

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: INGENIERO
ELECTRÓNICO**

**TEMA:
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRÁFICO ÓPTICO
A 10GBPS PARA LA EMPRESA COMPLEMENTOS ELECTRÓNICOS S.A.**

**AUTORES:
JORGE LUIS CALVACHE ESPÍN**

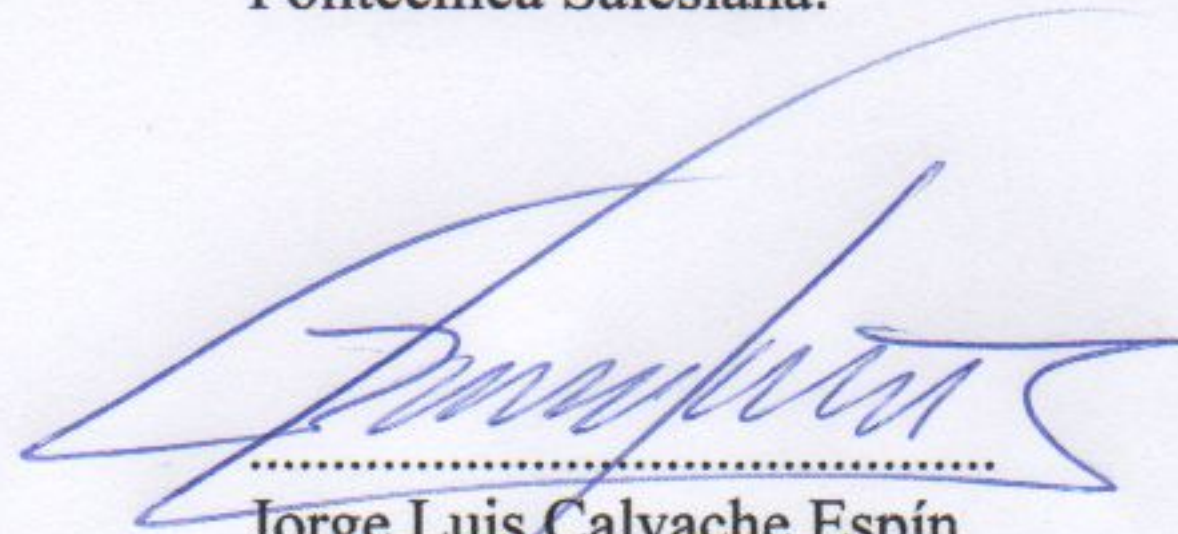
**TUTOR:
JOSÉ LUIS AGUAYO MORALES**

Quito, marzo de 2016

Cesión de derechos de autor

Yo Jorge Luis Calvache Espín, con documento de identificación N° 1720437019, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRÁFICO ÓPTICO A 10GBPS PARA LA EMPRESA COMPLEMENTOS ELECTRÓNICOS S.A., 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 mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

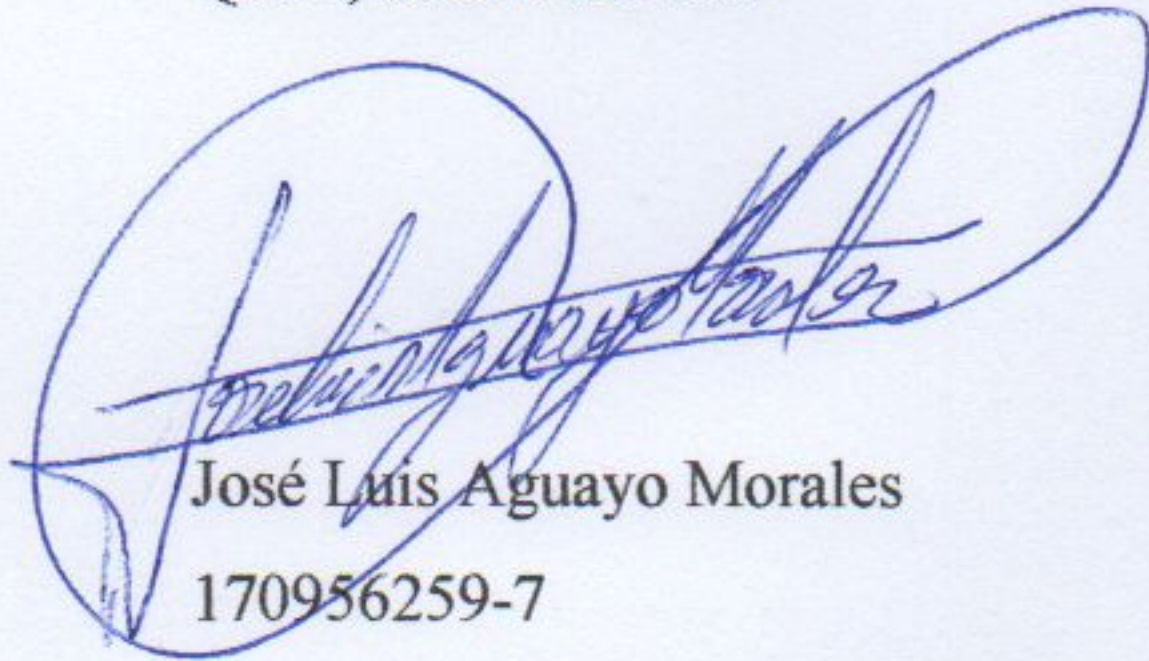


Jorge Luis Calvache Espín
172043701-9
marzo de 2016

Declaratoria de coautoría del docente tutor

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRÁFICO ÓPTICO A 10GBPS PARA LA EMPRESA COMPLEMENTOS ELECTRÓNICOS S.A. realizado por Jorge Luis Calvache Espín, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, marzo de 2016



José Luis Aguayo Morales
170956259-7

DEDICATORIA

A mis padres, con su ejemplo, su dedicación, su experiencia, sus valores, sus principios, han hecho de mí un hombre de bien.

AGRADECIMIENTO

A las personas que se involucraron directa e indirectamente en la realización de este trabajo de titulación.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1.....	2
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	2
1.1 Sistemas de comunicación óptica.....	2
1.1.1 Redes de acceso óptico	2
1.1.2 FTTx (Fiber to the X)	3
1.2 Redes ópticas pasivas.....	4
1.2.1 Funcionamiento de las redes ópticas pasivas.....	5
1.2.2 Estudio del estándar 10G EPON.....	7
1.2.3 Capa Física 10G EPON.....	7
1.2.4 Formatos de señal.....	9
CAPÍTULO 2.....	11
ESTÁNDAR DE TECNOLOGÍA EN BASE AL EQUIPO ALBEDO ETHER10.GENIUS	11
2.1 Estudio Ethernet RFC-2544	11
2.1.1 Tráfico utilizado en la prueba.....	11
2.1.2 Duración de la prueba.....	12
2.1.3 Configuración de la prueba.....	12
2.2 Estudio de eSAM.....	13
2.2.1 Activación de servicio.....	13
CAPÍTULO 3.....	15
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRÁFICO ÓPTICO.....	15
3.1 Criterios generales para el diseño y la construcción del simulador PON.....	15

3.1.1 Bobinas de simulación.	15
3.1.2 Splitters.	16
3.1.3 Diseño e implementación.	17
3.2. Pruebas de reflectometría con el OTDR (Optical Time Domain Reflectometer).17	
3.2.1 Resultados de la medición.....	19
3.2.1.1 Prueba de la distancia de la bobina inicial o feeder para verificar su longitud de 4000 metros.....	19
3.2.1.2 Prueba de la bobina interna que compone el sistema, más splitter 1X8 más bobina de 500 m, más splitter de 1X2 y más bobina de 500 m.....	21
3.2.1.3 Prueba de la bobina interna que compone el sistema, más splitter 1X8 más bobina de 500 m, más splitter de 1X2 y más bobina de 1000 m.....	23
3.3 Configuración inicial del equipo.	26
3.3.1 Creación de reportes.....	26
3.3.2 Reseteo de fábrica del equipo	26
3.3.3 Configuración de la prueba RFC 2544.....	27
3.3.4 Prueba RFC 2544	31
CAPÍTULO 4.	36
PRUEBAS Y RESULTADOS	36
4.1 Resultados prácticos de la prueba RFC 2544.....	36
4.2.1 Cálculo del número de paquetes que puede transmitir el sistema.....	36
4.2.2 Resultados prácticos de la prueba RFC 2544 Minimum throughput 50% 37	
4.2.3 Resultados prácticos de la prueba RFC 2544 Throughput 100 % y con degradación de IPv4 checksum.....	42
4.2.4 Resultados de las mediciones de degradaciones sobre tráfico óptico dentro del sistema con un evento tipo de inserción de tramas menores a las permitidas.45	

4.2.5 Escenario de degradación con la distancia y las atenuaciones que se pueden presentar por empalmes mecánicos, de fusión, o por micro curvaturas.	49
4.2.6 Análisis de los tipos de tráfico Ethernet óptico que soporta el sistema.	50
4.2.7 Determinación de los tipos de degradación sobre el tráfico Ethernet óptico dentro del sistema.....	51
4.2.8 Medición y análisis de los efectos de degradación que se pueden generar con el equipo en el sistema de tráfico óptico.	51
CONCLUSIONES	52
RECOMENDACIONES	54
REFERENCIAS	55
ANEXOS.....	57

ANEXOS

Anexo 1. Glosario	57
Anexo 2. Hojas técnicas de los equipos.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama genérico de una red PON	4
Figura 2. Ubicación en el espectro 10G-EPON.	8
Figura 3. 10 Gbit/s patrón de ráfaga de transmisión para canal ascendente.	9
Figura 4. (a) Modelo Ethernet basado en un servicio por puerto. (b)Modelo Ethernet basado en la multiplexación de servicio delimitados por marcadores como VLAN tag.....	14
Figura 5. Diagrama de la disposición de los elementos pasivos en el STO-1.	15
Figura 6. Armado de splitter y bobina de alimentación interna en los paneles de aluminio.....	17
Figura 7. Diseño elaborado en Illustrator, implementación finalizada.	17
Figura 8. Conector sucio	18
Figura 9. Conector limpio.	18
Figura 10. Limpieza en los puertos hembras del STO-1.....	18
Figura 11. Limpieza en los patchcord de conexión.....	18
Figura 12. Conexión para medir la bobina de alimentación (feeder) con el OTDR YOKOGAWA AQ7280.....	19
Figura 13. Ventana de prueba OTDR YOKOGAWA AQ72801310 nm.....	19
Figura 14. Ventana de prueba OTDR YOKOGAWA AQ7280 1490 nm.....	20
Figura 15. Ventana de prueba OTDR YOKOGAWA AQ72801550 nm.....	21
Figura 16. Segunda configuración para medición con OTDR YOKOGAWA AQ7280.....	21
Figura 17. Ventana de prueba N°2 OTDR YOKOGAWA AQ7280 1310 nm.....	22
Figura 18. Ventana de prueba N°2 OTDR YOKOGAWA AQ7280 1490 nm.....	22

Figura 19. Ventana de prueba N°2 OTDR YOKOGAWA AQ7280 1550 nm.	23
Figura 20. Tercera configuración para medición con el OTDR YOKOGAWA AQ7280.	23
Figura 21. Ventana de prueba N°3 OTDR YOKOGAWA AQ7280 1310 nm.	24
Figura 22. Ventana de prueba N°3 OTDR YOKOGAWA AQ7280 1490 nm.	25
Figura 23. Ventana de prueba N°3 OTDR YOKOGAWA AQ72801550 nm.	25
Figura 24. Pantalla inicial Albedo Telecom Ether.10Genius.	26
Figura 25. Configuración de reportes en Report Files.	26
Figura 26. Configuración de reportes en Generate reports.	26
Figura 27. Reseteo de fábrica.	27
Figura 28. Submenu del reseteo de fábrica.	27
Figura 29. Loop de prueba para medir el sistema de tráfico óptico.	27
Figura 30. Configuración RFC 2544,	28
Figura 31. Selección de modo de configuración.	28
Figura 32. Selección del método de transmisión.	28
Figura 33. Selección de la prueba y sus opciones de prueba.	29
Figura 34. Dirección de destino y de origen para cada puerto (A y B).	29
Figura 35. Direcciones IP para los puertos A y B.	30
Figura 36. Activación de LASER en el SFP.	30
Figura 37. Activación de LASER en el SFP en submenu.	30
Figura 38. Configuración Bobina 4km, 1X2 + 1X8, prueba de throughput.	32
Figura 39. Configuración Bobina 4km, 1X2 + 1X8, prueba de latencia.	33
Figura 40. Configuración Bobina 4km, 1X2 + 1X8, prueba de tramas perdidas.	34

Figura 41. Configuración Bobina 4km, 1X2 + 1X8, prueba back to back.	35
Figura 42. Configuración Bobina 4km, 1X2 + 1X8, prueba de recuperación de sistema.....	35
Figura 43. Configuración Bobina 4km, 1X2 + 1X8, montaje de pruebas.	36
Figura 44. Datos y resultados general de la prueba.	38
Figura 45. Resultados de la configuración inicial del equipo.	39
Figura 46. Prueba con un Minimum Throughput de 50%	40
Figura 47. Prueba Minimum Latency 50%	40
Figura 48. Prueba de pérdida de paquetes (fotogramas) al 50%.....	41
Figura 49. Prueba back to back 50%.....	41
Figura 50. Prueba de recuperación al 50%.....	42
Figura 51. Datos y resultado general de la prueba al 100%.....	42
Figura 52. Resultados de la configuración inicial del equipo, al 100%.....	43
Figura 53. Prueba Troughput al 100%	44
Figura 54. System recovery test con degradación de IPv4 checksum.	44
Figura 55. Gráfica del comportamiento de la degradación b/s.	47
Figura 56. Gráfica del comportamiento de la degradación fr/s.....	48
Figura 57. Gráfica del comportamiento de la degradación SLA 256 bytes.	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de resumen tecnologías FTTx	3
Tabla 2. Comparación entre Splitter FBT y PLC.....	7
Tabla 3. Resumen de EPON y 10G EPON. Protocolos y características.....	10
Tabla 4. Longitudes de la fibra óptica dentro de las bobinas de interconexión externa.....	16
Tabla 5. Tabla de resultados con degradaciones y cambios en la velocidad de transmisión.....	46
Tabla 6. Tabla de resultados con degradaciones y cambios en la velocidad de transmisión. SLA de 256 bytes.....	48

RESUMEN

La empresa Complementos Electrónicos S.A.¹ necesitaba de una herramienta para capacitar al personal en tecnologías basadas en redes ópticas a 10 Mbps, 100 Mbps, 1000 Mbps, 10 Gigabit Ethernet (GbE), y adicionalmente explique el funcionamiento de la red 10G EPON (Ethernet Pasive Optical Network), junto con sus elementos que la componen.

Se investigó y midió el funcionamiento del sistema de tráfico óptico con un equipo “Ether10.Genius ALBEDO Telecom²” en un entorno de simulación para determinar cuánto afecta al tráfico Ethernet óptico con dos diferentes tipos de degradaciones que se pueden generar con ese equipo. Estas degradaciones permitieron comprobar la capacidad que puede soportar el sistema óptico. Para comprobar la capacidad del canal los resultados determinaron en dos tipos de degradaciones que el primer evento insertado fue insertar tramas acortándolas al tamaño mínimo (64 bytes). La inserción de éste evento permite determinar la capacidad del canal para cada tamaño de trama, es decir, para una prueba de rendimiento (throughput) normal con una trama de 256 bytes la velocidad fue 9275,363328 Mb/s, al momento de insertar las tramas corruptas con un tamaño más pequeño la velocidad disminuye de acuerdo al porcentaje del error insertado, es decir, si se inserta un evento al 5 %, la velocidad disminuirá un 5 %. Cabe recalcar que el límite del throughput no debe sobrepasar el 90 % según la norma.

La segunda degradación es un IPv4 checksum, generando una incorrecta cabecera de la trama IP, la cual se ve reflejada en la generación de tráfico Ethernet óptico incorrecto, su inserción es en modo ráfaga de 50 tramas cada vez que se presione la tecla de evento, al momento de insertar el evento la prueba RFC 2544 falla debido a que el tiempo de recuperación llega a su máximo permitido que es 22 ms.

¹ <http://www.complementos-e.com/>

² <http://www.albedotelecom.com/pages/fieldtools/src/ether10genius.php>

ABSTRACT

Complementos Electronicos S.A.³ needed a training tool to train the staff in technologies based on optical networks at 10Mbps, 100 Mbps, 1000 Mbps, 10 Gigabit Ethernet (GbE), and besides it explain the operation of the 10G EPON (Ethernet Pasive Optical Network), along with the elements that compose it.

It was investigated and measured the performance of optical traffic system with "Ether10.Genius ALBEDO Telecom"⁴ equipment, in a simulation environment to determine how much affects the optical Ethernet traffic with two different types of degradations that can be generated with this equipment. These degradations verified the capacity of the system in a simulation's optical Ethernet traffic environment can handle.

The results determined in two types of degradation: the first event inserted was an undersized frame of the minimum size (64 bytes). The inclusion of this event determine the theoretical limit of the canal's capacity for each frame size, that is, a normal throughput with a frame of 256 bytes, the theoretical speed is 9275,363328 Mb /s, in the moment which the corrupt frames were inserted, with a smaller size, the speed decreases according to the percentage of the inserted error, that is, if it was inserted an event at 5%, the speed will decrease by 5 %. It should be noted that the throughput limit must not exceed 90 % of degradation according to standard.

The second degradation is an IPv4 checksum that generates an incorrect IP header, which is reflected in the corrupt optical Ethernet traffic generation, this event was inserted in burst mode 50 frames per press of the "event key", when the event was inserted to the RFC 2544 test, it fails because the recovery time reaches its maximum allowed time that is 22 ms.

³ <http://www.complementos-e.com/>

⁴ <http://www.albedotelecom.com/pages/fieldtools/src/ether10genius.php>

INTRODUCCIÓN

Complementos Electrónicos S.A., se constituye en Quito el 23 de enero de 1995 con el objetivo de brindar soluciones de instrumentación electrónica para medida, prueba e investigación en el Ecuador. Inició sus operaciones con la representación de Hewlett Packard Test & Measurement que fue complementada con un portafolio amplio de productos exclusivos, Yokogawa, Riverbed, ATDI, Aaronia AG, Gillam-Fei, Satimo, Ntest, FiberFox, Fujikura. En 1999, Hewlett Packard anunció la reestructura de su línea de producción, dejando a HP con el desarrollo de computadores, switches, router, laptops, printers, tablets, monitores, etc. A raíz de este cambio se fundó una nueva compañía denominada: Agilent Technologies, orientada de manera exclusiva a la fabricación y desarrollo de nuevos productos para instrumentación de prueba y medición, análisis químico y equipamiento médico. El 19 de septiembre del 2013, Agilent Technologies anunció sus planes para separarse en dos empresas: una en ciencias de la vida; y, otra en medición electrónica. Esta última, inicia sus operaciones con el nombre de Keysight Technologies, a partir del 01 de agosto de 2014, cuyo objetivo es brindar la mejor solución para el monitoreo de redes y sistemas de telecomunicaciones de sus clientes. Finalmente, en 2013 Complementos Electrónicos S.A. adquirió la representación exclusiva de ALBEDO Telecom⁵ quien ofrece equipos que combinan portabilidad y versatilidad para aplicaciones de prueba en redes de infocomunicaciones como lo indica en la segunda edición (Usbeck, Mayo 2010).

⁵ <http://www.albedotelecom.com/>

CAPÍTULO 1.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En este capítulo se tratarán los temas principales para comprender un sistema de tráfico óptico basado en la arquitectura de FTTx (Fiber To The X), incluyendo las redes de acceso óptico, redes ópticas pasivas, los elementos que componen, su clasificación de una manera general, además se hará hincapié en el estándar 10G EPON que es el estándar de estudio para éste proyecto.

1.1 Sistemas de comunicación óptica.

Un sistema de comunicación está compuesto por tres elementos: el transmisor, el canal y el receptor. (Bates, 2012).

Para Diego, un transmisor óptico toma la secuencia de bits que en un inicio está como señal eléctrica y la transforma en una secuencia de bits ópticos con un formato determinado. Un receptor es aquel que recibe estos bits ópticos y los transforma a eléctricos. (Grosz, 2014)

El canal es el medio de transmisión físico por donde viajan los datos, en este caso la fibra óptica óptica, que permite el paso de los bits ópticos hacia el receptor.

Según Juan Velasco, aproximadamente el 93 por ciento del tráfico a larga distancia se realiza a través de fibra óptica. (Velasco, 2013)

1.1.1 Redes de acceso óptico

Para cubrir con la demanda de los servicio de telecomunicación se han empleado e investigado varias maneras para entregar de forma masiva servicios de voz, datos, video (redes convergentes) y además proporcionar los niveles de calidad adecuados para cada aplicación en la segunda edición del libro de Carlos Usbeck (Usbeck, Mayo 2010).

