



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Propuesta de actividades
experimentales para la medición de la
calidad de la información en un enlace
óptico SMF sobre redes en banda base
PON/FTTH mediante el paradigma eye
diagram**

MATERIAL DIDÁCTICO

Que para obtener el título de

Ingeniera en Telecomunicaciones

P R E S E N T A

ANA PAULA CASILLAS MERINO



ASESOR DE MATERIAL DIDÁCTICO

M. I. CHRISTIAN HERNÁNDEZ SANTIAGO

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2024

Agradecimientos

El haber llegado hasta aquí no representa, de ninguna manera, un esfuerzo individual. Solo podría ser posible gracias a todas las personas que han formado parte de mi vida. Agradezco con todo mi corazón cada recuerdo y todas las lecciones que he aprendido en este camino. Sino hubiera sido por cada gran o pequeña acción, no estaría aquí.

A mi mamá, Lucia Merino Garcés, por ser mi ejemplo de perseverancia, resiliencia y amor, por ayudarme de todas las formas posibles a seguir adelante. A mis abuelos, Lucia Garcés Guzmán y Joaquín Merino Pérez, por demostrarme que el amor y la empatía es la fuerza fundamental para vivir y estar a mi lado siempre. A mi hermano, Miguel Ángel Casillas Merino, por enseñarme tantas cosas y salir adelante conmigo a pesar de todo. A Armando Pérez Mejía, por decirme las palabras correctas en el momento crucial y ayudarme a no rendirme nunca. A mis tíos, Mónica y Gerardo Merino. A mis primos Romina y José. Los quiero mucho.

A Karina Maldonado Hernández por estar siempre a mi lado, ayudarme en los momentos más adversos y enseñarme sobre el amor incondicional. A Karla Pérez y Julieta Ortiz por todos estos años de apoyo y cariño. A mis amigos de la facultad, compartimos tantos momentos que se quedarán en mi memoria por siempre: Daniela, Mariana, Lenia, Noelia, Lili, Miguel, Heri, Erik, Sebas, Iván. Gracias a Alan por ayudarme tanto durante el desarrollo de este trabajo.

Gracias a mi universidad. Gracias a todo el Departamento de Telecomunicaciones, cada uno de los académicos que forman parte de él me ayudaron y me inspiraron. Aprendí a querer mi carrera y mi futura profesión. Gracias a la Ing. Margarita Bautista González por darme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente en este lugar.

Especialmente a mi asesor, el M.I. Christian Hernández Santiago. Gracias por creer en mí y por ayudarme a completar este camino. Este trabajo no hubiera sido posible sin usted.

A mis sinodales: Dr. Oleksandr Martynyuk, Dr. Victor Rangel Licea, Dra. Elizabeth Fonseca Chávez y M.I. Mónica López Coyote. Gracias por aceptar ser mi jurado y ayudarme con sus valiosos comentarios. Gracias al Dr. Rangel por proporcionar el material esencial para el desarrollo de este trabajo.

Gracias a mis compañeros de servicio social OPTICOM. Aprendí mucho a su lado y guardaré todos los buenos recuerdos en mi corazón. Fueron una parte importante para desarrollar este trabajo.

¿Dónde está la memoria de los días
que fueron tuyos en la tierra, y tejieron
dicha y dolor y fueron para ti el universo?

El río numerable de los años
los ha perdido; eres una palabra en un índice.

Dieron a otros gloria interminable los dioses,
inscripciones y exergos y monumentos y puntuales
historiadores;
de ti sólo sabemos, oscuro amigo,
que oíste al rui señor, una tarde.

Entre los asfodelos de la sombra, tu vana sombra
pensará que los dioses han sido avaros.

Pero los días son una red de triviales miserias,
¿y habrá suerte mejor que ser la ceniza,
de que está hecho el olvido?

Sobre otros arrojaron los dioses
la inexorable luz de la gloria, que mira las entrañas y
enumera las grietas,
de la gloria, que acaba por ajar la rosa que venera;
contigo fueron más piadosos, hermano.

En el éxtasis de un atardecer que no será una noche,
oyes la voz del rui señor de Teócrito.

A un poeta menor de la antología.
Jorge Luis Borges. Antología personal (1961).

Índice

Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1. Objetivo General	1
1.2. Objetivos Particulares	1
1.3. Definición del problema.....	1
1.4. Metodología	4
Capítulo 2. Estado del arte	6
Introducción	6
2.1. Tecnología PON/FTTH	6
2.1.1. Arquitectura de redes ópticas	6
2.2. Modelo OSI.....	9
2.3. Transceptores ópticos	12
2.4. Diagrama de ojo	13
¿Cómo se forma un diagrama de ojo?.....	15
Triggering.....	16
Histograma	17
Mediciones típicas de un diagrama de ojo	17
Cálculo del factor de calidad Q.....	25
Aplicaciones típicas.....	26
Capítulo 3. Experimentación, propuesta e implementación del protocolo de la práctica.	28
Introducción	28
3.1. Desarrollo de experimentos propuestos	28
3.1.1. Configuración de los elementos de la red	29

3.1.2. Analizador de señales ópticas HP 83475B.....	33
3.2. Conclusiones	48
Capítulo 4: Conclusiones generales	49
Anexo A: Protocolo de la práctica.....	51
Anexo B: Aspectos generales de los instrumentos utilizados	61
Anexo C: Tabla de mediciones realizadas en el enlace punto a punto con convertidores opto-eléctricos (solo splitter)	66
Anexo D: Tabla de mediciones realizadas en el enlace punto a punto con convertidores opto-eléctricos (bobina 700 m).....	68
Anexo E: Análisis estadísticos de datos	70
Anexo F: Script en Matlab para el análisis estadístico de los datos recopilados	72
Anexo G: Scripts en Python con generación de secuencia pseudoaleatoria de información	73
Anexo H: Cotización del Osciloscopio de Alto Performance RTP	74
Referencias	75

Capítulo 1. Introducción

1.1. Objetivo General

Definir un protocolo para una práctica de redes PON/FTTH para que el alumno aplique los fundamentos básicos de las redes ópticas punto a punto para cuantificar la calidad de la información, por medio de diagramas de ojo, utilizando un enlace óptico en banda base.

1.2. Objetivos Particulares

- Planteamiento de una red de oficina de fibra óptica que conecte dos puntos utilizando switches ópticos, transeptores ópticos, convertidores de señales óptico-eléctricas y fibra monomodo.
- Aplicación de los fundamentos del análisis de las señales digitales para examinar diagramas de ojo.
- Desarrollar un protocolo de práctica para el manual del laboratorio de Sistemas de Comunicaciones Ópticas.

1.3. Definición del problema

El presente trabajo plantea un protocolo de práctica dirigido al estudio de la técnica de diagrama de ojo para evaluar de manera rápida la calidad de una señal digital. La primera parte del trabajo se encarga de introducir definiciones y aspectos técnicos fundamentales para comprender la importancia de esta herramienta en el área de las comunicaciones ópticas. Posteriormente se propone el protocolo de práctica tomando en cuenta la infraestructura con la que se cuenta el laboratorio.

Para el desarrollo de este trabajo, se tomó en cuenta que en el Laboratorio de Sistemas de Comunicaciones Ópticas de la Facultad de Ingeniería se cuenta con el siguiente esquema de prácticas:

1. Guías de onda ópticas y refracción de la luz.
2. Introducción a los elementos básicos para conexiones punto a punto en sistemas de comunicaciones ópticas.

3. Preparación de fibras ópticas para una conexión.
4. Inspección y limpieza de conectores.
5. Empalme de fibras ópticas por fusión de arco eléctrico.
6. Medición de la atenuación por el método de retroesparcimiento (OTDR).
7. Medición de la atenuación de un enlace óptico por medio de OTDR.

Analizando el alcance que se tiene con estas prácticas, así también tomando en cuenta los instrumentos disponibles en el laboratorio, se llegó a la conclusión de que los alumnos podrían aprender otra técnica para caracterizar la calidad de fibra óptica como medio de transmisión; para esto se analizaron, con la técnica de diagrama de ojo, las señales digitales ópticas que hay entre switches ópticos y convertidores de señales óptico-eléctricas, dos tipos de dispositivos que son esenciales como elementos de redes de alta velocidad, para largas distancias y que se espera que su conexión tenga una confiabilidad plena, ya que estas redes deben de ser capaces de soportar demandas de tráfico altas como las de la actualidad y futuras.

Es importante mencionar que, anteriormente, en el esquema de prácticas se tenía incorporada una práctica donde se calculaba el ensanchamiento de pulsos utilizando fuentes sin envío real de información. Las actividades propuestas en este trabajo permiten medir el ensanchamiento de los pulsos con un nuevo paradigma que está mejor relacionado con las actividades de campo, pues permite medir ancho de bits, ya no solo de pulsos.

Otro aspecto relevante que se consideró para este trabajo es la transversalidad que se tiene con materias que se encuentran en el actual plan de estudios de la licenciatura de Ingeniería en Telecomunicaciones (2023). Particularmente conceptos que se estudian en las materias de Fundamentos de Sistemas de Comunicaciones y Comunicaciones digitales se utilizan para las interpretaciones de los niveles de la relación señal ruido y del BER a partir de los datos medidos con el analizador de comunicaciones ópticas. También para la comunicación que existe entre los dos puntos de la red implementada, ya sea utilizando los switches o los convertidores, fue necesario tomar en cuenta conceptos vistos en las materias de Redes de Telecomunicaciones y Tecnologías e Interconexión de redes, siendo la implementación del Modelo OSI en el diseño de la infraestructura a nivel hardware como software el punto más relevante.

En el contexto actual de las telecomunicaciones, relativo a nuestro país México, en el primer semestre del 2022 había más de 9 millones de hogares conectados a internet a través de la fibra óptica [1]. Este número es importante para nuestro contexto como estudiantes de Ingeniería en Telecomunicaciones, ya que es esencial que contemos con el conocimiento teórico y técnico para diseñar, implementar y mantener redes de fibra óptica, que, por su naturaleza, es el medio predilecto para transmitir las enormes cantidades de información que viajan cada segundo entre hogares, ciudades y hasta continentes.

Delimitando este problema, para las redes ópticas de alta velocidad, el área de calidad de la información utiliza técnicas como el análisis de diagramas de ojo para evaluar la calidad de la señal lo que permite diagnosticar y corregir problemas a nivel capa física. Esto es vital para el mantenimiento y la optimización continua de la red óptica, asegurando que la infraestructura de comunicaciones pueda adaptarse a las crecientes demandas de ancho de banda y velocidad.

Para toda la infraestructura de las comunicaciones por fibra óptica se pueden identificar tres áreas clave en las cuales los diagramas de ojo son una herramienta para hacer las pruebas de la calidad de la comunicación: transmisores, canales y receptores. Para los transmisores, se examina la calidad de la señal emitida, asegurando que cumpla con los estándares de máscara de ojo para evitar errores de transmisión. En los canales, se evalúa cómo las distorsiones o el ruido afectan la señal durante su transmisión. Finalmente, para los receptores, se verifica la precisión en la interpretación de la señal recibida, crucial para la integridad de la comunicación [2]. Este trabajo tendrá un enfoque a que los alumnos hagan las pruebas de calidad para el canal.

En campo las comunicaciones ópticas, los diagramas de ojo se utilizan para evaluar la calidad de la señal óptica en sistemas como FTTH/PON. Al ser una herramienta gráfica ayuda a identificar problemas de sincronización, interferencia y ruido al visualizar la apertura del ojo. También es importante mencionar que los diagramas de ojo son utilizados en pruebas de transceptores ópticos, ya que estos deben cumplir con los Acuerdos de Múltiples Fuentes (Multi-Source Agreements - MSAs) que dictan especificaciones de rendimiento. Estos estándares aseguran la interoperabilidad y la calidad entre dispositivos de diferentes fabricantes. Si el patrón de ojo de un transceptor se ajusta a los estándares especificados por el MSA, el dispositivo se considera apto para su uso en entornos de comunicaciones críticos [3].

1.4. Metodología

En este informe de desarrollo de material didáctico se utilizaron métodos de investigación cualitativos, lo que llevó a centrarse en la comprensión profunda y detallada de un diagrama de ojo, así como de los elementos que componen las redes que se implementaron para poder medir la calidad de la transmisión. En cuanto a métodos cuantitativos, estos se utilizaron para la medición y el análisis estadístico de los datos obtenidos en los experimentos propuestos.

Como primera etapa se seleccionaron tres tipos de componentes para representar los puntos del enlace óptico: un par de Alcatel-Lucent OmniSwitch que se conectan por medio de transceptores ópticos CISCO SFP-10G-LR y un par de convertidores de señales óptico-eléctricas HTB-3100 netLINK 10/100M WDM monomodo. Para la conexión de los dos puntos, se utilizó fibra monomodo G.652, mientras que para la generación y análisis de los diagramas de ojo se empleó un analizador de señales ópticas HP modelo 83475B.

La implementación de la red comenzó con el establecimiento de la conexión física entre los puntos designados, siguiendo el esquema de red propuesto y utilizando los componentes seleccionados. Posteriormente, se configuraron las computadoras, switches y convertidores ópticos para habilitar la comunicación. Este proceso incluyó revisar el modelo OSI, comenzando con la capa de enlace de datos, donde se estableció la conexión entre los puntos utilizando los protocolos ARP y Ethernet. A continuación, en la capa de red, se definieron las direcciones IP de las computadoras. En la capa de transporte, se configuraron las direcciones IP y los puertos, implementando los protocolos necesarios y estableciendo los sockets como puntos finales de la comunicación. Las últimas tres capas del modelo OSI (sesión, presentación y aplicación) se abordaron mediante un programa sencillo escrito en Python. Este programa facilitó la comunicación entre un servidor y un cliente, permitiendo observar cómo los mensajes enviados por el cliente llegaban al servidor.

Para llevar a cabo las pruebas y mediciones, se utilizaron dos diferentes dispositivos. Inicialmente, se configuró el analizador respecto a las tasas de transmisión y potencia, y luego los parámetros medidos se procesaron estadísticamente en Matlab. Los resultados obtenidos se analizaron para evaluar la calidad de la señal y la efectividad de la red implementada, así como de los componentes utilizados.

A partir de los resultados obtenidos en los pasos anteriores, se propuso un protocolo de práctica. Este protocolo permitirá a los alumnos del laboratorio de Sistemas de Comunicaciones Ópticas manipular el equipo necesario y analizar un diagrama de ojo.

Capítulo 2. Estado del arte

Introducción

La creciente demanda de servicios integrados que combinan voz, datos y video (triple-play) y la adición de servicios móviles (quad-play) suponen un camino al entendimiento e implementación de tecnologías como GPON (Gigabit Passive Optical Network) y FTTH (Fiber To The Home) para los estudiantes del área de telecomunicaciones. La relevancia para esta área de estudio tiene un punto pivote en la transición de las redes basadas en cobre a redes de fibra óptica, las cuáles ofrecen mayores velocidades, ancho de banda y fiabilidad para el usuario.

La infraestructura con la que se cuenta en el laboratorio está enfocada a la tecnología óptica: los Gigabit Ethernet LAN Switch, los transeptores ópticos, los convertidores de señales óptico-eléctricas y las bobinas de fibra monomodo. Por lo que el planteamiento de este trabajo será experimentar con una de las áreas particulares de la tecnología FTTH; en la definición de esta arquitectura de redes de fibra óptica, GPON es una implementación particular que hace posible la transmisión de datos a muy altas velocidades a través de cables de fibra óptica. Así también, GPON tiene una relación de división de hasta 1:64 en una sola fibra, lo que permite a los proveedores de servicios ofrecer conexión a 64 usuarios finales con una única línea de fibra, maximizando la eficiencia y reduciendo los costos. [4]

2.1. Tecnología PON/FTTH

2.1.1. *Arquitectura de redes ópticas*

Las definiciones de esta sección fueron recuperadas del documento de la ITU-T titulado “Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics”.

La sección óptica de una red de acceso local (LAN) puede ser [5]:

- Punto a Punto (Point-to-Point): una conexión óptica punto a punto puede variar en longitud desde unos pocos kilómetros hasta más de 10,000 km, como es el caso de los sistemas de luz bajo el mar más largos. La velocidad de operación por longitud de onda en estas conexiones típicamente oscila entre 10 Gb/s y 100 Gb/s. [10]

- Activa (Active Optical Network): en esta red cada usuario tiene su propia línea de fibra óptica que se conecta a un concentrador óptico. Esta configuración permite una conexión directa y dedicada para cada usuario.
- Pasiva (Passive Optical Network): La red PON utiliza divisores ópticos pasivos para separar y dirigir las señales ópticas, permitiendo que una única fibra óptica atienda a múltiples suscriptores. Esto elimina la necesidad de desplegar fibras individuales entre el centro de distribución y los usuarios finales.

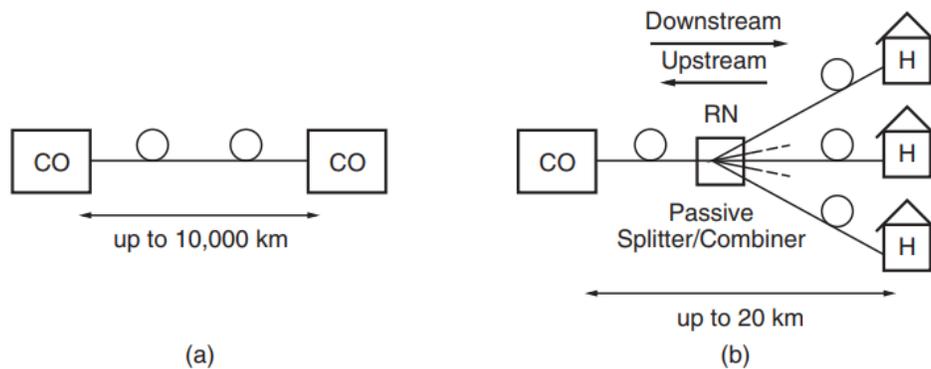


Figura 1. (a) Conexión punto a punto (b) Conexión punto a multipunto (PON) [10].

A partir de estas categorías se ramifican las estructuras que conectan a la interfaz red/usuario (UNI) desde una unidad de red (NT), que puede ser óptica (ONT), hasta la terminación de línea óptica (OLT) que es la interfaz de nodo de servicio (SNI):

- FTTH: fibra que llega hasta el hogar/usuario final.
- FTTB: fibra que llega hasta el edificio/calle.
- FTTCab: fibra que llega al gabinete que aloja los equipos.

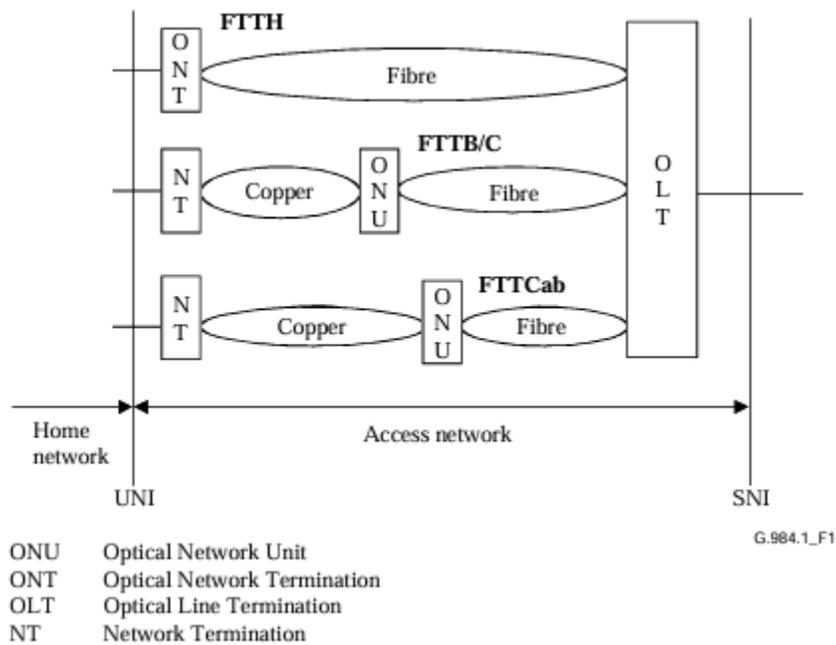


Figura 2. Arquitectura de red.[5]

Para el contexto de la arquitectura FTTH, los servicios que deben de proporcionarse son:

- Servicios de banda ancha asimétricos: servicios de transmisión digital, video bajo demanda (VOD), descarga de archivos, etc.
- Servicios de banda ancha simétricos: transmisión de contenido, correo electrónico, intercambio de archivos, educación a distancia, telemedicina, juegos en línea, etc.
- POTS e ISDN: La red de acceso debe ser capaz de proporcionar, de manera flexible, servicios telefónicos de banda estrecha o señal analógica convencional. Así como un sistema de red telefónica con conmutación de circuitos que transmita datos y voz a través de una línea digital

Se prevé que el mercado de la tecnología GPON crezca significativamente, con un aumento estimado de USD 25,219.18 millones y una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 21.42% entre 2023 y 2028. [4]

2.2. Modelo OSI

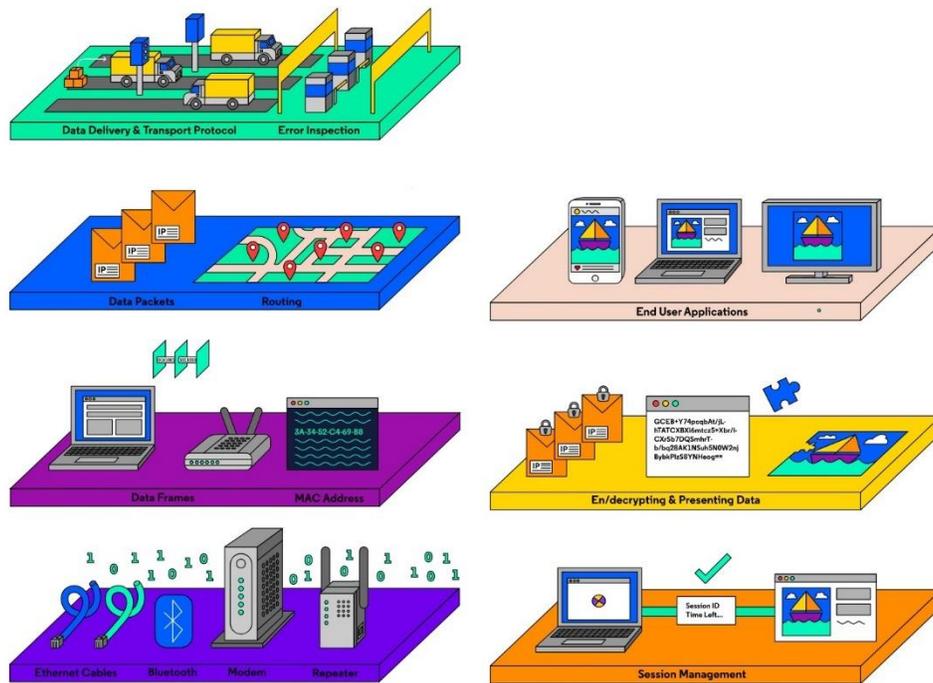


Figura 3. Representación gráfica del modelo OSI. De abajo hacia arriba, la columna izquierda representa las primeras cuatro capas, la columna derecha las últimas tres capas. [15]

A pesar de que un diagrama de ojo solo es relevante para analizar la calidad de la capa física, es importante retomar el concepto del modelo OSI ya que al implementar una red en la parte de experimentación fue necesario conocer todos los conceptos y elementos que forman parte de esta.

