

Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

FACULTAD DE INGENIERÍA
COORDINACIÓN DE POSGRADO



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA

Trabajo de Titulación como requisito previo para la obtención del título de
Magíster en Tecnologías de Información mención Gestión y Administración de TI

**ESTUDIO Y SIMULACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE
LA MIGRACIÓN DE UNA RED SDH METROPOLITANA HACIA UNA RED METRO
ETHERNET**

Autor: Ing. Washington Alemnber Pacheco Proaño

Director: Dr. Gustavo Xavier Chafla Altamirano

Quito, 16 de abril 2024

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Washington Alemnber Pacheco Proaño declaro que el trabajo de titulación “ESTUDIO Y SIMULACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA MIGRACIÓN DE UNA RED SDH METROPOLITANA HACIA UNA RED METRO ETHERNET” previa a la obtención del Título de Magíster en Tecnologías de Información mención Gestión y Administración de TI, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas y fuentes que constan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

Autorizó a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “ESTUDIO Y SIMULACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA MIGRACIÓN DE UNA RED SDH METROPOLITANA HACIA UNA RED METRO ETHERNET”, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Quito, a los 16 días del mes de abril del año 2024.

EL AUTOR



Washington Alemnber Pacheco Proaño

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi carácter de Director (a) – Tutor (a) del Trabajo de Posgrado Titulado: “ESTUDIO Y SIMULACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA MIGRACIÓN DE UNA RED SDH METROPOLITANA HACIA UNA RED METRO ETHERNET”, presentado por el maestrante Washington Aember Pacheco Proaño, titular de la Cédula de Identidad N° 1721899035 para optar al Grado de Magíster en Educación mención gestión del aprendizaje mediado por TIC, considero que dicho Trabajo de Investigación reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación por parte de los Lectores – Evaluadores que se designen para tal fin por parte de las autoridades de la Facultad de Ciencias de la Educación.

En la ciudad de Quito, a los 16 días de abril de 2024

Gustavo Xavier Chafla Altamirano C.I. 0602042145

gxchafla@puce.edu.ec

NRO TELEFONO:0987071273

NOTA:

Se comunica que en el servicio de análisis Turnitin, el referido trabajo de titulación alcanzó el siguiente resultado: 7 % índice de similitud con otras fuentes.

TURNITIN: INCLUIR HOJA DEL INFORME CON EL PORCENTAJE

22/4/24, 09:02

Turnitin - Originality Report - Tesis Pacheco V5

Turnitin Originality Report

Processed on: 22-Apr-2024 08:49 -05
ID: 2358044156
Word Count: 13259
Submitted: 1

Tesis Pacheco V5 By Gustavo Xavier
Chafía Altamirano

Similarity Index	Similarity by Source
7%	Internet Sources: 7% Publications: 0% Student Papers: 2%

2% match ()
[Lavedra Albán, Julio Andrés. "Análisis y simulación de los efectos no lineales causados por el fenómeno de dispersión inelástico en la capa física de una red pon de nueva generación", 2014](#)

1% match (Internet from 25-Dec-2021)
<http://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/1437/1/UISRAEL-EC-ELDT-378.242-2017-032.pdf>

1% match (student papers from 18-Mar-2024)
Class: TRABAJO DE TITULACIÓN - P1885-TEÓRICO-PRACTICO-PV021-11-N02 (Moodle PP)
Assignment: Entrega Tesis
Paper ID: [2323920775](#)

1% match (Internet from 15-Dec-2022)
<https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/6719/Adalberto%20Gerardo%20Rojas%20Vargas.pdf?sequence=1>

1% match (Internet from 17-Dec-2022)
<http://www.fiber-optical-transceivers.com/info/classification-and-comparison-of-g-652-and-g-57652315.html>

1% match (Internet from 28-Nov-2017)
<http://docelayer.es/54215506-Universidad-de-guayaquil.html>

1% match (student papers from 13-Dec-2021)
[Submitted to Escuela Politecnica Nacional on 2021-12-13](#)

1% match (Internet from 28-Aug-2022)
<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/4266/1/UNACH-EC-ING-ELE-TEL-2017-0012.pdf>

FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN DE POSGRADO PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Trabajo de Titulación como requisito previo para la obtención del título de Magíster en Tecnologías de Información mención Gestión y Administración de TI ESTUDIO Y SIMULACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA MIGRACIÓN HACIA UNA RED METRO ETHERNET Autor: Ing. Washington Alembor Pacheco Proaño Director: Dr. Gustavo Xavier Chafía Altamirano Quito, 16 de abril 2024 COORDINACIÓN DE POSGRADO PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN Yo, Washington Alembor Pacheco Proaño declaro que el trabajo de titulación "ESTUDIO Y SIMULACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA MIGRACIÓN HACIA UNA RED METRO ETHERNET" previa a la obtención del Título de Magíster en Tecnologías de Información mención Gestión y Administración de TI, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas y fuentes que constan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría. Autorizó a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: "ESTUDIO Y SIMULACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA MIGRACIÓN HACIA UNA RED METRO ETHERNET", cuyo contenido, ideas y criterios es de mi exclusiva responsabilidad y autoría. Quito, a los 16 días del mes de abril del año 2024. EL AUTOR Washington Alembor Pacheco Proaño COORDINACIÓN DE POSGRADO APROBACIÓN DEL TUTOR En mi carácter de Director (a) - Tutor (a) del Trabajo de Posgrado Titulado: "ESTUDIO Y SIMULACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA MIGRACIÓN HACIA UNA RED METRO ETHERNET", presentado por el maestrante Washington Alembor Pacheco Proaño, titular de la Cédula de Identidad N° 1721899035 para optar al Grado de Magíster en Educación mención gestión del aprendizaje mediado por TIC, [considero que dicho Trabajo de Investigación reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación por parte de los Lectores - Evaluadores que se designen para tal fin por parte de las autoridades de la Facultad de Ciencias de la Educación. En la ciudad de Quito, a los 16](#)

https://www.turnitin.com/newreport_printview.aspx?eo=1&eb=1&esm=1&cid=2358044156&sid=0&n=0&m=2&svr=8&r=10.040310771422025&la... 1/15

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo, Washington Alembert Pacheco Proaño declaro que el trabajo de titulación “ESTUDIO Y SIMULACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA MIGRACIÓN DE UNA RED SDH METROPOLITANA HACIA UNA RED METRO ETHERNET” previa a la obtención del Título de Magíster en Tecnologías de Información mención Gestión y Administración de TI, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas y fuentes que constan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Quito, a los 16 días del mes de abril del año 2024

DEDICATORIA

Gracias a la vida por aún permitirte compartir con las personas que adoras y añoras; por cada amanecer o atardecer los cuales siempre serán diferentes, a las personas que me dieron la vida y siguen siendo parte de ella. Las cuales siempre serán recordadas en el pensamiento, de este último nunca se borrarán.

Finalmente, un gracias a todas las personas que permitieron cumplir una meta más como: docentes, familia, seres queridos y los momentos de la vida que siempre existirán hasta el último de los días.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.2 Formulación del problema	15
1.3. Objetivos de la Investigación.....	16
1.3.1 Objetivo General:.....	16
1.3.2 Objetivos Específicos:.....	16
1.4 Justificación de la Investigación	16
CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	18
2.1 Redes SDH.....	18
2.1.1 Trama en SDH	19
2.1.2 Características de la Red SDH	20
2.1.3 Estructura y componentes de una red SDH.....	21
2.2 Redes Metro Ethernet.....	22
2.2.1 Ethernet.....	22
2.2.2 Componentes de la red Metro Ethernet.....	23
2.3 Servicios y Topología de conectividad en la Red Metro Ethernet	24
2.3.1 E-Line (Ethernet Line Service)	25
2.3.2 Servicio Ethernet LAN (E-LAN - Ethernet LAN Service)	25

2.2.3 Servicio de árbol Ethernet (Ethernet Tree Service - E-Tree).....	26
2.2.4 Características del servicio en Metro Ethernet.....	26
2.2.5 Fundamentos de la Red Metro Ethernet.....	29
2.2.6 Metro Ethernet en redes Metropolitanas	30
2.2.7 Ventajas de la red Metro Ethernet.....	31
2.3 Comparación de rendimiento y capacidad entre SDH y Metro Ethernet	33
2.3.1 Rendimiento.....	33
2.3.2 Capacidad.....	33
2.4 Comparación entre redes SDH y Metro Ethernet	34
2.5 Casos de Uso y Escenarios Recomendados para SDH	34
2.5.1 Implementación de redes de larga distancia.....	34
2.5.2 Transmisión de Voz	34
2.6 Casos de Uso y Escenarios Recomendados para Metro Ethernet	35
2.6.1 Acceso a Internet de alta velocidad.....	35
2.6.2 Implementación servicios en tiempo real.....	35
2.6.3 Futuro de las redes Metro Ethernet	36
CAPÍTULO III: SIMULACIÓN DEL PROYECTO	37
3.1 Cálculos de implementación	37
3.1.1 Parámetros de atenuación total de un enlace de fibra óptica.....	37
3.1.2 Proyección de atenuación de potencia	39
3.1.3 Proyección de margen de error permisible en un enlace.....	39
3.1.4 Cálculo de dispersión cromática del enlace	40

3.1.5 Parámetros calculados.....	42
3.2 Simulación en OptiSystem.....	43
3.2.1 Componentes implementados de la simulación	44
3.2.1 Componentes de medición en la simulación.....	44
3.4 Análisis y resultados de la simulación de la atenuación en el enlace de comunicación	45
3.5 Análisis y resultados del diagrama del ojo.....	48
3.6 Resultados de la simulación de la atenuación del medio de transmisión.....	52
3.6.1 Análisis de la relación del BER y potencia en la recepción.....	53
3.6.1 Análisis de la relación entre el BER y la potencia de recepción.....	55
CAPÍTULO IV: FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA	57
4.1 Análisis de factibilidad técnica	57
4.2 Análisis de factibilidad económica	58
4.2.1 Análisis económico de equipos.....	59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	61
Conclusiones.....	61
Recomendaciones	62
REFERENCIAS.....	63
ANEXOS	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Niveles de STM-N	20
Tabla 2. Velocidades Ethernet	23
Tabla 3 Estándares en Metro Ethernet	33
Tabla 4 Comparación entre SDH y Metro Ethernet.....	34
Tabla 5 Atenuaciones a considerarse en el enlace óptico	38
Tabla 6 Valores para dispersión cromática para una fibra G655	40
Tabla 7 Valores para dispersión cromática para fibra óptica de G652	41
Tabla 8 Cálculo de valores.....	43
Tabla 9 Parámetros configurados para la simulación.....	44
Tabla 10 Verificación de valores en la simulación	54
Tabla 11 Valores calculados y obtenidos en la simulación.....	55
Tabla 12 Costo de equipos Juniper	59
Tabla 13 Implementación de equipo Juniper	60

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1 Estructura de la cabecera del STM.....	19
Figura 2 Elementos de la Red Metroethernet	24
Figura 3 Modelo de E-Line.....	25
Figura 4 Modela E-LAN.....	26
Figura 5 Canales EVC en UNI.....	27
Figura 6 Ancho de banda en EVC según el UNI.....	29
Figura 7 Crecimiento de las velocidades de Ethernet.....	31
Figura 8 Etapas de la simulación	45
Figura 9 Etapas de la simulación	46
Figura 10 Medición con power meter en el transmisor	46
Figura 11 Medición con power meter posterior al atenuador	47
Figura 12 Configuración de la fibra óptica.....	47
Figura 13 Diagrama del Ojo	48
Figura 14 Diagrama del Ojo con buenas condiciones.....	49
Figura 15 Diagrama del Ojo con mala calidad en la recepción	50
Figura 16 Propiedades de la fibra óptica.....	51
Figura 17 Diagrama del Ojo modificado	52
Figura 18 Diagrama del Ojo con una potencia de recepción menor.....	53
Figura 19 Relación entre la potencia recibida y BER.....	54
Figura 20 Diagrama de ojo resultante de un enlace de 60 km.....	56
Figura 21 Diagrama del ojo distorsionado.....	56

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRIA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN MENCIÓN GESTIÓN
Y ADMINISTRACIÓN DE TI

**ESTUDIO Y SIMULACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA
MIGRACIÓN HACIA UNA RED METRO ETHERNET**

Autor: Washington Aember Pacheco Proaño

Director -Tutor: Gustavo Xavier Chafra Altamirano

Fecha: Quito, 2024

RESUMEN

La viabilidad de migrar a una infraestructura de red basada en tecnología Metro Ethernet puede tener varias ventajas. La investigación se centra en dos aspectos principales: la factibilidad técnica – teórica y la factibilidad económica. Desde el punto de vista técnico, el estudio examina la capacidad y eficiencia de una red Metro Ethernet para satisfacer las necesidades de comunicación de la organización o sistema en cuestión. En cuanto a la factibilidad económica, se evalúan los costos asociados con la implementación de una red Metro Ethernet en comparación con las tecnologías de red existentes. Esto incluye la inversión en equipos e infraestructura. La simulación se emplea como herramienta a OptiSystem para modelar y prever el rendimiento de la red Metro Ethernet con escenarios a su máxima capacidad. Esto permite a organizaciones tomar decisiones informadas sobre la conveniencia de migrar a esta tecnología.

Palabras clave: Redes SDH, Redes Metro Ethernet, fibra óptica, OptiSystem

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRIA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN MENCIÓN GESTIÓN
Y ADMINISTRACIÓN DE TI

**STUDY AND SIMULATION OF THE TECHNICAL AND ECONOMIC
FEASIBILITY OF MIGRATION TOWARDS A METRO ETHERNET NETWORK**

Author: Washington Alembor Pacheco Proaño

Director -Tutor: Gustavo Xavier Chafla Altamirano

Date: Quito, 2024

ABSTRACT

The feasibility of migrating to a network infrastructure based on Metro Ethernet technology can have several advantages. The research focuses on two main aspects: technical-theoretical feasibility and economic feasibility. From a technical point of view, the study examines the capacity and efficiency of a Metro Ethernet network to meet the communication needs of the organization or system in question. Regarding economic feasibility, the costs associated with the implementation of a Metro Ethernet network are evaluated in comparison to existing network technologies. This includes investment in equipment and infrastructure. Simulation is used as a tool for OptiSystem to model and predict the performance of the Metro Ethernet network with scenarios at its maximum capacity. This allows organizations to make informed decisions about the convenience of migrating to this technology.

Keywords: SDH Networks, Metro Ethernet Networks, fiber optics,
OptiSystem

INTRODUCCIÓN

La evolución de conectividad apunta hacia índices de mayor rapidez, eficiencia y versatilidad, produciendo una evolución de las redes de telecomunicaciones con constantes cambios. Dos tecnologías han emergido como protagonistas fundamentales en la provisión de servicios de alta velocidad y flexibilidad: la Red Digital Síncrona Hierárquica (SDH, por sus siglas en inglés) y la Red Metro Ethernet. La Red SDH ha sido durante mucho tiempo la columna vertebral confiable de las redes de telecomunicaciones, estableciendo una base sólida para la transmisión de voz y datos. Su estructura jerárquica y capacidad para proporcionar servicios conmutados y dedicados, ha sido esencial para la infraestructura de telecomunicaciones a nivel mundial. Sin embargo, en un entorno en el que los datos han superado a las llamadas telefónicas tradicionales y en el que la demanda de transmisión de datos de alta velocidad es imperante, SDH ha enfrentado desafíos para adaptarse al crecimiento de ancho de banda y flexibilidad.

En este contexto, la tecnología de Red Metro Ethernet ha emergido como una alternativa prometedora. Inspirada por la popularidad y éxito de Ethernet en el ámbito local, Metro Ethernet extiende los beneficios de esta tecnología a nivel metropolitano y regional. Con su simplicidad, escalabilidad y capacidad para transmitir tanto voz como datos, Metro Ethernet se ha convertido en una opción atractiva para las operadoras de telecomunicaciones que buscan satisfacer las necesidades cambiantes de sus usuarios.

Esta tesis se analizarán ventajas y consideraciones que brinda cada tecnología mencionada con el fin de brindar a conocer puntos de estudio. Finalizando la simulación mediante el software OptiSystem, informando sobre los resultados obtenidos.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el ámbito de las infraestructuras de telecomunicaciones, la migración de redes SDH hacia redes Metro Ethernet es un proceso en la evolución tecnológica. Este estudio se centra en el estudio y simular el comportamiento de una red utilizando OptiSystem como herramienta fundamental. La popularidad de la tecnología Ethernet se debe a su flexibilidad y escalabilidad, pero la transición plantea desafíos significativos. Entonces el desarrollo del capítulo levantará la información partiendo desde los objetivos hasta la justificación del proyecto para posterior iniciar con la investigación y simulación de la red Metro Ethernet en OptiSystem.

1.2 Formulación del problema

El objetivo de este estudio es analizar y simular la migración de una red SDH (Synchronous Digital Hierarchy) metropolitana hacia una red Metro Ethernet utilizando OptiSystem, siendo un proceso común en la evolución de las infraestructuras de telecomunicaciones, ya que la tecnología Ethernet se ha convertido en una opción cada vez más popular debido a su mayor flexibilidad y escalabilidad. Sin embargo, la migración de una red SDH a una red Metro Ethernet plantea desafíos y consideraciones importantes.

La migración implica cambiar desde los equipos hasta el modelo de topología de la red, ya que las redes SDH y Ethernet tienen enfoques diferentes para el enrutamiento y la conmutación. Por lo cual es esencial tener bases conceptuales de las redes SDH y Metro Ethernet para a futuro no tener inconsistencias del diseño en la topología para una red Metro Ethernet, partiendo de los conceptos teóricos o conocimientos previos referenciados. Es fundamental garantizar la interoperabilidad entre los equipos y dispositivos existentes de la red SDH y de los dispositivos de Ethernet, por lo cual debe existir una comparativa de las características de ambos tipos de tecnologías que en ocasiones no suele existir conocimiento. Para abordar estos desafíos, se propone utilizar OptiSystem, una herramienta de simulación y

diseño de redes de telecomunicaciones. OptySystem permite modelar la red existente, simular los escenarios de enlaces ópticos y evaluar el rendimiento de la red Metro Ethernet propuesta. Con esta herramienta, se pueden realizar análisis y posterior valorar el producto de la migración de la red. Obteniendo recomendaciones acordes a los resultados obtenidos en las simulaciones.

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General:

Estudiar la migración de una RED SDH Metropolitana hacia una red Metro Ethernet.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Realizar una revisión bibliográfica del desarrollo de las redes Metro Ethernet a nivel Metropolitano.
- Comparar las características de las redes SDH y Metro Ethernet.
- Simular el comportamiento de las redes Metro Ethernet mediante OptiSystem.

