



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**Estudio, diseño y simulación de una red NG-PON2 para analizar su
rendimiento en el barrio Juan de Velasco**

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero en
Electrónica y Telecomunicaciones**

**Autor:
López Alban, Roberth Alexis**

**Tutor:
PhD. Daniel Antonio Santillán Haro**

Riobamba, Ecuador. 2023

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, **Roberth Alexis López Alban**, con cédula de ciudadanía **1718711862**, autor del trabajo de investigación titulado: **Estudio, Diseño y Simulación de una red NG-PON2 para analizar su rendimiento en el Barrio Juan de Velasco**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 20 de Abril del 2023.



Roberth Alexis López Alban

C.I: 1718711862

**DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE
TRIBUNAL;**

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **Estudio, Diseño y Simulación de una red NG-PON2 para analizar su rendimiento en el Barrio Juan de Velasco**, presentado por **Roberth Alexis López Alban**, con cédula de identidad número **1718711862**, certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a 17 de Abril del 2023

PhD. Leonardo Fabián Rentería Bustamante
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Mgs. Antonio Nolivos Vimos
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Dr. Antonio Manuel Meneses Freire
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



PhD. Daniel Antonio Santillán Haro
TUTOR



CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **Estudio, Diseño y Simulación de una red NG-PON2 para analizar su rendimiento en el Barrio Juan de Velasco**, presentado por **Roberth Alexis López Alban**, con cédula de identidad número **1718711862**, bajo la tutoría de **PhD. Daniel Antonio Santillán Haro**; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.


De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a 17 de Abril del 2023.

Presidente del Tribunal de Grado
PhD. Leonardo Fabián Rentería Bustamante




Firma

Miembro del Tribunal de Grado
Mgs. Antonio Nolivos Vimos



Firma

Miembro del Tribunal de Grado
Dr. Antonio Manuel Meneses Freire



Firma



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD
UNACH-RGF-01-04-02.20
VERSIÓN 02: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **López Alban Roberth Alexis** con CC: **1718711862**, estudiante de la Carrera **Electrónica y Telecomunicaciones**, **NO VIGENTE**, Facultad de **Ingeniería**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**Estudio, Diseño y Simulación de una Red NG-PON2 para Analizar su Rendimiento en el Barrio Juan de Velasco**", cumple con el 10 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **Urkund**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 23 de Marzo de 2023



PhD. Daniel Antonio Santillán Haro
TUTOR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación especialmente a mis padres Maribel y Rodrigo quienes gracias a su esfuerzo y arduo trabajo me han brindado siempre su apoyo siendo un pilar fundamental para culminar la carrera.

A toda mi familia que sin importar los problemas que surgieran siempre supieron escuchar y me brindaron consejo y de una u otra forma me acompañaron en todas mis metas y sueños.

Roberth Lopez A.

AGRADECIMIENTO

Me gustaría agradecer a todos aquellos que formaron parte de este proceso y de manera especial a mi familia que con su ejemplo me enseñaron a esforzarme y no desistir de mis sueños hasta verlos realizados.

A mi tutor PhD. Daniel Antonio Santillán Haro y a mi asesora de tesis por su paciencia y guía en cada uno de los capítulos de este trabajo hasta su culminación.

De igual manera a mis amigos por todas las risas y anécdotas vividas que convirtieron de esta carrera una experiencia inolvidable.

Roberth Lopez A

ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	11
ÍNDICE DE FIGURAS.....	13
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
CAPÍTULO I.....	17
1. INTRODUCCIÓN.....	17
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	19
1.3 OBJETIVOS	21
1.3.1 General	21
1.3.2 Específicos.....	21
CAPÍTULO II.....	22
2. MARCO TEÓRICO.....	22
2.1 Antecedentes	22
2.2 Tecnología GPON.....	24
2.2.1 Arquitectura de la red GPON.....	26
2.2.2 Normativas técnicas UIT G.984.X.....	27
2.3 Tecnología NG-PON1.....	28
2.3.1 Arquitectura de la red NG-PON1.....	29
2.3.2 Normativas técnicas UIT G.987.X.....	30
2.4 Tecnología NG-PON2.....	31
2.4.1 Arquitectura NG-PON2.....	33
2.4.2 Plan de longitudes de onda.....	34
2.4.3 Capacidad de sintonización de longitud de onda en las ONUs.....	36