Las definiciones de cada una de las capas de este modelo fueron recuperadas del libro “Guide to OSI and TCP/IP Models” del autor Alani. M. [6]

Capa física (Capa 1)

La primera capa se encarga de la transmisión de datos en forma de bits – que estos serán analizados en el diagrama de ojo - a través de un medio físico, como cables de cobre, fibra óptica o señales inalámbricas. Su función principal es proporcionar un enlace de comunicación sin errores, activando, manteniendo y desactivando conexiones físicas según sea necesario. Además, esta capa establece las especificaciones necesarias en términos eléctricos, mecánicos, de procedimiento y de

interfaz para conectar dispositivos de red, asegurando que los bits se transmitan en el orden correcto.

Capa de Enlace de Datos (Capa 2)

Se encarga de manejar la transferencia de datos entre dos nodos directamente conectados, empaquetando bits en tramas y proporcionando corrección de errores detectados en la capa física. Esta capa asegura una transmisión libre de errores a través de mecanismos de control de flujo y secuencia, además de gestionar la interconexión de circuitos de datos y retransmisión de datos en caso de fallos. También se encarga de identificar y gestionar los parámetros de comunicación entre los dispositivos.

Para la red implementada se utilizó el protocolo de Ethernet. Es un protocolo común para redes LAN cableadas, y más importante, es el protocolo que se maneja para los Alcatel-Lucent OmniSwitch y los convertidores de señales óptico-eléctricas HTB-3100 netLINK 10/100M WDM monomodo. [15]

Capa de Red (Capa 3)

Es responsable del enrutamiento de datos entre redes diferentes, utilizando direcciones lógicas para identificar los dispositivos finales. Se encarga de determinar la ruta más eficiente para los datos desde el origen hasta el destino, manejando la fragmentación de paquetes si es necesario para adaptarse a las distintas tecnologías de enlace de datos en uso.

Capa de Transporte (Capa 4)

Proporciona una transferencia de datos confiable de extremo a extremo entre los dispositivos. Divide los mensajes de datos en segmentos y los reensambla en el destino, manejando la corrección de errores y la retransmisión de datos perdidos. También controla la secuencia y el flujo de datos, garantizando que los segmentos lleguen en el orden correcto y a la velocidad adecuada para evitar la congestión de la red.

Para realizar las funciones como el establecimiento de conexiones, control de flujo, segmentación y reensamblaje de datos, y detección y corrección de errores, en esta capa del modelo se implementa el protocolo de control de transmisión (Transmisión Control Protocol). TCP garantiza

que los datos lleguen en el orden correcto y sin errores mediante el proceso de "Three-Way Handshake". [15]

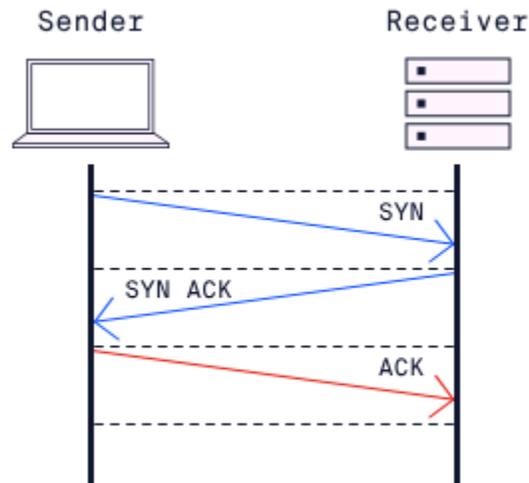


Figura 4. Esquema de establecimiento de conexión por negociación de 3 pasos. [15]

Capa de Sesión (Capa 5)

Gestiona las sesiones de comunicación entre aplicaciones, estableciendo, manteniendo y terminando sesiones según sea necesario. Controla el diálogo entre las aplicaciones, administrando quién puede transmitir datos en un momento dado y sincronizando la transferencia en entornos donde se requiere la coordinación de múltiples flujos de datos simultáneos.

Capa de Presentación (Capa 6)

La capa de presentación se encarga de la traducción, cifrado y compresión de los datos, asegurando que la información enviada desde la aplicación de un dispositivo sea comprensible para la aplicación del dispositivo receptor. Esta capa negocia el formato de los datos al inicio de la comunicación y puede realizar transformaciones adicionales como la conversión de caracteres y la estructura de datos, adaptando la presentación de los datos según las necesidades de la aplicación y del protocolo de comunicación.

Capa de Aplicación (Capa 7)

Es la capa más cercana al usuario final y proporciona servicios de red directamente a las aplicaciones.

2.3. Transceptores ópticos

Uno de los principales motivos para utilizar interconexiones ópticas es su capacidad para proporcionar una transmisión de datos de muy alto rendimiento, superando las velocidades que se pueden alcanzar con transmisiones eléctricas. Esto es de suma importancia en aplicaciones donde se requieren grandes volúmenes de datos y una rápida transmisión, como en centros de datos, telecomunicaciones y tecnologías de la información. Para lograr una interconexión eficiente y de alta velocidad, los componentes como transceptores y conectores ópticos deben integrarse en la red. [7]

Los transceptores ópticos están diseñados para convertir señales eléctricas en señales ópticas y viceversa, permitiendo la transmisión de datos a alta velocidad y a larga distancia a través de cables de fibra óptica.

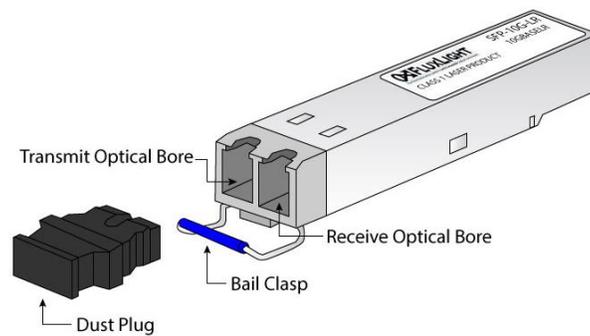


Figura 5. Transceptor óptico SFP. [18]

Estos módulos típicamente contienen un diodo láser o un diodo emisor de luz (LED) para la transmisión y un fotodiodo o diodo de avalancha (APD) para la recepción, además de circuitos para manejar estos componentes y procesar las señales recibidas. [7]

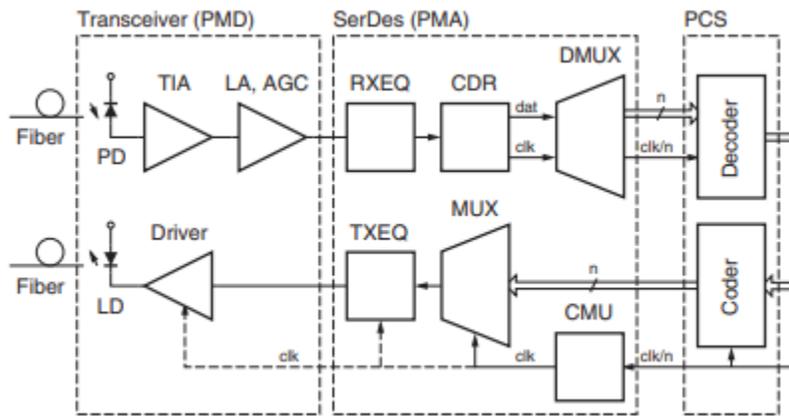


Figura 6. Diagrama de bloques de un transceptor óptico. [10]

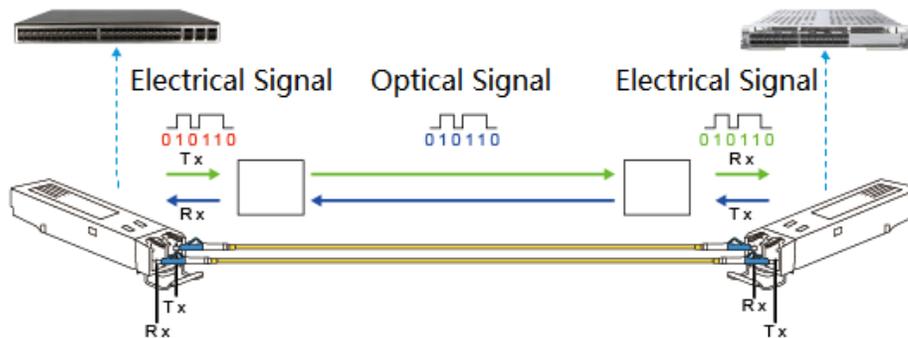


Figura 7. Conexión y conversión de la señal eléctrica a óptica. [19]

2.4. Diagrama de ojo

Un diagrama de ojo es una herramienta para evaluar la calidad de las señales digitales, especialmente señales de redes de alta velocidad las cuales trabajan en frecuencias de transmisión en el orden de giga hercios. A nivel capa física, existen una serie de variables que pueden ser perjudiciales para la integridad del medio de transmisión – la fibra óptica siendo el punto focal de este trabajo de investigación -, que afecta a mayor o menor medida la transmisión de datos. La capa física puede contribuir al deterioro de la señal con los siguientes efectos [8]:

Atenuación: reduce la amplitud de la señal, lo que puede llevar a una reducción de la apertura vertical del ojo. Si la señal se atenúa significativamente, el margen entre los niveles de señal lógicos puede disminuir, aumentando la probabilidad de errores en la detección de bits.

Dispersión: ya sea cromática como por modo de polarización, puede causar un ensanchamiento de los pulsos de la señal, lo que resulta en un solapamiento de los bits adyacentes. Esto se observa como una reducción en la apertura horizontal del ojo y puede conducir a un aumento en la tasa de error de bits, ya que dificulta la correcta detección del tiempo de muestreo.

Ruido: este efecto introduce variabilidad en la amplitud y la fase de la señal, lo que puede causar una disminución en la claridad y definición del diagrama de ojo. Esto se manifiesta en un borde más borroso y una posible superposición de los niveles de señal, complicando la distinción entre los valores lógicos 0 y 1.

Reflexiones: son causadas por imperfecciones o discontinuidades en el medio de transmisión óptico, como los empalmes y conectores. Estas reflexiones pueden crear interferencias que se superponen con la señal original, causando distorsiones y posiblemente duplicaciones o sombras en el diagrama de ojo, lo que puede llevar a una interpretación errónea de la señal.

Efectos no lineales: cuando la intensidad de la luz dentro de la fibra es lo suficientemente alta puede causar una modificación en las propiedades del medio de transmisión, lo que afecta la propagación de la señal. Este efecto es relevante en implementaciones del medio en redes de alta velocidad.

Los diagramas de ojo son especialmente útiles para poder detectar problemas en la capa física como la calidad del canal. Estos diagramas no son capaces de identificar errores en el contenido de los mensajes, como confundir un dato enviado como "1" cuando en realidad debería ser un "0". Sin embargo, sí pueden mostrar si un "1" lógico se altera tanto durante su transmisión que al llegar al receptor parece un "0", debido a los diferentes defectos físicos del canal que derivan en distorsión.

Para evaluar un diagrama de ojo, se analizan varios aspectos técnicos como el tiempo que tarda la señal en subir y bajar, las variaciones temporales pequeñas en los puntos donde la señal debería estar estable (jitter), y otros excesos o defectos en la forma en que la señal alcanza sus valores máximos y mínimos. Cada uno de los parámetros que se pueden obtener con el analizador HP 83475B serán definidos en este documento.

¿Cómo se forma un diagrama de ojo?

Esta construcción se puede explicar utilizando una señal no -retorno a cero (NRZ), que es la forma de onda utilizada en el analizador HP 83475B, con una interferencia entre símbolos (ISI) leve. El proceso consiste en plegar el eje temporal en módulo de un número completo de intervalos de bit o símbolo.

Primero, se corta la forma de onda en segmentos de dos bits que incluyen medio bit a la izquierda, un bit completo en el centro y medio bit a la derecha. Debido a que el ISI en este caso particular afecta solo a un bit a la derecha y a la izquierda, se identifican ocho segmentos distintos que representan las palabras binarias de tres bits (000, 001, 010, 011, 100, 101, 110 y 111). Si la señal tuviera un ISI más fuerte, se deberían considerar más segmentos con formas distintas. Por último, estos segmentos se superponen para formar el diagrama de ojo, mostrando visualmente cómo las diferentes formas de onda se combinan y superponen en el tiempo, lo cual es útil para evaluar características como la calidad de la señal y la presencia de ISI. [11]

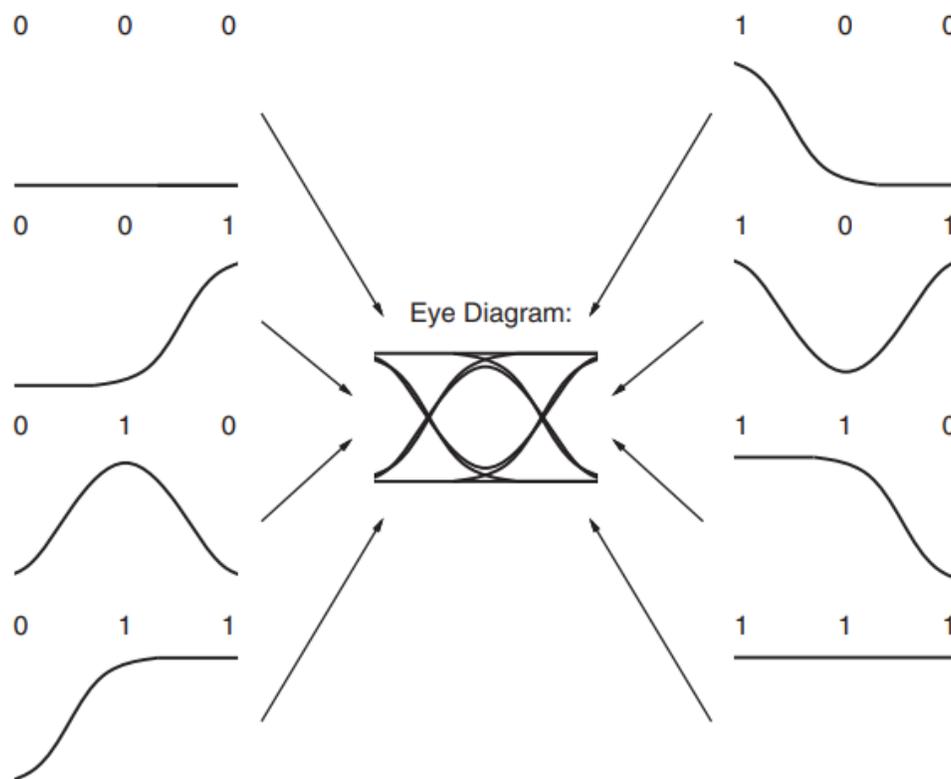


Figura 8. Construcción de un diagrama de ojo superponiendo las formas de onda correspondientes a todas las secuencias de bits posibles. [10]

Triggering

El triggering es el proceso mediante el cual se sincroniza un osciloscopio o cualquier otro dispositivo de visualización con la señal que se está midiendo. Esta sincronización es clave porque determina cómo y cuándo el dispositivo captura y muestra los segmentos de la señal para formar el diagrama de ojo. [3]

El triggering correcto asegura que el osciloscopio capture la señal en los puntos exactos y repetitivos, lo que permite una representación precisa de cómo se comporta la señal a lo largo del tiempo. Esto es vital para evaluar la calidad de la transmisión de datos en sistemas digitales.

Para poder visualizar todas las posibles transiciones de bit dentro de la señal es necesario sincronizar la señal que se quiere analizar con el triggering. Esto es especialmente importante para evaluar la integridad de la señal y para detectar problemas como la interferencia entre símbolos (ISI), el ruido, y el jitter. Al analizar un diagrama de ojo, la estabilidad y consistencia del disparo determinan qué tan bien se puede evaluar la consistencia de la señal a lo largo del tiempo. Un triggering inadecuado puede llevar a una interpretación errónea de las características de la señal. Dependiendo de cómo se configure el disparo, se puede obtener una representación más completa o parcial de la señal. Por ejemplo, disparar basándose en un borde específico de la señal puede no capturar todas las variaciones en la señal, especialmente si existen secuencias largas sin cambios significativos de nivel (como "11110000"). [9]

Existen diferentes métodos de triggering, cada uno con sus ventajas y limitaciones. Algunos de ellos son [3]:

Triggering basado en el reloj: se sincroniza con el reloj de la señal, ideal para asegurar una representación precisa y completa del patrón de señal. Este suele ser sincronizado externamente, por medio de un generador de señales o un circuito.

Triggering basado en datos: utiliza características específicas de la señal de datos como bordes para disparar. Puede no ser efectivo para patrones de datos con largas secuencias sin transiciones.

Triggering basado en la recuperación del reloj: compensa la falta de un reloj claro o las distorsiones en la señal, especialmente útil en comunicaciones a larga distancia donde el reloj puede desfasarse.

Histograma

Los histogramas son utilizados para analizar estadísticamente los datos de tiempo y amplitud/potencia obtenidos de los diagramas de ojo.

La observación de la media y la desviación estándar en histogramas derivados de diagramas de ojo permite detectar y cuantificar las distorsiones de tiempo y amplitud. Un histograma con una pequeña desviación estándar indica que la mayoría de los datos están agrupados cerca de la media, sugiriendo baja distorsión. Por otro lado, una desviación estándar grande indica una amplia dispersión de los datos, lo que podría ser indicativo de problemas significativos en la señal, como ruido o efectos de atenuación. [12]

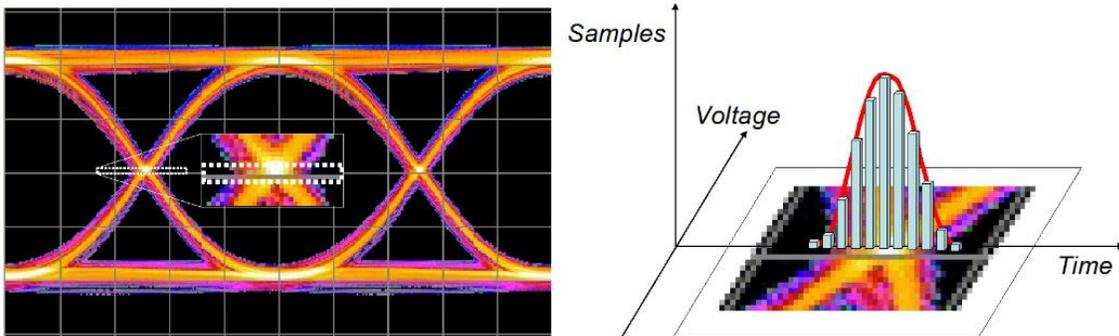


Figura 9. Ejemplo de histograma tomada en una ventana en el punto de cruce del diagrama de ojo. [12]

Mediciones típicas de un diagrama de ojo

Potencia: Mediciones en el eje vertical del diagrama

Las mediciones relacionadas a la potencia óptica promedio son vitales en cualquier sistema de comunicaciones ópticas, ya que estos parámetros están directamente relacionados con el desempeño de la Tasa de Error Binario (BER) que es un indicador clave de la calidad de la señal en las comunicaciones digitales.

