



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA**

Trabajo de Titulación como requisito previo para la obtención del título de
Magíster en Tecnologías de la Información mención Redes de Comunicaciones

**RED 50G-PON PARA EL SECTOR DE CUTUGLAGUA DEL CANTÓN MEJÍA, EN
ESCENARIO DE DEMANDA DE ULTRA BANDA ANCHA POR CADA USUARIO.**

Autor: Yuly Gabriela Luzón Calderón

Director: Germán Vicente Arévalo Bermeo, PhD.

Quito, 2023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, YULY GABRIELA LUZÓN CALDERÓN, con CI. 1727320085, autor del trabajo de graduación intitulado: “RED 50G-PON PARA EL SECTOR DE CUTUGLAGUA DEL CANTÓN MEJÍA, EN ESCENARIO DE DEMANDA DE ULTRA BANDA ANCHA POR CADA USUARIO.”, previo a la obtención del título profesional de Magíster en Tecnologías de la Información mención Redes de Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería.

1.- Declaro tener conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, en conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través de su sitio web de la biblioteca el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de la Universidad.

Quito, 2023



YULY GABRIELA LUZÓN CALDERÓN

CI. 1727320085

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi carácter de Director (a) – Tutor (a) del Trabajo de Posgrado Titulado: “Red 5G-PON para el sector de Cutuglagua del cantón Mejía, en escenario de demanda de ultra banda ancha por cada usuario.”, presentado por el maestrante YULY GABRIELA LUZÓN CALDERÓN, titular de la Cédula de Identidad N° 1727320085 para optar al Grado de Magíster en Tecnologías de la Información mención Redes de Comunicaciones, 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 Ingeniería.

En la ciudad de Quito, a los 21 días de septiembre de 2023.



GERMÁN VICENTE ARÉVALO BERMEO C.I. 0103152500

garevalo893@puce.edu.ec

NRO TELÉFONO: 0991572515

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

**RED 50G-PON PARA EL SECTOR DE CUTUGLAGUA DEL
CANTÓN MEJÍA, EN ESCENARIO DE DEMANDA DE ULTRA
BANDA ANCHA POR CADA USUARIO**

INFORME DE ORIGINALIDAD

7 %

INDICE DE SIMILITUD

8 %

FUENTES DE INTERNET

1 %

PUBLICACIONES

2 %

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

3%

★ **docplayer.es**

Fuente de Internet

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo, Yuly Gabriela Luzón Calderón, con cédula de ciudadanía 1727320085, declaro que todos los resultados obtenidos durante el desarrollo de este trabajo de titulación, previo a la obtención del grado de Magíster en Tecnologías de la Información mención Redes de Comunicaciones, son de mi autoría, auténticos y originales.

Por lo que declaro que el contenido, las conclusiones y los efectos legales y académicos que se desprendan de este trabajo son y serán de mi sola y exclusiva responsabilidad legal y académica.

Declaro que todo resultado académico que continúe con esta investigación y que se difunda tendrá como filiación la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, reconociendo al director de este trabajo de titulación en la autoría.



Yuly Gabriela Luzón Calderón
CI: 1727320085

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	17
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.1. Formulación del problema.....	18
1.2. Preguntas de investigación.....	18
1.3. Objetivos de la investigación	19
1.3.1 Objetivo General.....	19
1.3.2 Objetivos Específicos	19
1.4. Justificación de la investigación	19
CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	20
2.1. Antecedentes	20
2.2. Marco Teórico.....	21
2.2.1. Red Óptica Pasiva (PON)	21
2.2.2. Estructura de una red PON.....	22
2.2.3. Estándares de las redes PON.....	24
2.2.4. Red NG-PON (Red Óptica Pasiva de Próxima Generación).....	25
2.2.5. Estándar 50G-PON	27
2.2.6. Estándar IEEE 802.3.....	30
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	32
3.1. Marco metodológico	32
3.2. Diagnóstico de la situación actual	33
CAPÍTULO IV: LEVANTAMIENTO DE LA ZONA DE DISPERSIÓN.....	43
4.1. Descripción general del sector de Cutuglagua	43
CAPÍTULO V: DISEÑO DE LA PROPUESTA.....	46
5.1. Consideraciones para 50G-PON	46
5.1.1. Características	46
5.1.2. Arquitectura de la red.....	54
5.1.3. Factores relevantes en 50G-PON	55
5.2. Diseño de la red 50G-PON.....	58
CAPÍTULO VI: EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA.....	62
6.1. Software de simulación Optisystem	62
6.2. Escenarios de simulación	63
6.3. Parámetros a simular	63
CAPÍTULO VII: RESULTADOS	70

7.1. Resultados para el estándar 802.3ca	70
7.2. Resultados para el estándar HS-PON.....	75
CAPÍTULO VIII: ANÁLISIS DE RESULTADOS	81
8.1. Evaluación del indicador BER	81
8.2. Evaluación del indicador Jitter	82
8.3. Evaluación del indicador Factor de Calidad (Q).....	84
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	85
Conclusiones.....	85
Recomendaciones.....	87
REFERENCIAS	88
ANEXOS	90
Anexo A. Encuesta para evaluar la satisfacción de los usuarios de Internet en el sector de Cutuglagua.	90
Anexo B. Plan de desarrollo estratégico y ordenamiento territorial de Cutuglagua	93
Anexo C. ITU-T G.9804.1 Higher speed passive optical networks-Requirements.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Elementos de una red PON	22
Figura 2: Evolución de los estándares PON	25
Figura 3: Migración y evolución a redes 50G-PON	29
Figura 4: Longitudes de onda para redes 50G-PON.....	30
Figura 5: Estándares IEEE 802.3.....	30
Figura 6: Representación gráfica de los resultados de la pregunta 1 de la encuesta	34
Figura 7: Representación gráfica de los resultados de la pregunta 2 de la encuesta	35
Figura 8: Representación gráfica de los resultados de la pregunta 3 de la encuesta	36
Figura 9: Representación gráfica de los resultados de la pregunta 4 de la encuesta	37
Figura 10: Representación gráfica de los resultados de la pregunta 5 de la encuesta	38
Figura 11: Representación gráfica de los resultados de la pregunta 6 de la encuesta	39
Figura 12: Representación gráfica de los resultados de la pregunta 7 de la encuesta	40
Figura 13: Representación gráfica de los resultados de la pregunta 8 de la encuesta	41
Figura 14: Vista virtual del relieve y paisaje de Cutuglagua.....	44
Figura 15: Cobertura del suelo de la Parroquia de Cutuglagua.....	44
Figura 16: Coexistencia GPON con XG-PON mediante WDM1r.....	47
Figura 17: Coexistencia GPON con XG-PON mediante splitter	48
Figura 18: Coexistencia 50G-PON. a) CEx b) MPM.....	49
Figura 19: Coexistencia XG(S)-PON Y 50G-PON. a) CEx b) multi-PON.....	50
Figura 20: Coexistencia híbrida.....	51
Figura 21: Protección a) Tipo B b) Tipo C.....	52
Figura 22: Arquitectura 50G TDM PON.....	55
Figura 23: Arquitectura 50G TWDM PON.....	55
Figura 24: Atenuación y dispersión cromática de fibras monomodo.....	56
Figura 25: Diseño de red bajo el estándar 802.3ca.....	60
Figura 26: Diseño de red bajo el estándar HSP	61
Figura 27: Elementos del área del transmisor del estándar 802.3ca.....	64
Figura 28: Elementos del área del transmisor del estándar HS-PON.....	65
Figura 29: Elementos del área de red	66
Figura 30: Elementos del área del ODN.....	67
Figura 31: Elementos del área de la ONU estándar 802.3ca.....	68
Figura 32: Elementos del área del ONU estándar HS-PON.....	68
Figura 33: Potencia recibida en la primera iteración para el estándar 802.3ca	71

Figura 34: Diagrama de ojo para el estándar 802.3ca con Rx: -11.7 dBm.....	71
Figura 35: Espectro óptico en la primera iteración en el estándar 802.3ca	72
Figura 36: Potencia recibida en la quinta iteración para el estándar 802.3ca.....	72
Figura 37: Diagrama de ojo para el estándar 802.3ca con Rx: -15.7 dBm.....	73
Figura 38: Espectro óptico en la quinta iteración en el estándar 802.3ca	73
Figura 39: Potencia recibida en la octava iteración para el estándar 802.3ca	74
Figura 40: Diagrama de ojo para para estándar 802.3ca con Rx: -18.7 dBm.....	74
Figura 41: Espectro óptico en la octava iteración en el estándar 802.3ca.....	75
Figura 42: Potencia recibida en la primera iteración para el estándar HSP	76
Figura 43: Diagrama de ojo para el estándar HSP con Rx: -11.6 dBm.....	76
Figura 44: Espectro óptico en la primera iteración en el estándar HSP	77
Figura 45: Potencia recibida en la quinta iteración para el estándar HSP.....	77
Figura 46: Diagrama de ojo para el estándar HSP con Rx: -15.6 dBm.....	78
Figura 47: Espectro óptico en la quinta iteración en el estándar HSP.....	78
Figura 48: Potencia recibida en la octava iteración para el estándar HSP	79
Figura 49: Diagrama de ojo para el estándar HSP con Rx: -18.6 dBm.....	79
Figura 50: Espectro óptico en la octava iteración en el estándar HSP	80
Figura 51: Relación Prx vs BER 802.3ca y HS-PON.....	82
Figura 52: Medición del Jitter	83
Figura 53: Jitter vs Prx.....	83
Figura 54: Factor Q vs Prx	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de las tecnologías NG-PON	27
Tabla 2: Resultados de la pregunta 1 de la encuesta.....	35
Tabla 3: Resultados de la pregunta 2 de la encuesta.....	36
Tabla 4: Resultados de la pregunta 3 de la encuesta.....	37
Tabla 5: Resultados de la pregunta 4 de la encuesta.....	38
Tabla 6: Resultados de la pregunta 5 de la encuesta.....	38
Tabla 7: Resultados de la pregunta 6 de la encuesta.....	39
Tabla 8: Resultados de la pregunta 7 de la encuesta.....	40
Tabla 9: Resultados de la pregunta 8 de la encuesta.....	41
Tabla 10: Áreas verdes y urbanas en la parroquia de Cutuglagua.....	45
Tabla 11: Potencia óptica en 50G-PON, MPM	54
Tabla 12: Resultados obtenidos para 802.3ca.....	81
Tabla 13: Resultados obtenidos para HS-PON.....	81

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN MENCIÓN REDES DE
COMUNICACIONES

**RED 50G-PON PARA EL SECTOR DE CUTUGLAGUA DEL CANTÓN MEJÍA, EN
ESCENARIO DE DEMANDA DE ULTRA BANDA ANCHA POR CADA USUARIO.**

Autor: Yuly Gabriela Luzón Calderón

Director -Tutor: Germán Vicente Arévalo Bermeo, PhD.

Fecha: 21-09-2023

RESUMEN

El presente trabajo consiste en realizar el diseño de una red 50G-PON bajo el escenario de demanda de ultra banda ancha por cada usuario en el sector de Cutuglagua del cantón Mejía y así efectuar una proyección a futuro para determinar qué tan viable resultaría la implementación de esta red.

El documento se ha dividido en las secciones que se detallan a continuación:

En el primer capítulo se detalla el problema de investigación, las preguntas y los objetivos que persigue la misma. En el capítulo dos se definen las tecnologías de nueva generación, redes PON sus características, especificaciones y aspectos generales. También se revisa el estándar IEEE 802.3ac y HS-PON necesarios para el desarrollo del proyecto.

En el capítulo tres se presenta un diagnóstico de la situación actual del servicio de Internet en el sector de Cutuglagua y se describe la metodología empleada para cumplir con los objetivos del trabajo de investigación.

En el cuarto capítulo se realiza el levantamiento de la zona de dispersión para identificar el área para la cual se realizará el diseño de la red y conocer ciertas características del lugar. Así, en los capítulos cinco y seis se desarrolla el diseño de la red 50G-PON definiendo los parámetros de diseño y los escenarios de simulación.

En el séptimo capítulo se presentan cada uno de los escenarios y los parámetros simulados con el software OptiSystem, detalles de las gráficas y componentes de la red. Se muestran los datos obtenidos de la simulación. Para presentar posteriormente en el capítulo ocho el análisis de los indicadores de desempeño de la red: BER, *Jitter* y factor Q.

Finalmente, se exponen las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el desarrollo del presente trabajo de titulación.

Palabras clave: Redes PON, 50G-PON, OptiSystem, IEEE 802.3ca, Higher Speed PON, HS-PON, HSP.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN MENCIÓN REDES DE
COMUNICACIONES

**50G-PON NETWORK FOR THE CUTUGLAGUA SECTOR OF THE MEJÍA
CANTON, IN A SCENARIO OF ULTRA BROADBAND DEMAND PER USER.**

Autor: Yuly Gabriela Luzón Calderón

Director -Tutor: Germán Vicente Arévalo Bermeo, PhD.

Fecha: 21-09-2023

ABSTRACT

The present work consists of designing a 50G-PON network under the scenario of ultra-broadband demand per user in the Cutuglagua sector of the Mejía canton and thus making a future projection to determine how viable the implementation of this network would be.

The document has been divided into the following sections:

The first chapter describes the research problem, the research questions and objectives. Chapter two defines the new generation technologies, PON networks, their characteristics, specifications and general aspects. It also reviews the IEEE 802.3ac and HS-PON standards necessary for the development of the project.

Chapter three presents a diagnosis of the current situation of the Internet service in the Cutuglagua sector and describes the methodology used to meet the objectives of the research work.

In the fourth chapter, a survey of the dispersion zone is carried out to identify the area for which the network design will be carried out and to know certain characteristics of the place. In chapters five and six, the 50G-PON network design is developed by defining the design parameters and simulation scenarios.

The seventh chapter presents each of the scenarios and the parameters simulated with the OptiSystem software, details of the graphs and network components. The data obtained from the simulation are shown. Chapter eight presents the analysis of the network performance indicators: BER, Jitter and Q factor.

Finally, the conclusions and recommendations obtained in the development of this degree work are presented.

Keywords: PON networks, 50G-PON, OptiSystem, IEEE 802.3ca, Higher Speed PON, HS-PON, HSP.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme fortaleza, salud y por permitirme disfrutar la vida cada día.

A mis padres, Gloria y Bolívar, por su sacrificio y esfuerzo para que cumpla con cada una de mis metas.

A mis hermanas, Selena y Marlene, por su apoyo incondicional y por brindarme su ayuda siempre que lo he necesitado.

A mi director de tesis, Dr. Germán Arévalo B., por su apoyo y valiosos aportes para la realización de este trabajo.

A los docentes de la maestría en Tecnologías de la Información mención Redes de Comunicaciones.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con todo mi amor y cariño a las personas que fueron parte de este proceso:

A mi principal fuente de inspiración: Brianita Pérez,

A mis padres: Gloria Calderón y Bolívar Luzón,

A mis hermanas: Selena y Marlene,

A mis sobrinos: Brando, Estiven y Sarita.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la demanda de ancho de banda en las redes de comunicaciones por medio de fibra óptica está en constante incremento debido al surgimiento de nuevos servicios tecnológicos, obligando a los diferentes proveedores de estos servicios a migrar de las redes tradicionales hacia redes de gran capacidad. Una de las soluciones adoptadas por los proveedores es la tecnología PON, que permite comercializar servicios de nueva generación con mayores velocidades de banda ancha.

Gran cantidad de empresas brindan el servicio de Internet basadas en este estándar, es así que soluciones como el 50G-PON empiezan a sonar. La ITU-T ha revelado un sistema de redes ópticas pasivas que alcanzan los 50 Gbps a través de su recomendación G.9804.3, que manifiesta que esta solución tiene la capacidad de convertirse en el estándar principal de la industria de acceso óptico de la nueva generación de redes. Por otro lado, el grupo de trabajo IEEE 802.3ca con su esquema de onda única 25G/50G, aprovechando la multiplexación por división de longitud de onda extiende la operación de la red a múltiples canales de 25 Gbps para después agregar una segunda longitud de onda y alcanzar un total de 50 Gbps a través de fibra óptica.

Se espera que esta solución empiece a desplegar entre los años 2023 a 2025, por tal motivo este proyecto tiene como objetivo diseñar una red 50G-PON bajo un escenario de demanda de ultra banda ancha por cada usuario en el sector de Cutuglagua, para de esta manera determinar bajo que estándar resultaría viable una futura implementación de la red teniendo en cuenta las características y ventajas que cada enmienda integra para satisfacer los requisitos cambiantes de las aplicaciones y los nuevos mercados.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Formulación del problema

Actualmente, en el sector de Cutuglagua existe decadencia en la calidad del servicio de Internet entregada por los actuales proveedores, no existe buena cobertura y cada día aumenta la demanda de ancho de banda. Debido al rápido crecimiento de estos requerimientos, en el futuro se necesitará la implementación de nueva tecnología como lo es 50G-PON para cumplir con la exigencia de ultra banda ancha y calidad de servicio por cada usuario.

No existe un diseño de una red 50G-PON que muestre si es viable la implementación de esta tecnología, si garantizará cobertura, calidad y demanda de ancho de banda para este sector del cantón Mejía. Lo cual amerita un estudio de la tecnología 50G-PON, su evolución y topología acompañado de una simulación que permita determinar el desempeño de esta red en función de indicadores como el BER, *Jitter*, factor Q, etc., y de esta manera conocer si cumplirá con las demandas de los usuarios y de las diferentes actividades de telecomunicaciones.

1.2. Preguntas de investigación

Las interrogantes que se pretenden resolver con este trabajo de investigación son las siguientes:

- ¿Cómo han evolucionado las redes PON de nueva generación?
- ¿Cuál es la situación actual de los servicios de Internet por fibra óptica en el sector de Cutuglagua?
- ¿Cómo se puede aplicar 50G-PON a un escenario del sector de Cutuglagua?
- ¿Cómo se puede analizar el desempeño de la red 50G-PON?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. *Objetivo General*

Diseñar una red 50G-PON para el sector de Cutuglagua del Cantón Mejía, en escenario de demanda de ultra banda ancha por cada usuario.

1.3.2. *Objetivos Específicos*

1. Estudiar en la literatura las redes PON de nueva generación para comprender sus características.
2. Analizar la situación actual de servicios de Internet por fibra óptica en el sector de Cutuglagua.
3. Diseñar una red 50G-PON para el sector de Cutuglagua.
4. Evaluar el desempeño de la red 50G-PON mediante el software de simulación OptiSystem.

1.4. Justificación de la investigación

La innovación tecnológica y el suministro de servicios de banda ancha crece de forma acelerada, requiriendo de soluciones que puedan cubrir este crecimiento. 50G-PON es un estándar de nueva generación que tiene potencial para llegar a ser el estándar principal de acceso óptico y así permitir que las redes actuales de telecomunicaciones aumenten su capacidad pues proporciona un ancho de banda cinco veces mayor que 10G-PON. (Rábano y Fábrega, 2022)

El presente trabajo pretende realizar una proyección a futuro mediante el diseño de una red 50G-PON para el sector de la parroquia de Cutuglagua del cantón Mejía y así determinar la viabilidad de la implementación del proyecto a mediano o largo plazo para solventar una posible demanda de ultra banda ancha por cada usuario, debido a que actualmente en el sector no existen proveedores de servicio que ofrezcan grandes velocidades de Internet.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Antecedentes

La demanda de mayor banda ancha y de grandes velocidades de transmisión de datos de los usuarios residenciales en estos últimos años se ha incrementado de forma exponencial debido a las aplicaciones multimedia, llamadas de voz y video, juegos en línea y el consumo masivo de recursos de Internet. El bucle tradicional del abonado de par de cobre ha llegado a su límite dando lugar a la aparición de redes nuevas de acceso capaces de proporcionar el rendimiento que demandan este tipo de aplicaciones.

Estas redes son conocidas como redes ópticas pasivas (PON) y organismos como la ITU (*International Telecommunication Union*) han desarrollado estándares para estas redes, una propuesta reciente es 50G-PON con un enfoque sucesor de los estándares actuales. (Scientia Et Technica, 2009)

Previo a este estudio se han realizado trabajos como el presentado por (Mosquera, 2022) titulado “Análisis técnico comparativo de las redes de acceso ópticas pasivas de nueva generación: análisis técnico comparativo entre las redes de acceso 50G-EPON y NG-PON2” en el cual se realiza un análisis comparativo entre las redes anteriormente mencionadas tomando como referencia los estándares IEEE 802.3ca e ITU-T G.989.x y se comparan aspectos como: arquitectura, velocidades de transmisión, clases de ODN, etc., determinando que las redes NG-PON2 ofrecen mayores funcionalidades y admiten mayor variedad de servicios debido a que su ODN admite diversos dispositivos y trabaja con TWDM. Concluye además que la mejor opción para migrar a 50G-EPON es cuando ya existe alguna tecnología PON implementada.

Otro estudio relacionado es el realizado por (Brito, 2022) con título “Estudio del despliegue de una red de acceso NG-PON2 en la ciudad de Quito” donde se compara las tecnologías XG-PON y NG-PON2 mediante la simulación de diversos escenarios de pruebas

con el software OptSim, para posteriormente compararlos en cuanto a *Jitter*, *Bit Error Rate*, factor Q, entre otros. Se examinan además los costos de implementación de cada red concluyendo que XG-PON posee un costo de implementación bajo a comparación de NG-PON2, mientras que por otro lado NG-PON2 es un sistema con mayor escalabilidad frente a XG-PON.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Red Óptica Pasiva (PON)

La tecnología de red óptica pasiva conocida como PON (*Passive Optical Network*) es una tecnología de acceso de banda ancha pasiva que enlaza datos ascendentes y descendentes con diferentes longitudes de onda y utiliza tecnologías de multiplexación por división de tiempo para la transmisión de datos. Una red óptica pasiva utiliza una topología de punto a multipunto (P2MP), donde una pluralidad de unidades de red óptica (ONU) están conectadas al mismo puerto PON para ahorrar recursos de la oficina central. La ODN (Red de Distribución Óptica) que conecta la OLT (Terminal de Línea Óptica) y las ONU utiliza fibras ópticas y componentes pasivos para evitar interferencias electromagnéticas y proporcionar una fuerte adaptabilidad al entorno, así como fácil expansión y actualización.

La tecnología PON se ha aplicado a gran escala debido a sus ventajas de alto ancho de banda, alta confiabilidad, transmisión multiservicio y bajo costo. FSAN/ITU-T e IEEE han jugado un papel fundamental en la promoción del avance de tecnologías PON. PON se desarrolló a partir del primer ATM PON (APON) y luego evolucionó en *Broadband PON* (BPON). Las tecnologías PON comerciales han experimentado tres generaciones de desarrollo, entre las cuales GPON y EPON se han desplegado comercialmente a gran escala. En la actualidad, 10G-EPON y XG(S)-PON ya han madurado y entran en el período de ventana de uso comercial a gran escala. (Scientia Et Technica, 2009)

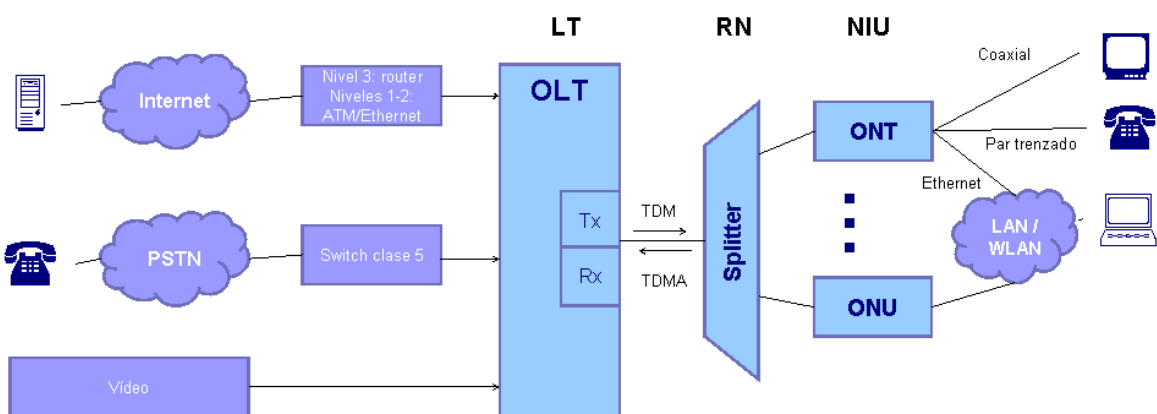
2.2.2. Estructura de una red PON

Una red PON es una red de fibra óptica en la cual los componentes de la red de agregación y distribución son pasivos, es decir no poseen alimentación eléctrica. (Gavilán, 2013)

Estructura. En la Figura 1 se muestra un esquema con los elementos que conforman una red PON.