1.4 Justificación de la Investigación

Existen diversos métodos de transmisión de datos tanto por cable como inalámbricos. Sin embargo, no todas las opciones son accesibles o viables para su implementación en una red. Al requerir una gran capacidad del ancho de banda en los enlaces backbones de una red metropolitana, no es recomendable ni efectivo el uso de medios inalámbricos. Por lo tanto, se debe utilizar otros tipos de tecnologías más apropiadas, teniendo en cuenta las características de la demanda, privilegiando la factibilidad y la accesibilidad.

Por lo cual, la transmisión por fibra óptica fue tomando mayor demanda en los últimos años, evolucionando con mejoras en sus capacidades de transmisión y costos de implementación, creando convergencia en las redes y progresando en sus aplicaciones. La fibra

óptica tiene a las redes SDH como una de sus bases de transmisión, con capacidades desde STM-1, STM-4, STM-16 y SMT-64 en los anillos de red metropolitana o troncales. Pero al existir aumento de volumen en datos, este tipo de redes fueron quedando como una opción no primordial por los usuarios, la demanda en la red cada vez crece y existen mejores opciones. Generalmente, los proveedores de servicios optan por implementar tecnologías que partan tomando como bases ya existentes. Las redes Metro Ethernet al tener atributos de adaptabilidad y suministrar servicios de conectividad con gran capacidad de ancho de banda a bajo costo han sido una opción muy utilizada en los últimos años. Una red Metro Ethernet consta de dispositivos de capa 2 o 3, equipos de distribución y finales. Previamente debe existir un análisis previo a la implementación de equipos, incluyendo su comportamiento relacionado con el medio de transmisión.

El presente estudio está acompañado con simulaciones mediante el simulador OptiSystem, brindando un enfoque del comportamiento de las redes Metro Ethernet y SDH en medios de transmisión de fibra óptica.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El capítulo realiza una recopilación teórica sobre conceptos de las redes SDH (Synchronous Digital Hierarchy) y las redes Metro Ethernet. Estas tecnologías desempeñan roles cruciales en la infraestructura de las redes de comunicación, tanto a nivel de larga distancia como en entornos metropolitanos. Si bien las redes SDH, destacaron por su capacidad para la transmisión síncrona de datos a alta velocidad y su importancia en la provisión de servicios de voz o datos cada vez fueron disminuyendo en sus aplicaciones por capacidad. A continuación, se profundizará en las redes Metro Ethernet, una solución de conectividad de área metropolitana que aprovecha la tecnología Ethernet para ofrecer servicios flexibles y rentables a empresas y proveedores de servicios.

Este capítulo se propone como una guía para comprender y comparar estas dos tecnologías en el panorama de las telecomunicaciones actuales, destacando sus diferencias, similitudes y aplicaciones prácticas en el despliegue de redes de comunicación eficientes y confiables.

2.1 Redes SDH

La jerarquía digital síncrona (Synchronous Digital Hierarchy) esta tecnología fue desarrollada en la década de 1980 como una evolución de la Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH). PDH era una tecnología que utilizaba multiplexación por división de tiempo, tenía limitaciones en términos de capacidad y flexibilidad. Por lo tanto, SDH fue diseñada para proporcionar mayores prestaciones en comparación con su antecesor. Las demandas de ancho de banda y la complejidad de las redes aumentaban con el pasar del tiempo, las redes SDH tenían mejoras mediante el desarrollo de nuevos estándares y protocolos para adaptarse a la evolución tecnológica para satisfacer las necesidades cambiantes de las aplicaciones de telecomunicaciones.

SDH se basa en la transmisión de datos digitales en un formato síncrono, lo que significa que los datos se transmiten en intervalos regulares y predecibles. La estructura jerárquica de contenedores en SDH empiezan desde STM-1, STM-4, STM-16 hasta STM-64, permitiendo la multiplexación y demultiplexación de señales con velocidades o capacidades dependiendo del contenedor.

2.1.1 Trama en SDH

STM (Synchronous Transport Module o Módulo de Transporte Síncrono) la trama contiene la información requerida para transmisión previo a su encapsulación, por ejemplo, la trama STM-1 se conforma con una trama básica, tiene una duración de 125 microsegundos (8000 veces por segundo) y compuesta por 9 segmentos, “los cuales tienen una matriz de 9 filas y 270 columnas (compuesta por octetos de 8 bits). El orden de transmisión de la trama será de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo”. (Parra Astudillo & Ramón Sanmartín, 2011). Con la información planteada se podrá obtener la velocidad $8000 \times 270 \text{ octetos} \times 9 \text{ fila} \times 8 \text{ bits}$ dando un resultado de 155, 520 Mbps para un STM-1. En la figura 1 se evidencia la estructura del STM.

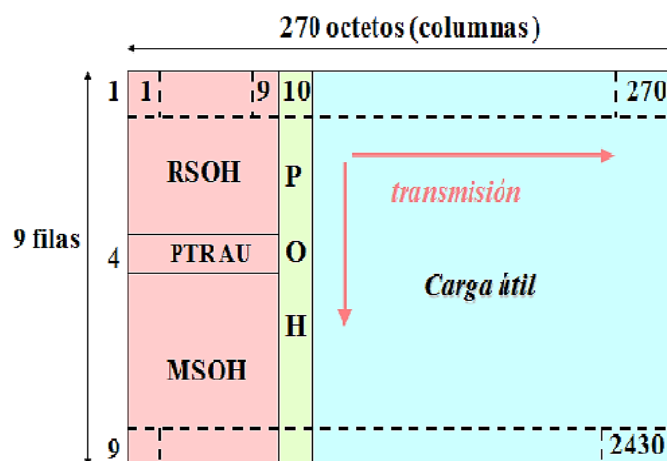


Figura 1
Estructura de la cabecera del STM.

Fuente: Adaptada de Huawei Technologies, por Huawei, 2007

Las capacidades a nivel de STM se tienen las siguientes capacidades explicados en la Tabla 1, mostrando los niveles de STM más usados en redes Urbanas e Interurbanas.

Tabla 1

Niveles de STM-N

Nivel	Velocidad Teórica	Velocidad Real
STM-1	155 Mbps	155.520 Mbps
STM-4	622 Mbps	622.080 Mbps
STM-16	2.5 Gbps	2488.320 Mbps
STM-64	10 Gbps	9953.28 Mbps

Nota: Velocidades de los STM-N, por el Autor, 2024

2.1.2 Características de la Red SDH

La RED SDH cuenta con prestaciones las cuales permitieron captar la implementación en su tiempo:

- Tiene estructura jerárquica de niveles de capacidad, desde STM-1 (155 Mbps) hasta STM-64 (10 Gbps), lo que permite el escalado y la flexibilidad en la capacidad de transmisión.
- Al emplear comunicación sincrónica permite una mayor rapidez en el transporte de datos, dando confiabilidad en la recepción de datos.
- Utiliza técnicas de multiplexación para combinar múltiples canales de datos en un solo enlace físico, optimizando el uso del ancho de banda y permitiendo la transmisión simultánea de voz, datos y video.
- Los mecanismos de protección y conmutación rápida garantizan la disponibilidad del servicio en caso de fallos o interrupciones en la red, siendo robusto y redundancias incorporadas. Al tener mayor rapidez de conmutación

- La red SDH es transparente respecto al tipo de señal que se transporta, puede transmitir diferentes tipos de datos, teniendo compatibilidad con tecnologías como PDH sin necesidad de conversión.
- SDH al basarse en un estándar internacional definido por la IUT-T permite que los equipos tengan la interoperabilidad con diferentes fabricantes.

2.1.3 Estructura y componentes de una red SDH

Las redes SDH tienen varios elementos entre los principales son:

- Medio de transmisión: la fibra óptica es el principal medio físico debido a la tolerancia para transportar el tráfico requerido, la misma no ha sido reemplazada manteniendo posición en las redes backbone e inclusive en la red de distribución.
- Equipos de conmutación: su función será principalmente de la conmutación, regeneradores y enrutamiento en la red SDH, cumpliendo el envío y recepción de la información.
- Sincronización: las señales deben estar sincronizadas para su transmisión teniendo un reloj de referencia o sincronismo, lo cual se tiene asignado una cabecera en la trama STM.
- Regeneradores: conocidos como Regenerator Section Terminating Equipment (RSTE), tienen función de regenerar la señal ubicados en ciertos Nodos, asegurando la calidad de transmisión por más distancia que tenga la red. Mejorando niveles ópticos y evitando la atenuación.
- Equipos de gestión: controla y supervisa a los equipos que pertenecen a la red SDH, con el fin del monitoreo para verificar la disponibilidad.
- Protección de servicios: se puede nombrar a LSP (Line Section Protection), enfocado en el mecanismo de conmutación de tráfico en caso de existir una falla en la ruta

principal lo hará hacia una ruta secundaria o UPSR (Unidirectional Path Switched Ring) donde su protección se basa en los anillos es una red unidireccional con dos anillos, “uno utilizado como anillo principal y otro como anillo de protección. El tráfico en un anillo es siempre en una dirección (en el sentido de las agujas del reloj) y en un camino de protección es en la dirección opuesta (en el sentido contrario a las agujas del reloj).” (CISCO, 2023)

2.2 Redes Metro Ethernet

Las redes Metro Ethernet están vinculadas con la evolución de la tecnología Ethernet, inicialmente se utilizaba en redes locales (LAN) para la comunicación de datos a nivel local. A medida que la demanda de servicios de datos de alta velocidad se extendía más allá de los límites de las LAN, surgió la necesidad de extender las capacidades de Ethernet a nivel metropolitano. En los años de 1990, comenzaron a implementar las primeras redes Metro Ethernet para conectar múltiples ubicaciones empresariales dentro de una misma área metropolitana. Estas redes aprovechaban las ventajas de Ethernet, como su simplicidad y escalabilidad, para ofrecer servicios de datos de alta velocidad y baja latencia en entornos metropolitanos.

La adaptación y el desarrollo de las redes Metro Ethernet fueron rápidos. El estándar IEEE 802.3ah y el estándar Metro Ethernet Forum (MEF) son algunos de los estándares y protocolos específicos de las redes Metro Ethernet que ayudaron a aumentar la interoperabilidad y la expansión de estas redes.

2.2.1 Ethernet

La evolución en Ethernet mejoró la capacidad cada cierto tiempo, entonces las tecnologías ópticas avanzaron, las redes Metro Ethernet comenzaron a utilizar la tecnología de

transmisión óptica, como el Gigabit Ethernet sobre fibra óptica, lo que permitió mayores velocidades y distancias de transmisión. A continuación, en la tabla 2 muestro una comparación de la evolución de Ethernet:

Tabla 2.

Velocidades Ethernet

Ethernet	Standard	Año	Características
10 Base T	IEEE 802.3	1983	10 Mb/s
Fast Ethernet	IEEE 802.3 u	1995	100 Mb/s
Giga Bit Ethernet	IEEE 802.3z	1998	1 Gb/s (Equipos Routers o Switches)
10 Giga Bit Ethernet	IEEE 802.3ae	2002	Fibra óptica, Full Duplex
100 Giga Bit Ethernet	IEEE802.3cu	2021	Fibra óptica multimodo o monomodo

Nota: Comparativa de velocidades ethernet contra el standard. Elaborado por el autor.

“En las redes Metropolitanas, Ethernet ha cobrado un gran valor pues hoy el 98% del tráfico corporativo y PYMES (pequeña y mediana empresa) se inicia y termina en un puerto Ethernet. Ya que las empresas buscan conectividad de sus LANs hacia fuera, Metro Ethernet aparece como una elección obvia sea por costos como por performance técnica. Ethernet (GE y 10GE) ha dejado atrás a las interfaces E1 y STM-1 para convertirse en la interfaz de red predominante.” (Vargas, 2011)

2.2.2 Componentes de la red Metro Ethernet

Según el servicio o características presente en una red Metro Ethernet variaría la estructura sin embargo existirán elementos fundamentales, se puede apreciar en la Figura 2 los elementos bases. Los cuáles serán descritos basándose en la figura 2.

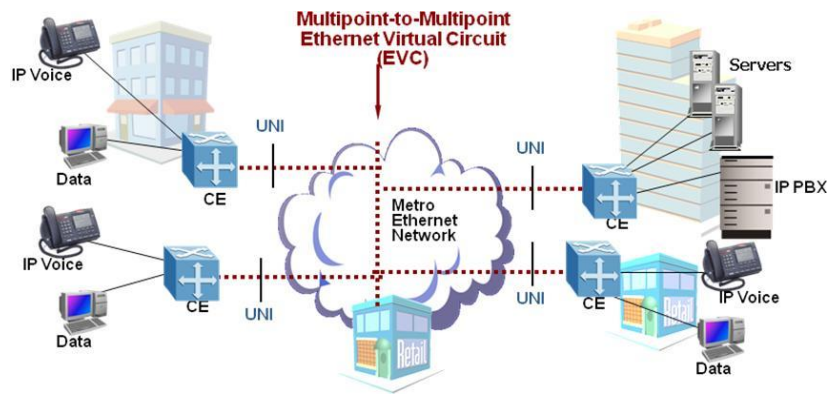


Figura 2

Elementos de la Red Metro Ethernet

Nota: Adaptada por Topología de Red Metro Ethernet con sus elementos, por ITT-Technology, 2010.

- CE (Customer Equipment – Equipo terminal): se refiere a los equipos y dispositivos que un cliente utiliza para conectarse a la red Metro Ethernet. Estos equipos varían según las necesidades del cliente y el tipo de servicio que se utiliza.
- UNI (User Network Interface- Interface de Red de Usuario): “es un punto de demarcación entre lo que el cliente maneja y lo que administra el proveedor de servicios, la UNI define la gestión de los servicios de red y garantiza la calidad del servicio y seguridad.” (Arévalo Méndez, Arévalo Pérez, & Grisales Giraldo, 2015)
- Medios de transporte y tecnologías de servicio como por ejemplo MPLS, SONET/SDH, WDM, RPR, MPLS y entre otras.
- EVC (Ethernet Virtual Connection - Conexión Virtual Ethernet): acorde a lo informado “es una asociación entre dos o más UNIs, creada por el proveedor de servicio para un cliente. La trama en un EVC puede ser enviada a uno o más UNIs del EVC”. (Simbaña Collaguazo, 2015)

2.3 Servicios y Topología de conectividad en la Red Metro Ethernet

Previo a una implementación de la tecnología Metro Ethernet existen servicios acompañados de una topología física o virtual a emplearse por redundancia, protección de datos

y tipo de conexión al servicio.

2.3.1 E-Line (Ethernet Line Service)

Es un servicio punto a punto entre dos sitios en capa dos, los enrutadores estarían configurados en una subred. El enlace punto a punto se denomina EVC (circuito virtual Ethernet). Otro nombre común para E-Line es VPWS (Virtual Private Wire Service). Este nombre se utiliza cuando el proveedor utiliza MPLS en su red, transportando Ethernet a través de la red MPLS. La figura 1 indica que el canal EVC será un camino punto, independiente de los elementos

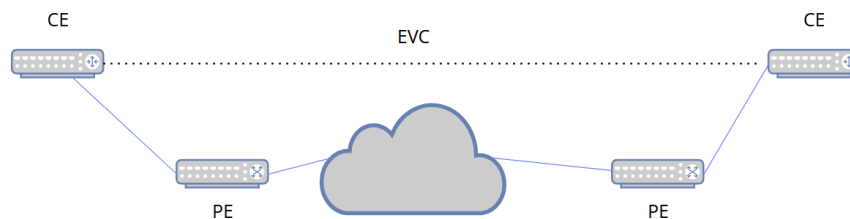


Figura 3

Modelo de E-Line

Nota: Elementos de la red E-Line, por el Autor, 2024.

- Línea Privada Ethernet (Private Line - EPL): se define como “un servicio que proporciona una conexión de red privada y segura entre dos o más ubicaciones para servicios de datos privados.” (TELCOMA, 2023). EPL es un servicio de Capa 2, lo que significa que proporciona una conexión Ethernet entre los dos dispositivos CPE.
- Línea privada virtual Ethernet (Ethernet Virtual Private Line - EVPL): se basa en la utilización de conexiones Ethernet dedicadas mediante redes privadas virtuales (VPN). EVPL permite una conectividad punto a punto y punto a multipunto.

2.3.2 Servicio Ethernet LAN (E-LAN - Ethernet LAN Service)

Permite la conexión entre varios UNI, teniendo una topología en Malla, los datos enviados por un UNI llegarán a 1 o más UNI de destino. Cada uno de ellos está conectado a un

EVC multipunto. Existirá escalabilidad en la red acorde al aumento de equipos, como se evidencia en la figura 4 se muestra la topología.

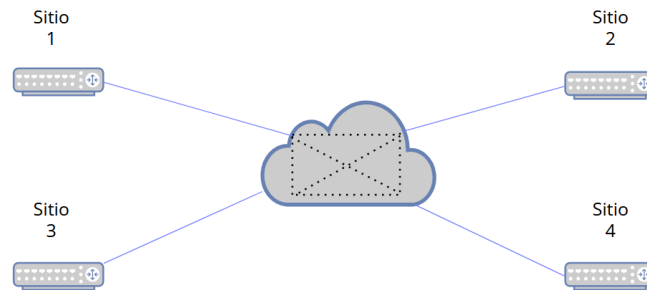


Figura 4
Modela E-LAN

Nota: Topología de la Red E-LAN, por el Autor, 2024.

- Ethernet Private LAN (EPLAN): es una red dedicada, lo que significa que el tráfico de la red está protegido y privado de otras redes.
- Ethernet Virtual Private LAN (EVPLAN): es un servicio LAN virtual privado, utilizado cuando las redes virtuales al ser insuficientes y se requiere separar las direcciones de los clientes por encapsulación.

2.2.3 Servicio de árbol Ethernet (Ethernet Tree Service - E-Tree)

La topología se emplea cuando el acceso a recursos debe estar centralizada, la comunicación entre los CE debe ser mediante el sitio principal.

2.2.4 Características del servicio en Metro Ethernet

Los servicios de Metro Ethernet tienen atributos que le permiten brindar funcionamiento y soluciones beneficiando en su uso:

2.2.4.1 Multiplexado de Servicios.

Al existir afectación en la interfaz de red de usuario (UNI) el servicio debe tener una conmutación. Esto permite a los proveedores de servicios Metro Ethernet ofrecer una variedad de servicios diferentes a sus clientes a través de una única infraestructura. Mediante la Conexión Virtual Ethernet se tendrá una clasificación de la interfaz si es multiplexada (UNI tiene información de más de un EVC) o no multiplexada (UNI tiene información de un EVC), mediante ese principio se establecerá las conexiones lógicas para la comunicación con los remotos, como se muestra en la figura 5.