El sistema de transmisión físico con mejores prestaciones existentes al día de hoy en el mercado, capaz de superar las limitaciones de ancho de banda, distancia de transmisión e interferencias entre canales, es la fibra óptica óptica. Este tipo de soporte físico, sustituye la transmisión

de señales a través de impulsos electromagnéticos por impulsos luminosos. (Galeano Corchero, 2009, pág. 14)

Existen según dos arquitecturas de acceso óptico:

Redes Ópticas Activas

- AON (Active Optical Network), que requieren de elementos activos en el canal, provee de un ancho de banda independiente para cada abonado, pues los sistemas activos son los encargados de la distribución de la señal con fibra óptica óptica dedica para cada usuario.

Redes Ópticas Pasivas

- PON (Passive Optical Network), que permite varios servicios al multiplexar el ancho de banda equitativamente a cada usuario y no usa dispositivos electrónicos activos en el canal.

1.1.2 FTTx (Fiber to the X)

Según Jesús Galeano en las telecomunicaciones existen las llamadas redes FTTx, por sus siglas en inglés (Fiber To The x), donde “x” comprende un conjunto de varias tecnologías con la capacidad de transportar una gran cantidad de datos a velocidades elevadas hasta el suscriptor. (Galeano Corchero, 2009)

Dependiendo de la longitud de la fibra óptica usuario final o suscriptor, se tendrían las siguientes tecnologías, resumidas en la siguiente tabla:

Tabla 1. Tabla de resumen tecnologías FTTx

Denominación	Alcance	Distancia métrica
FTTN	Fiber To The Node(fibra hasta el nodo)	Fibra Optica desde la central hasta una distancia del edificio entre 1.5 – 3 km.
FTTC	Fiber To The Curb(fibra hasta la acera)	Fibra Optica desde la central hasta una distancia del edificio entre 300-600 m.
FTTB	Fiber To The Building or Bussiness(fibra hasta el edificio o negocio)	Fibra Optica desde la central hasta el Cuarto de Telecomunicaciones del edificio, sin incluir tendido hasta el hogar.
FTTH	Fiber To The Home(fibra hasta el hogar)	Fibra Optica desde la central hasta el PTR de los hogares.

Nota: Tomado de Diseño e instalación de una red FTTH (Galeano Corchero, 2009)

1.2 Redes ópticas pasivas.

De acuerdo con Regis Bates, “las Redes Ópticas Pasivas están basadas en el sistema tradicional de configuración de CATV (Community Antenna Television)”, en otras palabras se ofertan servicios de gran capacidad de ancho de banda para una infraestructura punto-multipunto. (Bates, 2012)

Además dice Bastes que las redes PON es un sistema de comunicación punto-multipunto y sustituyen el cable coaxial por fibra óptica monomodo y los derivadores de señal (taps) por divisores ópticos (conocidos como splitters). La mayor ventaja que posee esta red es que solo se dispone de sistemas o equipos activos al final de cada punto de la red, es decir, en el emisor y en el receptor, lo que se refleja en el costo de operación y despliegues de la red troncal, frente a un sistema de cobre como es el de televisión por cable pues esta red está compuesta de elementos activos como atenuadores, amplificadores, ecualizadores o simuladores, a lo largo del canal que representan un gasto del 60% más que en una red FTTH. (Bates, 2012)

Básicamente una red PON está formada por los siguientes equipos: En la central una OLT (Optical Line Terminal) y a nivel de usuario final la ONT (Optical Network Terminal), permite una distancia máxima de operación de 20 Km entre estos terminales.

El divisor óptico pasivo (splitter) es considerado el elemento esencial de la red PON, pues es el encargado de guiar las señales generadas por el proveedor desde la OLT hacia la ONT del usuario como lo indica Regis Bates. (Bates, 2012)

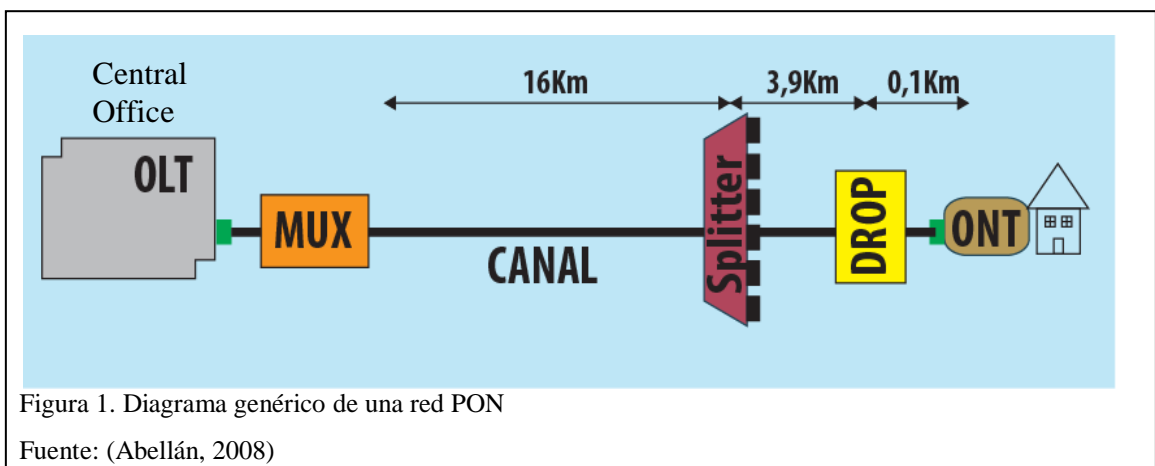


Figura 1. Diagrama genérico de una red PON

Fuente: (Abellán, 2008)

1.2.1 Funcionamiento de las redes ópticas pasivas.

La característica primordial de una red PON es la ausencia de elementos activos en el canal, además su principal foco de atención es el uso del splitter óptico o divisor de señal óptica pues es el responsable de dirigir la señal proveniente del proveedor de servicio hacia el abonado.

Los elementos del sistema son:

- *OLT (Optical Line Terminal)*

“Se trata de un dispositivo pasivo situado en el nodo de distribución que sirve como punto final del proveedor de servicios”. (Marchukov, 2011, pág. 4)

El OLT se divide en tres etapas, según Yaroslav Marchukov (Marchukov, 2011):

- P-OLT es el que almacena la información y la divide de acuerdo al servicio (voz-datos), además es el encargado del multiplexado de los canales de subida como el de bajada, a través del canal que es la fibra óptica. Para este tipo de difusión a través de canal descendente se hace mediante el protocolo TDM o multiplexación por división de tiempo (Time Division Multiplexing). Para ello, utiliza la longitud de onda de 1490 nm, y para el canal ascendente se utiliza la ventana de 1310 nm (Marchukov, 2011)
- V-OLT es la etapa de transmisión de video bajo demanda y utiliza la ventana de 1550 nm para su difusión. (Marchukov, 2011)
- M-OLT es la encargada de multiplexar las señales provenientes del P-OLT y V-OLT utilizando técnicas de WDM (Multiplexación por división de longitud de onda). (Marchukov, 2011)
- *ONT (Optical Network Terminal)*

Recibe la información suministrada por el OLT, además otorga la información del cliente de la red y la envía en ascendentemente hacia la oficina central. (Galeano Corchero, 2009)

- Splitter o divisor óptico pasivo

Elemento pasivo, que puede estar ubicado en cualquier lugar dentro de todo el trayecto del canal o tramo donde se extiende la red. Su principal función es separar y combinar las señales de luz procedentes de ambos extremos. Es elemento más importante de todo el sistema de la red debido a su bajo costo que oscila entre los 50 y 150 dólares dependiendo de la cantidad de divisiones que posea. Hay dos tipos de modelos existentes en el mercado: FBT y PLC. A continuación se realiza un análisis comparativo entre ambos para determinar cuál es la mejor opción para realizar el proyecto

Según María del Carmen España , las redes ópticas requieren que la señal que se está dividiendo en alguna parte del diseño debe servir para múltiples clientes. El splitter PLC (Planar Lightwave Circuit) ha mostrado ser un tipo de splitter superior, confiable en comparación con el tradicional splitter FBT (Fused Biconical Taper), si bien son similares en tamaño, apariencia externa y ambos proporcionan acceso a datos y video. (España., 2005)

Los splitters FBT sólo admiten tres longitudes de onda (850/1310/1550 nm). Además, la señal procesada por divisores FBT no puede ser dividida uniformemente debido a la falta de gestión de las señales. Esto se resume en la Tabla 2, dónde se comparan las longitudes de ondas válidas para este tipo de splitter. Estos divisores no son útiles para este proyecto ya que se trabaja con otras longitudes de onda.

La tecnología de fabricación del splitter PLC es más compleja, por lo que su precio es mayor que los divisores FBT, sin embargo, hay una serie de ventajas que el dispositivo posee en comparación con los divisores FBT: puede dividir hasta 1:64, proporciona alta fiabilidad, la potencia se divide por igual, se fabrican en varias ventanas de operación dentro del rango de 1260 nm y 1650 nm por lo que se puede trabajar con una mayor gama de longitudes de onda.

Tabla 2. Comparación entre Splitter FBT y PLC.

	FBT SPLITTER	PLC SPLITTER
Longitudes de Onda	850 nm 1310 nm 1550 nm	1260 nm ~ 1650 nm
Número de entradas	1 ó 2	1 ó 2
Relación de División	Personalizable	Igual para todas las marcas
Máx Nº de splitters	1:32	1:64
Otros	Alta tasa de fallas Menor precio	Baja tasa de fallas Alto Precio

Nota: Resumen de splitters FBT yPLC.

Fuente: (España., 2005)

1.2.2 Estudio del estándar 10G EPON.

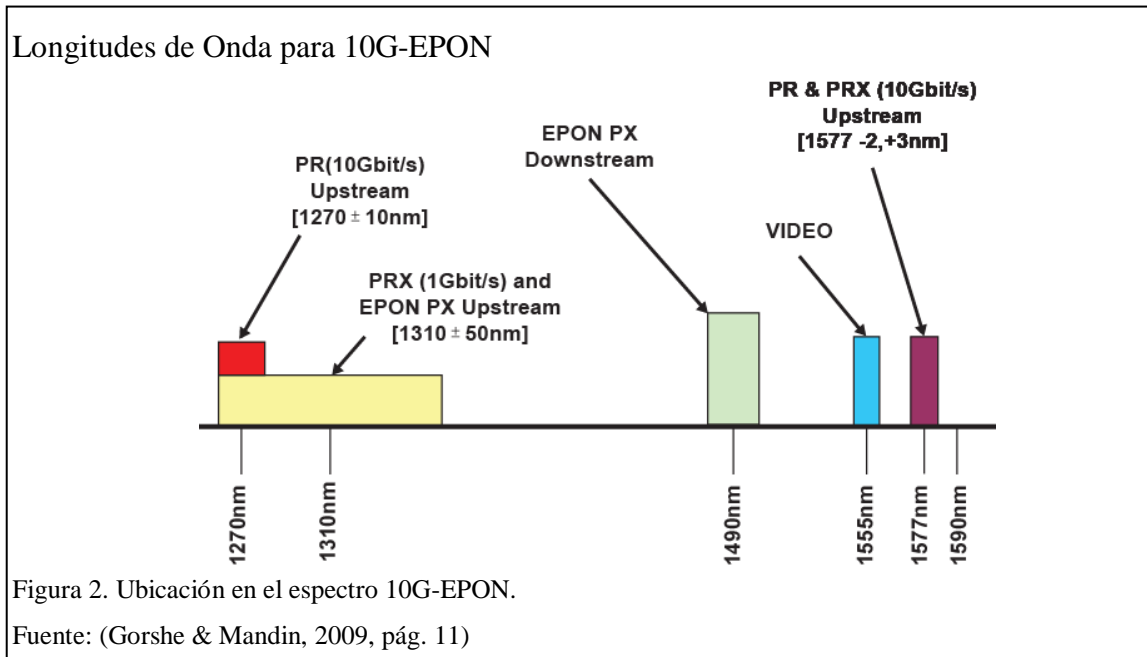
Según Steve Gorshe & Jeff Mandin, IEEE 802.3av 10 Gbits/s Ethernet-based PON, es un estándar diseñado para incrementar la velocidad de datos en sistemas EPON de 1 Gbit/s hacia 10 Gbits/s, y mantener así la capa de física. 10G EPON comparte muchos de los protocolos de acceso al medio con EPON. Es una combinación de CWDM (Coarse Wave Division Multiplexing) y TDM (Time Division Multiplexing) son usados para permitir que los sistemas EPON y 10G EPON puedan coexistir en la misma red PON. (Gorshe & Mandin, 2009)

1.2.3 Capa Física 10G EPON

De acuerdo con Albedo Telecom, la velocidad de datos en el canal de bajada es de 10 Gbit/s. Puede soportar también una tasa de transmisión en el canal de subida de 1 Gbit/s y 10 Gbit/s, lo que lo convierte en una tecnología de carácter simétrica en el caso de que la velocidad de la misma, ó asimétrica cuando se ocupen las velocidades de 10 Gbit/s en canal descendente y 1 Gbit/s para canal ascendente. (Telecom, 2016)

Los datos ascendentes y descendentes son transmitidos sobre una sola fibra óptica óptica PON, usando WDM (Wavelength Division Multiplexing) para separar las

señales del canal de subida y del canal de bajada. Las longitudes de onda usadas por diferentes señales se muestran en la figura 2.



La figura 2 muestra las ventanas de transmisión utilizadas en EPON y GPON donde se destaca que con la cabecera PR se alcanza 10 Gbps o caso contrario con PRX se transmite a 1 Gbps.

De acuerdo con Albedo Telecom, para el caso de operación de 1 Gbit/s en 10G-EPON se usa la ventana de 1310 nm igual que en EPON. Esto permite que el OLT use el mismo receptor óptico para todas las señales de 1 Gbit/s. (Telecom, 2016)

Una de las características principales de 10G EPON es que me permite operar sobre la misma fibra óptica PON que se está utilizando para EPON lo cual existen ventajas tales como permitir a los consumidores o en este caso los usuarios adquirir el sistema que más les convenga debido a la diversidad de servicios.

Permite a la red migrar de EPON hacia 10G EPON solo haciendo la mejora o modernizando el OLT y luego migrando la ONU según la necesidad del cliente.

Mantiene la operación en la red existente y los servicios mientras se hacen las mejoras.

1.2.4 Formatos de señal

Según la norma IEEE 802.3av, la señal de canal descendente es una simple señal de tramas de Ethernet y bits de control conocidos como carácter Idle comparados en una señal de 10 Gbit/s Ethernet con conexión punto a punto, son codificadas en bloques tipo FEC y consideran un formato de transmisión 64B/66B. En canal ascendente la señal usa el formato TDMA (Time Division Multiple Access), en donde el ancho de banda ascendente se comparte entre las unidades ONU sobre una base de división de tiempo con las ONU que están en transmisión. Cuando la OLT asigna el inicio de la transmisión y los bits de parada de cada ONU, debe dejar un tiempo de guarda adecuado para cada transmisión, para asegurar que sólo se está recibiendo la señal de una ONU a la vez. Así el tiempo de guarda minimiza la cantidad de bits de identificación para cada ONU. (Gorshe & Mandin, 2009)

Además del tiempo de guarda en transmisiones en canal ascendente de diferentes ONU debe ser tomado en cuenta también el tiempo necesario para el encendido y apagado del conmutador del láser en cada ONU, pues si las ONU no evitan emitir luz cuando ellas no están transmitiendo, se pueden producir emisiones espontáneas de ruido hacia la OLT que pueden interferir con los datos transmitidos.

El inicio de una ráfaga de datos en el canal de subida se muestra en la figura 3. La sincronización de patrones en el inicio de la transmisión permite a la OLT sincronizar su receptor y estar preparado para un nuevamente recibir datos desde la ONU. El patrón de ráfaga de delimitación es usado por la OLT para determinar el comienzo del bloque codificado en 66B y los bits de alineación codificados en FEC.

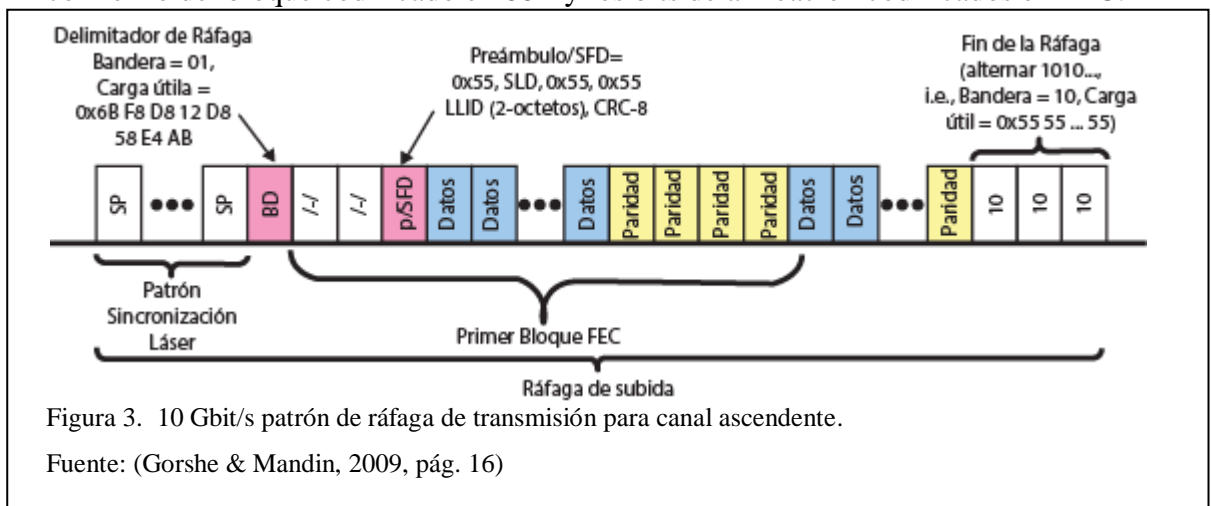


Figura 3. 10 Gbit/s patrón de ráfaga de transmisión para canal ascendente.

Fuente: (Gorshe & Mandin, 2009, pág. 16)

A continuación se muestra en la tabla 3 el resumen de comparaciones entre EPON y 10G EPON.

Tabla 3. Resumen de EPON y 10G EPON. Protocolos y características.

Característica	EPON	10G EPON	Comentario
Estándar	IEEE 802.3 (IEEE 802.3ah)	IEEE 802.3 (IEEE 802.3av)	
Tasa de transmisión	1Gbit/s Upstream & downstream	10Gbit/s Downstream y/o 1-10Gbit/s en upstream	
Capacidad del Splitter	1:64	1:64	En teoría fueron diseñados ambos estándares para 1:16, sin embargo soportan configuraciones de hasta 1:64
Código de línea	8B/10B	Down: 64B/66B UP: 8B/10B(1 Gbit/s) ó 64b/66B(10 Gbit/s)	8B/10B código de línea resulta en 1,25Gbit/s para una tasa MAC de 1Gbit/s mientras que 64b/66B código de línea resulta en 10,3125Gbit/s para una tasa MAC de 10 Gbit/s
Longitudes de Onda	1490nm abajo & 1310nm arriba	1577nm abajo & 1310nm arriba ó 1270nm arriba para (10Gbit/s)	Ambo s soportan 1550nm para video en upstream
Máxima distancia desde la OLT hacia la ONU	De 10 a 20 km (1:16 splitter)	10 km con 1:16 split 20 km con 1:16 split 20 km con 1:32 split	
Soporta TDM	CES	CES	
Soporta Voz	VoIP	VoIP	
Múltiples niveles de QoS	Si, (802.1Q niveles de prioridades)	Si, (802.1Q niveles de prioridades)	Todos los tipos de tráfico son manejados usando una sola LLID
FEC	RS(255, 239) orientado a tramas	RS(255, 223) orientado a flujo	
OAM	802.3ah Tramas Ethernet OAM	802.3ah Tramas Ethernet OAM	

Nota: La tecnología 10G EPON se basó en EPON

Fuente:(Galeano Corchero, 2009)

CAPÍTULO 2.

ESTÁNDAR DE TECNOLOGÍA EN BASE AL EQUIPO ALBEDO ETHER10.GENIUS

En este capítulo se detallarán dos estándares que posee el equipo Ether10.Genius para una mejor comprensión de las pruebas que se realizarán en el capítulo 3.

2.1 Estudio Ethernet RFC-2544

La RFC 2544 según Albedo Telecom, describe las pruebas de evaluación comparativa para los dispositivos de red. Estas pruebas sirven para medir y describir las características de rendimiento del sistema de tráfico óptico. La RFC (Request for Comments) describe seis pruebas fuera de servicio, lo que significa que el tráfico real debe ser detenido y el probador generará frames específicas para evaluar el rendimiento, latencia, tasa de pérdida de tramas, tolerancia, condiciones de sobrecarga de recuperación y de reinicio. (Telecom, 2016)

De acuerdo con Scott Bradner & Jim McQuaid, la norma RFC 2544 puede ser utilizada para probar las capas 2 y 3, del modelo OSI, de los dispositivos bajo prueba. (Bradner & McQuaid, 1999)

Para las pruebas de capa 3 además de los paquetes IP, deben configurarse también los parámetros como: la máscara, las vlan, las direcciones MAC de origen y destino, el tamaño de los frames y la velocidad de transmisión.