Figura 1

Elementos de una red PON



Nota. Tomado de (Gavilán, 2013)

En la Figura 1 se aprecia la correlación entre los componentes genéricos de una red de acceso y una red PON. De esta manera, el LT (*Line Terminal*) genérico corresponde a la terminal de línea óptica OLT (*Optical Line Terminal*), los RNs (*Remote Nodes*) comunes se traducen en divisores ópticos (splitters) y las unidades de interfaz de red (NIU - *Network Interface Unit*) corresponden a las terminales de red óptica ONT (*Optical Network Terminal*) y a las ONU (*Optical Network Unit – unidades de red óptica*). (Gavilán, 2013)

Elementos componentes de la red. Una red óptica pasiva se compone de elementos ópticos ya que se sustituye el cable coaxial del tramo de red por un tramo de fibra monomodo, teniendo así los siguientes componentes:

OLT (Optical Line Terminal). Corresponde al extremo en el lado del proveedor de servicio de la red PON, proporciona la interfaz entre el núcleo de la red y el acceso PON.

Cumple las siguientes funciones:

- Realiza la conversión de señales eléctricas a señales ópticas y viceversa.
- Realiza el multiplexado de la información que proviene de las ONUs/ONT.

Mediante un mecanismo de broadcast que se basa en TDM envía la misma información a todos los componentes aguas abajo. Aguas arriba se encarga de recibir e integrar el tráfico que proviene de las ONU, esto lo hace utilizando el protocolo TDMA. Un terminal de línea óptica puede brindar servicio a miles de usuarios. (Gavilán, 2013)

Divisor óptico (splitter). Los *splitters* son elementos pasivos que se encargan de distribuir y ramificar la señal óptica que proviene del terminal de línea óptica (OLT) hasta llegar a las ONUs. Aguas arriba cumplen la función de acoplar señales y aguas abajo hacen la función de divisor. Se alojan en racks o cajas ya sea de exterior o interior.

Ostentan diferentes formatos entre los más frecuentes se encuentran los divisores de 2, 4, 8, 12, 32 o 64 salidas.

Debido a que producen atenuación de señal es importante medir los siguientes parámetros:

- Pérdidas de inserción (*insertion loss*, IL): pérdidas generadas por introducir un dispositivo a un circuito óptico.
- Pérdidas de retorno (*return loss*, RT): pérdidas generadas por las reflexiones de la señal.

(Gavilán, 2013)

ONT (Optical Network Terminal) / ONU (Optical Network Unit). Corresponde al equipo que se encuentran en las instalaciones del usuario de una red PON. Hay ONTs u ONUs tanto de interior como de exterior.

La diferencia entre ONT y ONU es muy leve y se fundamenta en que las ONTs ofrecen solamente un punto de terminación no así las ONUs que prometen varios.

Cumplen las siguientes funciones:

- Convierten las señales ópticas en señales eléctricas (Ethernet) y viceversa.
- Se encargan de la demultiplexación de la señal en sus componentes (Internet, voz, televisión).
- Adquieren energía de la red eléctrica del usuario y la proporcionan a los terminales.

(Gavilán, 2013)

2.2.3. Estándares de las redes PON

El mercado de las redes PON se fracciona en dos grandes organizaciones, ITU (*International Telecommunication Union*) e IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), cada organización con su grupo definido de estándares. Por un lado, ITU libera GPON y por otra parte la IEEE estandariza EPON, llamando a estas la primera generación de las redes ópticas pasivas.

En el caso de ITU cuenta con APON (*Asynchronous Transfer Mode PON*), BPON (*Broadband PON*), GPON (*Gigabit PON*) y las redes de nueva generación NG-PON (*Next Generation PON*) que cuenta con dos variantes NG-PON1 o también llamada XG-PON (*Extendend GPON*) y NG-PON2 conocida como WDM-PON (*Wavelength Division Multiplexing*).

Por otra parte, IEEE cuenta con EPON (*Ethernet PON*) y sus versiones mejoradas: G-EPON (*Gigabit Ethernet PON*) y 10G-EPON (*10 Gigabit Ethernet PON*).

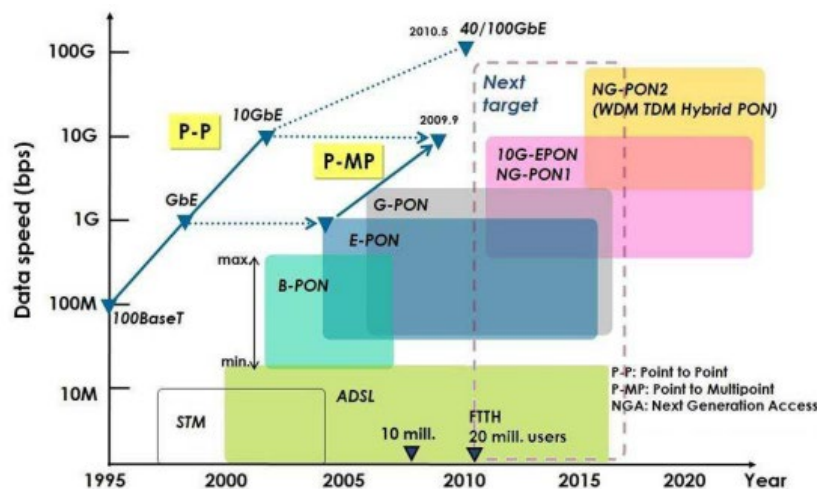
Debido al requerimiento de disponer de más ancho de banda por usuario surgieron las tecnologías de nueva generación que ofrecen mayores velocidades de transferencia y cuyas características se centran en incrementar el ancho de banda y el alcance de las redes PON.

En la Figura 2 se muestra la evolución de las redes PON desde su aparición hasta las topologías actuales, en función de la velocidad de transmisión de datos en bps. GPON es el estándar de la ITU-T mientras que EPON es el estándar de la IEEE, en esencia ambos estándares requieren de los mismos elementos para proporcionar acceso de fibra óptica a los usuarios.

Cabe mencionar que en América y Europa se utilizan los estándares, equipos y terminología de ITU para las PON mientras que en el mercado asiático predomina IEEE. (FibreMex, 2021)

Figura 2

Evolución de los estándares PON



Nota. Tomado de (Tsubokawa, 2009)

2.2.4. Red NG-PON (Red Óptica Pasiva de Próxima Generación)

La tecnología de próxima generación NG-PON se clasifica en dos tipos: NG-PON1 y NG-PON2.

NG-PON1 o red óptica pasiva de próxima generación fase 1 tiene dos variantes denominadas: XG-PON1, que trabaja con una velocidad de bajada de 10 Gbps y una velocidad de subida de 2,5 Gbps. Y XG-PON2, con una velocidad de 10 Gbps tanto de subida como de bajada. Al ser NG-PON1 una evolución de la tecnología GPON permite la transición gradual entre topologías ya que funcionan sobre la misma ODN. Así los clientes GPON pueden

cambiarse a NG-PON sin interrumpir el servicio de los usuarios durante el proceso de actualización.

A medida que surgen aplicaciones que demandan velocidades de transferencia superiores es indispensable incrementar el rendimiento de las redes pasivas a través del empleo de los estándares NG-PON2.

NG-PON2 (*40 Gigabit capable Passive Optical Networks*), garantiza la diversidad de servicios de los usuarios y aplicaciones del *backhaul* móvil. Tiene una capacidad de 40 Gbps para velocidad de bajada y de 10 Gbps para velocidad de subida, con un alcance de 20 km a razón de división de 1:64.

NG-PON2 especifica dos tipos de tecnologías ópticas: TWDM PON y PtP WDM PON.

TWDM PON es un sistema híbrido donde cada canal de longitud de onda a través de mecanismos de acceso múltiple y multiplexación por división de tiempo logra ser compartido entre varias ONU. El rango de longitudes de onda para este sistema se encuentra entre los 1524-1544 nm para descarga y los 1596-1603 nm para la banda de subida.

Por otro lado, PtP WDM PON es un sistema que emplea las bandas 1603-1625 nm del espectro compartido y 1524-1625 nm del espectro ensanchado ambos casos en sentido ascendente y descendente. Admite la conexión punto a punto por medio de un canal de longitud de onda dedicado por ONU para cada rumbo de la transmisión. (Montero y Rodríguez, 2016)

En la Tabla 1 se muestra las particularidades más relevantes de las redes ópticas pasivas de próxima generación con respecto a la longitud de onda de operación, tasa de transmisión en los canales de comunicación ascendente y descendente, distancia de los enlaces y razón de división de la señal óptica.

Tabla 1**Características de las tecnologías NG-PON**

Parámetros	GPON	XG-PON	TWDM PON	PtP WDM PON
Estándares	ITU-T G.984.x	ITU-T G.987.x	ITU-T G.989.x	ITU-T G.989.x
Banda de longitud de onda de operación	<p>Descendente: 1480-1500 nm a través de una sola fibra y 1260-1360 nm cuando utiliza dos fibras</p> <p>Ascendente: 1260-1360 nm</p>	<p>Descendente: 1575-1580 nm</p> <p>Ascendente: 1260-1280 nm</p>	<p>Descendente: 1596-1603 nm</p> <p>Ascendente: Banda ancha: 1524-1544 nm</p> <p>Banda reducida: 1528-1540 nm</p> <p>Banda estrecha: 1532-1540 nm</p>	<p>Descendente y ascendente: Espectro compartido: 1603-1625 nm</p> <p>Espectro ensanchado: 1524-1625 nm</p>
Velocidad de transmisión	<p>Descendente/ascendente: 2.4/1.2 Gbps</p> <p>2.4/2.4 Gbps</p>	<p>Descendente/ascendente: XG-PON1 - 10/2.5 Gbps</p> <p>XG-PON2 - 10/10 Gbps</p>	<p>Descendente/ascendente: 9.95328/2.48832 Gbps</p> <p>Descendente/ascendente: 9.95328/9.95328 Gbps</p> <p>Descendente/ascendente: 2.48832/2.48832 Gbps</p>	<p>Descendente y ascendente: Clase 1: 1.2288 a 1.25 Gbps</p> <p>Clase 2: 2.4576 a 2.666 Gbps</p> <p>Clase 3: 9.8304 a 11.09 Gbps</p>
Distancia típica del enlace óptico	20 km	40 km	40 km y puede llegar a 60 km con RE	
Razón de división (usuarios por ODN)	1:64	1:64	1:256	

Nota. Tomado de (Montero y Rodríguez, 2016)

2.2.5. Estándar 50G-PON

Después de completar la formulación del estándar 10G-GPON, especificado como estándar XG-PON, FSAN comenzó la investigación técnica de NG-PON, que inicialmente tiene múltiples longitudes de onda cada una operando a 10 Gbps. La investigación del estándar NG-PON2 se inició en 2011 y se formuló en 2015. Restringido por el alto costo de los dispositivos ópticos sintonizables y la madurez del sistema, NG-PON2 ha tenido un despliegue comercial lento.

Al mismo tiempo, el UIT-T llevó a cabo una investigación sobre la evolución posterior de las tecnologías PON e inició el libro blanco de la tecnología PON de alta velocidad de próxima generación para investigar sus diversas posibilidades técnicas. En comparación con la

enmienda de multiplexación de longitud de onda múltiple, el 50G-PON de longitud de onda única tiene la capacidad de figurar como el principal estándar industrial de la red de acceso óptico de próxima generación después de 10G-PON. En 2018, FSAN/ITU-T comenzó la formulación del estándar 50G-PON G.HSP: G. PON de alta velocidad (ZTE, 2022). En el Anexo C se muestran algunos servicios que se pueden dar en escenarios PON de alta velocidad.

La recomendación ITU-T ligada a este estándar es de reciente creación (2021) y diferencia tres tipos de topología dentro de un proveedor HSP:

- 50G TDM PON. Emplea TDM/TDMA y un par de canales con cierta longitud de onda.
- 50 TWDM PON. Múltiples pares de longitud de onda multiplexados en una misma fibra óptica.
- PtP WDM PON. Opción de punto a punto WDM.

Características generales. Algunas de las características comunes para las tres subredes de la tecnología 50G-PON son:

Distancia de la fibra. se parte de una distancia de 20 km y se alcanza coberturas de hasta 60 km. Para aplicaciones inalámbricas más sensibles a la latencia como el caso de 5G se fija como límite 10 km.

Distancia máxima de fibra diferencial. varía entre un valor de 20 km aproximadamente.

Retardo máximo de transferencia de la señal. ITU hace referencia a tres tipos de servicios:

- Voz e Internet. Inferiores a 1,5 ms.
- Transporte inalámbrico. Aún en estudio.
- Video Avanzado. Menor a 2 ms de forma bidireccional.

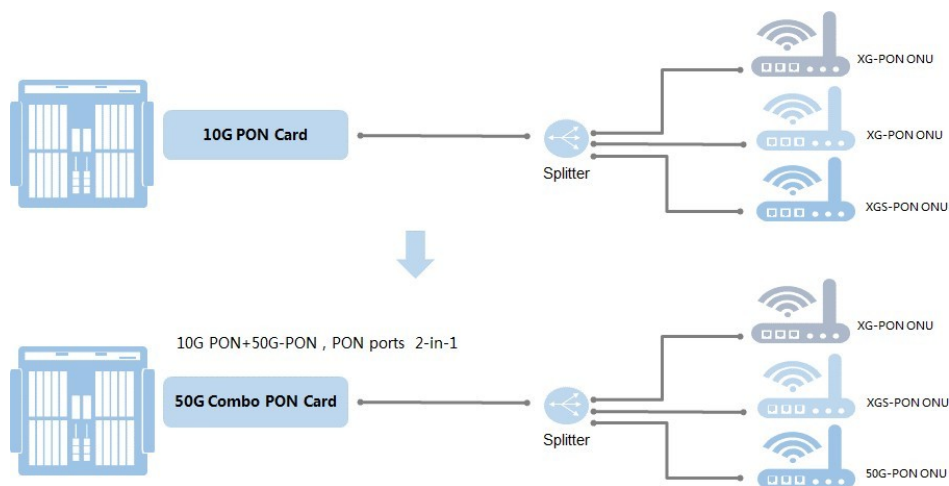
(Rábano y Fábrega, 2022)

Migración a 50G-PON. Debido al incremento de la demanda de ancho de banda para el acceso doméstico, gubernamental y empresarial; en un futuro 50G-PON será la tendencia de despliegue para el acceso de banda ancha por cable. Actualmente 10G-PON se encuentra en una etapa de despliegue por lotes y para realizar una migración fluida de 10G-PON a 50G-PON estas dos tecnologías deberán coexistir por un largo periodo de tiempo. Según los requisitos de evolución de la red, el ahorro de espacio de despliegue en la sala donde se encuentran los equipos y el uso eficiente de los recursos ODN, resulta necesario probar la coexistencia de las tecnologías 10G-PON y 50G-PON. (ZTE, 2022)

La Figura 3 ilustra la migración adecuada desde la topología 10G-PON hacia una topología 50G-PON.

Figura 3

Migración y evolución a redes 50G-PON



Nota. Tomado de (ZTE, 2022)

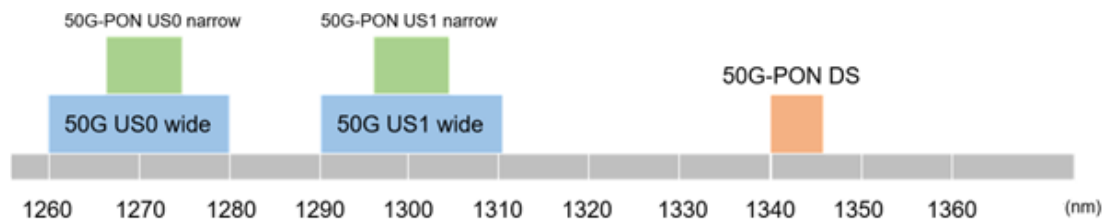
Selección de la longitud de onda. Las redes PON llevan varias generaciones de desarrollo y adoptan diferentes longitudes de onda en distintas normas. Estos recursos son cada vez más limitados y actualmente solo se dispone de una pequeña sección en la banda O para la tecnología 50G-PON, la cual no es suficiente para estos sistemas. Tras varios debates en ITU-T se estableció que 50G-PON no coexistirá con la topología GPON y 10G-PON al mismo tiempo. Por lo que una vez elevada la velocidad a 50G-PON se debe implementar un receptor

de alta sensibilidad para poder hacer uso de la red ODN desplegada, es así que 50G-PON requiere de un esquema de longitudes de onda estrechas. (Rábano y Fábrega, 2022)

En la Figura 4 se muestra el esquema de selección de longitudes de onda determinando para redes 50G-PON.

Figura 4

Longitudes de onda para redes 50G-PON



Nota. Tomado de (ZTE, 2022)

Velocidad de línea. Para 50G-PON la ITU-T apoya la combinación de velocidades simétricas y asimétricas, estas pueden ser: 49,7664 Gbps para enlace descendente y 9,95328 Gbps, 12,4416 Gbps, 24,8832 Gbps y 49,7664 Gbps para enlace ascendente. (Rábano y Fábrega, 2022)

2.2.6. Estándar IEEE 802.3

La norma 802.3 es un estándar sobre la que se articula Ethernet, un método para establecer comunicaciones físicas por medio de una LAN o red de área local, fue creada por el Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos (IEEE) y especifica el protocolo de transporte de información del nivel físico dentro de una arquitectura de red a capas, tal como TCP/IP, basada a su vez en el modelo OSI. Fue definida en el año de 1983 y actualmente el término Ethernet es utilizado para hacer referencia a las especificaciones Ethernet comprendidas en el estándar IEEE 802.3. A través del tiempo ha soportado numerosas ampliaciones que han ayudado para enriquecerlo, el aumento de su velocidad de transferencia de datos ha sido notable dando paso a los conocidos: *Fast Ethernet*, *Giga bit Ethernet* y *10*

Gigabits Ethernet. Además, se han utilizado diferentes recursos físicos para valorar cuál de estos ofrece mejor capacidad de comunicación en correspondencia con la velocidad, probando mediante conmutadores, *hubs* y tipos de cableado como la fibra óptica, los cables coaxiales o de par trenzado. (Llano y Morales, 2010)

El proyecto IEEE 802.3 despliega algunos estándares para las redes LAN, algunos de ellos se presentan en la Figura 5.

Figura 5

Estándares IEEE 802.3

ESTÁNDAR IEEE	DESCRIPCIÓN
802.3x	Full Dúplex (Transmisión y recepción simultáneas) y control de flujo
802.3y	100BASE-T2 100 Mbit/s sobre par trenzado no blindado (UTP). Longitud máxima del segmento 100 metros
802.3z	1000BASE-X Ethernet de 1 Gbit/s sobre fibra óptica.
802.3ab	1000BASE-T Ethernet de 1 Gbit/s sobre par trenzado no blindado
802.3ac	Extensión de la trama máxima a 1522 bytes (para permitir las "Q-tag") Las Q-tag incluyen información para 802.1Q VLAN y manejan prioridades según el estándar 802.1p.
802.3ad	Agregación de enlaces paralelos. Movido a 802.1AX
802.3ae	Ethernet a 10 Gbit/s; 10GBASE-SR, 10GBASE-LR
802.3af	Alimentación sobre Ethernet (PoE).
802.3ah	Ethernet en la última milla.
802.3ak	10GBASE-CX4 Ethernet a 10 Gbit/s, sobre cable bi-axial.
802.3an	10GBASE-T Ethernet a 10 Gbit/s sobre par trenzado no blindado (UTP)
802.3ap	Ethernet de 1 y 10 Gbit/s sobre circuito impreso (en proceso).
802.3aq	10GBASE-LRM Ethernet a 10 Gbit/s sobre fibra multimodal (en proceso).
802.3ar	Gestión de Congestión (en proceso).
802.3as	Extensión de la trama (en proceso).

Nota. Tomado de (Moya, 2016)

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Marco metodológico

Para el desarrollo del presente proyecto se prevé diseñar una red 50G-PON para el sector de Cutuglagua del cantón Mejía, en escenario de demanda de ultra banda ancha por cada usuario, mediante el análisis de las características y la arquitectura del estándar de nueva generación 50G-PON y su viabilidad de despliegue.

Para cumplir con el primer objetivo se realizará una investigación documental de tipo descriptivo de las tecnologías de nueva generación mediante la revisión de *papers*, revistas tecnológicas y normas del estándar IEEE 802.3ac. La etapa inicial será analizar el marco teórico relativo a las redes PON con el objetivo de deducir de dicho análisis aspectos generales, características y particularidades propias de estas redes. Posterior a esto se estudiará el marco teórico enfocado en la recomendación ITU-T y el estándar IEEE 802.11ac; concretamente sus mejoras y características más significativas en cuanto a velocidad, confiabilidad y rango de comunicaciones.

Para el cumplimiento del segundo objetivo, se recolectará información del desempeño actual de los servicios de Internet en el sector de Cutuglagua del cantón Mejía mediante encuestas a una muestra de la población del sector para identificar cobertura y velocidad de transmisión analizando la red en sitio.

Para el tercer objetivo, se llevará a cabo un estudio exploratorio del sector de Cutuglagua utilizando la herramienta *Google Earth* para realizar el levantamiento de la zona de dispersión y el reconocimiento de la zona donde se realizará el diseño de la red. Se examinarán las herramientas de OptiSystem mediante una práctica de las acciones básicas que provee el software y se procederá a realizar el diseño de la red 50G-PON según el escenario de interés.

Finalmente, se ejecutará la simulación de la red 50G-PON a través del software OptiSystem y se realizará un estudio de carácter cuantitativo de los datos obtenidos de BER, *Jitter* y Factor Q para determinar el desempeño de la red.

3.2. Diagnóstico de la situación actual

Actualmente en el sector de Cutuglagua varios proveedores de Internet ofertan el servicio a través de cobre, fibra óptica o Internet satelital, sin embargo, la demanda del mercado de las telecomunicaciones cada día exige mayores capacidades de ancho de banda y mejora en la calidad de servicio. Ya sea por trabajo, estudios u otras razones, el estar conectado se ha vuelto una necesidad.

Para entender mejor el escenario para el cual se desarrollará el proyecto es necesario conocer el criterio de los usuarios para determinar ciertos aspectos acerca de los servicios de Internet, para esto se aplicó una encuesta a una muestra de la población.

Para el cálculo de la muestra se toma como referencia una población de 21750 habitantes según los datos del INEC y del GAD parroquial de Cutuglagua (GAD Parroquial Cutuglagua, 2023).

Como se conoce el tamaño de la población, según (Torres, Paz, y Salazar, 2006) el tamaño de la muestra se determina utilizando la Ecuación (1):

$$n = \frac{N * Z_a^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_a^2 * p * q} \quad (1)$$

Donde:

N = tamaño de la población

Z = nivel de confianza

p = probabilidad de éxito o proporción esperada

q = probabilidad de fracaso

d = precisión (Error máximo admisible en términos de proporción)

Los datos utilizados para el cálculo de la muestra son los siguientes:

$N = 21750$ habitantes

$Z = 99\%$; $Z_{\alpha} = 2.58$ (según tablas de la distribución normal Z)

$p = 5\%$

$q = 95\%$

$d = 3\%$

Al sustituir los datos en la Ecuación (1) se obtiene:

$$n = \frac{21750 * (2.58)^2 * 0.05 * 0.95}{(0.03)^2 * (21750 - 1) + (2.58)^2 * 0.05 * 0.95}$$

$$n = 346$$

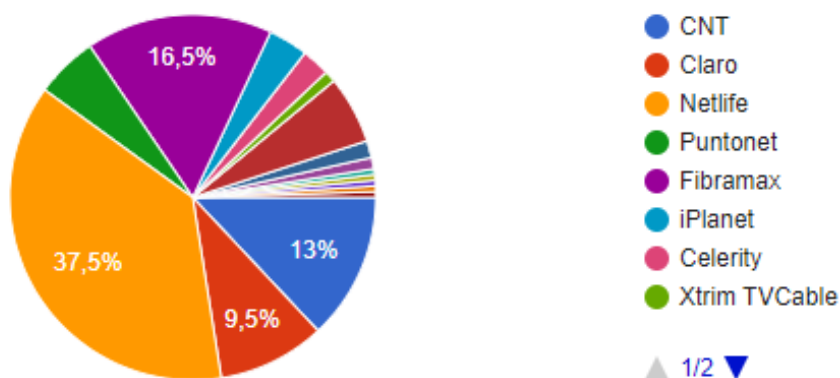
Por lo tanto, se requiere aplicar no menos de 346 encuestas, el valor fue redondeado a 400 encuestas considerando que existirá un crecimiento poblacional.

Para determinar la satisfacción de los clientes y el uso del servicio de Internet, en la encuesta (Anexo A) se formularon las preguntas que se especifican a continuación:

1. ¿Cuál empresa es su principal proveedor del servicio Internet?