2.4.4	Pérdidas en el trayecto óptico según la clase de ODN.....	38
2.4.5	Normativas técnicas UIT G.989.X.....	39
2.4.6	Beneficios de la tecnología NG-PON2.....	41
2.4.7	Aplicaciones de NG-PON2.....	41
2.5	Arquitectura De Redes FTTx.....	43
2.5.1	FTTH (Fiber to the Home).....	44
2.5.2	FTTB (Fiber to the Building).....	44
2.5.3	FTTC (Fiber to the Curb).....	44
2.5.4	FTTN (Fiber to the Node o Neighborhood).....	45
CAPÍTULO III.....		45
3.	METODOLOGÍA.....	45
3.1	Tipos de investigación.....	45
3.1.1	Investigación Aplicada.....	45
3.1.2	Investigación Descriptiva.....	45
3.1.3	Investigación de campo.....	46
3.2	Metodología de diseño de la red NG-PON2.....	46
3.3	Ubicación del Barrio Juan de Velasco.....	47
3.4	Estudio De Mercado.....	47
3.5	Estudio de la Demanda.....	48
3.6	Encuesta.....	49
3.7	Cálculo de la Muestra.....	49
3.8	Resultados de la Encuesta.....	50
3.9	Consideraciones de Diseño para la Red NG-PON2.....	50
CAPÍTULO IV.....		54
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
4.1	Diseño de la red NG-PON2 aplicada a redes FTTH.....	54
4.1.1	Red Feeder.....	55
4.1.2	Red De Distribución.....	59
4.1.3	Red de Dispersión.....	62
4.2	Elementos Activos de la Red NG-PON2.....	64
4.2.1	Unidades de Red Óptica (ONU).....	64
4.2.2	Terminal de Línea Óptica (OLT).....	66
4.2.3	Multiplexor de longitud de onda (WM1).....	68

4.3	Elementos Pasivos de la Red NG-PON2.....	70
4.4	Presupuesto de Potencia Óptica	72
4.4.1	Presupuesto de Pérdida Óptica del usuario más lejano	73
4.4.2	Presupuesto de Pérdida Óptica del usuario más cercano	76
4.4.3	Cálculo del Presupuesto de potencia.....	78
4.5	Simulación de la red NGPON2 mediante el software OptiSystem.....	79
4.5.1	Desarrollo de la simulación.....	80
4.5.2	Terminal de Línea Óptica (OLT)	81
4.5.3	Red de Distribución Óptica.....	82
4.5.4	Unidad de Red Óptica (ONU).....	83
4.6	Análisis del rendimiento de la red NG-PON2.....	84
4.6.1	Usuario más lejano	86
4.6.2	Usuario más cercano	89
4.7	Análisis de Rentabilidad Económica de la red NG-PON2.....	92
4.7.1	Presupuesto de los Elementos Activos de la red NG-PON2.....	93
4.7.2	Presupuesto de los Elementos Pasivos de la red NG-PON2.....	93
4.7.3	Presupuesto Total de la Red NG-PON2	95
4.7.4	Cálculo de Rentabilidad Económica del Proyecto	96
CAPÍTULO V		101
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
5.1	Conclusiones.....	101
5.2	Recomendaciones	103
6.	BIBLIOGRAFIA	104
ANEXOS		108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros para certificar una red FTTH GPON (ITU-T G.984.x).....	27
Tabla 2. Parámetros máximos y mínimos de atenuación según la clase de la ODN	28
Tabla 3. Descripción General de la Normativas técnicas UIT G.987.X	30
Tabla 4. Tasas nominales por canal de un sistema NG-PON2.....	33
Tabla 5. Plan de longitudes de onda NG-PON2.....	35
Tabla 6. Plan de frecuencias centrales del canal descendente TWDM.....	36
Tabla 7. Clases de tiempo de sintonización en NGPON2.....	38
Tabla 8. Pérdidas máximas y mínimas en el trayecto óptico según la clase de ODN	38
Tabla 9. Recomendaciones UIT-T de la serie G.989.X para NGPON2	39
Tabla 10. Capacidad de ancho de banda por servicio para el sector residencial y comercial	51
Tabla 11. Capacidad de ancho de banda por servicio para el sector residencial y comercial NG-PON2.....	52
Tabla 12. Ancho de banda del primer nivel de splitter	53
Tabla 13. Ancho de banda del segundo nivel de splitter.....	54
Tabla 14. Ubicación de los Nodos	57
Tabla 15. Cajas de Primer Nivel.....	57
Tabla 16. Fibra Óptica Trocal.....	57
Tabla 17. Cajas de Distribución (NAP)	61
Tabla 18. Modelos de ONU propuestos para la red NG-PON2	65
Tabla 19. Transceptor ONU LTW2601-BC+ NG-PON2	66
Tabla 20. OLT para la red NG-PON2.....	67
Tabla 21. Transceptor OLT LTF62XX SFP+ para NG-PON2	68
Tabla 22. Módulo HyOptic Wavelength Mux WM1	69
Tabla 23. Especificaciones Técnicas	69
Tabla 24. Canales del Módulo HyOptic 5CH WDM.....	70
Tabla 25. Especificaciones Técnicas	70

