g) Simule la respuesta al escalón usando algún software de simulación de circuitos eléctricos.

	<p>4. Analice Wavelength Division Multiplexing.</p> <p>a) Emplear la fuente óptica para representar WDM utilizando el módulo AQ2200-132 con sus 2 salidas en la banda C y L y conectar a un divisor óptico 2:1 para mandar las señales por un solo cable de fibra óptica. Analizar la potencia de salida, relación señal a ruido y FWHM y llenar la Tabla 2. Figuro</p> <p>5. Genere conclusiones a partir de la comparación de los resultados obtenidos en los escenarios explicados.</p>
<p>ACTIVIDADES POR DESARROLLAR (Anotar las actividades que deberá seguir el estudiante para el cumplimiento de la práctica)</p>	
<p>1. LISTADO DE HERRAMIENTAS Y MATERIALES</p> <p>Herramientas y Materiales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analizador de Espectros Ópticos • OTDR • OLT • xGenius • Fuente de luz • Patch cord SC-UPC/ SC-APC • Patch cord SC-UPC/ FC-APC • Patch cord SC-UPC/ SC-UPC • Patch cord SC-UPC/ LC-UPC <p>2. MARCO TEÓRICO</p> <p>De acuerdo con los puntos indicados en la instrucción 1, desarrolle el marco teórico.</p> <p>2.1. Investigar la generación del láser de retroalimentación distribuido y su funcionamiento.</p> <p>2.2. Investigar la generación del láser de Fabry Perot y su funcionamiento.</p> <p>2.3. Investigar el uso de FWHM para el análisis espectral óptico.</p> <p>2.4. Investigar las aplicaciones de WDM.</p>	
<p>3. Experimentación</p> <p>De acuerdo con las instrucciones de la parte 2,3 y 4 de la práctica, desarrolle y explique los resultados que se solicitan.</p> <p>Esquemas</p>	



Figura 1. Esquema de Conexión OSA – Fuente Óptica

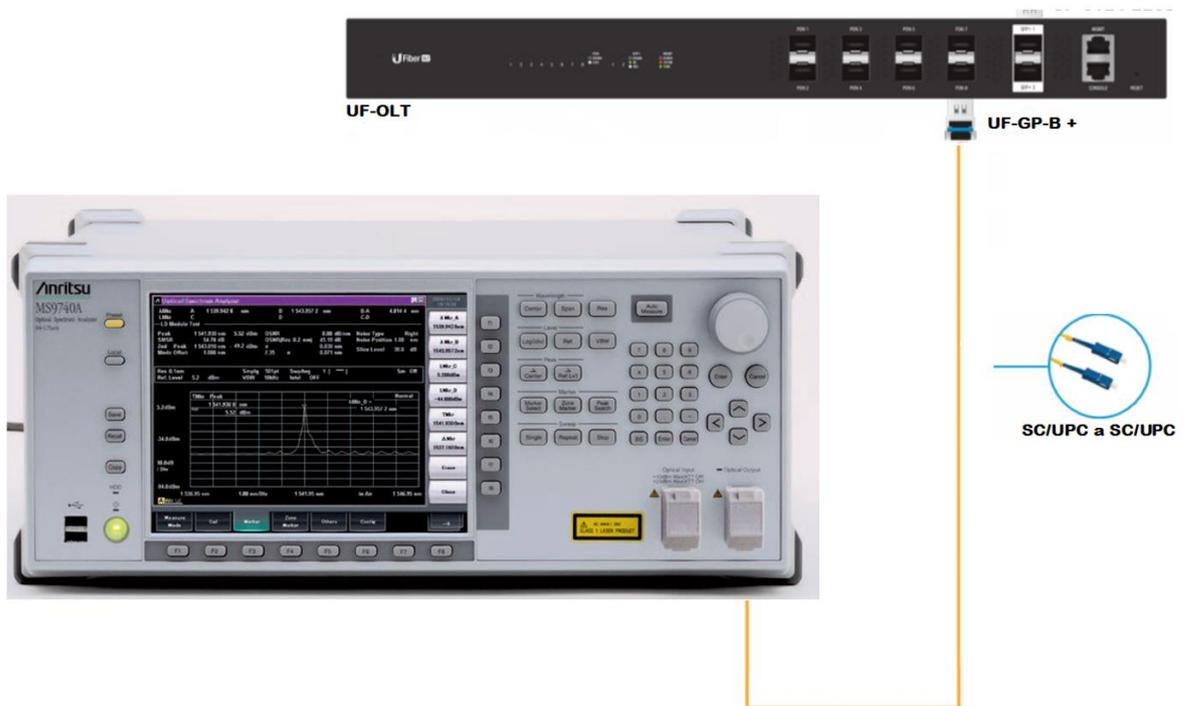


Figura 2. Esquema de Conexión OSA – OLT

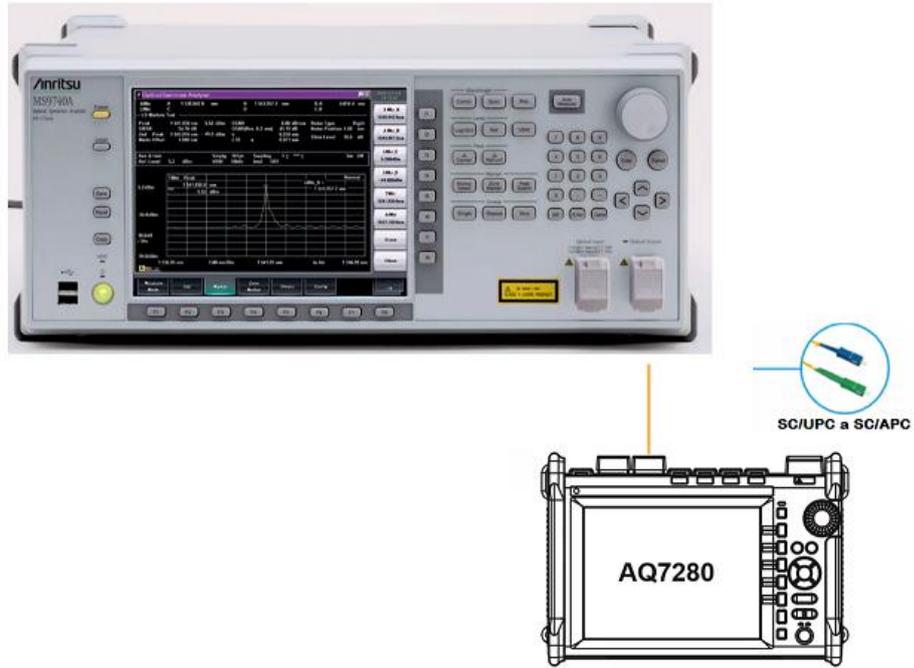


Figura 3. Esquema de Conexión OSA – OTDR

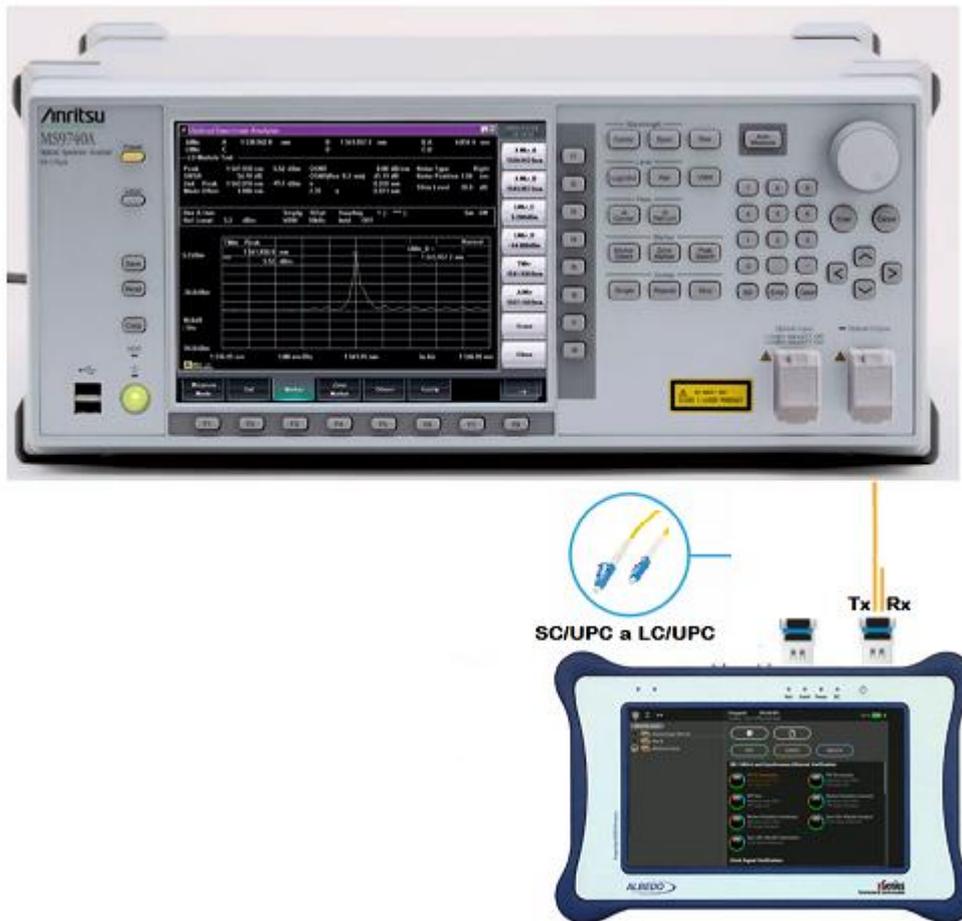


Figura 4. Esquema de Conexión OSA – xGenius

Tabla 1 Resultados obtenidos de los Espectros Ópticos			
Equipo	Laser	λ_c [nm]	FWHM [nm]
Fuente de luz			
OLT			
OTDR			
xGenius			