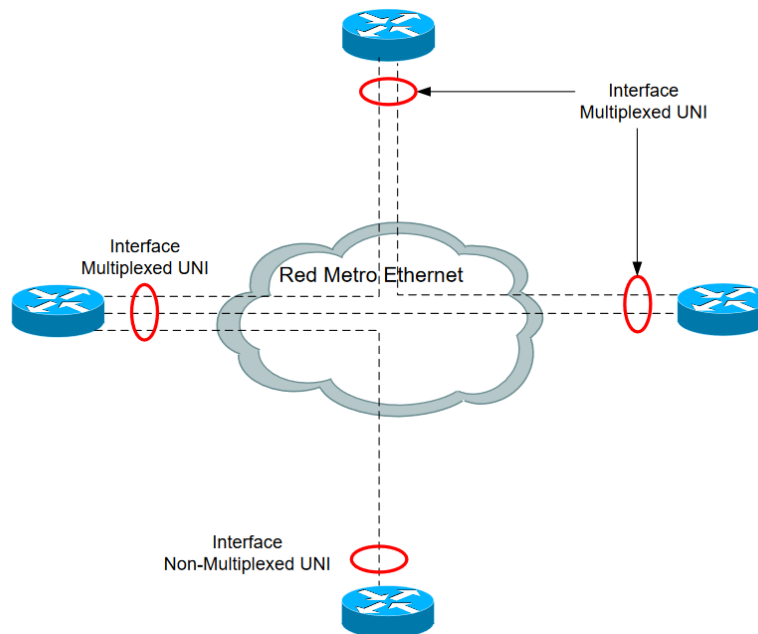


Figura 5
Canales EVC en UNI

Nota: Interfaces UNIs Multiplexadas y No multiplexadas, por Enrique Laguna, 2009.

El multiplexado será en las capas donde se encuentre el servicio:

- Multiplexado de servicios de capa 2: Este tipo de multiplexado combina diferentes tipos de tráfico Ethernet en un único canal Ethernet.

- Multiplexado de servicios de capa 3: Este tipo de multiplexado combina diferentes tipos de tráfico Ethernet en un único canal IP.

2.2.4.2 VLANs.

Metro Ethernet es una característica que permite al tráfico de diferentes VLANs fluya a través de la red sin que las VLANs sean visibles para los dispositivos de la red y dando simplicidad operativa. Un beneficio de la transparencia de “VLANs es aumentar la simplicidad operativa. Un EVC con transparencia de VLANs tiene dos propiedades: El mapeo de CE-VLAN/EVC es idéntico en todos los UNIs del EVC y La etiqueta del CE-VLAN de un paquete que sale de un EVC es siempre idéntico a la etiqueta CE-VLAN que se le asignó de entrada al EVC.” (Enrique, 2009)

2.2.4.3 Empaquetado (VLAN tagging).

Es una tecnología que permite agrupar varios enlaces Ethernet en un único canal lógico. Esto permite a los proveedores de servicios Metro Ethernet proporcionar una mayor capacidad de ancho de banda a sus clientes. Las CE-VLANs están en una misma Conexión Virtual Ethernet en la Interfaz de Red de Usuario, se conoce como empaquetado de todas las VLAN en una (All-to-one bundling). Se asignará un etiquetado basado en la 802.1 Q conocido como tunneling o VLAN tagging. Esto permite que los paquetes de diferentes VLANs se transporten por el mismo enlace Ethernet sin mezclarse.

2.2.4.4 Ancho de banda en UNI

Los proveedores de servicios Metro Ethernet suelen ofrecer una variedad de perfiles de ancho de banda para satisfacer las necesidades de diferentes clientes. Los clientes pueden elegir el perfil de ancho de banda que mejor se adapte a sus necesidades y presupuesto, entonces por un interfaz pueden existir diferentes perfiles en cada conexión virtual ethernet.

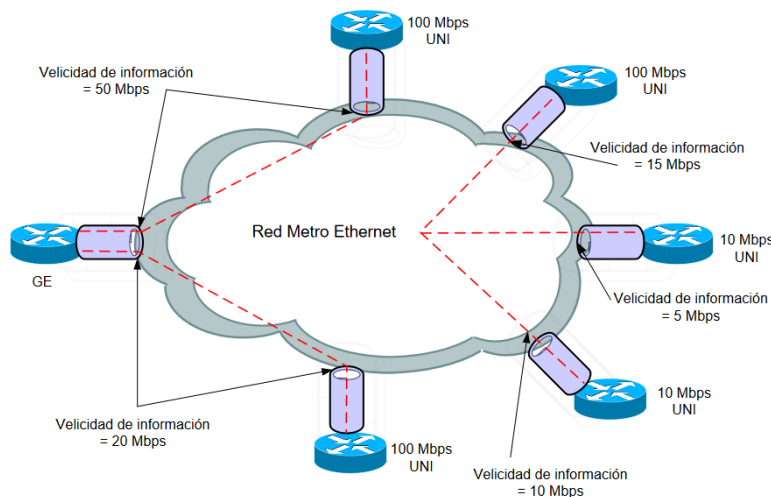


Figura 6

Ancho de banda en EVC según el UNI

Nota: Perfiles de Ancho de Banda en Metro Ethernet, por Enrique Laguna, 2009.

2.4.4.5 Tráfico en capa 2

El tráfico de control de capa 2 en las redes Metro Ethernet es el tráfico que se utiliza para controlar el funcionamiento de la red, como el tráfico de Spanning Tree Protocol (STP), Link Aggregation Control Protocol (LACP) y Dynamic Trunking Protocol (DTP). Hay dos enfoques principales para el manejo del tráfico de control de capa 2 en las redes Metro Ethernet:

- Enfoque de capa 2: En este enfoque, el tráfico de control de capa 2 se transporta en la misma capa 2 que el tráfico de datos. Esto puede causar problemas de rendimiento si el tráfico de datos es intenso.
- Enfoque de capa 3: En este enfoque, el tráfico de control de capa 2 se transporta en la capa 3, utilizando un protocolo de enrutamiento como IP. Esto evita que el tráfico de control de capa 2 interfiera con el tráfico de datos.

2.2.5 Fundamentos de la Red Metro Ethernet

Las redes Metro Ethernet son una extensión de la tecnología Ethernet utilizada en redes locales (LAN) para la comunicación de datos a nivel local. En el contexto de las redes Metro

Ethernet, se utiliza para construir redes de área metropolitana (MAN) que abarcan áreas geográficas más amplias, como una ciudad o una región. Las redes Metro Ethernet se caracterizan por:

- Servicios de datos de alta velocidad y baja latencia, siendo adecuado para aplicaciones empresariales y proveedores de servicios en entornos metropolitanos.
- Se basan en la conmutación de paquetes, donde los datos se dividen en paquetes y se envían de manera eficiente a través de la red, dejando de lado la conmutación por circuitos.
- Pueden proporcionar servicios de diferentes velocidades y niveles de calidad de servicio según las necesidades del cliente.
- Proporciona una base para implementar la virtualización de redes, especialmente en la implementación VLANs. Al combinar Metro Ethernet con otras tecnologías de virtualización, las organizaciones pueden construir una infraestructura más flexible y escalable para satisfacer sus necesidades comerciales.

2.2.6 Metro Ethernet en redes Metropolitanas

Las redes Metro Ethernet, también denominadas Metro Ethernet, son un tipo de infraestructura de comunicación que combina la flexibilidad de Ethernet con las capacidades de expansión de las redes metropolitanas (MAN) y de área amplia (WAN). Debido a que están diseñados para brindar conectividad de alta velocidad y confiable a nivel regional y metropolitano, estas redes son especialmente adecuadas para empresas y proveedores de servicios que requieren una comunicación eficiente y económica tanto en áreas urbanas como rurales.

Por las velocidades en Ethernet han dado pasos al punto de llegar a los 400 Gbps, según

lo informado por Ethernet Alliance “en 2020, el Consorcio de Tecnología Ethernet introdujo la especificación 800GBASE-R para Ethernet 800G, reutilizando dos conjuntos de lógica Ethernet 400G existente del estándar IEEE 802.3bs con algunas modificaciones” (Ethernet Alliance, 2023)

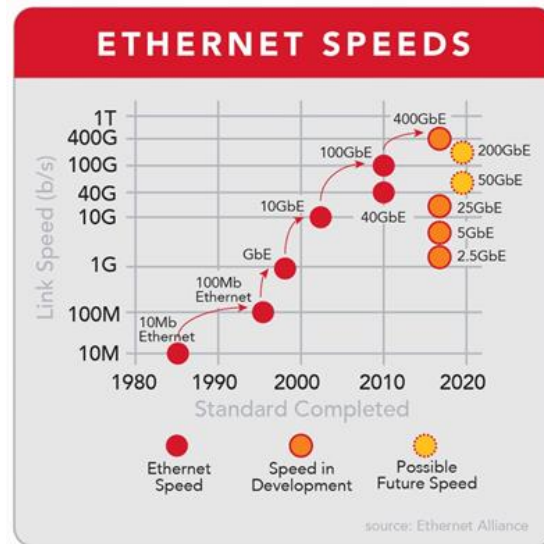


Figura 7
Crecimiento de las velocidades de Ethernet

Nota: Evolución de las velocidades Ethernet, por Ethernet Alliance, Ethernet Alliance, 2017

El estudio realizado por Business Research indicó que:

El tamaño del mercado mundial de servicios metro Ethernet fue de 40550 millones en 2021, se espera que el mercado alcance los 113300.89 millones de dólares estadounidenses para 2031, exhibiendo una tasa compuesta anual del 10,7% durante el período de pronóstico. Los servicios Metro Ethernet sirven como un enlace de datos privado y seguro que proporciona velocidades de datos Ethernet entre dos o más destinos en un área metropolitana. (Business Research, 2023)

2.2.7 Ventajas de la red Metro Ethernet

Las tecnologías tienen mejoras con sus antecesoras, a continuación, se describirá varios puntos:

- Generalmente las velocidades de conexión de gigabits o incluso terabits por segundo. Esto permite la transferencia rápida y eficiente de grandes cantidades de información.
- Permite la interconexión de varias ubicaciones en diferentes lugares dentro de una ciudad o área metropolitana. Esto es particularmente ventajoso para empresas u organizaciones que necesitan comunicarse entre lugares ubicados en distintos puntos geográficos.
- Ofrece baja latencia de transmisión de datos, los tiempos de respuesta son rápidos con una experiencia fluida en aplicaciones sensibles al retraso como videoconferencias, VoIP (Voz sobre Protocolo de Internet) y conmutación de servicios.
- Esta tecnología utiliza una infraestructura de red cableada confiable (fibra óptica), reduciendo la probabilidad de interrupciones o caídas de conexión. Las empresas que dependen de la conectividad necesitan una alta disponibilidad.
- Fácil escalabilidad adaptándose a las necesidades cambiantes de ancho de banda y tráfico de datos. Las actualizaciones se pueden realizar sin interrumpir la operación de la red debido a las protecciones que puede contar la red.
- En comparación con tecnologías dedicadas como líneas T1 o T3, el Metro Ethernet suele ser más económico, especialmente cuando se considera el costo por unidad de ancho de banda.
- Metro Ethernet es una extensión de la tecnología Ethernet comúnmente utilizada en redes locales (LAN), lo que facilita su adopción y compatibilidad con equipos y aplicaciones existentes.
- La protección de datos se emplea mediante el acceso a redes privadas virtuales (VPN) u otras tecnologías que brindan protección y privacidad a los usuarios finales durante la transmisión en la red.

2.3 Comparación de rendimiento y capacidad entre SDH y Metro Ethernet

SDH y Metro Ethernet son tecnologías de red que proporcionan conectividad de alta velocidad dentro de un área metropolitana. Ambas ofrecen ventajas, pero tienen algunas diferencias en cuanto a rendimiento y capacidad.

2.3.1 Rendimiento

Aunque SDH y Metro Ethernet tienen un rendimiento casi idéntico y pueden admitir velocidades de transmisión de datos, Metro Ethernet ofrece mayores capacidades y en los últimos años supera los 100 Gbps. SDH tiene una ventaja en cuanto a la latencia porque utiliza tecnología de multiplexación de tiempo que proporciona una ruta de transmisión más directa.

2.3.2 Capacidad

Metro Ethernet tiene más capacidad que SDH en términos de ancho de banda y distancia, los cuales van desde 1 Gbps hasta 100 Gbps dependiendo del estándar Ethernet relacionado. A continuación, indicados en la Tabla 3.

Tabla 3
Estándares en Metro Ethernet

Estándar	Distancia	Ancho de Banda
100Base-LX10	10 Km	100 Mbps
1000Base-LX	5 Km	1 Gbps
1000Base-LX10	10 Km	1 Gbps
1000Base-ZX	100 Km	1 Gbps
10Gbase-LR	10 Km	10 Gbps
10Gbase-ER	40 Km	10 Gbps
40Gbase-LR4	10 Km	40 Gbps
100Gbase-ER4	40 Km	100 Gbps

Nota: Principales estándares aplicados en Redes Ethernet, por el autor.

2.4 Comparación entre redes SDH y Metro Ethernet

La siguiente tabla resume las principales diferencias entre SDH y Metro Ethernet en cuanto a rendimiento, características y capacidad:

Tabla 4
Comparación entre SDH y Metro Ethernet

Diferencias	Redes SDH	Redes Metro Ethernet
Alcance	Larga distancia y Metropolitana	Diseñada para MAN y WAN
Velocidades	Aplicable según estándar	Escalable en velocidades
Accesibilidad	Menos flexible y más orientada aplicaciones de tráfico de voz.	Adecuado para tráfico de voz, datos y vídeo
Escalabilidad	Compleja y costosa	Adaptable a la demanda, versátil
Protección	Redundancia en anillo y hardware (1+1)	Conmutación a otros anillo, puertos o servicios virtuales
Costo	Necesita mayor infraestructura para largo alcance	Mayor despliegue en tecnología y asequible a nivel local

Nota: Características de cada tecnología, por el autor.

2.5 Casos de Uso y Escenarios Recomendados para SDH

La jerarquía digital síncrona se ha utilizado ampliamente en una variedad de aplicaciones debido a sus características específicas para implementación. A continuación, se muestran algunos términos comunes para la tecnología SDH:

2.5.1 Implementación de redes de larga distancia

La implementación de la tecnología ha sido debido a su fiabilidad y eficiencia por su capacidad para soportar distancias considerables sin comprometer la calidad de la señal. SDH utiliza técnicas de multiplexación por división en el tiempo (TDM) que permiten la gestión eficiente del espectro de transmisión.

2.5.2 Transmisión de Voz

La latencia, la jitter y la pérdida de paquetes son factores críticos en transmisión en voz,

requiriendo la experiencia de voz fluida y de alta calidad para los usuarios finales. Las capacidades de conmutación de servicios en caso de tener afectación hicieron que SDH permita mantenerse en uso en la interconexión de centrales telefónicas.

2.5.3 Transmisión de Datos y Redes Empresariales

La estructura jerárquica de SDH facilita la organización y transporte de diversas velocidades de datos, siendo esencial para redes empresariales que manejan una variedad de servicios y flujos de datos. Cabe mencionar que estarán limitados por el ancho de banda igualmente.

2.5.4 Interoperabilidad y Estandarización

SDH se basa en estándares internacionales, que facilitan la interoperabilidad de equipos de diferentes fabricantes. Esto permite a las empresas construir redes heterogéneas utilizando equipos de múltiples proveedores sin preocuparse por problemas de compatibilidad.

2.6 Casos de Uso y Escenarios Recomendados para Metro Ethernet

2.6.1 Acceso a Internet de alta velocidad

Los proveedores de servicios de Internet pueden beneficiarse significativamente de la implementación de Metro Ethernet para mejorar la entrega de servicios a los clientes finales. Este segmento explorará cómo Metro Ethernet puede aumentar la capacidad y eficiencia de las redes de los ISP.

2.6.2 Implementación servicios en tiempo real

Para solucionar los problemas de retardo y fluctuación temporal derivados del uso de telefonía IP o vídeo IP, cada vez más empresas implementan Metro Ethernet como la

arquitectura de red ideal a través de la WAN.

2.6.3 Futuro de las redes Metro Ethernet

La demanda de servicios Metro Ethernet continúa creciendo a medida que las empresas adopten la infraestructura hacia virtualizaciones. Siendo principalmente redes Ethernet de 100 Gbps para soportar las necesidades de ancho de banda para aplicaciones en la nube o IoT. Las velocidades de datos más rápidas en las redes actuales son de 10 Gbps serán por lo cual al aplicarse a servicios como 5G, se requieren velocidades de datos más rápidas y una menor latencia.

Las redes Ethernet definidas por software (SDN) utilizan software para controlar la red. Permitiendo a los proveedores ofrecer servicios Metro Ethernet más optimizados. Siendo la fortaleza la seguridad por

CAPÍTULO III: SIMULACIÓN DEL PROYECTO

La simulación se realizará mediante el software OptiSystem, permitiendo observar el comportamiento del medio de transmisión en las redes SDH y Metro Ethernet. Cada tecnología de red tiene sus capacidades y velocidades, por lo tanto, no se sugirió simular la red SDH a velocidades de la red Metro Ethernet por motivos técnicos. La red SDH en el país tiene capacidades de hasta STM-64 según las topologías de ciertas compañías que brindan servicios de telecomunicaciones, adoptando actualizaciones a sus servicios donde tuvieron como opción implementar servicios de capa 2 con mejores prestaciones.

La simulación de la Red Metro Ethernet tendrá parámetros configurados en su máxima capacidad, verificando el comportamiento de la fibra óptica. Las capacidades de la red SDH no son semejantes a la Red Metro Ethernet, por lo tanto, no es factible realizar dicha comparación a las mismas velocidades o capacidades por la diferencia existente. Previa a la simulación, existen puntos a definir para no crear dificultad con la retención de información y de los valores definidos por la atenuación por elementos que conforman el sistema.

3.1 Cálculos de implementación

Un enlace de fibra óptica debe tener en cuenta varios elementos en su implementación red desde distancias, materiales, rutas (topología) y cálculos relacionados para evitar posibles fallas.

3.1.1 Parámetros de atenuación total de un enlace de fibra óptica

La atenuación en un enlace de fibra óptica es la pérdida de potencia de la señal óptica a medida que se propaga a través de la fibra. Se mide en decibelios (dB) por kilómetro (dB/km). La atenuación es un factor importante a tener en cuenta al diseñar un enlace de fibra óptica. La

longitud del enlace debe ser menor que el presupuesto de atenuación, que es la cantidad de atenuación que se puede permitir sin degradar la señal.

$$AT=L_{km} \cdot a_l + N_e \cdot a_e + N_c \cdot a_c + L_{km} \cdot a_r$$

L_{km} : longitud del enlace en Km

a_l : Coeficiente de atenuación del cable de fibra óptica en dB/Km

N_e : Número de empalmes

a_e : atenuación por empalme

N_c : Número de conectores

a_c : atenuación por conector

a_r : atenuación de reserva

Los valores deben ser tomados acorde a las características de los elementos según la UIT-T G.655 y G.652 establecen los siguientes valores en la Tabla 5.