Tabla 26. Elementos de la red Feeder	71
Tabla 27. Elementos de la red de Distribución.....	71
Tabla 28. Elementos red de dispersión	72
Tabla 29. Distancia cliente más lejano.....	73
Tabla 30. Pérdidas del usuario más lejano	75
Tabla 31. Distancia usuario más cercano	76
Tabla 32. Perdidas del usuario más cercano.....	77
Tabla 33. Potencia óptica recibida para un espacio entre canales de 0,85 nm y 0,426 nm.	86
Tabla 34. BER para un espacio entre canales de 0,85 nm y 0,426 nm	87
Tabla 35. Potencia óptica recibida para un espacio entre canales de 0,85 nm y 0,426 nm.	89
Tabla 36. BER para un espacio entre canales de 0,85 nm y 0,426 nm	90
Tabla 37. Costos Totales de Equipos Activos	93
Tabla 38. Costos de la Red Feeder.....	94
Tabla 39. Costos de la Red de Distribución	94
Tabla 40. Costos de la Red de Dispersión.....	95
Tabla 41. Costos de Canalización.....	95
Tabla 42. Presupuesto total de la red NG-PON2 diseñada.....	96
Tabla 43. Ingresos del Proyecto.....	97
Tabla 44. Egresos del Proyecto	97
Tabla 45. Cálculo del Flujo de Efectivo Neto y Valor Actual	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Arquitectura GPON[10]	26
Figura 2. Arquitectura de referencia de la red de acceso XGPON[9]	29
Figura 3. Atenuación y dispersión de la fibra monomodo ITU.T G.652[9]	32
Figura 4. Arquitectura de referencia lógica NG-PON2[12].....	33
Figura 5. Servicios de implementación de NG-PON2[15]	41
Figura 6. Arquitectura De Redes FTTx[7].....	44
Figura 7. Ubicación geográfica del Barrio Juan de Velazco.....	47
Figura 8. Red Feeder.....	56
Figura 9. Herrajes utilizados en la Red Feeder.....	58
Figura 10. Red De Distribución.....	60
Figura 11. Herrajes utilizados en la Red de Distribución	62
Figura 12. Red NG-PON2 aplicada a redes FTTH para el Barrio Juan de Velasco.....	63
Figura 13. Software OptiSystem [36]	79
Figura 14. Interfaz de usuario[36]	80
Figura 15. OLT (Optical Line Termination)	82
Figura 16. ODN (Optical Distribution Network)	83
Figura 17. ONT (Óptico Network Terminal)	84
Figura 18. Simulación red NG-PON2.....	84
Figura 19. Señal recibida en el equipo ONU – 0,85 nm.....	88
Figura 20. Señal recibida en el equipo ONU – 0,425 nm	89
Figura 21. Señal recibida en el equipo ONU – 0,85 nm.....	91
Figura 22. Señal recibida en el equipo ONU – 0,425 nm	92

RESUMEN

El objetivo de la investigación es Estudiar, Diseñar y Simular una red NG-PON2, para analizar su rendimiento en el Barrio Juan de Velasco, en el que se hizo un estudio de la tecnología NG-PON2, a fin de entender su estructura y funcionamiento, posteriormente se realizó el estudio de mercado y estudio de la demanda del Barrio Juan de Velasco, información que permitió diseñar la red NG-PON2 aplicada a redes FTTH, la cual posee una arquitectura en cascada con 2 niveles de splitter y consta de tres partes: Red Feeder, Red de Distribución y Red de Dispersión. Seguidamente se simuló la red diseñada mediante el software OptiSystem con el objetivo de analizar su rendimiento, los resultados obtenidos del proyecto se basan en los efectos de las no linealidades de Kerr y Raman, donde se consideró parámetros como la potencia de transmisión, longitud del enlace óptico y la separación entre canales y se demostró que el espacio entre canales en una red NG-PON2, influye en el rendimiento general del sistema óptico; al disminuir a la mitad (0,425 nm) el espacio entre canales de las frecuencias centrales del canal descendente TWDM (0,85 nm) de la tecnología NG-PON2, el rendimiento de la red NG-PON2 en el barrio Juan de Velasco es mejor. Así mismo, se presentó los resultados del BER (Bit Error Rate) de la red NG-PON2, tanto para el usuario más lejano como para el usuario más cercano, los que resultaron satisfactorios, pues se encuentran dentro del rango de los parámetros estipulados por la norma UIT-T G.989.2, lo cual permite tener una comunicación óptima entre equipos activos y elevar la velocidad de las redes FTTH. Por lo tanto, se recomienda la implementación de redes con tecnología NG-PON2, ya que brindan solución a los problemas de velocidad y ancho de banda que presentan actualmente las redes PON.