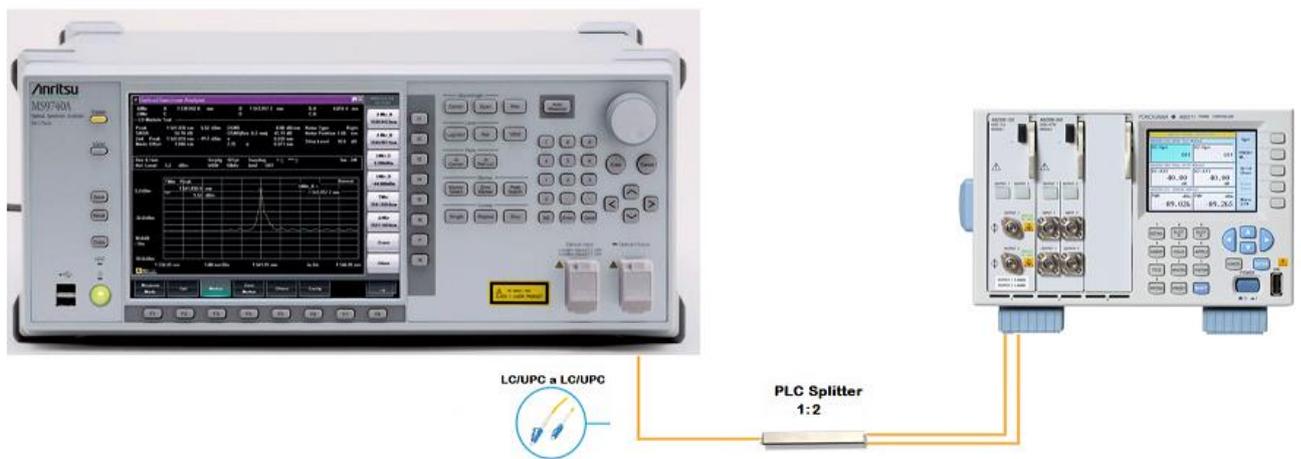


Figura 5. Esquema de Conexión OSA – Fuente de luz (WDM)

Tabla 2 Análisis WDM				
No	Longitud de Onda [nm]	FWHM [nm]	Potencia [dBm]	SNR [dB]
1				
2				

CONCLUSIONES:

-

RECOMENDACIONES:

-

REFERENCES:



**FORMATO DE GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO /
TALLERES / CENTROS DE SIMULACIÓN – PARA
DOCENTES**

CARRERA: TELECOMUNICACIONES /
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

ASIGNATURA:

NRO. PRÁCTICA:

5

TÍTULO PRÁCTICA: GENERACIÓN DE TRÁFICO

OBJETIVO GENERAL:

Generar tráfico a nivel Ethernet e IP que permita la familiarización y manejo de equipos de Networking (ALBEDO xGenius) para el análisis de tramas DIX y paquetes IPv4

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Verificar las especificaciones técnicas del ALBEDO xGenius.
2. Configurar cargas útiles para medir criterios de errores de bits y latencia.
3. Configurar el perfil de ancho de banda.
4. Implementar el escenario de prueba planteado.
5. Contrastar los resultados obtenidos con los diagramas planteados inicialmente.

INSTRUCCIONES

(Detallar las instrucciones que se dará al estudiante):

1. Verifique las especificaciones técnicas de los siguientes equipos:
d) ALBEDO xGenius.

2. Describa los tipos de carga útil que utiliza el xGenius para el análisis de rendimiento en la red

Los datos generados por el xGenius son sintéticos, es decir, no contienen información real, por esta razón las tramas generadas se reemplazan por cargas útiles que simulan el tráfico de usuarios. Estas pueden contener marcas de tiempo o números de secuencia que determinan que métricas de resultados serán analizadas.

3. Analice la estructura de la trama DIX y la estructura del paquete IPv4

4. Configure el perfil de ancho de banda

En esta ventana se establece la velocidad de transmisión y el perfil del flujo (ver Figura 1) de datos; se puede especificar las tramas por segundo, bits por segundo o el porcentaje de la capacidad de transmisión.

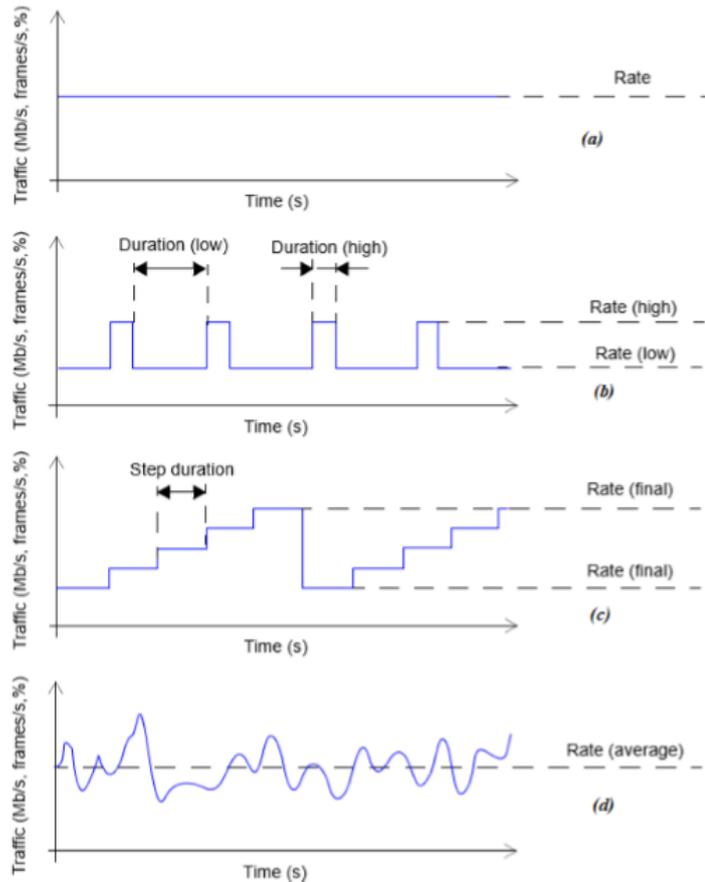


Figura 1 Perfiles de tráfico (a) continuo (b) periódico (c) rampa (d) aleatorio

5. Genere tráfico Ethernet e IP

El xGenius tiene la capacidad de generar tráfico Ethernet e IP con perfiles deterministas y aleatorios de ancho de banda; la Figura 1 indica el diagrama de conexión para realizar las pruebas.



Figura 2 Diagrama de conexión para generación de tráfico

Primero se debe verificar el conector y la auto-negociación. La generación de tramas Ethernet está disponible para el puerto A en el modo Ethernet endpoint; se debe configurar la capa física, campo de trama, perfil de ancho de banda y carga útil. Trabajar en el nivel de capa 3 permite abandonar la red local y llegar a redes remotas, la generación de paquetes IP está disponible para el puerto A en el modo IP endpoint se debe verificar el conector y la auto-negociación. La configuración física (capa 1) y MAC

(capa 2) es similar al modo Ethernet endpoint, con la diferencia de que se encuentra habilitado el protocolo ARP, es necesario configurar el paquete IPv4

6. Configure la carga útil

Debido a que los datos generados por el equipo son sintéticos, es decir, no reales, simular 2 flujos de tráfico con cargas útiles tipo BERT y SLA para medir criterios de rendimiento de errores de bits, pérdida de paquetes y latencia.

7. Genere conclusiones a partir de la comparación de los resultados obtenidos en los escenarios planteados

ACTIVIDADES POR DESARROLLAR

(Anotar las actividades que deberá seguir el estudiante para el cumplimiento de la práctica)

1. LISTADO DE HERRAMIENTAS Y MATERIALES

Herramientas y Materiales

- xGenius
- SFP GP-3124-L2CD
- Patch Cord LC/UPC-LC/UPC

2. MARCO TEÓRICO

De acuerdo con los puntos indicados en la instrucción 2 y 3, desarrolle el marco teórico.

2.1. Complete la siguiente tabla con los tipos de carga útil que útil que posee el xGenius

Tabla 1 Carga útil	
Carga	Descripción
BERT	
SLA	
All zeros	

2.2. Completar la tabla de métricas BERT y SLA

Tabla 2 Métricas BERT y SLA		
Carga	Métrica	Descripción
BERT	LSS	
	TSE	
	BER	
	ES	
SLA	FTD	
	FDV	
	Lost Frames	

2.3. Investigar el estándar Ethernet II y completar la tabla

Tabla 3 Estructura Ethernet II	
Preámbulo	
Dirección de destino	

Dirección de origen	
Tipo	
Datos	.
Frame Checksum Sequence	

2.4. Investigar la estructura del paquete IP y completar la tabla

Tabla 4 Estructura Paquete IP	
Versión	
Longitud del encabezado	
Tipo de servicio	
Longitud total	
Identificación, banderas y desplazamiento de fragmentos	
Tiempo de vida	
Protocolo	
Checksum	
Dirección de origen	
Dirección de destino	
Opciones y relleno	
Datos	

3. EXPERIMENTACIÓN

De acuerdo con los puntos indicados en la instrucción 4, 5 y 6, desarrolle:

3.1. Configurar el xGenius para la generación de tráfico Ethernet

Tabla 5 Configuración del equipo			
Campo	Parámetro	Configuración	
Unidad	Método	One-way	
	Modo de operación global	Ethernet endpoint	
Perfil local	Puerto	A	B
	Modo del Puerto	TX/RX	Monitor
	Conector	Óptico	Óptico
	MTU	1518	1518
	MAC	00:DB:1E:00:13:98	00:DB:1E:00:13:99

- a) Generar 2 flujos en el equipo con las siguientes características, capturar los resultados tras de 2 minutos de prueba.