Tabla 5

Atenuaciones a considerarse en el enlace óptico

	Fibra G.655	Fibra G.652
Coefficiente de atenuación del cable a 1550 nm	0.22 dB/km	0.15 - 0.25 dB/km
Atenuación por empalme	0.1 dB	0.1 dB
Atenuación por conector	0.5 dB	0.5 dB

Nota: Valores estándar para implementación en cálculos del enlace de fibra óptica. Elaborado por el autor.

Las bobinas de cable de fibra óptica suelen ser de 4 o 5 km dependiendo del fabricante y el número de conectores dependerá de si el enlace de fibra óptica cuenta con conexiones intermedias en nodos. La reserva de atenuación será un margen del 15% de la distancia total, para ayuda a futuras reparaciones. Depende de la relevancia del enlace y condiciones de instalación, los valores pueden ser de 0.1 dB/km y 0.6 dB/km.

3.1.2 Proyección de atenuación de potencia

El margen de potencia máxima atenuada tendrá un rango tolerable; al sobrepasar, es necesario un repetidor. La fórmula para el cálculo es:

$$P_M = P_T - P_U$$

P_M : Máxima atenuación permisible

P_T : Potencia del transmisor en dB

P_U : Potencia de umbral en dBm (depende de la sensibilidad del receptor)

3.1.3 Proyección de margen de error permisible en un enlace

El margen de error permisible depende de una serie de factores, como el tipo de fibra óptica utilizada, la distancia de transmisión y la velocidad de datos. En general, cuanto mayor sea la distancia de transmisión y la velocidad de datos, mayor será el margen de error permisible.

$$A_{t2} = L_{km}a_1 + N_e a_e + N_c a_c$$

L_{km} : longitud del enlace en Km

a_1 : Coeficiente de atenuación del cable de fibra óptica en dB/Km

N_e : Número de empalmes

a_e : atenuación por empalme

N_c : Número de conectores

a_c : atenuación por conector

Entonces la potencia máxima atenuada se calcula por medio la formula: $P_M = P_T - P_U$. Al reemplazar se tiene a:

$$M_e = P_M - A_{t2}$$

3.1.4 Cálculo de dispersión cromática del enlace

La Dispersión en la fibra óptica es un proceso causado por la interacción de la luz con las fluctuaciones de densidad en la fibra esto quiere decir que al fabricar la fibra existen regiones con mayor y menor densidad molecular, cuando el tamaño de la fluctuación de densidad o defecto de la fibra, es menos de una décima de la longitud de onda con la que se opera, surge el fenómeno llamado dispersión de Rayleigh que es un proceso elástico del cual se derivan los efectos no lineales SBS (Dispersión estimulada de Brillouin) y SRS (la Dispersión estimulada de Raman) que se analizarán en el siguiente apartado. (Albán, 2014)

La dispersión estimulada de Brillouin y la dispersión estimulada de Raman son procesos inelásticos en los cuales parte de la potencia se pierde a partir de una onda óptica y es absorbida por el medio de transmisión. Los efectos no lineales en fibra óptica se convierten en un problema cuando varios canales coexisten en la misma fibra o cuando los niveles de potencia se incrementan. (Albán, 2014) . Para el cálculo de la dispersión cromática ($D\lambda$) en una fibra óptica se expresa en picosegundos por nanómetro por kilómetro ($\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$). Los valores para fibras multimodo y monomodo se los puede apreciar en la tabla 6 y tabla 7, pueden variar acorde al fabricante.

Tabla 6

Valores para dispersión cromática para una fibra G655

Tipo de fibra	Longitud de onda (nm)	Dispersión cromática ($D\lambda$) ($\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$)
Monomodo	1330	0,4
	1550	0,15
Multimodo	1330	1,2
	1550	0,6

Nota: Valores estándar para fibra óptica multimodo. Elaborado por el autor.

Tabla 7*Valores para dispersión cromática para fibra óptica de G652*

Tipo de fibra	Longitud de onda (nm)	Dispersión cromática (D_λ) (ps/nm/km)
Monomodo	1330	3
	1550	17

Nota: Valores estándar de fibra óptica monomodo. Elaborado por el autor.

La fibra monomodo G. 652 se usa generalmente en LAN, FTTH y transmisión CWDM. Entre ellos, la transmisión WDM es una opción económica y eficiente. Generalmente, la fibra monomodo G.652 sin amplificación de señal óptica se utiliza para transmisiones a corta y larga distancia. La fibra monomodo G.655 es el segundo tipo común de fibra en la red terrestre, que se caracteriza por una baja dispersión (incluida la dispersión y la dispersión del modo de polarización), y generalmente se implementa en la red de transmisión de larga distancia y la red de transmisión DWDM. (HTF-Fiber Optical, 2021)

Para calcular la dispersión total en un tramo de fibra óptica, podemos usar la siguiente fórmula:

$$D=L \times D_\lambda$$

Donde:

D: es la dispersión total en el tramo de fibra.

L: es la longitud del tramo de fibra expresada en km.

D_λ : es la dispersión cromática específica de la fibra, medida en ps/(nm·km).

La fibra óptica compensadora o DCF se utiliza para contrarrestar estos efectos de dispersión cromática al introducir una cantidad controlada y precisa de dispersión cromática opuesta a la producida por la fibra de transmisión principal. Para establecer el cálculo, se lo realiza mediante:

$$L_{FO} = \frac{D * 0.9}{|D_{FOC}|}$$

D: dispersión de la FO estándar (por cada nm de Sf))

D_{FOC} : dispersión de la fibra óptica compensadora

La longitud de la fibra óptica compensadora para que cumpla la función de dispersión debe tener el 90% de la dispersión acumulada producida por la dispersión cromática para efectuar la función de compensación.

3.1.5 Parámetros calculados

La etapa de la distancia de la fibra óptica tendrá un enlace de 20 km con una fibra óptica monomodo G.655 por las características mostradas en la Tabla 5. A la distancia indicada aumentaremos el 10% del metraje para considerar el margen de error mínimo.

Según Calo (2017), “al considerar el metraje de fibra óptica a implementarse para la reserva a futuro debe ser del 15% de la distancia total obteniendo una distancia total aparte de la requerida para el enlace, estos dos parámetros suman el 25 % que es una guía para conocer la cantidad de cable a ser utilizado en una futura implementación”. Entonces los cálculos por atenuación del enlace y de dispersión, se considera que las bobinas son de 4 km entonces se requieren 5 bobinas y ejecutar 4 mangas de empalme con 2 conectores a los extremos. En la tabla 8 muestra los resultados requeridos acorde a los valores expresados en la UIT.

Tabla 8
Cálculo de valores

Parámetros	Valores
Distancia del enlace	20 km
Atenuación de fibra óptica	5 dB
Atenuación de empalmes	0,6 dB
Atenuación de conectores	1 dB
Margen del enlace	2 km
Reserva de fibra óptica	3 km
Potencia de recepción	-6 dB
Potencia del transmisor	6 dB

Nota: Parámetros del enlace de fibra óptica. Elaborado por el autor.

3.2 Simulación en OptiSystem

OptiSystem es una herramienta de diseño de software potente, innovadora y de rápida evolución que permite a los usuarios planificar, probar y simular casi todos los tipos de enlaces ópticos en la capa de transmisión de un amplio espectro de redes ópticas desde LAN, SAN, MAN hasta redes ultra largas. Ofrece diseño y planificación de sistemas de comunicación óptica de capa de transmisión desde el nivel de componente hasta el de sistema y presenta visualmente análisis y escenarios. (Optiwave Design Software, s.f.)

La versión del software utilizada en la simulación es la 7.0 la cual es accesible sin pagos como versiones superiores, permitiendo el uso del software de manera libre. OptiSystem permite verificar el comportamiento del medio de transmisión mediante la revisión de tasa de errores de bit mínima (mínimo BER), factor de calidad (factor Q), mediciones y verificaciones en tiempo real. En el Anexo 1 podemos observar la pantalla principal del OptiSystem. El layout de OptiSystem permite utilizar elementos eléctricos y ópticos localizados en las librerías del simulador todo está en la carpeta Default, la pantalla puede ser apreciada en el Anexo 1.

Acorde a la información, la biblioteca de componentes OptiSystem incluye cientos de componentes que permiten introducir los parámetros que se pueden medir de verdaderos

dispositivos. Se integra con la prueba y medición de equipos de diferentes fabricantes. Los usuarios pueden incorporar nuevos componentes basados en los subsistemas y las bibliotecas definidas por el usuario, o utilizar co-simulación con una herramienta de terceros tales como MATLAB, C++ o SPICE. (Ramos, 2017)

3.2.1 Componentes implementados de la simulación

Los componentes simuladores activos y pasivos están ubicados cada una de las librerías de los simuladores, serán especificados en el Anexo 5. Tendrán una función específica para obtener la señal esperada, un diagrama del ojo con mayor amplitud.

Los parámetros configurados en el transmisor óptico y fibra óptica tendrían los valores para la simulación en la tabla 9.

Tabla 9
Parámetros configurados para la simulación

Transmisor óptico	Valor
Potencia de transmission	6 dBm
Frecuencia	100 Ghz
Modulación	NRZ
Fibra óptica	Valor
Distancia de la fibra óptica	20 Km
Longitud de onda	1550 nm
Coefficiente de dispersion	17 ps/nm/km

Nota: Valores de fibra óptica monomodo. Elaborado por el autor.

La atenuación del sistema de transmisión será colocada en el Atenuador óptico del simulador, siendo la suma de atenuaciones de los elementos pasivos, además se considera el margen y la atenuación de reserva generada por las distancias para el enlace de fibra óptica.

3.2.1 Componentes de medición en la simulación

Las librerías en Optisystem tienen herramientas que permiten evaluar el rendimiento de

los componentes eléctricos y ópticos en un sistema de comunicaciones ópticas simulado. Estas librerías proporcionan funciones para analizar diversos aspectos del sistema como la potencia óptica, la pérdida de inserción, la distorsión no lineal, la dispersión y la respuesta en frecuencia. La librería del simulador tiene componentes ópticos y eléctricos, están localizados en la carpeta Visualizadores/ Ópticos en la barra izquierda de la pantalla principal del software como se indica en Anexo 2.

3.4 Análisis y resultados de la simulación de la atenuación en el enlace de comunicación

Posterior al diseño del enlace de fibra óptica, se analizará cada etapa mediante el software OptiSystem. El cual cuenta con los analizadores de potencias, los mismos se obtienen en la carpeta Visualizer Library de la biblioteca Optical y Electrical del simulador. Los medidores de potencia óptica son colocados en la salida tanto del transmisor y atenuador para observar los resultados de niveles en el enlace simulado. Para el análisis se utilizará Optical Spectrum Analyser colocado en la salida del transmisor (Tx). Posterior se añadió Optical Power Meter en las salidas del Transmisor Óptico y el Atenuador óptico del enlace, con esto se verifica si la potencia finalmente llega con la atenuación requerida y la etapa de dispersión está realizando su función.

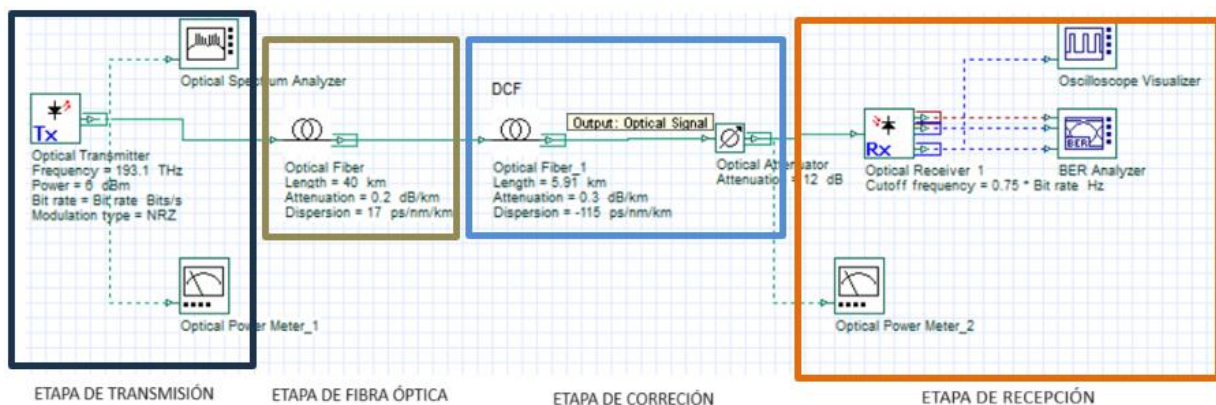


Figura 8

Etapas de la simulación

Nota: Etapas de la simulación para una Red Metro Ethernet, 2024.

Previamente para continuar con el análisis es necesario la demostración de las características del transmisor, está configurado a 100 GHz, esto se deduce con el ancho de los lóbulos. La escala está en el orden de los Tera Hertzios acorde al Analizador de Espectro de la figura 9 y al restar los valores de los extremos de los lóbulos el resultado será en Giha Hertzios.

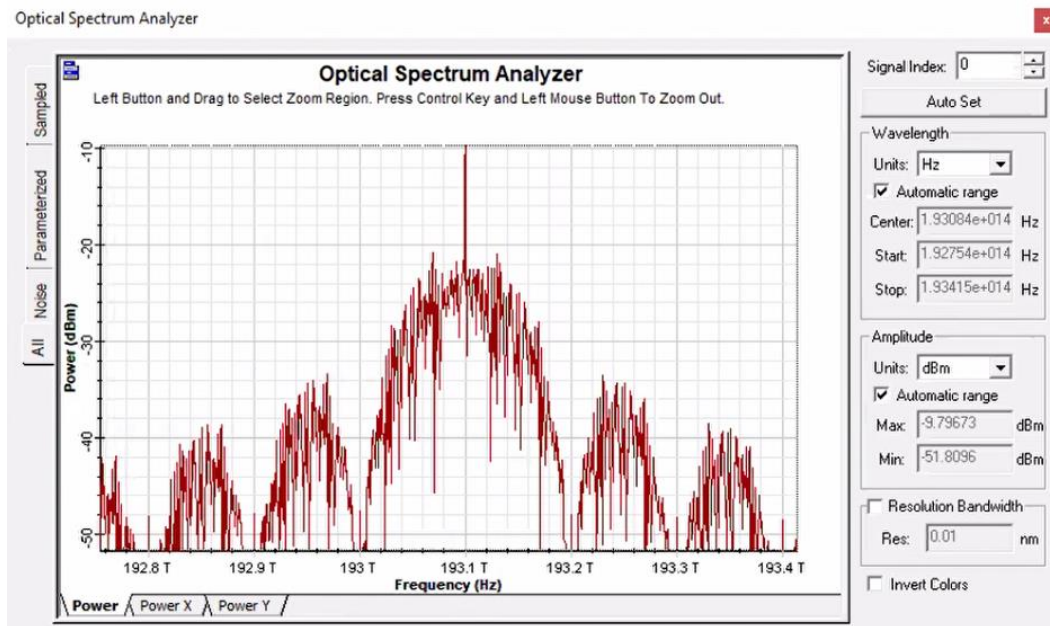


Figura 9

Etapas de la simulación

Nota: Analizador de espectro con la señal de transmisión a 100 Ghz, 2024.

El transmisor se configuró la potencia de salida de 6 (dBm) y al utilizar el Optical Power Meter se obtuvo el valor de 3.34 (dBm), como se muestra en la Figura 10. La diferencia entre la potencia configurada y la potencia medida puede deberse a las pérdidas inherentes en el sistema óptico simulado. Estas pérdidas pueden ocurrir debido a efectos de atenuación en los componentes ópticos, reflexiones en las interfaces y dispersión en la fibra óptica, entre otros



Figura 10

Medición con power meter en el transmisor

Nota: Medición de potencia que ingresa a la fibra óptica, 2024.

Mediante el atenuador óptico representa las pérdidas de los conectores, fusiones y cable de fibra óptica por cada kilómetro con un valor de -6.4 (dBm). El resultado obtenido con el Optical Power Meter es de -3.61 (dBm) acorde a lo observado Figura 11, definiendo las pérdidas esperadas ya que debe tomarse en cuenta la pérdida por atenuación de reserva.

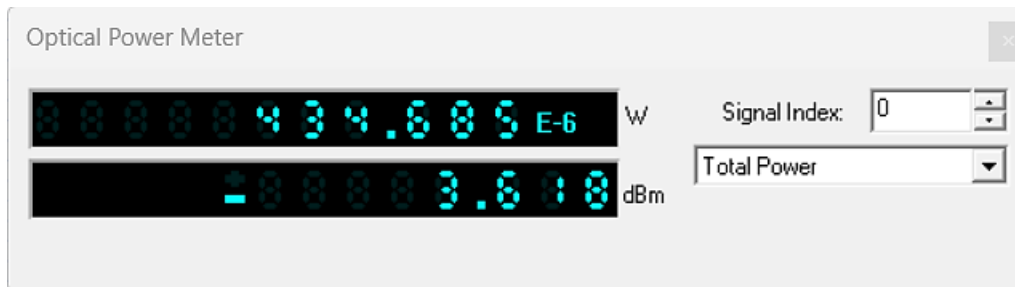


Figura 11

Medición con power meter posterior al atenuador

Nota: Medición de potencia posterior a la etapa de corrección, 2024.

La fibra óptica tendrá características mono modo con la distancia configurada la atenuación fue desactivada porque el atenuador configurado realiza la función de simulador de atenuaciones.

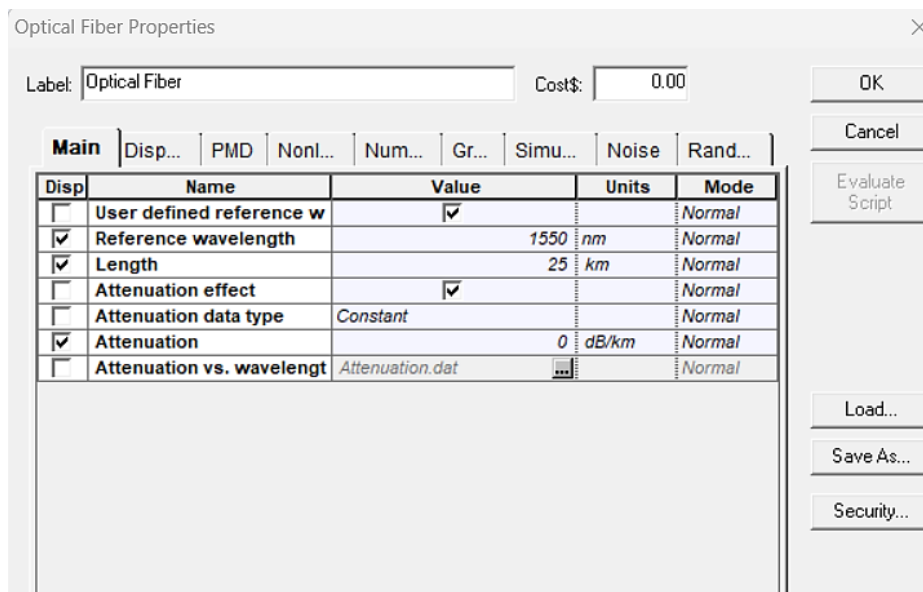


Figura 12

Configuración de la fibra óptica

Nota: Captura de pantalla de los parámetros de configuración de la fibra óptica, 2024.