2.1.1 Tráfico utilizado en la prueba.

- **Patrón de Tráfico** – El tráfico en una red real no es constante, se produce en ráfagas. La RFC sugiere condiciones de tráfico constante, es decir, con ráfagas de tramas repetidas, separadas por la distancia mínima.

- **Direcciones del Protocolo** – Las redes reales no tienen un solo flujo de datos. La forma más sencilla es utilizar un único flujo de datos. La RFC sugiere repetir las pruebas con direcciones aleatorias de destinos.

Para routers: direcciones al azar, distribución uniforme sobre una gama de 256 redes.

Para bridges: distribuirse uniformemente sobre la gama completa de MAC.

- **Máxima tasa de tramas** - Cuando se prueba en una LAN, se debe usar la tasa máxima de tramas de tamaño promedio. En una WAN, se debe usar una tasa mayor que la teórica máxima de 10Gbit/s, para el tamaño promedio de la trama.
- **Tamaño de las tramas** – La RFC recomienda que las pruebas se hagan con un rango de tamaños de trama de: 64, 128, 256, 512, 1024, 1280 y 1518 bits.

2.1.2 Duración de la prueba.

De acuerdo con Scott Bradner & Jim McQuaid, estas pruebas están diseñadas para medir el desempeño de un dispositivo en operación continua en un laboratorio. (Bradner & McQuaid, 1999) .Según la RFC el tiempo para completar la prueba depende de una serie de interacciones internas del equipo, con una duración de cada ensayo de al menos 60 segundos; sin embargo el fabricante el equipo, Albedo Telecom, indica que las pruebas pueden tomar mínimo 18 horas en condiciones automáticas y predeterminadas, por lo que deben evitarse aplicarlas en una red en producción ya que se congestionará. (Telecom, 2016)

Si el tiempo es escaso, al seleccionar pocas pruebas que deban ejecutarse, disminuirá el número de repeticiones, reduciendo el tiempo total del ensayo.

2.1.3 Configuración de la prueba.

La RFC 2544, de acuerdo a Scott Bradner & Jim McQuaid, menciona que todos los protocolos soportados por el dispositivo deben estar habilitados para las pruebas, y el equipo se debe configurar de acuerdo a las instrucciones suministradas. Los únicos cambios permitidos son los requeridos para llevar a cabo las diferentes pruebas. (Bradner & McQuaid, 1999).

Para los informes de las pruebas, la RFC recomienda que, además de los resultados, se incluyan:

- Configuración del DUT (device under test - dispositivo bajo prueba): funciones usadas y deshabilitadas.
- Versión del software del DUT.
- Formato de las tramas.
- Configuración de los filtros.

2.2 Estudio de eSAM.

Los servicios convergentes como: voz, vídeo, televisión, etc., en redes Ethernet / IP requieren de un estudio de viabilidad que identifique las políticas de calidad de servicio (QoS), además de estar limitados por el ancho de banda y los cuellos de botella que podrían afectar su uso normal. La eficacia de los servicios depende de una combinación de múltiples factores que incluyen principalmente: la arquitectura de red, los medios de transmisión, y otros factores como: la gestión de recursos, la señalización de tráfico, y el control de congestión.

En algunos casos, de acuerdo con Albedo Telecom, el uso de una metodología de diseño de red y herramientas adecuadas, facilitan el análisis de la capacidad y la calidad de la red. Estos realmente determinan el éxito o el fracaso en la implementación de nuevos servicios. Es fundamental identificar las debilidades de las redes de telecomunicaciones ya que son claves para mejorar futuros servicios. (Telecom, 2016)

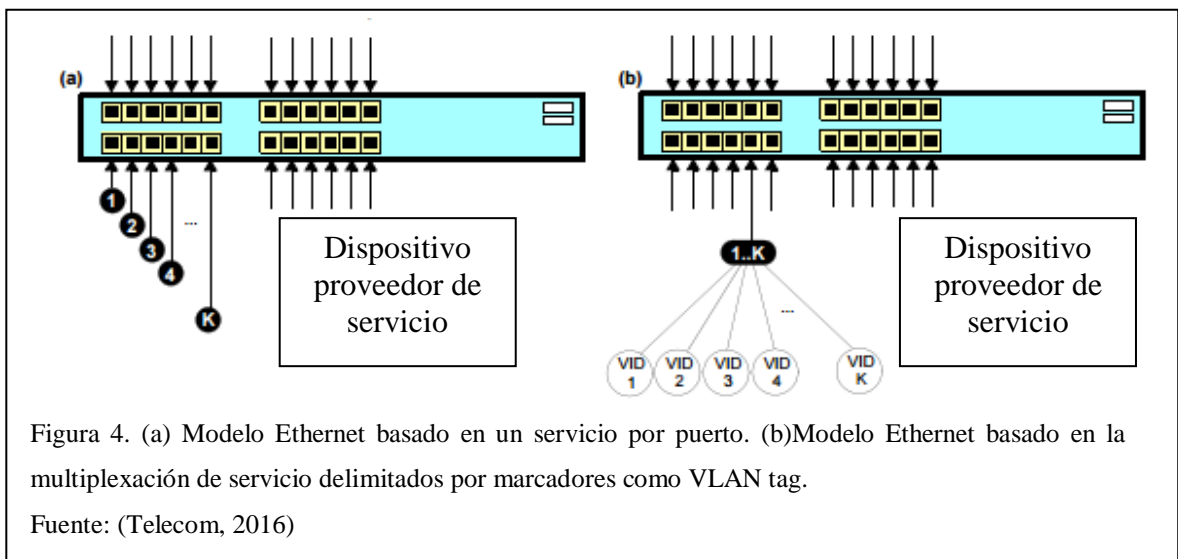
2.2.1 Activación de servicio.

La activación de servicios Ethernet eSAM (Ethernet Service Activation Methodology), se define en la Recomendación UIT-T 1564, y ha surgido como una alternativa de verificación a la RFC 2544. A diferencia de la RFC 2544, la prueba eSAM está diseñado para la activación del servicio Ethernet desde el principio. (Telecom, 2016)

Las ventajas de la eSAM sobre la RFC 2544 se resumen en los siguientes puntos:

1. Ejecución más rápida: Una prueba eSAM estándar se compone de una prueba de configuración corta y una prueba de rendimiento más larga. Si la prueba de configuración falla no es necesario ejecutar la prueba de rendimiento. El resultado es que los administradores de la red tienen tiempo para corregir cualquier problema de configuración antes de esperar a que la ejecución de la prueba de rendimiento se complete.

2. FDV (Frame Delay Variation) o la PDV (Packets Delay Variation), se obtiene como de la diferencia del retardo en la transmisión en un sentido (up o down), de extremo a extremo, de los paquetes seleccionados en un flujo sin ignorar ningún paquete perdido. Es muy sensible a la congestión y a otras degradaciones que afectan al rendimiento de la red de extremo a extremo y por lo tanto es un parámetro esencial a medir.



3. Compatible con entornos multiservicios: servicios Ethernet modernos pueden ser basados en puertos, pero la multiplexación de servicio en el mismo puerto por algunas técnicas de etiqueta delimitan un mayor número de servicios. La prueba eSAM ha sido diseñada para operar en ambientes con multiplexado de servicios.

CAPÍTULO 3.

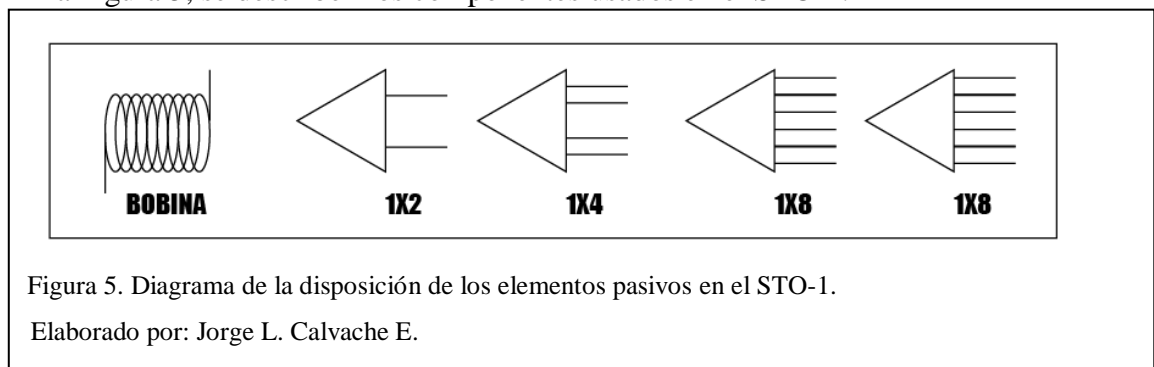
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRÁFICO ÓPTICO

En este capítulo se mostrarán los pasos necesarios para la implementación del sistema de tráfico óptico a 10 Gbps en la empresa Complementos Electrónicos S.A. y se lo conocerá como STO-1.

3.1 Criterios generales para el diseño y la construcción del simulador PON.

Para el diseño, primero se armó el STO-1 para establecer un canal de transmisión compuesta por cuatro splitters (1:2, 1:4; 1:8 y 1:8), los cuales funcionan independientemente y pueden conectarse a bobinas externas de diferentes longitudes, también contará internamente con una bobina de 4 km simulando un enlace de fibra óptica. El sistema se interconectará utilizando patchcords tipo SC/APC. (SC; es un conector que utiliza un mecanismo simple de interconexión push-pull, su pulido o tipo de férula APC-AnglePhysicalContact, permite reducir el espacio de aire que existe por conexión de conectores mecánicos, pues posee un corte en diagonal de 8 grados con la normal, lo cual permite que la luz reflejada no sea enviada de regreso hacia el emisor de luz, desviándola fuera del conector. Esta pérdida se la conoce como reflectancia óptica según Asis Rodríguez (Rodríguez, 2011)

En la Figura 5, se describen los componentes usados en el STO-1:



3.1.1 Bobinas de simulación.

Se consideró una bobina de cuatro kilómetros, interna en el STO-1, para el diseño del enlace; en donde se contemplaron pérdidas físicas del material como empalmes mecánicos y por fusión, con el objetivo de simular un enlace con pérdidas similares a la vida real.

Para tener varias longitudes del enlace, se usan 5 bobinas externas que se conectarán en el STO-1, desde la salida de un splitter hacia la entrada de otro, en cascada, cuidando no exceder la división de potencia de 1:64, que se propuso como límite en este proyecto. Las longitudes de las bobinas externas usadas constan en la tabla 5.

Tabla 4. Longitudes de la fibra óptica dentro de las bobinas de interconexión externa.

Bobina	Distancia en metros
1	100
2	200
3	500
4	1000
5	1000

Nota: la distancia de las bobinas puede ser variable.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

3.1.2 Splitters.

El splitter óptico ocupa un lugar importante en la arquitectura PON, pues es el encargado de dividir la señal en potencias iguales. Para el diseño se consideró utilizar splitters con el fin de monitorear y verificar el funcionamiento del STO-1, es decir se puede interconectar con patchcords o bobinas de distintas distancias para simular conexiones de splitters simples o compuestos. Por ejemplo:

- Splitter simple PON: 1x2, 1x4, 1x8, 1x16, 1x32,
- Splitter compuesto PON: 1x4 + 1x8, 1x4 + 1x16, 2 x 1x8.

STO-1 contempla cuatro splitter PLC equipotenciales, su principal ventaja frente a los FBT son su tamaño reducido, bajas pérdidas de inserción y el costo.

Además se adquirió conectores tipo barril con terminación SC/APC para la interconexión entre los splitter y el STO-1.

3.1.3 Diseño e implementación.

Luego se procedió al diseño del contenedor del sistema, donde se colocaron los splitters, la bobina y los conectores, usando paneles de aluminio, para formar el contenedor, y adicionalmente una plancha de aluminio para el recubrir los perfiles de aluminio.

En la figura 6 se presenta el armado de los splitter en la caja de aluminio. Se utilizó esponja para la sujeción de la bobina o feeder de 4 Km, y se subdivide ésta en pequeñas bobinas de 1 Km.

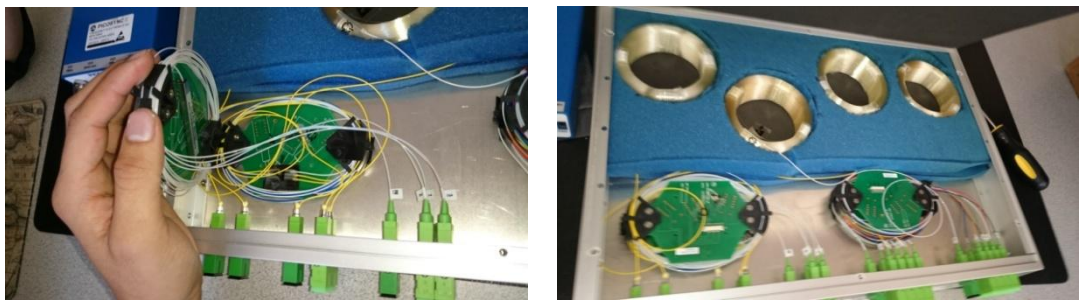


Figura 6. Armado de splitter y bobina de alimentación interna en los paneles de aluminio.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

En la figura 7 se presenta un diagrama con el diseño final del sistema.



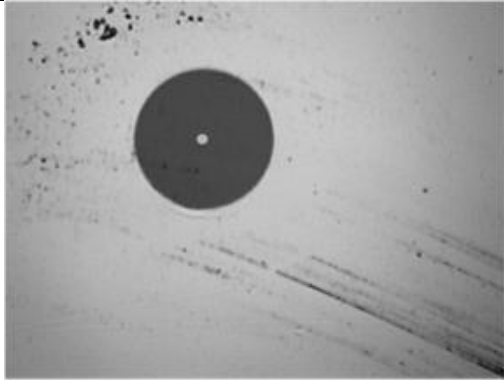
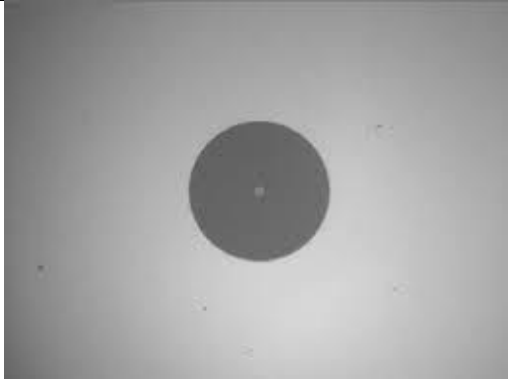
Figura 7. Diseño elaborado en Ilustrador, implementación finalizada.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.


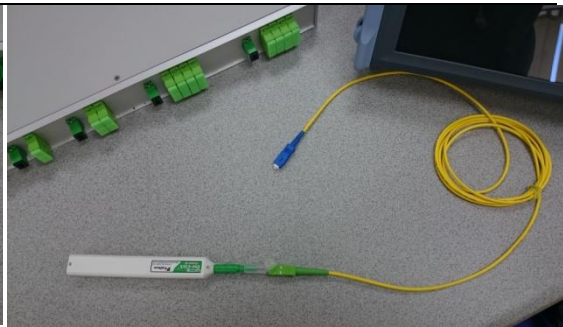
3.2. Pruebas de reflectometría con el OTDR (Optical Time Domain Reflectometer).

Antes de iniciar las pruebas físicas con el OTDR, se deben analizar el estado y la calidad del pulido del conector SC (APC) para ello se utilizará un microscopio

óptico “Lightel”⁶, el cual muestra una imagen de diagnóstico al inicio y luego la compara con la imagen que se obtiene después de la limpieza.

 <p>Figura 8. Conector sucio</p> <p>Presenta partículas de polvo en su férula, en una inspección el conector no pasaría la prueba de limpieza.</p> <p>Elaborado por: Jorge L. Calvache E.</p>	 <p>Figura 9. Conector limpio.</p> <p>En ésta imagen se muestra un conector nítido, el cual me asegura una buena transmisión evitando pérdidas de retorno.</p> <p>Elaborado por: Jorge L. Calvache E.</p>
--	---

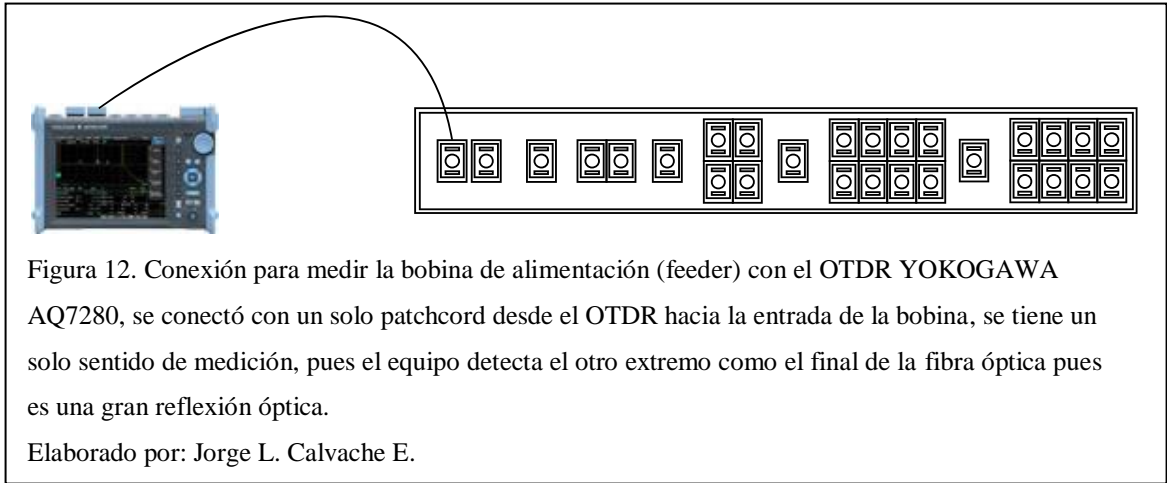
Se debe realizar la limpieza de los conectores antes de montarlos a la red, con el fin de no tener efectos de reflexión interna. Las figuras 9 y 10 muestran la limpieza de los conectores en el STO-1 y de los conectores en los patchcord.

 <p>Figura 10. Limpieza en los puertos hembras del STO-1.</p> <p>Mediante One click Fujikura⁷, se utiliza el clicker con la toda la tapa suelta para limpiar éste tipo de conectores, llámese primera posición.</p> <p>Elaborado por: Jorge L. Calvache E.</p>	 <p>Figura 11. Limpieza en los patchcord de conexión.</p> <p>Se realizó en la posición número dos de la tapa de clicker, en la que se destapa la primera etapa de ésta.</p> <p>Elaborado por: Jorge L. Calvache E.</p>
--	--

⁶ <http://lightel.com/product/110/di-1000-wifi>

⁷ <http://www.fujikura.co.uk/products/fibre-and-optical-devices/connectivity-and-cleaning/one-click-cleaners/>

Se utilizó el OTDR para verificar el comportamiento y el correcto desempeño del sistema, también para comprobar si existen fallas o rupturas en la fibra óptica. A continuación se realizó la prueba para medir la longitud de la fibra óptica de 4 km y sus eventos: el reflectivo y el no reflectivo.



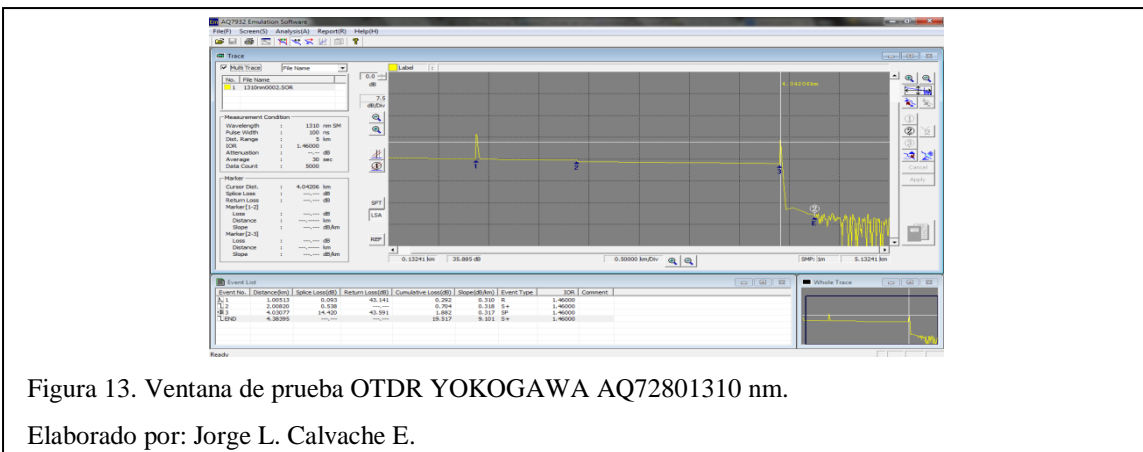
3.2.1 Resultados de la medición.

Se realizaron las mediciones con el OTDR YOKOGAWA AQ7280⁸, y las pruebas arrojaron los siguientes resultados en las ventanas de operación de una red PON.