Figura 6

Representación gráfica de los resultados de la pregunta 1 de la encuesta



Nota. Elaboración propia

Tabla 2

Resultados de la pregunta 1 de la encuesta

Descripción	Usuarios	Porcentaje
CNT	52	13,00%
Claro	38	9,50%
Netlife	150	37,50%
Puntonet	22	5,50%
Fibramax	66	16,50%
iPlanet	14	3,50%
Celerity	10	2,50%
Xtrim TVCable	4	1,00%
Opticom	24	6,00%
Otros (Surnet, Wifinet, etc.)	20	5,00%
TOTAL	400	100,00%

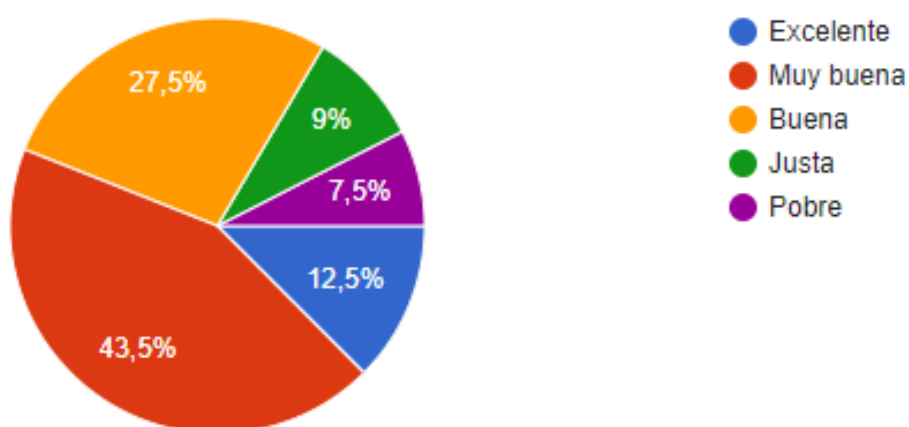
Nota. Elaboración propia

Con esta pregunta se verificó que en el sector de Cutuglagua existe una gran cantidad de proveedores de Internet, no menos de diez, pero el mayor competidor es Netlife con el 37,5% del mercado.

2. En general, ¿cómo califica su experiencia con su proveedor de servicios de Internet?

Figura 7

Representación gráfica de los resultados de la pregunta 2 de la encuesta



Nota. Elaboración propia

Tabla 3

Resultados de la pregunta 2 de la encuesta

Descripción	Habitantes	Porcentaje
Excelente	50	12,50%
Muy buena	174	43,50%
Buena	110	27,50%
Justa	36	9,00%
Pobre	30	7,50%
TOTAL	400	100,00%

Nota. Elaboración propia

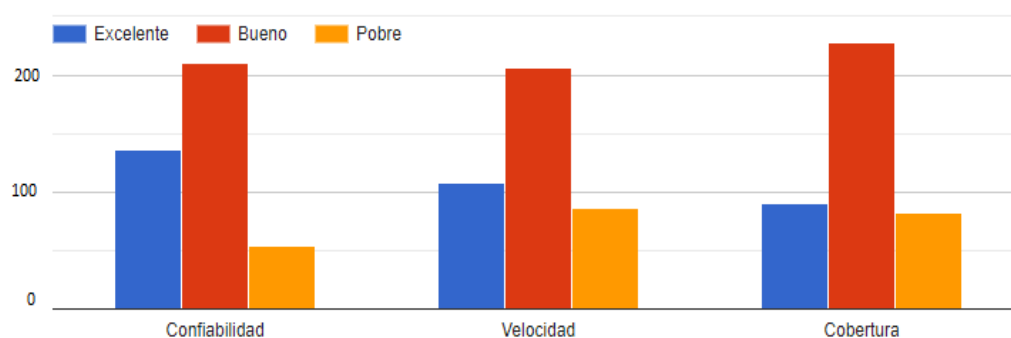
El 12,5% de los encuestados considera que su servicio de Internet es excelente, el 43,5% muy bueno, el 27,5% lo considera bueno y el 16,5% restante lo considera justo y pobre.

3. Valore las siguientes particularidades de su conexión a Internet.

- Confiabilidad
- Velocidad
- Cobertura

Figura 8

Representación gráfica de los resultados de la pregunta 3 de la encuesta



Nota. Elaboración propia

Tabla 4

Resultados de la pregunta 3 de la encuesta

Descripción		Habitantes	Porcentaje	Total
Confiabilidad	Excelente	136	34,00%	400
	Bueno	210	52,50%	
	Pobre	54	13,50%	
Velocidad	Excelente	108	27,00%	400
	Bueno	206	51,50%	
	Pobre	86	21,50%	
Cobertura	Excelente	90	22,50%	400
	Bueno	228	57,00%	
	Pobre	82	20,50%	

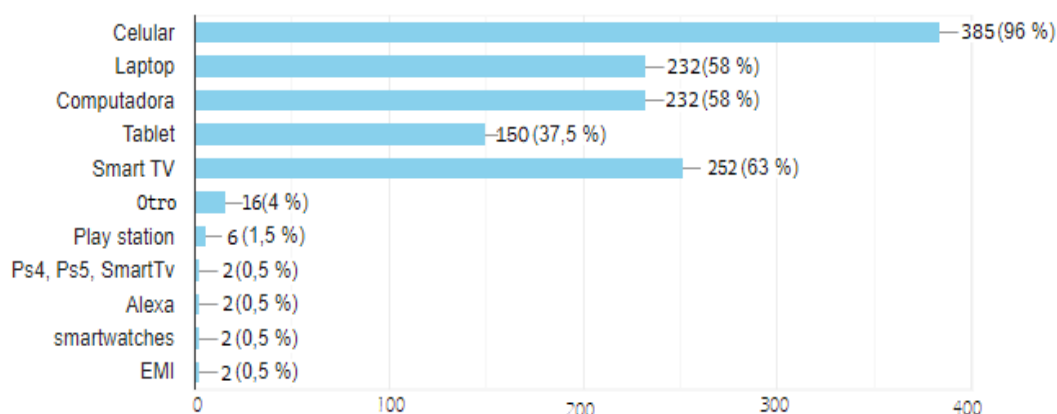
Nota. Elaboración propia

En cuanto a confiabilidad, velocidad y cobertura independientemente del proveedor de servicios la mayor parte de los usuarios califican a estos aspectos como buenos.

4. ¿Con qué dispositivos se conecta usualmente al wifi? Respuesta múltiple.

Figura 9

Representación gráfica de los resultados de la pregunta 4 de la encuesta



Nota. Elaboración propia

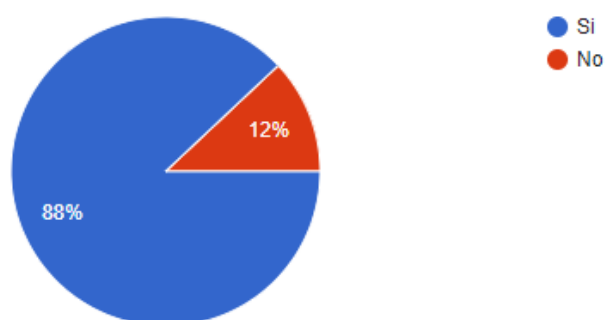
Tabla 5*Resultados de la pregunta 4 de la encuesta*

Descripción	Habitantes	Porcentaje
Celular	384	96,00%
Laptop	232	58,00%
Computadora	232	58,00%
Tablet	150	37,50%
Smart TV	252	63%
Otros (Ps4, Ps5, Alexa, etc.)	30	7,50%

Nota. Elaboración propia

La mayor parte de los usuarios se conecta al WiFi a través de celulares, laptops, tablets, televisores inteligentes, etc., por lo que se puede deducir que cuentan con todos estos dispositivos en casa. Algunos usuarios incluso utilizan el servicio de Internet para asistentes virtuales como Alexa y para consolas de juegos, de esta manera se podría considerar a todas esas personas como consumidores potenciales.

5. ¿Ha experimentado usted que el Internet se vuelve lento o desaparece la conexión de su dispositivo si es que se aleja de algún área específica?

Figura 10*Representación gráfica de los resultados de la pregunta 5 de la encuesta**Nota.* Elaboración propia**Tabla 6***Resultados de la pregunta 5 de la encuesta*

Descripción	Habitantes	Porcentaje
Si	352	88,00%
No	48	12,00%
TOTAL	400	100,00%

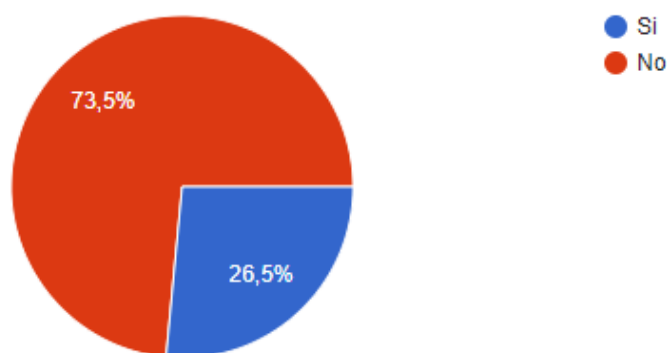
Nota. Elaboración propia

El 88% de los encuestados manifiesta que presenta problemas de conexión en áreas específicas del sector de Cutuglagua. Quizá por la presencia de zonas muertas o por la falta de cobertura.

6. ¿Cuándo usted se conecta al wifi, desde cualquier sector de Cutuglagua, su conexión, y el tiempo que dura la misma, es totalmente satisfactoria?

Figura 11

Representación gráfica de los resultados de la pregunta 6 de la encuesta



Nota. Elaboración propia

Tabla 7

Resultados de la pregunta 6 de la encuesta

Descripción	Habitantes	Porcentaje
Si	106	26,50%
No	294	73,50%
TOTAL	400	100,00%

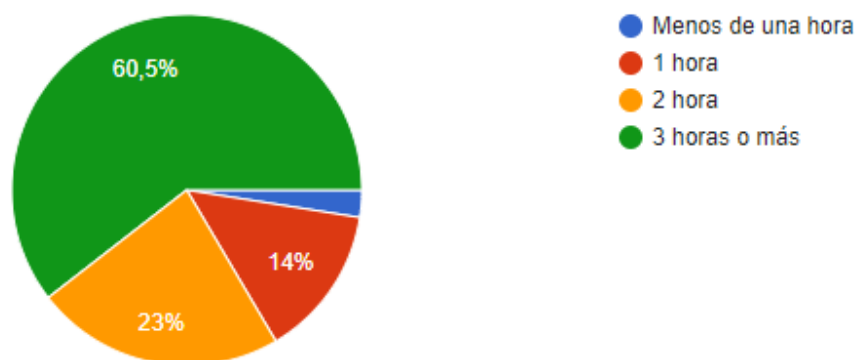
Nota. Elaboración propia

El 73,5% de los usuarios en el sector de Cutuglagua manifiesta que su conexión y duración de la misma no es satisfactoria. Por otro lado, el 26,5% de la muestra se encuentra satisfecho.

7. ¿Cuál es su tiempo promedio de uso del Wifi cada vez que se conecta?

Figura 12

Representación gráfica de los resultados de la pregunta 7 de la encuesta



Nota. Elaboración propia

Tabla 8

Resultados de la pregunta 7 de la encuesta

Descripción	Habitantes	Porcentaje
Menos de una hora	10	2,50%
1 hora	56	14,00%
2 horas	92	23,00%
3 horas o más	242	60,50%
TOTAL	400	2,50%

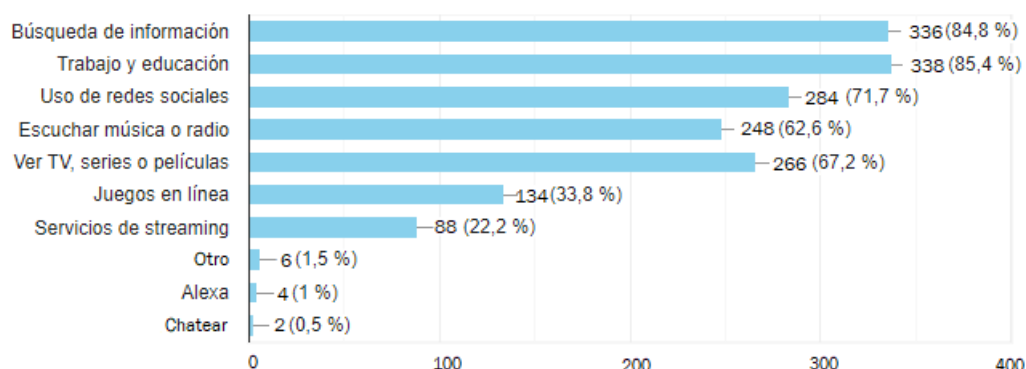
Nota. Elaboración propia

La mayor parte de los encuestados (60,5%) pasa en promedio tres o más horas conectados a una red WiFi. Por otra parte, un porcentaje de 2,50% se conectan menos de una hora. Al revisar los resultados de esta pregunta se puede deducir que todos los encuestados al menos una vez durante su vida han hecho uso de una red WiFi y que existe un alto porcentaje de usuarios con servicio de Internet.

8. ¿Para qué actividades utiliza Internet? Respuesta múltiple.

Figura 13

Representación gráfica de los resultados de la pregunta 8 de la encuesta



Nota. Elaboración propia

Tabla 9

Resultados de la pregunta 8 de la encuesta

Descripción	Habitantes	Porcentaje
Búsqueda de información	336	84,80%
Trabajo y educación	338	85,40%
Uso de redes sociales	284	71,70%
Escuchar música o radio	248	62,60%
Ver TV, series o películas	266	67,20%
Juegos en línea	134	33,80%
Servicios de streaming	88	22,20%
Otros	12	3,00%

Nota. Elaboración propia

Con esta pregunta se verificó que en la parroquia de Cutuglagua el Internet se utiliza para la realización de varias actividades cotidianas desde el trabajo, la educación o incluso actividades de ocio. Es decir, el Internet se encuentra integrado a los quehaceres de la vida diaria y se ha vuelto una necesidad el estar conectados en todo momento desde cualquier lugar.

Luego de la tabulación de los resultados de la encuesta y su interpretación, se concluye que:

- Existen múltiples proveedores de servicio de Internet en el sector de Cutuglagua, pero Netlife tiene la mayor parte del mercado.
- Cerca de la mitad de los usuarios se siente a gusto con su proveedor de servicios de Internet.

- Características como velocidad, confiabilidad y cobertura de una conexión a Internet en la parroquia de Cutuglagua son valoradas como buenas, es decir todavía existen aspectos a fortalecer para brindar una mejor experiencia al usuario.
- La población cuenta con diferentes dispositivos que se vinculan al servicio de Internet y se utilizan para realizar actividades cotidianas, de entretenimiento, en el trabajo y la educación.
- Una gran cantidad de usuarios ha experimentado alguna vez que su conexión a Internet se vuelve lenta o desaparece en áreas específicas del sector de Cutuglagua y su tiempo de duración no es totalmente satisfactorio.
- Más de la mitad de usuarios se conecta al menos tres horas a una red WiFi, es decir existe gran cantidad de clientes potenciales para un servicio de Internet.

CAPÍTULO IV: LEVANTAMIENTO DE LA ZONA DE DISPERSIÓN

4.1.Descripción general del sector de Cutuglagua

El área de estudio es la parroquia de Cutuglagua del cantón Mejía con una extensión de 32.26 Km² la cual comprende 46 barrios: Aída Palacios, Barrio Central, Ciudad del Sol, Ciudad Serrana, 25 de Noviembre, El Belén, El Manzano, Aymesa, Tambo I, Tambo II, Tambo III, INIAP, La Florencia, La Isla, La Joya, La Joya II sector No.1, La Joya II sector No.2, San Francisco I, San Francisco II, San Francisco III, El Rosario I, El Rosario II, El Rosario III, La Merced, San José I, San José II, San José III, Los Pinos, La Unión, Lotización Lourdes, Mariana de Jesús, Plan Génova, San Alfonso, Sabanachi, Santo Domingo I, Santo Domingo II, Santo Domingo III, San Cristóbal, San Miguel, Santa Cristina, Santa María, Santa Rosa Alta, Santa Isabel, Santiago Roldós, Urbanización San Cayetano y Obreros INIAP.

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) y los datos proporcionados por la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo la parroquia tiene una población de 21750 habitantes. (GAD Parroquial Cutuglagua, 2023)

Cutuglagua presenta un clima templado húmedo y se encuentra ubicada entre los 2800 y 4200 m.s.n.m. Los barrios más altos se encuentran en la loma de Santa Rosa a 3147 m.s.n.m y los más bajos tras la Estación Santa Catalina. Ostenta relieves montañosos, pendientes leves a lo largo de la Panamericana y pendientes fuertes en las laderas del cerro Atacazo. (GAD Parroquial de Cutuglagua, 2015)

En la Figura 14 se muestra el relieve y el paisaje del sector de Cutuglagua. En la Figura 15, se presenta la delimitación de la zona que constituye el objeto de estudio. El área engloba todos los clientes de los proveedores actuales de servicios de Internet en la parroquia de Cutuglagua, así como también los nuevos usuarios que actualmente no son atendidos, dentro de los usuarios se tiene unidades educativas, centros de salud, bibliotecas, Unidades de Policía Comunitaria (UPC), hoteles, etc.

Figura 14

Vista virtual del relieve y paisaje de Cutuglagua



Nota. Tomado de (SIGMA Consultores, 2019)

Figura 15

Cobertura del suelo de la Parroquia de Cutuglagua



Nota. Tomado de (SIGMA Consultores, 2019)

La parroquia ha tenido un crecimiento disperso llegando a una alta necesidad de vivienda con notables exigencias de equipamiento urbano, de esta manera para el desarrollo del presente trabajo se considera como posibles futuros usuarios principalmente a los residentes de zonas urbanas. En la Tabla 10 se muestra las hectáreas de área urbana y áreas verdes que conforman el sector de Cutuglagua.

Tabla 10*Áreas verdes y urbanas en la parroquia de Cutuglagua*

Uso y ocupación del suelo	
Área urbana (ha)	761,08
Áreas verdes (ha)	25,78
Población	21750 habitantes
Áreas/habitante	15,39m2

Nota. Tomado de (Equipo Consultor PDyOT, 2019)

En el Anexo B se presenta como información adicional la distribución geográfica y datos característicos de la parroquia de Cutuglagua.

A pesar de que Cutuglagua es una parroquia pequeña su densidad poblacional ha aumentado cada año de forma significativa debido a su cercanía con el Distrito Metropolitano de Quito y por ser el acceso sur de la capital. Su crecimiento ha generado necesidades de equipamiento urbano e infraestructura de acceso a los servicios básicos, uno de ellos el acceso a Internet que hasta hace pocos años era sumamente limitado, pero al día de hoy los distintos proveedores de este servicio ofertan variedad de planes que han incrementado el número de beneficiarios.

Además, tras la época de pandemia de Covid-19 a nivel mundial tanto en áreas urbanas como rurales el uso del Internet creció significativamente debido al teletrabajo, la realización de trámites virtuales, clases virtuales, entre otras actividades.

Con el diseño de la red 50G-PON se busca mejorar principalmente el servicio de Internet en la población de Cutuglagua, ofreciendo hasta 50Gbps a través de fibra óptica y así cubrir la necesidad de mayores anchos de banda de alta velocidad que puedan surgir en un futuro para una multitud de servicios.

CAPÍTULO V: DISEÑO DE LA PROPUESTA

5.1. Consideraciones para 50G-PON

50G-PON se aplica a escenarios de acceso de *broad band* (banda ancha BW) en el hogar, proporcionando principalmente acceso a servicios como voz, video e Internet para clientes domésticos. Para cumplir con los crecientes requisitos de BW de las redes fijas, especialmente 4K/8K, AR y Cloud VR, los requisitos típicos de ancho de banda son de 1 a 5 Gbps por hogar, y la red de acceso (AN) requiere un mayor BW con menor latencia y la tecnología PON debe seguir evolucionando. Sabiendo que el enlace descendente (DL *downlink*) en 50G-PON comienza con un transmisor u OLT que es compartido por todos los usuarios y termina en el receptor u ONU que es configurado para cada usuario, el costo total del sistema se minimiza manteniendo bajo el costo de los componentes ópticos de la ONU y colocando el mayor costo y complejidad en el lado de la OLT (Bonk et al, 2022).

5.1.1. Características

ITU-T formula a 50G-PON como el estándar PON de próxima generación sucesor de 10G-PON. Admite *downlink* (DL) y *uplink* (UL) de 50 Gbps en una sola longitud de onda (λ) y proporciona un BW cinco veces más rápido que 10G-PON. Emplea la técnica TDM PON y admite la coexistencia con 10G-PON implementada en la actual infraestructura de red de distribución óptica (ODN). 50G-PON mejora la baja latencia, los cortes de energía, el ahorro de energía y la confiabilidad para cumplir con la evolución continua de la red (ZTE, 2022).

Los requisitos para 50G-PON se especifican en términos de capacidad de transmisión, coexistencia, soporte de servicio, protección y seguridad.

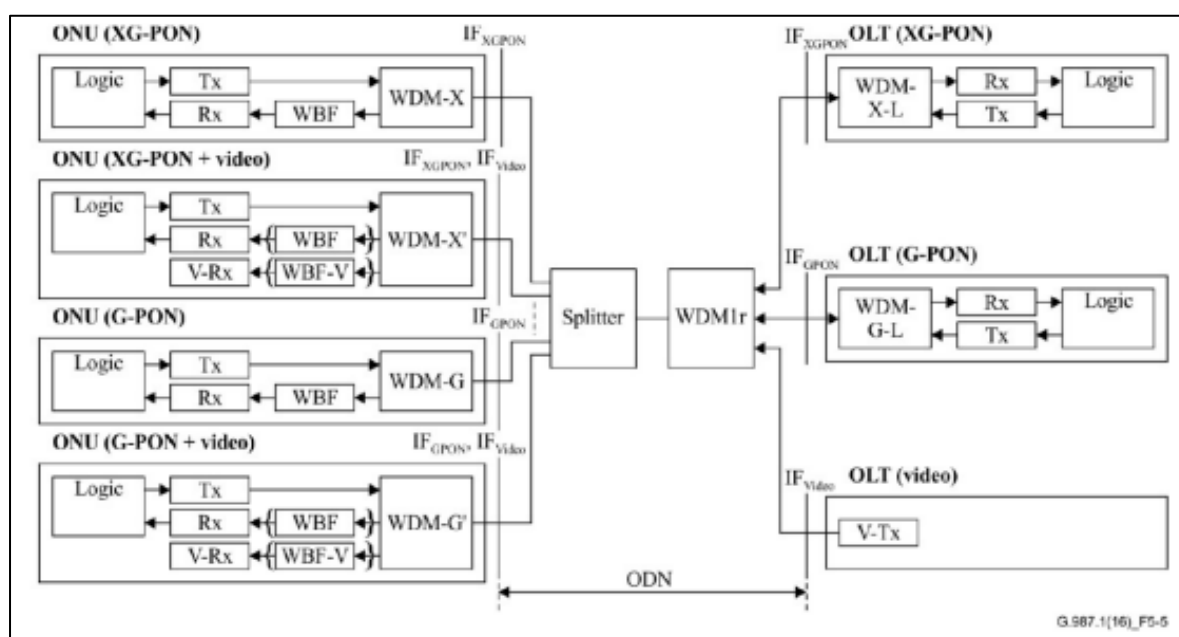
Capacidad de transmisión. Los requisitos para una red 50G-PON basada en divisores ópticos son los siguientes:

- La tasa simétrica nominal para ambos enlaces DL y UL, es de 50Gbps para admitir una tasa de servicio de al menos 40 Gbps.
- La tasa nomina asimétrica en U es de 50 Gbps y en DL de 25 Gbps
- Distancia de cobertura de FO de 60 Km.
- Relación de divisor óptico de 1:256.

Requisitos de coexistencia. 50G-PON admite coexistencia con las tecnologías PON antecesoras dentro de la misma fibra óptica. Estudios realizados sobra la coexistencia de las tecnologías GPON y XG-PON indican que es viable a través de la concesión de diferentes λ para cada tecnología mediante el empleo de medios (filtro en transceptores ópticos) con el fin de filtrar λ no deseadas en cada caso. Así mismo, se puede realizar la combinación de señales ópticas transmisoras de ambos estándares, por medio de filtros Cex WDM llamados también WDM1r, o a su vez realizarlo con la ayuda de splitter de potencia, con el fin de permitir dicha coexistencia (Rábano y Fábrega, 2022).