3.5 Análisis y resultados del diagrama del ojo

El resultado del diagrama de ojo obtenido en el simulador OptiSystem proporciona una representación visual de la calidad de la señal transmitida a través del sistema de comunicaciones ópticas. La figura 13 muestra la apertura del ojo, la separación entre las trazas de datos en el dominio temporal. Una apertura de ojo más amplia indica una mejor calidad de la señal, ya que permite una distinción más clara entre los bits transmitidos. Bit Error Rate es la relación entre el número de bits errados sobre el número de bits transmitidos, entonces el ojo muestra nada más que los unos y ceros.

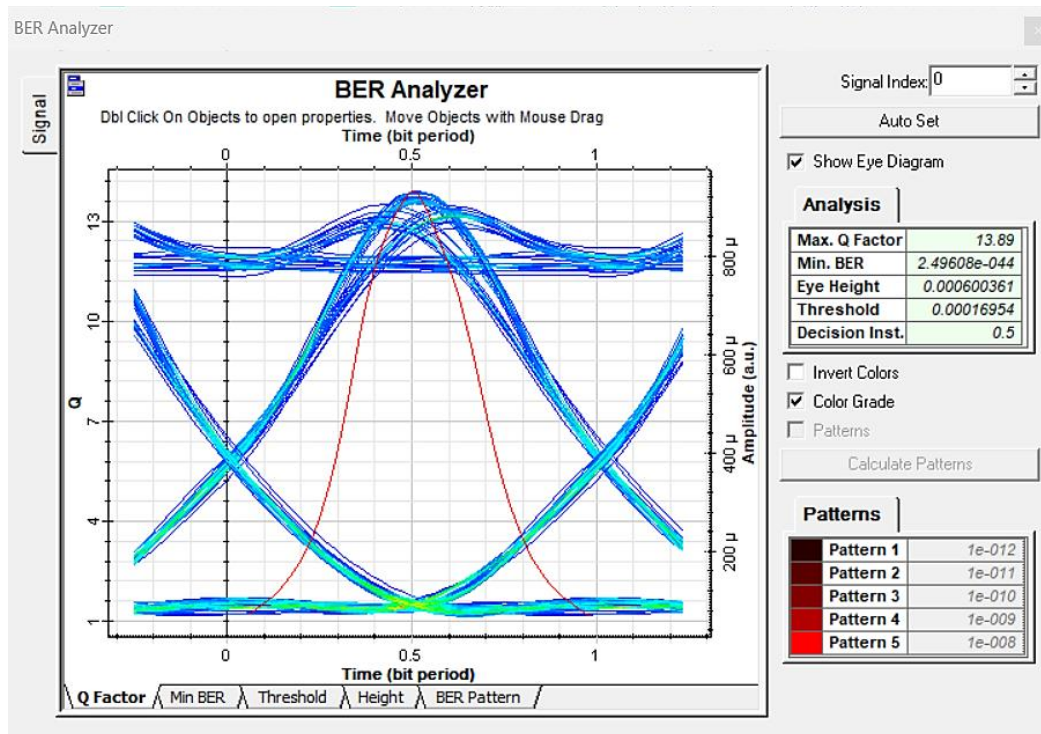


Figura 13
Diagrama del Ojo

Nota: Obtenido del simulador OptiSystem posterior a la etapa de corrección, por el Autor, 2024.

Para entender el análisis del ojo mostrado en la figura 14 se debe tener en cuenta los valores mostrados:

- Periodo de bit: Es la apertura o cierre del ojo.
- Cruce de tiempo: Es el tiempo donde se realiza la apertura y cierre del ojo.

- Cruce de amplitud: Este es el nivel de voltaje donde se realiza la apertura y cierre del ojo.
- Niveles 1 y 0 lógico: El valor promedio de cada uno respectivamente. (Calo, 2017)

Analysis	
Max. Q Factor	9.50912
Min. BER	9.61313e-022
Eye Height	7.68403e-006
Threshold	5.62589e-006
Decision Inst.	0.60625

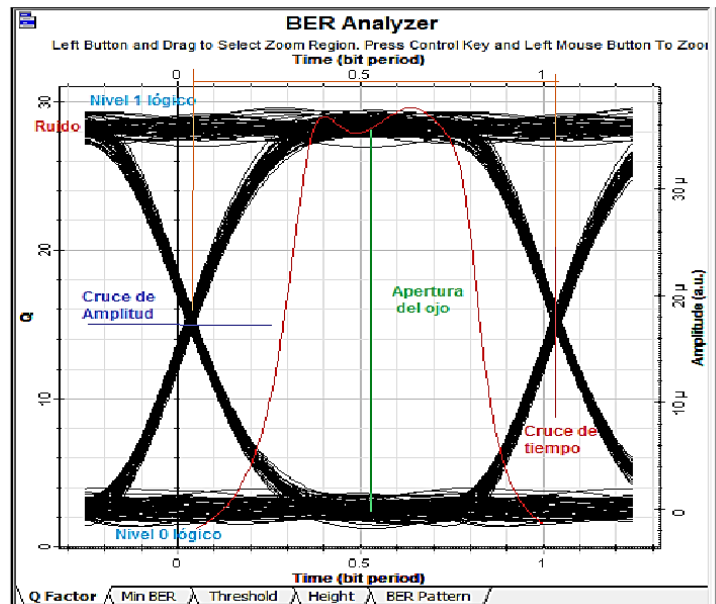


Figura 14

Diagrama del Ojo con buenas condiciones

Nota: Análisis del diagrama del ojo, de Edwin Calo, 2017. <http://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/1437/1/UISRAEL-EC-ELDT-378.242-2017-032.pdf>

Por otro lado, una apertura de ojo estrecha puede ser ocasionado por:

- Ruido en el Sistema: La presencia de ruido óptico o eléctrico puede reducir la amplitud de la señal y estrechar la apertura del ojo. Esto puede ser causado por fuentes de ruido externas, amplificadores ópticos inadecuados, interferencia electromagnética u otros factores.
- Distorsión de la Señal: La distorsión de la señal durante la transmisión a través del sistema óptico, como la dispersión cromática, la dispersión modal o la distorsión no lineal, puede alterar la forma del pulso de luz y estrechar la apertura del ojo.
- Interferencia entre Canales: la interferencia entre canales vecinos puede causar

distorsiones en la señal recibida y reducir la apertura del ojo.

- Jitter en el Tiempo: es la variación en el tiempo de llegada de los pulsos de luz, puede causar desplazamientos en la posición de muestreo óptimo y reducir la apertura del ojo.
- Atenuación de la Señal: La atenuación excesiva de la señal durante la transmisión a través de la fibra óptica u otros componentes del sistema puede reducir la amplitud de la señal y estrechar la apertura del ojo.

Los resultados indicaron una reducción en la apertura del ojo a medida que aumentaba la atenuación en el enlace o su distancia. Esto indicó una degradación en la calidad de la señal, lo que podría dificultar la recuperación precisa de los datos transmitidos. Además, se observa un aumento en el jitter de la señal, lo que sugiere una mayor incertidumbre en el momento de muestreo de los bits debido a la atenuación como se puede apreciar en la Figura 15.

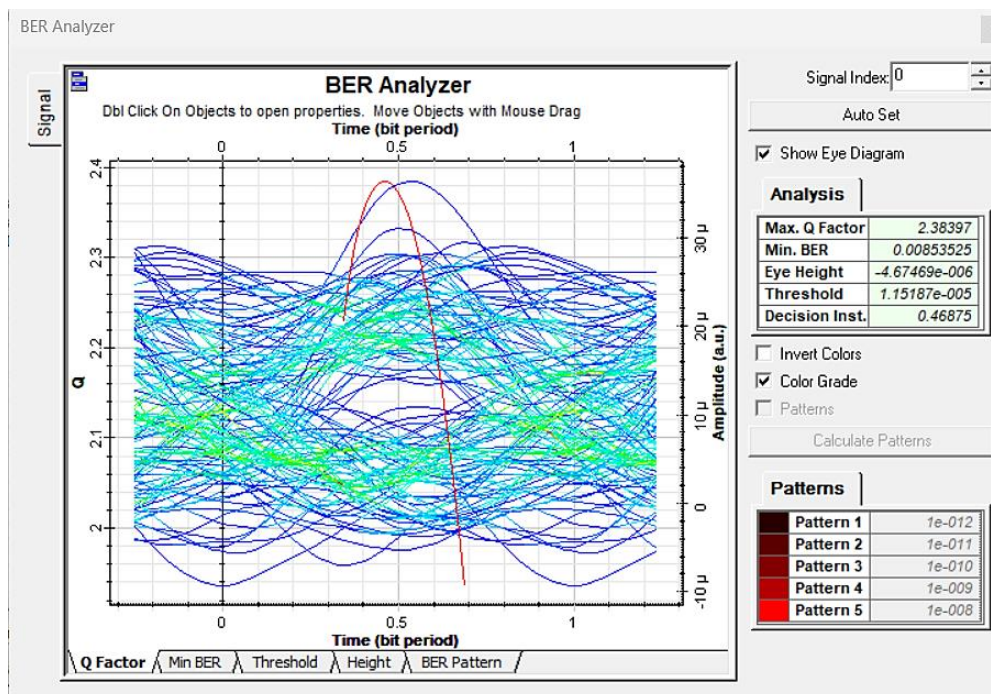


Figura 15

Diagrama del Ojo con mala calidad en la recepción

Nota: Valor de BER exponencial de e-3 siendo no aceptado en la transmisión, por el autor, 2024.

3.5 Análisis y resultados de la simulación de la dispersión en el enlace de comunicación

Los valores configurados en la fibra óptica de dispersión se muestran en la Figura 16. La dispersión calculada es propia del sistema, al aumentar la distancia pero sin modificar la atenuación, resultará que el diagrama del ojo empezó a tener un valor de BER fueron del rango de sugerencia para operatividad.

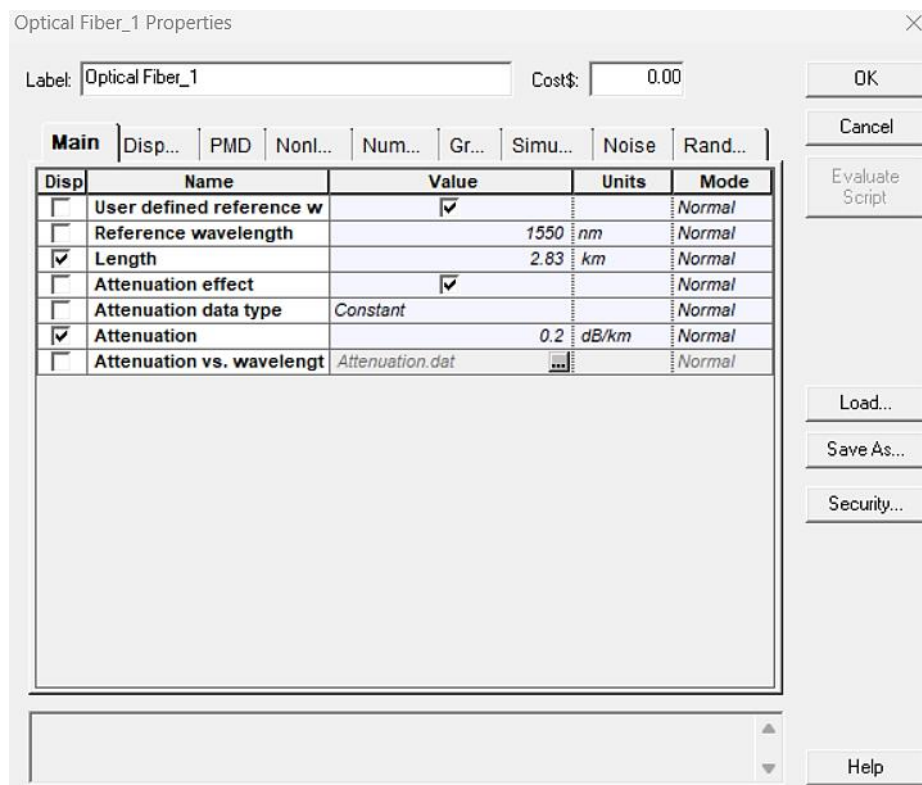


Figura 16

Propiedades de la fibra óptica

Nota: Pantalla de configuración de la fibra óptica de dispersión (DCF), por el autor, 2024.

Utilizando las herramientas de análisis disponibles en OptiSystem y considerando los efectos en la calidad de la señal óptica transmitida a lo largo del enlace dio como resultado el ensanchamiento temporal de los pulsos de luz, provocando una interferencia entre símbolos adyacentes y una reducción en la calidad de la señal recibida a medida que aumenta la distancia del tramo sin una debida compensación de la dispersión. Este fenómeno contribuye a una mayor degradación en el rendimiento del sistema, verificado en la figura 17.

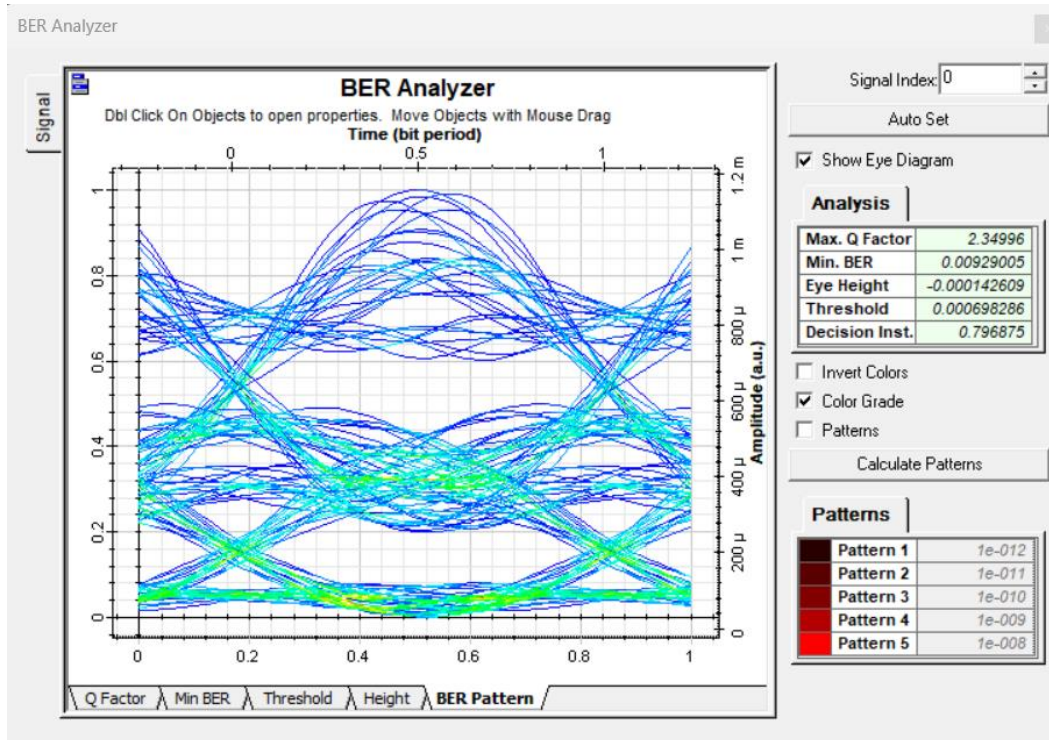


Figura 17
Diagrama del Ojo modificado

Nota: Diagrama del ojo con una distancia de 26 Km sin variación de potencia de transmisión, por el autor, 2024.

3.6 Resultados de la simulación de la atenuación del medio de transmisión

Uno de los aspectos a considerar en el análisis del diagrama del ojo es el efecto de la atenuación y distancia del enlace en la calidad de la señal recibida. Al aumentar la atenuación en un enlace de comunicación óptica red Metro Ethernet, debido a la longitud de la fibra, pérdidas en los componentes ópticos o condiciones ambientales, produce degradación en la forma y la apertura del diagrama del ojo. A medida que la señal óptica se debilita, se reduce la amplitud de los pulsos de luz detectados en el receptor, lo que resulta en una reducción en la separación entre los niveles de voltaje de los pulsos y una disminución en la apertura del ojo.

Para el análisis se dividirá en dos puntos relacionados con la atenuación del enlace y la distancia, siendo ambas variables y con una constante de la potencia de transmisión de 6 dBm para ambas simulaciones.

3.6.1 Análisis de la relación del BER y potencia en la recepción.

La potencia de recepción a partir de los -15.61 dBm muestra al BER con un valor de 1.50×10^{-8} , produciendo un diagrama del ojo deteriorado como se muestra en la figura 18.

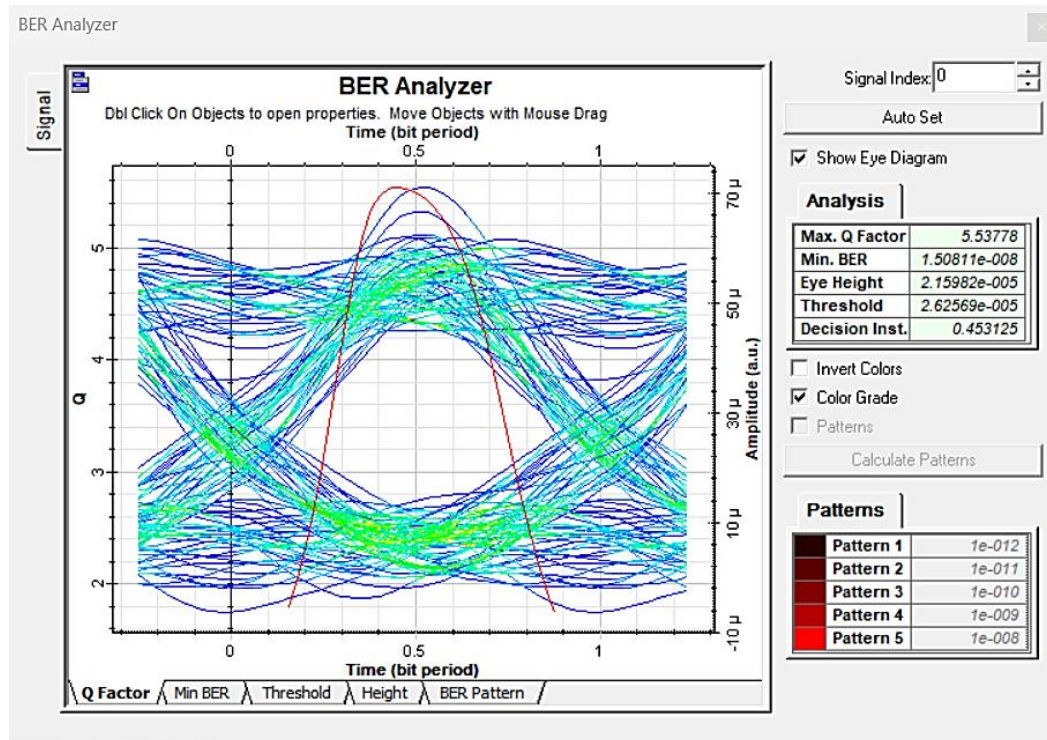


Figura 18

Diagrama del Ojo con una potencia de recepción menor

Nota: Diagrama del ojo con una recepción de potencia de bajo atenuada, por el autor, 2024

Varias muestras se tomaron para verificar la relación del BER con los cambios en la potencia de recepción, la figura 19 muestra el resultado de la atenuación del sistema es decir un enlace Metro Ethernet con una atenuación de 18.4 dB, ya tendría pérdidas si no existe una correcta amplificación de la señal como se puede evidenciar en la tabla 10.