3.2.1.1 Prueba de la distancia de la bobina inicial o feeder para verificar su longitud de 4000 metros.

- **1310 nm**

En la figura 12 se comprueba la distancia de 4 km para la ventana de 1310 nm, con una pérdida aproximada de 1,882 dB.



⁸ <http://tmi.yokogawa.com/products/optical-measuring-instruments/optical-time-domain-reflectometer/optical-time-domain-reflectometer-aq7280/>

Se nota en la figura 13, el evento reflectivo (empalme mecánico) identificado con el número 1 a 1 km, el evento no reflectivo (empalme por fusión) con el numeral 2 a los 2 km y con el número 3 el final de la fibra óptica. El evento identificado con E, se debe al ancho del pulso utilizado en la medición y no aporta información sobre la fibra óptica.

- **1490 nm**

En la figura 14 se comprueba la distancia de 4 km para la ventana de 1490 nm, con una pérdida aproximada de 1,882 dB.

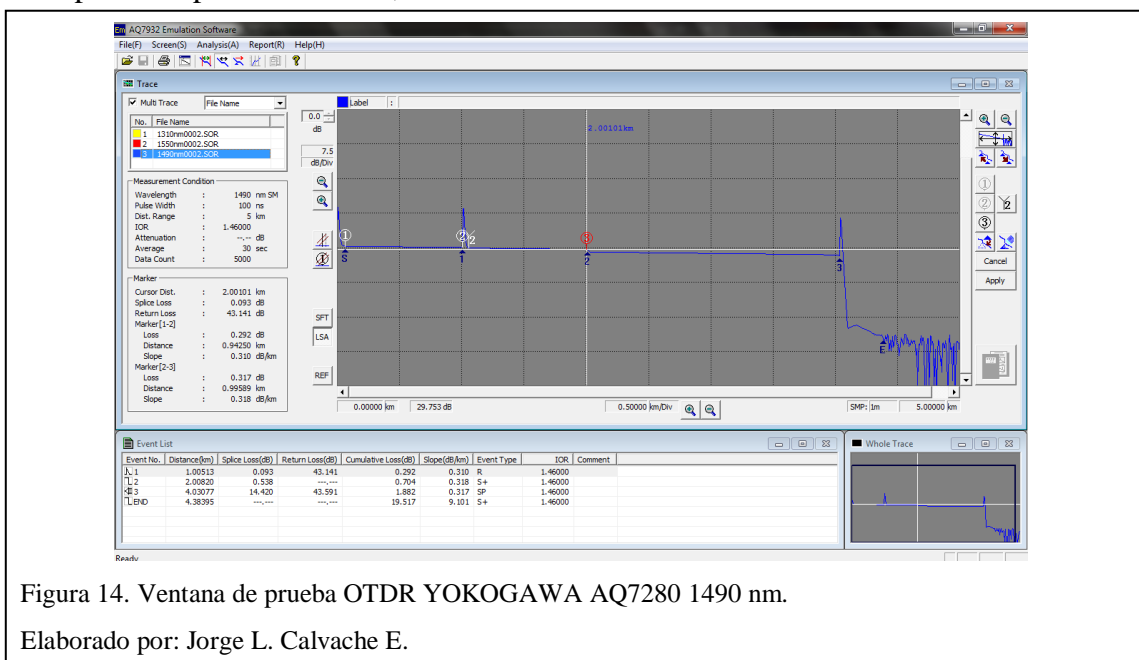


Figura 14. Ventana de prueba OTDR YOKOGAWA AQ7280 1490 nm.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

Se nota en la figura 13, el evento reflectivo identificado con el número 1 a 1 km, el evento no reflectivo con el numeral 2 a los 2 km y con el número 3 el final de la fibra óptica. Y presenta la letra S como inicio de fibra óptica. El evento identificado con E, se debe al ancho del pulso utilizado en la medición y no aporta información sobre la fibra óptica.

- **1550 nm**

En la figura 15 se comprueba la distancia de 4 km para la ventana de 1550 nm, con una pérdida aproximada de 1,894 dB.

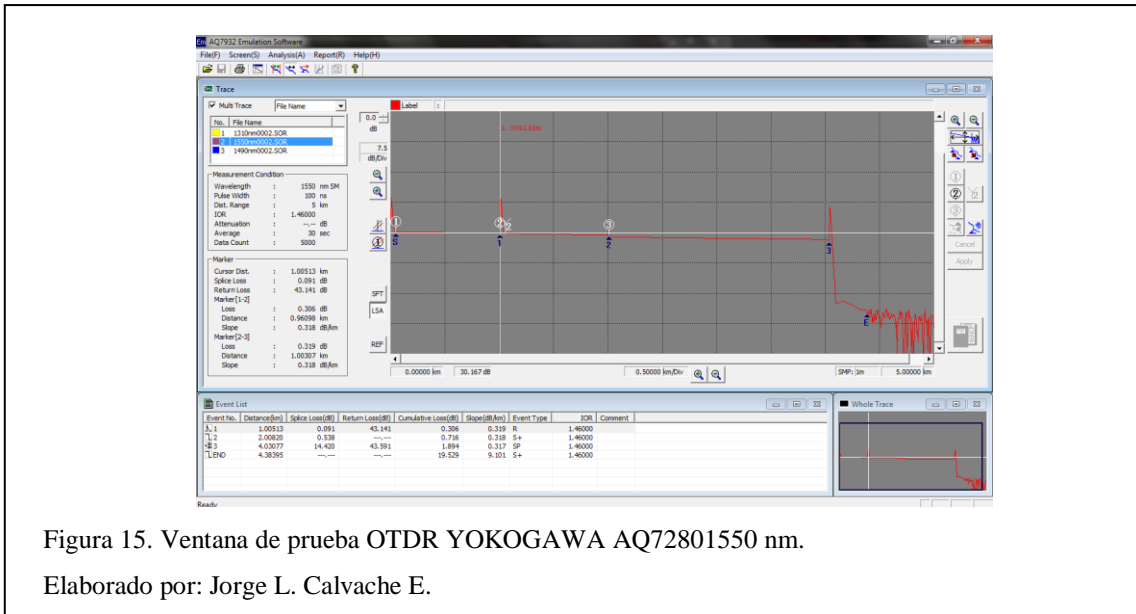


Figura 15. Ventana de prueba OTDR YOKOGAWA AQ72801550 nm.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

Se nota en la figura 15, el evento reflectivo identificado con el número 1 a 1 km, el evento no reflectivo con el numeral 2 a los 2 km y con el número 3 el final de la fibra óptica. El evento identificado con E, se debe al ancho del pulso utilizado en la medición y no aporta información sobre la fibra óptica.

3.2.1.2 Prueba de la bobina interna que compone el sistema, más splitter 1X8 más bobina de 500 m, más splitter de 1X2 y más bobina de 500 m.

En la figura 16 se muestra una prueba más compleja de la bobina interna que compone el sistema, más splitter 1:8 (1x8) más bobina de 500 m, más splitter de 1:2 (1x2) y más bobina de 100 m.

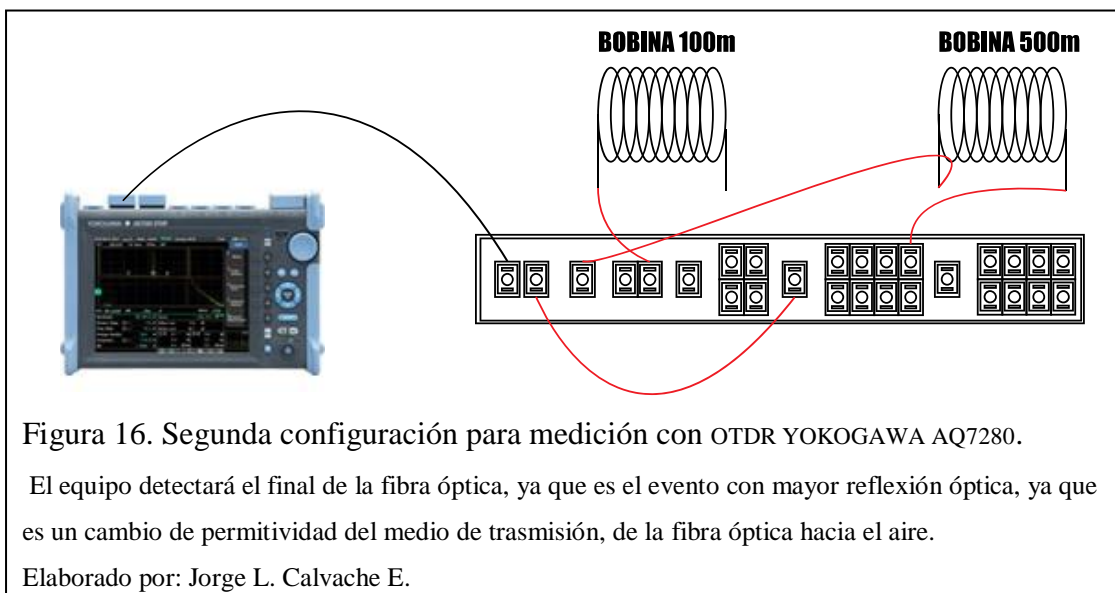


Figura 16. Segunda configuración para medición con OTDR YOKOGAWA AQ7280.

El equipo detectará el final de la fibra óptica, ya que es el evento con mayor reflexión óptica, ya que es un cambio de permitividad del medio de transmisión, de la fibra óptica hacia el aire.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

- **1310 nm**

En la figura 16 se comprueba la distancia de 4,5 km para la ventana de 1310 nm, con una pérdida aproximada de 21,469 dB.

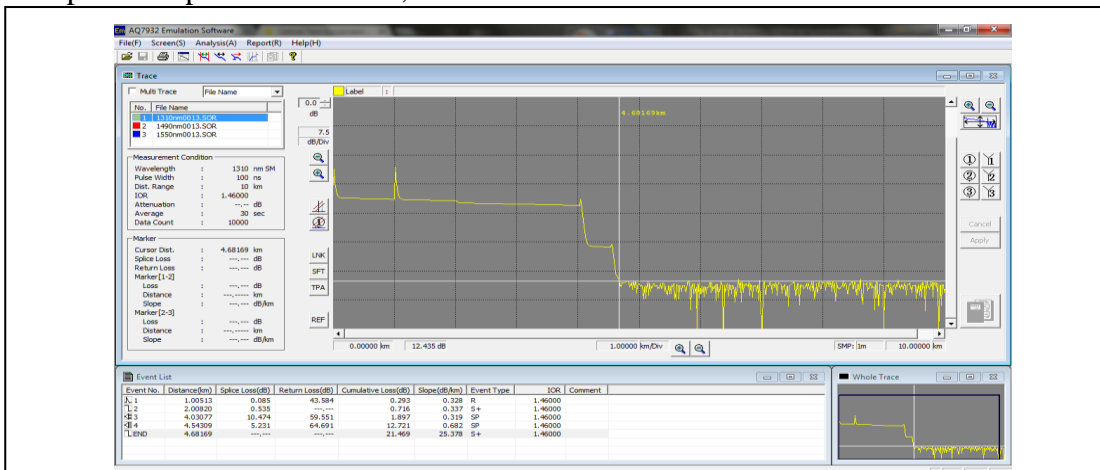


Figura 17. Ventana de prueba N°2 OTDR YOKOGAWA AQ7280 1310 nm.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

Se nota en la figura 17, la bobina de 4 km con sus respectivos eventos; además al final de ésta se encuentra un evento con una caída de potencia de 10,4 dB es la pérdida producida por el splitter de 1:8, a continuación existe una bobina de 500 m que se conecta con el splitter de 1:2.

- **1490 nm**

En la figura 18 se comprueba la distancia de 4,5 km para la ventana de 1490 nm, con una pérdida aproximada de 21,469 dB.

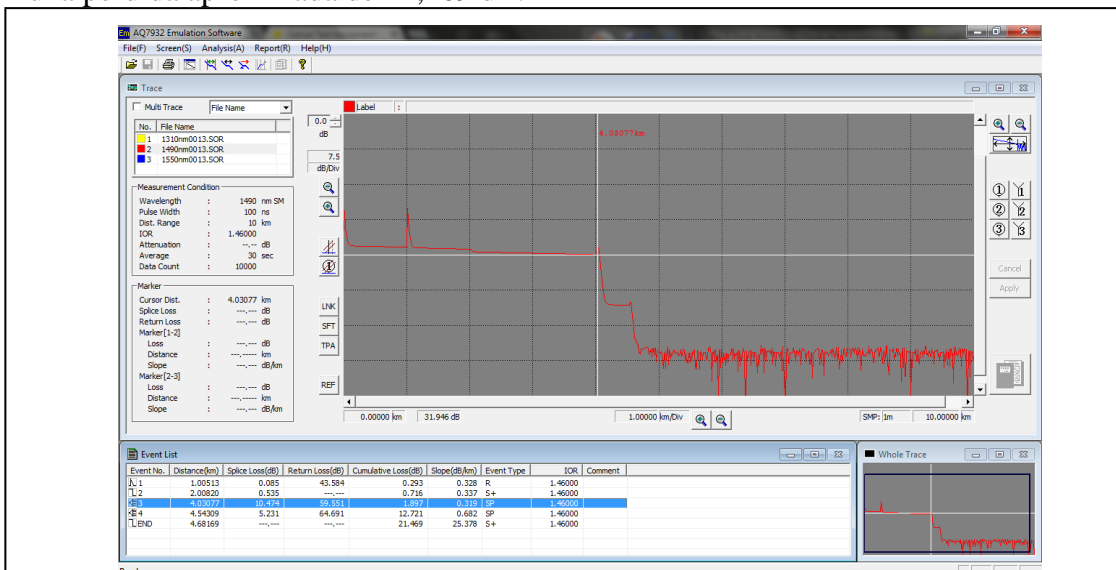


Figura 18. Ventana de prueba N°2 OTDR YOKOGAWA AQ7280 1490 nm.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

Se nota en la figuras 17 y 18, la configuración del STO-1 con la perdida producida por el splitter de 1:8 a una distancia de 4,5 Km. Además también se aprecia el final de la fibra óptica después del splitter 1:2 a una distancia de 4,6 Km.

- **1550 nm**

En la figura 19 se comprueba la distancia de 4,5 km para la ventana de 1550 nm, con una pérdida aproximada de 21,469 dB.

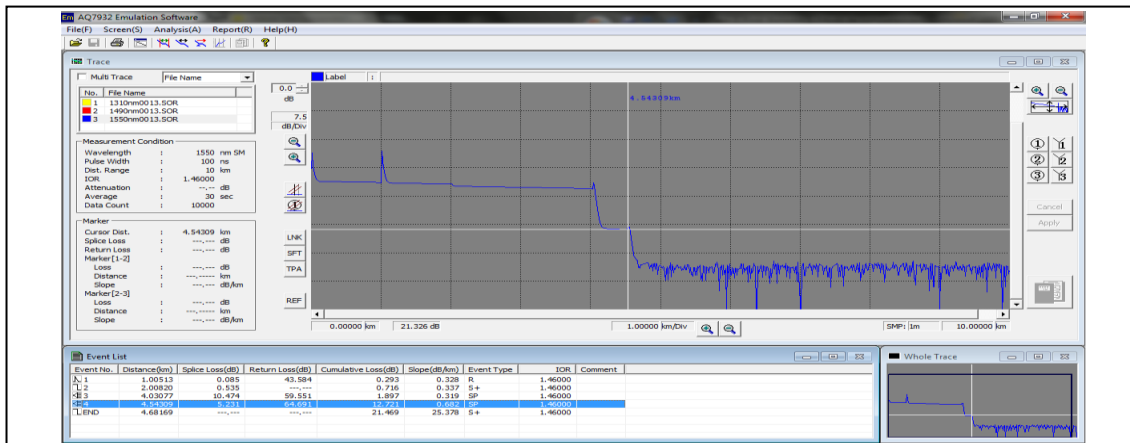


Figura 19. Ventana de prueba N°2 OTDR YOKOGAWA AQ7280 1550 nm.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

3.2.1.3 Prueba de la bobina interna que compone el sistema, más splitter 1X8 más bobina de 500 m, más splitter de 1X2 y más bobina de 1000 m.

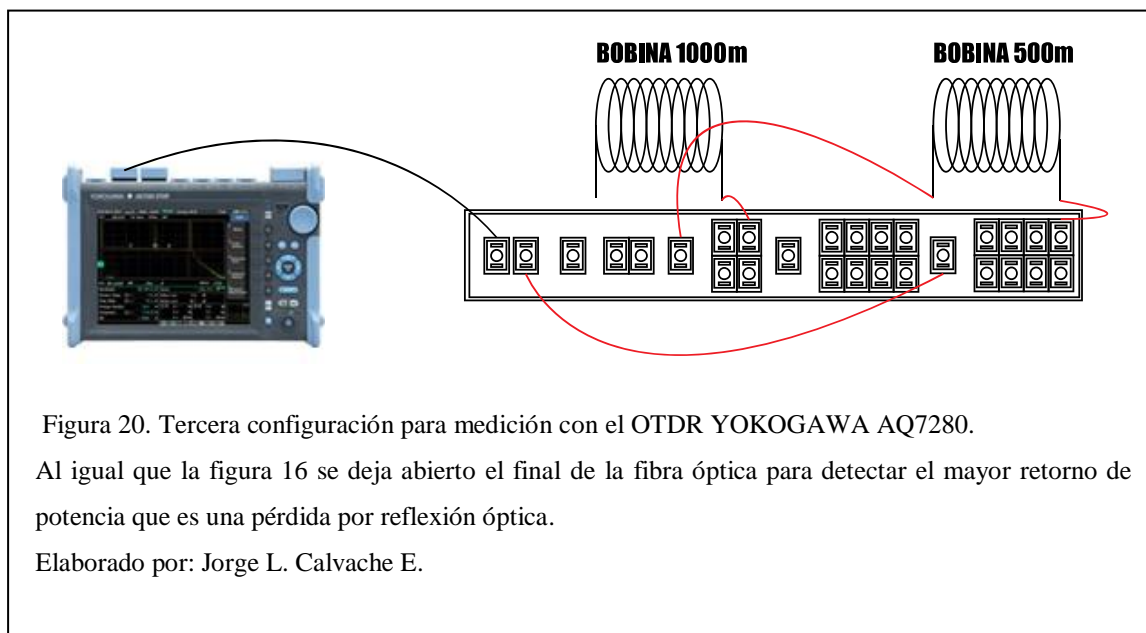


Figura 20. Tercera configuración para medición con el OTDR YOKOGAWA AQ7280.

Al igual que la figura 16 se deja abierto el final de la fibra óptica para detectar el mayor retorno de potencia que es una pérdida por reflexión óptica.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

Se nota en la figura 20, la disposición de la prueba en el STO-1 con el OTDR, en ella ésta el splitter de 1:8 más la bobina de 500 m, más el splitter de 1:2 y por último la bobina de 1000 m.

- **1310 nm**

En la figura 21 se comprueba la distancia de 4,5 km para la ventana de 1310 nm, con una pérdida aproximada de 23.986 dB.

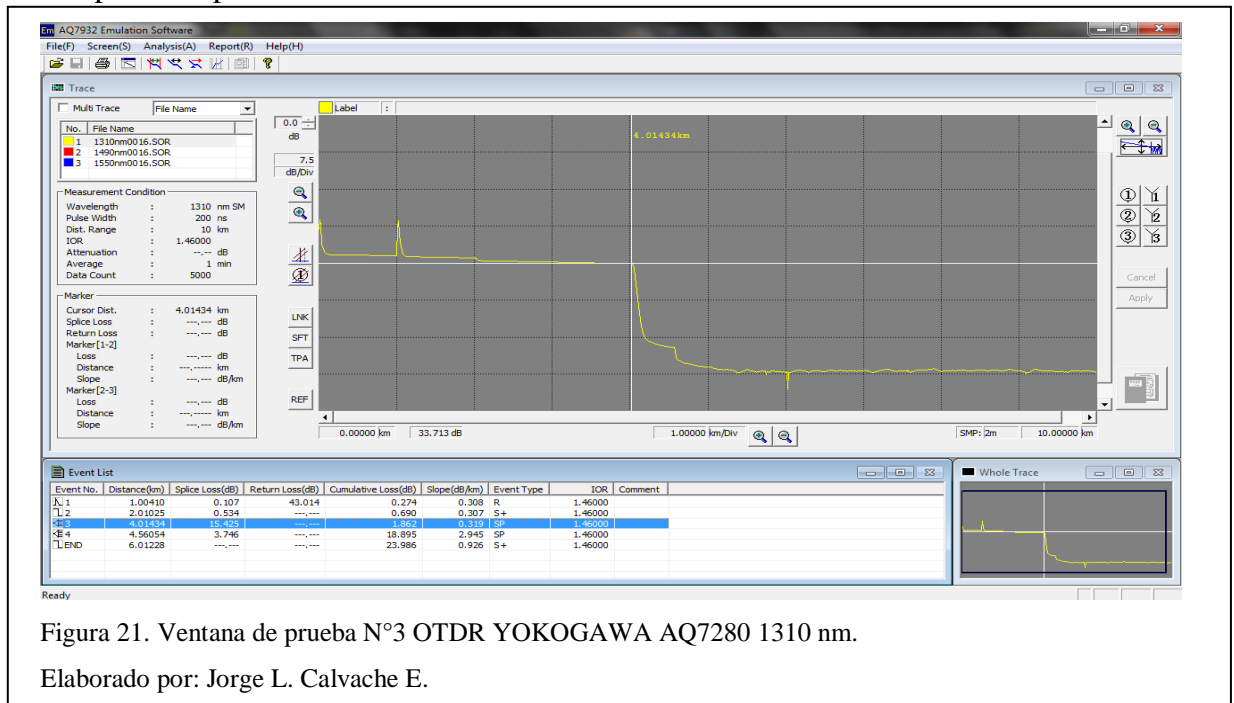


Figura 21. Ventana de prueba N°3 OTDR YOKOGAWA AQ7280 1310 nm.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

Se nota en la figura 21 el final del feeder o la bobina interna a los 4 km, después existe la caída de potencia producida por el splitter 1:8 a la misma distancia, 500 m a partir de allí está el siguiente splitter de 1:2 y se termina la prueba con la bobina de 1000 m.