Los parámetros que serán importantes definir para este informe serán los que pueden ser obtenidos con el analizador HP 83475B. Los parámetros respecto a la potencia se muestran en la Tabla 2.2.1.

Tabla 2.2.1. Mediciones de diagrama de ojo respecto a la potencia tomados con el analizador HP 83475B

Parámetros	Nombre de la variable en el analizador	Unidades
Potencia	PwMtr	W
Nivel de voltaje máximo	Vmáx	V
Nivel de voltaje mínimo	Vmín	V
Overshoot	Vover	%
Altura de ojo	Eye Ht	%
Nivel uno	Vone	V
Nivel cero	Vzero	V
Ruido pico a pico	NoisPP	V
Ruido RMS	NoisRM	V
Amplitud de ojo	Vamp	V
Porcentaje de cruce de ojo	EyCros	%

Las definiciones de estos conceptos fueron recuperadas del artículo de la empresa de equipos de medición Anritsu en su documento “Understanding Eye Pattern Measurements”.

Altura de ojo: se obtiene calculando la diferencia entre los puntos internos a tres desviaciones estándar (3σ) en los histogramas de los niveles de 'uno' y 'cero'. Los bits de datos que se dispersan más allá de los puntos de 3σ en el ojo abierto podrían indicar un error en la detección, por lo tanto, una mayor altura de ojo generalmente significa menos probabilidad de errores de bit debido al ruido.

Amplitud de ojo: se define como la diferencia entre los niveles de 'uno' y 'cero', usando los valores promedio de estos niveles obtenidos de histogramas medidos en la región central del 20% de los cruces de ojo. Ofrece una vista general de la variabilidad total de la amplitud de la señal a lo largo de múltiples ciclos, ayudando a evaluar la calidad general de la señal.

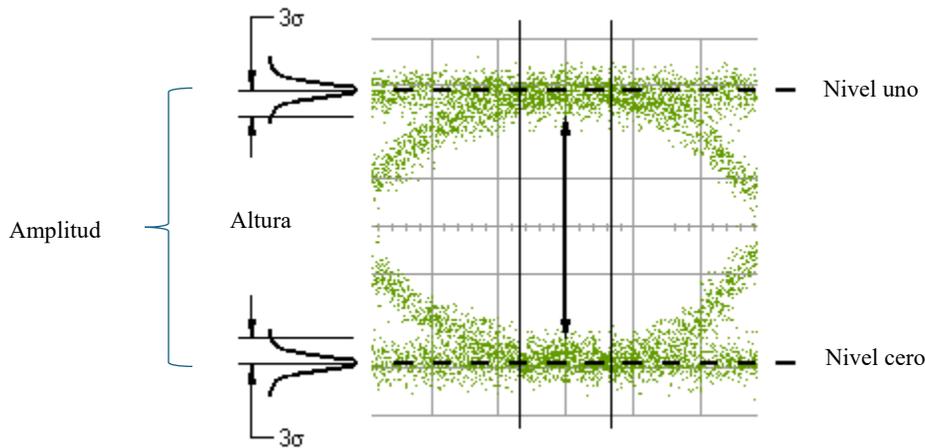


Figura 10. A la izquierda del diagrama marcadores indicando la amplitud y la altura de ojo. A la derecha indicando el nivel uno y el nivel cero. [20]

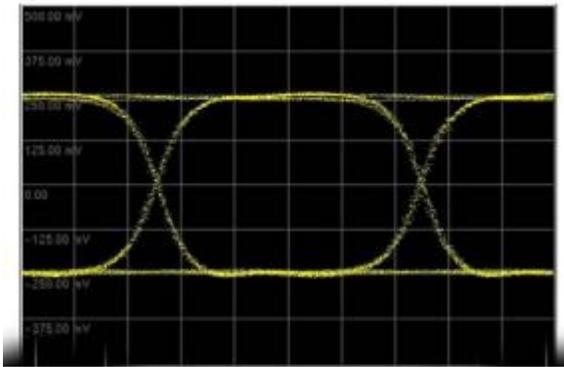
Nivel cero: este valor se define del valor medio del histograma de todas las muestras de datos capturadas dentro de este segmento medio del 20% del período del ojo. El nivel cero es una medida del valor medio del 0 lógico.

Nivel uno: se determina de la misma región del 40 al 60 por ciento de la línea de base durante el período del ojo, tal como se hace con el nivel cero. Se define del valor medio del histograma de los datos capturados dentro de esta sección central del 20% del período del ojo. El nivel uno es una medida del valor medio del 1 lógico.

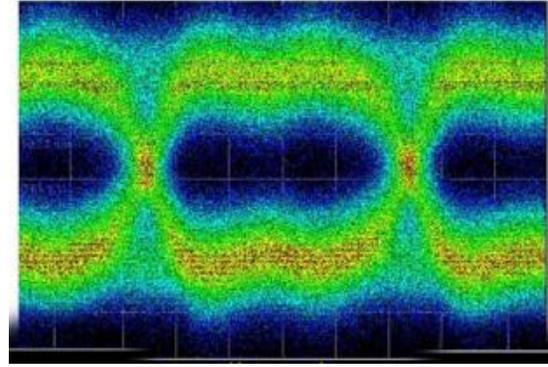
Ruido rms/pico-pico: la Relación de Señal a Ruido (SNR) se define como la relación entre el nivel de la señal deseada y el nivel del ruido de fondo más cualquier distorsión. Un SNR más alto es preferible porque indica que la señal es claramente más distinguible del ruido, lo que generalmente resulta en una mejor calidad de transmisión y una menor probabilidad de errores

Un bajo SNR conlleva a un diagrama de ojo degradado, donde es difícil para los detectores de datos del receptor diferenciar entre los bits "1" y "0". Esto se evidencia por una altura de ojo muy pequeña

y una gran desviación estándar en los niveles de señal, mostrando que muchos puntos se alejan del promedio.



(a)



(b)

Figura 11. (a) un diagrama de ojo con una SNR alta, se define correctamente la forma del ojo (b) un diagrama con una pobre SNR, hay mucha dispersión en el ojo.[2]

Es preferible utilizar el parámetro de SNR rms para la mayoría de las aplicaciones de telecomunicaciones y audio porque proporciona una medida más estable y consistente de la relación señal-ruido ya que es menos dependiente de variaciones extremas y transitorias. Mientras, el SNR pico a pico puede ser más relevante en aplicaciones donde los extremos de la señal son críticos.

Overshoot: se refiere al pico temporal que supera el nivel de señal objetivo, ya sea al subir de un nivel bajo a uno alto o viceversa, antes de asentarse en el valor final esperado. Describe la cantidad en la que una señal excede su estado estable final durante una transición de un nivel de señal a otro.

Un alto overshoot puede indicar problemas con la respuesta del sistema a los cambios de señal, lo que podría ser un signo de inestabilidad en el sistema de transmisión. La configuración inapropiada de los componentes del sistema, como la amplificación excesiva puede ser una causa de un valor alto de overshoot.

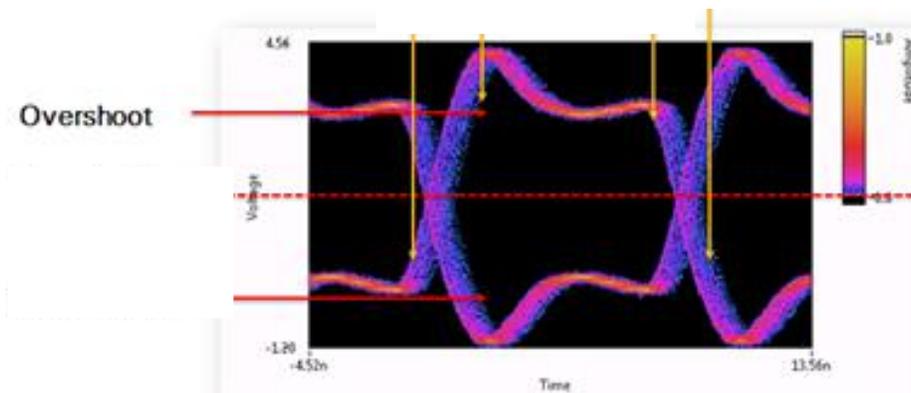


Figura 12. Se señala como el pico que presenta la señal al cambiar de un estado binario a otro. [21]

Porcentaje de cruce de ojo: el porcentaje de cruce es valioso para medir distorsiones de amplitud causadas por diferencias en las duraciones de los niveles de "uno" y "cero". Cuando el valor de simetría de cruce se desvía del punto perfecto del 50%, el ojo se cierra, lo que degrada la tasa de Error de Bit (BER).

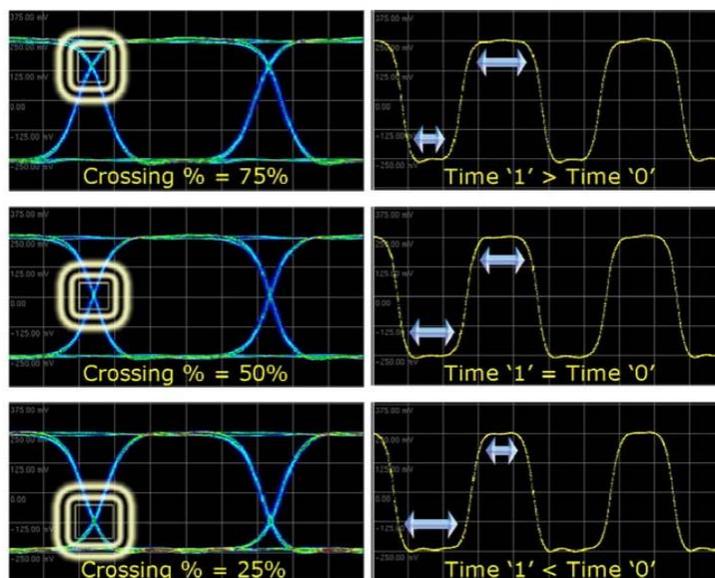


Figura 13. Se muestran diferentes casos donde el porcentaje de cruce varía dependiendo de la simetría de los pulsos.[2]

Tiempo: Mediciones en el eje horizontal del diagrama

Los parámetros del tiempo se centran en la precisión con la que se pueden detectar y reconstruir los bits de datos en el receptor. Los parámetros que pueden ser obtenidos con el analizador HP 83475B se muestran en la Tabla 2.2.2.

Tabla 2.2.2. Mediciones de diagrama de ojo respecto al tiempo tomados con el analizador HP 83475B

Parámetros	Nombre de la variable en el analizador	Unidades
Tiempo de subida	Rise	s
Tiempo de bajada	Fall	s
Jitter pico a pico	JittPP	s
Jitter RMS	JitRMS	s
Distorsión del ciclo de trabajo	DCDist	s
Velocidad de bits	BtRate	b/s
Periodo de bits	BitPer	s

Las definiciones de estos conceptos fueron recuperadas del artículo de la empresa de equipos de medición Anritsu en su documento “Understanding Eye Pattern Measurements”.

Velocidad/Periodo de bits: este parámetro indica la cantidad de bits que se transmiten por segundo. La velocidad de transmisión influye directamente en la forma del ojo; las tasas de transmisión altas son de particular importancia ya que pueden intensificar los efectos de distorsiones como el jitter y el DCD, porque hay menos tiempo entre transiciones para que la señal se estabilice en un estado claro y distinguido. Esto hace que el diagrama de ojo sea una herramienta esencial para evaluar cómo las características del canal y del hardware afectan la transmisión de datos a altas velocidades.

Jitter RMS/pico a pico: es la desviación del tiempo ideal en el que debería ocurrir un evento de bit de datos. El jitter afecta la precisión con la que los datos son transmitidos y recibidos en los sistemas de comunicaciones de alta velocidad. Los bordes del ojo, donde este cambia de nivel cero a nivel uno, también llamado punto de cruce, son las zonas donde el instrumento de medición hace un cálculo con histogramas para poder capturar un valor del jitter.

A grandes rasgos, el jitter es un error de temporización; si el jitter es muy grande, indica que hay un error de tiempo de subida y bajada. La interferencia entre símbolos, la diafonía, reflexiones, efectos térmicos y otros efectos en la capa física son los que pueden causar estos errores en la transmisión de bits.

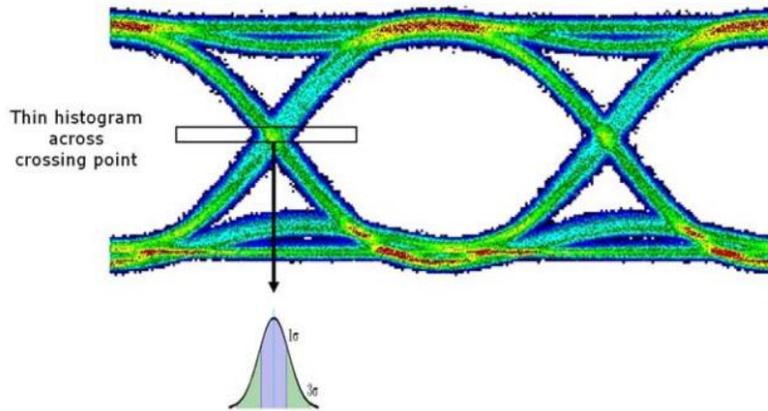


Figura 14. Medición del histograma hecha en el punto de cruce del ojo.[2]

Tiempo de subida: es el tiempo promedio que toma una señal para transitar desde un nivel cero hasta el nivel uno durante una transición ascendente en el diagrama.

Aunque comúnmente se mide entre el 20% y el 80% del valor máximo de la señal, también puede medirse entre el 10% y el 90%. Esta medición más amplia es útil para capturar una gama más extensa de la transición de la señal, ofreciendo una visión más detallada de cómo la señal se comporta cerca de sus límites superior e inferior.

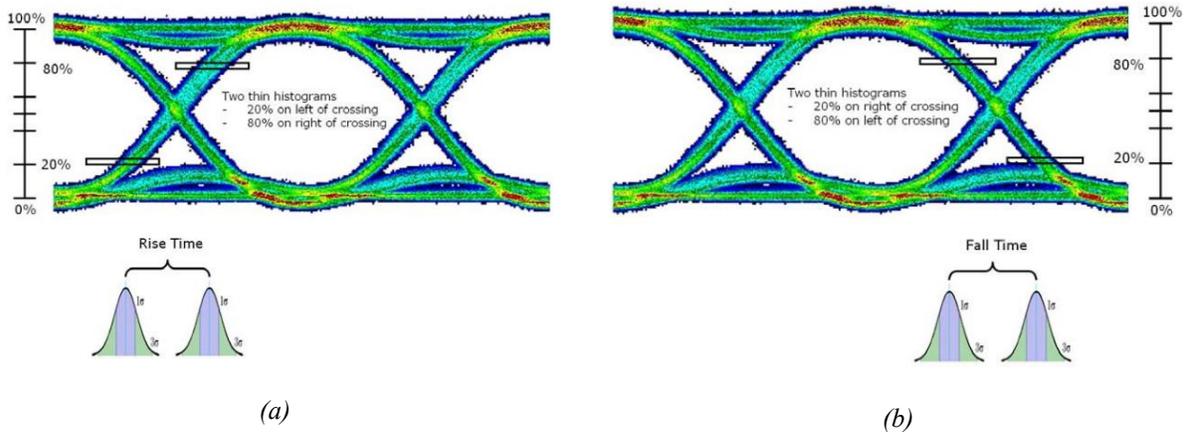


Figura 15. (a) Medición del tiempo de subida con los histogramas del 20% y 80% (b) Medición del tiempo de bajada.[2]

Tiempo de bajada: es el tiempo promedio que una señal tarda en caer desde un nivel uno al nivel cero durante una transición descendente en un diagrama de ojo.

Tanto el “Rise Time” como el “Fall Time” son indicadores de la velocidad a la que la señal puede cambiar de estado, lo que influye directamente en la velocidad de transmisión de datos y el rendimiento general del sistema. Que los tiempos de estos parámetros sean cortos indican que la señal puede realizar transiciones rápidas y claras, lo que es fundamental para mantener la integridad de la señal en frecuencias altas y entornos con mucho ruido.

Distorsión del ciclo de trabajo: la distorsión del ciclo de trabajo se identifica observando dónde se agrupan las transiciones de la señal respecto al punto teórico medio entre los niveles uno y cero. El DCD se nota cuando estas transiciones cruzan por encima o por debajo de la línea del 50%. Esto se hace utilizando los mismos histogramas empleados para medir el "Rise Time" y el "Fall Time", específicamente en el centro de la medición del 20 al 80 por ciento.

Cuando una señal con DCD se inyecta en un canal con pérdidas, la distorsión se amplifica. Esto puede alterar aún más la simetría y la claridad de las transiciones de la señal, lo que puede ser visualizado claramente en un diagrama de ojo. Cuando no hay simetría entre los pulsos “0” y “1”, entonces el porcentaje de DCD se verá afectado, como se muestra en la Figura 16.

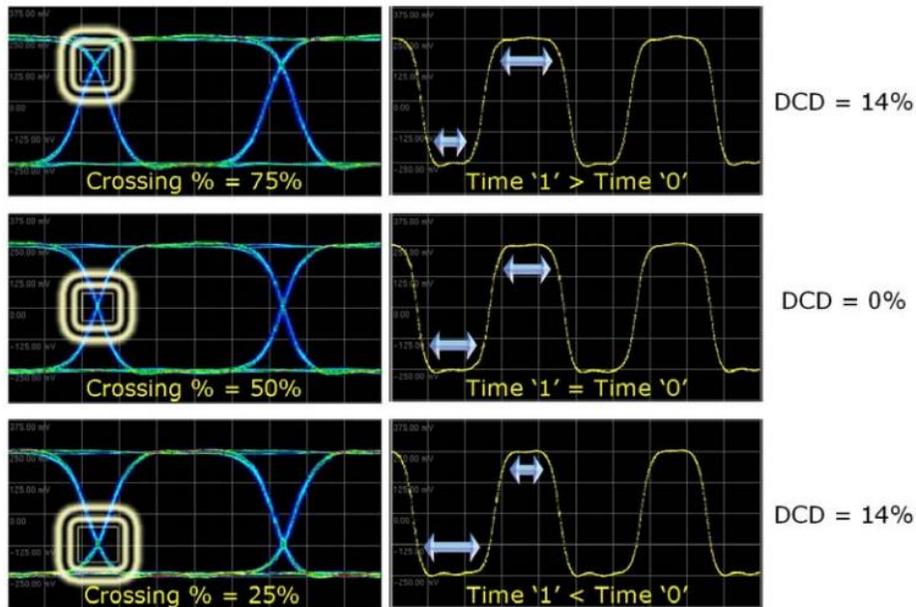


Figura 16. La variación del ciclo de trabajo afecta el punto de cruce del ojo.[2]

Cálculo del factor de calidad Q

Este valor indica la apertura del ojo en el diagrama de ojo y se usa para estimar la probabilidad de error en la detección de bits. Es una medida que también evalúa la separación entre los niveles de señal en relación con el ruido, calcularlo puede proporcionar un valor numérico adicional que resume la capacidad del sistema para manejar el ruido y mantener la integridad de la señal. [14]

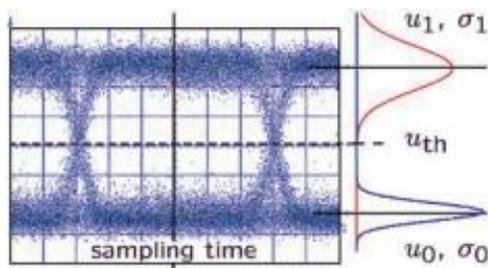


Figura 17. Histogramas para calcular la media de los niveles y la desviación estándar (ruido).[14]

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1 + \sigma_0}$$

μ_1, μ_2 : Media del nivel uno y cero en voltaje

σ_1, σ_2 : Desviación estándar del nivel uno y cero, interpretado también como ruido en los niveles

Debido a que el analizador HP 83475B no cuenta con las funciones tan específicas para obtener esta desviación estándar para cada uno de los niveles, se asume que el ruido tiene características similares para ambos niveles de bit, por lo que la ecuación se simplifica a:

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\text{Ruido}_{RMS}}$$

El ruido RMS proporciona una medida del nivel promedio de variaciones o fluctuaciones de voltaje debido al ruido.