Tabla 6 Configuración de flujos		
Campo	Flujo 1	Flujo 2
Perfil de ancho de banda	Continuo	Continuo
Tasa (%)	50	50
Carga útil	BERT ITU PRBS 2^31	SLA
Tamaño de trama (bits)	1518	1518
MAC de origen	:00:13:98	:00:13:98
MAC de destino	:00:13:99	:00:13:99

3.2. Configurar el xGenius para la generación de tráfico IP

Tabla 7 Configuración del equipo			
Campo	Parámetro	Configuración	
Unidad	Método	One-way	
	Modo de operación global	IP endpoint	
Perfil local	Puerto	A	B
	Modo del Puerto	TX/RX	Monitor
	Conector	Óptico	Óptico
	MTU	1518	1518
	MAC	00:DB:1E:00:13:98	00:DB:1E:00:13:99
	Dirección IP	192.168.1.2	N/A
	Máscara	255.255.255.0	N/A

- a) Generar 2 flujos en el equipo con las siguientes características, capturar los resultados tras de 2 minutos de prueba.

Tabla 8 Configuración de flujos		
Campo	Flujo 1	Flujo 2
Perfil de ancho de banda	Continuo	Continuo
Tasa (%)	50	50
Carga útil	BERT ITU PRBS 2^31	SLA
Tamaño de trama (bits)	1518	1518
MAC de origen	:00:13:98	:00:13:98
MAC de destino	:00:13:99	:00:13:99
IP de origen	192.168.1.2	192.168.1.2
IP de destino	192.168.1.5	192.168.1.5
DSCP	N/A	N/A

3.3. Completar la tabla de resultados

Tabla 9 Resultados			
Parámetro	Métrica	Ethernet endpoint	IP endpoint
Trama	IPv4 TX		
	IPv4 RX		
BERT	LSS		
	TSE		
	BER		
	ES		
SLA	FTD promedio		
	FDV promedio		
	Perdida de tramas		

CONCLUSIONES:

-

RECOMENDACIONES:

-

REFERENCES:

CARRERA:
TELECOMUNICACIONES /
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

ASIGNATURA:

NRO. PRÁCTICA: 6

TÍTULO PRÁCTICA: PROVISIÓN DE QoS BASADA EN LA VERIFICACIÓN DE PARÁMETROS SLA

OBJETIVO GENERAL:

Implementar una red que permita verificar Calidad de Servicio mediante el análisis de parámetros SLA

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Verificar las especificaciones técnicas del ALBEDO xGenius, Net.Hunte y Net.Storm.
2. Configurar QoS basado en la arquitectura de Servicios Diferenciados.
3. Capturar el tráfico y analizar el paquete IP.
4. Degradar el tráfico insertando eventos de latencia y errores de bit.
5. Contrastar los resultados obtenidos con los diagramas planteados inicialmente.

INSTRUCCIONES
(Detallar las instrucciones que se dará al estudiante):

1. Verifique las especificaciones técnicas de los siguientes equipos:

- a) ALBEDO xGenius.
- b) ALBEDO Net.Hunter.
- c) ALBEDO Net.Storm.

2. Calidad de Servicio

Marco Teorico seccion 2.1

3. Arquitectura de Servicios Diferenciados

Marco Teorico seccion 2.2 y 2.3

4. ITU-T rec. Y.1541

La ITU en la recomendación ITU-T rec. Y.1541 define ocho clases de calidad de servicio basadas en la aplicación para definir los objetivos de rendimiento en redes IP (ver Figura 1). Estos servicios de telecomunicaciones se describen a través de los parámetros de ancho de banda y calidad de servicio.

Application	Sample	ITU-T Class							
		5	4	3	2	1	0	7	6
Live TV streaming	IPTV, Pay per View, Multi-					YES		YES	YES
Video streaming	VoD, PVS, time-shift TV					YES		YES	
Audio streaming	Music on demand					YES			
Control Protocols	Zapping, Stop/Start/Bwd/Fwd				YES				
Video downloads	VoD		YES						
Video uploads	Closed group of video user		YES						
Downloading	Images, books, etc.	YES							
Web access	Portals	YES							
Telephony	VoIP						YES		
Interactive / low	Videoconferences						YES		
Interactive	Instant Messages			YES					
Mainling	email	YES							
e-business	e-commerce			YES					

Figura 1 Clases de Tráfico según la ITU-T rec. Y.1541

La ITU-T define las características de calidad de servicio en términos de retrasos de paquetes y errores (ver Figura 2), el conjunto de parámetros que definen la QoS a nivel de IP son:

- Frame Delay (IPTD), latencia de extremo a extremo (ms).
- Delay Variation (IPDV), variación de retardo de paquetes (ms).
- Packet Loss (IPLR), relación entre las tramas enviadas y las tramas de respuesta pérdidas.
- Packages Error (IPER), relación de error de bits en la recepción.
- Disordered Packages (IPRR), relación de paquetes que llegan fuera de orden.

Class	IPTD	IPDV	IPLR	IPER	IPRR	Samples
0	100 ms	50 ms	1×10^{-3}	1×10^{-4}	-	Real-time, jitter sensitive, low delay, very interactive, ie VoIP
1	400 ms	50 ms	1×10^{-3}	1×10^{-4}	-	Real time, jitter sensitive, average delay, interactive
2	100 ms	U	1×10^{-3}	1×10^{-4}	-	Transactions, low delay, very interactive, ie Internet...
3	400 ms	U	1×10^{-3}	1×10^{-4}	-	Transactions, average delay, interactive
4	1 s	U	1×10^{-3}	1×10^{-4}	-	Few missed, i.e. downloads
5	U	U	U	U	-	Best effort, i.e. email
6	100ms	50 ms	1×10^{-5}	1×10^{-6}	1×10^{-6}	High speed, low loss, low delay, interactive, ie IPTV
7	400ms	50 ms	1×10^{-5}	1×10^{-6}	1×10^{-6}	High speed, low loss, average delay, interactive

Figura 2 ITU-T rec. Y.1541: requerimientos de QoS para nivel IP

5. Genere tráfico IP

Utilizar el xGenius, generar ocho flujos, cada uno debe estar asignado a una clase de servicio (CoS) definida en la ITU-T rec. Y.1541, emulando diferentes aplicaciones con distintas prioridades de tráfico. Para establecer los requerimientos de calidad de servicio, aplicar la arquitectura de Servicios Diferenciados (DiffServ), está usa el campo DSCP de la estructura del paquete IP, este parámetro es un código de 6 bits que clasifica cada paquete que ingresa a la red de acuerdo con el tipo de servicio (ToS). La Tabla 1 indica la clase de servicio y el valor DSCP recomendado para cada aplicación, la Tabla 2 muestra la configuración del equipo.

Tabla 1 Servicios de marca de clase					
Clase	Descripción	DSCP	Código	Probabilidad de caída	Aplicaciones
0	Servicios en tiempo real	46	EF	No aplica	VoIP, videoconferencias
1	Multicast streaming	34	AF41	Baja	IPTV, VoD
2	Protocolos de control	48	CS6	-	Tablas de enrutamiento, señalización

3	Servicios interactivos	32	CS4	-	Mensajes instantáneos
4	Baja pérdida	36	AF42	Meda	VoD, videoconferencias
5	Aplicaciones tradicionales	0	Best Effort	No aplica	Descargas de baja prioridad (portales web, imágenes, libros, etc)
6	Multimedia streaming	26	AF31	Baja	TV streaming
7		28	AF32	Media	Video streaming, audio streaming

Tabla 2 Configuración de unidad y perfil local

Campo	Parámetro	Configuración	
Unidad	Método	One-way	
	Modo de operación global	IP endpoint	
Perfil local	Puerto	A	B
	Modo del Puerto	TX/RX	Monitor
	Conector	Óptico	Óptico
	MTU	1518	1518
	MAC	00:DB:1E:00:13:98	00:DB:1E:00:13:99
	Dirección IP	192.168.1.2	192.168.1.10
Máscara	255.255.255.0	255.255.255.0	

6. Condiciones de evaluación

Es importante establecer una adecuada dimensión de trama para la evaluación, lo conveniente es generar una serie de diferentes tamaños ya que muchos flujos tienen una variación de longitud considerable, sin embargo, se simplifica la prueba con flujos a velocidad constante, por lo que se recomienda un tamaño de campo de información fijo. Se sugieren campos de información de 160 o 1500 bytes para la estimación de calidad de funcionamiento a nivel IP. La Figura 3 muestra el diagrama de conexión y la Tabla 3 indica la configuración de los ocho flujos generados.