Palabras claves: NG-PON2, FTTH, Ancho de Banda, Rendimiento, Potencia, BER (Bit Error Rate).

ABSTRACT

The objective of the research was to Study, Design and Simulate an NG-PON2 network, to analyze its performance in the Juan de Velasco neighborhood, in which a study of the NG-PON2 technology was made, in order to understand its structure and operation. , subsequently the market study and study of the demand of the Juan de Velasco neighborhood was carried out, information that allowed the design of the NG-PON2 network applied to FTTH networks, which has a cascading architecture with 2 splitter levels and consists of three parts : Feeder Network, Distribution Network and Dispersion Network. Next, the network designed using the OptiSystem software was simulated in order to analyze its performance, the results obtained from the project are based on the effects of Kerr and Raman nonlinearities, where it was considered parameters such as transmission power, link length optical and the separation between channels, demonstrating that the space between channels in a network NG-PON2, influences in the general performance of the optical system; By halving (0.425 nm) the space between channels of the central frequencies of the TWDM downstream channel (0.85 nm) of the NG-PON2 technology, the performance of the NG-PON2 network in the Juan de Velasco neighborhood is better . Likewise, the results of the BER (Bit Error Rate) of the NG-PON2 network were presented, both for the most distant user and for the closest user, which were satisfactory, since they are within the range of the parameters stipulated by the ITU-T G.989.2 standard, which allows optimal communication between active equipment and increases the speed of FTTH networks. Therefore, the implementation of networks with NG-PON2 technology is recommended, since they provide a solution to the speed and bandwidth problems that PON networks currently present.

Keywords: NG-PON2, FTTH, Bandwidth, Performance, Power, BER (Bit Error Rate).



JHON JAIRO INCA
GUERRERO

Lcdo. Jhon Inca Guerrero.

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0604136572

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El actual proyecto de grado presenta el Estudio, Diseño y Simulación de una red NG-PON2 para analizar su rendimiento en el Barrio Juan de Velasco, el que se basa en la necesidad de dar solución a los problemas de velocidad y ancho de banda que presentan actualmente las redes PON, a través de la tecnología NG-PON2, que ofrece una mayor capacidad de ancho de banda que va desde los de 40 Gb/s hasta 80 Gb/s.

Para empezar con el desarrollo del proyecto se hace un estudio de las características principales de la tecnología NG-PON2, su arquitectura, plan de longitudes de onda, pérdidas en el trayecto óptico según la clase de ODN y una revisión de la Normativa técnica UIT G.989.X, por último, se presentan los beneficios de la tecnología y sus aplicaciones.

Seguidamente se realiza el estudio de mercado y estudio de la demanda del Barrio Juan de Velasco, información que se emplea en el diseño de la red NG-PON2, aplicada a redes FTTH, la cual posee una arquitectura en cascada con 2 niveles de splitter y consta de tres partes: Red Feeder, Red de Distribución y Red de Dispersión.

Posteriormente, se simula la red diseñada mediante el software OptiSystem, el diseño de la Red NG-PON2 consta de 27 subsistemas, el primer subsistema representa el equipo OLT, el segundo subsistema el equipo de recepción ONU y los 25 subsistemas restantes, figuran las cajas de primero y segundo nivel, asimismo, se coloca analizadores y visualizadores de la señal en todo el recorrido del enlace óptico y en el equipo de recepción ONU, a fin de analizar el rendimiento del sistema, el cual se basa en los efectos de las no linealidades de Kerr y Raman, donde se considera parámetros como la potencia de transmisión, longitud del enlace óptico y la separación entre canales. Por último, se elabora un informe de los resultados y se presentan las conclusiones y recomendaciones.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hoy en día toda empresa que brinde servicios de telecomunicaciones debe contar con equipos necesarios y diseños de redes que permitan obtener la mayor velocidad de transmisión de datos posible, de tal manera que sea factible cumplir con los requerimientos y expectativas de los clientes. De esta forma, a lo largo de los años se han creado nuevos estándares aplicables a diversas tecnologías de red, que buscan optimizar significativamente

su rendimiento. Como es hoy en día el estándar NG-PON2, que permite elevar la velocidad de las redes FTTH hasta los 40 Gbps.