Figura 16

Coexistencia GPON con XG-PON mediante WDM1r



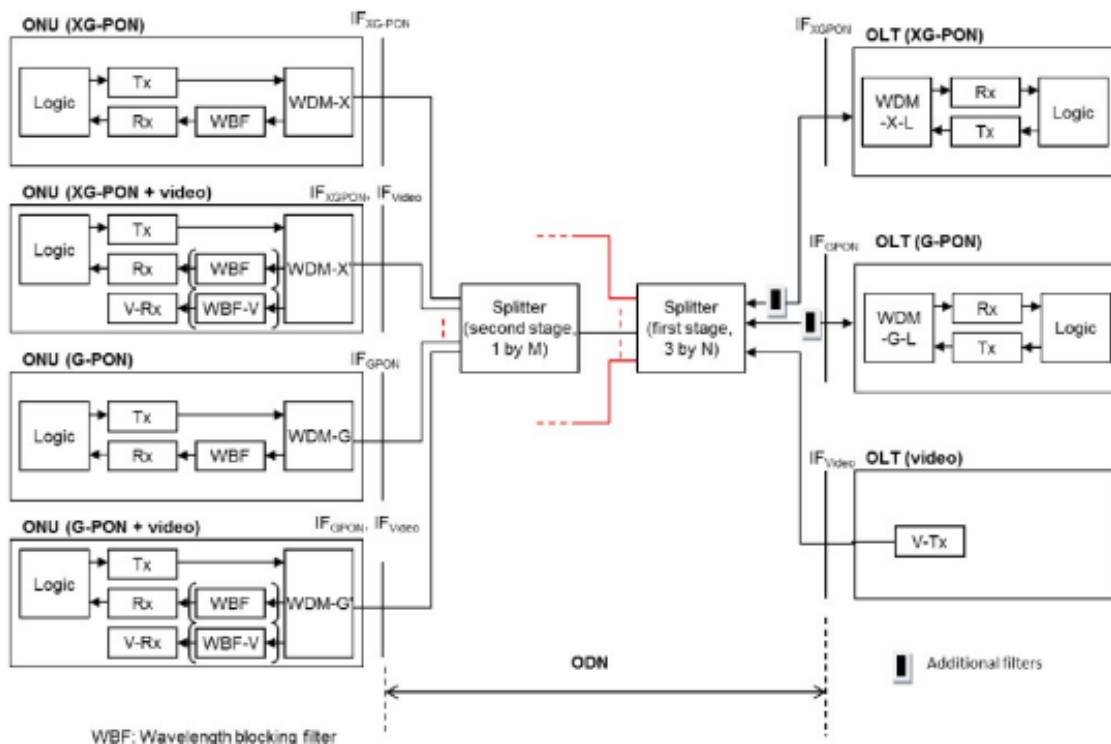
Nota. Tomado de (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2016)

La Figura 16 muestra como el filtro WDM1r multiplexa las longitudes de onda a los dos estándares, conformando una red híbrida junto al splitter de potencia ya existente.

El segundo caso, mostrado en la Figura 17, muestra el empleo de un splitter adicional, en donde la multiplexación de λ se introduce a los filtros adicionales situados entre el divisor y cada OLT.

Figura 17

Coexistencia GPON con XG-PON mediante splitter

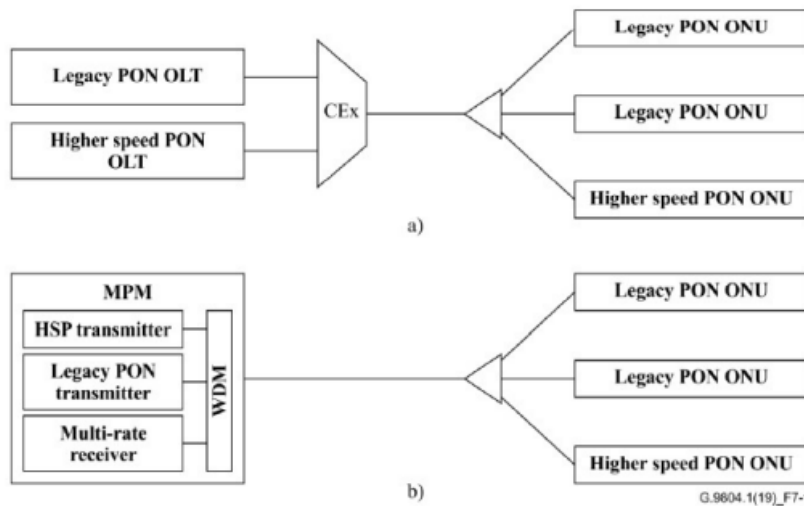


Nota. Tomado de (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2016)

Para ir hacia las redes 50G-PON, se pueden elegir entre dos escenarios, el primero se lo puede realizar mediante elementos de coexistencia CEx, mientras que el segundo es por medio del empleo de módulos multi-PON (MPM).

Figura 18

Coexistencia 50G-PON. a) CEx b) MPM



Nota. Tomado de (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2019)

A continuación, se presentan los casos de coexistencia entre las tres tecnologías antes mencionadas, empleando en todos los casos elementos CEx y/o MPM.

Coexistencia G-PON y 50G-PON. debido a despliegue actual de las redes FTTx, para el proveedor, este escenario le resultaría el más interesante con el fin de evolucionar la red de golpe, realizando cambios de infraestructura en una sola ocasión sin tener que realizar una evolución previa a XG(S)-PON. La ITU-T G.9804.1 no ve con buenos ojos este escenario, debido a que 50G-PON se encuentra prevista para que sea explotada no antes del año 2025, dando paso a que la mayoría de operadores se vean obligados a migrar a XG(S)-PON para lograr mejorar sus servicios de banda ancha a corto plazo. Se considera que el despliegue de 50G-PON se dará en la banda UW1 para *uplink* ya que al abandonar GPON permitirá reutilizar parte del espectro que deja el canal UL (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2021). Por otro lado, tomando en cuenta que XG(S)-PON no se incluye en este escenario, se puede utilizar la banda UW2 para el UL, a fin de que la banda GPON se mantenga intacta.

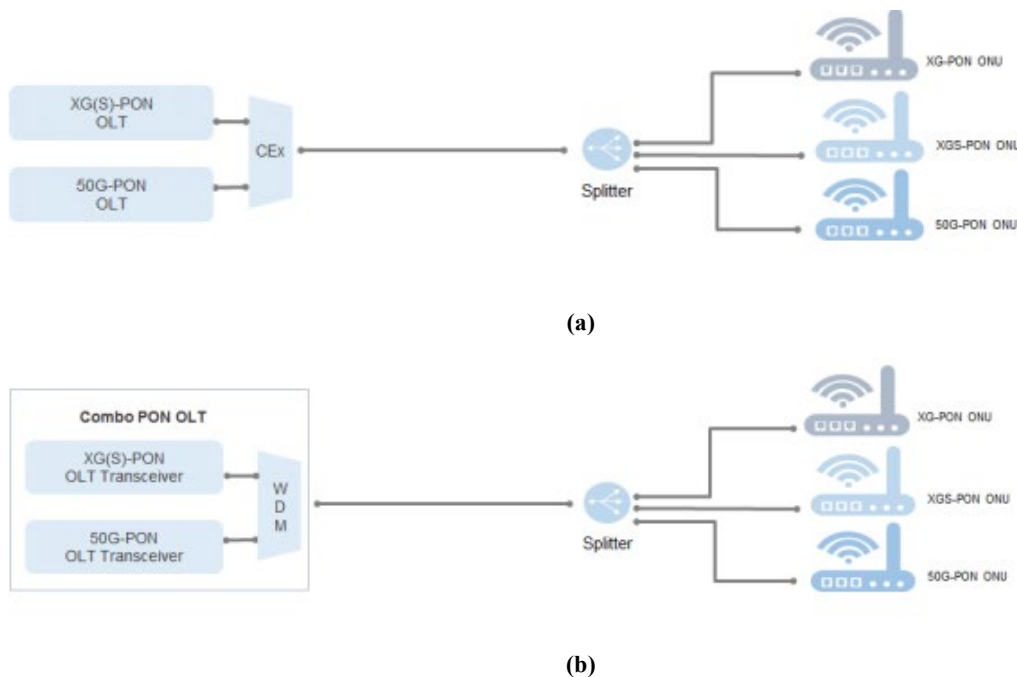
Coexistencia XG(S)-PON y 50G-PON. Es un caso minoritario debido a que actualmente los operadores tienen desplegadas redes GPON, sin embargo, se plantean dos posibles escenarios, como se había mencionado anteriormente.

El primero es utilizar elementos de coexistencia, que puede ser un WDM1r reutilizado de la coexistencia de G-PON y XG-PON, solo si la banda de λ liberadas por GPON es la empleada en 50G-PON. Para este escenario, se mantiene la red igual a excepción de las OLT y ONU (Rábano y Fábrega, 2022).

El segundo escenario es el basado en módulos multi-PON, haciendo que el formato de la ODN no se modifique, realizando los cambios en el extremo de la OLT, lo que implica el empleo de elementos modulares, siendo necesario reemplazar la OLT XG-PON O XGS-PON por un bastidor que permita el nuevo módulo OLT XG(S)-PON Y 50G-PON.

Figura 19

Coexistencia XG(S)-PON Y 50G-PON. a) CEx b) multi-PON



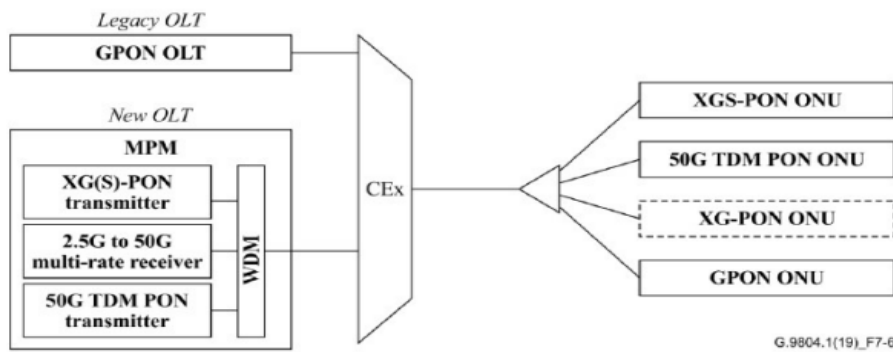
Nota. Tomado de (ZTE, 2022)

Coexistencia GPON, XG(S)-PON y 50G-PON. Es el escenario más complejo, tratándose de una ruta de migración asequible desde GPON hacia estándares superiores, dado

que el proveedor al ya haber realizado la coexistencia entre GPON y XG-PON, le resultaría más factible detener la migración para realizar un salto de tecnología mayor sobre la red existente. La arquitectura que mejor se adapta es una opción híbrida mediante la implementación de WDM para GPON, mientras que, XG(S)-PON y 50G-PON lo haría mediante el uso compartido de longitud de onda en *Upstream* con técnicas TDM.

Figura 20

Coexistencia híbrida



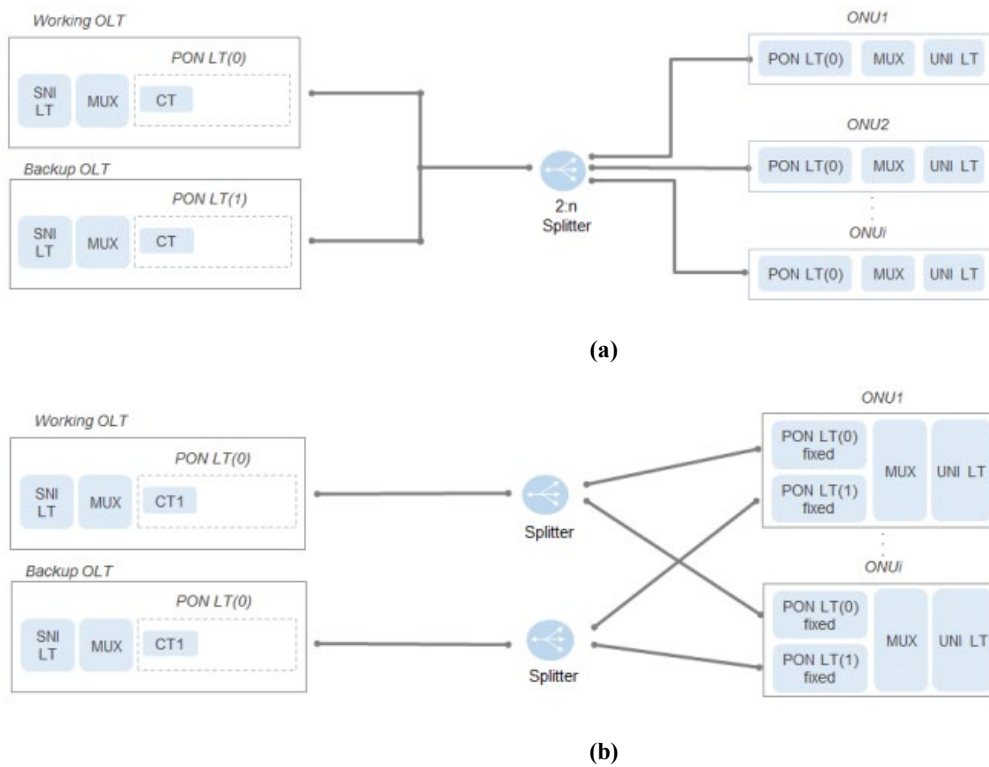
Nota. Tomado de (Fiber Mall, 2021)

Requisitos de soporte de servicio. 50G-PON llegaría para cumplir a cabalidad los servicios requeridos por todos los usuarios, logrando un rendimiento de retardo y fluctuación óptimos. Además, permite ofrecer servicios como el uso de POTS, emulación T1/E1 y recibir paquetes Ethernet de hasta 9000 bytes. Para *5G backhauling* móvil, debe soportar bajo retardo de transmisión.

Requisitos de protección. Resulta ser un aspecto relevante de la red 50G-PON, ofrecer una óptima protección de las aplicaciones empresariales o domésticas de alto valor, en especial cuando se trata de los diferentes escenarios de coexistencia. Esta red será la encargada de brindar protección *end-to-end* a fin de evitar la caída del servicio a decenas de miles de usuarios cuando las fibras ópticas o los dispositivos de la red se encuentren defectuosos, mediante protecciones del Tipo B o Tipo C. En el Tipo B la OLT y las fibras del transmisor se encontrarán protegidas. Mientras que en la protección Tipo C, la ONU cuenta con dos transceptores fijos, y cualquier falla se soluciona al conmutar la OLT en espera (ZTE, 2022).

Figura 21

Protección a) Tipo B b) Tipo C



Nota. Tomado de (ZTE, 2022)

Requisitos de seguridad. Son necesarios estos requisitos a fin de evitar la suplantación de identidad, y esto se logra mediante mecanismos como:

- Autenticación de la serie y/o ID de la ONU
- Autenticación del cliente (CPE)

Para reforzar el primer apartado y a fin de proteger la información de la ONU, los datos deben cifrarse bajo un algoritmo potente como por ejemplo AES (Estándar de cifrado avanzado).

Uno de los subtipos de HSP (*Higher Speed PON*), 50G TWDM PON también presenta ciertas características, que se basan en la capacidad de emplear múltiples λ multiplexadas, entre las que se tienen:

- Uso de *Channel bonding*, con el que se pretenden alcanzar velocidades mayores a las que ofrece el empleo de un solo canal en una λ específica.

- Relación de división de al menos 1:256
- Inclusión de servicio *pay-as-you-grow*, el mismo que permitirá aumentar transmisión de datos acorde a la demanda de un cliente.
- Empleo estricto de ONUs sintonizables aptas para operar en cualquiera de los canales que trabaje la OLT.

Así mismo, 50G TDM PON presenta sus propias características de operación, las mismas que son:

Codificación de línea. ITU-T inicialmente consideró varios códigos de línea como PAM4, duobinario y NRZ, siendo este último el empleado finalmente tanto para UL como DL, debido a su sencillez y sensibilidad para operar con altas pérdidas ópticas (OPL).

Tecnología de corrección FEC. A medida que se aumenta la tasa de transmisión, la sensibilidad disminuirá en el receptor, por lo tanto, es necesario un modelo de corrección de errores FEC más potente al empleado en XG(S)-PON.

Bitrate. La ITU reconoce tres combinaciones de velocidades de transmisión para 50G-PON

- DL 50 Gbps y U 12,5 Gbps
- DL 50 Gbps y U 25 Gbps
- DL 50 Gbps y U 50 Gbps, en estudio.

Niveles de potencia óptica. Los valores de potencia y sensibilidad se tomarán en cuenta para la segunda opción de Bitrate, debido a que representa el escenario más apto de cara a la adopción del nuevo estándar de parte de las operadoras. Para la coexistencia en módulos multi-PON se tiene:

Tabla 11*Potencia óptica en 50G-PON, MPM*

ELEMENTO	PARÁMETRO	VALOR NOMINAL (dBm)	
	CLASE	N1	C+
OLT	Potencia Media (MIN)	5.5	8.5
	Potencia Media (MAX)	1.1	14
	Sensibilidad	24.5	27.5
ONT	Potencia Media (MIN)	5	5
	Potencia Media (MAX)	9	9
	Sensibilidad	24	24

Nota. Tomado de (Rábano & Fábrega, 2022)

Plan de longitudes de onda. Con el fin de facilitar la coexistencia entre estándar y sus antecesores, la ITU-T propone una solución al espectro óptico, ofreciendo para canal ascendente DS una banda entre 1310 y 1314 nm, mientras que para US (canal descendente), presenta dos opciones (Macas, 2022):

- Opción 1. Banda ancha (1290nm–1310nm); banda estrecha (1298nm-1302nm), admite la coexistencia de XG-PN con WDM.
- Opción 2. Admite coexistencia con GPON con enlace US (1260nm-1280nm) de banda ancha.

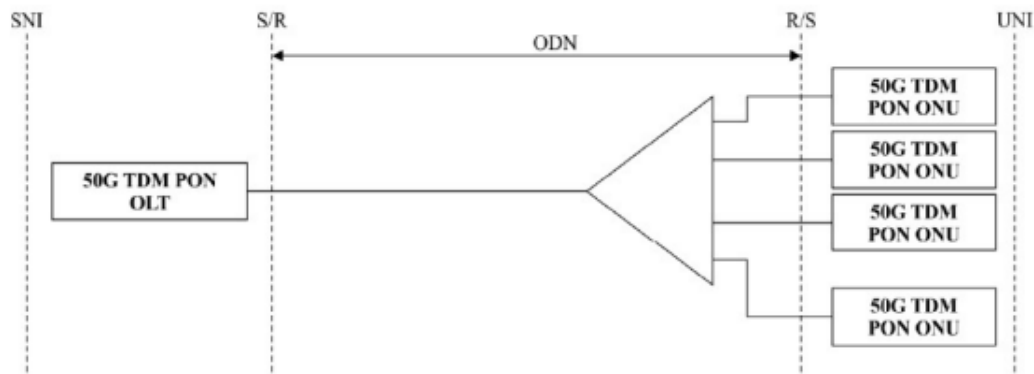
5.1.2. Arquitectura de la red

Como se mencionó en el capítulo anterior, los sistemas HSP presentan cuatro subtipos, los mismos que se muestran a continuación con su arquitectura y respectivas particularidades:

50G TDM. Realiza la transmisión bidireccional mediante una única fibra, empleando TDM para DL y TDMA para UL, con longitud de onda independiente para cada sentido.

Figura 22

Arquitectura 50G TDM PON

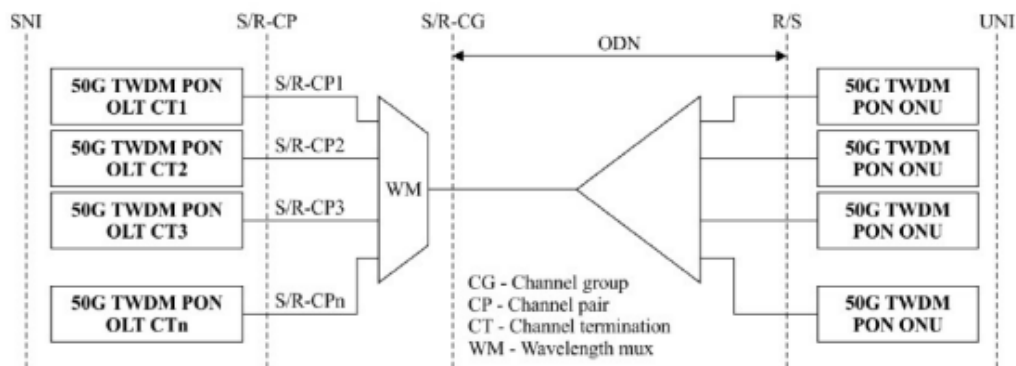


Nota. Tomado de (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2019)

50G TWDM PON. Aquí las ONUs cuentan con acceso combinado de TDM y WDM.

Figura 23

Arquitectura 50G TWDM PON



Nota. Tomado de (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2019)

La Figura 23 indica que la OLT se compone de diferentes terminaciones de canal (CT) las mismas que se conectan por medio de un multiplexor de λ (WM). El espacio S/R-CG es la referencia en donde la OLT envía/recibe pares de λ correspondientes al DS y US denominados grupo de canal (CG).

PtP WDM PON. Aunque aún se encuentra en fase de estudio, permitirá soportar servicios dedicados capaces de soportar comunicación de alta capacidad.

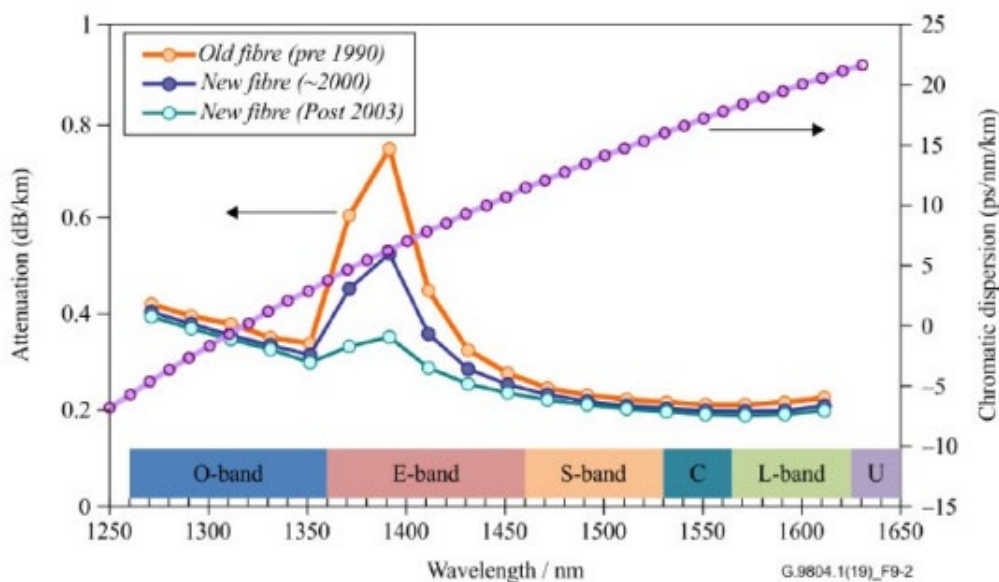
5.1.3. Factores relevantes en 50G-PON

Otros factores que deben tomarse en cuenta en el estudio de esta estándar son:

Fenómenos de atenuación, dispersión y Raman. El medio de transmisión principal en las redes PON son las fibras ópticas monomodo, las mismas que presentan una dependencia directa con la longitud de onda. A medida que la señal se propaga a lo largo de este medio, aparece un primer factor que es la atenuación, es así que en la Figura 24 se observa que la banda E concentra valores negativos de atenuación por longitud frente a los valores positivos que se expresan en las bandas C y L.

Figura 24

Atenuación y dispersión cromática de fibras monomodo



Nota. Tomado de (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2019)

A la par va consigo el fenómeno de la dispersión cromática, que también depende de la longitud de onda y como también lo muestra la figura anterior, es cero para 1310nm, pero a medida que se aumente el λ los valores empeoran.

Dado que para este estándar las longitudes propuestas se encuentran dentro de la banda O, no le afectará la dispersión cromática con lo que se evita el empleo de fibra compensadora de dispersión.

Al momento en que en la transmisión se produce una reducción del nivel de potencia óptica se está en presencia de algún tipo de atenuación en el trayecto, por ende, si la atenuación

es considerablemente alta, la calidad de la señal transmitida como el alcance del enlace se verán afectados.

Un parámetro importante a referirse es el OPP, el mismo que calcula las penalizaciones a lo largo del enrutamiento óptico, donde, en dicho cálculo se debe contemplar el fenómeno de no linealidad de Raman, el mismo que puede generar un efecto atenuador en ciertas λ o efectos de diafonía.

Este cálculo, además, se lo realiza en sentido ascendente, es decir desde la ONU. Sin embargo, la métrica TDEC se emplea para regular la penalización en el caso de la OLT, realizándolo por medio del diagrama de ojo, el mismo que mide, con el uso del osciloscopio, la apertura vertical del ojo en base al histograma (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2019)

Empleo de extensores de alcance. EL hito para los sistemas HSP es el de alcanzar distancias de hasta los 60 Km, es por esto, que se proyecta el empleo de extensores de alcance tipo *Mid-span range extender*. Sin embargo, este dispositivo al requerir energía mínima para su funcionamiento haría que la red deje de ser pasiva en su totalidad, pero, su inclusión no modificaría las terminales extremas, ONU y OLT.

Reducción de consumo. Las redes de telecomunicaciones actuales se enfrentan a un desafío constante, que es el ahorro de energía, cuyo fin es el de reducir gastos operativos (OPEX) y la contaminación debido a los gases de tipo invernadero. Es por esto que se ha trabajado en un sistema que permita la reducción de consumo aplicado a la OLT y a las ONT que no comparten energía entre ellas. Es así, que la propuesta en 50GT(W)DM-PON es el emplear modos de vigilancia en suspensión, en los puertos de la OLT, dado que, cuando la red se encuentra con menos tráfico, se podría re direccionar el mismo por uno o pocos puertos, en lugar de que se estén ocupando todos a la vez.