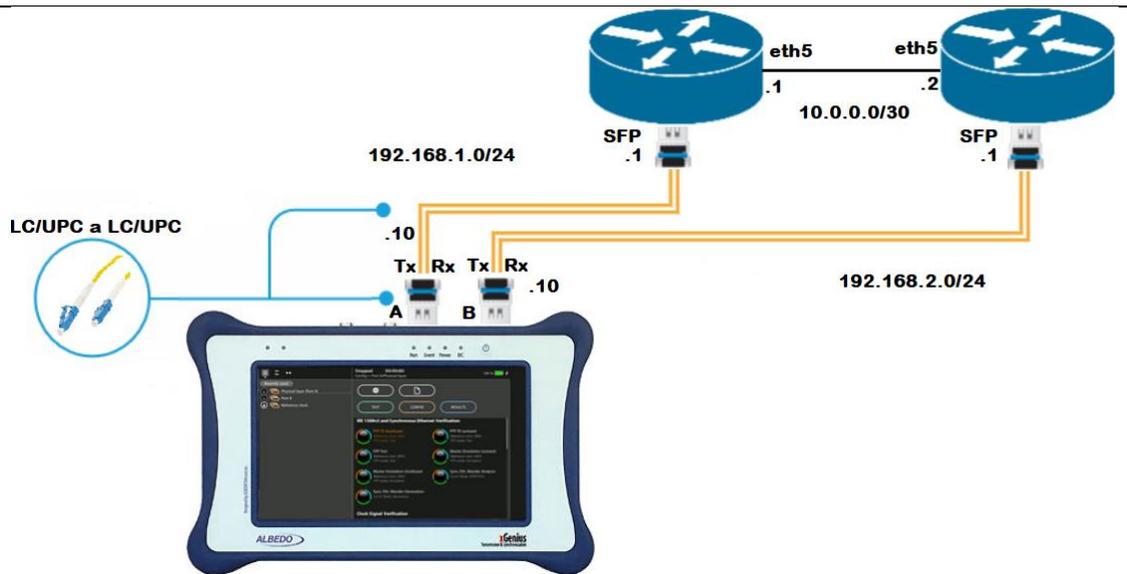


Figura 3 Diagrama de conexión para pruebas SLA y QoS

Tabla 3 Configuración de flujos				
Campo	Flujo 1	Flujo 2	Flujo 3	Flujo 4
Perfil de ancho de banda	Continuo	Continuo	Continuo	Continuo
Tasa (Mbps)	10	10	10	10
Carga útil	SLA	SLA	SLA	SLA
Tamaño de trama (bytes)	256	256	256	256
MAC de origen	:00:13:98	:00:13:98	:00:13:98	:00:13:98
MAC de destino	:00:13:99	:00:13:99	:00:13:99	:00:13:99
C-VID	10	20	30	40
Prioridad C-VLAN	0	0	0	0
IP de origen	192.168.1.10	192.168.1.10	192.168.1.10	192.168.1.10
IP de destino	192.168.2.10	192.168.2.10	192.168.2.10	192.168.2.10
DSCP	46	34	48	32
	Flujo 5	Flujo 6	Flujo 7	Flujo 8
Perfil de ancho de banda	Continuo	Continuo	Continuo	Continuo
Tasa (Mbps)	10	10	10	10
Carga útil	SLA	SLA	SLA	SLA
Tamaño de trama (bytes)	256	256	256	256
MAC de origen	:00:13:98	:00:13:98	:00:13:98	:00:13:98
MAC de destino	:00:13:99	:00:13:99	:00:13:99	:00:13:99
S-VID	50	60	70	80
Prioridad S-VLAN	0	0	0	0
IP de origen	192.168.1.10	192.168.1.10	192.168.1.10	192.168.1.10
IP de destino	192.168.2.10	192.168.2.10	192.168.2.10	192.168.2.10
DSCP	36	0	26	28

Herramientas y Materiales

- xGenius
- Net.Hunter
- Net.Storm
- Routers
- SFP GP-3124-L2CD
- Patch Cord LC/UPC-LC/UPC
- Patch Cord Cat 6a
- WireShark

2. MARCO TEÓRICO

De acuerdo con los puntos indicados en la instrucción 2 y 3, desarrolle el marco teórico.

2.1. Investigar Calidad de Servicio

2.2. Investigar la arquitectura de Servicios Diferenciados

2.3. Investigar el campo DSCP de la estructura del paquete IP

3. EXPERIMENTACIÓN

De acuerdo con los puntos indicados en la instrucción 5, 6, 7 y 8, desarrolle:

3.1. Generar ocho flujos, asignar a cada uno a una Clase de Tráfico (CT) definida en la ITU-T rec. Y.1541, y encapsularlos en una VLAN, emulando diferentes aplicaciones con distintas prioridades de tráfico.

3.2. Realizar la prueba por 5 minutos, capturar el tráfico y analizar las métricas de SLA para cada flujo.

Tabla 5 Resultados de pruebas SLA y QoS

Clase	Flujo	FTD [μ s]	FDV [μ s]	FLR	Lost Frames
0	1				
1	2				
2	3				
3	4				
4	5				
5	6				
6	7				
7	8				

3.3. Capturar el tráfico

3.4. Corromper el tráfico, realizar la prueba por 5 minutos, capturar el tráfico y analizar las métricas de SLA para cada flujo

Tabla 6 Resultados de pruebas SLA y QoS con degradación

Clase	Flujo	FTD [μ s]	FDV [μ s]	FLR	Lost Frames
0	1				
1	2				
2	3				
3	4				
4	5				
5	6				
6	7				
7	8				

CONCLUSIONES:

-

RECOMENDACIONES:

-

REFERENCES:



FORMATO DE GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO / TALLERES / CENTROS DE SIMULACIÓN – PARA DOCENTES

CARRERA: TELECOMUNICACIONES / ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

ASIGNATURA:

NRO. PRÁCTICA:

7

TÍTULO PRÁCTICA: CONFIGURACIÓN DE UNA RED GPON

OBJETIVO GENERAL:

Configurar la OLT para proveer servicio de Internet y VoIP en una arquitectura GPON.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Conocer los estándares PON.
2. Configurar la OLT.
3. Proveer servicios de Internet y VoIP.

INSTRUCCIONES

(Detallar las instrucciones que se dará al estudiante):

1. Verifique los siguientes conceptos teóricos:

- a) Estándares PON.
- b) Componentes generales de una red PON.
- c) Investigar como brindar servicios Triple-Play usando VLANs
- d) Describir los perfiles de operación Bridge y Router.
- e) Control de ancho de Banda

2. Configuración de la OLT

- a) La Figura 1 indica la topología de red, la OLT representa la cabecera de la red GPON que conecta cada puerto PON al dominio de enrutamiento y conmutación utilizando los puertos de enlace ascendente SFP+. En el lado PON se insertan los módulos GPON SFP UF-GP-B+.
- b) La configuración de la UFiber OLT es mediante una interfaz gráfica (GUI) que la vuelve relativamente fácil e intuitiva de realizar. Para acceder al GUI de configuración se debe conectar un computador al puerto MGMT de la OLT e introducir las credenciales de usuario y contraseña (Username: ubnt, Password: ubnt). Es importante verificar que los equipos se encuentren en la misma red. Figura 2 y 3.
- c) Los puertos de enlace ascendente SFP+ se utilizan para conectar la red GPON a internet, estos vienen configurados de forma predeterminada con la VLAN nativa 4063 (esta puede cambiarse o ser omitida sin problemas). Figura 4.
- d) Las ONUs operan bajo ciertos perfiles que se crean en la Ufiber OLT, en estos, se configura varios parámetros como modo de operación (bridge o router), VLANs (aplicable solo en modo bridge), servicios (control remoto), firewall (aplicable solo en modo router) y control de ancho de banda. Configurar una VLAN que pertenece a la WAN y el perfil en modo router con DHCP.
- e) Por defecto la OLT se administra a través del puerto MGMT, sin embargo, se puede habilitar la función de administración en banda, que permite que la dirección IP de administración sea accesible a través de una VLAN configurada en los puertos de uplink SFP+. Figura 5.
- f) La puerta de enlace predeterminada (Gateway) se configura para tener acceso a redes externas, todos los paquetes que tienen como destino redes remotas se envían al Gateway. Figura 6.
- g) Cuando una ONU se engancha a la OLT se muestra en el menú ONU List, aquí se puede verificar el estado, puerto asignado, perfil, niveles de potencia y dirección IP de WAN. Para asignar un perfil de operación se debe seleccionar la ONU y elegir el perfil GPON creado anteriormente. Figura 7 y 8.
- h) Aplicar y verificar un control de ancho de banda simétrico, asimétrico y sin control.

	<p>3. Implemente de un servidor VoIP.</p> <p>a) Implementar un servidor de VoIP, realizar una llamada entre dos terminales, capturar y analizar el tráfico utilizando el Net.Hunter y Wireshark.</p>
<p>ACTIVIDADES POR DESARROLLAR (Anotar las actividades que deberá seguir el estudiante para el cumplimiento de la práctica)</p>	
<p>1. LISTADO DE HERRAMIENTAS Y MATERIALES</p> <p>Herramientas y Materiales</p> <ul style="list-style-type: none"> • OLT • 2 ONU • Routers • 2 Splitters 1:8 • Bobinas (2 km y 10 km) • Conectores SC/UPC SC/APC • Conectores SC/APC SC/APC • Conectores LC/UPC LC/UPC <p>2. MARCO TEÓRICO</p> <p>De acuerdo con los puntos indicados en la instrucción 1, desarrolle el marco teórico.</p> <p>2.1. Estándares PON.</p> <p>2.2. Componentes generales de una red PON.</p> <p>2.3. Investigar como brindar servicios Triple-Play usando VLANs.</p> <p>2.4. Describir los perfiles de operación Bridge y Router.</p> <p>2.5. Control de ancho de Banda.</p>	
<p>3. DESAROLLO</p> <p>Esquema</p>	