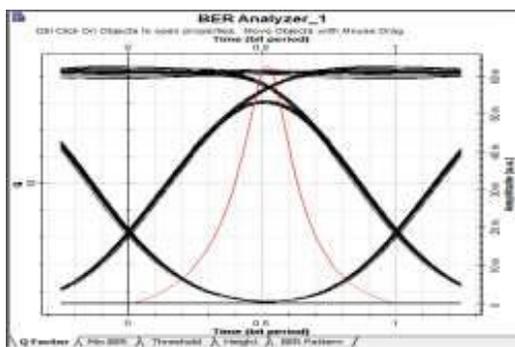
Además, el factor Q se relaciona con la probabilidad de error de bit (BER) mediante la función de error complementaria, lo que permite calcular el BER esperado para una señal con un dado factor Q [14]:

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

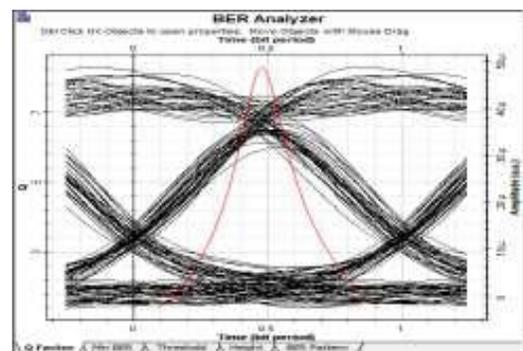
Aplicaciones típicas

Evaluación de defectos del medio de transmisión

Uno de los principales retos técnicos en redes basadas en fibra óptica es la dispersión cromática, que es la variación de la velocidad de la luz a través de la fibra óptica en función de su longitud de onda. Los efectos de dispersión se presentan notablemente a medida que los parámetros de longitud de la fibra óptica y la potencia de la señal de entrada varían. Este fenómeno puede estudiarse a través del análisis de un diagrama de ojo; si la dispersión aumenta, la forma del diagrama de ojo se va cerrando, indicando una mayor probabilidad de errores. [13]



(a) 5 KM



(b) 90 KM

Figura 18. Efecto de degradación de ojo dependiendo de la longitud de la fibra óptica.[13]

Pruebas de cumplimiento de máscara

Estas son pruebas típicas en la fabricación de equipos y componentes de telecomunicaciones, donde se siguen estándares estrictos para asegurar la fiabilidad de los dispositivos en redes. Estos estándares, como SDH (Jerarquía Digital Síncrona), SONET (Red Óptica Síncrona) y Fibre Channel, dictan requisitos específicos para la respuesta en el dominio del tiempo del transmisor, los cuales deben ajustarse a geometrías predeterminadas conocidas como plantillas de onda o máscaras. [2]

Las pruebas se realizan directamente en la salida del transmisor para proporcionar una verificación final de que el sistema o componente ofrece un margen suficiente para operar correctamente bajo condiciones reales de operación. Esto es crítico para asegurar que los dispositivos no solo cumplan con las especificaciones teóricas, sino que también funcionen de manera efectiva en el mundo real, donde las condiciones pueden variar. El rendimiento de los módulos ópticos, como los transceptores, se evalúa mediante parámetros visibles en el diagrama de ojo. El ojo debe encajar en la forma de la máscara, sin invadir el área marcada por esta. Si un transceptor o módulo óptico no logra cumplir con los estándares durante las pruebas, es necesario realizar calibraciones adicionales. [2]

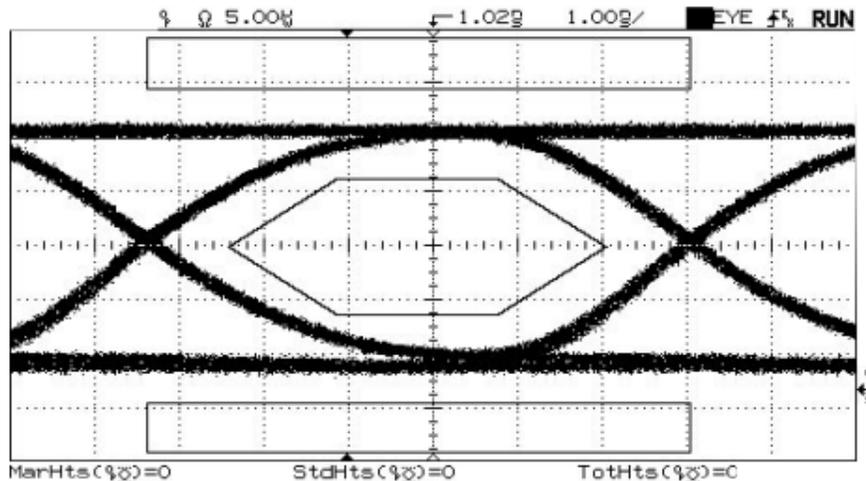


Figura 19. Prueba de máscara del estándar STM-1/OC-3.[9]

Capítulo 3. Experimentación, propuesta e implementación del protocolo de la práctica.

Introducción

Como se estipuló en los objetivos, la creación de este material didáctico se desarrolla con la necesidad de proporcionar a los estudiantes de ingeniería en telecomunicaciones una experiencia educativa integral que les permita aplicar y profundizar sus conocimientos en redes ópticas. A través del desarrollo y la implementación de este protocolo de práctica de laboratorio, se busca que los alumnos no solo apliquen los fundamentos teóricos, sino que también empleen las habilidades técnicas que aprendieron con las prácticas que ya existen para este laboratorio, pero ahora en un escenario próximo a un problema real de campo.

Mediante la ejecución de una práctica que involucra la configuración de una red pequeña de fibra óptica y el análisis de la calidad de la información utilizando diagramas de ojo, los estudiantes podrán experimentar de primera mano los desafíos y las soluciones técnicas relacionadas con las redes ópticas de última generación.

Para proponer el protocolo de práctica primero se pasó por una fase de pruebas, las cuales constaron de diferentes mediciones realizadas en instalaciones propuestas, así, analizando los múltiples resultados obtenidos, se llegó a una instalación experimental final.

3.1. Desarrollo de experimentos propuestos

El objetivo de los experimentos de primera fase fue lograr la comunicación entre dos computadoras a través de fibra óptica, planteando entonces una red punto a punto. Para esto se utilizaron los switches y transceptores ópticos en el primer experimento, pero debido a las limitaciones que presentó el analizador con la velocidad de transmisión de este equipo, impidiendo tomar mediciones con las cuales trabajar, como segunda propuesta se utilizó los convertidores Fast Ethernet de señal eléctrica a óptica. Para la tasa de transmisión de estos convertidores se obtuvieron mediciones favorables con el analizador, por lo que, para los siguientes experimentos, variando la

longitud de la fibra óptica entre nodos, se implementó la conexión entre computadoras utilizando estos convertidores.

3.1.1. Configuración de los elementos de la red

Red punto a punto con Alcatel-Lucent OmniSwitch

Comunicación entre los switches

La comunicación entre estos dos puntos se implementó a través de una interfaz virtual conocida como SVI (Switch Virtual Interface), la cual permite la gestión y el enrutamiento de tráfico en los dispositivos de red de Capa 3 (VLANs). El propósito más importante por el cual se utilizó SVI fue para poder administrar a los switches de forma remota por medio del protocolo de red SSH (Secure Shell), utilizando las direcciones IP de las interfaces SVI para conectarse a los dispositivos y permitir su comunicación por medio de los puertos de Ethernet, y no por cable de consola, facilitando su manejo a nivel usuario. Este enfoque es especialmente útil en las clases de laboratorio, donde se implementará este protocolo de práctica.

Esta configuración se hizo por medio del programa PuTTY Configuration.

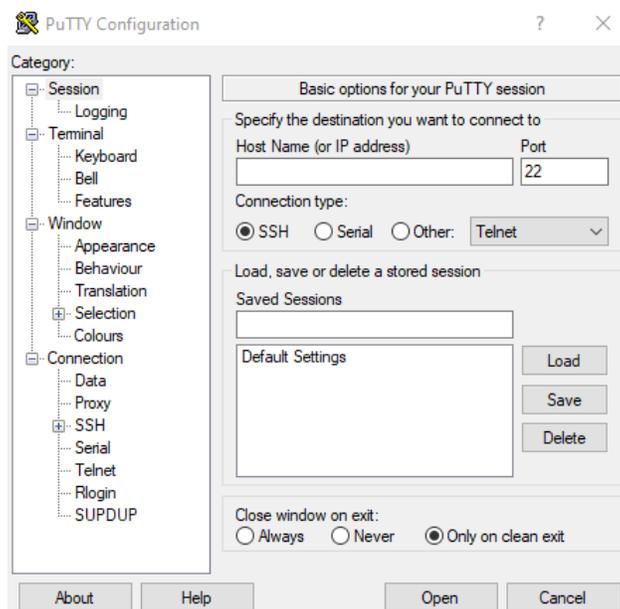


Figura 19. Configuración de Conexión SSH con PuTTY.

La red con la que se está trabajando es una red conmutada, debido al tipo de dispositivos que se están utilizando como puntos (switches). Para poder asegurar una comunicación correcta entre

estos, se habilitó el protocolo Spanning Tree (STP) que previene la formación de bucles ya que este protocolo habilita un solo camino activo entre los dos dispositivos de red.

Red punto a punto con convertidores de señales óptico-eléctricas HTB-3100 netLINK 10/100M

La dirección IP del servidor (192.162.10.254) y la del cliente (192.168.10.254) deben coincidir para que la conexión se establezca correctamente. Para poder configurar estos parámetros en las respectivas computadoras se debe acceder al Centro de redes y recursos compartidos en el sistema operativo de Windows.

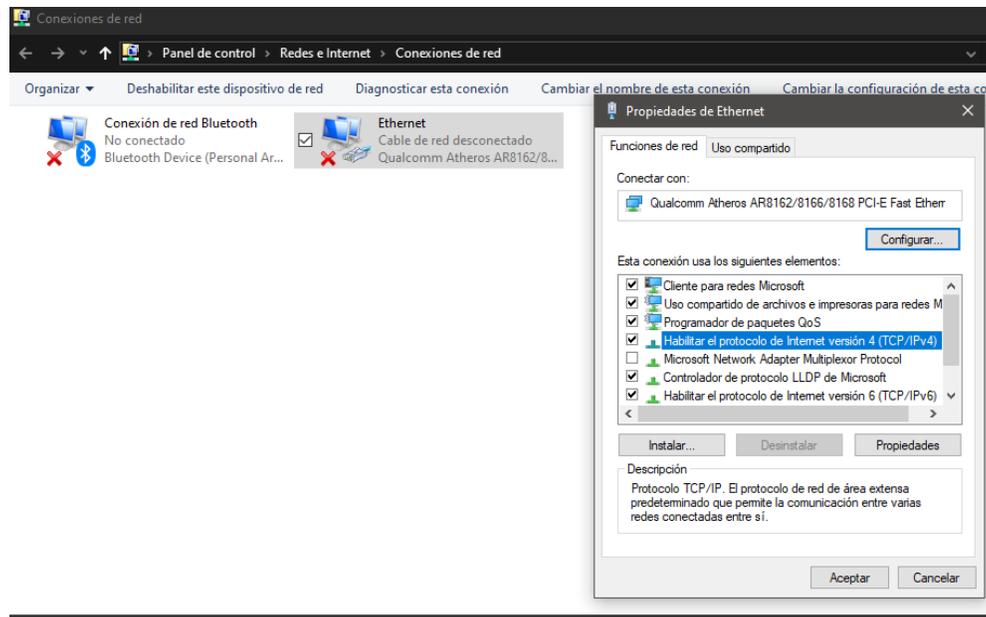


Figura 20. Centro de redes y recursos compartidos.

Como se explicó anteriormente, la conexión entre los nodos de la red punto a punto se hará implementado el protocolo de Ethernet, por lo que se debe de configurar el puerto Ethernet de las computadoras, asignando las direcciones IP definidas anteriormente, tanto para el nodo que será el cliente como para el que será el servidor.

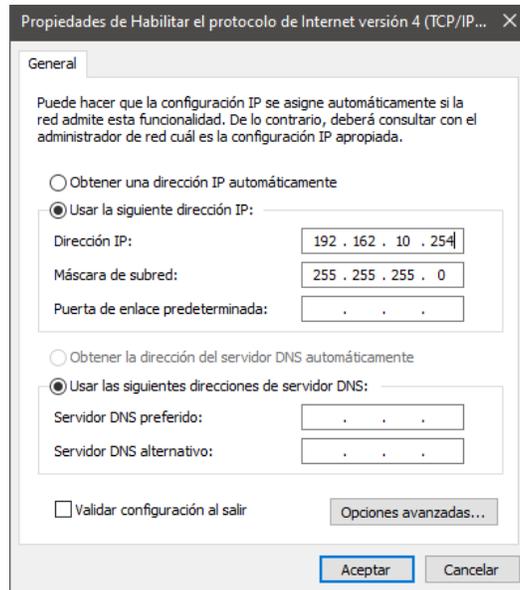


Figura 21. Asignación de direcciones IP.

Definición de ruta y direccionamiento

En el script se debe de utilizar las direcciones IP definidas anteriormente relacionadas a un puerto ('1000') para crear los sockets, lo que representaría los puntos de la red a nivel software. El propósito es enrutar los paquetes de datos desde el cliente al servidor y viceversa. Este enrutamiento asegura que los datos viajen correctamente hasta alcanzar su destino, a nivel software, a través de cualquier medio que haya en medio de estos dos puntos. Sin embargo, es importante destacar que cualquier error que pueda ocurrir en esta capa, no será detectado en el diagrama de ojo, debido a que este solo se enfoca en las distorsiones que causa el medio físico.

Conexión punto a punto

Para establecer la conexión entre el cliente y el servidor se necesita implementar el protocolo TCP en sus tres niveles:

Establecimiento de la Conexión: `client_socket.connect((HOST, PORT))` en el cliente inicia una conexión con el servidor. El servidor, con `server_socket.accept()`, acepta esta conexión.

Transmisión de Datos: una vez establecida la conexión, el cliente puede enviar datos utilizando `client_socket.sendall()`, y el servidor puede recibir estos datos con `connection.recv()`.

Fin de la Conexión: para este punto, debido al loop infinito que se escribió en el script, para poder cerrar la conexión es necesario interrumpirla con una excepción al oprimir el conjunto de teclas Ctrl + Z. Esta conexión igualmente se verá interrumpida en el momento en el que la señal óptica entre los puntos de la red esté tan degradada por los diferentes factores físicos involucrados (empalmes, conectores, longitud de la fibra) que no habrá comunicación entre los convertidores.

Aplicación final

Para enviar y recibir mensajes, de cualquier tipo, es necesario hacer la configuración en esta capa del modelo. En este caso, se manejó un formato muy simple de mensaje, una cadena de caracteres, debido al tiempo y a que, como se ha venido mencionado en este trabajo, el diagrama de ojo no notará la diferencia de los cambios que se hagan a nivel software, ya que los bits tendrían la misma forma y velocidad de transmisión independientemente de que sea este mensaje – una cadena de caracteres, una imagen o un video - debido a las especificaciones del equipo (switches y convertidores).

En el cliente, `client_socket.sendall(message.encode())` convierte el mensaje de texto en bytes y lo envía a través de la conexión.

En el servidor, `data = connection.recv(1024)` recibe los bytes y `data.decode()` convierte los bytes de vuelta a una cadena de texto que se muestra en la pantalla como “Hola”.

Flujo completo de la conexión

Servidor:

1. Configura para escuchar en 192.168.10.254:10000.
2. Espera y acepta conexiones entrantes.
3. Recibe mensajes y los imprime hasta que no haya más datos.

Cliente:

1. Se conecta al servidor en 192.168.10.254:10000.
2. Envía repetidamente el mensaje "Hola" al servidor.
3. Cada mensaje se convierte a bytes, se envía y se imprime una confirmación de envío.

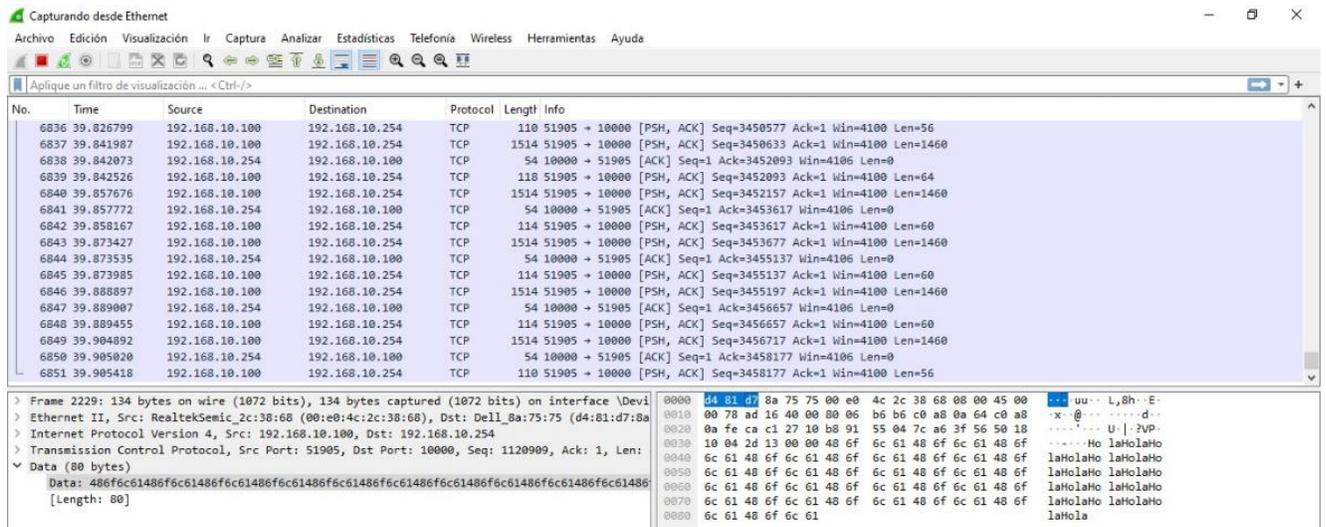


Figura 22. Análisis de paquete transmitido en la red punto a punto.

Consulte el Anexo G para leer los scripts completos.

3.1.2. Analizador de señales ópticas HP 83475B

Configuración del equipo de medición

Habilitación de canal para señal óptica

Una vez se asegure de que todos los conectores de las fibras utilizadas estén limpios, así como que los conectores estén bien ajustados, se procede a conectar la señal óptica al analizador. La entrada para una señal óptica se señala en la Figura X. Esta entrada es compatible con un conector FC.



Figura 23. Entrada óptica del analizador.

Para observar la señal en la pantalla, es importante saber que el analizador cuenta con dos canales; el primer canal es apto únicamente para señales eléctricas, mientras que el segundo canal estará conectado siempre a la salida del demodulador, debido a que en este canal es donde se podrá observar la señal óptica. Internamente el analizador hace una conversión de señal óptica a señal eléctrica, lo que deriva que esta señal salga por el demodulador y esta se conecte al canal dos para su observación. Sin embargo, el analizador también puede mostrar una señal óptica directamente.

Para escoger entre convertir la señal eléctrica o trabajar con la señal óptica directamente, se debe de oprimir el botón de **Optical/Elec 2** y elegir entre Op o E2. A lo largo de los experimentos desarrollados se llega a la conclusión de que es indiferente cual de estas dos opciones se elija.

Autoescala de la señal

Para poder observar la señal óptica rápidamente, es posible oprimir el botón de Auto-Escale. La señal se desplegará como se muestra en la Figura 24.

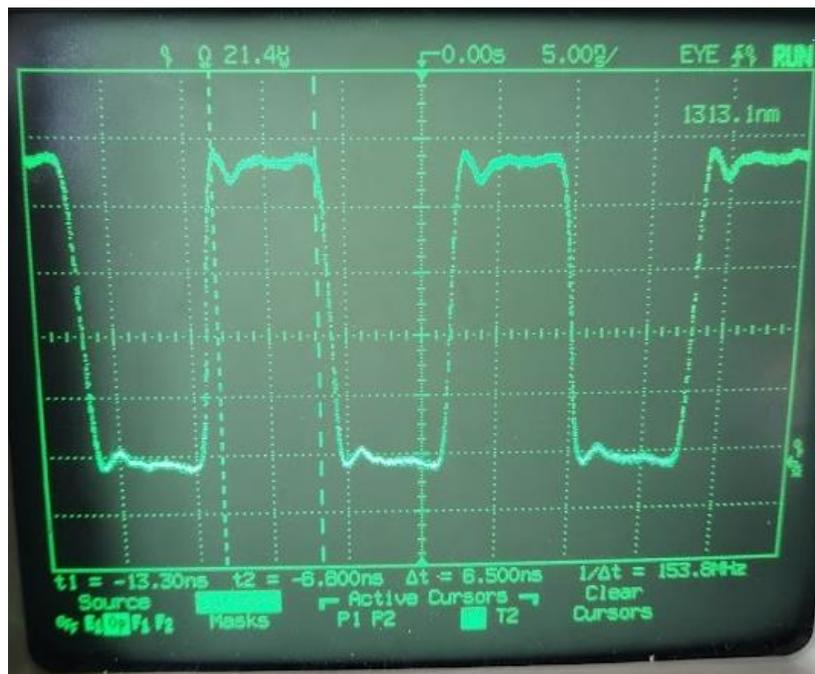


Figura 24. Señal óptica.

A partir de aquí, para poder observar el diagrama de ojo, es necesario ir aumentando la escala de división de tiempo con la perilla de tiempo, aproximadamente hasta 10 us por división de tiempo. Donde se observa un ojo como en la Figura 25.