Supervisión PON y funciones OMA. Un despliegue de FTTH óptimo es aquel en donde se reducen los OPEX evitando ampliar el gasto capital (CAPEX) al realizar la inclusión de capacidades de prueba y diagnóstico sin que el ancho de banda se tenga que ver afectado. Para HSP se tomarán los mismos medios de pruebas empleados en GPON, con la diferencia que se enfocará en ampliar los niveles de seguridad. Adicional, se podrá gestionar las ONT remotamente con capacidades FCAPS. También se tiene previsto la inclusión de medios para supervisar el rendimiento hasta la capa Ethernet, de modo que permita a los operadores observar el tráfico y determinar caídas en la ODN de forma autónoma, que permitirán a los operadores realizar mantenimientos correctivos de manera adelantada (Rábano y Fábrega, 2022).

5.2. Diseño de la red 50G-PON

Actualmente la tercera generación de tecnología PON tiene dos rumbos: el primero es 25G/50G de longitud de onda única del estándar IEEE 802.3ca y el segundo corresponde a la solución 50G TDM PON del grupo ITU-T SG15 Q2 con el proyecto PON de mayor velocidad HSP (*Higher Speed PON*) también de longitud de onda única.

El presente trabajo llegará solamente hasta la etapa de simulación para la cual se exponen dos diseños de red, una red bajo el estándar IEEE 802.3ca y la otra red bajo HS-PON, con el objetivo de analizar los resultados y poder establecer una comparación entre ambas redes.

La red según el estándar 802.3ca se encuentra conformada por un transmisor óptico (*WDM transmitter*) de dos láseres, que proporcionan 25 Gbps cada uno para lograr un total de 50 Gbps según la demanda, mientras que la red HSP utiliza un solo transmisor óptico de 50 Gbps.

El estándar IEEE 802.3ca extiende la operación de redes ópticas a múltiples canales de 25 Gbps permitiendo tanto operación simétrica como asimétrica para velocidades de datos de

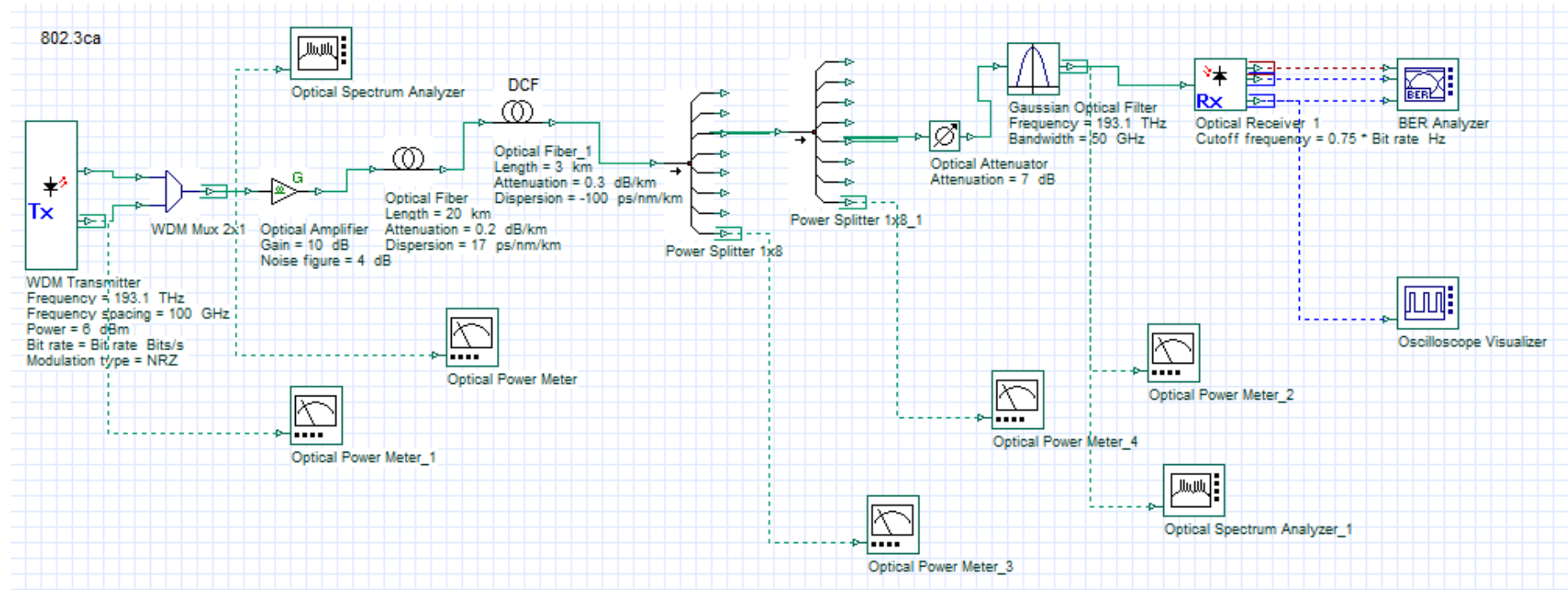
25/10 Gbps, 25/25 Gbps, 50/10 Gbps, 50/25 Gbps, 50/50 Gbps; manteniendo la compatibilidad con equipos EPON de 10 Gbps que se encuentren ya implementados. (IEEE STANDARDS ASSOCIATION, 2020)

A pesar de que el proyecto denominado HSP se prevé entre en funcionamiento a inicios del año 2025, se realiza una propuesta de red 50G-PON, con el fin de obtener una red que ofrezca velocidades de transmisión simétricas de 50 Gbps. Para ello se propone un diseño de red inicial de tipo 50 TWDM PON, para de esta manera analizar los parámetros de manera práctica. La ITU-T G.9804.3 (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2021) especifica que la red 50G-PON emplee la codificación de línea NRZ, con pérdidas de atenuación desde los 14 dB hasta los 35 dB dependiendo de la clase de ODN (Red Óptica de Distribución) que se emplee, además que permiten enlaces de hasta 40 km. Para la comunicación *downstream* utiliza el rango de λ de 1340 nm a 1344 nm, mientras que para la comunicación *upstream* considera para banda ancha entre 1260 nm a 1280 nm y de 1290 nm a 1310 nm, mientras que para la banda angosta de 1298 nm a 1302 nm.

A continuación, en las Figuras 25 y 26, se presentan los diseños elaborados para fines del trabajo en cuestión.

Figura 25

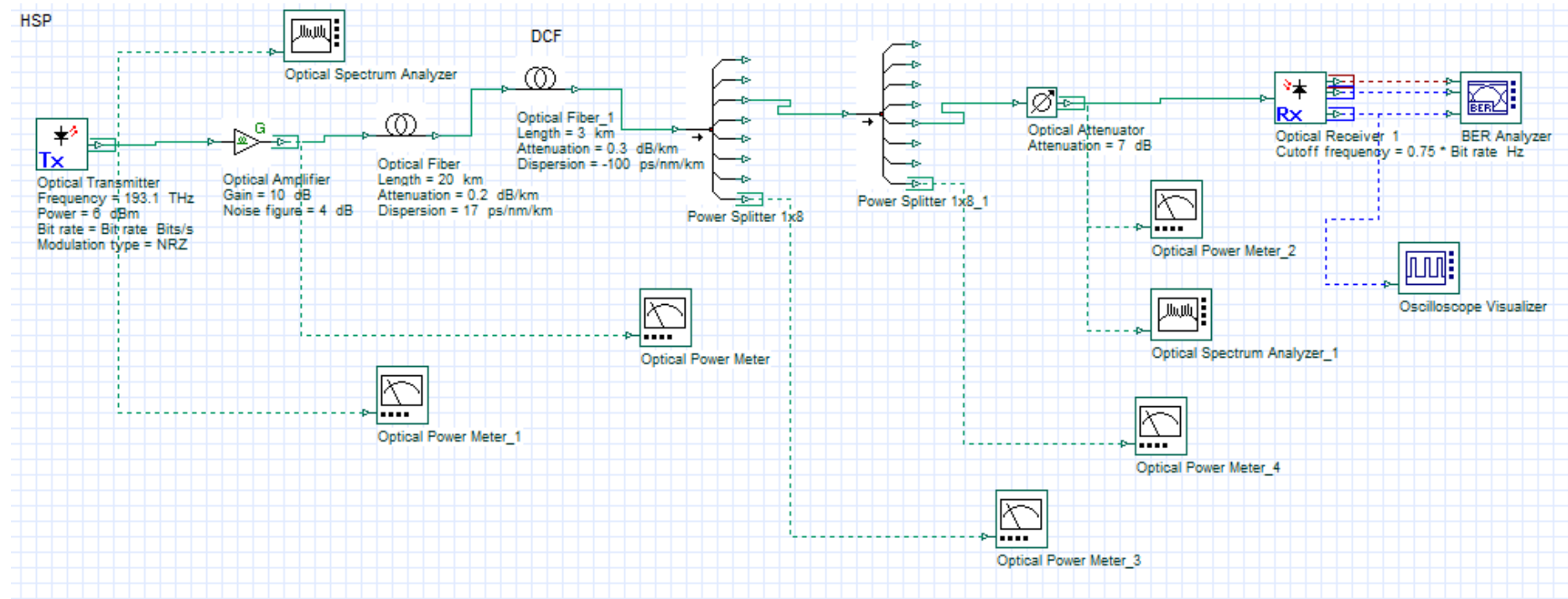
Diseño de red bajo el estándar 802.3ca



Nota. Elaboración propia

Figura 26

Diseño de red bajo el estándar HSP



Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO VI: EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA

Una vez realizados los diseños a evaluar de las redes bajo IEEE 802.3ca y HSP, en la presente sección se procede a especificar los elementos de cada bloque empleados para la elaboración de esta propuesta, la cual se realizó utilizando el Software Optisystem 7.

6.1. Software de simulación Optisystem

Es un software que se creó con el fin de satisfacer las necesidades dentro del campo de las comunicaciones, ofreciendo una herramienta de diseño de sistemas ópticos potente y sencilla de utilizar. Este software permite al usuario diseñar, probar y simular: redes ópticas, anillos SONET/SDH, CWDM, DWDM, Radio sobre Fibra (RoF), procesamiento de señales, diferentes formatos de modulación RZ, NRZ, entre otras utilidades que posee (Del Salto, 2022).

Optisystem ofrece gran variedad de versiones, la actualización V.20 impulsa las experiencias de simulación para el diseño de sistemas ópticos en IoT, 5G, LiDAR, sensores, QKD, FSO y otras aplicaciones con una variedad de mejoras, dentro de las cuales se encuentran las que se mencionan a continuación (Optiwave, 2023):

- Permita una función de número de muestras sin potencia de 2 para el generador de pulsos M-ario de coseno elevado. Esta característica está habilitada en la ventana emergente de parámetros globales.
- Permita que los usuarios creen marcos para los diferentes gráficos al usar la función de barrido. Esta característica permitiría aplicaciones de aprendizaje automático.
- Agregue nuevos controles al componente *OptiInstrument Communicate and Control* para permitir elegir el esquema de interpolación (lineal o cúbico) y cargar datos de potencia y fase, reales e imaginarios, o solo datos de potencia para señales.

- Permitir la ejecución de proyectos Optisystem que tengan componentes que utilicen archivos de entrada, sin necesidad de utilizar una ruta para los archivos de entrada si los archivos se encuentran en el mismo directorio del proyecto Optisystem.

Este software posee variedad de módulos, que se emplearon a lo largo de este trabajo, así también herramientas de visualización como analizadores de espectros eléctricos y ópticos, *power meter*, osciloscopios, diagramas de ojo, entre otros.

La desventaja que ofrece las recientes actualizaciones de Optisystem es que solo duran por un periodo de prueba de 30 días, por lo tanto, para fines prácticos del presente trabajo, se usó el programa de licencia gratuita en su versión 7.

6.2. Escenarios de simulación

Para evidenciar el funcionamiento de las redes 50G-PON, se procederá a evaluarlas para una longitud de onda de 1551 nm, con tramo de fibra de 20 km. Se estresará la señal de las redes realizando un barrido con distintos valores de atenuación, con el objetivo de determinar el BER para cada uno de esos valores y posterior a ellos realizar una gráfica que permita comparar los resultados obtenidos.

Para cada red se realizan 8 iteraciones, aumentando la atenuación en 5 desde un valor inicial de cero.

6.3. Parámetros a simular

Como se mencionó anteriormente, las redes diseñadas se componen de diferentes partes cada una con sus respectivos elementos, como se describe a continuación.

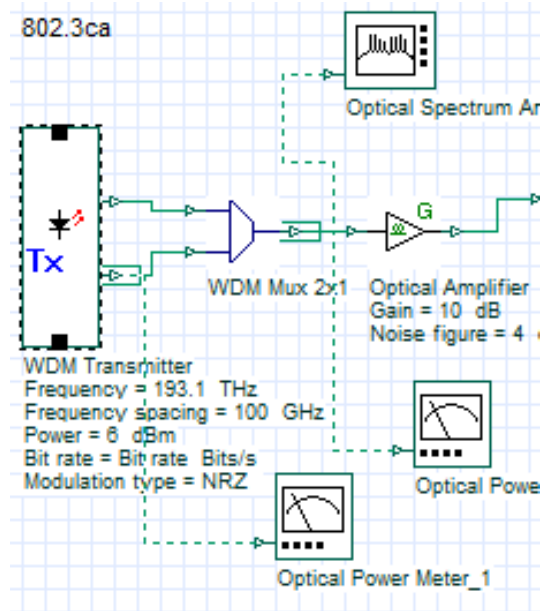
6.3.1. Área del Transmisor OLT del estándar 802.3ca

Se encuentra conformada por un transmisor óptico (*WDM transmitter*) de dos salidas (láseres) que proporcionan 25 Gbps cada uno para lograr los 50 Gbps de operación de la red, los láseres se encuentran configurados con 100 GHz de separación teniendo así la primera

salida a 193.1 THz y la segunda a 193.2 THz. Las señales proporcionadas por los láseres pasan a un multiplexor con un ancho de banda de 50 GHz (el doble de la banda base) con el fin de garantizar el paso de la señal que luego va a un amplificador óptico con una ganancia de 10 dB. En la Figura 27, se muestra la sección expuesta.

Figura 27

Elementos del área del transmisor del estándar 802.3ca



Nota. Elaboración propia

Para poder observar las diferentes señales, valores de potencia y BER que se están obteniendo se colocó de forma adicional osciloscopios, analizadores de espectros y *power meters*.

6.3.2. Área del Transmisor OLT del estándar HS-PON

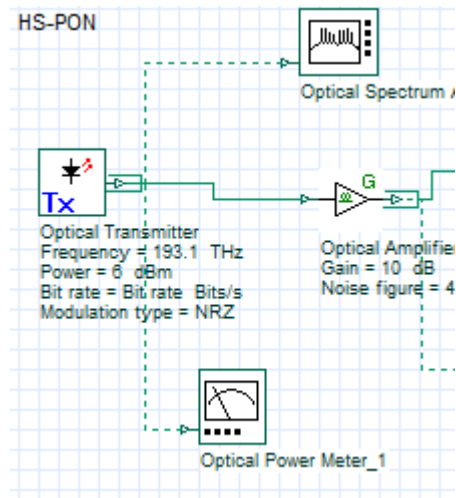
A diferencia del estándar 802.3ca aquí se emplea un transmisor con un solo láser con λ 1552 nm que proporciona los 50 Gbps los cuales pasan directo al amplificador óptico con ganancia de 10 dB tal y como se muestra en la Figura 28. Los elementos utilizados se describen a continuación:

Optical transmitter. Es aquel que convierte una señal eléctrica a una señal óptica, puede transmitir con diversas longitudes de onda y potencias de salida.

Optical amplifier. Aumenta la potencia de la señal óptica, se utilizó este amplificador para compensar las atenuaciones de las fibras.

Figura 28

Elementos del área del transmisor del estándar HS-PON



Nota. Elaboración propia

6.3.3. Área de Red

Esta área es común para ambos diseños, y consta de una fibra G652.D (fibra más utilizada a nivel nacional y mundial para la implementación de redes de acceso PON) a la salida del amplificador, esta tiene una distancia de 20 km, atenuación de 0.2 dB/km y dispersión cromática de 17 ps/nm*km (estándar). Dado que se trata de altas velocidades esta dispersión cromática afecta a la señal en su llegada al receptor, por lo que se vio la necesidad de introducir una fibra compensadora de dispersión DCF, ya que esta maneja dispersiones cromáticas negativas de hasta -1000 ps/nm*km (Castañeda, 2018).

Para el cálculo de esta DCF primero se obtiene la dispersión cromática total de la fibra normal, de la siguiente manera:

$$Disp_{CDt} = L_{FO} * DC_{FO} = 20 \text{ km} * 17 \frac{\text{ps}}{\text{nm} * \text{km}} = 340 \frac{\text{ps}}{\text{nm}}$$

$$Disp_{Comp} = -340 \frac{\text{ps}}{\text{nm}}$$

$$L_{CDF}: \frac{Disp_{Comp}}{DC_{DCF}} = \frac{-340 \text{ ps/nm}}{-110 \text{ ps/nm} * \text{km}} \approx 3 \text{ km}$$

Donde:

$Disp_{CDt}$: *Dispersión acumulada en el enlace*

L_{FO} : *Longitud de la fibra transmisora*

DC_{FO} : *Dispersión cromática de la fibra transmisora*

$Disp_{Comp}$: *Dispersión de compensación*

L_{CDF} : *Longitud de la DCF*

DC_{DCF} : *Dispersión cromática de la fibra compensadora*

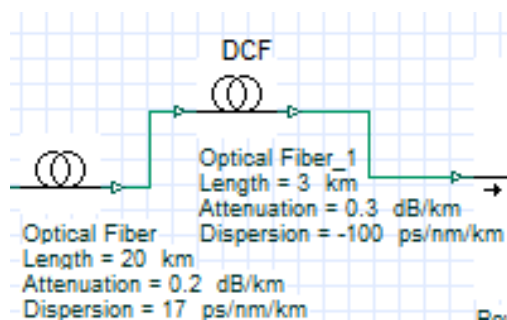
Realizando los cálculos suponiendo una dispersión cromática de -110 ps/nm*km en la DCF, que fue reducido a -100 ps/nm*km, se obtiene que la fibra compensadora debe tener una longitud de 3 km, con una atenuación de 0.3 dB/km.

En la Figura 29 se muestran los componentes de esta área que se describen a continuación:

Optical fiber. Este componente corresponde a una fibra óptica monomodo donde se puede modificar ciertos parámetros para adaptarlos a los requisitos de la simulación. La fibra compensadora DCF también es una fibra óptica monomodo configurada según los valores obtenidos en los cálculos anteriores.

Figura 29

Elementos del área de red



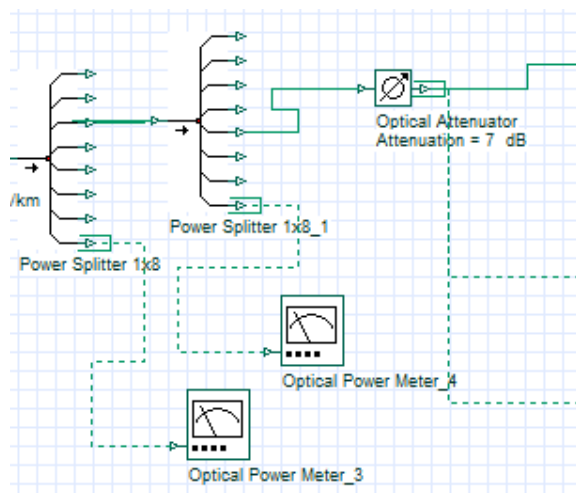
Nota. Elaboración propia

6.3.4. Área de ODN

Esta área, (Figura 30), de igual manera es común para ambos diseños, y consta de dos splitters 1:8 para hacer las veces de un splitter de 1:64, seguidos de un atenuador óptico con el fin de estresar la señal a partir de un valor inicial de 0 e ir aumentando en 1 la atenuación en cada iteración y con ello ver los diferentes resultados que se presenten.

Figura 30

Elementos del área del ODN



Nota. Elaboración propia

6.3.5. Área de la ONU

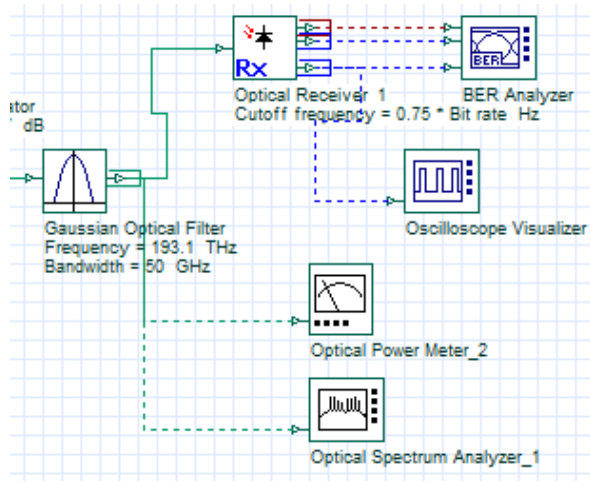
Representa la parte final de la red, donde se recibe la señal óptica, que para el caso del estándar 802.3ca se le aplica un filtro óptico con frecuencia de la OLT que se quiere recibir (ver Figura 31), lo que no sucede para el estándar HS-PON (ver Figura 32) que la transforma en señal eléctrica, mediante un bloque de recepción, el mismo que consta de un fotodiodo PIN o APD más un filtro pasa bajo con frecuencia de corte de $0.75 \cdot \text{Bit rate}$ para eliminar cualquier presencia de ruido, además también incluye un Regenerador 3R, que se empleará para realizar el análisis BER.

Para examinar las propiedades de la información después de la transmisión y finalmente llegar al receptor, Rivera (2021) requiere un elemento que demuestre el diagrama de ojo y sus propiedades inherentes, como:

- Max Q-Factor: Valor máximo para Q en la ventana de tiempo.
- Min BER: Valor mínimo de la tasa de error.
- Altura de los ojos.
- Umbral: Valor del umbral en el instante de decisión para el factor Q y BER máxima / mínima.

Figura 31

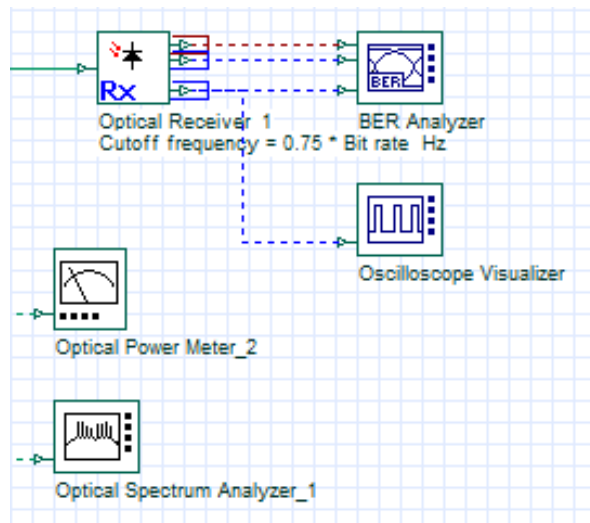
Elementos del área de la ONU estándar 802.3ca



Nota. Elaboración propia

Figura 32

Elementos del área del ONU estándar HS-PON



Nota. Elaboración propia

Para visualizar los diagramas de ojo, el espectro óptico, los valores de potencia de recepción durante el desarrollo de la simulación se utilizaron analizadores de espectros ópticos, analizadores de BER, osciloscopios, *power meters*, entre otros elementos que se fueron introduciendo en el diseño de red.

CAPÍTULO VII: RESULTADOS

Con los resultados obtenidos se procede a realizar las diferentes comparaciones acordes a la teoría, como expresa ITU (1996) el BER aceptable es de $10e-9$ y otro caso más estricto es que debe ser menor a $10e-13$, además debe tener un factor de calidad Q mínimo de 6.

Para el primer estándar en evaluación, IEEE 802.3ca, se puede notar que las señales de los láseres parten con potencia de 3.34 dBm y al pasar por el multiplexor salen con potencia de 6.26 dBm. Algo parecido sucede en el HS-PON, solo que aquí las señales no se suman en el multiplexor. En ambos casos deben pasar a través del amplificador óptico, la fibra transmisora y la fibra DCF, hasta llegar a los splitters los mismos que introducen 10 dB de pérdidas cada uno al sistema y a parte deben pasar por un atenuador, cuyo fin es el de insertar más pérdidas y así observar el comportamiento de los diseños.

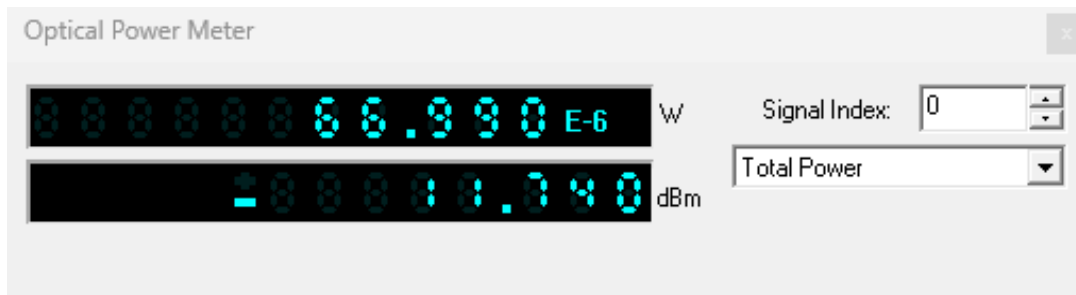
7.1. Resultados para el estándar 802.3ca

Para la obtención de datos se realizaron ocho iteraciones para cada red, en cada una introduciendo 1 dB de pérdida adicional al sistema. A continuación, se muestran los resultados de potencia y los diagramas de ojo obtenidos para tres iteraciones (iteración 1, iteración 5 e iteración 8) teniendo en cuenta que el proceso de obtención de resultados es el mismo para todas las demás y que a medida que se va introduciendo pérdidas al sistema la señal se va degradando y la potencia disminuyendo.