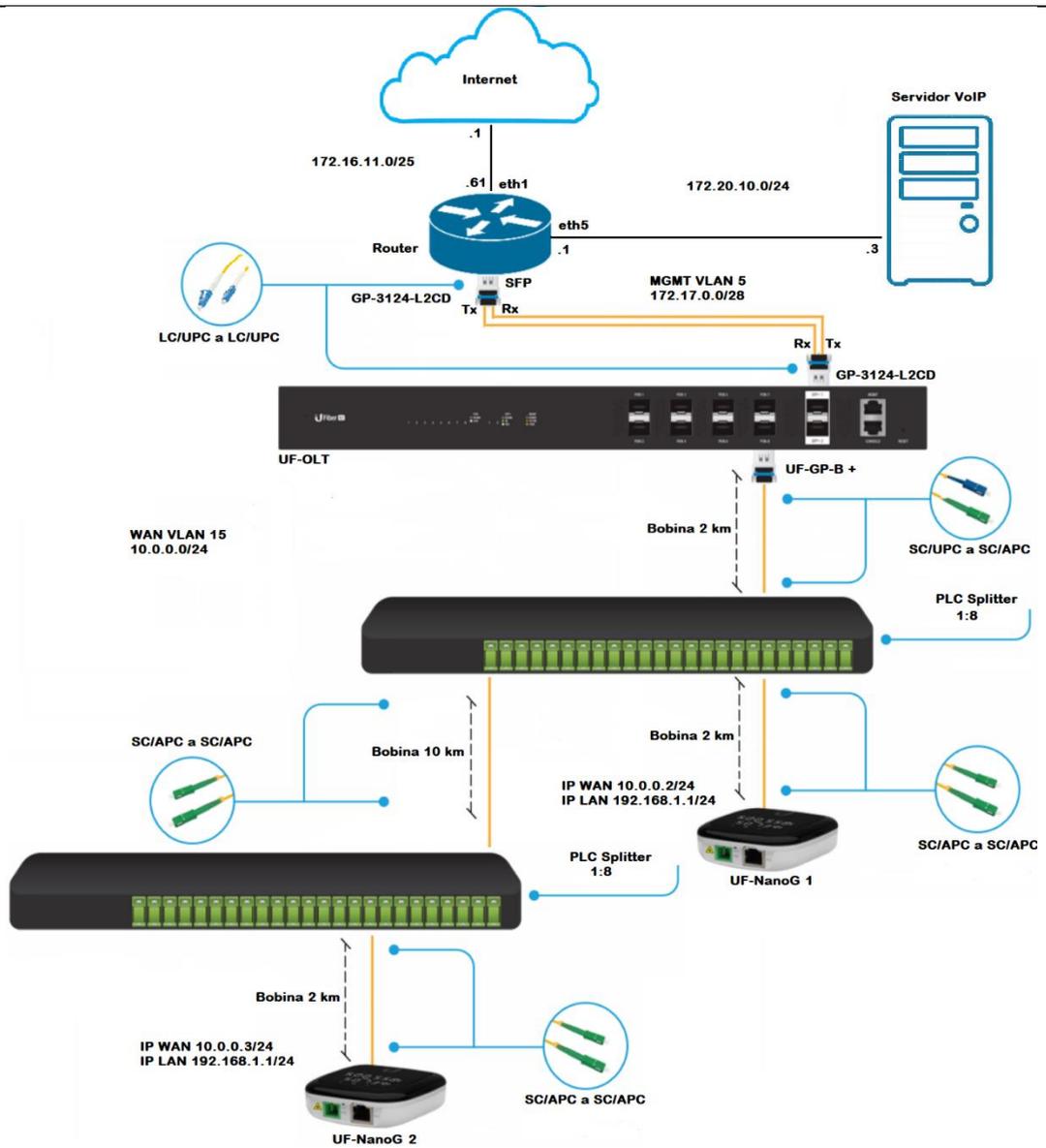


Figura 1 Topología de red GPON.

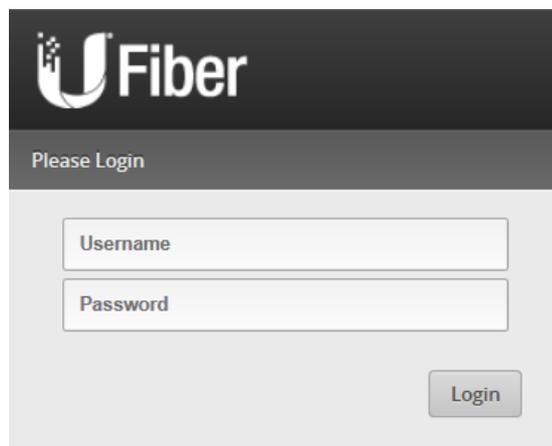


Figura 2 Acceder a la interfaz de configuración

Interface Configuration for br0

Basic Advanced Bridge Interfaces

Description: Management

Enable:

Address: Manually define IP address

172.17.0.2/28

+ Add IP

Save Cancel

Figura 3 Configuración de IP de administrador

Interface Configuration for sfp+1

Link negotiation: Auto

Native VLAN: 4063

Include VLANs

VLAN ID: 5

VLAN ID: 15

+ Add VLAN

Save Cancel

Figura 4 Configuración de puertos uplink SFP+.

Inband management

Access from SFP+ port(s):

VLAN: 5

Figura 5 Configuración de gestión en banda.

Gateway

System gateway address: 172.17.0.1

Name Server

System name server: 172.17.0.1

172.16.1.157

+ Add New

Figura 6 Configuración del Gateway y DNS.

Status	Serial Number	Name	Profile	PON Port
<input type="checkbox"/> Connected	UBNT2073e385	UBNT2073e385	GPON	3
Model	Tx Power	Rx Power	Connection Time	WAN IP Address
NanoG	2.44dBm	-6.72dBm	2h 49m 58s	10.0.0.2

Figura 7 Lista de ONU's.

Configuration of ONU UBNT2073e385

Basic | **WiFi** | Port Forwarding

Name *

Enable

Profile

Figura 8 Perfil de operación asignado a la ONU.

CONCLUSIONES:

-

RECOMENDACIONES:

-

REFERENCIAS:



**FORMATO DE GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO / TALLERES
/ CENTROS DE SIMULACIÓN – PARA DOCENTES**

CARRERA: TELECOMUNICACIONES /
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

ASIGNATURA:

NRO. PRÁCTICA:

TÍTULO PRÁCTICA: MANEJO DE EQUIPOS OPTICOS

OBJETIVO GENERAL:

Descripción y Configuración de los equipos en el Laboratorio de Telecomunicaciones.

INSTRUCCIONES

(Detallar las instrucciones que se dará al estudiante):

1. Descripción y Configuración de los equipos Ópticos

ACTIVIDADES POR DESARROLLAR

(Anotar las actividades que deberá seguir el estudiante para el cumplimiento de la práctica)

2. LISTADO DE HERRAMIENTAS Y MATERIALES

Inventario de Equipos Ópticos			
Cantidad	Equipo	Marca	Modelo
1	Fusionadora	FiberFox	Mini 5C
2	OPM	PROMAX	Prolite-63B
1	Fuente Óptica	YOKOGAWA	AQ2200
1	OSA	Anritsu	MS9740A
1	OTDR	YOKOGAWA	AQ7280
1	OLT	UBIQUITI	Ufiber OLT
4	ONU	UBIQUITI	Nano G
2	Generador de Tráfico	ALBEDO	xGenius
1	Atormentador de Tráfico	ALBEDO	Net.Storm
1	Capturador de Tráfico	ALBEDO	Net.Hunter

4. Equipos

En esta parte está centrado en detallar las características, funcionamiento y especificaciones de los equipos ópticos que se encuentran en el laboratorio con el fin de familiarizar al usuario con una correcta operación y manipulación.

Fusionadora

La fusionadora Mini 5C (figura 1) utiliza la tecnología de alineación por núcleo, posee LEDs, lentes, cámaras de detección de luz y motores que aseguran una fusión de alta calidad, además tiene incorporado un calentador tipo horno para mejorar la resistencia mecánica de la fusión garantizando un buen rendimiento. La Tabla 1 muestra las características y especificaciones técnicas.

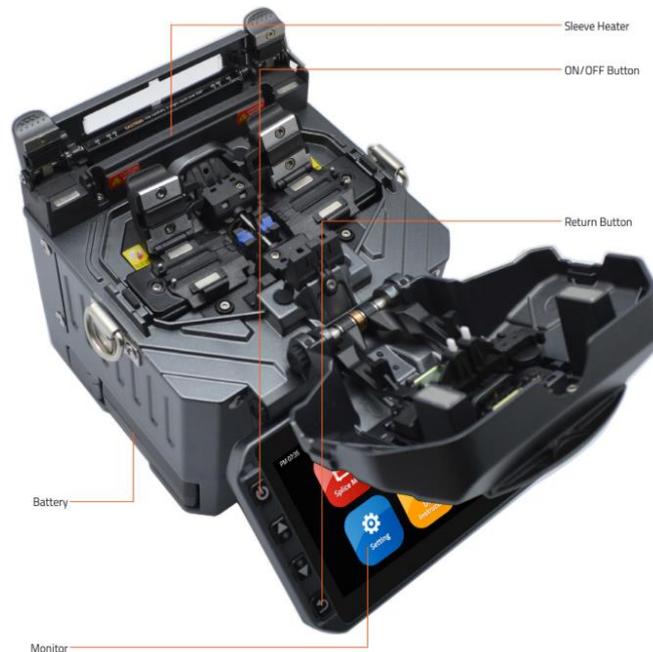


Figura 1 Fusionadora FiberFox Mini 5C

Tabla 1 Especificaciones técnicas FiberFox Mini 5C		
Cámara	Cámara dual de alta precisión	
Display	Pantalla LCD reforzada de 4.3" de ancho	
Microscopio	x150: X&Y eje de doble vista	
	x300: X eje de una vista	
	x300: Y eje de una vista	
Fuente de alimentación	Entrada	AC 100 ~ 240 V
		50 ~ 60 Hz
	Batería de iones de litio	DC 9 ~ 14 V
Velocidad de empalme	Rápido	7 sec
	Automático	9 sec