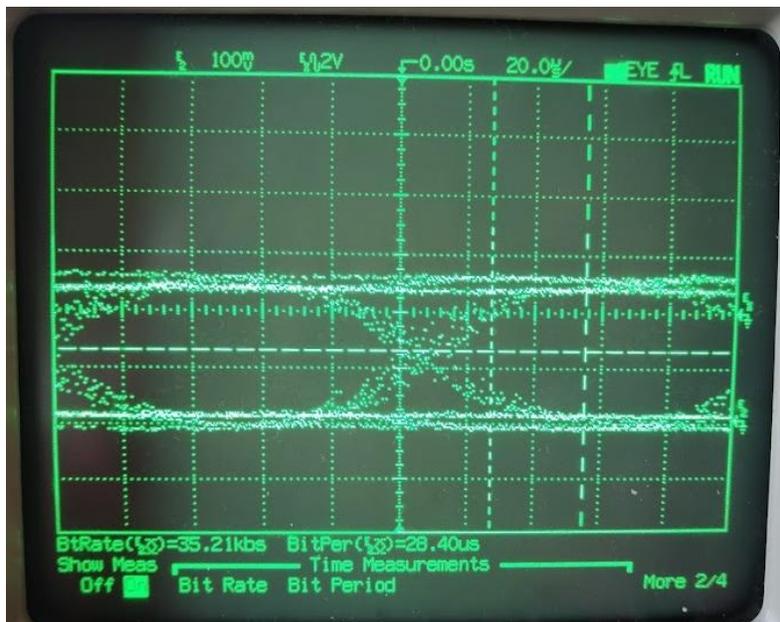


Figura 25. Diagrama de ojo en el analizador HP 83475B.

Ajustes de muestras para las mediciones estadísticas

Para configurar las mediciones de los parámetros del ojo, se debe oprimir la tecla Power/Voltage, donde se verá un menú [Meas Type Genl Wvfm Eye:NRZ], y se debe elegir Eye:NRZ. Así también para la construcción de los histogramas es necesario configurar el número de muestras que el analizador tomará, por lo que oprimiendo la tecla de Power/Voltage se recorrerán los menús [More1/4], [More 2/4], [More3/4] hasta llegar a [Ampl Samp], y con la perilla de propósito general, ajustarla a 3000 muestras. Es lo mismo que se hará para los parámetros de tiempo, al oprimir el botón de Time y recorriendo los menús.

Selección del tipo de medición

Ya que el analizador está configurado para realizar mediciones estadísticas de la señal desplegada, para poder obtener estos datos, se debe oprimir los botones de Power/Voltage o Time y recorrer los menús [More1/4], [More 2/4], [More3/4]. En cada uno de estos se encuentran los diversos datos que se especifican en la tabla 2.2.1 y tabla 2.2.2.

Trigger

Para poder observar un diagrama de ojo estable, es necesario configurar un trigger, ya sea externo o el del propio analizador. Al oprimir el botón Source en la sección de Trigger del analizador, se verán cuatro tipos de disparo: Channel 1, Channel 2, External Trigger, o Line. Para realizar las mediciones es recomendable utilizar el trigger Line debido a que es el tipo de trigger en el que se estabiliza mejor el analizador para tomar mediciones.

Análisis de señal óptica de una red punto a punto con Alcatel-Lucent OmniSwitch

Para esta fase se implementó la instalación descrita en la Figura 26. Aquí se muestran los switches ópticos que representan los dos puntos interconectados en la red; con el splitter óptico se logra desviar la mitad de la señal que va de transmisor a receptor, esta señal llega al analizador de señales el cual también tiene un generador de funciones que sirve como trigger externo para la formación del diagrama de ojo.

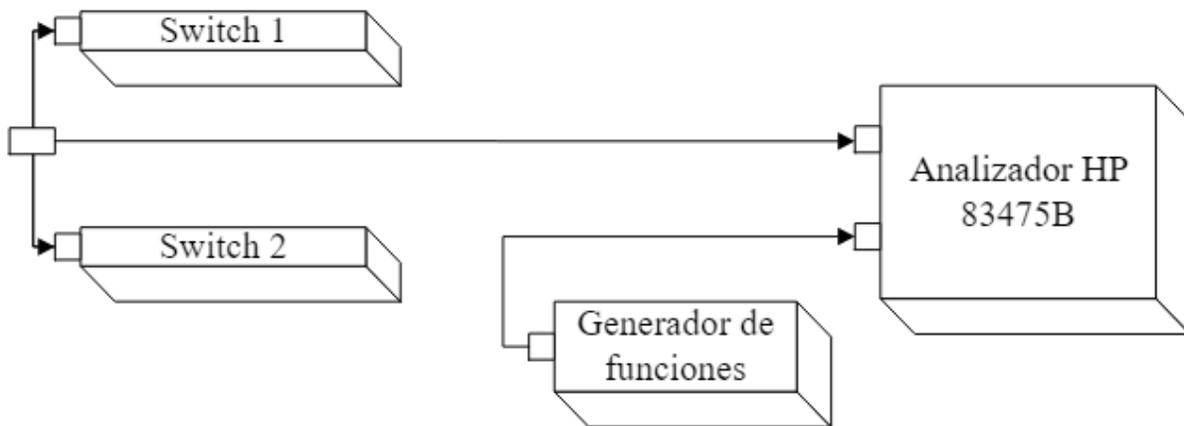


Figura 26. Diagrama de la instalación simple para el análisis de diagrama de ojo entre los dos switches ópticos.

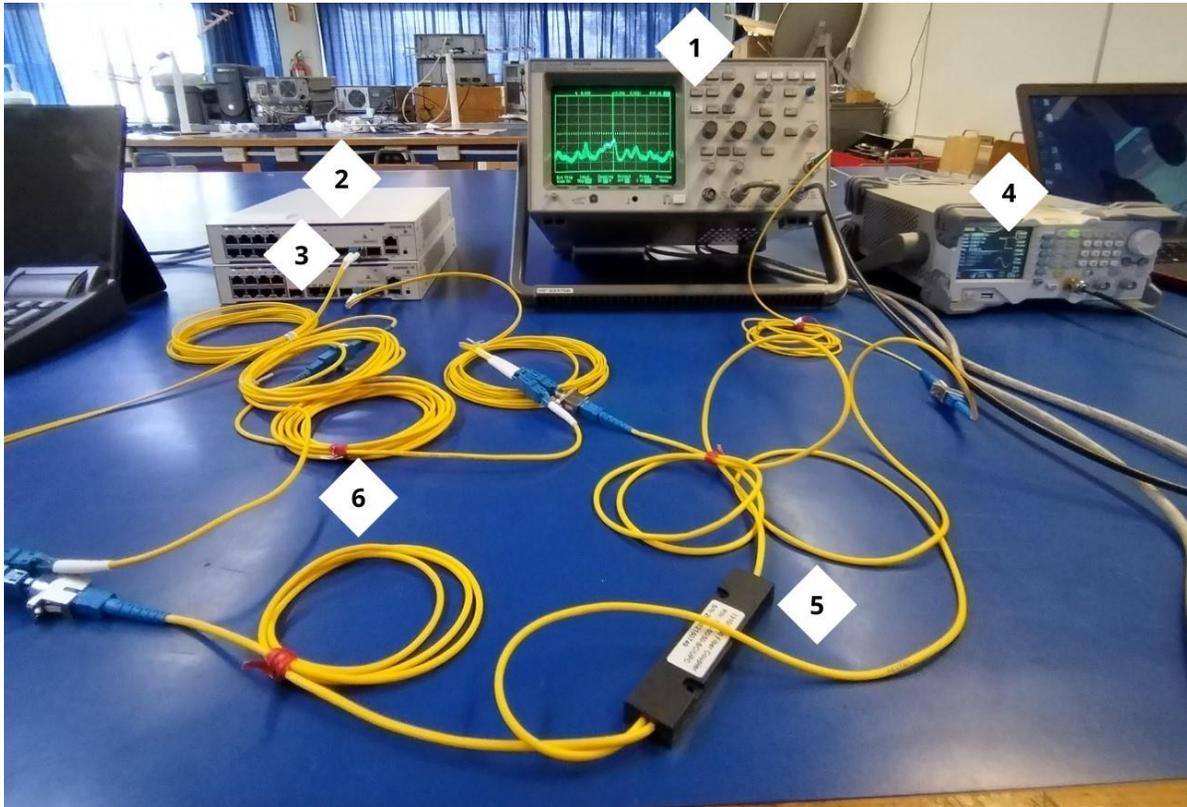


Figura 27. Instalación experimental simple.

Descripción de los elementos de la instalación

1. Analizador de señales ópticas HP modelo 83475B tiene un receptor fotodiodo integrado, el cual puede operar con señales de hasta un 1 GHz de ancho de banda, efectivo para transmisiones de alta velocidad. La sensibilidad del fotodiodo abarca de 780, 1310 y 1550 nm.

A partir de los histogramas generados por el analizador, se pueden obtener mediciones de parámetros del diagrama de ojo respecto al tiempo y potencia.

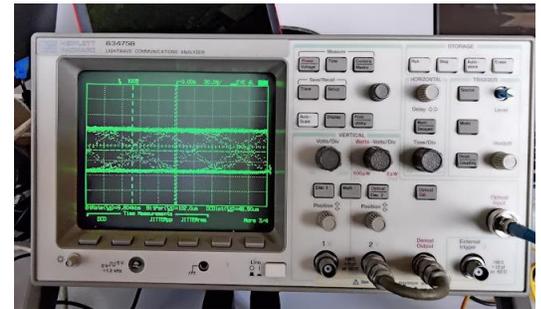


Figura 28. Analizador de señales ópticas HP 83475B

2. Switches Alcatel-Lucent OmniSwitch 6450-10 los cuales son adecuados para entornos que varían desde aulas hasta pequeñas empresas o sucursales. Tienen integrados 8 puertos de usuario los cuales dos soportan transceptores 100/1000Base-X que se pueden utilizar para

distancias cortas, largas y muy largas. Esta flexibilidad es útil en entornos donde se requiere conectar dispositivos que están a diferentes distancias del switch.

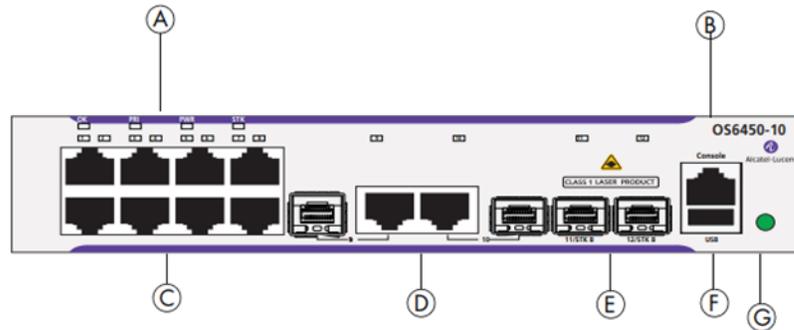


Figura 29. OmniSwitch 6450-10. [17]

3. Como transceptores ópticos se utilizaron los módulos Cisco SFP-10G-LR los cuales utilizan fibra óptica monomodo estándar, así como conectores de tipo LC-UPC. El módulo soporta una longitud de enlace de hasta 10 kilómetros.



Figura 30. SFP-10G-LR.

4. El generador de funciones que se utiliza como trigger externo es de la marca Rigol modelo DG1022Z. Es óptimo para este uso debido a que puede llegar a generar funciones de hasta 25 MHz.



Figura 31. Generador de funciones Rigol DG1022Z.

5. Para desviar la señal al analizador a nivel de receptor, se utilizó un splitter óptico de fibra monomodo. Este splitter tiene una relación de 50/50 entre los dos canales que deriva, por lo que el analizador recibirá la mitad de potencia de la señal que está viajando en la red.



Figura 32. Splitter óptico.

6. Fibra óptica monomodo de diferentes longitudes: 700 m, 2 Km y 17 Km.

Resultados

Una vez que se configuró el analizador para poder obtener un diagrama de ojo de la señal entre los switches, el resultado que obtuvimos se muestra en la Figura 33.

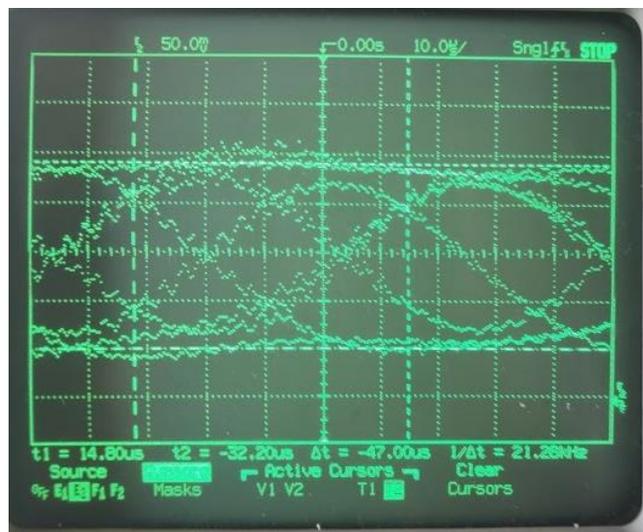


Figura 33. Diagrama de ojo para señal de switches ópticos.

Como se discutió en trabajos anteriores [16] donde se utilizó este mismo analizador para obtener un diagrama de ojo de señales de muy alta frecuencia, se comprueba que el equipo no es efectivo para obtener mediciones en señales que rondan por los 5.6 Gbps, que es la tasa de velocidad a la que los switches transmiten en sus puertos para transceptores SFP. Esto se probó en repetidas ocasiones, llegando al mismo resultado. El ojo es muy parecido a otros que se obtienen al hacer pruebas donde hay una gran cantidad de ruido: la forma del ojo se desgrada hasta dejar de tomar una forma definida y las líneas que forman al ojo no son uniformes. [13]

Debido a esto, no fue posible recopilar datos con los cuales trabajar, sin embargo, este experimento se puede recuperar en la práctica solo para permitir a los estudiantes entender mejor cómo se comporta la señal en un entorno real de transmisión de datos de alta velocidad.

Análisis de señal óptica de una red punto a punto con convertidores de señales óptico-eléctricas HTB-3100 netLINK 10/100M

Para esta propuesta se implementaron dos computadoras que representan los dos nodos de la red punto a punto. Una vez configurada la red a nivel software, se realiza la conexión física de los nodos por medio de los convertidores ópticos, lo que permite que la señal eléctrica que sale de las computadoras se convierta a señal óptica. A partir de esto, se realizaron diversas pruebas variando la longitud de la fibra óptica que conecta a los puntos, para analizar cómo es que la transmisión se ve afectada ya sea por este mismo factor de distancia y/o la calidad de los conectores que se agregan para poder conectar a diferentes bobinas. Todo esto afecta a la transmisión provocando que la forma del ojo varíe.

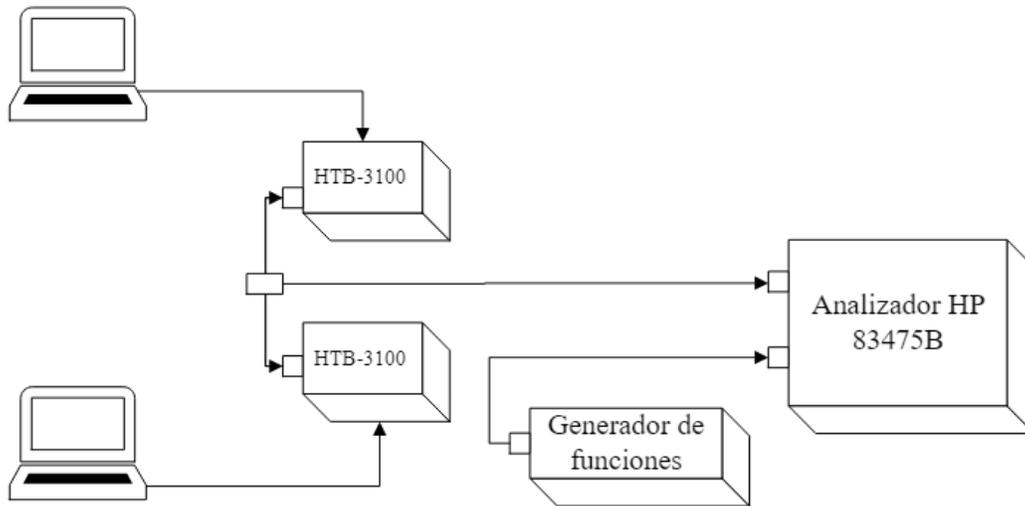


Figura 34. Diagrama de la instalación simple para el análisis de diagrama de ojo entre los dos convertidores opto-eléctricos HTB-3100.

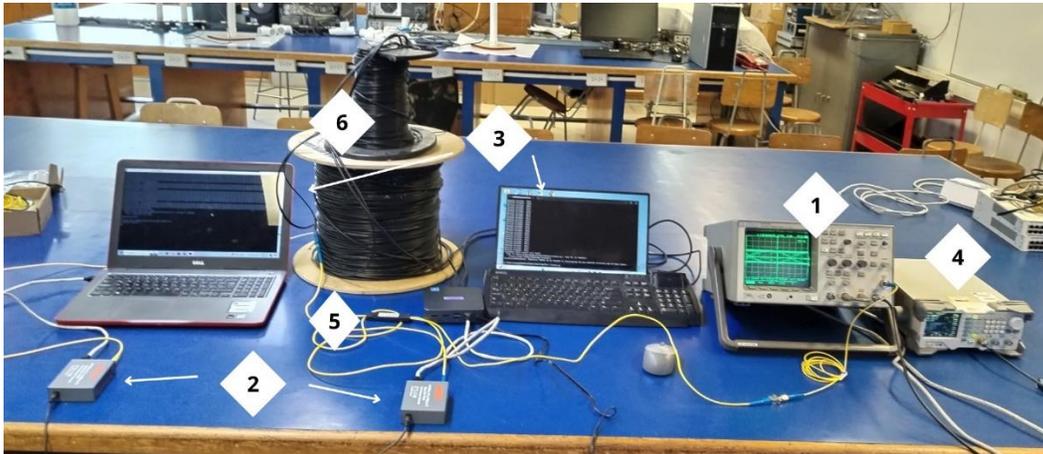


Figura 35. Instalación experimental simple.

Descripción y consideraciones de la instalación experimental

Los elementos de esta instalación experimental no varían respecto a la propuesta anterior, a excepción de cambiar los switches ópticos por los convertidores.

Los convertidores de señales óptico-eléctricas HTB-3100 netLINK 10/100M WDM monomodo soportan velocidades de 10/100 Mbps y utilizan un solo módulo de fibra óptica para transmitir señales a grandes distancias. Incluyen indicadores LED para monitorear el funcionamiento y están diseñados para usuarios finales de red.

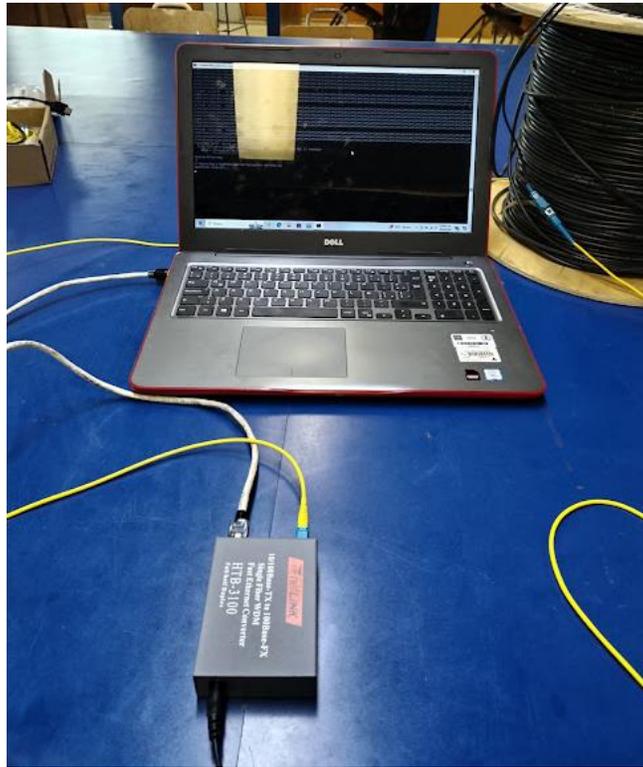


Figura 36. Conexión entre la computadora y el convertidor de medios.

Pruebas con el splitter conectado únicamente

Para el análisis por diagramas de ojo de la red propuesta, donde en cada experimento se varían factores como la longitud de la fibra y el número de conectores, es importante comenzar con una distancia muy corta y sin conectores. Luego, se deben agregar progresivamente estos elementos, ajustando el equipo de medición si lo requiere el caso. Esto permitirá identificar de manera precisa cómo cada variable afecta el rendimiento de la señal.

Para la primera fase de este experimento es recomendable empezar con las mediciones del diagrama de ojo entre los nodos de la red conectados solamente por el splitter.