Así se tiene que para el caso del atenuador con 0 dB de pérdida se obtuvo una potencia de recepción de -11.7 dBm (Figura 33), el diagrama de ojo se muestra en la Figura 34 en la cual se evidencia una buena calidad de señal con un BER de $3.10e-15$ y un factor Q de 7.79. Por otro lado, en la Figura 35 se muestra el espectro óptico donde se observa que está pasando el canal correspondiente de 193.1 THz.

Figura 33

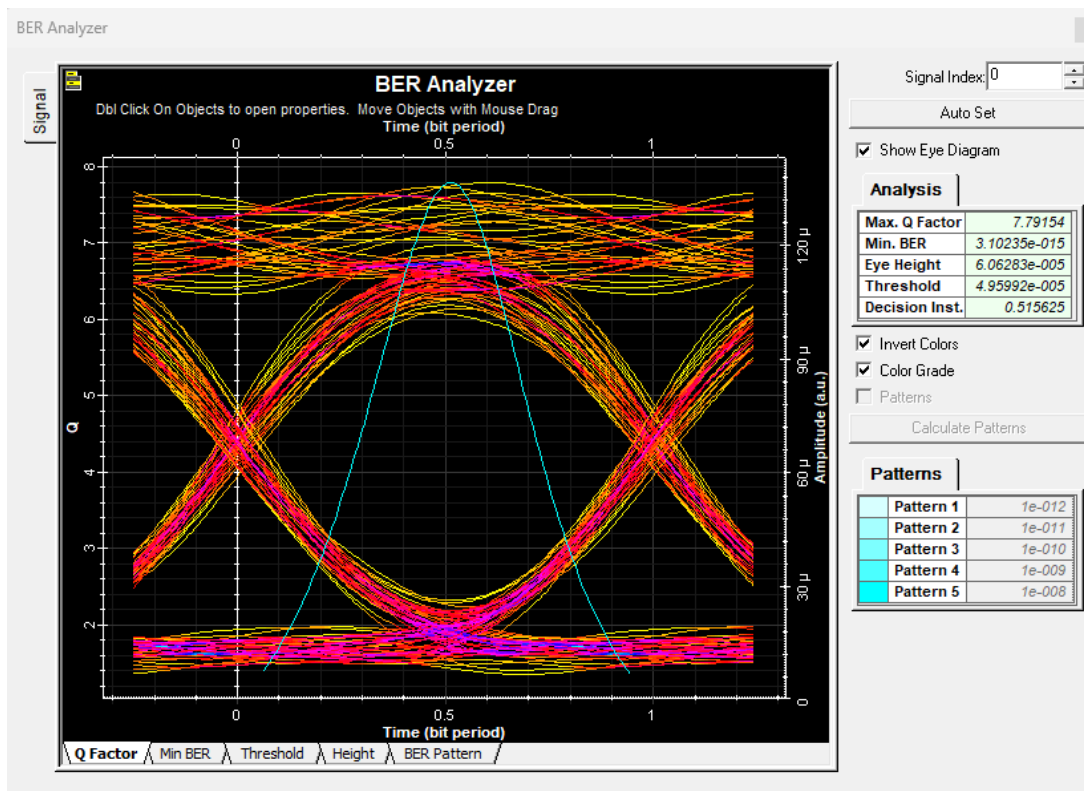
Potencia recibida en la primera iteración para el estándar 802.3ca



Nota. Elaboración propia

Figura 34

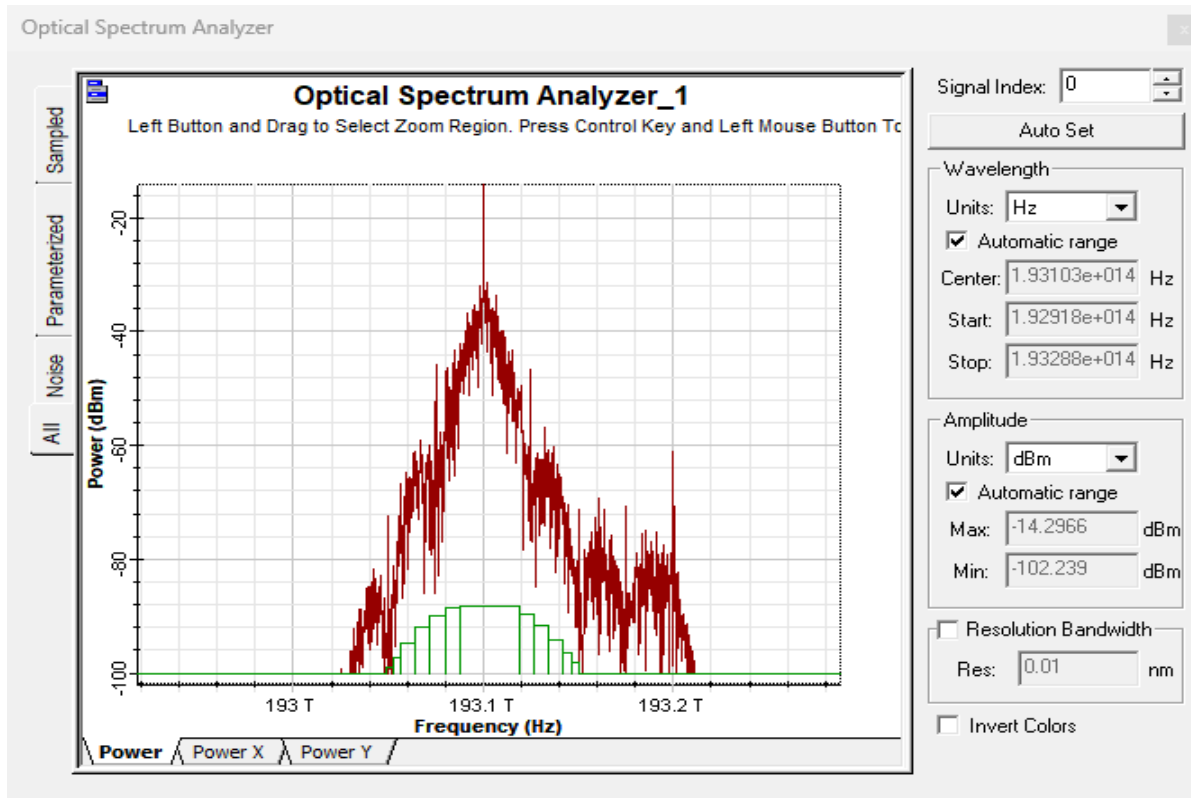
Diagrama de ojo para el estándar 802.3ca con Rx: -11.7 dBm



Nota. Elaboración propia

Figura 35

Espectro óptico en la primera iteración en el estándar 802.3ca



Nota. Elaboración propia

Los resultados de la iteración número cinco se muestran a continuación, en la Figura 36 se puede apreciar la potencia recibida de -15.74 dBm. El diagrama del ojo de la señal, Figura 37, aún presenta gran apertura, el BER sigue siendo bastante bueno ($2.22e-10$), el factor Q se encuentra en 6.23 y el espectro óptico (Figura 38) muestra el paso del canal 193.1 THz.

Figura 36

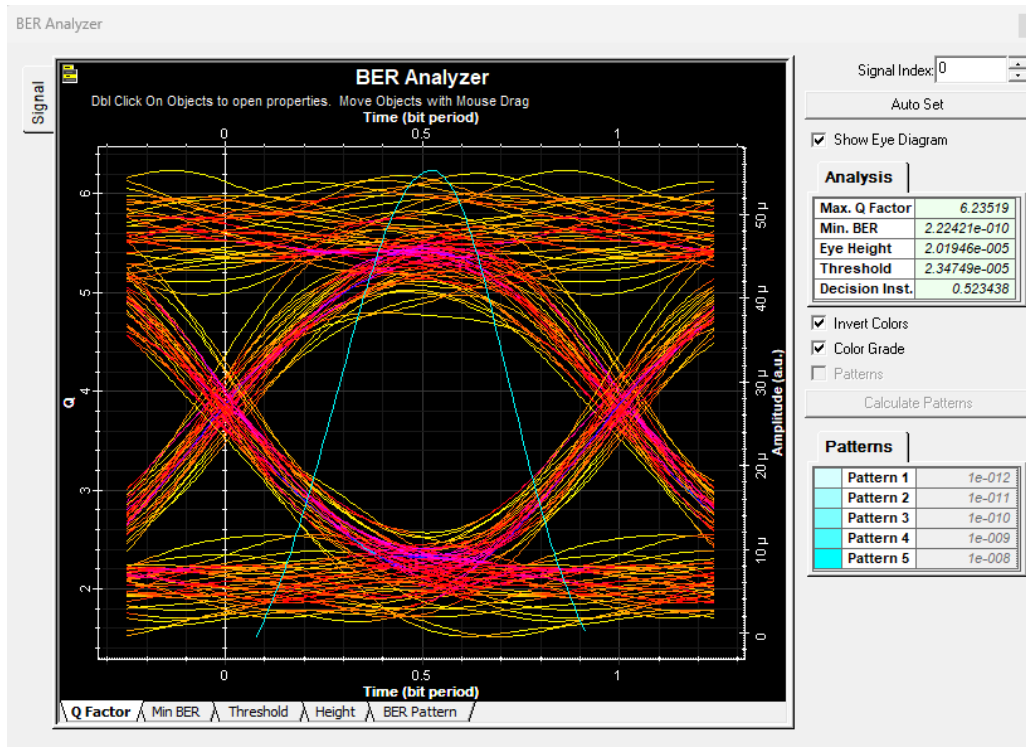
Potencia recibida en la quinta iteración para el estándar 802.3ca



Nota. Elaboración propia

Figura 37

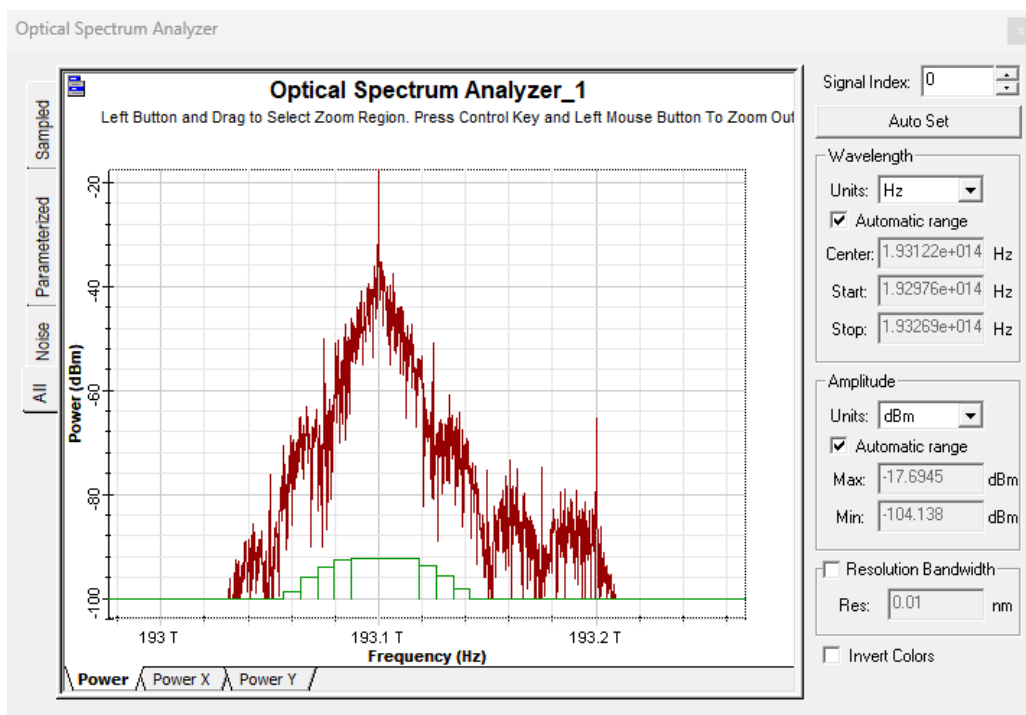
Diagrama de ojo para el estándar 802.3ca con Rx: -15.7 dBm



Nota. Elaboración propia

Figura 38

Espectro óptico en la quinta iteración en el estándar 802.3ca



Nota. Elaboración propia

Con el paso de las iteraciones la potencia de recepción fue disminuyendo y el diagrama de ojo sufrió degradación considerablemente; obteniendo para la iteración número ocho el valor de -18.73 dBm de potencia de recepción (ver Figura 39), un BER de 1.4×10^{-5} y un factor Q de 4 (ver Figura 40). Al igual que en los casos anteriores la Figura 41 ilustra el espectro óptico obtenido en esta iteración.

Figura 39

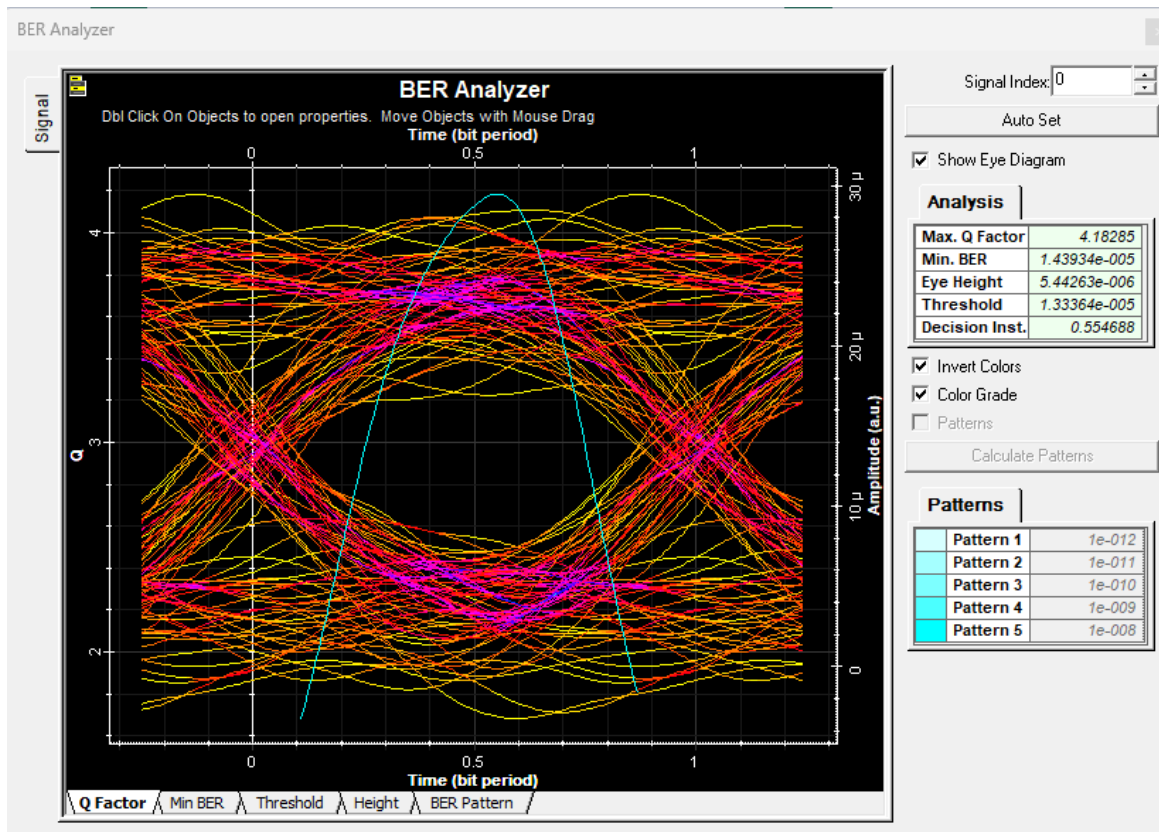
Potencia recibida en la octava iteración para el estándar 802.3ca



Nota. Elaboración propia

Figura 40

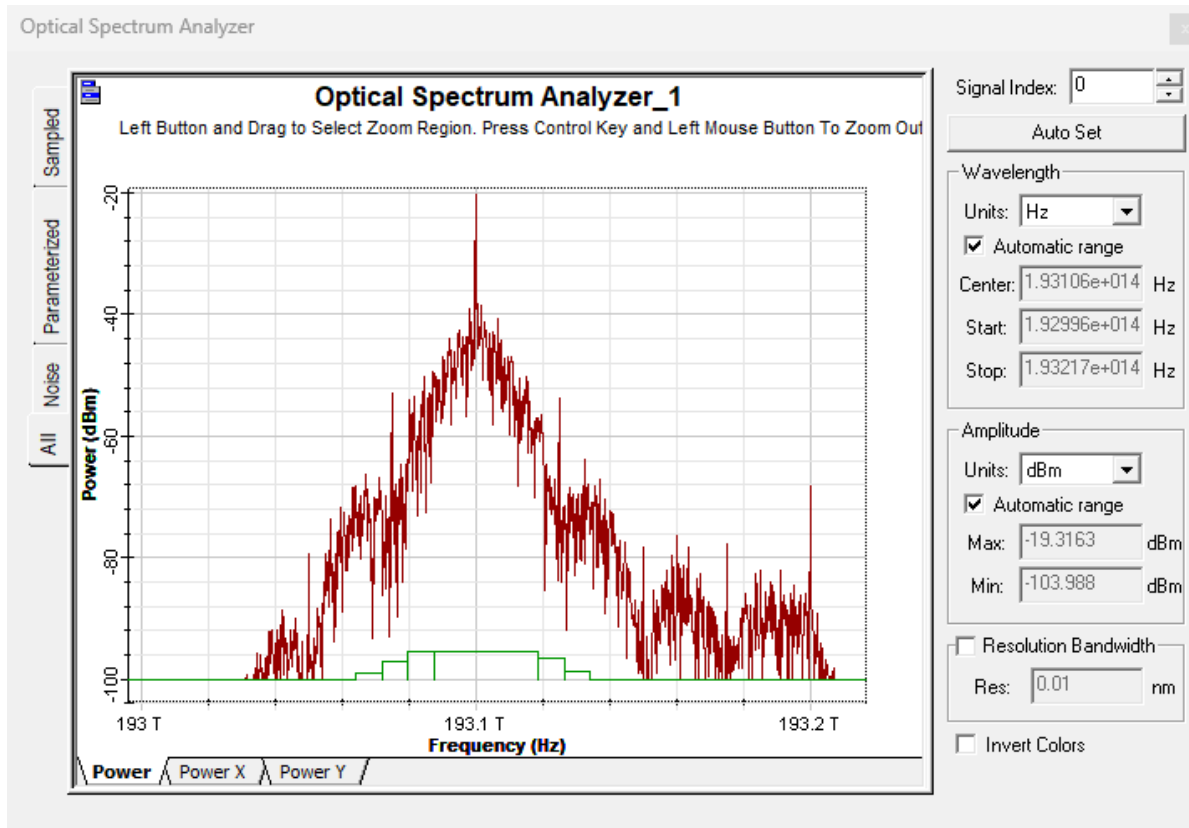
Diagrama de ojo para para estándar 802.3ca con Rx: -18.7 dBm



Nota. Elaboración propia

Figura 41

Espectro óptico en la octava iteración en el estándar 802.3ca



Nota. Elaboración propia

7.2. Resultados para el estándar HS-PON

Al igual que el estándar anterior se realizaron 8 iteraciones para HS-PON, con el fin de observar que sucede con el BER, el factor Q, el diagrama de ojo, la potencia recibida, etc. Obteniendo para la primera iteración una potencia de recepción de -11.6 dBm (Figura 42) con un diagrama de ojo como se lo muestra en la Figura 43 que tiene un factor Q de 6.7 y un BER de $8.2e-12$. En la Figura 44 se muestra el espectro óptico con el paso de los 193.1 THz (frecuencia configurada en el espectro óptico).

Figura 42

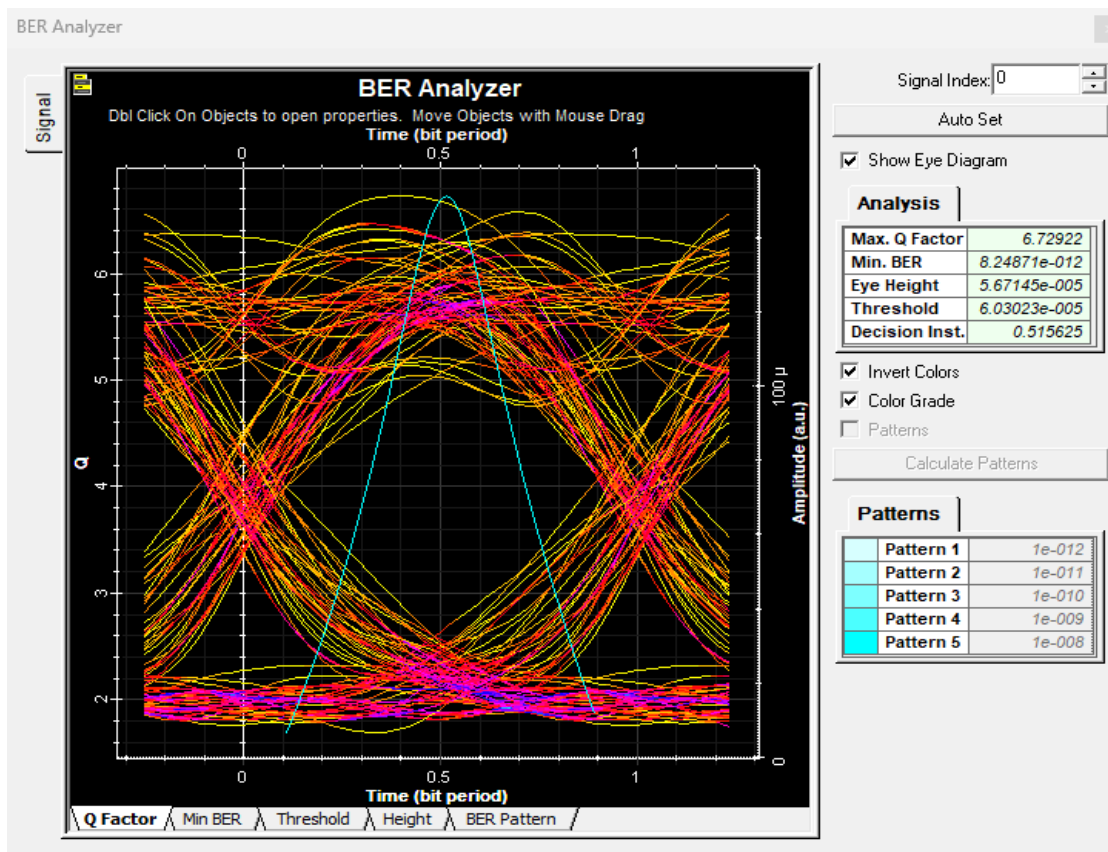
Potencia recibida en la primera iteración para el estándar HSP



Nota. Elaboración propia

Figura 43

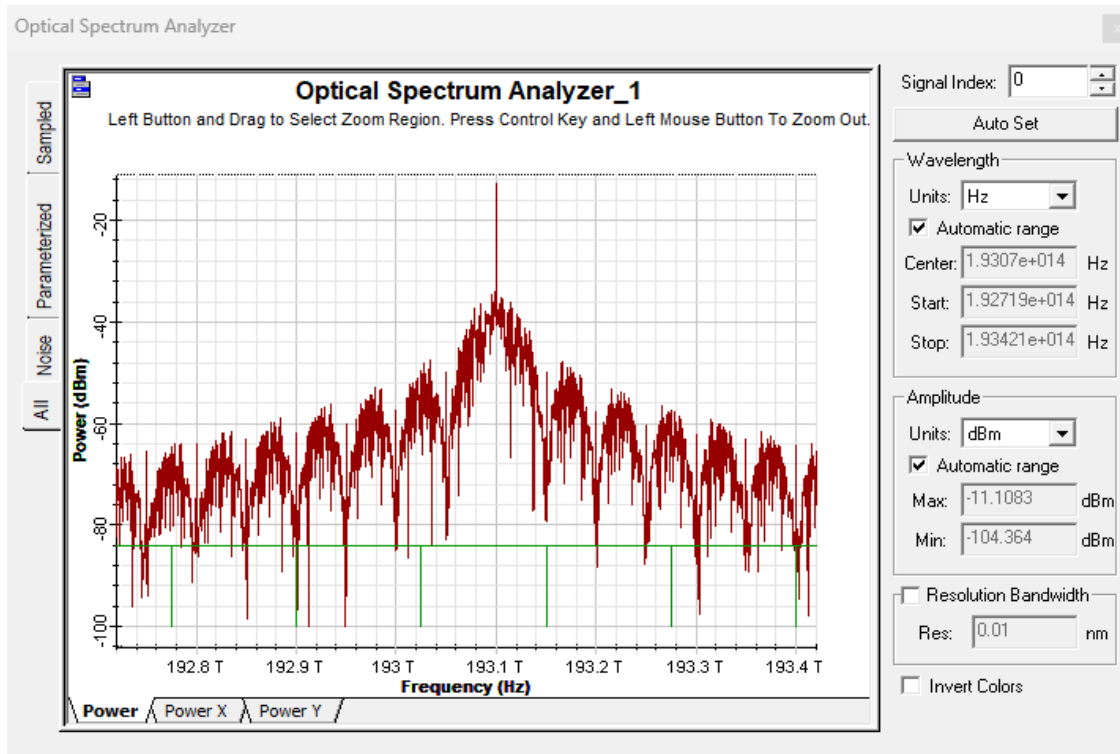
Diagrama de ojo para el estándar HSP con Rx: -11.6 dBm



Nota. Elaboración propia

Figura 44

Espectro óptico en la primera iteración en el estándar HSP



Nota. Elaboración propia

Para la quinta iteración se obtuvieron los resultados mostrados en las Figuras 45, 46 y 47. Potencia de recepción de -15.6 dBm, BER de $6e-7$, factor Q de 4.85 y espectro óptico en 193.1 THz.