Varias instituciones de renombre como la empresa global CISCO, la universidad de investigación Cornell de Nueva York y la empresa de tecnología Ookla, han elaborado estudios sobre el rendimiento de las redes PON actuales, siendo preocupante los problemas de velocidad y ancho de banda que poseen dichas redes.

Se considera como causas principales: el incremento de los usuarios con acceso a internet en los últimos años, el impacto de la pandemia de COVID-19 en la latencia del internet y la demanda de los usuarios por servicios de internet con mayor ancho de banda.

A consecuencia de la pandemia se han reflejado aspectos negativos a nivel mundial referentes a las telecomunicaciones, donde al cerrarse la mayoría de escuelas, universidades y empresas, los trabajadores y estudiantes se vieron en la necesidad de continuar con su rutina de manera virtual, haciendo uso de plataformas con servicios de videoconferencias, además, al no poder salir de sus hogares, actividades como juegos en línea, redes sociales, servicios de streaming se volvieron muy populares entre la población, provocando retardos temporales en la red [1].

La universidad de investigación Cornell de Nueva York, en su *estudio Impact of the COVID-19 pandemic on the Internet latency: a large-scale study* [1], señala que a nivel de Europa, la latencia promedio producida es de tres a cuatro veces mayor que antes de la pandemia, así como la pérdida de paquetes es entre dos a tres veces mayor, donde observaron que los cambios más importantes se dan en horas de la tarde, resultando que la mayoría de las actividades están relacionadas con el entretenimiento y en un grado menor con el trabajo y la educación virtual

De acuerdo al pronóstico realizado por el informe anual de internet de CISCO, para el periodo 2018-2023 [2], refiere que los usuarios con acceso a internet aumentarán a casi dos tercios de la población mundial para 2023 que representa 5.3 mil millones de usuarios conectados a internet, un total del 66% de la población mundial a comparación de los 3.9 mil millones de usuarios con acceso a internet en 2018 que representan el 51% de la población mundial.

Con respecto a la cantidad de dispositivos conectados a redes IP, Cisco indica que habrá 3.6 dispositivos en red per cápita representando 29.3 mil millones de dispositivos en la red para el 2023, frente a 2.4 dispositivos en red per cápita que representa 18.400 millones de dispositivos en la red en 2018 [2]

Ecuador es uno de los países con la velocidad de internet de banda ancha fija promedio más baja actualmente, según el índice global de prueba de velocidad SpeedTest [3], el promedio mundial de velocidad de descarga de banda ancha fija es de 105.15 Mbps, siendo Singapur el país con mayor velocidad promedio de 250.35 Mbps, Ecuador se encuentra en el puesto 106 con un promedio de velocidad de 32.33 Mbps y a nivel Latinoamericano según un informe redactado por diario el Universo [4], Ecuador está ubicado en el décimo puesto siendo superados por países como Chile, Puerto Rico, Uruguay, Panamá, Paraguay, Brasil, Perú, México y Argentina.

En relación a las soluciones de conectividad la demanda de los usuarios por servicios de internet con mayor ancho de banda cada vez aumenta, servicios como: televisión en alta definición, videoconferencia, videojuegos en línea, internet de las cosas, cloud computing, entre otros, provocando en la actualidad problemas de velocidad y ancho de banda en las redes ópticas pasivas (PON), siendo la causa principal de nuestra investigación y es la razón por la que se propone estudiar, diseñar y simular una red NG-PON2 que ofrece mayor ancho de banda.

En Ecuador el Plan Nacional de Telecomunicaciones y Tecnologías de Información, presenta como macro objetivo el completar y fomentar el despliegue de infraestructura de telecomunicaciones, donde plantea el aumentar el porcentaje de hogares que se encuentran a menos de 1.5 Km de la red de fibra óptica, indicando que este es un requisito clave para aumentar la penetración de banda ancha en el país, lo que ayudará a encontrarnos preparados para migrar en un futuro a nuevos estándares, como son las redes de siguiente generación NG-PON2, ya que no haría falta cambiar la fibra actual para hacer uso de esta tecnología [5].

1.2 JUSTIFICACIÓN

Las empresas de telecomunicaciones en el Ecuador no se encuentran ajenas al impacto de latencias generadas por el incremento en la demanda de red por parte de los usuarios, cada día la tecnología avanza y nuevos estándares de red se crean para suplir estas necesidades. Esta es la importancia de un estudio constante sobre nuevos estándares que posiblemente puedan ser implementados a futuro. En la actualidad miles de dispositivos se conectan a la red cada día, aumentando la demanda del internet de banda ancha fija en los hogares.