Una vez conectados todos los elementos, se repite la configuración del analizador para poder ver la señal óptica en este. Como se muestra en la Figura 37, la señal que viaja entre los convertidores es una señal más definida, parecida a una señal de reloj. Debido a que la velocidad de esta señal es más baja que la de los switches, aquí podemos medir con mayor precisión la duración de los pulsos y la potencia de la señal con los cursores del analizador.

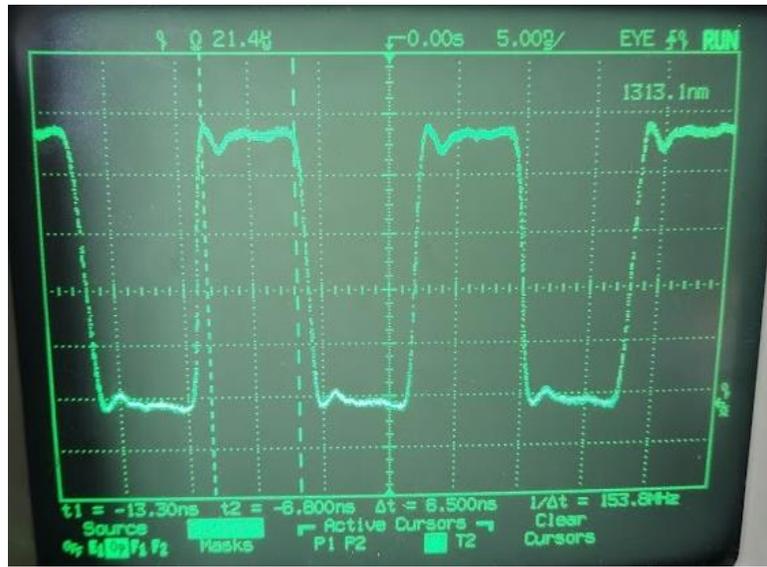


Figura 37. Señal óptica utilizando solo splitter.

A simple vista se puede observar que la simetría entre los dos niveles de los pulsos es casi exacta, por lo que el porcentaje de cruce del ojo será aproximadamente de 50%, por lo que no se cerrará la forma del ojo, lo que nos indicaría que la tasa de error de bits (BER) es baja.

Se realiza la configuración del equipo para ver el ojo, obteniendo el diagrama de la Figura 38.

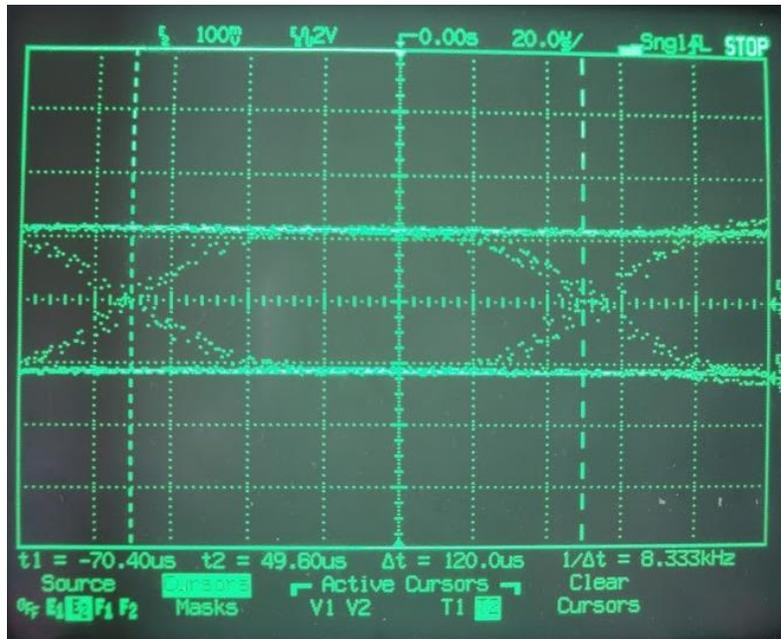


Figura 37. Diagrama de ojo.

Para obtener los parámetros especificados en las tablas 2.2.1 y tabla 2.2.2, es necesario estabilizar el ojo con el trigger tipo line en combinación con el trigger externo del generador de funciones. Sin

embargo, entre más alto es el nivel de trigger, tratando de mantener el ojo estático, el analizador no permite obtener ninguna de las mediciones, poniendo el mensaje de “Value not found”, por lo que es necesario dejar que el ojo se mueva en el tiempo.

Trabajando sobre esta línea, es necesario dejar que el analizador calcule 20 muestras diferentes de cada dato, y procesar estos estadísticamente: conocer la media de estas 20 muestras, así como el valor máximo y mínimo en el que oscilan. También para saber si la media es un dato confiable para trabajar y sacar conclusiones al respecto, es recomendable obtener el error estándar de la media. Los datos recopilados se procesaron con un script en Matlab. El análisis estadístico de todos los parámetros, así como las muestras tomadas, pueden consultarse en el anexo F y anexo C respectivamente.

Para tener un resultado final de todas estas mediciones, los datos que son importantes recuperar son los valores medios del Nivel uno, Nivel cero, el ruido RMS. Estos datos son los necesarios para calcular el factor Q y la BER, para así tener dos datos clave para comparar con las otras pruebas.

Tabla 5.1. Datos estadísticos para el cálculo del factor Q y la BER.

	Promedio	Máximo	Mínimo	Error estándar de la media
Nivel de uno [mV]	244.230	251.400	235.800	0.877
Nivel de cero [mV]	-8.806	6.541	-62.920	4.129
Ruido RMS [mV]	26.814	35.960	15.320	1.249

$$Q = \frac{244.230 [mV] - (-8.806 [mV])}{26.814 [mV]}$$

$$Q = 9.4367 []$$

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{9.4367}{\sqrt{2}} \right)$$

$$BER = 1.9233 \times 10^{-21}$$

Pruebas con bobina de fibra óptica con longitud de 700 m

Al agregar una bobina de una longitud de casi 1 Km entre los convertidores, podemos notar que la señal se degrada; la forma de los pulsos no es tan definida como en el caso anterior. Esto, además de que la señal recorre una distancia más larga, también se debe a la calidad de los conectores. Al forzar mecánicamente un poco los conectores entre la bobina y el splitter, la señal llega a tener una mejor definición, pero esta se vuelve a degradar a penas se sueltan los conectores, por lo que la señal se queda como en la Figura 39. Se puede observar más ruido en los niveles uno y cero.

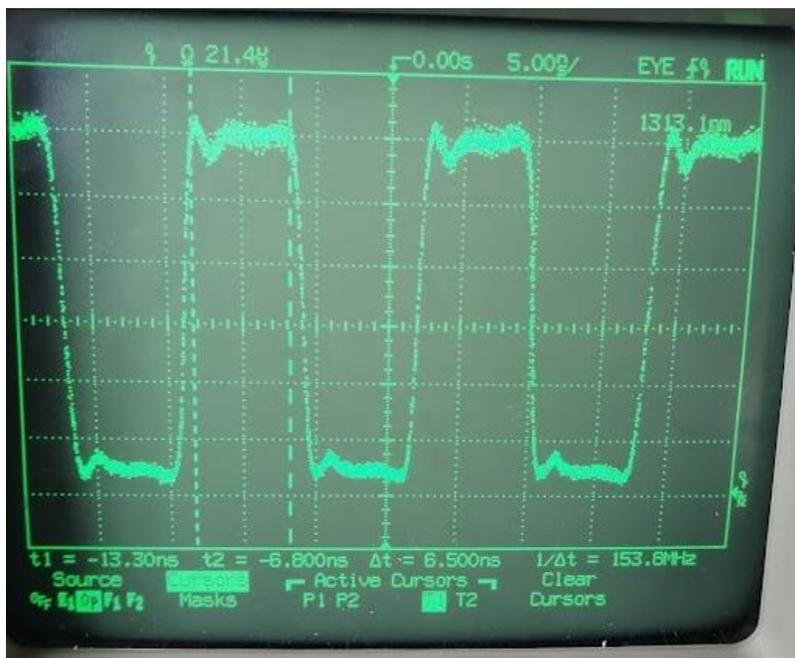


Figura 39. Señal óptica con una bobina de 700 m entre los convertidores.

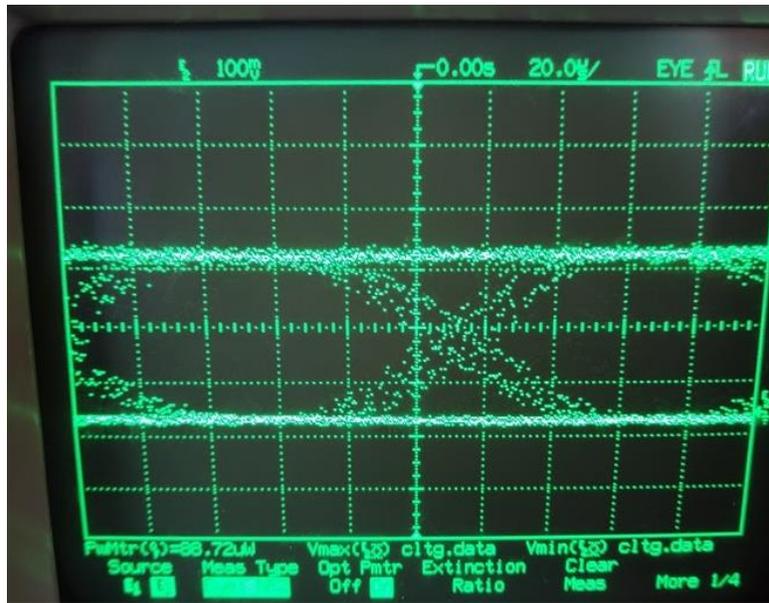


Figura 40. Diagrama de ojo.

El diagrama de ojo se observa con más ruido entre los cambios de nivel, que se puede atribuir a las variables descritas anteriormente. Se vuelven a tomar 20 muestras de cada parámetro para su procesamiento estadístico, y con esto se calcula el factor Q y la BER.

Tabla 5.2. Datos estadísticos para el cálculo del factor Q y la BER para 700 m de fibra óptica.

	Promedio	Máximo	Mínimo	Error estandar de la media
Nivel de uno [mV]	272.090	276.400	266.900	0.694
Nivel de cero [mV]	-10.610	-8.940	-12.890	0.282
Ruido RMS [mV]	27.514	42.320	12.430	2.092

$$Q = \frac{272.090 \text{ [mV]} - (-10.610 \text{ [mV]})}{27.514 \text{ [mV]}}$$

$$Q = 10.2748 \text{ []}$$

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{10.2748}{\sqrt{2}} \right)$$

$$BER = 4.5777 \times 10^{-25}$$

Pruebas con bobina de fibra óptica con longitud de 17 Km

Aumentando significativamente la longitud entre los nodos de la red, se conectó una bobina de 17 Km aproximadamente. En este caso, el número de conectores aumentó, así también 15 empalmes entran como variables importantes para la degradación de la señal a través de esta red. Al conectar la señal al analizador, esta apenas es perceptible para el receptor. Es importante destacar que la conexión entre el cliente y el servidor es interrumpida.

Al presionar el botón de Auto-scale, el analizador nos indica que no encuentra la señal, por lo que es necesario configurar manualmente este para llegar a ver una señal extremadamente degradada.

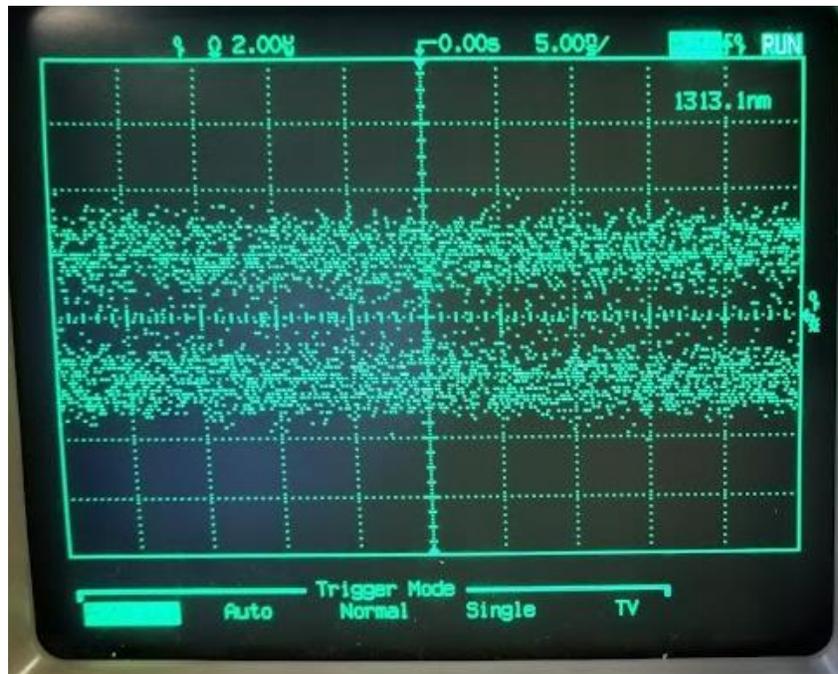


Figura 41. Señal óptica a través de una bobina de 17 Km.

Debido a que el analizador no puede detectar la señal, es imposible realizar las mediciones necesarias para caracterizar la calidad del canal, sin embargo, es importante recuperar este experimento para el protocolo de la práctica debido a que les permitirá a los alumnos entender la degradación de las señales ópticas debido a la distancia. Incluso aunque el receptor del analizador

Capítulo 4: Conclusiones generales

El análisis de la calidad de la información es una técnica que prevalece para muchas áreas de las telecomunicaciones. El creciente mercado de las tecnologías de redes ópticas de alta velocidad hace de esta área de suma importancia para el estudio en los planes de estudio de los ingenieros en comunicaciones. Las técnicas de análisis de diagramas de ojo proporcionan una herramienta indispensable para asegurar la calidad y confiabilidad de las redes ópticas, vitales para soportar las crecientes demandas de ancho de banda y velocidad.

El objetivo fue desarrollar un protocolo para una práctica de redes PON/FTTH para que el alumno aplique los fundamentos básicos de las redes ópticas punto a punto para cuantificar la calidad de la información, por medio de diagramas de ojo, utilizando un enlace óptico en banda base. A partir de este primer planteamiento se llegaron a las siguientes conclusiones:

Se ha logrado implementar una red de oficina que conecta dos computadoras, ya sea utilizando switches y transceptores ópticos o convertidores de señales óptico-eléctricas y fibra monomodo, lo que permitirá a los alumnos familiarizarse con los componentes esenciales de una red de fibra óptica, así como los aspectos fundamentales del modelo OSI que permiten que una red opere, haciendo énfasis en las variables que afectan la comunicación a nivel capa física y como esta repercute en las capas superiores.

Como segunda conclusión es que se logró diseñar un protocolo de práctica donde se pudiera probar a través de diferentes experimentos, como es que el diagrama de ojo es una herramienta fundamental, así como fácil de utilizar para poder caracterizar la calidad del medio óptico. Algo que puede ser utilizado en sistemas de comunicación que solo utilicen fibra óptica, e incluso otros medios de transmisión. El protocolo de práctica puede ser consultado en el Anexo A de este documento.

También, a lo largo del desarrollo de estas actividades experimentales se concluyó que además de determinar la calidad de la información digital, estas actividades propuestas también tienen posibles aplicaciones en otro tipo de mediciones funcionales para enlaces ópticos, las cuales pueden ser desarrolladas en trabajos futuros implementando las instalaciones utilizadas en este trabajo:

- Determinar la dispersión cromática de un determinado enlace de fibra óptica.
- Determinar la ISI.
- Establecer un BER más preciso en un envío de información binaria.
- Determinar las pérdidas por inserción utilizando métodos alternativos.

Es importante mencionar que esta práctica podría mejorarse si se adquiere un osciloscopio de más alto performance, ya que con esto se podría realizar un análisis más completo y exacto sobre características de los transceptores ópticos – realizar las pruebas de cumplimiento de máscara, y de esta manera poder trabajar con los alumnos enseñándoles los estándares más actuales que se manejan en la industria-, o de redes ópticas con velocidades de transmisión más altas como las actuales. Haciendo una investigación sobre equipo más actualizado, se hizo una cotización con el proveedor Rohde & Schwarz; el equipo que recomendó el ingeniero de ventas para poder llevar a cabo este tipo de mediciones fue el Osciloscopio de Alto Performance RTP. La cotización completa se encuentra adjunta en el Anexo H.

Anexo A: Protocolo de la práctica

Práctica: medición de la calidad de la información en un enlace óptico SMF sobre redes en banda base PON/FTTH mediante el paradigma eye diagram

Objetivos:

1. El alumno aprenderá a medir la calidad de la información y como es que la transmisión de datos puede verse afectada por la capa física del enlace óptico.
2. El alumno configurará la conexión de un servidor y un cliente e identificará los elementos necesarios para conectar una red óptica punto a punto.
3. Que el alumno logre identificar e interpretar los parámetros de un diagrama de ojo del enlace óptico punto a punto que se desea analizar.
4. El alumno configurará los parámetros en el analizador de comunicaciones por ondas de luz HP 83475B para obtener un diagrama de ojo.

Materiales:

- 2 switches de red Alcatel-Lucent OmniSwitch 6450-10.
- 2 módulos transceptores monomodo SFP-10G-LR Cisco.
- 2 módulos convertidores de señales óptico-eléctricas HTB-3100 netLINK 10/100M.
- 2 computadoras
- 1 Splitter de fibra óptica monomodo 1x2.
- Analizador de comunicaciones por ondas de luz HP 83475B.
- Jumpers de fibra monomodo con diferentes conectores
- Bobinas de fibra óptica monomodo de diferentes longitudes
- Adaptadores de fibra óptica

Antecedentes teóricos

Los diagramas de ojo son especialmente útiles para poder detectar problemas en la capa física como la calidad del canal. Estos diagramas no son capaces de identificar errores en el contenido de los mensajes, como confundir un dato enviado como "1" cuando en realidad debería ser un "0". Sin

embargo, sí pueden mostrar si un "1" lógico se altera tanto durante su transmisión que al llegar al receptor parece un "0", debido a los diferentes defectos físicos del canal que derivan en distorsión.

Terminología básica

1. Histograma: Los histogramas se utilizan para analizar los datos de tiempo y amplitud en los diagramas de ojo de señales digitales de alta velocidad, como lo son las señales ópticas. Permiten identificar y cuantificar la distribución y variabilidad de los niveles de amplitud (como los niveles 'uno' y 'cero') y el tiempo. A través del cálculo de la media y la desviación estándar, los histogramas dan una visión estadística de cómo se comporta la señal, ayudando a identificar distorsiones y a evaluar la calidad de la transmisión digital.

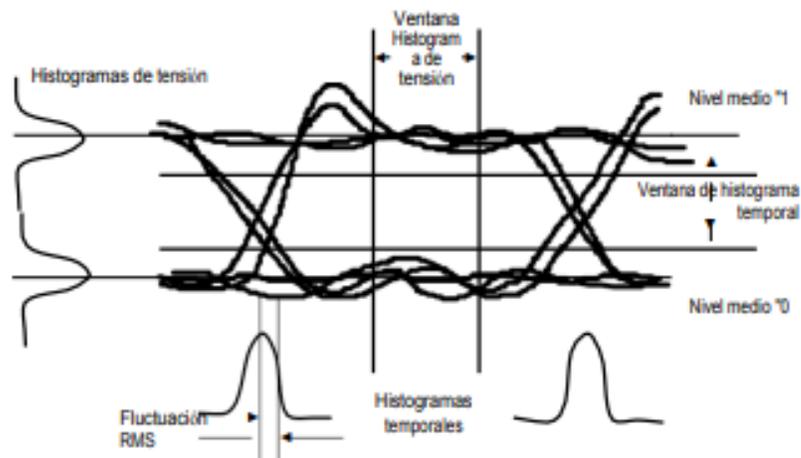


Figura 1. Histogramas de tiempo y amplitud en el analizador HP 83475B.

2. Niveles:

Nivel uno: Que corresponde al valor medio de la distribución superior en el histograma, representando la amplitud promedio de los pulsos que se interpretan como '1' en la señal.

Nivel cero: Similarmente, es el valor medio de la distribución inferior en el histograma, representando la amplitud promedio de los pulsos que se interpretan como '0'.

3. Amplitud y Altura del Ojo: Se define como la diferencia entre niveles '1' y '0', indicando el rango de amplitud que separa los estados lógicos de la señal. La amplitud vertical del ojo es un indicador crítico del margen de ruido. Entre más grande sea la amplitud, mejor.

4. Jitter: Es la variabilidad temporal de la posición de los flancos de los pulsos. Es esencial medir el jitter en el diagrama de ojo porque puede afectar la capacidad del receptor para muestrear la señal en el momento óptimo.

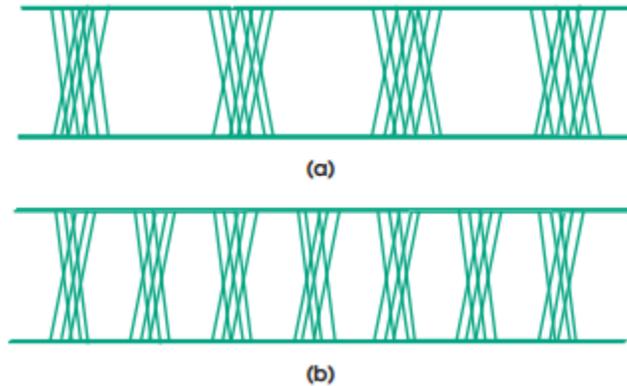


Figura 2. (a) Jitter alto. Notorio desfasamiento en los tiempos de subida y bajada (b) velocidad de datos más alta, con menor jitter pero menor apertura de ojo.