Figura 45

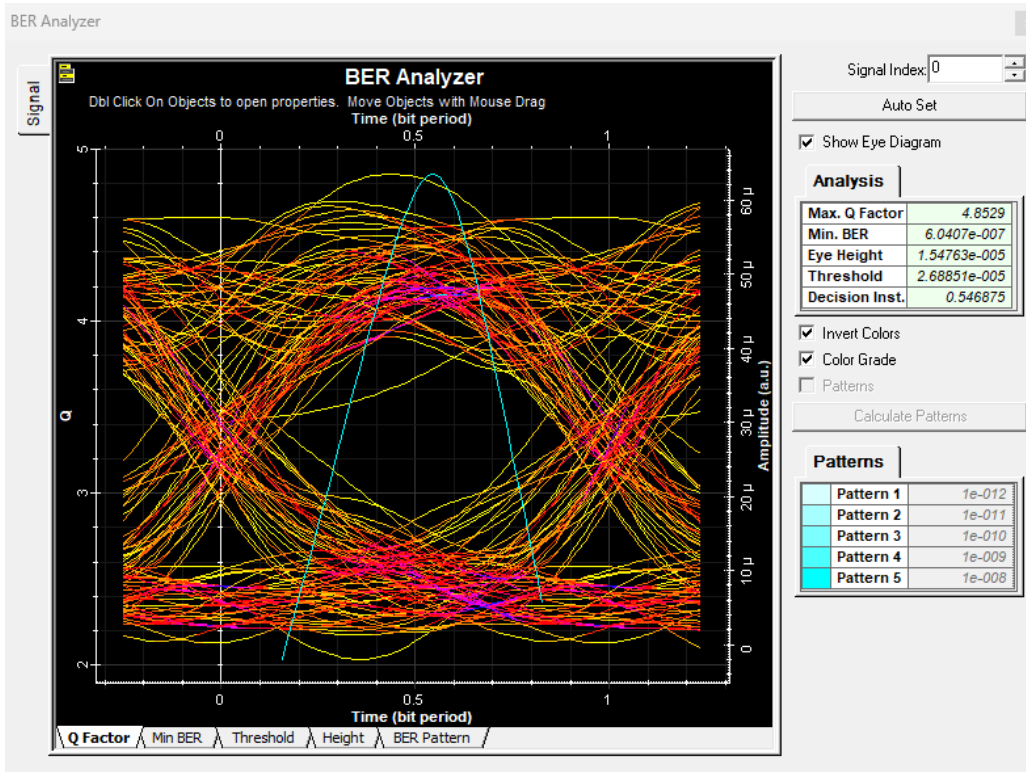
Potencia recibida en la quinta iteración para el estándar HSP



Nota. Elaboración propia

Figura 46

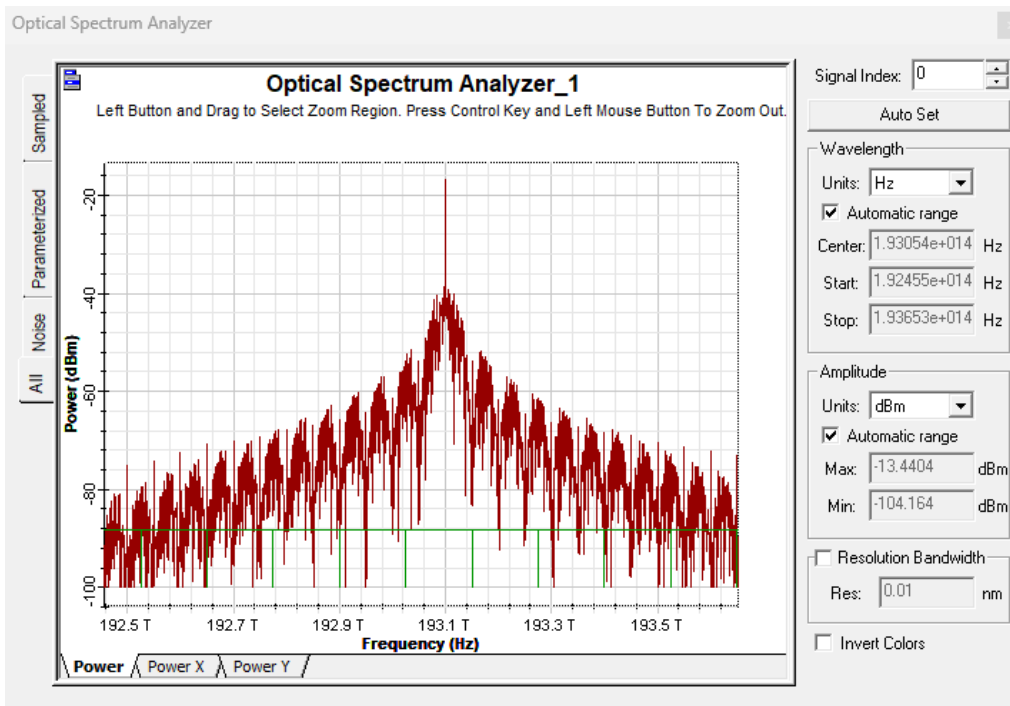
Diagrama de ojo para el estándar HSP con Rx: -15.6 dBm



Nota. Elaboración propia

Figura 47

Espectro óptico en la quinta iteración en el estándar HSP



Nota. Elaboración propia

En la iteración número ocho, en la Figura 49 podemos observar el diagrama de ojo deformado considerablemente pues el BER ahora es de $1.0e-3$ y su factor Q disminuyó a 3.1.

La potencia de recepción disminuyó a -18.6 dBm, como se indica en la Figura 48. El espectro óptico de la señal para esta iteración se muestra en la Figura 50.

Figura 48

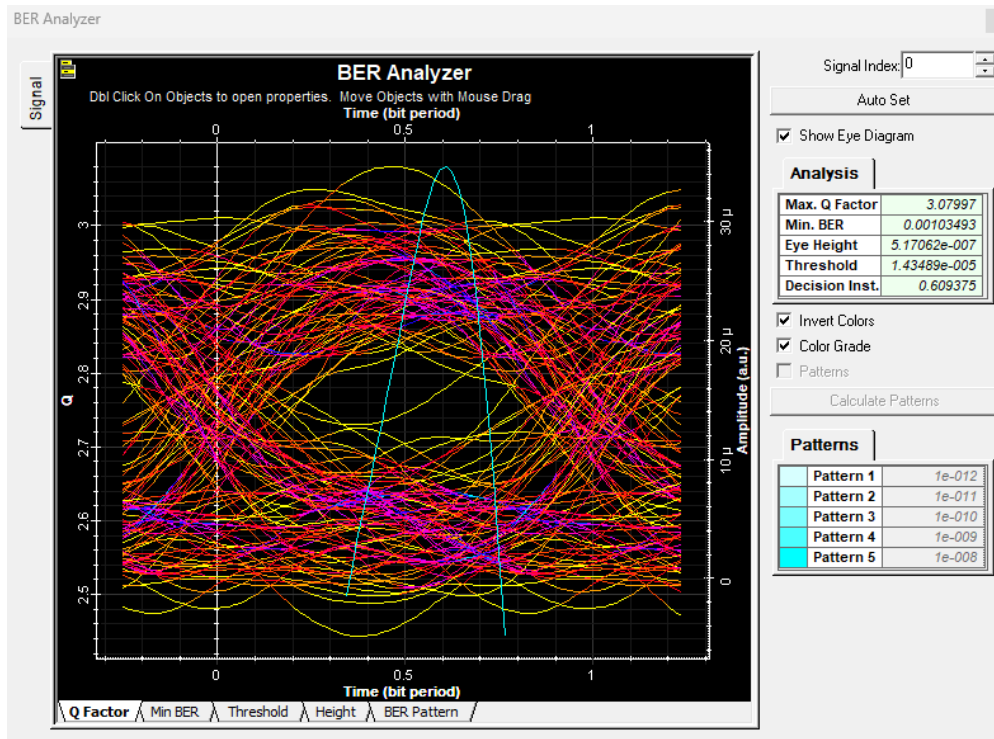
Potencia recibida en la octava iteración para el estándar HSP



Nota. Elaboración propia

Figura 49

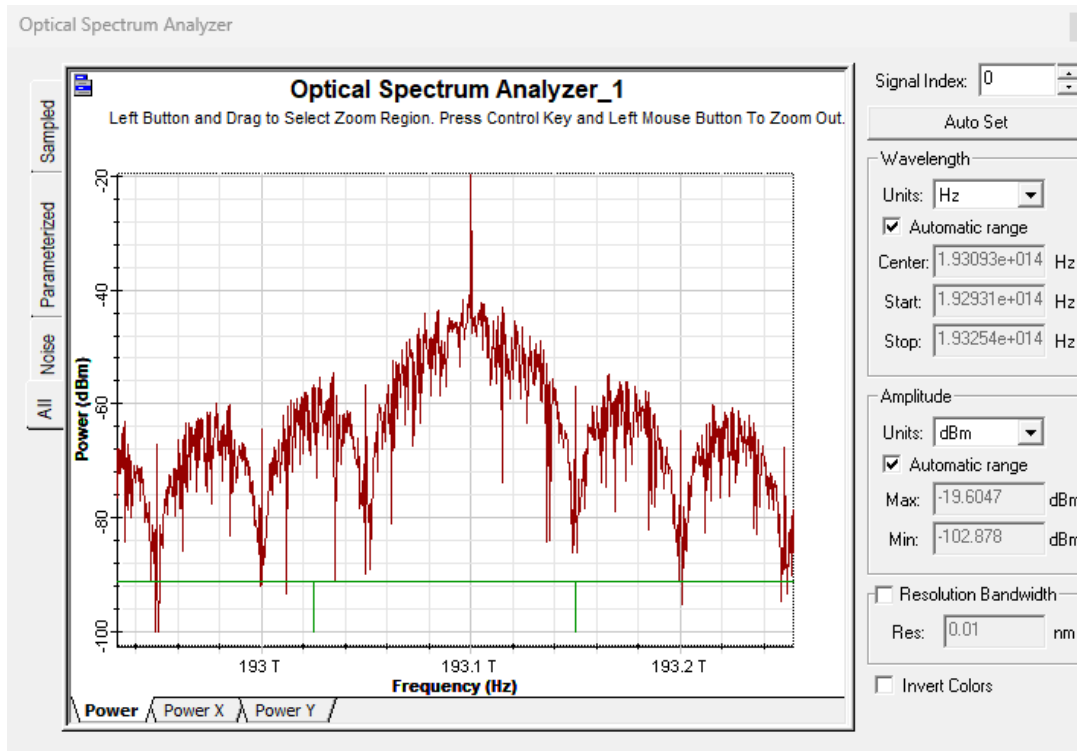
Diagrama de ojo para el estándar HSP con Rx: -18.6 dBm



Nota. Elaboración propia

Figura 50

Espectro óptico en la octava iteración en el estándar HSP



Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO VIII: ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se realiza el análisis de los diferentes resultados obtenidos en el apartado anterior, como lo son Factor Q, Bit Error Rate, Jitter y la relación de Prx/BER.

A continuación, en las Tablas 12 y 13 se resumen los diferentes resultados acordes a los parámetros definidos anteriormente para los dos escenarios de simulación.

Tabla 12

Resultados obtenidos para 802.3ca

802.3ca				
ITERACION	Prx[dBm]	BER	FACTOR Q	JITTER [ps]
1	-11,7	3,1E-15	7,79	3,79
2	-12,7	2,0E-14	7,55	4,06
3	-13,7	2,4E-13	7,22	4,06
4	-14,7	5,7E-12	6,78	4,32
5	-15,7	2,2E-10	6,23	4,97
6	-16,7	1,1E-08	5,59	5,10
7	-17,7	4,9E-07	4,89	6,41
8	-18,7	1,4E-05	4,18	7,46

Nota. Elaboración propia

Tabla 13

Resultados obtenidos para HS-PON

HS-PON				
ITERACION	Prx[dBm]	BER	FACTOR Q	JITTER [ps]
1	-11,6	8,2E-12	6,72	3,21
2	-12,6	8,2E-11	6,38	3,43
3	-13,6	1,3E-09	5,95	3,65
4	-14,6	2,7E-08	5,43	3,65
5	-15,6	6,0E-07	4,85	4,45
6	-16,6	1,1E-05	4,24	4,89
7	-17,6	1,4E-04	3,64	5,18
8	-18,6	1,0E-03	3,07	6,20

Nota. Elaboración propia

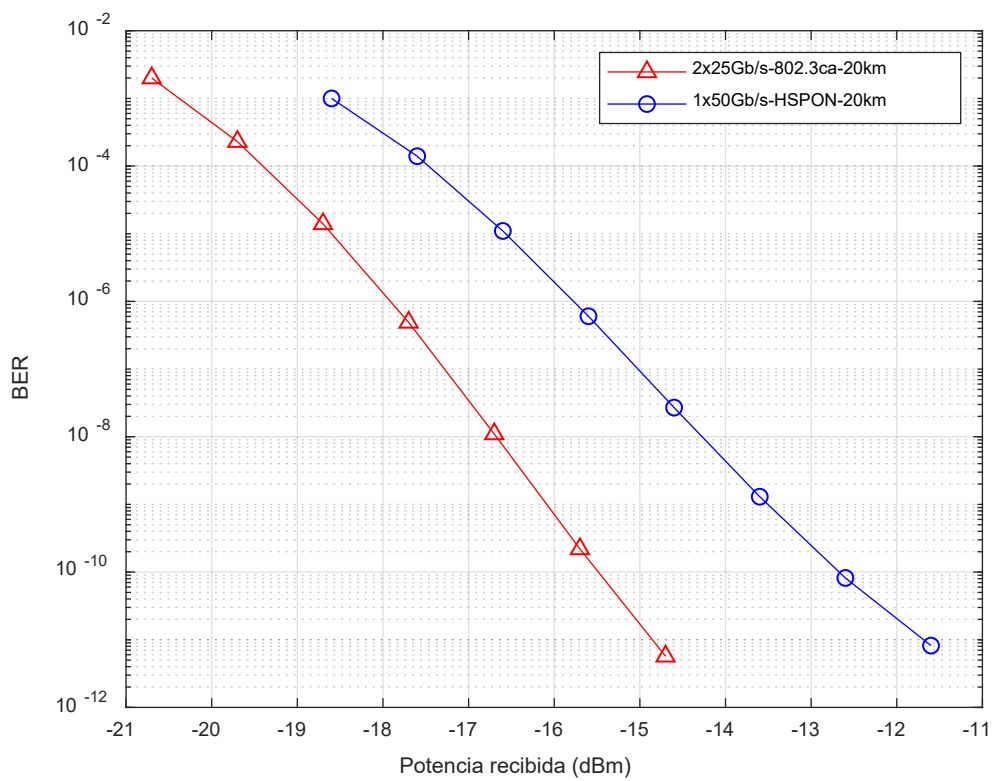
8.1.Evaluación del indicador BER

La Figura 51 se puede interpretar de la siguiente manera: el estándar 802.3ca posee un mejor desempeño en comparación al HS-PON, debido a que para lograr un BER aceptable de

10e-9, mediante interpolación el HS-PON requiere al menos una potencia de -13.5 dBm, mientras que para el estándar IEEE 802.3ca basta con una potencia de -16 dBm. Así mismo para un BER objetivo de 10e-3, con el cual se puede realizar al menos la técnica FEC (*Forward Error Correction*), el HS-PON requiere de -18.5 dBm mientras que el IEEE 802.3ca requiere de -20.7 dBm.

Figura 51

Relación Prx vs BER 802.3ca y HS-PON



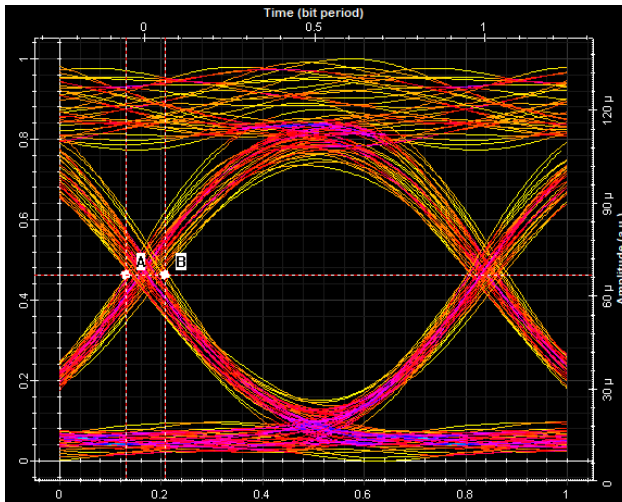
Nota. Elaboración propia

8.2. Evaluación del indicador Jitter

Esta medida no la entrega por defecto el programa Optisystem, por ello se requiere medir la fluctuación total del diagrama de ojo, es decir se buscará el punto de cruce del ojo, como se indica en la Figura 52, en donde el resultado de la diferencia entre el punto A y B es el resultado que se busca.

Figura 52

Medición del Jitter



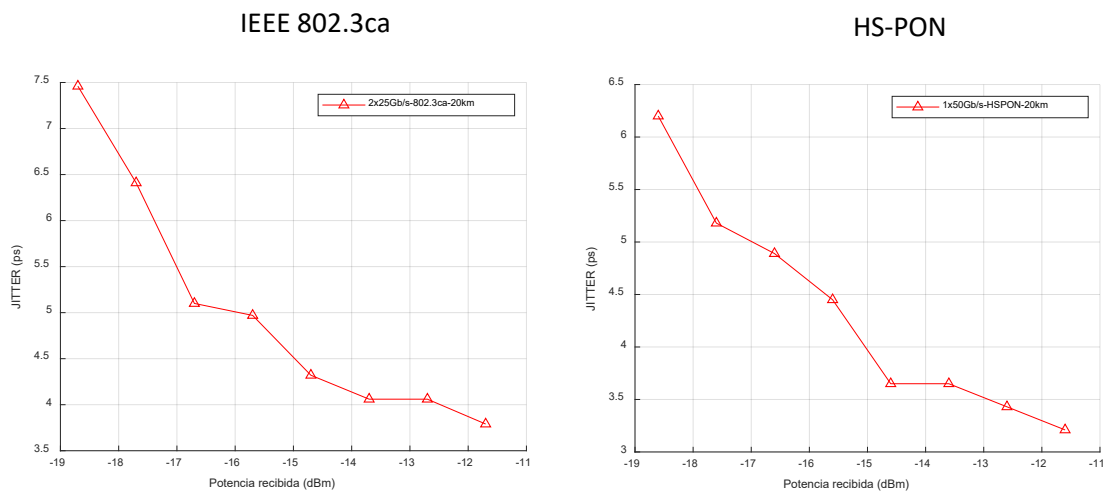
Nota. Elaboración propia

Aplicando este procedimiento se obtuvieron los resultados presentados en las tablas 12 y 13.

En la Figura 53 se representan los valores de Jitter obtenidos para el estándar IEEE 802.3ca y HS-PON versus la potencia de recepción. Se puede observar que el Jitter es mayor para la red 802.3ca pues para un valor de -17 dBm se tiene un Jitter de 5.5 ps mientras que en HSP el Jitter es de 5 ps para el mismo valor de potencia.

Figura 53

Jitter vs Prx



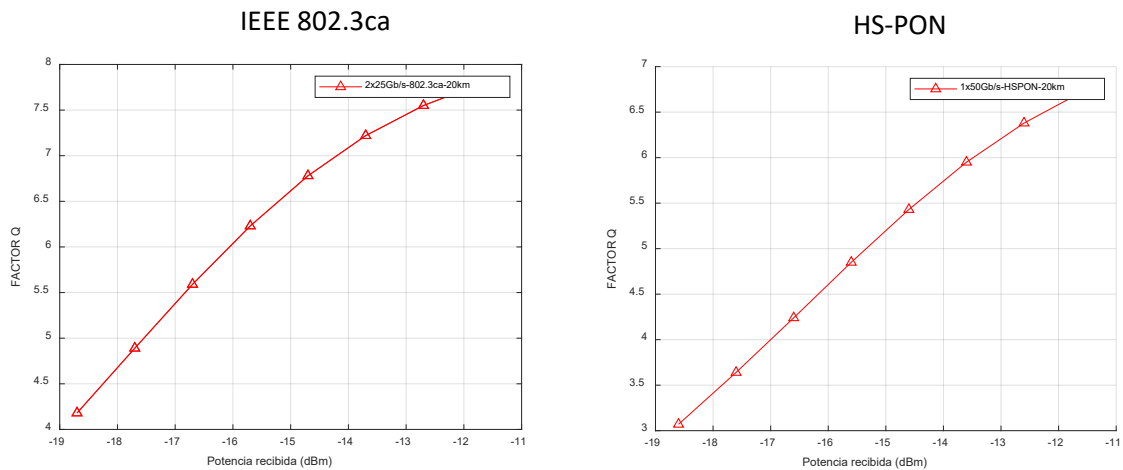
Nota. Elaboración propia

8.3. Evaluación del indicador Factor de Calidad (Q)

En este apartado lo que recomienda la ITU-G.984.2 como ya se ha mencionado, es que sea mínimo de 6 el factor Q, dicho esto, se analizan los resultados obtenidos en las tablas 13 y 14 para construir las gráficas de la Figura 54.

Figura 54

Factor Q vs Prx



Nota. Elaboración propia

Dado que los resultados anteriores, BER y Jitter, dependen del valor del factor de calidad, como se puede observar en la Figura 54, el estándar 802.3ca presenta mejores factores de calidad en relación al estándar HS-PON.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Una red 50G-PON, aunque aún no se encuentra desplegada pretende suplir necesidades como baja latencia a altas tasas de transmisión, por ende, mientras se espera su llegada es menester realizar estudios previos mediante simulaciones con el fin de observar cuan viable sería la implementación basada en sus costos de operación y calidad de servicio. La elección entre el estándar IEEE 802.3ca o el estándar HSP para una implementación de esta red debe basarse en un análisis minucioso de las necesidades específicas de la red y los involucrados, los costos de implementación y mantenimiento, disponibilidad de equipos entre otros. Ya que es posible que un estándar según el área tenga mejor interoperabilidad, adopción o disponibilidad que el otro.

Dentro del desarrollo del trabajo se revisaron algunas características técnicas de la evolución de las redes PON, especialmente las 50G-PON, brindando una visión teórica que permita establecer comparaciones entre las variantes de esta tecnología que busca suplir las altas demandas de velocidad de datos, el despliegue del 5G, servicios de realidad virtual, etc.

Mediante la encuesta aplicada se verificó que a pesar de que en la parroquia de Cutuglagua existen diferentes proveedores del servicio de Internet, este se encuentra en constante crecimiento debido a la evolución tecnológica. Cada día son más los requerimientos del cliente en cuanto a velocidad, capacidad y características que debe ofrecer la red para manejar los retos que vengán y mantener o aumentar su número de consumidores dentro de este sector.

Para desplegar una red 50G-PON en un sector con un área geográfica como lo es Cutuglagua y que cuenta con varios proveedores de Internet que intentan suplir las diferentes demandas del cliente, lo más apropiado sería realizarlo mediante la propuesta IEEE 802.3ca, esto debido a que, si se consideran factores como el costo de implementación y rendimiento,

IEEE 802.3ca tiene la capacidad de utilizar ópticas fijas resultando ser más fácil y económico de implementar que HS-PON. Por otro lado, para HSP el ancho de banda del fotodetector es mayor por tanto más costoso, y equipos como el transmisor y el receptor también resultan ser más caros para este estándar. En cuanto al rendimiento mediante las simulaciones se verificó un mejor rendimiento de la red con el proyecto IEEE 802.3ca.

Los elementos más importantes que entrega el simulador Optisystem, es el factor Q y el BER, ya que, dependiendo de estos dos, se puede resolver si una red óptica es óptima o no para ser desplegada en cierto lugar requerido, dependiendo de su extensión, geografía y número de habitantes.