Calentador	Tubillo aplicable	Estandarizado: 20, 25, 30, 35, 40, 60 mm
	Tiempo de calentado	8 ~ 900 sec (Típicamente: 15 sec)
Fibra aplicable	Tipo: Un solo núcleo	
	Tipos de fibra: SM (ITU-TG.652)/ DS(ITU-TG.653)/ NZDS(ITU-TG.652)/ ITU-TG.657 tipo A,B/ MM(ITU-TG.651)	
Diámetro aplicable	0.25 mm / 0.9 mm / 2.0 mm / 2.4 mm / 3.0 mm	
Perdidas por empalme	SM: 0.02 dB	
	MM: 0.01 dB	
	DS: 0.04 dB	
	NZDS: 0.04 dB	
	G.657: 0.02 dB	

Medidor de Potencia Óptica

En un sistema de transmisión óptica medir la potencia es una forma ideal de determinar la conectividad y atenuación que se producen a lo largo del enlace. El OPM (Optical Power Meter) Prolite-63B es un medidor de potencia óptica funcional pues opera en un amplio rango de longitud de onda, la Tabla 2 muestra las características técnicas del equipo.

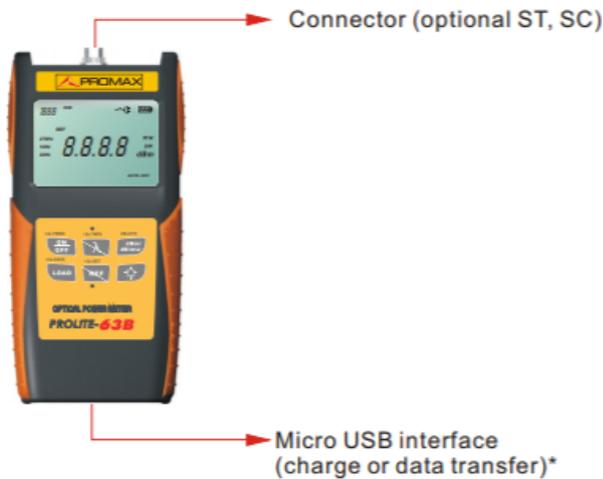


Figura 22 Medidor de potencia óptica Prolite-63B

Tabla 2 Especificaciones técnicas Prolite 63 B	
Rango de medición (dBm)	-70 ~ +10 a 1550 nm
Rango de detección de frecuencia	-40 ~ +10 (dBm)
Rango de detección de longitud de onda	-40 ~ +10 (dBm)

Resolución	0.01
Longitud de onda (nm)	850/1300/1310/1490/1550/1625
Detector	InGaAs
Precisión	±5%
Longitud de onda operativa (nm)	800 ~ 1700
Alimentación	1 baterías de 1.2 V; Adaptador de CA

El Prolite-63B posee un teclado con una amplia variedad de funciones, la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra la operación que cumple cada botón del equipo. Para una correcta manipulación se describen las siguientes recomendaciones de uso del equipo.

- Configurar la longitud de onda de trabajo del enlace.
- Limpiar los conectores antes de su uso para evitar lecturas incorrectas.
- Luego del uso del equipo, cubrir el conector y guardar el equipo en su estuche.

Fuente Óptica

La fuente de luz AQ2200 es una plataforma de prueba óptica conformada por dos módulos (fuente de luz y atenuadores) que permiten diseñar y experimentar mediciones con un rango dinámico de longitud de onda y potencia.



Figura 3 Plataforma de prueba óptica Yokogawa AQ2200

Es un módulo AQ2200-132 que posee una fuente de luz sintonizable (TLS) con dos salidas que operan en la banda C y L, utiliza un láser de clase 1M tipo ITLA (Integrated Tunable Laser Assembly) lo que permite una transmisión digital óptica de elevada velocidad, la **indica las especificaciones técnicas de este módulo.**

Tabla 3 Especificaciones modulo AQ2200-132	
Modelo	AQ2200-132

Clase	1M
Tipo de laser	ITLA
Conector	FC/APC
Longitud de onda de operación	Banda C (Output 1): 1527.6 nm a 1565.5 nm
	Banda L (Output 2): 1570.01 nm a 1608.76 nm
Potencia de salida	+ 8.2 dBm a 14.5 dBm
Modulación	CW

El AQ2200-132 tiene una etiqueta de advertencia en forma triangular que indica el peligro por radiación de luz; utiliza un láser clase 1M que según la norma europea IEC60825-1: 2007, son seguros en condiciones normales, pero peligrosos si se emplean instrumentos ópticos para visión directa (binoculares, telescopios, microscopios, lupas) ya que puede causar lesiones oculares.

EL módulo AQ2200-342 tiene dos atenuadores ópticos variables, además posee un medidor de potencia incorporado que sirve para monitorear la salida óptica asegurando una potencia óptica constante, la Tabla 4 indica las especificaciones técnicas de este equipo.

Tabla 4 Especificaciones modulo AQ2200-342	
Modelo	AQ2200-342
Conector	FC/APC
Número de canales	2
Longitud de onda de operación	1260 nm a 1640 nm
Rango de atenuación	0 dB a 41 dB
Perdidas por inserción	1.8 dB a 2.4 dB
Máxima potencia de entrada	+ 23 dBm

Analizador de Espectros Ópticos

El MS9740A es un analizador de espectros ópticos que mide la distribución de potencia de las longitudes de onda, utiliza una rejilla de difracción para analizar la luz en el rango de longitud de onda desde 600 nm a 1750 nm, también examina y mide las pérdidas de elementos pasivos, como los aisladores ópticos, amplificadores ópticos y cifra de ruido; posee como sistema operativo Windows para la gestión de datos. La indica las **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**5 características del equipo.

Tabla 5 Especificaciones del Analizador Espectros Opticos MS9740A	
Modo de Fibras	Monomodo y Multimodo entre 50/125 μ m
Medición de alta velocidad con tiempo de barrido	300 ms

Alta precisión de longitud de onda	$\pm 20 \text{ pm}$
Rango dinámico	42 dB y 70 dB
Alta resolución	0.03 nm
Sensibilidad Rx	-90 nm
Entrada óptica máxima	200 mW
Alimentación	120 & 240 V/ 50-60 Hz

Las aplicaciones del analizador de Espectros es la evaluación de dispositivos ópticos como diodo laser, diodos ópticos, transceptores ópticos; en dispositivos activos como los amplificadores ópticos; análisis en las pérdidas en fibras ópticas, acopladores ópticos, aisladores ópticos, filtros ópticos y la monitorización del nivel de señal y longitud de onda de los circuitos de comunicaciones. Para la conexión se utiliza un patch cord de fibra óptica en la entrada, la característica de la fibra es utilizar un conector SC/UPC. Figura 4.