5. Cruces por Cero: En un diagrama de ojo, los cruces por cero indican los puntos donde la señal cambia de un nivel lógico a otro. Este parámetro ayuda a entender cómo las fluctuaciones de fase afectan a la señal. Cuando el valor de simetría de cruce se desvía del punto perfecto del 50%, el ojo se cierra, lo que degrada la tasa de Error de Bit (BER).
6. Relación entre Amplitud y Ruido: Observar la claridad y definición del diagrama puede dar indicaciones sobre el factor de calidad Q . Este valor indica la apertura del ojo en el diagrama de ojo y se usa para estimar la Tasa de Error de Bits (BER). Calcular estos valores pueden proporcionar un valor numérico adicional que resume la capacidad del sistema para manejar el ruido y mantener la integridad de la señal.

$$Q = \frac{Nivel_1 - Nivel_0}{Ruido_{RMS}}$$

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

7. Forma de los Pulsos: Analizar cómo la forma de los pulsos (su subida y bajada) influye en la apertura del ojo puede proporcionar información sobre la respuesta en frecuencia del canal y la presencia de ISI.

Desarrollo de la práctica

- **Análisis de diagrama de ojo en enlace punto a punto con switches de red Alcatel-Lucent OmniSwitch 6450-10 y transceptores SFP-10G-LR Cisco.**
 1. Limpiar, como se ha explicado en prácticas anteriores, los conectores LC/UPC de las fibras que irán directamente conectadas a los transceptores. Conectar dichos transceptores a los puertos de SFP señalados con el inciso E en la Figura 3.

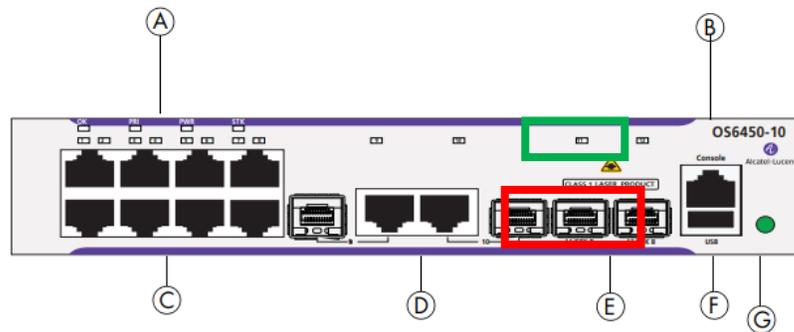


Figura 3. Panel frontal del OmniSwitch 6450-10.

2. Conectar el splitter en el enlace de bajada (receptor) de alguno de los extremos de las fibras LC conectadas a los switches, utilizando los adaptadores adecuados. Uno de los extremos del splitter debe de quedar libre para conectarse al analizador HP 83475B, el otro extremo se utilizará para la conexión punto a punto.
3. Una vez conectado el splitter, se deben utilizar las fibras y conectores necesarios para cerrar el enlace entre los dos switches. Como se muestra en la Figura X, cuando se hace la conexión correcta entre ambos switches, los LED's que se encuentran en la parte superior de los puertos SFP, en donde se conectaron los transceptores, se encenderán en verde.

4. En el extremo libre del splitter, se debe utilizar otro adaptador para poder conectar otra fibra con conectores SC, ya que la entrada de señal óptica del analizador HP 83475B es apta para un conector SC.
5. Configurar el analizador HP 83475B con los parámetros adecuados para poder visualizar el diagrama de ojo como se muestra en la Figura 4.

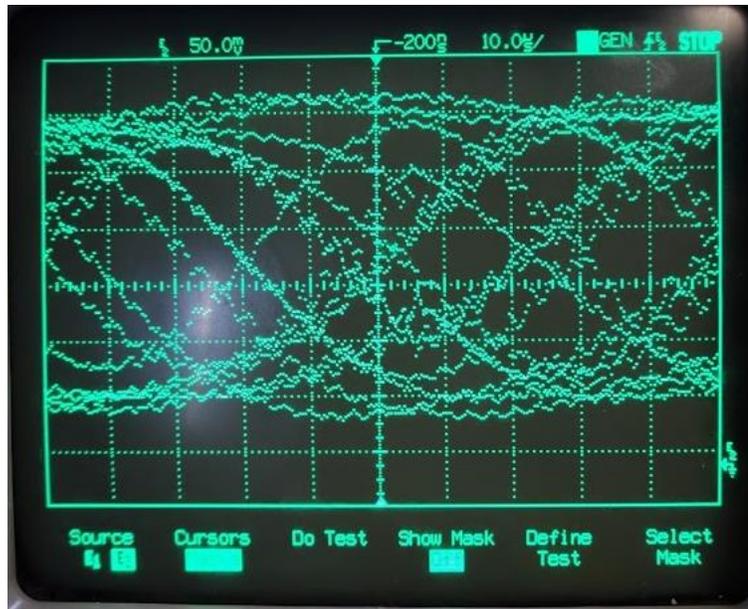


Figura 4. Diagrama de ojo en el analizador HP83475B.

6. Analizar el diagrama obtenido. Explicar el porqué de su forma.
- **Análisis de diagrama de ojo en enlace punto a punto con convertidores de señales óptico-eléctricas HTB-3100 netLINK 10/100M.**
 1. Conectar los convertidores a una fuente de energía. Así también realizar la conexión de cada uno a una computadora por medio de los puertos para conectores RJ45 para poder realizar la transmisión de datos.
 2. Conectar ambos convertidores por medio del splitter. Al tener puertos ópticos con entradas SC como el splitter, no es necesario utilizar adaptadores. Para cualquier

conexión que se realice es importante limpiar los conectores como se explicó en prácticas anteriores.

3. La transmisión entre las dos computadoras se hará a partir de una simulación de un servidor y un cliente, por lo que es necesario ejecutar los scripts de python “cliente.py” y “servidor.py”, cada uno en una computadora diferente. Estos se encuentran en el anexo A de la práctica.
4. Repetir los pasos del experimento anterior respecto a la configuración del analizador HP 83475B hasta obtener un diagrama parecido al de la Figura 5.

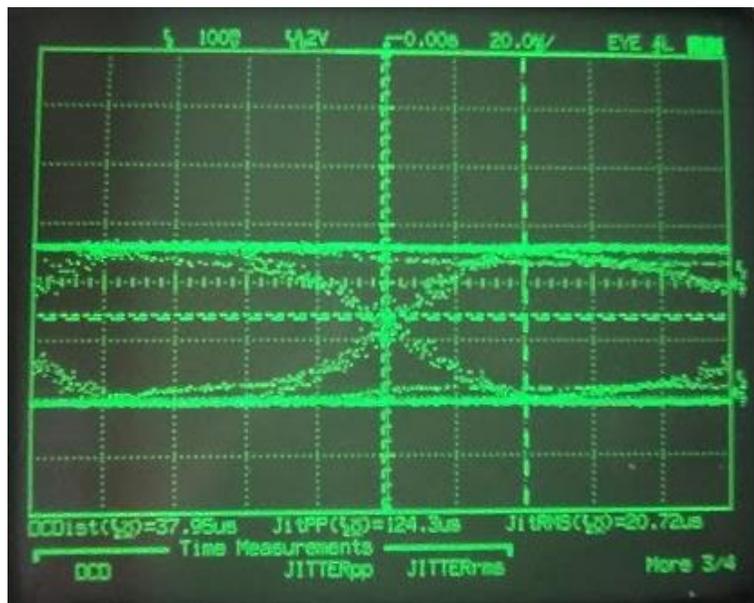


Figura 5. Diagrama de ojo obtenido para la conexión de los convertidores.

5. Obtener 20 muestras de cada uno de los parámetros especificados en las tablas siguientes, y a partir de estos obtener el promedio, valor máximo, valor mínimo, así como error estándar de la media de cada uno.

Tabla 1. Ejemplo de tabla para la toma de muestras de cada parámetro.

Muestras	Potencia [uW]	Nivel de voltaje máx. [mV]	Nivel de voltaje mín. [mV]	Overshoot [%]	Amplitud de ojo [mV]	Altura de ojo [%]	Cruce de ojo [%]	Nivel de uno [mV]	Nivel de cero [mV]	Ruido pico a pico [mV]	Ruido RMS [mV]
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											

Tabla 2. Resultados estadísticos de parámetros respecto a la potencia.

	Promedio	Máximo	Mínimo	Error estándar de la media
Potencia [uW]				
Nivel de voltaje máx. [mV]				
Nivel de voltaje mín. [mV]				
Overshoot [%]				
Amplitud de ojo [mV]				
Altura de ojo [%]				
Cruce de ojo [%]				
Nivel de uno [mV]				
Nivel de cero [mV]				
Ruido pico a pico [mV]				
Ruido RMS [mV]				

Tabla 3. Resultados estadísticos de parámetros respecto al tiempo.

	Promedio	Máximo	Mínimo	Error estándar de la media
Tiempo de subida [us]				
Tiempo de caída [us]				
Velocidad de bits [kbs]				
Periodo del bit [us]				
Distorsión del ciclo de trabajo [us]				
Jitter pico a pico [us]				
Jitter RMS [us]				

6. Calcular el factor Q y la BER.
7. Repetir los pasos anteriores con diferentes longitudes de fibra óptica. Hacer un cuadro comparativo de los datos y cálculos obtenidos. Explicar cuál es la razón de obtener diferentes resultados para cada una de estas longitudes.

Resultados

Además de la descripción del desarrollo de la práctica, deberá incluirse en el reporte:

1. El análisis de los diagramas de ojo obtenidos del analizador, para los 2 interfaces ocupadas: OmniSwitch 6450-10 y netLINK 10/100M. Colocar las imágenes necesarias describiendo el desarrollo para llegar al resultado.
2. La descripción y análisis completo de los parámetros obtenidos con el analizador de señales del diagrama de ojo. Realizar un cuadro comparativo de los resultados y diagramas de cada longitud de fibra óptica (solo el splitter, bobina de 700 m, bobina de 2 Km y bobina de 17 Km).
3. Explicar la diferencia de los diagramas de ojo dependiendo de las interfaces utilizadas y de las longitudes de fibra óptica.
4. Conclusiones generales de la práctica.

Anexo A: Scripts con generación de secuencia pseudoaleatoria de información

Servidor

```
import socket
import sys

HOST = '192.168.10.254' # IP del host
PORT = 10000 # Puerto

with socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM) as server_socket:
    server_socket.bind((HOST, PORT))
    server_socket.listen()

    print("Esperando conexión...")

    connection, client_address = server_socket.accept()

    try:
        print("Conexión establecida desde: ", client_address)
        while True:
            data = connection.recv(1024)
            if not data:
                break
            print("Mensaje recibido: ", data.decode())
    finally:
        connection.close()
```

Cliente

```
import socket
import sys

HOST = '192.168.10.254' #ip del host
PORT = 10000

with socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM) as client_socket:

    client_socket.connect((HOST, PORT))

    while True:
        message = "Hola"
        client_socket.sendall(message.encode())
        print("Mensaje enviado: ", message)
```

Fuentes de consulta

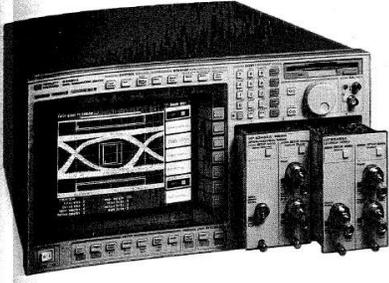
1. Hewlett Packard. (1995). "Communication waveform measurements Product Note 83475-1". EE.UU.
2. Anritsu. (2010). "Understanding Eye Pattern Measurements". EE.UU.
3. Säckinger, E. (2017). Analysis and Design of Transimpedance Amplifiers for Optical Receivers. <https://doi.org/10.1002/9781119264422>
4. Alcatel-Lucent. (2015). OmniSwitch 6450 Hardware Users Guide. Obtenido de: <https://www.manualslib.com/manual/606921/Alcatel-Lucent-Omniswitch6450.html?page=42#manual>

Anexo B: Aspectos generales de los instrumentos utilizados

Analizador de señales ópticas HP modelo 83475B

Lightwave and Digital Communications Analyzers
HP 83475B, 83480A, 83481A, 83482A, 83483A, 83484A/B, 83485A/B

- Automated mask and template measurements
- Integrated optical channels for accuracy and ease of use
- High-measurement throughput



HP 83480A

HP 83480A Digital Communications Analyzer HP 83475B Lightwave Communications Analyzer

The HP 83480A and 83475B represent a significant advancement in the instrumentation used to view waveforms in high-speed digital communications. Industry-standard tests including mask and template tests as well as eye-diagram analysis including extinction ratio are made using easy-to-use, built-in measurements. For measuring optical signals, lightwave receivers are integrated into the instruments to provide highest accuracy and waveform fidelity.

With up to 50 GHz of bandwidth, the HP 83480A can be used on low-rate tributary signals through 10 Gb/s optical waveforms. At 500 MHz bandwidth, the HP 83475B provides a lightweight, economical measurement tool for optical waveforms at rates up to 155 Mb/s as well as electrical tributary signals.

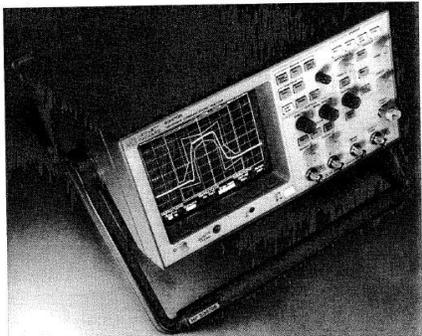
Industry Standard Masks and Templates

Achieve high-throughput waveform testing with both optical and electrical masks and templates including SDH, SONET, and Fibre Channel standards. For guardband testing, use mask margins. Custom/user-defined masks can also be generated. Masks are automatically aligned and scaled.

Integrated Optical Receivers

The HP 83475B has a built-in photodiode receiver with 1 GHz bandwidth and sensitivity from 780 nm through 1600 nm. Filtered measurements are achieved with a variety of calibrated hardware filters. The HP 83480A is a modular platform with a family of optical receivers with very high-speed internal photodiodes (2 GHz, 20 GHz, or 30 GHz bandwidths). For filtered measurements, filters are switched in with a simple keystroke to produce a calibrated reference receiver, or switched out for full bandwidth waveform analysis.

- Filtered measurements for compliance test or full bandwidth for waveform analysis
- Fast statistical waveform analysis
- Wide range of standard telecom and datacom masks and templates



HP 83475B

The HP 83480A can accept one or two plug-in modules for up to four measurement channels. Modules have two electrical channels or one optical channel and one electrical channel. The HP 83485A has a 20 GHz electrical channel and 20 GHz optical channel with a 155, 622 or 2488 Mb/s switchable filter. The HP 83481A has a 20 GHz electrical channel and a 2.5 GHz optical channel with 155 and 622 Mb/s switchable filters. The HP 83485B provides a 40 GHz electrical channel and a 10 Gb/s optical filtered channel. The HP 83482A provides a 40 GHz electrical channel and 30 GHz optical channel. The HP 83483A provides two 20 GHz electrical channels, the HP 83484A has two 50 GHz electrical channels. The HP 83475B has one optical input and two electrical channels.

Accurate Eye-Diagram Analysis

Integrated optical receivers are the key to accurate eye-diagram analysis of lightwave signals. Internal photodiodes have well-behaved frequency responses which are not degraded by external cabling and adapters. This yields the highest in waveform fidelity and measurement accuracy. Extinction ratio measurements are accurate and repeatable.

General Purpose Oscilloscopes

In addition to digital communication analysis, the HP 83475B and 83480A can be used as general-purpose, high-speed sampling oscilloscopes. Add TDR capability to the HP 83480A with the HP 54753/4/5A.

For more complete information, order the Lightwave Test and Measurement catalog. See detailed description on page 428.

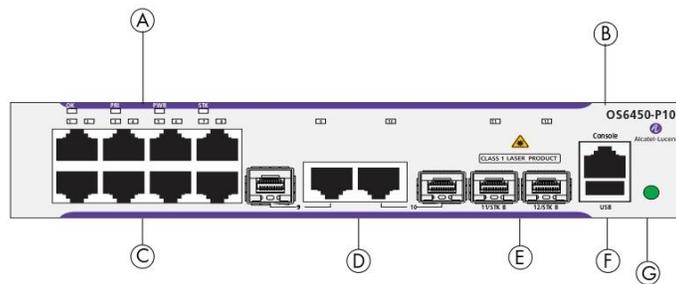
To have a Hewlett-Packard representative help you place an order or to get more information call 1-800-452-4844

OmniSwitch 6450-P10

Chassis Features

System status LEDs	Internal AC Power Supply
(8) Non-combo 10/100/1000Base-T PoE ports	Console port (RJ-45)
(2) Non-combo 100/1000BaseX ports	USB port (USB 2.0)
(2) Combo 10/100/1000Base-T or 100/1000BaseX ports	Fanless design

Front Panel



OmniSwitch 6450-P10 Front Panel

Item	Description
A	System Status LEDs Provides status on hardware, software, and power.
B	Console Port RS-232 console port with an RJ-45 connector. Provides access to the CLI for configuration and management.
C	10/100/1000BaseT RJ-45 PoE Ports 10/100/1000BaseT non-combo ports. Odd-numbered ports are on top row, even-numbered ports are on bottom row.
D	10/100/1000BaseT or 100/1000BaseX SFP Combo Ports Two 10/100/1000BaseT or SFP combo ports for various supported SFP transceivers.
E	SFP Uplink Ports Two SFP ports to be used for uplinks.
F	USB Port High speed USB 2.0 port.
G	Push Button When pushed, all LEDs will turn off and the LED of the Stack ID will remain lit. (Not currently supported. Functionality scheduled for future release.)

Refer to “OmniSwitch 6450 LED Status” on page 2-32 for LED status information.

OmniSwitch 6450-P10 Rear Panel

Note. The figure shows a pre-production version of the chassis without product, safety, and compliance information labels. All production versions of the chassis have these labels.