- **1490 nm**

En la figura 22 se comprueba la distancia de 4,5 km para la ventana de 14900 nm, con una pérdida aproximada de 23.986 dB.

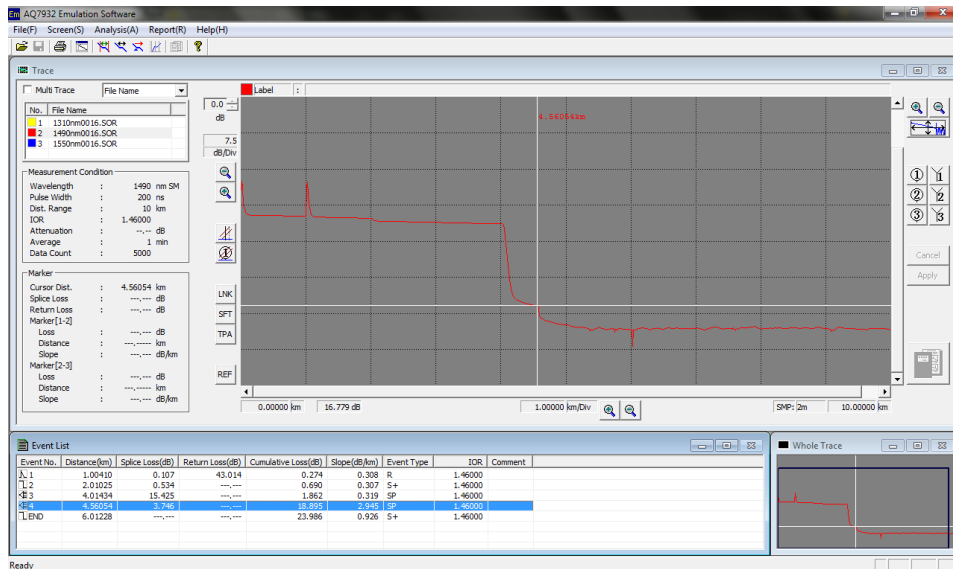


Figura 22. Ventana de prueba N°3 OTDR YOKOGAWA AQ7280 1490 nm.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

Se nota en la figura 22 el final del feeder o la bobina interna a los 4 km, después existe la caída de potencia producida por el splitter 1:8 a la misma distancia, 500 m a partir de allí está el siguiente splitter de 1:2 y se termina la prueba con la bobina de 1000 m.

- **1550 nm**

En la figura 23 se comprueba la distancia de 4,5 km para la ventana de 1550 nm, con una pérdida aproximada de 23.986 dB.

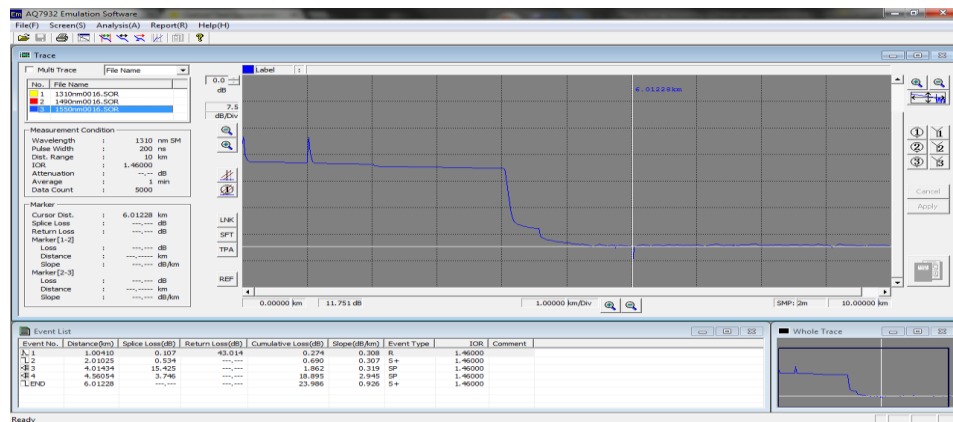


Figura 23. Ventana de prueba N°3 OTDR YOKOGAWA AQ72801550 nm.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

Se nota en la figura 23 el final del feeder o la bobina interna a los 4 km, después existe la caída de potencia producida por el splitter 1:8 a la misma distancia, 500 m a

partir de allí está el siguiente splitter de 1:2 y se termina la prueba con la bobina de 1000 m.

3.3 Configuración inicial del equipo.

3.3.1 Creación de reportes.

Se configuró el equipo para la generación de reportes para su posterior análisis, los pasos a seguidos fueron los siguientes:

- a Desde la ventana de HOME, vaya a FILE.
- b Seleccione la opción REPORT FILES.



Figura 24. Pantalla inicial Albedo Telecom Ether.10Genius.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

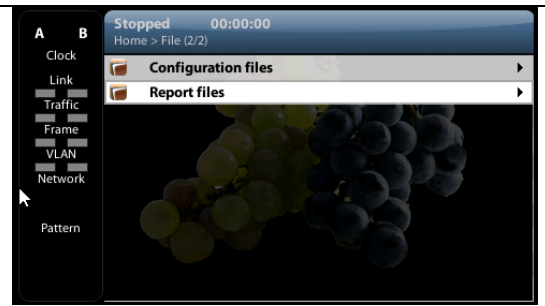


Figura 25. Configuración de reportes en Report Files.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

Seleccionar la opción GENERATE REPORTS y a continuación se habilita la opción cambiando por YES.

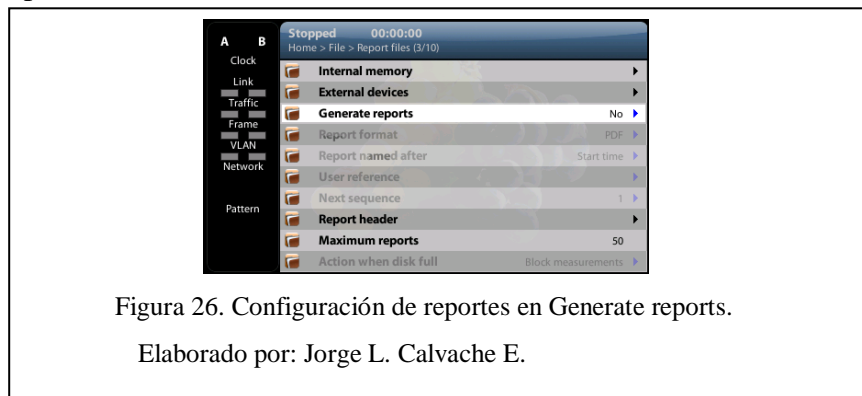


Figura 26. Configuración de reportes en Generate reports.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

3.3.2 Reseteo de fábrica del equipo

Para evitar procesos de fallas durante las pruebas a realizar, una costumbre sana, es resetear al equipo con sus configuraciones iniciales, sin que esto afecte a la programación para generar reportes. Para ello es necesario seguir los siguientes pasos:

- a Regresar al menú principal con la tecla HOME.
- b Seleccione la opción TEST y desplace el cursor hacia la opción RESET TO FACTORY SETTINGS.



Figura 27. Reseteo de fábrica

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.



Figura 28. Submenu del reseteo de fábrica

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

- c Por último cambie NO por la opción YES.

3.3.3 Configuración de la prueba RFC 2544.

Para medir la capacidad del canal se emplea la prueba de RFC 2544, esta prueba comparativa se usa para medir y describir el desempeño de los equipos que componen una red basada en IP-Ethernet, ésta evalúa valores como rendimiento, latencia, condiciones de sobrecarga y recuperación, tasa de tramas perdidas. (Albedo Telecom, 2011). La figura 29 muestra la disposición del equipo conectado en el STO-1 en forma de loop.

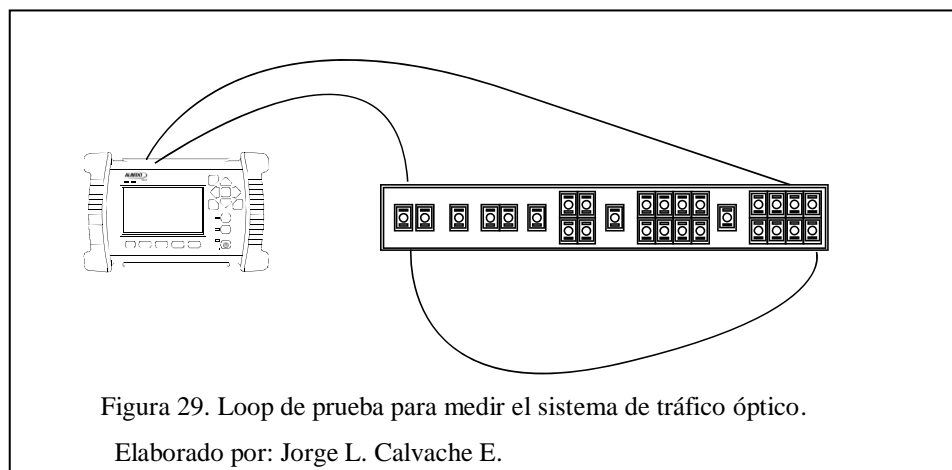
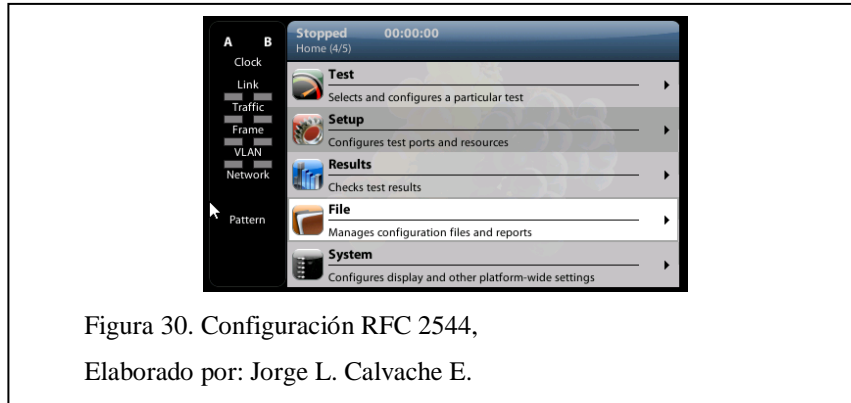


Figura 29. Loop de prueba para medir el sistema de tráfico óptico.

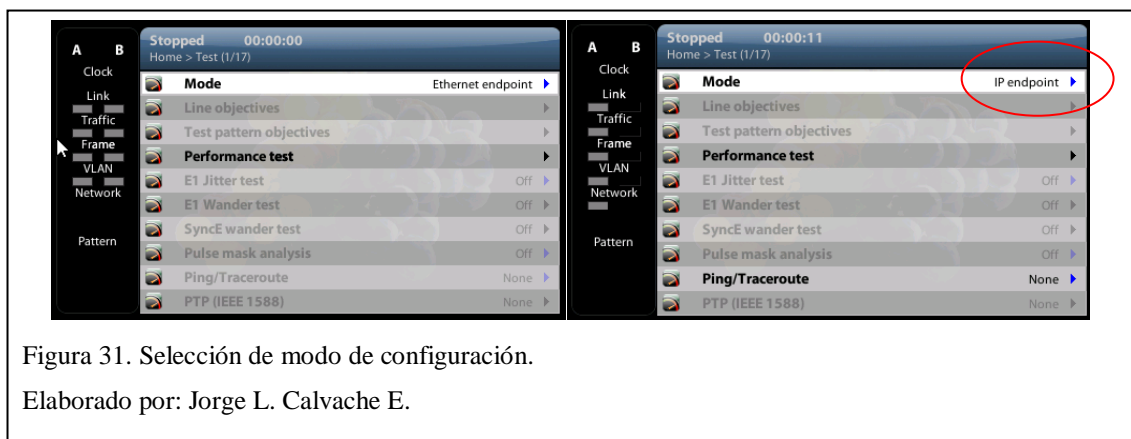
Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

A continuación se muestran los pasos para configurar la prueba de rendimiento del canal de fibra óptica que presenta el sistema:

- a. Desde el Menú inicial seleccione la ventana TEST.



- b. Seleccione el modo de comunicación de Ethernet endpoint a IP-Endpoint, pues la pruebas se habilitan con ésta opción de comunicación para la RFC2544.



- c. Dependiendo el tipo de conexión que presente la arquitectura de la red se debe seleccionar el método de prueba; en este caso se utilizó el método de “A hacia B” donde A y B son puertos de conexión SFP. Esto se configura en el MENU TEST. En la figura 32 se selecciona el modo de transmisión de puertos de A hacia B.



- d. Seleccione PERFORMANCE TEST y la opción de RFC 2544, en este panel se configuran valores específicos para medir el throughput, latency, frame loss, back-to-back frames y system recovery time. A ésta opción primero se la debe activar para poder elegir las distintas pruebas a realizar. La figura 33 muestra la activación del servicio de RFC 2544.

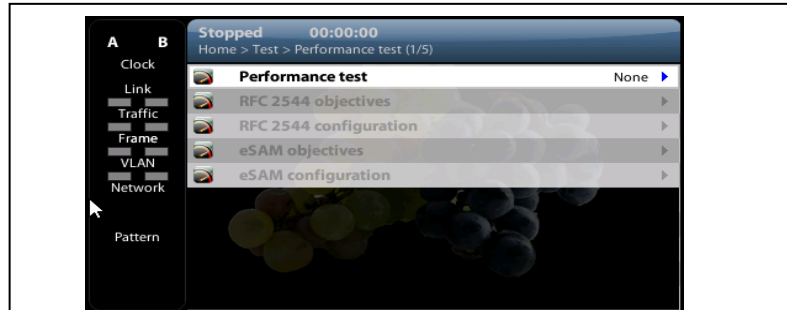


Figura 33. Selección de la prueba y sus opciones de prueba.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

- e. En este caso la figura 34 muestra el proceso para la configuración de valores IP; regresamos al menú inicial y configuramos para los puertos A y B en el modo de SETUP LOCAL PROFILE.

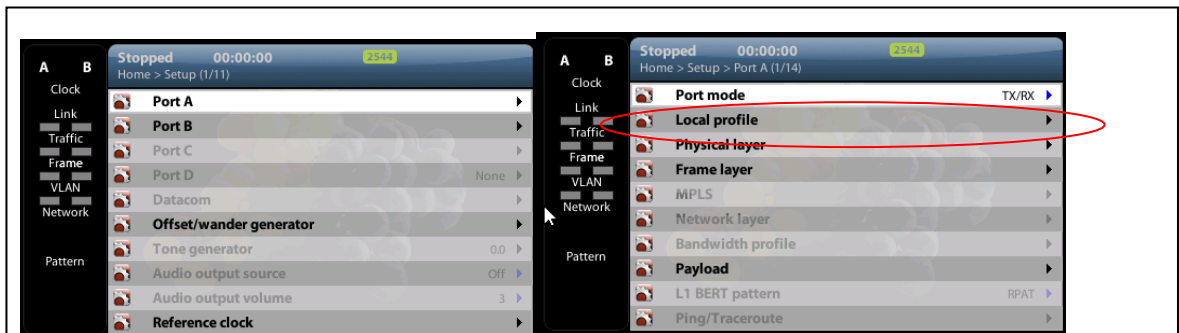


Figura 34. Dirección de destino y de origen para cada puerto (A y B).

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

- f. En la figura 35 se configura la IP y su máscara para los dos puertos que debe ser acorde a la red.

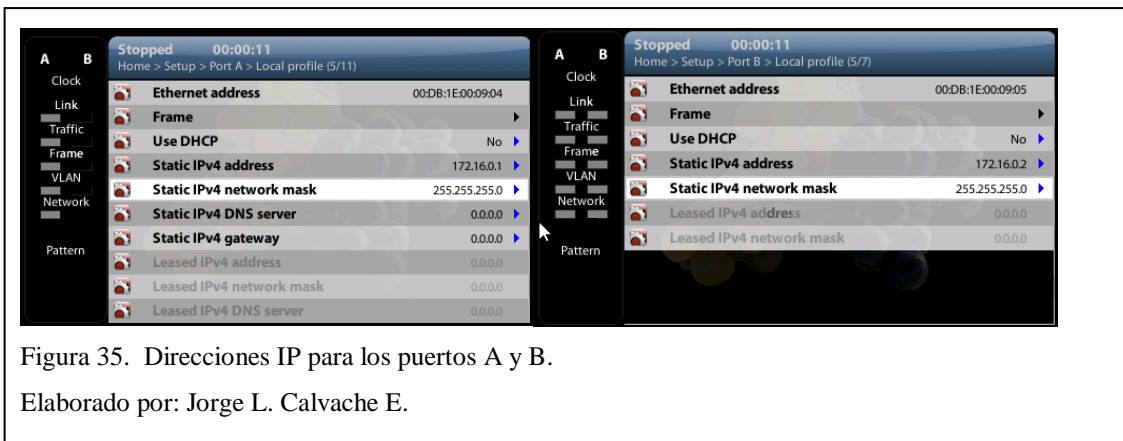


Figura 35. Direcciones IP para los puertos A y B.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

- g. La figura 36 se muestra el último paso para realizar la prueba, se debe encender el SFP, para la transmisión de datos entre el sistema y el lazo que intercambiará paquetes de tráfico a 10 Gbps. En este paso se regresa al Puerto A y B, para seleccionar la opción Physical Layer. Por último se elige el conector (óptico) y se enciende la opción LASER ON.

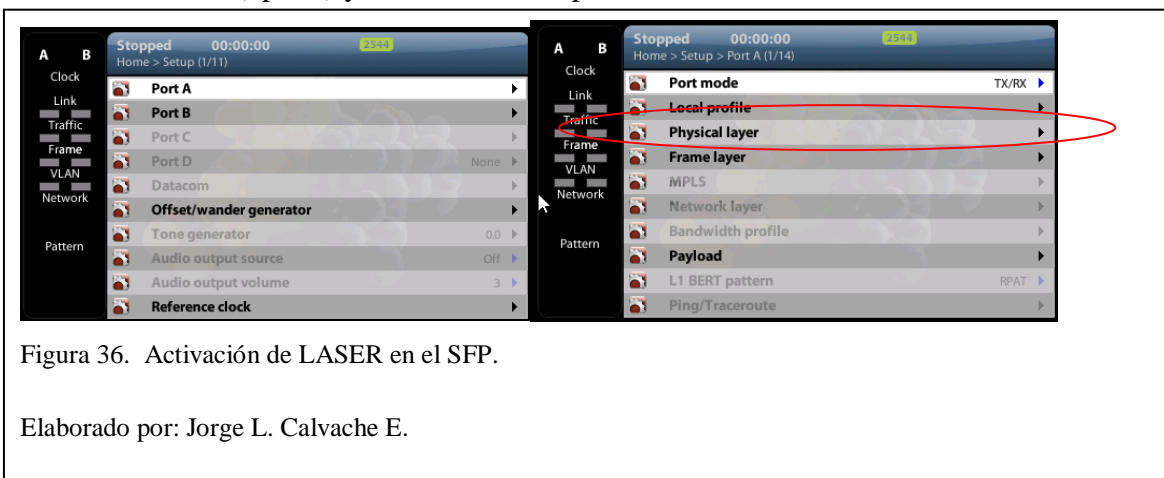


Figura 36. Activación de LASER en el SFP.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

- c En la figura 37 se muestra la activación del laser mediante la opción de ON y OFF.