En un futuro esta demanda no disminuirá, muchos más usuarios harán uso de diferentes servicios en plataformas de internet saturando mucho más las redes PON actuales, al punto en que las empresas se verán en la necesidad de actualizar sus estándares de red.

La presente investigación se considera viable, pues se dispone de los recursos económicos, humanos y de las fuentes de información necesarias, para llevarlo a cabo. En el aspecto social el estudio, diseño y simulación de una red NG-PON2, busca entender el comportamiento, la eficacia y el rendimiento de un nuevo estándar de red, con el fin de proporcionar información útil sobre el mismo, incentivando así a futuros investigadores a una posible implementación de red.

El proyecto se realizó en el barrio Juan de Velasco de la ciudad de Riobamba, un barrio en desarrollo que cuenta con restaurantes, locales, tiendas, casas y departamentos, lo cual repercute en una tasa de ancho de banda por hogar muy variado, por lo que se consideró a este barrio adecuado para nuestra investigación, además, al poseer afinidad con los residentes del este permitió que la recopilación de información se pueda obtener con una mayor soltura y facilidad.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General

- Estudiar, Diseñar y Simular una red NG-PON2 para analizar su rendimiento en el Barrio Juan de Velasco

1.3.2 Específicos

- Estudiar las redes NG-PON2 con el fin de entender su estructura y funcionamiento.
- Diseñar una red NG-PON2 aplicada a redes FTTH en el Barrio Juan de Velasco.
- Simular la red diseñada mediante el software OptiSystem.
- Analizar el rendimiento de la red NG-PON2 simulada.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

El uso de la fibra óptica en redes de acceso es una tendencia creciente en el mundo de las telecomunicaciones y fundamentalmente en redes ópticas pasivas (PON), por las ventajas en costes y velocidades que presentan. Una red PON es una red de fibra óptica que utiliza una topología de punto a multipunto además de divisores ópticos para transmitir datos desde un único punto de transmisión a múltiples puntos finales de usuario. En este contexto, "pasivo" significa que la fibra, el divisor y el combinador no serán alimentados. A diferencia de las redes ópticas activas, en este tipo de redes PON únicamente es necesario suministrar energía en los puntos de transmisión y recepción, esto hace que las redes PON, sean más rentables [6].

Dicha tecnología se fue popularizando gracias al abaratamiento de la fibra óptica a mediados de los años 90, los operadores y fabricantes apostaron por impulsar las redes PON. En 1995, se creó el FSAN (Full Service Access Network) para promover estándares que cumplan con requisitos específicos; El primer estándar creado por el FSAN fue APON o ATM PON, seguido de la tecnología BPON (Broadband PON) en 2001 y luego la tecnología EPON (Ethernet PON) en 2004, creado por el grupo EFM (Ethernet First Mile). Unos meses antes que EPON, se definió la red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit, llamada GPON, que actualmente es el tipo de red que podemos encontrar en casi todo el mundo [7].

La Red óptica pasiva Gigabit posee velocidades superiores a 1 Gbps; Tanto en subida como en bajada de la información que se envía a través de la misma fibra óptica, esto es posible mediante la multiplexación WDM (Wavelength Division Multiplexing) y puede admitir hasta 64 usuarios en condiciones normales, con un alcance máximo de 60 km [7]. Esta tecnología se encuentra bajo los estándares de la ITU-T, compuesto por las recomendaciones: G984.1, G984.2, G984.3, G984.4 y G984.5 [8].

Con la tecnología GPON se pretendía dar solución a las carencias que presentaban los anteriores estándares PON, sin embargo, la demanda de los usuarios por servicios con mayor ancho de banda, como los servicios de P2P, HDTV, 3DTV, 3D interactivo, Internet de las cosas y la computación en la nube, el impacto de la pandemia del COVID-19 y el gran incremento de los usuarios con acceso a internet, convirtieron a la tecnología GPON en un cuello de botella de ancho de banda [1].

Las empresas que brindan servicios de telecomunicaciones deben contar con equipos necesarios y diseños de redes que permitan obtener la mayor velocidad de transmisión de datos posible, de tal manera que sea factible cumplir con los requerimientos y expectativas de los clientes. De esta forma, a lo largo de los años se han creado nuevos estándares aplicables a diversas tecnologías de red, que buscan optimizar significativamente su rendimiento.