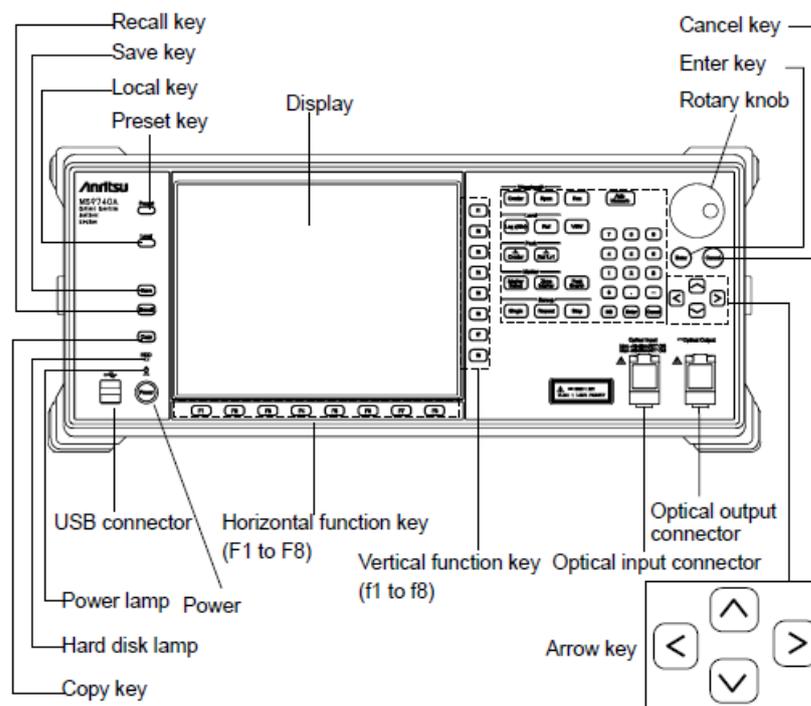


Figura 44 Panel Frontal Anritsu MS9740A

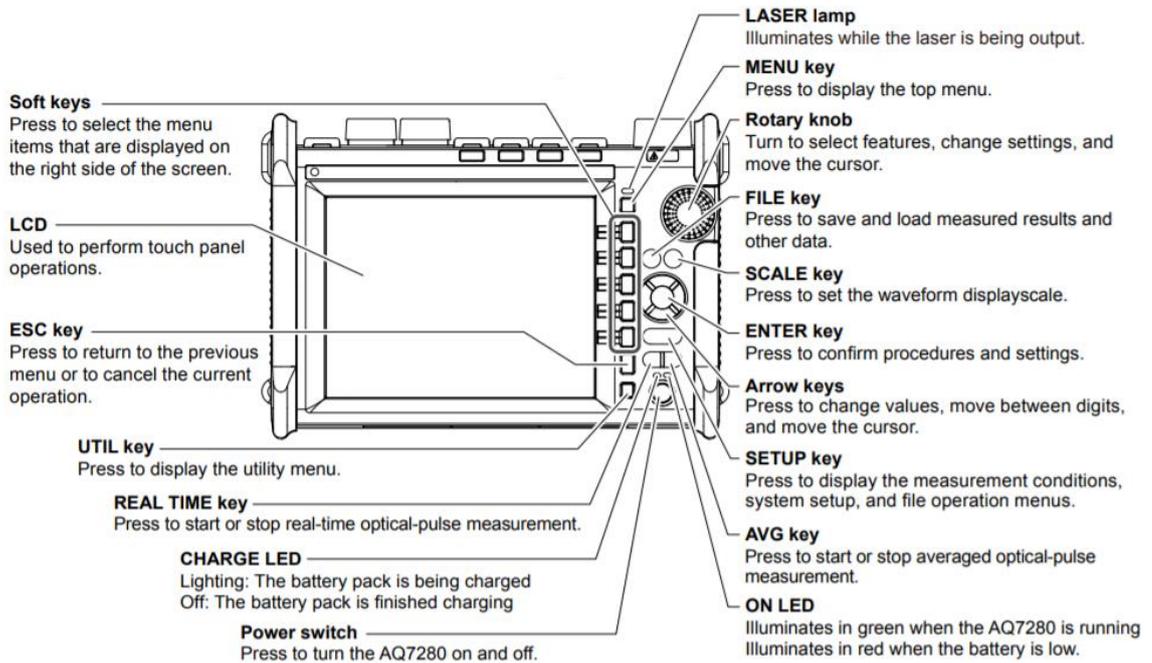
Para la calibración se lo realiza utilizando una fuente de luz con calibración externa y se realiza la alineación con el equipo; la señal de ingreso debe poseer una potencia de 20 dBm o mayor con una longitud de onda entre 600 a 1700 nm y ser mono modo. En el teclado de función horizontal se coloca Calibración y automáticamente el equipo adopta esas características.

El equipo posee 3 tipos de medida, los procesos que se realizan durante la medición son longitud de onda de pico, nivel de pico, medio ancho del espectro de la entrada óptica, rango de longitud de onda, resolución ajustada, escala de nivel ajustada.

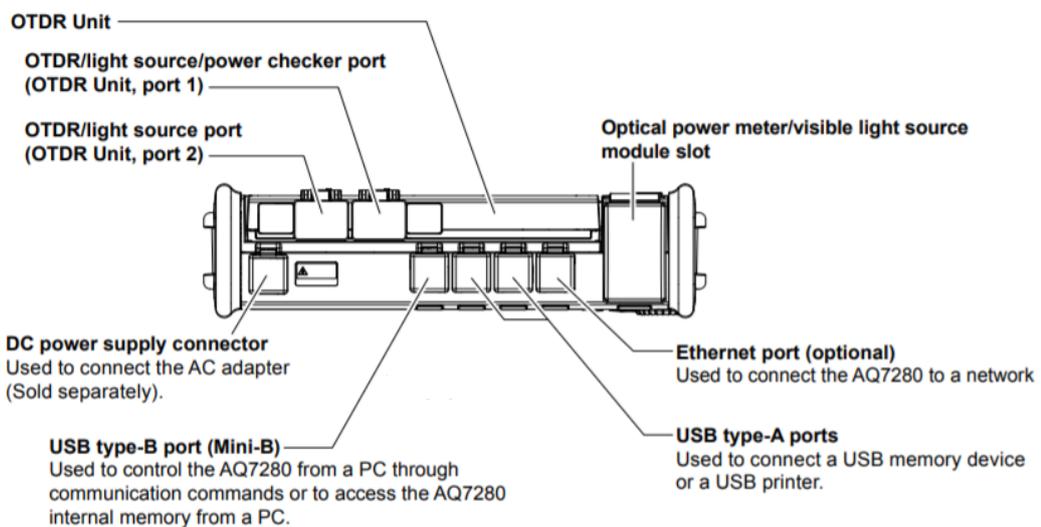
- Medida automática: Establece automáticamente la longitud de onda, el nivel, la resolución con sus mediciones.
- Medida única: Realiza el barrido de onda una sola vez.
- Medición repetida: El barrido de la forma de onda se repite hasta que se presione la tecla Stop.

Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo

El OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) es un equipo que se utiliza para la caracterización de una red, tiene la capacidad de evaluar un enlace óptico por completo determinando los eventos (perdidas, fallas y distancia) que suceden a través de este. Para el diagnóstico el OTDR se basa en la reflexión de Fresnel y la retrodispersión de Rayleigh, enviando un pulso de luz corto a través de la fibra y, a partir de la señal reflejada por eventos determina las pérdidas, fallas o rupturas en el medio de transmisión.



(a)



(b)

Figura 5 Descripción del teclado e interfaces del OTDR AQ7280 (a) Panel Frontal (b) Panel Superior

El YOKOGAWA AQ7280 cuenta con la unidad OTDR, un módulo medidor de potencia y una fuente de luz visible VLS (Visible Light Source), la Tabla 6 muestra las especificaciones técnicas del equipo.

Tabla 6 Especificaciones técnicas YOKOGAWA AQ7280		
Parámetro		Valores
Unidad OTDR	Modo	Simple/ Detallado/ PON
	Longitud de onda	SM 1310 nm/ SM 1550 nm/ SM 1625 nm
	Rango de distancia	200 m hasta 512 km
	Ancho de pulso	3 ns hasta 1 μ s
	Modo de operación	Tiempo Real/ Promedio
Módulo OPM	Longitud de Onda	850 nm/ 1300 nm/ 1310 nm/ 1490 nm/ 1550 nm/ 1625 nm/ 1650 nm
	Modulación	CW/ 270 Hz/ 1 kHz/ 2 kHz
	Unidades	dB/ dBm/ W
Módulo VLS	Longitud de onda	650 nm
	Modulación	CW/ 2 Hz

Optical Line Terminal

La UFiber OLT es un equipo de alto desempeño que opera bajo el estándar GPON, posee ocho puertos que pueden soportar hasta 128 usuarios cada uno, dando un total de 1024 clientes, además cuenta con dos puertos SFP+ que proporcionan hasta 10 Gbps de conectividad ascendente, la Tabla 7 indica las especificaciones técnicas. Figura 5.

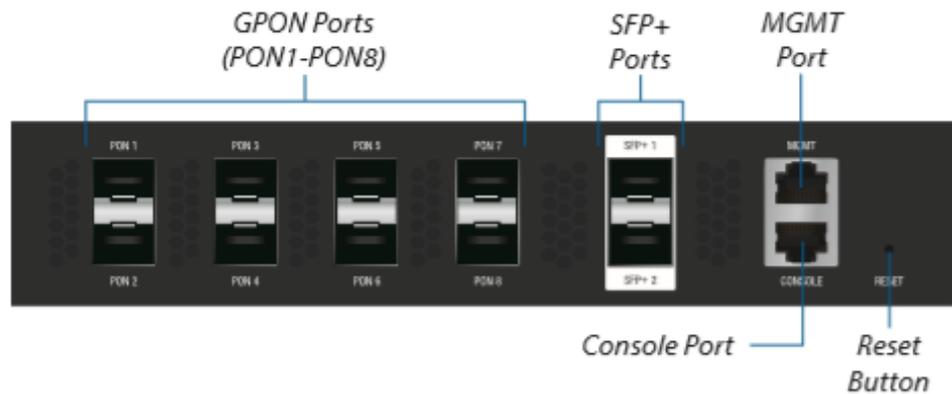


Figura 6 UFiber OLT

Tabla 7 Especificaciones de la UFiber OLT

Interfaz	Descripción	
Puertos GPON	Tipo SFP	UF-GP-8B+
	Conector	SC/UPC
	Longitud de onda de operación	<ul style="list-style-type: none"> Tx: 1490 nm Rx: 1310 nm
	Potencia de salida	1.5 dBm a 5 dBm
	Sensibilidad	-8 dBm a -28 dBm
	Velocidad	<ul style="list-style-type: none"> Downstream: 2.488 Gbps Upstream : 1.244 Gbps
Puertos SFP+	Transceptor SFP+	Soporta conexiones de 1 Gbps o 10 Gbps
	Conector	LC/UPC
Puerto MGMT	Cable RJ45, utilizado para la configuración de la OLT.	
Puerto de Consola	Cable RJ45 a DB9, utilizado para la interfaz de línea de comandos (CLI) cuando se pierda la OLT.	
Botón de Reinicio	<p>Existen dos formas de reiniciar la OLT a las configuraciones de fabrica:</p> <ul style="list-style-type: none"> Runtime reset: mantener presionado el botón <i>Reset</i> alrededor de 10 segundos hasta que el LED MGMT parpadee e ilumine de forma continua, después de unos segundos, el LED se apagará y la UFiber OLT se reiniciaría automáticamente. Power-on reset: desconectar la OLT, presionar el botón <i>Reset</i> y volver a conectar hasta que el LED MGMT comience a parpadear y se apague. 	