OmniSwitch 6450-P10 Rear Panel

Item	Description
A	Power Supply Connector Internal AC power supply.
B	Grounding Block Type LCD8-10A-L grounding lug

OmniSwitch 6450-P10 Internal AC Power Supply

P/S Component	Description
Model	Internal AC Power Supply
Provides System/PoE Power For	OmniSwitch 6450-P10
Input Voltage Range	115-230 VAC
Rated Frequency	50 to 60 Hz
Maximum System Power	30 W
Maximum PoE Power	90 W
Total Maximum Output Power	120 W
Output Voltage	12.0 VDC / 54.5 VDC
Output Current	2.5 A / 1.65A

OS6450-P10 Specifications

Total non-combo 10/100/1000BaseT PoE ports per switch	8 (1-8)
Total combo ports per switch	2 (9-10)
Total non-combo SFP ports per switch	2 (11-12 in Uplink mode)
Flash memory size	128 MB
RAM memory size	256 MB SDRAM
Chassis Width	8.50 inches (21.5 cm)
Chassis Height	1.73 inches (4.40 cm)
Chassis Depth	11.50 inches (29.21 cm)
Weight	4.56 lbs (2.07 kg)
Operating Humidity	5% to 95%
Storage Humidity	5% to 95%
Operating Temperature	0C to +45C
Storage Temperature	-40C to +75C
Default Upper Threshold Temperature	73C
Danger Threshold Temperature	82C
Data rate (RJ-45)	10/100/1000 Mbps
Maximum frame size	9216 bytes
Cable supported (RJ-45)	10BaseT: unshielded twisted-pair (UTP) 100BaseTX: unshielded twisted-pair (UTP), Category 5, EIA/TIA 568 or shielded twisted-pair (STP), Category 5, 100 ohm 1000BaseT: unshielded twisted-pair (UTP), Category 5e
Maximum cable distance (RJ-45)	100 meters
Remote Stacking Support	Does not support remote stacking

Convertidores de señales óptico-eléctricas HTB-3100 netLINK 10/100M

+ Specification & Feature

Feature

- The transmission of a channel optical signals can be completed by single fiber. It has doubled in quantity of fiber data transmission compared with twin fiber type.
- Auto negotiation function allows UTP port to auto select 10M or 100M and Full Duplex or Half Duplex.
- UTP port supports MDI / MDI-X auto crossover
- Supporting flow control
- Supporting 1552 Byte packet
- Internal circuit of prevented thunder could greatly reduce damage of the converter caused by thunderbolt induction.
- Design of internal or external power supply for selection by users

Specification

- Operating standards: IEEE802.3u, 10/100Base-TX and 100Base-FX
- MAC address table: 1K
- Connector:
UTP: RJ-45 10/100Mbps;
Fiber: SC 100Mbps
- Cable:
UTP: Cat. 5 UTP (the max distance up to 100m)
Fiber(Singlemode): 8.3/125, 8.7/125, 9/125, 10/125 $\frac{1}{4}$ m(the max distance up to 90km)
- Flow Control
Full Duplex: IEEE802.3x
Half Duplex: Backpressure
- LED: Power, FX 100, FX Link/Act, TX 100, TX FDX, TX Link/Act.
- Power: AC 110V - 220V to DC 5V; DC48V to DC 5V
- Ambient temperature: 0 ~ 50°C
- Storage temperature: -20 ~ +70°C
- Humidity: 5% ~ 90%
- Dimensions:
Internal power: 30x110x140mm
External power: 26x70x93mm

Anexo C: Tabla de mediciones realizadas en el enlace punto a punto con convertidores opto-eléctricos (solo splitter)

Tabla C.1. Mediciones respecto al tiempo

Muestras	Tiempo de subida [us]	Tiempo de caída [us]	Velocidad de bits [kbs]	Periodo del bit [us]	Distorsión del ciclo de trabajo [us]	Jitter pico a pico [us]	Jitter RMS [us]
1	66.20	62.70	9.699	103.10	64.45	227.40	37.91
2	33.65	43.25	8.127	123.00	56.55	155.90	25.99
3	77.50	62.80	35.210	28.40	43.25	138.10	23.02
4	49.75	62.25	25.410	39.35	32.80	97.27	16.21
5	58.65	79.70	10.560	94.70	84.05	158.00	26.33
6	35.70	38.05	57.800	17.30	49.30	148.60	24.78
7	36.70	52.90	16.300	61.35	27.75	91.24	15.21
8	28.20	28.25	14.070	71.05	33.60	114.00	18.99
9	32.40	58.35	25.160	39.75	71.10	201.90	33.65
10	51.10	42.50	25.160	39.75	57.70	173.50	28.92
11	69.70	69.55	16.010	62.45	62.00	180.20	30.03
12	44.30	56.35	13.710	72.95	54.75	162.00	27.00
13	48.30	44.20	34.600	28.90	67.70	188.30	31.38
14	39.30	35.60	23.260	43.00	37.95	124.30	20.72
15	25.75	43.10	16.410	60.95	47.05	109.90	18.30
16	43.25	56.75	10.370	96.40	29.90	92.49	15.42
17	51.20	28.20	12.450	80.30	59.65	198.60	33.10
18	48.75	53.90	29.810	33.55	58.20	145.90	24.30

19	51.25	66.40	29.810	33.55	48.90	162.50	27.08
20	40.30	39.05	10.120	98.80	48.35	153.80	25.63

Tabla C.2. Mediciones respecto a la potencia

Muestras	Potencia [uW]	Nivel de voltaje máx. [mV]	Nivel de voltaje mín. [mV]	Overshoot [%]	Amplitud de ojo [mV]	Altura de ojo [%]	Cruce de ojo [%]	Nivel de uno [mV]	Nivel de cero [mV]	Ruido pico a pico [mV]	Ruido RMS [mV]
1	79.25	262.50	-18.750	2.20	240.10	75.20	51.60	248.00	-8.540	170.50	28.42
2	79.33	259.40	-15.630	2.20	250.00	74.40	53.00	249.00	-7.837	117.80	19.63
3	79.76	262.50	-18.750	2.10	241.90	74.30	53.00	245.20	-6.386	91.93	15.32
4	79.52	262.50	-18.750	2.20	246.60	73.90	51.80	240.10	-62.920	147.20	24.54
5	79.08	262.50	-18.750	2.20	243.10	75.90	46.70	247.20	-9.118	146.00	24.33
6	79.43	262.50	-18.750	2.30	246.30	75.80	49.10	241.50	-59.650	184.10	30.68
7	79.34	262.50	-18.750	2.20	255.50	74.10	45.60	235.80	6.541	184.80	30.80
8	79.28	262.50	-18.750	2.30	241.30	75.10	54.30	251.40	-8.393	207.60	34.60
9	79.78	262.50	-18.750	2.30	254.50	78.20	46.90	249.50	-6.938	190.70	31.79
10	79.48	262.50	-18.750	2.20	254.40	76.50	55.20	241.00	1.426	215.80	35.96
11	79.78	262.50	-18.750	2.20	246.50	74.60	56.60	240.20	2.335	173.40	28.90
12	79.60	262.50	-18.750	2.30	240.60	76.00	51.70	240.60	3.322	135.10	22.51
13	79.50	262.50	-18.750	2.30	252.80	76.70	53.90	248.20	-4.844	128.10	21.35
14	79.25	262.50	-18.750	2.20	250.50	76.20	49.30	241.90	0.404	162.00	27.00
15	79.33	262.50	-18.750	2.20	246.40	74.70	53.10	244.70	-2.437	168.10	28.01
16	79.76	262.50	-18.750	2.20	241.60	73.70	51.80	243.20	-2.239	208.30	34.72
17	79.52	262.50	-18.750	2.20	244.70	75.10	45.50	242.30	-0.426	151.00	25.16
18	79.08	262.50	-18.750	2.20	246.30	75.90	53.40	244.20	-2.517	113.50	18.92
19	79.43	262.50	-18.750	2.20	247.70	74.10	51.60	246.40	-4.550	176.30	29.39
20	79.34	262.50	-18.750	2.10	240.50	77.30	47.60	244.20	-3.345	145.50	24.25

Anexo D: Tabla de mediciones realizadas en el enlace punto a punto con convertidores opto-eléctricos (bobina 700 m)

Tabla D.1. Mediciones respecto al tiempo

Muestras	Tiempo de subida [us]	Tiempo de caída [us]	Velocidad de bits [kbs]	Periodo del bit [us]	Distorsión del ciclo de trabajo [us]	Jitter pico a pico [us]	Jitter RMS [us]
1	44.85	39.00	71.570	56.90	39.40	186.20	31.04
2	96.40	74.75	15.290	65.40	111.50	149.00	24.84
3	59.40	57.80	16.710	59.85	556.15	270.30	45.06
4	79.75	84.05	13.390	74.70	80.25	217.90	36.32
5	61.70	47.20	10.550	94.75	52.45	238.00	39.67
6	43.10	38.35	26.850	37.25	38.75	156.60	26.10
7	42.40	52.35	8.227	121.50	53.20	134.20	22.37
8	61.25	52.00	8.636	115.80	67.40	155.30	25.88
9	57.50	59.95	20.580	48.60	57.15	153.80	25.63
10	64.65	60.25	22.000	45.45	75.45	266.60	44.43
11	38.45	34.95	13.050	56.30	36.90	209.20	34.87
12	62.35	62.60	22.750	43.95	64.50	155.50	25.91
13	62.35	62.60	12.930	77.35	64.50	247.60	41.27
14	55.70	55.70	11.900	84.00	62.30	147.90	24.65
15	63.85	61.60	9.804	102.00	55.10	172.80	82.80
16	65.05	67.90	8.795	113.70	66.35	206.00	34.34
17	85.50	75.90	14.610	70.60	92.80	207.40	34.56

18	51.65	48.20	10.160	98.40	65.20	172.00	28.67
19	51.50	54.65	8.745	114.30	57.35	194.30	32.38
20	45.00	37.90	10.670	93.75	40.35	201.10	33.52

Tabla D.2. Mediciones respecto a la potencia

Muestras	Potencia [uW]	Nivel de voltaje máx. [mV]	Nivel de voltaje mín. [mV]	Overshoot [%]	Amplitud de ojo [mV]	Altura de ojo [%]	Cruce de ojo [%]	Nivel de uno [mV]	Nivel de cero [mV]	Ruido pico a pico [mV]	Ruido RMS [mV]
1	91.75	300.00	-21.880	1.80	288.30	85.60	47.30	270.90	-11.240	187.10	14.41
2	87.89	293.80	-21.880	1.80	291.40	86.90	52.70	274.90	-12.290	163.20	37.68
3	88.60	296.90	-21.880	1.80	285.40	86.50	52.40	274.30	-9.988	193.50	37.67
4	87.61	290.60	-21.880	1.90	287.40	88.10	48.40	271.40	-9.000	241.70	25.01
5	87.52	290.60	-21.880	1.80	289.20	87.50	53.90	276.40	-12.390	110.00	15.21
6	87.82	290.60	-18.750	1.90	283.00	85.00	48.10	273.90	-9.519	157.40	28.38
7	87.72	290.60	-21.880	1.90	282.70	87.30	51.40	276.10	-12.620	207.20	42.32
8	87.81	293.80	-21.880	1.90	285.40	88.70	46.80	274.10	-10.930	98.87	35.39
9	87.74	293.80	-21.880	1.90	283.00	89.40	51.30	275.40	-12.890	227.00	13.62
10	87.62	296.90	-21.880	1.90	284.20	86.90	50.40	274.60	-8.940	163.50	28.84
11	87.90	296.90	-21.880	1.80	291.80	88.90	50.70	274.00	-9.775	282.00	25.17
12	88.33	296.90	-21.880	1.90	284.80	86.70	56.90	275.30	-10.470	259.30	28.49
13	88.39	293.80	-21.880	1.90	281.40	89.90	57.20	270.50	-9.585	141.90	32.03
14	88.60	296.90	-21.880	1.80	289.90	89.50	52.60	268.20	-11.470	172.60	27.63
15	88.60	293.80	-21.880	1.90	286.20	88.40	45.80	269.70	-10.580	128.00	37.96
16	88.63	293.80	-21.880	1.80	286.20	89.50	51.60	266.90	-9.375	225.20	37.64
17	88.75	296.90	-18.750	1.90	285.60	87.50	46.30	270.00	-11.770	300.70	14.14
18	88.93	296.90	-21.880	1.90	287.30	89.20	52.50	268.40	-9.566	240.30	29.63
19	88.72	296.90	-21.880	1.90	283.60	88.10	46.10	268.80	-9.832	206.80	12.43
20	89.04	293.80	-21.880	1.80	291.80	88.90	51.40	268.10	-9.970	207.20	26.64

Anexo E: Análisis estadísticos de datos

Tabla F.1. Análisis estadísticos de conexión con splitter respecto a la potencia.

	Promedio	Máximo	Mínimo	Error estándar de la media
Potencia [uW]	79.442	79.780	79.080	0.048
Nivel de voltaje máx.[mV]	262.345	262.500	259.400	0.155
Nivel de voltaje mín.[mV]	-18.594	-15.630	-18.750	0.156
Overshoot [%]	2.215	2.300	2.100	0.013
Amplitud de ojo [mV]	246.565	255.500	240.100	1.119
Altura de ojo [%]	75.385	78.200	73.700	0.272
Cruce de ojo [%]	51.085	56.600	45.500	0.728
Nivel de uno [mV]	244.230	251.400	235.800	0.877
Nivel de cero [mV]	-8.806	6.541	-62.920	4.129
Ruido pico a pico [mV]	160.887	215.800	91.930	7.491
Ruido RMS [mV]	26.814	35.960	15.320	1.249

Tabla F.2. Análisis estadísticos de conexión con splitter respecto al tiempo.

	Promedio	Máximo	Mínimo	Error estándar de la media
Tiempo de subida [us]	46.598	77.500	25.750	3.064
Tiempo de caída [us]	51.193	79.700	28.200	3.146
Velocidad de bits [kbs]	21.202	57.800	8.127	2.729
Periodo del bit [us]	61.430	123.000	17.300	6.739
Distorsión del ciclo de trabajo [us]	51.750	84.050	27.750	3.310
Jitter pico a pico [us]	151.195	227.400	91.240	8.527
Jitter RMS [us]	25.199	37.910	15.210	1.422

Tabla F.3. Análisis estadísticos de conexión con bobina de 700 m respecto a la potencia.

	Promedio	Máximo	Mínimo	Error estándar de la media
Potencia [uW]	88.398	91.750	87.520	0.208
Nivel de voltaje máx. [mV]	294.710	300.000	290.600	0.606
Nivel de voltaje mín. [mV]	-21.567	-18.750	-21.880	0.215
Overshoot [%]	1.860	1.900	1.800	0.011
Amplitud de ojo [mV]	286.430	291.800	281.400	0.704
Altura de ojo [%]	87.925	89.900	85.000	0.307
Cruce de ojo [%]	50.690	57.200	45.800	0.744
Nivel de uno [mV]	272.090	276.400	266.900	0.694

Nivel de cero [mV]	-10.610	-8.940	-12.890	0.282
Ruido pico a pico [mV]	195.670	300.700	98.870	12.272
Ruido RMS [mV]	27.514	42.320	12.430	2.092

Tabla F.4. Análisis estadísticos de conexión con bobina de 700 m respecto al tiempo.

	Promedio	Máximo	Mínimo	Error estandar de la media
Tiempo de subida [us]	59.620	96.400	38.450	3.293
Tiempo de caída [us]	56.385	84.050	34.950	2.978
Velocidad de bits [kbs]	16.861	71.570	8.227	3.115
Periodo del bit [us]	78.728	121.500	37.250	5.999
Distorsión del ciclo de trabajo [us]	61.852	111.500	270.300	82.800
Jitter pico a pico [us]	192.090	270.300	134.200	9.136
Jitter RMS [us]	34.715	82.800	22.370	2.949

Anexo F: Script en Matlab para el análisis estadístico de los datos recopilados

```
% Cargar la tabla desde Excel
filename = ' .xlsx'; % Reemplaza ' .xlsx' con el nombre de tu archivo
opts = detectImportOptions(filename, 'Sheet', 2);
tabla = readtable(filename, opts);

promedios = varfun(@mean, tabla, 'OutputFormat', 'table');

maximos = varfun(@max, tabla, 'OutputFormat', 'table');

minimos = varfun(@min, tabla, 'OutputFormat', 'table');

sem = @(x) std(x) / sqrt(length(x));
errorEstandar = varfun(sem, tabla, 'OutputFormat', 'table');

resultados = table(promedios, maximos, minimos, errorEstandar);

disp('Promedios:');
disp(promedios);
disp('Máximos:');
disp(maximos);
disp('Mínimos:');
disp(minimos);
disp('Error estándar de la media:');
disp(errorEstandar);
```

Anexo G: Scripts en Python con generación de secuencia pseudoaleatoria de información

Servidor

```
import socket
import sys

HOST = '192.168.10.254'
PORT = 10000 # Puerto

with socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM) as server_socket:
    server_socket.bind((HOST, PORT))
    server_socket.listen()

    print("Esperando conexión...")

    connection, client_address = server_socket.accept()

    try:
        print("Conexión establecida desde: ", client_address)
        while True:
            data = connection.recv(1024)
            if not data:
                break
            print("Mensaje recibido: ", data.decode())
    finally:
        connection.close()
```

Cliente

```
import socket
import sys

HOST = '192.168.10.254'
PORT = 10000

with socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM) as client_socket:

    client_socket.connect((HOST, PORT))

    while True:
        message = "Hola"
        client_socket.sendall(message.encode())
```

Anexo H: Cotización del Osciloscopio de Alto Performance RTP

ROHDE & SCHWARZ



Posición	Modelo	Referencia	Cant.	Precio U. USD	Precio total USD
	Descripción / Plazo estimado (Semanas)				
1	RTP Digital Oscilloscope Plazo de entrega del artículo 1.1 - 1.4: 9 semanas Garantía 1.1 - 1.4: 12 meses		1		
1.1	RTP164B High-performance oscilloscope R&S®RTP with 16/8 GHz bandwidth and 40/20 Gsample/s sampling rate on 2/4 channels and 13.3" WXGA display 100/400 Mpts memory with 4/1 channels Up to 16 bit vertical resolution Precise measurements - compact and quiet - All trigger events up to full BW - Acquisition rate up to 750,000 wfm/s - Real-time deembedding (option) Included: 2x SMA adapters, GPIB interface and OCXO	1803.7000.16	1	181,170.00 -20.00%	181,170.00 144,936.00
1.2	RTP-B20B Front handles for R&S®RTP oscilloscope (1803.7000.xx)	1803.6410.02	1	60.00 -20.00%	60.00 48.00
1.3	RTP-B105 Memory upgrade to 500 Msamples per channel (software license)	1337.9523.02	1	15,015.00 -20.00%	15,015.00 12,012.00
1.4	RTP-K137 16 Gbps Advanced Eye Analysis, including HW-based CDR and comprehensive Mask test library (software license) (For RTP models 1803.7000.xx and 1320.5007.xx with SN >103000)	1800.6983.02	1	14,085.00 -20.00%	14,085.00 11,268.00

Precio posición (1) USD	210,330.00	210,330.00
	-20.00%	168,264.00
Precio bruto	USD	210,330.00
Descuento total posición	-20.00%	-42,066.00
Precio neto total	USD	168,264.00

Debido a actualizaciones técnicas puede ser necesario reemplazar algunas posiciones solicitadas por nuevas versiones o materiales. En tal caso el cliente acepta la modificación del suministro contratado incluso después de la realización del pedido, siempre y cuando las condiciones acordadas se mantengan y los nuevos materiales cumplan con las especificaciones técnicas del material.

El cliente debe efectuar todos los pagos desde una cuenta bancaria a su nombre. El cliente es responsable de todos los pagos que se deriven de la relación contractual y asegura el cumplimiento de todas las leyes aplicables, en particular las relativas a la prevención del blanqueo de capitales.

Referencias

- [1] Lucas-Bartolo, N. (2023). La fibra óptica ya conecta a Internet a casi el 30% de los hogares mexicanos. *El economista*.
- [2] Anritsu. (2010). *Understanding Eye Pattern Measurements*. EE.UU.
- [3] Tektronix. (2010). *Anatomy of an Eye Diagram: How to Construct & Trigger*. Obtenido de Tektronix: <https://www.tek.com/en/documents/application-note/anatomy-eye-diagram>
- [4] Technavio. (s. f.). *Market Research Reports – Industry analysis Size & Trends – TechNavio*. Technavio, <https://www.technavio.com/>, All Right Reserved 2024. <https://www.technavio.com/report/gpon-technology-market-analysis><https://www.technavio.com/report/gpon-technology-market-analysis>
- [5] ITU-T. *Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics*.
- [6] Alani, M. M. (2014). *Guide to OSI and TCP/IP Models*. En *SpringerBriefs in computer science*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-05152-9>
- [7] Kurata, K. (2010). *High-speed optical transceiver and systems for optical interconnects*. *collocated National Fiber Optic Engineers Conference* (págs. 1-3). San Diego, CA, USA: IEEE.
- [8] *Fiber optic installations: a practical guide* / B. Chomycz – New york: McGraw-Hill, 1996. 234p. ISBN 0-07-011635-0.
- [9] Hewlett Packard. (1995). “*Communication waveform measurements Product Note 83475-1*”. EE.UU.
- [10] Säckinger, E. (2017). *Analysis and Design of Transimpedance Amplifiers for Optical Receivers*. <https://doi.org/10.1002/9781119264422>
- [11] Säckinger, E. (2005). *Broadband Circuits for Optical Fiber Communication*. Copyright. John Wiley & Sons, Inc.

- [12] Tektronix. (2010). Dual-Dirac, Scope Histograms and BERTScan Measurements: <https://www.tek.com/en/documents/primer/dual-dirac-scope-histograms-and-bertscan-measurements>
- [13] Mutashar S. (2021). Dispersion compensation of optical systems utilizing fiber Bragg grating at 15 Gbits/s. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science.
- [14] W. Freude et al., "Quality metrics for optical signals: Eye diagram, Q-factor, OSNR, EVM and BER," 2012 14th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), Coventry, UK, 2012, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICTON.2012.6254380.
- [15] Codecademy. *The OSI model*. Codecademy. <https://www.codecademy.com/article/osi-model>
- [16] Hong. P. (2006). Diseño de prácticas de laboratorio sobre técnicas de caracterización en comunicaciones ópticas. Tesis Maestría. UNAM.
- [17] Alcatel-Lucent. (2015). OmniSwitch 6450 Hardware Users Guide. Obtenido de: <https://www.manualslib.com/manual/606921/Alcatel-Lucent-Omniswitch6450.html?page=42#manual>
- [18] FOCC. 10GBASE-BX60-U SMF 1270nm-TX / 1330nm-RX 60 km DOM LC WDM BiDi SFP + Módulo transmisor-receptor Compatible con Cisco SFP-10G-BX60U-I. Obtenido de: <https://www.fibresplitter.com/fiber-optic-transceivers/sfp-transceiver/10gbase-bx60-u-smf-1270nm-tx-1330nm-rx-60km.html>
- [19] Bi, P. (2023, 25 mayo). What Is an Optical Module and Its FAQs. Dawnergy Technologies (Shanghai) Co., Ltd. <https://www.fiberopticalsplitter.com/news/what-is-an-optical-module-and-its-faqs-143761.html>
- [20] Keysight. Performing eye diagram measurements. https://helpfiles.keysight.com/csg/e5071c/measurement_with_options/enhanced_time_domain_analysis/eye_diagram_and_mask_test/performing_eye_diagram_measurements.html
- [21] National Instruments Corporation. (2014). NI LabVIEW Jitter Analysis Toolkit. Obtenido de: <https://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-328>