FSAN y el UIT-T son el grupo de interés de las redes PON y la organización del estándar, respectivamente, después de las recomendaciones GPON, FSAN y UIT-T continuaron su investigación, generando la evolución de la tecnología GPON, a la próxima generación PON: NG-PON1 y NG-PON2.

Las redes NG-PON1 (XG-PON) se caracterizan por aprovechar el uso de las redes existentes de GPON para abaratar los costos impulsados por los servicios [8].

El estándar NG-PON1 (XG-PON) se define como un sistema 10G asimétrico con tasas de 10G descendente y 2.5G en sentido ascendente. XG-PON es esencialmente una PON TDM mejorada de GPON, esto permite que las dos tecnologías coexistan en la mismo ODN, lo que facilita la transición gradual entre tecnologías. De esta forma, los clientes individuales pueden migrar a esta red en el mismo ODN y vivir en comunidad con los clientes de GPON, sin afectar los servicios de otros clientes [8].

En el caso del estándar NG-PON2, se propone un cambio completamente disruptivo, por lo que no tiene ninguna posibilidad de convivencia con GPON en el mismo ODN. La red óptica pasiva de generación 2, apareció en la recomendación UITG.989 para redes pasivas de fibra óptica con velocidades de hasta 40Gbit/s por puerto y permite la convergencia de múltiples servicios de red sobre una simple ODN, lo que resulta un ahorro significativo para los propietarios de las redes, al mismo tiempo que permite la introducción de nuevas arquitecturas que se ajustan eficientemente para atender la demanda de los clientes.

NG-PON2 utiliza multiplexación por longitud de onda y tiempo (TWDM) y soporta un mínimo de cuatro longitudes de onda por cada fibra, haciéndolo el primer estándar multilambda de la industria [9].

Con el fin de entender la estructura y funcionamiento del estándar NG-PON2, a continuación, se describe la tecnología GPON y la evolucionó a la próxima generación PON, la que se divide en dos fases: NG-PON1 y NG-PON2 [37], siendo esta última el objeto de estudio del presente trabajo de titulación.

2.2 Tecnología GPON

El estándar GPON alcanza velocidades de transmisión iguales o superiores a 1.2 Gb/s, habiendo definido dos modalidades distintas de tasas de transferencia:

Descendente: 2.4 Gb/s, Ascendente: 1.2 Gb/s,

Descendente: 2.4 Gb/s, Ascendente: 2.4 Gb/s.

De entre las dos modalidades que ofrece, la tasa de transferencia de mayor importancia es la 2.4 Gb/s en sentido descendente y de 1.2 Gb/s en sentido ascendente, constituyendo casi la totalidad de los despliegues GPON actuales y planificados a futuro [7].

Los parámetros de potencia de transmisión y sensibilidad referidos a GPON al sistema (2.4 Gb/s descendente, 1.2 Gb/s ascendente), tanto para las ONUs como para las OLTs son los siguientes [38].

OLT

Potencia media de transmisión (MIN): +1.5 dBm

Potencia media de transmisión (MAX): +5 dBm

Sensibilidad mínima: -28 dBm

ONU

Potencia media de transmisión (MIN) +0.5 dBm

Potencia media de transmisión (MAX) +5 dBm

Sensibilidad mínima -27 dBm

GPON al ser un sistema de fibra única, en el que la comunicación dúplex se ofrece a través de un único cable, el rango de longitudes de onda de la señal descendente se especifica entre 1480 nm a 1500 nm, mientras que en el sentido ascendente se ubica de 1260 nm a 1360 nm. Adicional fueron reservados ciertos rangos de longitudes de onda con la finalidad de permitir la coexistencia de GPON con otros servicios, tales como servicios de video y NGA (Next Generation Access), además de especificar un grado de tolerancia para las posibles interferencias entre distintas ONUs GPON[10].

La tecnología GPON utiliza técnicas de multiplexación de datos para combinar diversas señales en el mismo medio de transmisión. Concretamente, utiliza multiplexación por división de longitud de onda (WDM - Wavelength Division Multiplexing) para facilitar comunicaciones bidireccionales sobre una sola fibra [11].

Esta capacidad de comunicación bidireccional y simultánea no está implementada sobre la planta externa de la red, sino que se integra directamente en las ONUs y OLTs. Para ello,

estos elementos disponen de filtros internos integrados, que habilitan la separación entre las longitudes de onda de los canales de subida y bajada.

Por otro lado, para separar las señales pertenecientes a múltiples usuarios en una sola fibra, GPON acude a mecanismos de multiplexación de división de tiempo. Particularmente, articula una comunicación PtM mediante TDM para la transmisión de paquetes en sentido descendente y un modo TDMA para el enlace PtP ascendente.