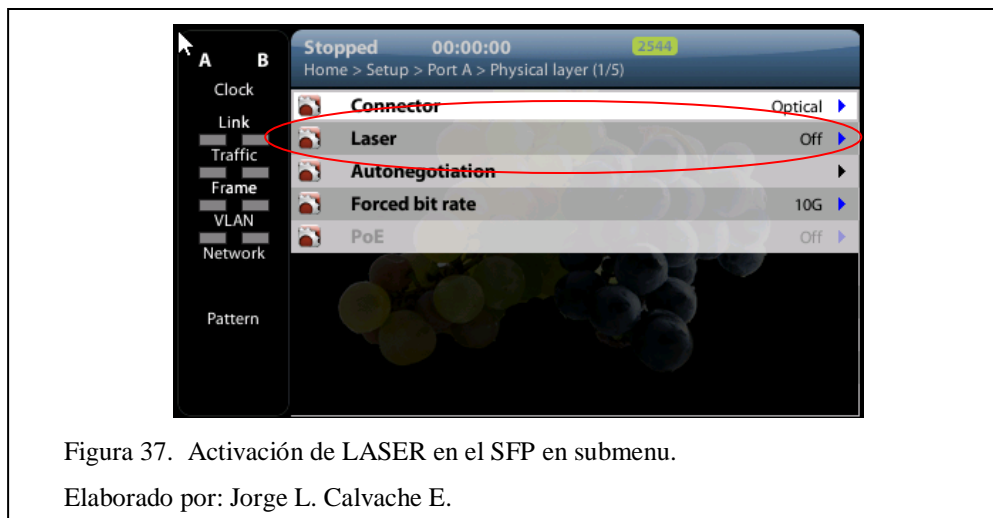


Figura 37. Activación de LASER en el SFP en submenu.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

h. Finalmente, inicie la prueba pulsando la tecla RUN.

Cabe destacar que ésta prueba puede durar entre 18 a 19 horas aproximadamente ya que se compone de varios procesos internos.

3.3.4 Prueba RFC 2544

Para entender los resultados que comprenden las pruebas de RFC 2544 es necesario entender los parámetros de dicha prueba. A continuación se explica cual es concepto de ésta basados en el estudio de Steve & Jeff (Bradner & McQuaid, 1999).

Se trata de una prueba automática en la cual no es necesario configurar un ancho de banda o una carga hacia la red, sin embargo el usuario tiene que considerar la configuración de una dirección IP, así como la MAC Address. También se debe tomar como recomendación que es una prueba que requiere altos niveles de tráfico, por lo cual puede congestionar la red y dañar el desempeño normal donde se está dando el servicio.

La prueba RFC 2544 definida por IETF que describe y especifica pruebas para caracterizar el comportamiento de dispositivos que conforman la red. (Bradner & McQuaid, 1999). ésta especifica los Frame Sizes (Fotogramas o tamaño de tramas) que son:

64, 128, 256, 512, 1024, 1280, 1518.

3.3.4.1 Throughput

El objetivo de la prueba de rendimiento THROUGHPUT es determinar el número máximo de fotogramas por segundo que el dispositivo puede procesar y reenviar sin descartar o perder las tramas. Para expresarlo en términos sencillos, el procedimiento utilizado para calcular el rendimiento es el siguiente:

1. Enviar un cierto número de fotogramas a una velocidad específica a través de la DUT / SUT y contar las tramas transmitidas por el DUT / SUT.

2. Si el conteo de tramas de transmisión es igual al conteo de tramas recibidas, aumentar la velocidad de transmisión y vuelva a ejecutar la prueba. De lo contrario, reducir la transmisión tipo que se usó en la siguiente prueba.

3. Vuelva a ejecutar la prueba hasta que un número menor de tramas se hayan transmitido antes que recibirlas por el DUT / SUT. El rendimiento es la tasa más rápida en la que el recuento de las tramas de la prueba transmitida por el DUT es igual al número de tramas de prueba enviado a ella por la medición del equipo.

4. Cabe recalcar que estas pruebas son automáticas y el equipo las hace por sí solo.

La figura 38 muestra el resultado de prueba de throughput aprobada.

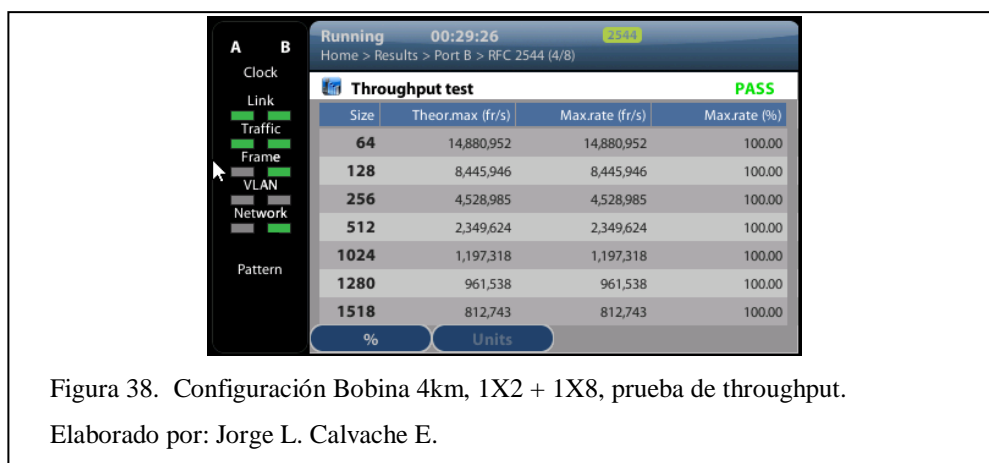


Figura 38. Configuración Bobina 4km, 1X2 + 1X8, prueba de throughput.

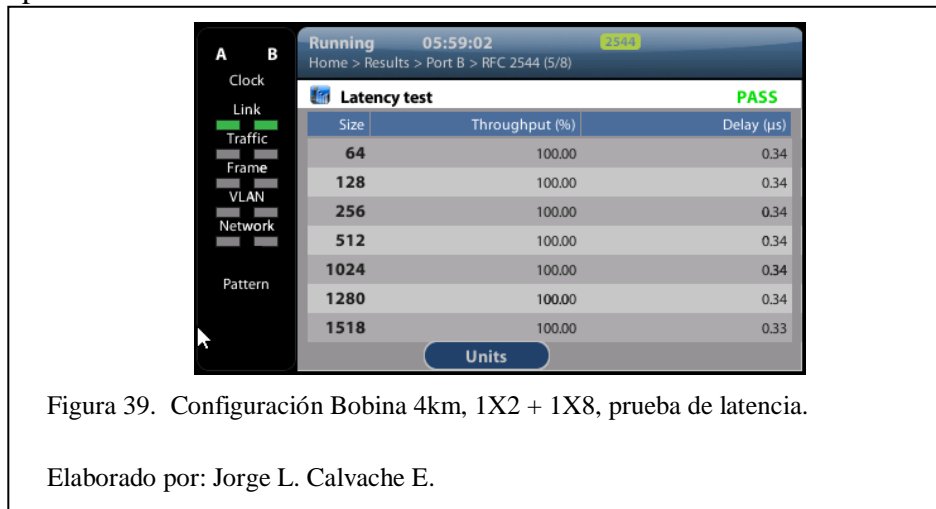
Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

3.3.4.2 Latency

Esta prueba determina la latencia en la DUT / SUT. La velocidad de datos inicial está basada en los resultados de la prueba de rendimiento. Normalmente, los paquetes contienen un etiquetado de tiempo usando la carga útil SLA para la prueba de latencia, es el tiempo que tarda en viajar a través del DUT / SUT el cual es medido.

Con el fin de determinar la latencia por lo general primero se mide el rendimiento para el DUT / SUT en cada uno de los tamaños de trama definidos, y enviar una corriente de tramas a través de la DUT / SUT a la tasa de rendimiento determinado a un destino específico. Si no se ha medido el rendimiento (throughput), la latencia se medirá en la capacidad nominal de acuerdo a la norma RFC 1242 donde la trama una vez que es transmitida completamente es grabada y registrada como una marca de tiempo (timestamp) X_0 . El receptor del equipo lo que hace es recolectar esta información de acuerdo con el etiquetado (tag) y grabar el tiempo de recepción de la trama etiquetada y esta es la marca de tiempo B (timestamp X_1). La latencia es la

diferencia entre las marcas de tiempo $X_i - X_o$. En la figura 39 se muestra el resultado de la prueba de latencia.



3.3.4.3 Frame Loss

El objetivo de ésta prueba es determinar la relación de pérdida de tramas a través de toda la gama de entrada velocidades de datos y tamaños de tramas. El procedimiento es el siguiente, según Steve Bradner & Jeff McQuaid (Bradner & McQuaid, 1999):

1. Enviar un cierto número de tramas a una velocidad específica a través de la DUT / SUT, contando las tramas transmitidas y recibidas de la relación de pérdida de tramas. El primer ensayo se debe ejecutar para una velocidad de tramas que es 100 % de la tasa máxima admitida por la interfaz.
2. Repita el procedimiento para la velocidad que corresponde a la siguiente velocidad de bits de prueba.
3. Continúe esta secuencia (la reducción de la tasa de bits en cada paso) hasta que haya dos ensayos consecutivos en los que se no se perdieron tramas.
4. Cabe recalcar que estas pruebas son automáticas y el equipo las hace por sí solo.

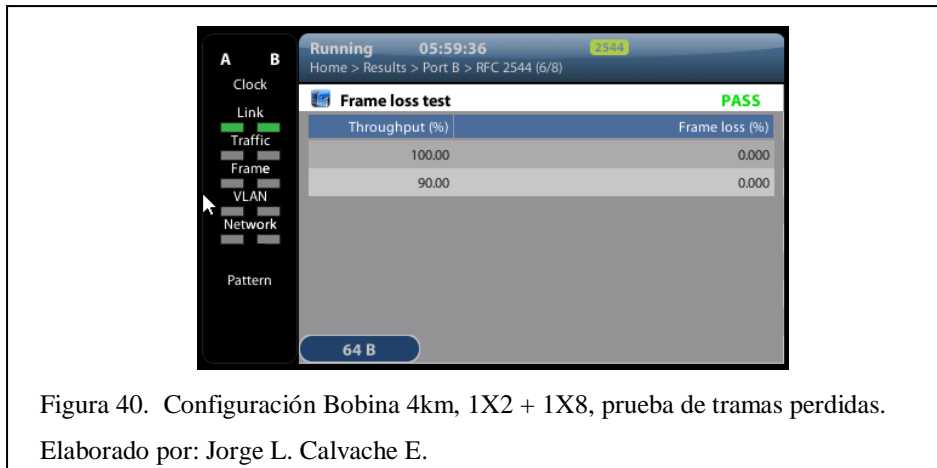


Figura 40. Configuración Bobina 4km, 1X2 + 1X8, prueba de tramas perdidas.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

3.3.4.4 Back-to-Back Frames

Una prueba de back-to-back frames determina la capacidad que dispone el equipo para que el área de memoria temporal en donde se almacenan los datos mientras se está procesando, transfiriendo, enviando ráfagas del tráfico sea la tasa más alta teórica, y luego se mide la ráfaga más larga donde ningún paquete ha sido descartado. El procedimiento de este ensayo sigue los siguientes pasos.

1. Enviar una ráfaga de tramas con deficiencias mínimas inter-frame a la DUT / SUT, y contar el número de tramas enviadas.
2. Si el recuento de las tramas de transmisión es igual al número de tramas transmitido, al aumentar la longitud de la ráfaga y se debe volver a ejecutar la prueba. Si el número reenviado de tramas es menor que el número transmitido, se reduce la longitud de la ráfaga y se vuelve a ejecutar el examen.
3. La prueba continua hasta que los resultados back-to-back de tramas se hayan calculado con aceptable exactitud 50 veces.

El valor de back-to-back es el número de fotogramas en la ráfaga más larga que el DUT / SUT puede manejar sin perder las tramas. Se recomienda realizar la prueba por lo menos por 2 segundos, y deben repetirse al menos 50 veces con el promedio de los datos que ha sido generado. Se ve en la figura 40 la aprobación de la prueba de back to back.

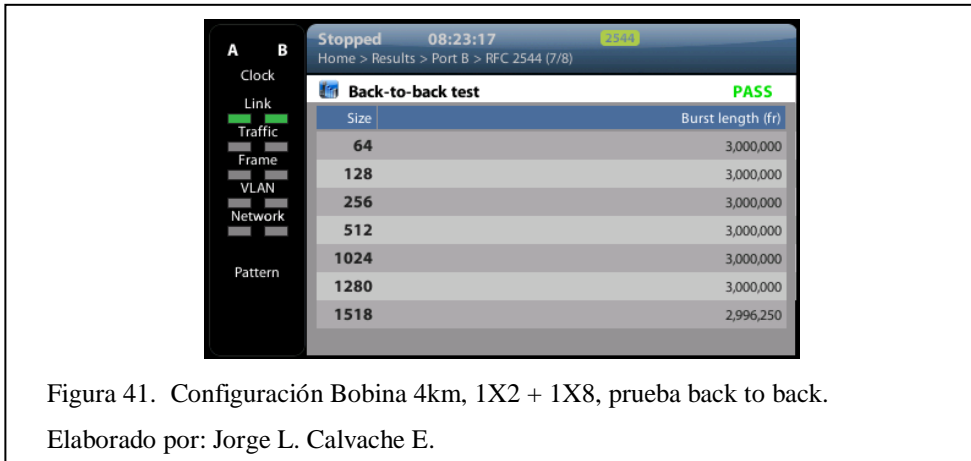


Figura 41. Configuración Bobina 4km, 1X2 + 1X8, prueba back to back.
Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

3.3.4.5 System Recovery

Esta prueba determina la velocidad del nodo en el que el DUT / SUT se recupera de una condición de sobrecarga. El procedimiento es el siguiente:

1. Medir el rendimiento para el DUT / SUT en cada uno de los tamaños de tramas enumerados.
2. Envíe un flujo de tramas a una velocidad que es 110% de la tasa de rendimiento grabado o la tasa máxima para los medios de comunicación, lo que sea menor, por lo menos durante 60 segundos.
3. En el tiempo (Timestamp A), se reduce la velocidad de fotogramas a 50% de la tasa de rendimiento y graba el tiempo de la última trama perdida (Marca de tiempo B). Se calcula el tiempo de recuperación del sistema restando Timestamp B de Timestamp A. Se debe repetir la prueba varias veces, y el promedio de los valores registrados serán grabados. La figura 42 muestra los resultados de la prueba de recuperación de sistema.

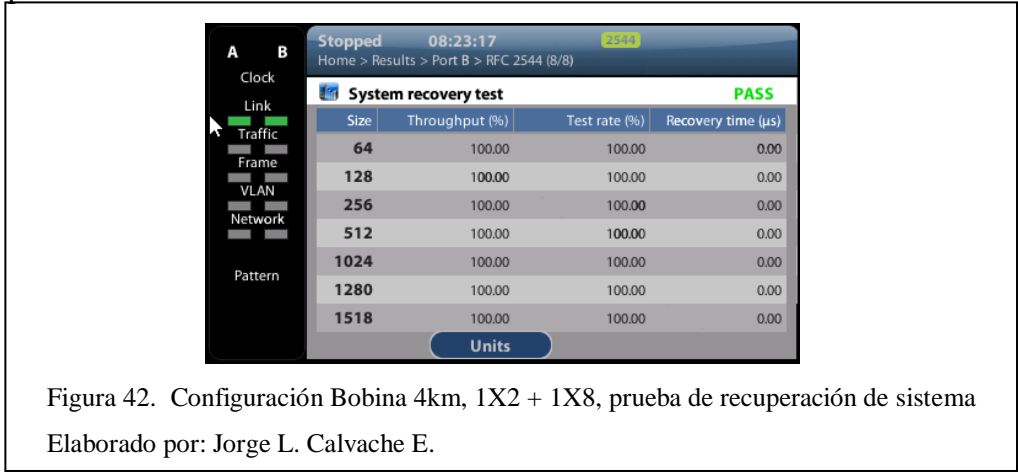


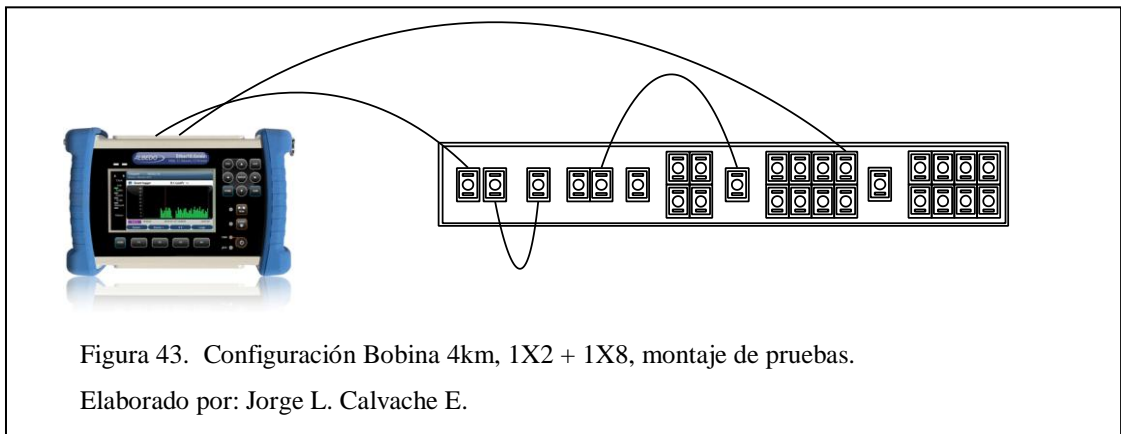
Figura 42. Configuración Bobina 4km, 1X2 + 1X8, prueba de recuperación de sistema
Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

CAPÍTULO 4. PRUEBAS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se describen las pruebas realizadas y los resultados obtenidos en el sistema de tráfico óptico.

4.1 Resultados prácticos de la prueba RFC 2544.

Se generó tráfico óptico a 10 Gbps en el STO-1 con dos configuraciones, a continuación se muestran los resultados de la prueba RFC2544 en el siguiente escenario.



4.2.1 Cálculo del número de paquetes que puede transmitir el sistema

Se dice entonces que para una interface de 10 Gb/s es capaz de transmitir hasta 10 000 000 000 b/s. Para determinar los paquetes por segundo (p/s) que es capaz de transmitir la red es necesario primero convertir los bits a bytes (existen 8 bits en un byte). Entonces se debe considerar cuantos bytes existen en cada paquete. El tamaño del paquete no necesariamente es un valor fijo, sin embargo se considera que existen dos tipos de tamaños de paquete dividido en un mínimo y máximo.

- Maximun Frame Rate es calculado usando valores mínimos de los siguientes parámetros como lo describe la norma IEEE 802.3av:
 - Preámbulo = 8 bytes
 - Payload = 64 bytes
 - Espacio de frames intermedios = 12 bytes

$$\begin{aligned}
\text{Maximun Frame Rate} &= \frac{\text{MAC tasa de bit transmitidos}}{(\text{Preámbulo} + \text{Payload} + \text{Espacio F-I})} & (1) \\
&= 10\,000\,000\,000 \\
&/((8*8)+(64*8)+(12*8)) \\
&= 10\,000\,000\,000 / (64 + 512 + 96) \\
&= 10\,000\,000\,000 / 672 \\
&= 14\,880\,952,38 \text{ frame per second (fps)}
\end{aligned}$$

- Maximun Throughput

- Tamaño de Payload PDU = 1500 bytes
- Espacio intermedio de trama = 12 bytes
- Secuencia de comprobación CRC = 4 bytes
- Longitud de MAC = 2 bytes
- MAC de destino = 6 bytes
- MAC de origen = 6 bytes
- LPreambulo = 8 bytes

$$\begin{aligned}
\text{Maximun Frame Rate} &= \frac{\text{MAC tasa de bit transmitidos}}{(\text{Espacio F-I} + \text{Payload} + \text{CRC} + \text{Long. MAC})} & (2) \\
&= 10\,000\,000\,000 / ((1500*8)+(12*8)+(4*8) + (22*8)) \\
&= 10\,000\,000\,000 / (12000 + 96 + 32 + 176) \\
&= 10\,000\,000\,000 / 12304 \\
&= 812,7438 \text{ frame per second (fps)}
\end{aligned}$$

4.2.2 Resultados prácticos de la prueba RFC 2544 Minimum throughput 50%

Se conectó el equipo mediante la configuración del literal anterior, en la figura 43; para realizar las pruebas descritas por la norma de la IETF RFC 2544. (Bradner & McQuaid, 1999)

El sistema soporta tres tipos de configuraciones 1X2 + 1X4; 1X2+1X8; 1X4+1X8 todos conectados a la bobina de lanzamiento inicial de 4 kilómetros.

La prueba se realizó para un throughput mínimo de 50 %, lo cual quiere decir una velocidad de 4294.967 Mb/s; las pruebas de desempeño tienen una duración aproximada de 18 a 24 horas dependiendo el throughput seteado en el equipo. En este caso la prueba se demoró 20 horas.

En la figura 44 se encuentran descritos los datos del usuario, la compañía, el día que se realizó la prueba, la marca, el modelo y la serie del equipo así como la versión de software. También está descrito de manera general el porcentaje de la realización de la prueba y el resultado de ésta.

RFC 2544 Test Report	
Report name	2015-08-17-104045
Customer	
Department	
Company	complementos
Location	uio
Operator	
Start Time	Mon Aug 17 10:40:46 2015
Elapsed Time	08:23:17
Test Unit	Ether10.Genius Gigabit Ethernet Tester
Serial number	MEX0003P
Software version	0.9.12
 Global results	
Status	PASS
Completed	100 %

Figura 44. Datos y resultados general de la prueba.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

En la siguiente imagen de resultado (figura 44), se muestra la configuración de la unidad para el desarrollo de la prueba configurados en el literal 3.3.3 del presente trabajo.