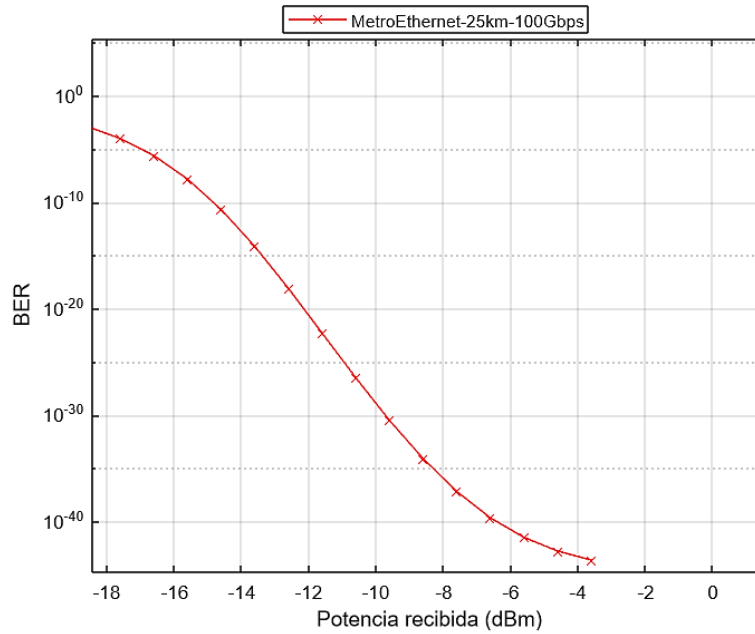


Figura 19

Relación entre la potencia recibida y BER

Nota: Comparativa de la señal transmitida a medida que aumenta la atenuación la potencia de recepción muestra valores de BER fuera del rango de operación, por el autor, 2024.

Tabla 10

Verificación de valores en la simulación

Atenuación Total del enlace (km)	BER	Potencia de recepción (dBm)
6,6	$3,42182 \text{ e-}44$	-3,818
7,6	$2,81834 \text{ e-}43$	-4,818
8,6	$6,88621 \text{ e-}42$	-5,818
9,6	$6,30165 \text{ e-}40$	-6,818
10,6	$2,45112 \text{ e-}37$	-7,818
11,6	$3,92252 \text{ e-}35$	-8,818
12,6	$1,85319 \text{ e-}30$	-9,818
13,6	$2,15701 \text{ e-}26$	-10,818
14,6	$3,45904 \text{ e-}22$	-11,818
15,6	$5,03485 \text{ e-}18$	-12,818
16,6	$3,78507 \text{ e-}14$	-13,818
17,6	$8,79976 \text{ e-}11$	-14, 818
18,6	$4,68293 \text{ e-}08$	-15,818
19,6	$5,6147 \text{ e-}06$	-16,818
20,6	$1,82461 \text{ e-}04$	-17,818
21,6	$2,10993 \text{ e-}03$	-18,818
22,6	$1,13807 \text{ e-}02$	-19,818
23,6	$1,00000 \text{ e}00$	-20,818

Nota: Comparativa de los valores con la variación de la atenuación, por el autor, 2024.

3.6.1 Análisis de la relación entre el BER y la potencia de recepción.

Procederemos a modificar tres parámetros: la distancia total del enlace, el valor de la distancia para compensar la dispersión del tramo y la atenuación. La potencia de salida seguirá siendo los 6 dBm en el sistema de simulación. Los valores calculados en la atenuación total del enlace óptico y dispersión, varían acorde a las necesidades de la distancia del tramo, es decir el número de mangas a considerar y la atenuación generada por el cable de fibra óptica con sus reservas. En la tabla 11 muestra los valores calculados y los resultantes en la simulación que son: BER y la potencia de recepción.

Tabla 11

Valores calculados y obtenidos en la simulación

Distancia Total (km)	Atenuación Total del enlace (km)	Fibra óptica de dispersión	Potencia de recepción (dBm)	BER
27,5	7,1	4,06	-4,56	5,36236e-41
30	7,7	4,43	-5,23	1,36898e-38
32,5	8,3	4,8	-5,9	1,82156e-38
35	8,8	5,17	-6,486	5,27882e-39
37,5	9,4	5,54	-7,16	3,10224e-37
40	9,9	5,91	-7,7	5,12648e-35
60	14,4	8,86	-12,82	6,20283e-12
70	16,8	10,34	-15,52	1,81836e-02
100	23,4	14,78	-23	1,00000e+00

Nota: La potencia de recepción y BER estables hasta la distancia de 60 km, por el autor, 2024.

A partir de los 60 km en enlace de fibra óptica muestra inconvenientes de compensación, demostrado por el valor de BER de 6,20283e-12 y una atenuación de -12.82 dBm con un diagrama de ojo con menos ensanchamiento según la figura 20. Con unta distancias de 70 km la señal óptica estará totalmente atenuada, observado en la figura 21.

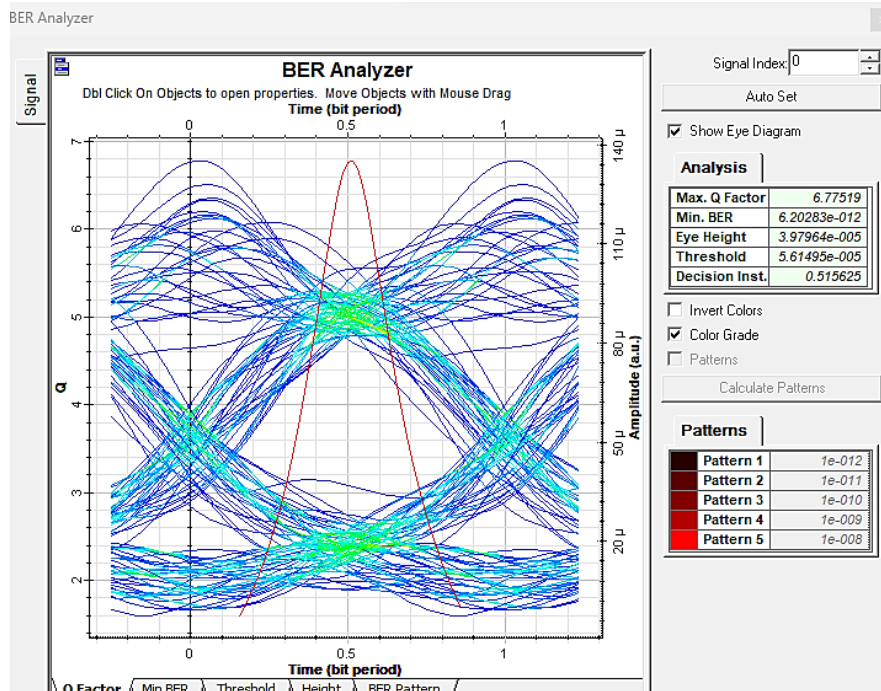


Figura 20

Diagrama de ojo resultante de un enlace de 60 km

Nota: Resultado del aumento de la distancia del enlace produciendo mayor atenuación por los elementos mostrando el diagrama del ojo, por el autor, 2024.

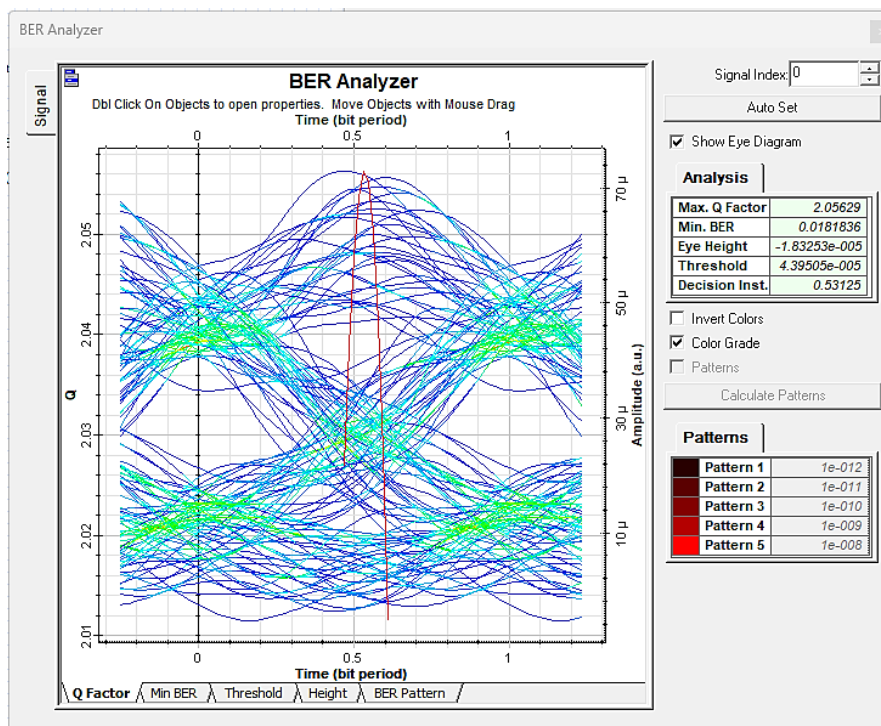


Figura 21

Diagrama del ojo distorsionado

Nota: BER tiene un valor de 1.81836e-02 a la distancia de 70 km sin ningún tipo de compensación, por el autor, 2024.

CAPÍTULO IV: FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA

En este capítulo, se lleva a cabo un análisis económico y técnico de los equipos para la migración de una red SDH a una red Metro Ethernet. El enlace óptico de la planta externa se basará en elementos existentes que deben estar en buen estado antes de su evaluación; por lo tanto, no se requerirán modificaciones y no se incluirán costos de mano de obra, los cuales pueden variar según el proveedor. La fibra óptica utilizada en la red SDH debe cumplir con las normas técnicas requeridas para la transmisión de datos en una red Metro Ethernet. Se enfocará en equipos de marcas reconocidas en el mercado, como ZTE o Juniper.

4.1 Análisis de factibilidad técnica

SDH ha sido una tecnología dominante en las comunicaciones, especialmente en las topologías de fibra óptica, con capacidades base de 10 Gbps, y ha sido ampliamente adoptada por proveedores como Huawei. Esta empresa ofrece una serie de equipos, incluyendo los modelos 1500, 3500 y 7500, cada uno con su capacidad respectiva, detallada en el Anexo 5. Los servicios y velocidades proporcionados por estos equipos son competitivos en redes troncales, y son una tendencia en el mercado, ofreciendo características de seguridad propias del fabricante.

La necesidad de modernización surge de la demanda de mayores capacidades y la provisión de redes virtualizadas en la capa 2. En este sentido, también se deben considerar equipos de otros fabricantes como ZTE y Juniper para el análisis técnico. En el Anexo 6, se llevó a cabo una revisión de las características de los equipos Juniper, evaluando su idoneidad para su implementación en la red troncal o distribución, operando en las capas 2 y 3.

El Juniper MX104 es un router de borde de alto rendimiento que cuenta con una impresionante capacidad de conmutación de 4.8 Tbps y una capacidad de procesamiento de 1.2 Tbps. Por otro lado, el Juniper MX960 es un router de núcleo de alta capacidad que ofrece una capacidad de conmutación aún mayor, alcanzando los 9.6 Tbps, y una capacidad de procesamiento de 2.4 Tbps. Podemos analizar otros equipos que son arquitectura de ZTE IPRAN, se basa en una red troncal IP/MPLS y redes de acceso multiservicio. ZTE al igual de Juniper tiene virtualización SDN, en la que dispositivos remotos masivos se virtualizan en un enrutador para una mejor administración. Esto concentra la capa de acceso de IPRAN en un solo dispositivo, simplifica la configuración de IPRAN, mejora la implementación, operación y administración automática de la red. Verifiquemos dos tipos de equipos resumidos en el Anexo 9 que pueden ser tomados en cuenta, por ejemplo, el ZTE modelo 6150 con una capacidad para ser parte de anillo mientras que el 6300 puede ser parte de la red troncal y brindando funciones de conmutación requeridos.

4.2 Análisis de factibilidad económica

Es importante tener una comprensión clara de las necesidades específicas antes de involucrar la parte económica. Además del precio inicial es importante, se debe considerar el costo total de propiedad, que incluye factores como el consumo de energía, el mantenimiento y las actualizaciones. Previo a la toma de las decisiones de los equipos a emplear para la modernización de una red SDH a Metro Ethernet debemos considerar los siguientes puntos:

- No limitarse solo a comparar precios; también asegurar la comparación de las características y capacidades de los diferentes equipos para asegurarse de que está obteniendo la mejor solución para sus necesidades.

- Experiencia y opiniones sobre los productos de las distintas marcas antes de tomar la decisión.
- La estabilidad y los servicios a brindar por parte de visión de la empresa con el fin de cumplir necesidades hacia el cliente.

4.2.1 Análisis económico de equipos

Los equipos Juniper MX104 y el Juniper MX960 son utilizados en redes de telecomunicaciones y ofrecen diferentes capacidades. Los valores económicos varían acorde a los requerimientos, evaluaremos equipos con mayor capacidad de puertos acompañados con procesamientos descritos en el Anexo 10, los equipos licenciados con su IOS estarán incluidos dentro del costo de compra como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12
Costo de equipos Juniper

Modelo	Capacidad de puertos	Costo
MX104-MX5-80G-UPG	MX104 to 80G and 4x10GE	US\$128,750.00
MX104-MX5-40G-UPG	MX104 to 40G and 2x10GE	US\$55,000.00
MX960-SERVPREM3-AC	1xMS-MPC-128G, 5G Universal Routing Platforms	US\$261,450.00

Nota: Valores económicos varían según el proveedor, por el autor, 2024.

Posterior a la evaluación económica del equipo, debe requerirse el TCO (costo total de la propiedad) donde no se limita únicamente al costo inicial de adquisición de un activo, sino los costos adicionales incurridos a lo largo del tiempo que son: costo de implementación, mantenimiento, operativos e implementación. Para nuestro caso la implementación no se tomará en cuenta ya que previamente existen bases y el costo de mantenimiento anual puede oscilar entre el 10% al 20% del costo inicial de adquisición del equipo. La capacitación del personal acompañados de certificaciones internacionales, pueden ser adjudicadas en la misma página del fabricante. En la tabla 13 existen los valores a considerar para la implementación

del equipo Juniper, el valor total será la suma del costo del equipo y también incluyendo los valores de capacitación del personal y el TCO valorado por 5 años.

Tabla 13
Implementación de equipo Juniper

Modelo	Costo	Capacitación de personal	TCO (anual)	Costo total por 5 años	Total
MX104-MX5-80G-UPG	\$128 750	\$4000	\$ 25 750	\$128 750	\$261500
MX104-MX5-40G-UPG	\$55 000	\$4000	\$ 11 000	\$55 000	\$114 000
MX960-SERVPREM3-AC	\$261 450	\$4000	\$ 52 290	\$261 450	\$526 900

Nota: El total será proyectado únicamente a 5 años con un personal técnico constante, por el autor, 2024.

Para la marca ZTE se verifica que los precios son accesibles pero la limitante vendrá en soporte técnico el cual puede ser limitado, posiblemente no existe mucha personal o cursos de certificación. Para las series anteriormente mencionadas se tendrá los siguientes costos:

- ZTE ZXR10 6150: Este router de agregación de borde ofrece capacidades de 10 Gbps a 40 Gbps. Con características de servicios en MPLS, VPN y QoS. Su precio oscila entre \$15,000 y \$25,000.
- ZTE ZXR10 6300: Este router de núcleo ofrece capacidades de 40 Gbps a 100 Gbps. Brindará servicios de SDN y MPLS entre sus principales. Su precio oscila entre \$30,000 y \$45,000.

Analizando los puntos expuestos verificamos al fabricante de mayor accesibilidad e información a la mano, el factor económico dependerá del desenvolvimiento de la empresa a utilizar los equipos de mayor sincronía en el mercado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Al migrar hacia una red Metro Ethernet demuestran que esta transición es altamente viable y beneficiosa para las organizaciones. Desde el punto de vista técnico, la infraestructura de Metro Ethernet ofrece capacidades superiores en términos de ancho de banda, escalabilidad y calidad de servicio, garantizando un rendimiento óptimo para las aplicaciones críticas.
- En un sistema de fibra óptica empleado para una Red Metro Ethernet que cuente con largas distancias, no solo basta la etapa de amplificación de señal. Debemos considerar otros tipos de fenómenos que puedan afectar a la señal y realizar las compensaciones respectivas para obtener una señal en la recepción esperada, es necesario compensar también en dispersión.
- Para el fenómeno de dispersión se puede compensar con filtros o fibra ópticas compensadoras de dispersión, teniendo en cuenta el porcentaje de compensación aplicar para tener un valor a calcular.
- Las pruebas de rendimiento simuladas en OptiSystem han demostrado la capacidad de la red Metro Ethernet para manejar la comunicación óptica a largas distancias, superando a la red SDH. Además, la interoperabilidad con tecnologías existentes y la capacidad de implementar nuevas aplicaciones de manera ágil y rentable hacen de Metro Ethernet una opción atractiva para la evolución de las redes de telecomunicaciones.
- La tecnología Metro Ethernet ofrece soluciones para redes troncales en áreas metropolitanas o de mayor distancia. Es importante considerar otras tecnologías, como DWDM, que pueden ofrecer una calidad de servicio igual o superior.

Recomendaciones

- Los equipos tomados para la modernización pueden ofrecer una serie de beneficios, como mayor rendimiento, confiabilidad, seguridad y flexibilidad. Sin embargo, es importante considerar cuidadosamente los costos, proyección de la empresa, tiempos de respuesta del fabricante y accesibilidad hacia la información para soporte técnico.
- Es importante considerar que la implementación del equipo requiere módulos ópticos para los puertos troncales, los cuales operan según sus capacidades. Por lo tanto, la compatibilidad estará determinada por las necesidades específicas del enlace principal o de distribución.
- Antes de llevar a cabo cualquier migración de equipos, es crucial asegurarse de que la infraestructura a reutilizar esté en óptimas condiciones de funcionamiento. Esto garantiza que la actualización de la red se realice sin contratiempos ni fallos inesperados.
- Se sugiere incorporar los valores de reserva en las distancias de la fibra óptica en los datos de simulación para calcular la atenuación del enlace. Esto permitirá obtener resultados más precisos y representativos de la realidad.