Optical Network Unit

La Ufiber ONU Nano G es un equipo de alto rendimiento que posee una pantalla LED que brinda información del estado de la conexión (velocidad, potencia, dirección IP), dispone de un puerto WAN GPON y un puerto GE RJ45 tipo PoE (Power Over Ethernet) para la alimentación y transmisión de datos hacia la red interna, la Tabla 8 muestra las especificaciones técnicas del equipo.

Tabla 8 Especificaciones de la Ufiber ONU Nano G	
Interfaces	GPON WAN (SC/APC) <ul style="list-style-type: none"> Downstream: 2.488 Gbps Upstream: 1.244 Gbps
	GbE LAN (RJ45) <ul style="list-style-type: none"> 10/ 100/ 1000 Mbps

	Reset (presionar y soltar), restaura el dispositivo a la configuración predeterminada de fábrica.
Potencia de salida	Clase B+: 1.5 dBm a 5dBm
Sensibilidad	-8 dBm a -28 dBm
Alimentación	Tipo PoE: 24 V

Para encender el equipo siga los siguientes pasos: (Figura 7)

4. Conectar el cable ethernet desde el Nano G hasta el puerto Gigabit PoE del adaptador.
5. Conectar un cable ethernet de la LAN al puerto LAN en el adaptador Gigabit PoE.
6. Conectar el cable de alimentación al adaptador Gigabit PoE.



Figura 7 Alimentación PoE de la ONU Nano G

Generador de Trafico

El xGenius es una plataforma diseñada para el análisis de redes y servicios basadas en infraestructuras Ethernet/IP, entre otras; posee varias interfaces (ópticas y eléctricas) de conexión que facilitan la prueba de varios dispositivos o sistemas, además tiene una interfaz gráfica de usuario la cual tiene varios menús en los que se configuran el equipo y se analiza los resultados de las pruebas realizadas (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 9).

Tabla 9 Descripción de los menús del xGenius	
Menú	Descripción
TEST	Esta ventana contiene diferentes ítems de configuración relacionados con el modo de prueba, tipo de prueba, ping, traza de ruta, inserción de eventos y modo de inicio y paro.
SETUP	En esta ventana se configuran diferentes parámetros de los puertos del equipo relacionados con el modo de operación, capa física, capa de enlace, capa de red, velocidad de transmisión y carga útil.
RESULTS	En esta ventana se despliegan los resultados de la prueba realizada relacionados con las tramas enviadas y recibidas, tipo de prueba, ping, información del SFP/SFP+, etc.

El xGenius se puede conectar al dispositivo o sistema bajo prueba (DUT/ SUT) a través del panel de conectores, la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** indica y la Tabla 10 describe las interfaces de conexión que posee el equipo.

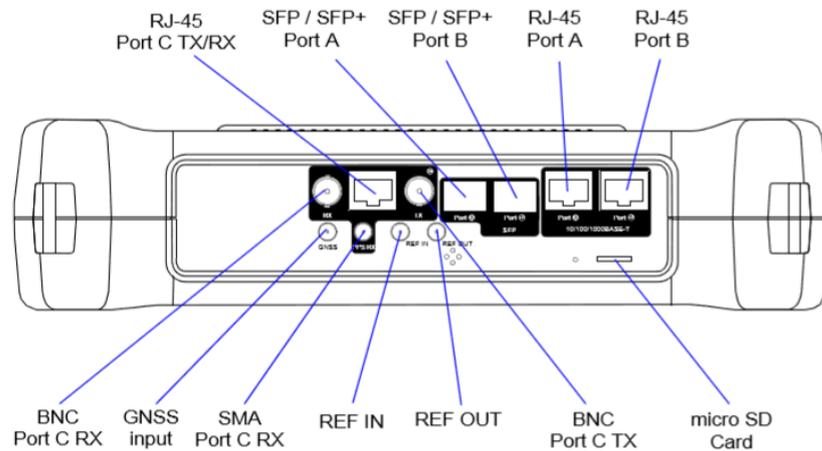


Figura 10 Interfaces de conexión del xGenius

Tabla 10 Interfaces del xGenius	
Interfaz	Descripción
Puertos A/B SFP/ SFP+	Se usan para conectar el equipo a la red a través de una interfaz óptica. Soporta velocidades de transmisión y recepción de hasta 10 Gbps. El puerto A y B son similares, a excepción de que el puerto B no posee las capacidades de transmisión del puerto A.
Puertos A/B RJ45	Se usan para conectar el equipo a la red a través de una interfaz eléctrica. Soporta velocidades de transmisión y recepción de 10/100/1000 BASE-T. El puerto A y B son similares, a excepción de que el puerto B no posee las capacidades de transmisión del puerto A.
Puerto C RJ45 Tx/Rx	Tiene una resistencia de entrada/salida 120 Ω balanceada; usado para analizar señales de reloj (1544 kHz, 2048 kHz, 10 MHz, 1 PPS) y generar y analizar señales TDM (E1 y T1)
Puerto C BNC Tx	Tiene una resistencia de salida 75 Ω no balanceada; usado para generar señales TDM (E1 y T1) o como salida de reloj.
Puerto C BNC Rx	Tiene una resistencia de entrada 75 Ω no balanceada; usado para analizar TDM (E1 y T1) o como puerto de entrada de referencia de reloj.
GNSS	Es un conector SMA usado para conectar a una antena GNSS, funciona como sincronización para la unidad de prueba.
Puerto C SMA Rx	Este puerto se utiliza para el análisis de señales 1 PPS 50 Ω no balanceadas.

REF IN	Puede usarse como una entrada de referencia de reloj de 1 PPS utilizada en algunas pruebas de latencia y sincronización.
REF OUT	Salida 1 PPS de referencia; puede usarse como salida de referencia de reloj 1 PPS. La salida esta sincronizada con el oscilador local.

Atormentador de Trafico

Albedo Net.Storm es un comprobador portátil con la capacidad de emular diferentes degradaciones que se encuentran en las redes Ethernet e IP, una de sus aplicaciones es la de determinar si una aplicación o dispositivo de red es apropiado en operar en dichas redes.



Figura 11 Equipo Net.Storm

El equipo Net.Storm se puede conectar al dispositivo o sistema a través del panel de conectores, la Figura 12 indica y la Tabla 11 describe las interfaces de conexión que posee el equipo.

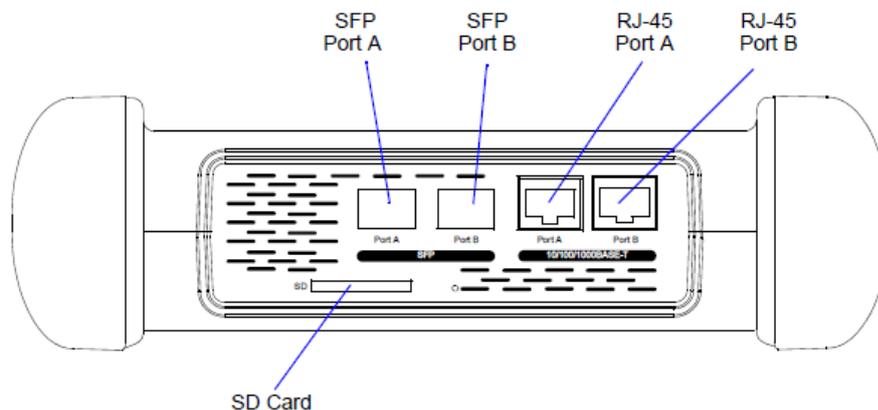


Figura 12 Interfaces de conexión del equipo Net.Storm

Tabla 11 Interfaces del Net. Storm	
Interfaz	Descripción
RJ-45 Puerto A	Primer puerto con 10/100/1000 BASE-T con todas las funciones para la transmisión y recepción de Ethernet.
RJ-45 Puerto B	Segundo puerto con 10/100/1000 BASE-T con todas las funciones para la transmisión y recepción de Ethernet.
Puerto SFP A	Primer puerto utilizado para conectar el comprobador a la red a través de una interfaz óptica con la ayuda del módulo SFP.
Puerto SFP B	Segundo puerto utilizado para conectar el comprobador a la red a través de una interfaz óptica con la ayuda del módulo SFP.
Tarjeta SD	Slot utilizado como dispositivo de almacenamiento externo.

Capturador de Trafico

Es un equipo que posee 2 puertos SFP de 1 Gbps y 2 puertos RJ-45 de 1 Gbps, los puertos SFP tiene las líneas de interfaces A y B, los puertos RJ-45 puede ser usado como interfaces espejo y pueden analizarse con otros equipos. El Net.Hunter tiene la función de capturar el tráfico con propiedades específicas que elija el usuario. Figura 13.



Figura 13 Equipo Net.Hunter

El tráfico se reenvía entre los puertos A y B sin modificaciones o retraso, el tráfico filtrado se reenvía hacia los puertos espejo o un dispositivo de almacenamiento. Puede configurarse para agregar tráfico desde las direcciones de transmisión hacia adelante y hacia atrás y presentarlas como una sola secuencia. Tabla 12.

Tabla 12 Modo de Operacion Net. Hunter	
Modo de Operación	Descripción
Mirror	El tráfico coincidente desde el puerto de línea A se reenvía al puerto duplicado A y el tráfico coincidente desde el puerto de línea B se reenvía al puerto duplicado B.

	Mirror & aggregate	El tráfico coincidente de los puertos de línea A y B se reenvía al puerto duplicado B.	
	Store	El tráfico correspondiente de los puertos de línea A y B se reenvía a la tarjeta SD.	
CONCLUSIONS:			
<ul style="list-style-type: none"> • 			
RECOMMENDATIONS:			
<ul style="list-style-type: none"> • 			
REFERENCES:			
[1]			