Test Unit Configuration			
Mode	IP endpoint		
Test method	One-way (A > B)		
		Port A	Port B
Port mode		TX/RX	Monitor
Connector		Optical	Optical
Encapsulation		Local profile	
Source MAC address		00:DB:1E:00:09:04	
Destination MAC address		00:00:00:00:00:00	
Address range size	----		
C-VID	----		
C-VLAN priority	----		
S-VID	----		
S-VLAN priority	----		
DEI	----		
Source IPv4 address	172.16.0.1		
Destination IPv4 address	0.0.0.0		
Destination host name	----		
Address range size	----		
DSCP	0		
Performance objectives			
Minimum throughput (%)	50.000		
Maximum latency	10.000 ms		
Maximum frame loss (%)	1.000		
Minimum frame burst (fr)	1000		
Maximum recovery time	10.000 ms		

Figura 45. Resultados de la configuración inicial del equipo.
Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

A continuación se muestran los resultados para las diferentes pruebas que realiza el equipo de manera automática.

En la figura 46 constan los resultados de la prueba número uno que muestra la capacidad del canal.

Throughput test					
Status	Frame sizes	Theor.max (fr/s)	Max.rate (fr/s)	Max.rate (%)	Max.rate
PASS	64	14,880,952	14,880,952	100.000	4294.967 Mb/s
PASS	128	8,445,946	8,445,946	100.000	4294.967 Mb/s
PASS	256	4,528,985	4,528,985	100.000	4294.967 Mb/s
PASS	512	2,349,624	2,349,624	100.000	4294.967 Mb/s
PASS	1024	1,197,318	1,197,318	100.000	4294.967 Mb/s
PASS	1280	961,538	961,538	100.000	4294.967 Mb/s
PASS	1518	812,743	812,743	100.000	4294.967 Mb/s

Figura 46. Prueba con un Minimum Throughput de 50%
Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

La figura 47 muestra los resultados de la prueba de latencia, obtenidos para cada trama de tráfico sintético.

Latency test			
Frame sizes	Throughput (%)	Delay (us)	Status
64	100.000	0.34	PASS
128	100.000	0.34	PASS
256	100.000	0.34	PASS
512	100.000	0.34	PASS
1024	100.000	0.34	PASS
1280	100.000	0.34	PASS
1518	100.000	0.33	PASS

Figura 47. Prueba Minimum Latency 50%
Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

Se muestra en la figura 48 que no se perdió ninguna trama durante la ejecución de las pruebas.

Frame loss test							
Throughput (%)	64	128	256	512	1024	1280	1518
100.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS	PASS

Figura 48. Prueba de pérdida de paquetes (fotogramas) al 50%.
Elaborado por: Jorge L. Calvache E

Los resultados de la prueba back to back indica que pasa, es favorable, para todos los burst permitidos, como se puede apreciar en la figura 49.

Back-to-back test		
Frame sizes	Burst length (fr)	Status
64	3,000,000	PASS
128	3,000,000	PASS
256	3,000,000	PASS
512	3,000,000	PASS
1024	3,000,000	PASS
1280	3,000,000	PASS
1518	2,996,250	PASS

Figura 49. Prueba back to back 50%.
Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

Por último la figura 50 muestra los resultados obtenidos por la prueba de recuperación de sistema.

System recovery test			
Frame sizes	Throughput (%)	Recovery time	Status
64	100.00	0.000 us	PASS
128	100.00	0.000 us	PASS
256	100.00	0.000 us	PASS
512	100.00	0.000 us	PASS
1024	100.00	0.000 us	PASS
1280	100.00	0.000 us	PASS
1518	100.00	0.000 us	PASS

Figura 50. Prueba de recuperación al 50%.
Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

4.2.3 Resultados prácticos de la prueba RFC 2544 Throughput 100 % y con degradación de IPv4 checksum.

Esta prueba se la realizó con un throughput al 100 %, la duración de la misma fue aproximadamente 18 horas y la velocidad de transmisión fue de 8775,363 Mb/s con lo cual se comprueba la velocidad máxima a la que puede trabajar el sistema de tráfico, óptico. La figura 51 muestra el resultado obtenido.

RFC 2544 Test Report	
Report name	2015-12-09-121132
Customer	
Department	
Company	complementos
Location	uio
Operator	
Start Time	Wed Dec 9 12:11:33 2015
Elapsed Time	08:22:05
Test Unit	Ether10.Genius Gigabit Ethernet Tester
Serial number	MEX0003P
Software version	0.9.12
Global results	
Status	PASS
Completed	100 %

Figura 51. Datos y resultado general de la prueba al 100%.
Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

En la figura 52 se detallan los parámetros de configuración del equipo con el throughput máximo del 100%.

Test Unit Configuration		
Mode	IP endpoint	
Test method	One-way (A > B)	
	Port A	Port B
Port mode	TX/RX	Monitor
Connector	Optical	Optical
Encapsulation	Local profile	
Source MAC address	00:DB:1E:00:09:04	
Destination MAC address	00:00:00:00:00:00	
Address range size	---	
C-VID	---	
C-VLAN priority	---	
S-VID	---	
S-VLAN priority	---	
DEI	---	
Source IPv4 address	192.168.0.1	
Destination IPv4 address	0.0.0.0	
Destination host name	---	
Address range size	---	
DSCP	0	
Performance objectives		
Minimum throughput (%)	100.000	
Maximum latency	10.000 ms	
Maximum frame loss (%)	1.000	
Minimum frame burst (fr)	1000	
Maximum recovery time	10.000 ms	

Figura 52. Resultados de la configuración inicial del equipo, al 100%.
Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

Los resultados con un throughput al 100% se describen en la figura 53.

Throughput test					
Frame sizes	Theor.max (fr/s)	Max.rate (fr/s)	Max.rate (%)	Max.rate	Status
64	14,880,952	14,880,952	100.000	8775.363 Mb/s	PASS
128	8,445,946	8,445,946	100.000	8775.363 Mb/s	PASS
256	4,528,985	4,528,985	100.000	8775.363 Mb/s	PASS
512	2,349,624	2,349,624	100.000	8775.363 Mb/s	PASS
1024	1,197,318	1,197,318	100.000	8775.363 Mb/s	PASS
1280	961,538	961,538	100.000	8775.363 Mb/s	PASS
1518	812,743	812,743	100.000	8775.363 Mb/s	PASS

Figura 53. Prueba Troughput al 100%

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

En la figura 54 se insertó un evento para cada una de las longitudes de tramas, el resultado fue una falla debida a la inserción de un encabezado de checksum IPv4 en las tramas. Éste error simula un tráfico IPv4 corrupto.

System recovery test				
Frame sizes	Throughput (%)	Recovery time	Status	
64	100.00	22000 ms	FAIL	
128	100.00	22000 ms	FAIL	
256	100.00	22000 ms	FAIL	
512	100.00	22000 ms	FAIL	
1024	100.00	22000 ms	FAIL	
1280	100.00	22000 ms	FAIL	
1518	100.00	22000 ms	FAIL	

Figura 54. System recovery test con degradación de IPv4 checksum.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

4.2.4 Resultados de las mediciones de degradaciones sobre tráfico óptico dentro del sistema con un evento tipo de inserción de tramas menores a las permitidas.

Se realizaron pruebas de degradación del tráfico Ethernet óptico, con el tráfico sintético generado por el Ether.10Genius. No contiene ningún dato real, de hecho, la carga útil del usuario de las tramas generadas internamente se sustituye por una carga útil de prueba. Muchas veces, las cargas útiles de prueba son mucho más que secuencias de bits ficticios diseñados para reemplazar el tráfico de usuario. Las cargas de prueba pueden contener marcas de tiempo o números de secuencia que determinan qué métricas de prueba están disponibles en los paneles de resultados o que se ejecutarán las pruebas. Por esta razón, la configuración de la carga útil de ensayo adecuado es importante para obtener los resultados requeridos. (Telecom, 2016)

Según, Albedo Telecom SLA es la carga útil para ser utilizado para medir la latencia, pérdida de paquetes y las métricas del SLA derivadas de ella. Para el modo de funcionamiento actual se establece en punto final de Ethernet (Ethernet IP endpoint), la carga útil SLA es un formato del cual ALBEDO Telecom es el propietario. (Telecom, 2016)

Con esto se insertó degradaciones en la carga útil SLA para enviar a través del sistema de tráfico óptico, fotogramas o tramas que no están dentro de la norma y que son mucho más pequeñas de las que normalmente se tienen en la vida real.

Estas degradaciones son insertadas de acuerdo a un intervalo establecido al azar de acuerdo a la configuración que se setea al inicio de la prueba. Así de acuerdo al RFC 2544 se establece que el throughput mínimo sea 90 % para que la prueba de capacidad de canal y de los equipos puedan aprobarla, la velocidad total depende de los fotogramas o carga útil transmitidos, una prueba es válida si supera este 90 %. Si se establece una carga que tenga un 10 % de incidencia al azar, la tasa o la velocidad de transmisión se degradaría al 90 % (Telecom, 2016).

En la tabla 5, se muestran los resultados de las velocidades de transmisión cuando se insertan los distintos eventos en orden ascendente del 1 al 10 %. Para una carga útil de 64 Bytes

Tabla 5. Tabla de resultados con degradaciones y cambios en la velocidad de transmisión.

Índice de degradación (%)	fr/s	bit/s
1	14880953	7619047946
2	14583372	7466757888
3	14434565	7390553600
4	14285795	7314327040
5	14137089	7238189568
6	13988122	7161918464
7	13839181	7085736448
8	13690439	7009532160
9	13541717	6933359104
10	13392919	6857174528
11	13244234	6781047808

Nota: la tabla muestra dos valores, frames y bits por segundo.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

La figura 54 describe el comportamiento de la degradación en orden ascendente desde el 1 % de pérdida de carga útil, hasta el 11 %.

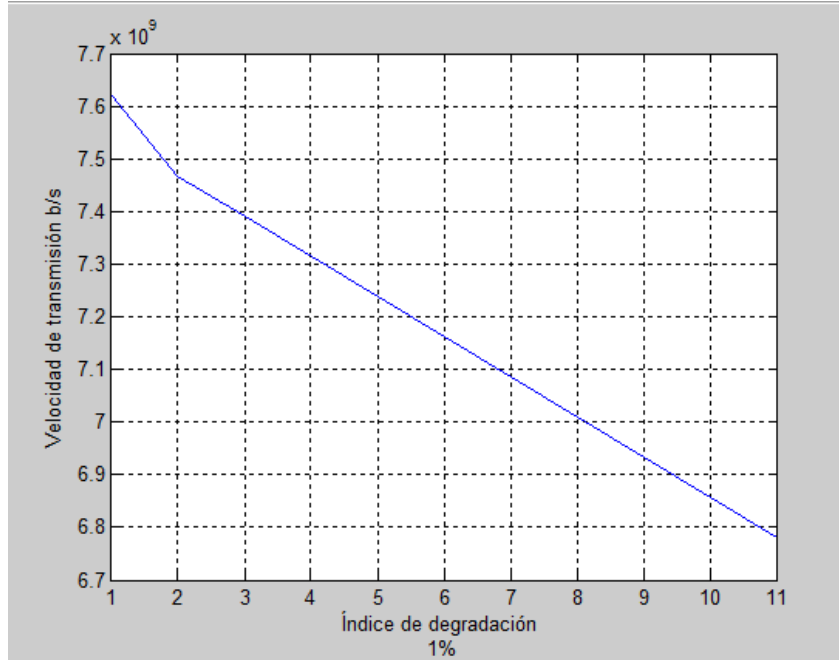


Figura 55. Gráfica del comportamiento de la degradación b/s.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

La prueba de throughput determina el máximo número de frames por segundo que el equipo es capaz de procesar y enviar sin perder ninguna. Los resultados de cómo los efectos de degradación inciden sobre el tráfico Ethernet mostraron que el comportamiento por inserción de eventos es lineal ya que si tenemos una velocidad de transmisión de 7619,0479 Mb/s que es el throughput del 100 % para una trama de 64 bytes, al momento de insertar el evento al 5 %, esta velocidad descenderá un 5 % dando como resultado 7238,1895 Mb/s.

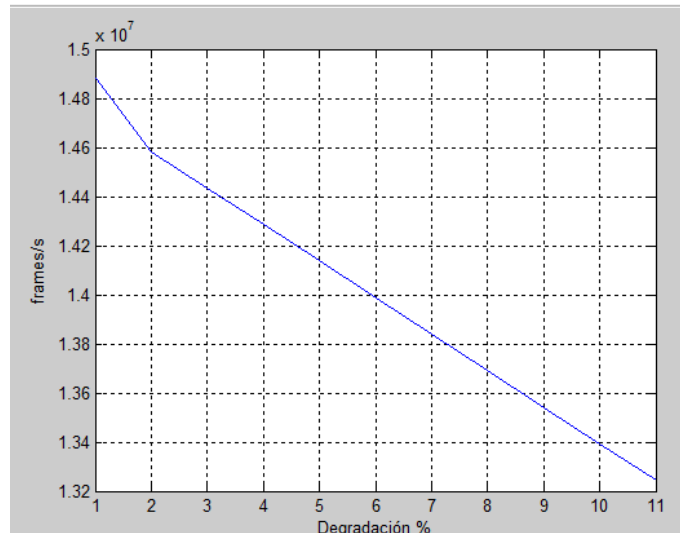


Figura 56. Gráfica del comportamiento de la degradación fr/s.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

Una vez que la velocidad sobrepasa el 10 % la prueba de transmisión falla por la pérdida excesiva de paquetes que superan el límite que establece la norma. A continuación se contrasta la prueba para una carga útil de 256 bytes.

Tabla 6. Tabla de resultados con degradaciones y cambios en la velocidad de transmisión. SLA de 256 bytes.

Índice de degradación (%)	fr/s	bit/s
1	4528986	9275363328
2	4483719	9182656512
3	4438452	9089949696
4	4393185	8997242880
5	4347918	8904536064
6	4302651	8811829248
7	4257384	8719122432
8	4212117	8626415616
9	4166850	8533708800
10	4121583	8441001984
11	4030801	8255080448

Nota: se ve el porcentaje de degradación tanto en frames como en bits por segundo.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

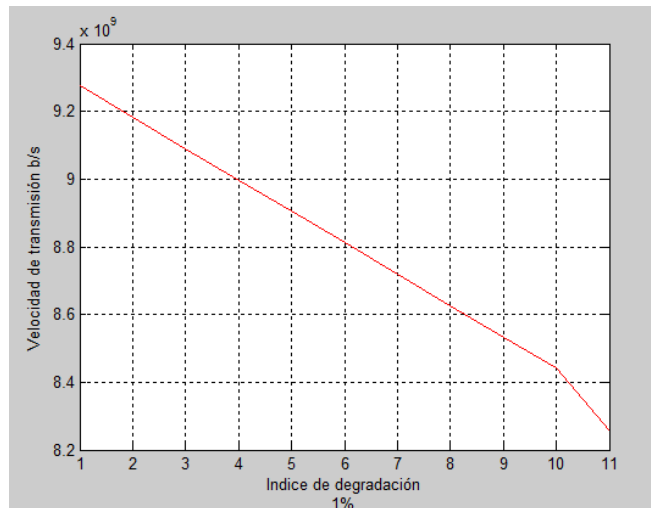


Figura 57. Gráfica del comportamiento de la degradación SLA 256 bytes.

Elaborado por: Jorge L. Calvache E.

Con esto se concluye que el comportamiento para las degradaciones de carga útil inferior a la norma de tráfico óptico es lineal.

Los resultados de cómo los efectos de degradación inciden sobre el tráfico Ethernet óptico sintético mostraron el comportamiento lineal por inserción de eventos de tramas más pequeñas de las permitidas; las pruebas fueron realizadas en intervalos de uno en uno comenzando desde cero hasta llegar al 11 %, que es el máximo permitido por la norma RFC 2544 que establece como mínimo que el 90 % de la transmisión y que todas las tramas lleguen al usuario final. Mostrando que la velocidad de transmisión y las tramas son disminuidas por cada 1 % que se le añade al evento.

4.2.5 Escenario de degradación con la distancia y las atenuaciones que se pueden presentar por empalmes mecánicos, de fusión, o por micro curvaturas.

Dadas estas circunstancias se realizaron las pruebas con el OTDR para determinar la pérdida total del sistema teniendo en cuenta la configuración 1x2 + 1x8, que es la que mayores pérdidas genera con un aproximado de 18,895 dB.

Según el estándar de la IEEE 802.3av, establece mínimos de potencia óptica para la recepción de señal. Las interfaces de operación se denominan como PR 30 (de 10 Gb/s simétricos) y PRX 30 (1 Gb/s – 10 Gb/s asimétrica). (Telecom, 2016)

10G EPON tiene requisitos de pérdida de inserción de los canales más estricta (≤ 29 dB, 20 km, 32 usuarios) para 20 interfaces PR30, (≤ 24 dB, a 30 km, 16 usuarios)

para 10 interfaces PRX30 y (≤ 20 dB, a 30 km, 16 usuarios) para las 10 interfaces PRX30 y PR30.

A fin de aumentar rango de operación de la PR30 y PRX30, el IEEE 802.3av exige una FEC (Forward Error Correction). Estos son códigos con 16 bits de redundancia para cada uno de 239 bits de datos. Cuando se toma el mecanismo de FEC en cuenta, los datos efectivos en la tasa de transmisión de un enlace EPON 10 Gb/s se reduce a aproximadamente 8.7 Gb/s. (Telecom, 2016)

Con esto se establece que para asegurar la transmisión se debe llegar con una potencia igual o mayor a -29 dB, tomando en cuenta esto se estableció la conexión del equipo con transmisores ópticos SFP con un alcance de 40 km y con una potencia inicial de $-2,78$ dBm, a esto se suma a la pérdida del sistema que es 23.986 dB, así como resultado tengo una conexión limpia y aseguro la transmisión completa de toda la información, con un total de -26.766 dBm.

4.2.6 Análisis de los tipos de tráfico Ethernet óptico que soporta el sistema.

El tráfico Ethernet óptico generado por el sistema es sintético, esto quiere decir que no contiene tráfico de usuario real, es un entorno simulado que es una secuencia de bits diseñada por el fabricante del equipo para reemplazar el tráfico real. Al analizar los diferentes tipos de tráfico óptico 10 Mbps, 100 Mbps, 1000 Mbps, 10 Gigabit Ethernet (GbE) se determinó que la carga útil o payload sintético cubre mejor los requerimientos de la norma RFC 2544 pues, ésta carga se usa para medir la latencia, pérdida de paquetes y todas las métricas SLA, mientras que si se elige un payload normal, las pruebas realizadas tienen una penalidad de casi el doble de duración total de la prueba.

4.2.7 Determinación de los tipos de degradación sobre el tráfico Ethernet óptico dentro del sistema.

- Tramas más pequeñas: Este evento se usa para generar tramas más cortas que el tamaño normal que es de 64 bytes. Ésta trama de tamaño más pequeño corrompe el tráfico Ethernet óptico, haciéndolo más lento.
- Suma de comprobación IPv4: Tramas generadas con una dirección IPv4 válida y con una cabecera de comprobación que es errónea, ésta trama de suma de comprobación IP está relacionada con una mala generación de tráfico Ethernet óptico. Produciendo un retardo de transmisión y recepción de paquetes IPv4.

4.2.8 Medición y análisis de los efectos de degradación que se pueden generar con el equipo en el sistema de tráfico óptico.

Tipos de degradaciones que se pueden generar con el equipo en el sistema de tráfico óptico.

Los resultados determinaron dos tipos de degradaciones:

La primera degradación es un evento de inserción de frames acortándolos al tamaño mínimo (64 bytes). La inserción de éste evento permite determinar el límite teórico de la capacidad del canal para cada tamaño de trama, es decir, para un throughput normal con una trama de 256 bytes la velocidad teórica es de 9275363328 b/s, al momento de insertar las tramas corruptas con un tamaño más pequeño la velocidad disminuye de acuerdo al porcentaje del error insertado, es decir, si se inserta un evento al 5%, mi velocidad disminuirá un 5 %, cabe recalcar que el límite del throughput no debe sobrepasar el 90 % según la norma.

La segunda degradación es una inserción de IPv4 checksum que genera una incorrecta cabecera de la trama IP, la cual se ve reflejada en la generación de tráfico Ethernet óptico incorrecto, su inserción es en modo ráfaga de 50 frames por cada vez que se presione la tecla de evento, al momento de insertar el evento la prueba RFC 2544 falla debido a que el tiempo de recuperación llega a su máximo permitido que es 22 ms.