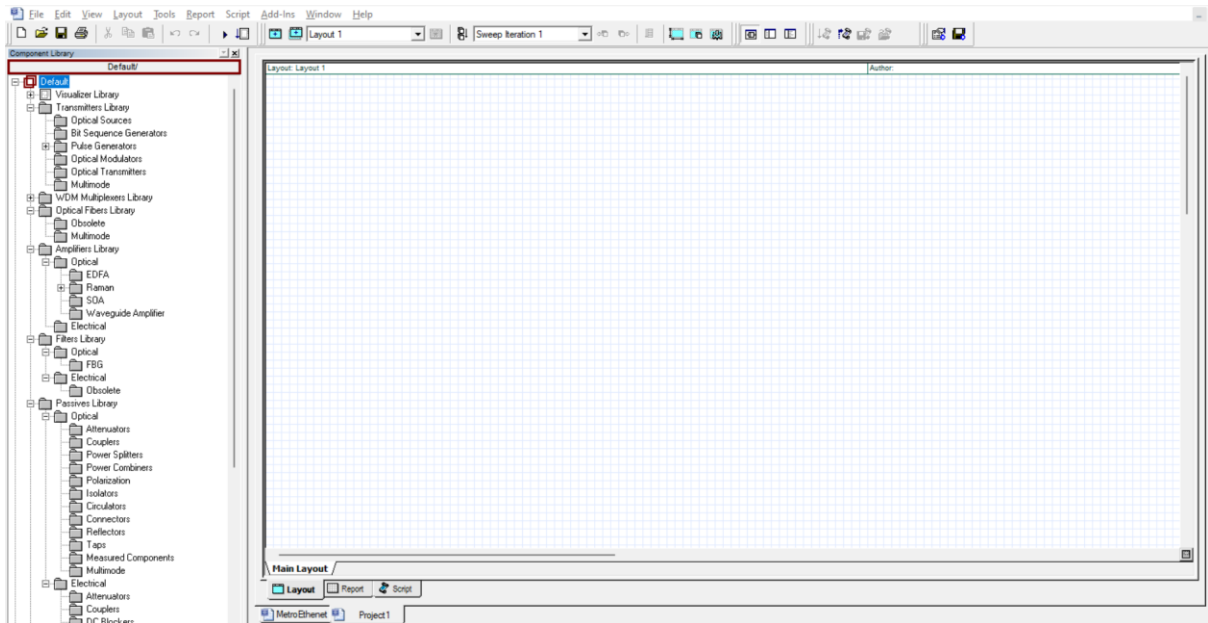
REFERENCIAS

- Albán, J. A. (Octubre de 2014). *ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE LOS EFECTOS NO LINEALES CAUSADOS POR EL FENÓMENO DE DISPERSIÓN INELÁSTICO EN LA CAPA FÍSICA EN UNA RED PON DE NUEVA GENERACIÓN*. Obtenido de dspace.ups.edu.ec: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7557/6/UPS%20-%20ST001296.pdf>
- Arévalo Méndez, C. A., Arévalo Pérez, D. A., & Grisales Giraldo, J. A. (Mayo de 2015). *Planificación para la Migración de Servicios FastEthernet de Tecnología SDH a Metro Ethernet para un Cliente*. Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/583/planificacion%20para%20la%20migracion%20de%20servicios%20fastethernet%20de%20tecnologia%20shd%20a%20metro%20ethernet%20para%20un%20cliente%20especifico.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Business Research. (Junio de 2023). *Business Research Insights*. Obtenido de <https://www.businessresearchinsights.com/es/market-reports/metro-ethernet-services-market-105345>
- Calo, E. P. (2017). *DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN ENLACE DE COMUNICACIONES ÓPTICAS MEDIANTE SOFTWARE PARA LOS EQUIPOS DE TELEPROTECCIÓN EN UNIDADES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA*. Obtenido de Repositorio.uisrael.edu.ec: <http://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/1437/1/UISRAEL-EC-ELDT-378.242-2017-032.pdf>
- Cisco. (2014). Cisco ASR 920 Series Aggregation Services Routers. <https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/routers/asr920/configuration/guide/cem/17-1-1/b-cem-eomer-xe-17-1-1-asr920/m-configuring-hdlc-upsr-asr920.html>.
- Enrique, L. (Diciembre de 2009). *Servicios Metro Ethernet MAN y WAN*. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/7567/ice%20267.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ethernet Alliance. (2023). *Ethernetalliance*. Obtenido de <https://etheralliance.org/event/ethernet-in-the-future-the-applications-and-technologies-to-enable-200-gbps-signaling-and-1-6-tb-s-ethernet/>
- HTF-Fiber Optical. (28 de Enero de 2021). *Clasificación y comparación de fibras monomodo G. 652 y G.655*. Obtenido de Shénzhen HTFuturo Co., Ltd.: <https://www.fiber-optical-transceivers.com/info/classification-and-comparison-of-g-652-and-g-57652315.html>
- Optiwave Design Software. (s.f.). *Descripción general de OptiSystem*. Obtenido de Optiwave - Consultado el 14 de diciembre de 2023 : <https://optiwave.com/optisystem-overview/>
- Parra Astudillo, W., & Ramón Sanmartín, G. (2011). *Diseño de una red SDH para brindar un servicio de un STM-1 a una compañía celular del país y asignar un EI en la ciudad de Manta para crear un call center hacia el NAP de las Américas con TDMoIP*. Guayaquil, Ecuador.

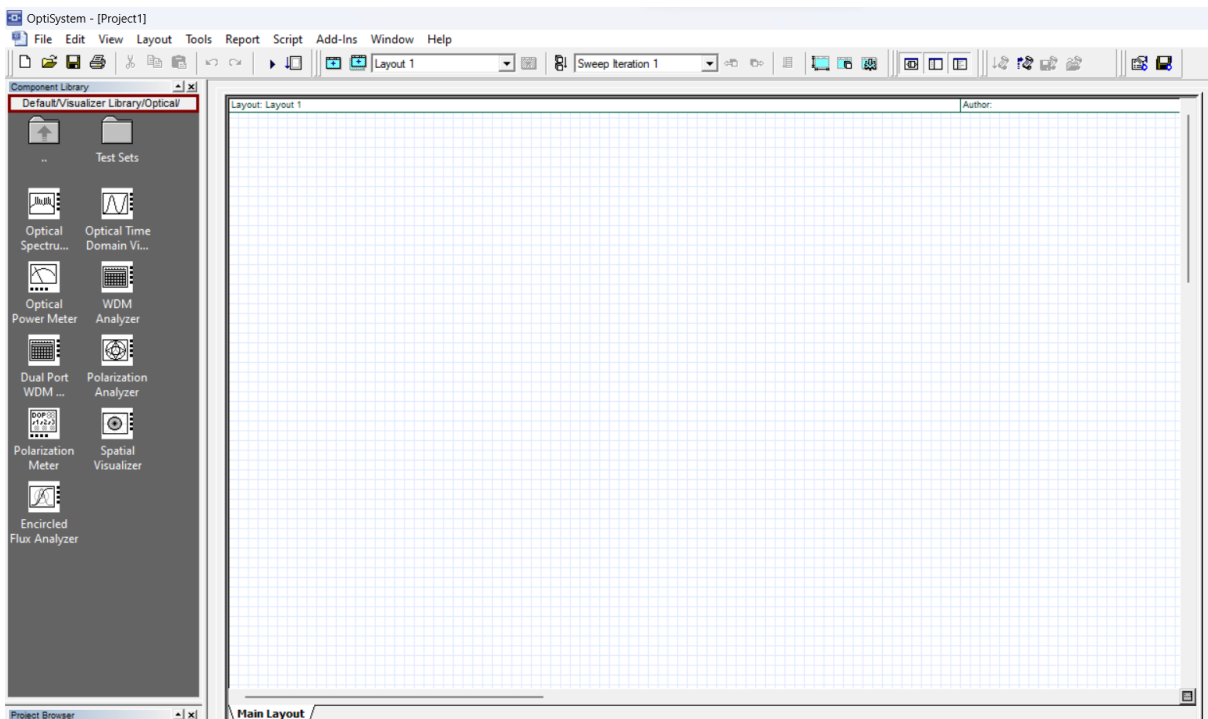
- Paúl, A. C. (2017). *http://repositorio.uisrael.edu.ec*. Obtenido de <http://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/1437/1/UISRAEL-EC-ELDT-378.242-2017-032.pdf>
- Ramos, C. E. (2017). *EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE TÉCNICAS DE MODULACIÓN EN SISTEMAS DE FIBRA ÓPTICA*. Obtenido de dspace.unach.edu.ec: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/4266/1/UNACH-EC-ING-ELE-TEL-2017-0012.pdf>
- Simbaña Collaguazo, F. (2015). *Estudio y diseño de una red de datos para una empresa que permita calidad de servicio por medio de la tecnología MetroEthernet integrada a una red MPLS*. Quito, Ecuador. Obtenido de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjM0_mr6P2BAxVgVTABHWc1CCYQFnoECBsQAQ&url=https%3A%2F%2Fbibdigital.epn.edu.ec%2Fbitstream%2F15000%2F10735%2F1%2FCD-6306.pdf&usg=AOvVaw25Avs_544kH4qBL6Zmhu5E&opi=89978449
- TELCOMA. (2023). *https://telcomatraining.com*. Obtenido de <https://telcomatraining.com/glossary/epl-ethernet-private-line/>
- Vargas, A. G. (Noviembre de 2011). *Propuesta de Red Metro Ethernet T-MPLS para los Nuevos Servicios*. Santa Clara, Cuba.
- Walter, F. R. (2022). Obtenido de <https://orcid.org/0000-0002-6575-5506>

ANEXOS

ANEXO 1.- PANTALLA PRINCIPAL DEL SIMULADOR



ANEXO 2.- PANTALLA DE LIBRERÍA DE MEDIDORES ÓPTICOS



ANEXO 3.- TABLA DE ESPECIFICACIONES UIT G.652D

Cuadro 4/G.652 – Atributos G.652.D

Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro del campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 μm
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1324 nm
	$S_{0\text{max}}$	0,092 ps/nm ² × km
Atributos del cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo de 1310 nm a 1625 nm (Nota 2)	0,4 dB/km
	Máximo de 1383 nm \pm 3 nm	(Nota 3)
	Máximo a 1550 nm	0,3 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD _Q máximo	0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
<p>NOTA 1 – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro PMD_Q en la fibra no cableada para soportar el requisito primario de PMD_Q del cable.</p> <p>NOTA 2 – Esta región de longitud de onda puede ampliarse hasta 1260 nm añadiendo 0,07 dB/km de pérdida por dispersión de Rayleigh inducida al valor de atenuación a 1310 nm. En este caso, la longitud de onda de corte del cable no deberá sobrepasar 1250 nm.</p> <p>NOTA 3 – La atenuación media detectada en muestras a esta longitud de onda debe ser menor o igual al valor especificado para el intervalo 1310 nm a 1625 nm después del proceso de envejecimiento del hidrógeno conforme a CEI 60793-2-50 en relación con la categoría de fibra B1.3.</p>		

Cuadro I.1/G.652 – Valor representativo de enlaces de fibra óptica concatenados

Coefficiente de atenuación	Región de longitud de onda	Valor típico del enlace
(Nota)	1260 nm – 1360 nm	0,5 dB/km
	1530 nm – 1565 nm	0,275 dB/km
	1565 nm – 1625 nm	0,35 dB/km
Coefficiente de dispersión cromática	D ₁₅₅₀	17 ps/nm × km
	S ₁₅₅₀	0,056 ps/nm ² × km
NOTA – El valor típico del enlace corresponde al coeficiente de atenuación del enlace utilizado en las Recs. UIT-T G.957 y G.691.		

Cuadro I.2/G.652 – Retardo diferencial de grupo

PMDQ máximo (ps/√km)	Longitud del enlace (km)	DGD máximo implícito inducido por la fibra (ps)	Velocidad binaria del canal
Sin especificar			Hasta 2,5 Gbit/s
0,5	400	25,0	10 Gbit/s
	40	19,0 (nota)	10 Gbit/s
	2	7,5	40 Gbit/s
0,20	3000	19,0	10 Gbit/s
	80	7,0	40 Gbit/s
0,10	> 4000	12,0	10 Gbit/s
	400	5,0	40 Gbit/s
NOTA – Este valor se aplica igualmente para los sistemas 10 Gigabit Ethernet.			

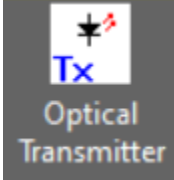

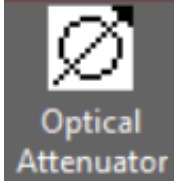

ANEXO 4.- CÓDIGO FUENTE PARA MATLAB DE LA REPRESENTACIÓN DE VALORES

```

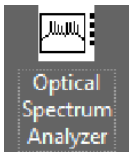
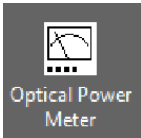

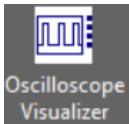
Prx2=[ -3.8,-4.8,-5.8,-6.8,-7.8,-8.8,-9.8,-10.8,-11.8,-12.8,-13.8,-14.8,-15.8,-16.88,-17.8,-18.8];
BER2=[3.4e-44,2.8e-43,6.8e-42,6.3e-40,2.4e-37,3.9e-35,1.8e-30,2.1e-26,3.4e-22,5.0e-18,3.7e-14,8.7e-11,4.6e-8,5.6e-6,1.8e-4,2.1e-3];
figure(1)%grafica del BER vs potencia recibida
semilogy(Prx2,BER2,'-xr')
hold on
xlabel ('Potencia recibida (dBm)')
ylabel('BER')
grid on
legend('MetroEthernet-25km-100Gbps')

```

ANEXO 5.- ELEMENTOS DE SIMULACIÓN DE ACTIVOS Y PASIVOS

Elemento	Icono	Función
Transmisor Óptico		<p>En la simulación tiene configurado una modulación NRZ. Como parámetros de configuración tiene el ancho del haz de luz, la supresión de modo lateral y el ruido de intensidad relativa. (Optiwave, 2022).</p>
Fibra Óptica		<p>Efectúa la función de una fibra óptica, permite modificar parámetros pérdidas, distancias y atenuaciones. Para la simulación se puede utilizar como funciones de compensación.</p>
Atenuador Óptico		<p>La atenuación generada por elementos pasivos (conectores, mangas de empalme), los cuales serán simuladas acorde a las necesidades o parámetros planificados en los cálculos previos del enlace.</p>
Receptor Óptico		<p>El Foto diodo PIN es sensible a la presencia de luz en la entrada y transforma a una señal eléctrica en su salida, el mismo se encuentra ubicado en la librería de Receivers Library/Optical Receivers en el simulador OptiSystem.</p>

ANEXO 6.- ELEMENTOS DE MEDICIÓN DEL SIMULADOR

Elemento	Icono	Función
Optical Spectrum Analyzer		Es un analizador de espectros ópticos, este facilita la lectura de señales en el rango de radiofrecuencia, muestra la potencia pico expresada en dBm. (Paúl, 2017). Permitiendo visualizar las señales ópticas en el dominio de la frecuencia.
Optical Power Meter		Es un medidor de potencia óptica, este elemento permite leer la potencia de cada dispositivo del enlace de comunicaciones. (Paúl, 2017).
Analizador BER		Es un módulo que se utiliza para analizar la tasa de error de bits (BER, Bit Error Rate) de un sistema de comunicaciones ópticas. Este módulo es especialmente útil para evaluar el rendimiento de sistemas de comunicaciones digitales en presencia de ruido y otros efectos adversos. La proporción de los bits errados, respecto al número de bits transmitidos, si se tiene un bit errado por cada millón de bits transmitidos, la base de BER será 1×10^{-6} .
Oscilloscope Visualizer		Se utiliza para visualizar las formas de onda de señales ópticas y eléctricas a medida que se propagan a través de un sistema de comunicaciones.

ANEXO 7.- CARACTERÍSTICAS DE EQUIPOS SDH HUAWEI

Características	OSN 3500	OSN 7500	OSN 1500
Capacidad de Transmisión	2.5G/10G/40G	2.5G/10G/40G/100G	2.5G/10G/40G/100G
Capacidad de procesamiento	4800 Gbps	14400 Gbps	43200 Gbps
Arquitectura	Multi-plano	Multi-plano	Multi-plano
Redundancia	1+1, MSP, SNCP, DNI, DRI	1+1, MSP, SNCP, DNI, DRI	1+1, MSP, SNCP, DNI, DR
Sincronización	GPS, IEEE 1588v2	GPS, IEEE 1588v2	GPS, IEEE 1588v2
Gestión	SNMP, CLI, EMS	SNMP, CLI, EMS	SNMP, CLI, EMS
Aplicaciones	SDH, PDH, ATM, CES, Ethernet , PCM, SAN, video y CORE	Metro, Core, Data Center	Metro, Core, Data Center
Interfaz de línea	GE, 10GE, 40GE, 100GE	GE, 10GE, 40GE, 100GE	GE, 10GE, 40GE, 100GE
Capacidad de troncal	STM-1/4/16/64, OC-3/12/48/192	STM-1/4/16/64, OC-3/12/48/192	STM-1/4/16/64, OC-3/12/48/192
Interfaces Soportadas	STM-1/STM-4/STM-16/STM-64	STM-1/STM-4/STM-16/STM-64/OTU0/OTU1	STM-1/STM-4/STM-16/STM-64/OTU0/OTU1
Resiliencia	Protección de anillo, protección de subruta	Protección de anillo, protección de subruta	Protección de anillo, protección de subruta
Sincronización de red	GPS, IEEE 1588v2	GPS, IEEE 1588v2	GPS, IEEE 1588v2
Escalabilidad	Media	Alta	Baja
Ruido y disipación de calor	Bajo ruido y disipación de calor	Bajo ruido y disipación de calor	Bajo ruido y disipación de calor
Dimensiones	2100mm(H) * 548mm(W) * 230mm(D)	2100mm(H) * 548mm(W) * 230mm(D)	2100mm(H) * 548mm(W) * 230mm(D)
Peso	300kg	450kg	600kg
Temperatura de funcionamiento	-5°C a +45°C	-5°C a +45°C	-5°C a +45°C
Altitud de funcionamiento	0 a 3000 metros	0 a 3000 metros	0 a 3000 metros