Es importante tomar en cuenta que en el estándar 802.3ca, el multiplexor debe tener un ancho de banda de al menos 50 GHz, ya que las señales son moduladas en banda base y se necesitan este requerimiento para poder operar en la red óptica con normalidad.

Para trabajar a altas velocidades de transmisión, se debe tomar en cuenta el efecto que provoca la dispersión cromática de la fibra óptica, puesto que esto hace que los pulsos se ensanchen y se atenúen, induciendo a que los sistemas ópticos no funcionen de manera correcta.

La inclusión de amplificadores de señal, es de gran ayuda al momento de suplir los efectos de la compensación de las DCF, pero se debe tener cuidado de que en la recepción estas fibras no eleven mucho la potencia recibida, dado que eso afectará directamente a los equipos terminales ONT.

Acorde a las tablas y gráficas obtenidas, se verificó que la red basada en el estándar 802.3ca ofrece mejores prestaciones para su implementación, ya que al utilizar dos láseres multiplexados a 25 Gbps cada uno, permite aprovechar de mejor manera el ancho de banda, dando como resultado que para obtener un BER típico de $10e-9$ se requiere menor sensibilidad

en el receptor, en este caso basta con tener -16 dBm de potencia de recepción, caso que no sucede en la red HS-PON pues esta necesita -13 dBm para lograr ese Bit Error Rate.

Recomendaciones

Es recomendable que se realice esta simulación en una versión superior a Optisystem 7, debido a que las nuevas actualizaciones incluyen funciones que permiten incrementar las velocidades de transmisión.

Se recomienda que en futuros trabajos se empleen otros softwares de simulación con el fin de realizar una comparativa con estos y observar si mediante el empleo de nuevos elementos se logra obtener velocidades más altas con tiempos de respuesta bajos.

En base al trabajo realizado y al obtener una velocidad de transmisión de 50 Gbps se sugiere se siga la línea de investigación para lograr velocidades más elevadas puesto que ésta no es el límite, pero se necesita indagar sobre nuevos elementos que ayuden a realizar nuevas redes con tasas altas de transmisión.

Se debe tener cuidado especial al momento de emplear los filtros ópticos, ya que estos deben ser de alta fidelidad de modo que filtren la frecuencia deseada y además tengan un ancho de banda basados en la frecuencia de muestreo de Nyquist para que funcionen a altas velocidades de transmisión.

El despliegue de la red HS-PON resultaría elevada en costos de capital, debido a que el fotorreceptor requiere mayor ancho de banda lo cual lo vuelve más costoso y por ende también se requiere un transmisor de mayor fidelidad, por lo que se recomienda el despliegue de la red 802.3ca.

Se recomienda realizar un trabajo comparativo empleando otro método que se basa en redes de difracción FBG (*Fiber Bragg Grating*), de manera que se comparen los resultados del presente trabajo y porque no, se pueda obtener un modelo más solvente juntando ambos conceptos.

REFERENCIAS

- ALEA. (13 de Febrero de 2017). Alea Soluciones. Obtenido de <https://www.aleashop.es/blog/2017/02/13/parametros-opticos-gpon/>
- Bonk, R., Geng, D., Khotimsky, D., Liu, D., Liu, X., Luo, Y., . . . Shan Wey, J. (2022). 50G-PON: The First ITU-T Higher Speed PON System. IEEE, 2-5.
- Brito, M. (Septiembre de 2022). ESTUDIO DEL DESPLIEGUE DE UNA RED DE ACCESO NG-PON2 EN LA CIUDAD DE QUITO . Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23268>
- Del Salto, X. (2022). Tesis de Grado. DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED FTTH PARA LA COOP. HOGAR DE NAZARETH MEDIANTE EL SOFTWARE OPTISYSTEM. Guayaquil.
- Equipo Consultor PDyOT. (2019). Cutuglagua Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2020 - 2024. Obtenido de <https://gadcutuglagua.gob.ec/pdyot2020-2024>
- Fiber Mall. (2021). Obtenido de Último progreso de la tecnología 50G-PON (Passive Optical Network) en 2021: <https://www.fibermall.com/es/blog/50g-pon-technology-in-2021.htm>
- FibreMex. (15 de Septiembre de 2021). La importancia de la Red Óptica Pasiva (PON) para el futuro. Obtenido de PARTE II. ESTÁNDARES QUE IMPONEN EL FUTURO DE LA FIBRA ÓPTICA: <https://fibremex.com/fibra-optica/views/Blog/detalle.php?id=135>
- GAD Parroquial Cutuglagua. (2023). Historia de Cutuglagua. Obtenido de <https://gadcutuglagua.gob.ec/>
- Gavilán, I. (2013). REDES ÓPTICAS PASIVAS (PON). Obtenido de http://mundoazul.ignaciogavilan.com/?pag=/microtutoriales/tec_pon.htm
- IEEE STANDARDS ASSOCIATION. (2020). IEEE 802.3ca . Obtenido de <https://standards.ieee.org/ieee/802.3ca/7440/>
- Llano, D., & Morales, J. (Diciembre de 2010). *Implementación y configuración de un sistema profesional de seguridad CCTV-IP descentralizado, para la empresa Manufacturas Americanas*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/3864>
- Macas, E. (02 de 2022). Tesis de Grado. Análisis técnico comparativo entre las tecnologías de redes de acceso ópticas GPON y Xgs-PON. Quito.
- Montero, D., & Rodríguez, M. (Octubre de 2016). Tecnologías de acceso ópticas para la migración de la red de cobre a fibra. Obtenido de https://www.informatica-juridica.com/wp-content/uploads/2016/10/tecnologias_migracion_red_de_cobre_fibra_InformaticaJuridica_Dilber-Manleys.pdf
- Mosquera, A. (Febrero de 2022). ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO DE LAS REDES DE ACCESO ÓPTICAS PASIVAS DE NUEVA GENERACIÓN: ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO ENTRE LAS REDES DE ACCESO 50G-EPON Y NG-PON2. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22699>
- Moya, M. (2016). *Implementación de una red LAN para la empresa pública de la Escuela Politécnica Nacional (POLI-TECH-EP)*. Obtenido de Repositorio Digital - EPN: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16910>
- Optiwave. (2023). Optiwave lanza Optisystem 20.0.

- Rábano, C., & Fábrega, J. (Junio de 2022). Estudio tecno-económico del despliegue del estándar 50G-PON sobre infraestructura óptica heredada. Obtenido de <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/145907/7/crabanoaTFM0622memoria.pdf>
- Rivera, O. (2021). Diseño y simulación de una red optica pasiva gpon con tecnologías de multiplexación wdm y tdma. Electronic Submission to ACS Journals. Scientia Et Technica. (Mayo de 2009). ESTUDIO COMPARATIVO DE REDES GPON Y EPON. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84916680058>
- SIGMA Consultores. (2019). Plan de Desarrollo Estratégico y Ordenamiento Territorial Parroquia de Cutuglagua 2015 - 2019. Obtenido de <http://sitp.pichincha.gob.ec>
- Silva, J. (2016). Tesis de Grado. Diseño y Análisis de una Red de Acceso Tipo WDM-PON por Medio del Particionamiento Espectral de una Fuente de Luz de Banda Ancha.
- Torres, M., Paz, K., & Salazar, F. (2006). Tamaño de una muestra para una investigación de mercado. *Boletín electrónico*, 2, 1-13.
- Tsubokawa, M. (18 de Noviembre de 2009). FTTH technologies in the NTT Network.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (1996). Redes de acceso óptico para el soporte de servicios que funcionan con velocidades binarias de hasta la velocidad primaria de la red digital de servicios integrados (RDSI) o velocidades binarias equivalentes.
- Union Internacional de Telecomunicaciones. (2016). Recommendation ITU-T G.652 Characteristics of a single-mode optical fibre and cable.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (03 de 2016). Recommendation ITU-T G.987.1. 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): General requeriments.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2019). Recommendation ITU-T G.9804 Higher speed passive optical networks –Requeriments.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (02 de 2019). Recommendation ITU-T G.989.2. 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2):Physical media dependent (PMD) layer specification.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2021). Recommendation ITU-T G.9804.3 50-Gigabit-capable passive optical networks.
- ZTE. (2022). 50G-PON Technology. Obtenido de https://res-www.zte.com.cn/mediares/zte/Files/PDF/white_book/White_Paper_on_50G-PON_Technology_20201210_EN.pdf

ANEXOS

Anexo A. Encuesta para evaluar la satisfacción de los usuarios de Internet en el sector de Cutuglagua.



Encuesta de Calidad de Servicio

Objetivo general de la encuesta: evaluar la satisfacción de los usuarios del servicio de acceso a Internet inalámbrico (WiFi) en el sector de Cutuglagua y detectar oportunidades de mejora del servicio.

¿Cuál empresa es su principal proveedor del servicio de Internet? *

- CNT
- Claro
- Netlife
- Puntonet
- Fibramax
- iPlanet
- Celerity
- Xtrim TVCable
- Otro: _____

En general, ¿cómo califica su experiencia con su proveedor de servicios de Internet? *

- Excelente
- Muy buena
- Buena
- Justa
- Pobre

Valore las siguientes particularidades de su conexión a Internet. *

	Excelente	Bueno	Pobre
Confiabilidad	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Velocidad	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cobertura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

¿Con qué dispositivos se conecta usualmente al wifi? Respuesta múltiple. *

- Celular
- Laptop
- Computadora
- Tablet
- Smart TV
- Otro: _____

¿Ha experimentado usted que el internet se vuelve lento o desaparece la conexión de su dispositivo si es que se aleja de algún área específica? *

- Si
- No

¿Cuándo usted se conecta al wifi, desde cualquier sector, de Cutuglagua, su conexión y el tiempo que dura la misma, es totalmente satisfactoria? *

- Si
- No

¿Cuál es su tiempo promedio de uso del wifi cada vez que se conecta? *

- Menos de una hora
- 1 hora
- 2 hora
- 3 horas o más

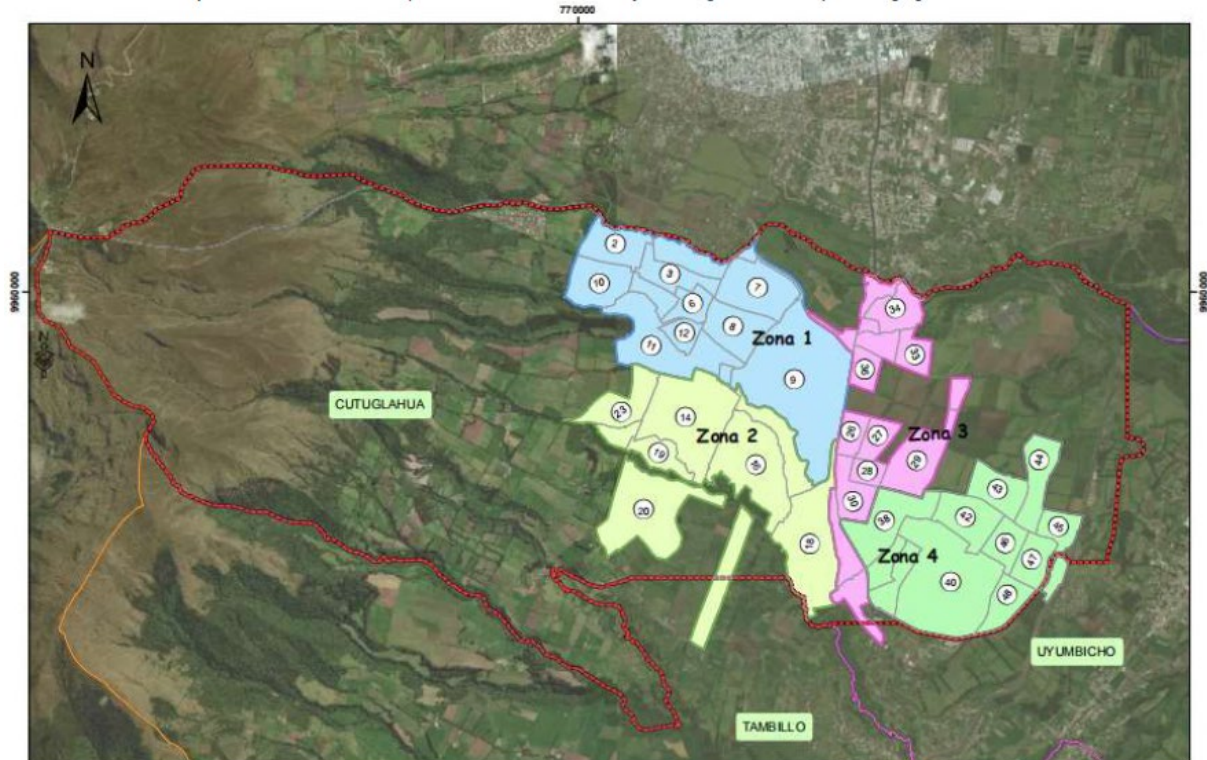
¿Para qué actividades utiliza internet? Respuesta múltiple. *

- Búsqueda de información
- Trabajo y educación
- Uso de redes sociales
- Escuchar música o radio
- Ver TV, series o películas
- Juegos en línea
- Servicios de streaming
- Otro: _____

Anexo B. Plan de desarrollo estratégico y ordenamiento territorial de Cutuglagua

Identificación de barrios que conforman la parroquia de Cutuglagua.

Mapa 2 Distribución de barrios para el desarrollo de los trabajos de diagnóstico del PDyOT Cutuglagua 2020 - 2024



Fuente: IGM – GAD DE MEJÍA

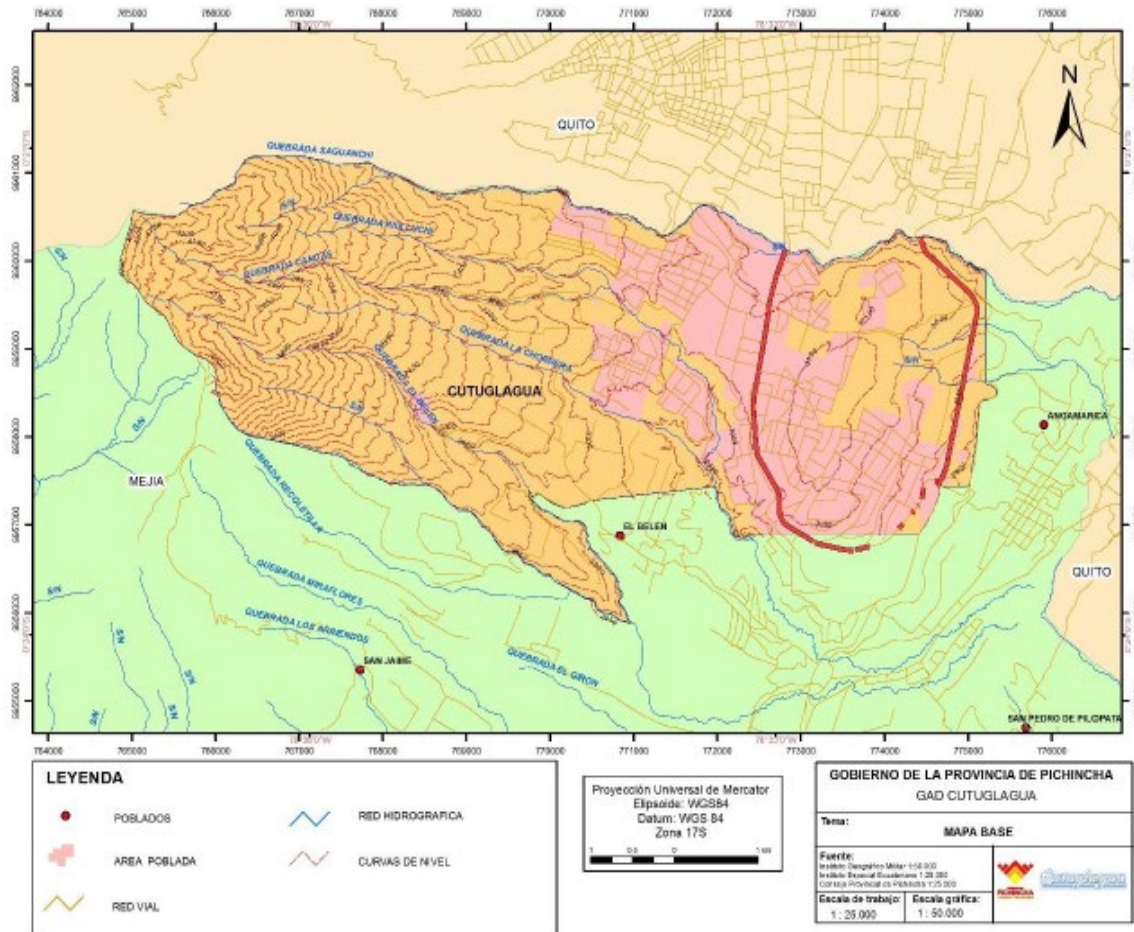
Gráfico 2 Detalle de los barrios acorde a la zona de distribución presentada para el diagnóstico

SECTOR CENTRAL - LOS TAMBOS ZONA 1	SECTOR LOS ROSARIOS ZONA 2	SECTOR SAN JOSÉ ZONA 3	SECTOR SANTO DOMINGO ZONA 4
<ul style="list-style-type: none"> • Central • San Miguel • Santa Catalina • Santiago Roldos • La Unión • Aida Palacios • Santa María • Tambo 1 • Tambo 2 • Tambo 3 • 25 de Noviembre • Joya 1 • La Florencia • Las Vertientes • San Cristóbal • Santa Rosa Alta 	<ul style="list-style-type: none"> • El Rosario 1 • El Rosario 2 • El rosario 3 • Génova • Aymesa • San Francisco 1 • San francisco 2 • San Francisco 3 • Santa Isabel 	<ul style="list-style-type: none"> • San José 1 • San José 2 • San José 3 • Los Pinos • Ciudad Serrana • La Merced • El Manzano • Lourdes • Central 	<ul style="list-style-type: none"> • Santo Domingo de Saguanchi • Santo Domingo 2 • El Mirador • La Isla • Joya 2 • Santa Cristina

Elaborado por: Equipo Consultor PDyOT Cutuglagua 2020 – 2024

Aspecto físico de la parroquia de Cutuglagua.

Mapa 1: Mapa Base parroquial



Principales datos característicos de la parroquia de Cutuglagua.

HITOS HISTORICOS	La emblemática Cutuglagua perteneciente antiguamente al caserío de la parroquia de Uyumbicho, surge la decisión y determinación de los doctores: Julio Calderón, Reinaldo Santo Quijano y Proaño quienes eran propietarios de la hacienda el Belén junto a los señores Rafael Logacho y Agustín Sánchez que influyen para tomar la posta y presionar al presidente del Consejo Municipal Pablo Guarderas para la creación de la parroquia de Cutuglagua, alzando la voz popular el 16 de febrero de 1950 para el reconocimiento de la parroquia rural de Cutuglagua, fecha adoptada por la población como aniversario de la parroquia. El 13 de julio y 17 de agosto en magnas sesiones del Ilustre Municipio de Mejía, se discute y se aprueba la parroquialización, posteriormente se publica el decreto oficial el 25 de septiembre del mismo año.	
ASPECTOS FISICOS	UBICACIÓN	Cutuglagua está situada al norte del cantón Mejía, a las faldas del volcán Atacazo guiando su crecimiento por la configuración de la Panamericana Sur.
	LIMITES	Norte: Distrito Metropolitano de Quito Sur: Parroquia de Tambillo Este: Parroquia de Uyumbicho Oeste: Parroquia de Tambillo
	ALTITUD	Entre los 2800 a 4200 m.s.n.m
	CLIMA	Templado Humedo
	PRECIPITACIÓN ANUAL	1350 a 1400 mm ³
	TEMPERATURA	11,6 °C Promedio Anual
	SUPERFICIE	28,53 Km ²
ASPECTOS DEMOGRÁFICOS	POBLACIÓN TOTAL 2020	21.561,00
	POBLACIÓN MASCULINA 2020	10.584,00
	POBLACIÓN FEMENINA 2020	10.978,00
	POBLACIÓN MENOR DE 15 AÑOS DE EDAD 2020	7.116,00
	POBLACIÓN DE 15 A 64 AÑOS DE EDAD 2020	12.963,00
	POBLACIÓN DE 65 Y MÁS AÑOS DE EDAD 2020	982,00
	ÍNDICE DE ENVEJECIMIENTO 2020	12%

Fuente: Varias Fuentes

Elaborado por: Equipo Consultor PDOT, 2020-2024

Anexo C. ITU-T G.9804.1 Higher speed passive optical networks-Requirements

Categorías de servicios soportadas en escenarios PON de alta velocidad.

ESCENARIOS	CATEGORÍAS DE SERVICIOS
FTTB (para usuarios usuarios residenciales)	<p>Servicios asimétricos de banda ancha (p. ej., televisión por protocolo de Internet (IPTV), servicios de difusión digital, vídeo bajo demanda (VoD), descarga de archivos, etc.).</p> <p>Servicios simétricos de banda ancha (difusión de contenidos, correo electrónico, intercambio de archivos, educación a distancia, telemedicina, juegos en línea, etc.).</p> <p>Servicio telefónico tradicional (POTS) - La red de acceso debe poder prestar, de forma flexible, servicios telefónicos de banda estrecha mediante emulación (réplica completa de un servicio tradicional) o simulación (prestación de un servicio casi idéntico al tradicional).</p>
FTTB (para usuarios usuarios empresariales)	<p>Servicios simétricos de banda ancha (por ejemplo, software de grupo, difusión de contenidos, correo electrónico, intercambio de archivos, etc.).</p> <p>POTS - La red de acceso debe poder prestar, de forma flexible, servicios telefónicos de banda estrecha mediante emulación (réplica completa de un servicio heredado) o simulación (prestación de un servicio casi idéntico al heredado).</p> <p>Línea privada - La red de acceso debe ser capaz de prestar, de manera flexible, servicios de línea privada a varias tarifas.</p>
FTTC and FTTCab	<p>Servicios asimétricos de banda ancha (p. ej., IPTV, servicios de radiodifusión digital, VoD, descarga de archivos, juegos en línea, etc.).</p> <p>Servicios simétricos de banda ancha (difusión de contenidos, correo electrónico, intercambio de archivos, educación a distancia, telemedicina, etc.).</p> <p>POTS - La red de acceso debe poder prestar, de forma flexible, servicios telefónicos de banda estrecha mediante emulación (réplica completa de un servicio heredado) o simulación (prestación de un servicio casi idéntico al heredado).</p> <p>xDSL backhaul.</p>
FTTH	<p>Servicios asimétricos de banda ancha (p. ej., IPTV, servicios de difusión digital, vídeo 4K y 8K, VoD, descarga de archivos, etc.).</p> <p>Servicios simétricos de banda ancha (por ejemplo, difusión de contenidos, correo electrónico, intercambio de archivos, educación a distancia, telemedicina, juegos en línea, etc.).</p> <p>POTS - La red de acceso debe poder prestar, de forma flexible, servicios telefónicos de banda estrecha mediante emulación (réplica completa de un servicio heredado) o simulación (prestación de un servicio casi idéntico al heredado).</p>

ESCENARIOS	CATEGORÍAS DE SERVICIOS
FTTO	<p>La fibra hasta la oficina (FTTO) se dirige a ONU empresariales dedicadas a un cliente de pequeña empresa. Se han considerado las siguientes categorías de servicios:</p> <p>Servicios simétricos de banda ancha (por ejemplo, software de grupo, difusión de contenidos, correo electrónico, intercambio de archivos, etc.).</p> <p>POTS - La red de acceso debe poder prestar, de forma flexible, servicios telefónicos de banda estrecha mediante emulación (réplica completa de un servicio heredado) o simulación (prestación de un servicio casi idéntico al heredado).</p> <p>Línea privada - La red de acceso debe poder prestar, de forma flexible servicios de línea privada a varias tarifas.</p>
FTTCell	<p>La ONU en un escenario FTTCell tendrá que ofrecer conectividad a estaciones base inalámbricas:</p> <p>Servicios TDM simétricos (por ejemplo, backhaul de emplazamientos celulares 2G).</p> <p>Servicios de banda ancha basados en paquetes simétricos/asimétricos (por ejemplo, x-haul de celdas 3G/4G/5G).</p> <p>Puntos calientes.</p>
FTTdp	<p>La ONU en un escenario FTTdp se denominará unidad de punto de distribución (DPU) que, además de las categorías y capacidades de servicio FTTB, puede soportar:</p> <p>Capacidad de alimentación inversa con alimentación suministrada a través de la caída de cobre desde la instalación del usuario final.</p> <p>xDSL o G.fast copper drop UNI.</p> <p>Las arquitecturas FTTdp que incluyen DPU se describen en [b-BBF TR-301].</p>
5G basado en PON FrontHaul móvil (PON-MFH)	<p>La OLT y las ONU proporcionan transporte entre la unidad de control (CU) y la RU. Latencia ultrabaja con el uso de la función DBA cooperativa y la reducción de ventana silenciosa para la PON. Una interfaz (denominada interfaz de transporte cooperativo o (CTI)) entre el programador 5G y una OLT/programador PON definida por el grupo O-RAN WG 4 en colaboración con el grupo ITU SG15 Q2. colaboración con el grupo SG15 Q2 de la UIT.</p>