CONCLUSIONES

- La empresa Complementos Electrónicos S.A., apoyó en su totalidad con la implementación física del sistema de tráfico óptico y permitió la construcción e integración de un sistema de tráfico óptico (STO-1) para el Departamento Técnico.
- El sistema de tráfico óptico STO-1 desarrollado fue viable y satisfactorio, ya que se adquirieron los dispositivos necesarios para el desarrollo total del mismo y cumple con los requerimientos que establece la norma RFC 2544 y 10G EPON para la puesta a punto del proyecto.
- El STO-1 realizado brinda a la empresa un sistema óptico didáctico que muestra los componentes de un enlace óptico y a la vez es un equipo de generación de tráfico que permite comprender la tecnología óptica, sus tipos de tráfico y sus degradaciones.
- El tráfico óptico generado por el equipo es sintético, se determinó que es una secuencia de bits diseñada por el fabricante del equipo para reemplazar el tráfico real, ésta carga se usa para medir la latencia, pérdida de paquetes y todas las métricas SLA, mientras que si se elige un payload normal, las pruebas realizadas tienen una penalidad de casi el doble de duración total de la prueba
- Los tipos de tráfico óptico que soporta el sistema STO-1 son: 10 Mbps, 100 Mbps, 1000 Mbps, 10 Gigabit Ethernet (GbE). Se determinó que la carga útil o payload generado por el equipo cubre los requerimientos de la norma RFC 2544.
- Los resultados de cómo los efectos de degradación inciden sobre el tráfico Ethernet mostraron que el comportamiento por inserción de eventos es lineal ya que si tenemos una velocidad de transmisión de 9275,363328 Mb/s [Tabla 6 p58] que es el throughput del 100 % para una trama de 256 bytes, al

momento de insertar el evento al 5 %, esta velocidad descenderá un 5 % dando como resultado 8904,536064 Mb/s.

- Los resultados para una degradación de inserción de tramas corruptas con una cabecera IPv4 incorrecta, determinó que con 50 frames incorrectos la transmisión y recepción se retarda en 22 ms que es el máximo permitido para la prueba según la norma RFC 2544.
- Se determinó que el equipo y sus elementos cumplieron la norma IEEE 802.3av, ya que se realizó la comprobación por medio del balance de potencias del enlace, de conectores y empalmes, determinándose una pérdida de potencia de 23.986 dB en recepción y como se transmite con - 2.78 dBm, se tiene una pérdida en el enlace de aproximadamente 26.766 dBm, (Ver: 4.2.5 Escenario de degradación con la distancia y las atenuaciones que se pueden presentar por empalmes mecánicos, de fusión, o por micro curvaturas p59 y p60) que cumple con lo establecido por la norma IEEE 802.3av que exige como máximo una pérdida de 29 dB.

RECOMENDACIONES

- Antes de iniciar el proceso de configuración del equipo, se debe realizar un preseteo o reseteo inicial para evitar que el equipo presente fallas durante las mediciones.
- Para facilitar al usuario la puesta a punto del equipo se recomienda usar el archivo de configuración llamado STO-1 cada vez que se inicie una nueva prueba.
- Se recomienda conectar el equipo a una fuente de poder ininterrumpida UPS para que éste no dependa de la vida útil de la batería, que en caso de agotarse, estropearía los resultados por una falla de alimentación.
- Se debe tomar en cuenta que los SFP (Small factor Portable) de la interfaz óptica deben encenderse antes de realizar la medición, caso contrario el equipo desplegará un mensaje de error de configuración. (Ver: 3.3 Configuración inicial del equipo.)
- Se debe iniciar una nueva prueba cada vez que se desee hacer una medición de inserción de eventos o degradaciones en el enlace para no tener problemas de confusión en la toma de resultados.
- Los conectores de fibra óptica deben ser limpiados antes de ser insertados en los SFP del equipo, para evitar pérdidas de reflexión por conector.
- Para obtener los archivos de resultados e imágenes es recomendable capturarlos por medio de una conexión de red local y utilizar un software tipo VNC (Computación Virtual en Red). Existen varios programas de software libre que son VNC (RealVNC, TightVNC, UltraVNC, etc) y permiten la comunicación cliente-servidor para tomar el control del equipo remotamente.

REFERENCIAS

- Abellán, J. M. (25 de Junio de 2008). *Wikitel*. Universitat d'Alacant Barcelona España Disponible en: http://wikitel.info/wiki/UA-FTTX_PON
- Bates, R. J. (2012). *Optical Switching and Networking Handbook*. New York: McGraw-Hill Telecom.
- Bradner, S., & McQuaid, J. (Marzo de 1999). *RFC-Editor*. Disponible en: <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2544.txt>
- España., María. Carmen. (2005). *Comunicaciones Ópticas: conceptos esenciales y resolución de ejercicios*. Madrid: Editorial Díaz de Santos,.
- Evolución del estándar 802.11*. (2011). Disponible en: http://guimi.net/monograficos/G-Redes_de_comunicaciones/G-RCnode33.html
- Galeano Corchero, Jesús. (Diciembre de 2009). *DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA RED FTTH. Proyecto de Fin de Carrera*. Madrid, Madrid, España. Disponible en: <http://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/8702>
- Gorshe, S., & Mandin, J. (Enero de 2009). *PMC Sierra*. Disponible en: http://cdn3.assets.sites.launchrocketship.com/744b9cb4-1e4d-4f17-a027-06c2ad939802/files/40ffc9c6-6ff5-49b4-a225-ccc32f279540/pas8011_olt_pas9011_onu_symmetric_10g_evaluation_kit.pdf
- Grosz, D. (2014). *Sistema de Comunicación por Fibra óptica Óptica de Alta Capacidad*. Buenos Aires: Departamento de Física y Matemática. Disponible en: <http://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1LSBNNPQS-Z4S2J9-4JHG/FO.pdf>
- Marchukov, Y. (2011). *Desarrollo de una aplicación gráfica para el diseño de infraestructuras FTTH*". Gandia: Univerasidad de Valencia. Disponible en : <https://riunet.upv.es/handle/10251/13413>
- Noboa, R., Loor, M., & Vargas, G. (Enero de 2011). *Diseño de una red óptica pasiva de acceso para una urbanización ubicada en la vía samborondón*. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/15949>

Rodríguez, A. (2011). *Fibra óptica óptica hoy*. Disponible en: [http://www.fibraopticaoptica.com/tipos-de-pulidos-en-los-conectores-de-fibra óptica-optica/](http://www.fibraopticaoptica.com/tipos-de-pulidos-en-los-conectores-de-fibra-optica-optica/)

Siguiet, T. (2013). *Applications Notes 4G Agilent Technologies*. San Jose, California: McGorninton. Disponible en <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5990-6706EN.pdf>

Telecom, Albedo. (2011). *Ethernet Service Deployment*. Barcelona: Albedo Telecom. Disponible en: www.albedotelecom.com/src/lib/BK-Ethernet.pdf

Usbeck, C. (Mayo 2010). *Ecuador y las Comunicaciones - Una Historia compartida*. Quito-Ecuador Edición 2 Manos Libres.

Velasco, J. (2013). *Cables submarinos, las grandes autopistas de información*. Disponible en: <http://blogthinkbig.com/cables-submarinos-historia/>

ANEXOS

Anexo 1. Glosario

10GE:	10 Gbit/s Ethernet
10G EPON:	PON basado en 10 Gbit/s Ethernet (IEEE 802.3av)
CATV:	Community Access TV
CSMA/CA:	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
CSMA/CD:	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
DSL:	Digital Subscriber Line
EPON:	Ethernet-base PON (IEEE 802.ah)
FCS:	Frame Check Sequence
FTTx:	x= B(business), C(curb), H(home), N(node)
MAC:	Media Access Control
NE:	Network Element
OLT:	Optical Line Terminal
ONT:	Optical Network Terminal
ONU:	Optical Network Unit
PDU:	Protocol Data Unit
PON:	Passive Optical Network
NRZ:	Non-Return to Zero (line code)
RS:	Reed-Solomon (FEC code)
SFP:	Small form-factor pluggable
TDM:	Time Division Multiplexed
TDMA:	Time Division Multiple Access
WDM:	Wave Division Multiplexing

Anexo 2. Hojas técnicas de los equipos.

Albedo Ehter10. Genius

Ethernet Testing	
Interfaces	<ul style="list-style-type: none"> Dual SFP / SFP+ ports, WAN Interface Sublayer (WIS), Dual RJ-45 ports; PoE detection and transparency Autonegotiation: Bit rate at 10, 100, 1000 and 10000 Mbit/s, Disable autonegotiation and direct set up EtherType II (DIX v.2), IEEE 802.3, IEEE 802.1Q, IEEE 802.1ad; IEEE 802.2-LLC1, IEEE 802.3-SNAP; IPv4 (RFC791), IPv6 RFC2460
Generation (8 streams)	<ul style="list-style-type: none"> Traffic generation and analysis features up to 10 Gb/s, equivalent to 15 millions of frames, if frame size is set to 64 bytes. MAC address: Source / Destination, Default / User defined, Single / Range VLAN: Single VLAN support, Q-in-Q stacking, VID, DEI, S-VLAN, C-VLAN, and Priority codepoint Type / Length: Generation/Analysis, Jumbo frames with MTU up to 10 kB Bandwidth Profile: Constant, in bit/s and frames/s, Periodic Burst, in high/low traffic, Ramp, in high/low traffic, Poisson Loopback: L1 to L4 layers, filtering conditions, broadcast and ICMP frames control Layer 1 BER: HF, LF, MF, Long/Short continuous random, PRBS 231-1, A-seed, B-seed, mixed-frequency Layer 2-4: PRBS 211-1, PRBS 215-1, PRBS 220-1, PRBS 223-1, PRBS 231-1 along with their inverted versions, user (32 bits) SLA payload: All zeros; Insertion of TSE: single, rate, random RTD and VF tone generation
Filters for Statistics (up to 8 simultaneously)	<ul style="list-style-type: none"> Ethernet Selection: MAC address, Type/Length, C-VID, S-VID, CoS and Priority with selection mask IPv4 and IPv6 Selection: address, protocol, DSCP, Flow (v6): single value or range. UDP Selection: port: single value or range
Traffic Statistics	<ul style="list-style-type: none"> Top 16 talkers: Sour/Dest MAC / IPv4 / IPv6 addresses, VID (VLAN), C-VID (Q_in_Q), S-VID (MPLS) Ethernet Frame Counts (RFC 2819): VLAN, Q-in-Q, Priority, Control, Pause, BPDUs Tx/Rx Uni-Multi-Broadcast, Errors, Undersized, Oversized, Fragments, Jabbers, Runts, (Late) Collisions, Sizes, MPLS stack length Bandwidth Statistics: (in bit/s, frame/s, %) Rate, Max, Min, Aver, Occupancy, Unicast, Multicast, Broadcast IPv4 & IPv6 counts: (in bit/s, frame/s, %) Unicast, Multicast, Broadcast, Errors, TCP, UDP, ICMP
Results	<ul style="list-style-type: none"> Twisted Cable: MDI/MDI-X status, Open, Cable Length Test, Short, Polarities, Pair Skew. PoE: voltage and current SFP: Presence current interface, Vendor, Part number, Optical power (over compatible SFP) Frame Delay (FD) Y.1563: Min/Max/Med/Mean; Delay Variation (FDV) RFC1889: Peak; Jitter Curr/Max/Min/Mean Frame Loss (FLR) Y.1563, Duplicated: Out-of-Order packets (RFC 5236) Availability: SES and Y.1563 PEU; BER: Count, seconds with errors, Pattern losses, pattern loss seconds
RFC-2544 & Y.1564	<ul style="list-style-type: none"> RFC 2544: Throughput, Latency, Frame Loss, Back-to-back, Recovery eSAM: test up to 8 non-color or 4 color aware services. Configuration: CIR, EIR, max. throughput for each service Tests (CIR, EIR and policing) with FTD, FDV, FLR and availability Performance test with FTD, FDV, FLR and availability results for all services
ICMP	<ul style="list-style-type: none"> RFC 792: IP ping / Traceroute. Generation of ICMP echo request: Dest. IP address, Packet length, Generation interval Analysis of ICMP echo reply: Round trip time, Lost packets, Time-to-Live Exceeded, Port unreachable

SyncE and PTP testing	
Synchronous Ethernet	<ul style="list-style-type: none"> Clock Ref.: recovered; internal (better than ± 2.0 ppm or ± 0.2 ppm); external (10 MHz, 2048/1544 Mb/s, 2048/1544 MHz, 1 pps) Line Analysis: frequency (MHz), offset (ppm), drift (ppm/s) [clause 10]; Offset Generation: ± 125 ppm (0.001 ppm) as per ITU-T 0.174 Wander generation [ITU-T 0.174 section 8.4] and MTIE / TDEV measurement [ITU-T 0.172 clause 10] SyncE Generation / Decoding ESMC and SSM [ITU-T G.8264]
PTP / IEEE 1588(v2)	<ul style="list-style-type: none"> Master & Grandmaster id., Prior 1-2, Class, Accuracy, Variance, Time source, PTPoUDP encapsul, Gen/Ana/Emula; hard-assisted Decoding; Counts: Sync Inter Arrival Delay (IAD) Avg/Curr; Packet Total Delay (PTD): Std Dev/Range; Packet Delay Variation (PDV): Cur/Max/Avg Sync floor delay population: Count (FPC), Rate (FPR), Percent (FPP). Configurable Pass / Fail threshold End-point and Through modes; Frequency offset between the master and the local clock (ppm)

EI & Datacom testing	
Interfaces	<ul style="list-style-type: none"> Port A: Coaxial Pair Impedance: 75 Ohm BNC unbalanced and 120 Ohm RJ-45 balanced Port B: Symmetrical Pair Impedance 120 Ohm RJ-45 balanced Coaxial Pair Impedance: 75 Ohm BNC unbalanced. Analogue voice frequency audio port Additional balanced secondary EI port 0 to -6dB, nominal and PMP -20dB Bit Rate: 2048 Kbit/s \pm 3ppm. Codes: HDB3 / AMI Clock Source: Internal Timing: 2.048 MHz \pm 25000 ppm; External Timing; Recovery from Rx Timing (Loop Timing)
BERT	<ul style="list-style-type: none"> Unframed. PCM31: FAS / FAS+CRC4. PCM30: FAS+CAS / FAS+CRC Standard, non-standard PRBS, and user patterns. Transmit Error Rate Force Single Error: Bit, Frame, CRC, and BPV (Bipolar Violation); Alarms, Errors Count; G.826, G.821, and M.2100
Datacom	<ul style="list-style-type: none"> Smart Serial 26p DTE / DCE ports. DTE, DCE emulation and monitor V.11/X.24, V.24/V.28, V.24/V.35, V.24/V.11 (V.36/RS449), EIA530 and EIA-530A. Codirectional according G.703 Rate: 50, 60 bit/s, 1.2, 2.4, 4.8, 8, 9.6, 16, 19.2, 32, 48, 72, 128, 144, 192, 1544 kbit/ Nx56 kbit/s; Nx64 kbit/s, up to 10 Mbit/s
Jitter & Wander	<ul style="list-style-type: none"> Overpass 0.172: Jitter level, tolerance, transfer and Event detection. 100% digital based generation and analyzer Wander Generation and Measurements (TIE, MTIE, TDEV). Wander results from 20 to 100 000s
Pulse Mask	<ul style="list-style-type: none"> Meets ITU G.703: PASS / FAIL function with Persistent Graphic Display scope Nominal 2.37V for Coaxial Pair 75 Ohm, Nominal 3.00V for Symmetrical Pair 120 Ohm
C37.94	<ul style="list-style-type: none"> Test Rate: N x 64 kbit/s; Frame/Unframed BER; ITU-T G.821: ES, SES, UAS, DM. Results with pass / fail indications Frequency (Hz), Deviation (ppm), Max deviation; Round Trip Delay (ms), One-way Delay synchronized with GPS Event detection and Insertion; Defects: LOC, AIS, LOF, RDI, LSS, All 0, All 1; Anomalies: FAS, TSE, Slip Optical Power Meter

Ergonomics	
Hand-held Instrument	<ul style="list-style-type: none"> Touchscreen 480x272 TFT, Soft LEDs, 223x144x65mm, IP-54; 1 kg, Mouse, USB, Ethernet ports; SNMP, VNC support Rechargeable Batteries continuous working up to 24 hs; Operating 0°C ~ 50° C Storage -20°C ~ 70°C;



ALBEDO
Telecom
in Test we trust

Specifications

AQ7280

AQ7280 OTDR Mainframe

Items	Specifications	
Display ¹	8.4-inch color TFT LCD (Resolution: 800 × 600, Multi-touch capacitive touchscreen)	
Electrical interface	Unit interface × 1, Module interface × 1, USB 2.0 × 3 (TYPE A × 2, TYPE B (mini) × 1) ² , Ethernet (10/100BASE-T, Option) × 1, SD card slot × 1	
Remote control	USB TYPE B (mini), Ethernet (TCP/IP)	
Data storage	Storage	Internal storage: ≥1000 waveforms, External storage: USB memory, SD card
	File format	Write: SOR, CSV, SET, BMP, JPG, CFG, PDF, Read: SOR, SET
Dimensions	Approx. 287 mm (W) × 210 mm (H) × 80 mm (D) (excluding projections)	
Weight	Approx. 2.2 kg (including internal battery and protectors, excluding OTDR unit and options)	
OTDR functions	Minimum readout resolution	Horizontal axis: 1 cm, Vertical axis: 0.001 dB
	Group refractive index	1.30000 to 1.79999 (in 0.00001 steps)
	Distance unit	km, mile, kf
	Measurement	Distance, Loss, Return loss, and Return loss between two arbitrary points
	Analysis	Multi Trace Analysis, Two-Way Trace Analysis, Difference Trace Analysis, Section Analysis, Macro Bending Analysis
	Other functions	Multi Fiber Project, Fault Locator, Work Completion Notice, File report, Auto event search, Pass/Fail judgment, Schedule Measurement (Option), Smart Mapper (Option)

10

¹ The LCD may contain some pixels that are always ON or OFF (0.002% or fewer of all displayed pixels including RGB), but this is not indicative of a general malfunction.
² USB TYPE A is for external memory, external printer, and fiber inspection probe. USB TYPE B (mini) is for remote control and internal storage access with a PC.

OTDR units

Items	Specifications			
Model	AQ7282A	AQ7283A	AQ7284A	AQ7285A
Wavelength (nm)	1310 ±25/1550 ±25			
Number of optical port	1			
Applicable fiber	SM (ITU-T G.652)			
Distance range (km)	0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200, 300, 400, 512			
Pulse width (ns)	3, 10, 20, 30, 50, 100, 200, 300, 500, 1000, 2000, 5000, 10000, 20000			
Sampling resolution	Min. 2 cm			
Number of sampling points	Max. 256000			
Distance measurement accuracy	±(0.75 m + Measurement distance × 2 × 10 ⁻⁵ + Sampling resolution)			
Event dead zone ³ (m)	0.6			0.5
Attenuation dead zone ⁴ (m)	3.5/4			
Dynamic range ⁵ (dB)	38/36	42/40	46/45	50/50
Loss measurement accuracy ⁶	±0.03 dB/1B			
Return loss measurement accuracy	±2 dB			
Optical connector	Universal Adapter SC, FC, LC, and SC Angled-PC			
Laser class	Class 1M		Class 1M (1550 nm), Class 3R (1310 nm)	
Maximum optical pulse output power	-			
Dimensions	Approx. 211 mm (W) × 110 mm (H) × 32 mm (D) (excluding projections)			
Weight	Approx. 420 g			

Items	Specifications				
Model	AQ7283F	AQ7283H	AQ7284H	AQ7283K	AQ7282M
Wavelength (nm)	1310 ±25/1550 ±25, 1650 ±5 ⁹ ±10 ⁷	1310 ±25/1550 ±25/1625 ±25		1310 ±25/1490 ±25 /1550 ±25/1625 ±25	850 ±30/1300 ±30
Number of optical port	2 (Port 2: 1650 nm with filter)		1		
Applicable fiber	SM (ITU-T G.652)				GI50, GI62.5
Distance range (km)	0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200, 300, 400, 512				0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100
Pulse width (ns)	3, 10, 20, 30, 50, 100, 200, 300, 500, 1000, 2000, 5000, 10000, 20000				3, 10, 20, 30, 50, 100, 200, 300, 500, 1000, 2000 ⁹ , 5000 ⁹
Sampling resolution	Min. 2 cm				
Number of sampling points	Max. 256000				
Distance measurement accuracy	±(0.75 m + Measurement distance × 2 × 10 ⁻⁵ + Sampling resolution)				
Event dead zone ³ (m)	0.6				0.6 ¹⁰
Attenuation dead zone ⁴ (m)	3.5/4, 4	3.5/4/4		3.5/4/4/4	4/5 ¹⁰
Dynamic range ⁵ (dB)	42/40, 40	42/40/39	46/45/44	42/38/40/40	25/27 ¹¹
Loss measurement accuracy ⁶	±0.03 dB/1B				
Return loss measurement accuracy	±2 dB				
Optical connector	Universal Adapter SC, FC, LC, and SC Angled-PC				Universal Adapter SC, FC, LC
Laser class	Class 1M		Class 1M (1550/1625 nm), Class 3R (1310 nm)	Class 1M (1490/1550/1625 nm), Class 3R (1310 nm)	Class 1M (1300 nm), Class 3R (850 nm)
Maximum optical pulse output power	≤+15 dBm (1650 nm)		-		
Dimensions	Approx. 211 mm (W) × 110 mm (H) × 32 mm (D) (excluding projections)				
Weight	Approx. 420 g				