ANEXO 8.- CARACTERÍSTICAS DE EQUIPOS JUNIPER

Característica	Juniper MX104	Juniper MX960
Capacidad de conmutación	4.8 Tbps	9.6 Tbps
Capacidad de ranuras	144	288
Densidad de puertos	100G/40G/10G/GE	100G/40G/10G/GE
Capacidad de procesamiento	1.2 Tbps	2.4 Tbps
Redundancia	1+1, N+1	1+1, N+1
Sincronización	GPS, IEEE 1588v2	GPS, IEEE 1588v2
Gestión	SNMP, CLI, EMS	SNMP, CLI, EMS
Interfaces Soportadas	Ethernet, MPLS, IPsec, VPN, VLAN, etc.	Ethernet, MPLS, IPsec, VPN, VLAN, etc.
Aplicaciones	Metro, Core, Data Center	Metro, Core, Data Center
Interfaz de línea	GE, 10GE, 40GE, 100GE	GE, 10GE, 40GE, 100GE
Capacidad de troncal	STM-1/4/16/64, OC-3/12/48/192	STM-1/4/16/64, OC-3/12/48/192
Capacidad de agregación	10GE, 40GE, 100GE	10GE, 40GE, 100GE
Resiliencia	Protección de anillo, protección de subruta	Protección de anillo, protección de subruta
Sincronización de red	GPS, IEEE 1588v2	GPS, IEEE 1588v2
Eficiencia energética	Alta eficiencia energética	Alta eficiencia energética
Ruido y disipación de calor	Bajo ruido y disipación de calor	Bajo ruido y disipación de calor
Dimensiones	2100mm(H) * 548mm(W) * 230mm(D)	2100mm(H) * 548mm(W) * 230mm(D)
Peso	300kg	450kg
Temperatura de funcionamiento	-5°C a +45°C	-5°C a +45°C
Humedad de funcionamiento	5% a 95% sin condensación	5% a 95% sin condensación
Altitud de funcionamiento	0 a 3000 metros	0 a 3000 metros

ANEXO 9.- CARACTERÍSTICAS DE EQUIPOS ZTE

Características	ZTE IP-RAN 6150	ZTE IP-RAN 6300
Capacidad de conmutación	320 Gbps	1.28 Tbps
Capacidad de procesamiento	240 Gbps	960 Gbps
Ranuras	8	16
Puertos GE/10GE	48	96
Puertos 40GE/100GE	4	8
Capacidad de troncal	STM-1/4/16/64, OC-3/12/48/192	STM-1/4/16/64, OC-3/12/48/192
Capacidad de agregación	10GE, 40GE	10GE, 40GE, 100GE
Resiliencia	Protección de anillo, protección de subruta	Protección de anillo, protección de subruta
Sincronización de red	GPS, IEEE 1588v2	GPS, IEEE 1588v2
Ruido y disipación de calor	Bajo ruido y disipación de calor	Bajo ruido y disipación de calor
Peso	300kg	450kg
Temperatura de funcionamiento	-5°C a +45°C	-5°C a +45°C
Humedad de funcionamiento	5% a 95% sin condensación	5% a 95% sin condensación
Altitud de funcionamiento	0 a 3000 metros	0 a 3000 metros
Certificaciones	CE, FCC, RoHS, ISO9001	CE, FCC, RoHS, ISO9001

ANEXO 10.- INFORMACIÓN DE EQUIPOS JUNIPER

MX 204/240/480/960 Series Universal Routing Platforms Datasheet



MX960



MX480



MX204



MX240

Specifications

		MX960	MX480	MX240	MX204
Layout	System capacity	12 Tbps	7.5 Tbps	3 Tbps	400 Gbps
	Slot orientation	Vertical	Horizontal	Horizontal	NA
	Mounting	Front or center	Front or center	Front or center	Front or center
Physical Specification	Dimensions (W x H x D)	17.37 x 27.75 x 23 in (44.11 x 70.49 x 58.42 cm)	17.45 x 14 x 24.5 in (44.3 x 35.6 x 62.2 cm)	17.45 x 8.71 x 24.5 (44.3 x 22.1 x 62.2 cm)	17.6 x 1.75 x 18.7 in (44.7 x 4.45 x 47.5 cm)
	Weight fully loaded	334 lb/151.6 kg	180 lbs/81.6 kg	130 lb/59 kg	23.15 lb/10.5 kg
	Weight unloaded	150 lbs/68.1 kg	65.5 lbs/29.7 kg	52 lbs/23.6 kg	17 lb/7.71 kg
Routing Engine	Default memory	2x16 MB NOR flash storage; 64 GB of DDR4 RAM; 2x50 GB SSD	2x16 MB NOR flash storage; 64 GB of DDR4 RAM; 2x50 GB SSD	2x16 MB NOR flash storage; 64 GB of DDR4 RAM; 2x50 GB SSD	32GB DDR4; 2x100 GB SSD
	Number of cores	6 cores	6 cores	6 cores	8 cores
Redundancy	Components	Power supplies, REs, fans	Power supplies, REs, fans	Power supplies, REs, fans	Power supplies and fans
Environmental	Air flow	Front to back	Side to side	Side to side	Front to back
	Operating temperature	32° to 115° F (0° to 46° C) at sea level	32° to 115° F (0° to 46° C) at sea level	32° to 115° F (0° to 46° C) at sea level	32° to 115° F (0° to 46° C)
	Operating humidity	5% to 90%	5% to 90%	5% to 90%	5% to 90%
	Operating altitude	10,000 ft (3048 m)	10,000 ft (3048 m)	10,000 ft (3048 m)	6,000 ft (1900 m)
Certifications	NEBS	- GR-1089-Core EMC and Electrical Safety - Common Bonding Network (CBN) - National Electrical Code (NEC) - GR-63-Core Physical Protection	- GR-1089-Core EMC and Electrical Safety - Common Bonding Network (CBN) - National Electrical Code (NEC) - GR-63-Core Physical Protection	- GR-1089-Core EMC and Electrical Safety - Common Bonding Network (CBN) - National Electrical Code (NEC) - GR-63-Core Physical Protection	- GR-1089-Core EMC and Electrical Safety - Common Bonding Network (CBN) - National Electrical Code (NEC) - GR-63-Core Physical Protection

Ordering Information

MX204 Base Product Bundles

Product	Product Number	Description
MX204	MX204-HW-BASE	MX204 chassis with 3 fan trays and 2 power supplies. MX204 integrated SKU with base HW + standard Junos SW, Perpetual
	MX204-HWBASE-AC-FS	MX204 chassis with 3 fan trays and 2 power supplies, R mode MX204 Fixed AC System - HW and standard Junos; feature right to use must be ordered separately
	MX204-HWBASE-DC-FS	MX204 chassis with 3 fan trays and 2 power supplies, IR mode. MX204 Fixed DC System - HW and standard Junos; feature right to use must be ordered separately

MX204 Chassis

Product	Product Number	Description
MX204	JNP204-CHAS	MX204 chassis, spare

MX204 Power Supply

Product	Product Number	Description
MX204	JPSU-650W-AC-AO	MX204 AC power supply, spare
	JPSU-650W-DC-AFO	MX204 DC power supply, spare

- The MX480 is a modular, 7.5 Tbps-capable router that supports a wide range of cloud, campus, enterprise, data center, service provider, cable, and mobile service core applications.
- The MX240 is a compact, 3 Tbps-capable router ideal for space-constrained cloud, enterprise, data center, service provider, cable, and mobile service core deployments.

The latest generation of line card hardware for the MX960, MX480, and MX240 platforms delivers multi-terabit crypto capabilities with 256-bit encryption complying with AES-GCM encapsulation per RFC4303; AES-GCM encapsulation per RFC4106; AES-GMAC encapsulation per RFC4543; and AES-GMAC (IPv4/v6) encapsulation per RFCs 4302 and 4543. Along with multi-terabit routing, the latest MPC also delivers integrated Layer 2 MACsec features at flexible interface rates of 10GbE, 40GbE, and 100GbE.

Fixed-Configuration MX Series Platforms

The MX204 Universal Routing Platforms is fixed-configuration platforms that supports modular interfaces.

- The MX204 is a space- and power-optimized router delivering ultra-high port density and throughput while consuming just

0.9 W/Gb. It addresses the emerging edge and metro Ethernet networking needs of service providers, mobile, web-scale operators, and MSOs by delivering 400 Gbps of throughput in support of high-density 100GbE, 40GbE, and discrete and breakout 10GbE and 1GbE interfaces—all in a single rack unit.

The following table provides a comparison between the various MX Series modular and fixed-configuration platforms.

Architecture and Key Components

Modular Components for Chassis-Based MX Series Platforms

The modular, chassis-based MX960, MX480, and MX240 share the following components:

- Modular Port Concentrators (MPCs) provide routing, MPLS, switching, inline services, subscriber management, and hierarchical quality of service (HQoS) among many other features. MPCs may also host interfaces directly or via Modular Interface Cards (MICs) that allow users to “mix and match” interface types. Powered by the programmable Trio chipset, MPCs collect and stream telemetry that identifies resource utilization, loss and delay, and other metrics.

Table 1. MX Series Universal Routing Platforms at a Glance

	MX960	MX480	MX240	MX204
Rack units	16	8	5	1
Systems per rack	3	6	9	48
Slots	11 MPCs	6 MPCs	2 MPCs	8 10GbE, 4 100GbE
Per slot capacity	1.5 Tbps	1.5 Tbps	1.5 Tbps	NA
Maximum system throughput*	12 Tbps	7.5 Tbps	3 Tbps	400 Gbps
PDH	Yes	Yes	Yes	NA
Sonet/SDH	Yes	Yes	Yes	NA
Maximum 1GbE	440	240	80	24
Maximum 10GbE	528	300	120	24
Maximum 40GbE	132	75	30	4
Maximum 100GbE	120	75	30	4
Maximum 400GbE	24	15	6	NA
10GbE DWDM	88	48	16	8
100GbE DWDM	22	40	4	4

*Full duplex maximum system throughput values (to determine half-duplex values, double system throughput)

- Switch Control Boards (SCBs) feature an integrated switch fabric that connects to all slots in the chassis in a nonblocking architecture. The SCBs house the Routing Engine, control power to MPCs, monitor and control system functions such as fan speed and the system front panel, and manage clocking, resets, and boots.
- The Routing Engine (RE) provides the control plane, runs Juniper Networks Junos® operating system, and handles all routing protocol processes as well as the software processes

that control MPCs, chassis components, system management, and user access to the router. In addition, unique cryptographic digital identity has been added to the Trusted Platform Module (TPM 2.0), which is embedded in the latest generation of REs. This addition enables device attestation and enhances security. REs communicate with MPCs via dedicated out-of-band management channels.

MX204 Fan Trays

Product	Product Number	Description
MX204	JNP-FAN-1RU	MX204 fan tray

MX240, MX480, and MX960 Base Bundles

Product	Product Number	Description
MX240	MX240BASE-AC-HIGH	4 slot MX240 base chassis with 1 AC power supply, 1 SCB
	MX240BASE-AC-LOW	4 slot MX240 base chassis with 2 AC power supplies, 1 SCB
	MX240BASE3-DC	4 slot MX240 base 3 chassis, DC power
	MX240BASE-DC	4 slot MX240 base chassis with 1 fan tray, 1 DC power supply, 1 SCB
	MX240BASE3-ACH	4 slot MX240 base 3 chassis, highline AC power
	MX240BASE3-ACL	4 slot MX240 base chassis, lowline AC power
MX480	MX480BASE3-AC	8 slot MX480 base bundle, AC power
	MX480BASE-AC	8 slot MX480 AC base chassis, 1 fan tray, 3 AC power supplies, 1 SCB, 1 RE
	MX480BASE3-DC	8 slot MX480 base 3 chassis, DC power
	MX480BASE-DC	8 slot MX480 base chassis with 1 fan tray, 2 DC power supplies, 1 SCB, 1 RE
MX960	MX960BASE3-AC	14 slot MX960 base 3 chassis, AC power
	MX960BASE-AC	14 slot MX960 base chassis with 2 fan trays, 3 AC power supplies, 2 SCBs, 1 RE
	MX960BASE3-AC-ECM	14 slot MX960 base 3 chassis with AC power and extended cable manager
	MX960BASE-AC-ECM	14 slot MX960 base chassis with AC power and extended cable manager
	MX960BASE3-DC	14 slot MX960 base 3 chassis, DC power
	MX960BASE-DC	14 slot MX960 base chassis with 2 fan trays, 2 DC power supplies, 2 SCBs, 1 RE
	MX960BASE3-DC-ECM	14 slot MX960 base 3 chassis with DC power and extended cable manager
	MX960BASE-DC-ECM	14 slot MX960 base chassis with DC power extended cable manager

Product	Product Number	Description
MX480	MX480-PREMIUM2-AC	8 slot MX480 premium 2 chassis with midplane, redundant RE, SCBEs, AC power
	MX480-PREMIUM2-DC	8 slot MX480 premium 2 chassis with midplane, redundant RE, SCBEs, DC power
	MX480-PREMIUM3-AC	8 slot MX480 premium 3 chassis with enhanced midplane, redundant RE, SCBEs, AC power
	MX480-PREMIUM3-DC	8 slot MX480 premium 3 chassis with enhanced midplane, redundant RE, SCBEs, DC power
MX960	MX960-PREMIUM2-AC-ECM	14 slot MX960 premium 2 chassis with midplane, redundant Routing Engine, SCBEs, AC power, and extended cable manager
	MX960-PREMIUM2-DC-ECM	14 slot MX960 premium2 chassis with midplane, redundant Routing Engine, SCBEs, DC power, and extended cable manager
	MX960-PREMIUM3-AC-ECM	14 slot MX960 premium 3 chassis with enhanced midplane, redundant Routing Engine, SCBEs, AC power, and extended cable manager
	MX960-PREMIUM3-DC-ECM	14 slot MX960 premium 3 chassis with enhanced midplane, redundant Routing Engine, SCBEs, DC power, and extended cable manager
	MX960-PREMIUM2-AC	14 slot MX960 premium 2 chassis with midplane, redundant Routing Engine, SCBEs, AC power
	MX960-PREMIUM2-DC	14 slot MX960 premium 2 chassis with midplane, redundant Routing Engine, SCBEs, DC power
	MX960-PREMIUM3-AC	14 slot MX960 premium 3 chassis with enhanced midplane, redundant Routing Engine, SCBEs, AC
	MX960-PREMIUM3-DC	14 slot MX960 premium 3 chassis with enhanced midplane, redundant Routing Engine, SCBEs, DC power

MX240, MX480, and MX960 Chassis

Base Unit	MX240	MX480	MX960
DC Chassis	MX240BASE-DC, MX240BASE3-DC	MX480BASE-DC, MX480BASE3-DC	MX960BASE3-DC; MX960BASE-DC
AC Chassis	MX240BASE-AC, MX240BASE3-ACH, MX240BASE3-ACL	MX480BASE-AC, MX480BASE3-AC	MX960BASE3-AC; MX960BASE-AC

MX240, MX480, and MX960 Power Supplies

Product	Product Number	Description
MX240 MX480	PWR-MX480-2400-DC-BB	MX480/MX240 2400W DC P/S, base bundle
	PWR-MX480-2400-DC-R	MX480/MX240 2400W DC P/S, redundant
	PWR-MX480-2400-DC-S	MX480/MX240 2400W DC P/S, spare
	PWR-MX480-2520-AC-BB	MX480/MX240 2520W AC P/S, base bundle
	PWR-MX480-2520-AC-R	MX480/MX240 2520W AC P/S, redundant
	PWR-MX480-2520-AC-S	MX480/MX240 2520W AC P/S, spare

MX240, MX480 and MX960 Premium Bundles

Product	Product Number	Description
MX240	MX240-PREMIUM2-AC-HIGH	4 slot MX240 premium 2 chassis with midplane, redundant RE, SCBEs, highline AC power
	MX240-PREMIUM2-AC-LOW	4 slot MX240 premium 2 chassis with midplane, redundant RE, SCBEs, lowline AC power
	MX240-PREMIUM2-DC	4 slot MX240 premium 2 chassis with midplane, redundant RE, SCBEs, DC power
	MX240-PREMIUM3-ACH	4 slot MX240 premium 3 chassis with enhanced midplane, redundant RE, SCBEs, highline AC power
	MX240-PREMIUM3-ACL	4 slot MX240 premium 3 chassis with enhanced midplane, redundant RE, SCBEs, lowline AC power
	MX240-PREMIUM3-DC	4 slot MX240 premium 3 chassis with enhanced midplane, redundant RE, SCBEs, DC power

	PCM Interface	FXS/FXO, 2/4 wire audio and E&M X.21/V.35/V.11/V.24/V.28, RS232/RS422, RS449/RS423A/RS422A, RS530/RS530A, RS485, G.703 64 kbit/s codirectional; IEEE C37.94
	Other Interface	DDN, SAN, Video
Networking Mode		Supporting pure packet, hybrid (packet + SDH) or SDH networking Supporting WDM networking Supporting single-fiber bidirectional transmission
Power Supply		-48V DC/ -60V DC; 110/220V AC (External module)
Operation Environment	Temperature	Long term: -0°C ~ 45°C Short term: -5°C ~ 55°C
	Relative Humidity	Long term: 5% ~ 85% Short term: 5% ~ 95%
Ethernet Feature		E-Line and E-LAN, QinQ MPLS-TP based VPWS and VPLS Multi-section pseudo-wire (MS-PW) ETH PWE3, TDM PWE3, ATM/IMA PWE3 IGMP Snooping V2 Blacklist, Broadcast packet suppression, ACL VLAN SWAP
PCM features		Voice or data Conference/Meeting, P2MP, MP2MP FXO/FXS mode can be set by software E&M interface voltage can be set by software (-48V/-12V) E&M signaling can be set by software (Bell types I, II, III, IV, V and British Telecom SSSDC5)
QoS		Hierarchical QoS scheduling and traffic shaping DiffServ mode based on traffic classification, eight priority queues Simple traffic classification, complex traffic classification, per hop behavior (PHB),and ACL Committed access rate (CAR), shaping based on port scheduling priority PQ scheduling priority, weighted fair queuing (WFQ) and PQ+WFQ queuing Tail drop and weighted random early detection (WRED)
OAM	MPLS-TP OAM	LSP/PW OAM: CC, LB, LT AIS, RDI LM, DM LCK, TST CSF
	MPLS OAM	LSP/PW OAM:FDI, BDI, CV, FFD, TraceRoute, Ping, LM, DM PW OAM: CES PW VCCV
	Ethernet OAM	ETH-CC, ETH-Loopback, ETH-Link Trace, Remote Loopback, Remote Fault Detection, RMON(RFC 2819)
Protection	Equipment-level Protection	Cross-connect 1+1 backup, control board 1+1 backup and power 1+1 backup, clock 1+1 backup
	MPLS-TP based Service Protection	LSP/PW Linear protection, Ring protection Anti multifailure protection based on MS-PW LAG, MC-LAG, Dual-homing protection, LPT
	SDH based Service Protection	2/4 fiber MS-SP Ring; 1+1/1:n (n<=14) Linear MSP SNCP/SNCMP/SNCTP 1:N tributary protection for E1/T1, E3/T3, E4, STM-1(e) and FE
	ASON	Distributed restorable rerouting protection 5-level service dedicated protection scheme based on different SLA: Diamond, Gold, Silver, Copper and Iron services Based on VC-4 and VC-12 granularity