La comunicación en sentido descendente será por consiguiente de tipo PtM, donde la OLT envía una serie de contenidos hacia el divisor de potencia para que este se encargue de repetirlos a todas las ONUs, las cuales llevarán a cabo un filtrado sobre la señal para dejar pasar al usuario solo aquellos contenidos de los cuales sea destinatario. Este planteamiento presenta problemas de seguridad de la información, pudiéndose acudir a mecanismos de cifrado en caso de que la confidencialidad de los datos sea una prioridad para el operador y/o el usuario [12].

En sentido ascendente, se establece una comunicación PtP donde las diferentes ONUs transmiten los datos generados por los usuarios hacia la OLT. Por su parte, la OLT se encarga de controlar la operación del canal ascendente, mediante la asignación de ventanas temporales a las distintas ONUs activas. Se requiere un mecanismo de control de acceso a los medios para evitar conflictos, y asignar el ancho de banda disponible a diferentes usuarios[13].

Dado que el divisor de potencia es un componente pasivo, es importante que los paquetes ascendentes que recibe estén perfectamente sincronizados para pueda formar una trama GPON. Por lo tanto, la OLT necesita conocer la distancia a la que se encuentra cada ONU, para poder tener en cuenta el retardo de transmisión correspondiente [13].

El rango físico o distancia de fibra corresponde a la distancia física máxima entre la ONU/ONT y la OLT. GPON define dos opciones diferentes para su alcance físico que son de 10 km y 20 km. Se asume que el alcance de 10 km es la distancia máxima que puede ser utilizada en la ONU para altas velocidades de bits (1,25 Gb/s o superiores).

La distancia máxima de fibra diferencial, representa la máxima diferencia de alcance entre todas las ONUs, es decir, la máxima diferencia de distancia de fibra entre la ONU más lejana y la más cercana. Este parámetro tiene un valor de 20 km en GPON[39].

Una relación de división (split ratio) elevada supone una capacidad de penetración favorable para los operadores. No obstante, este incremento de la relación de división, implica tener que inyectar un mayor nivel de energía óptica para poder soportar el alcance físico deseado[7].

2.2.1 Arquitectura de la red GPON

La red GPON está compuesta por:

OLT: Transmite señales enviadas desde el ISP hasta el usuario final

ODN: Canal físico conformado por la red de Fibra Óptica y los Splitters.

ONT/ ONU: Equipos terminales colocados en el usuario final.

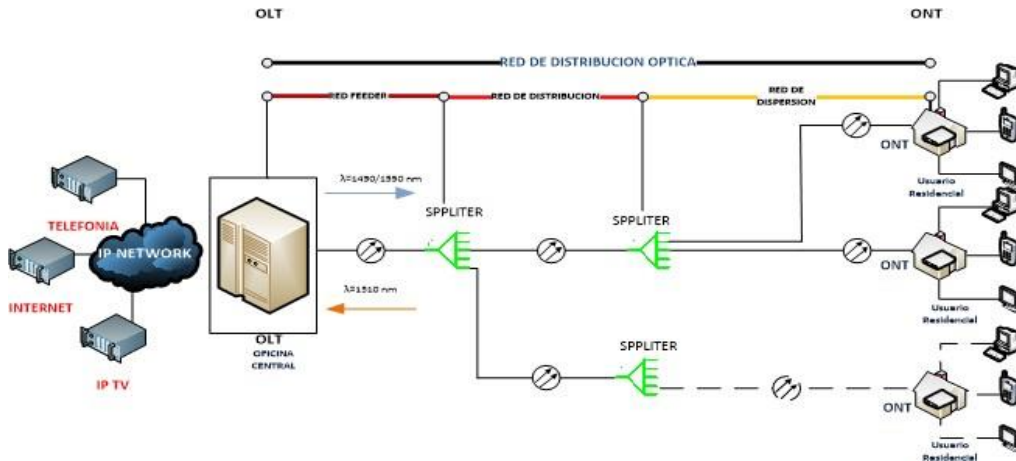


Figura 1. Arquitectura GPON[10]

OLT (Terminal de Línea Óptica)

Uno de los componentes más importantes de las redes GPON es la OLT que es un elemento activo que se encuentra en la sala de control central perteneciente al proveedor de servicios. Es un dispositivo que convierte señales eléctricas que utilizan los equipos del ISP a señales transmitidas por fibra óptica que son utilizadas por la red óptica pasiva. Esta llega hacia el usuario final y es capaz de manejar una gran cantidad de clientes.

Actúa como un proveedor de los servicios de punto final para la red GPON, proporcionando una interfaz de la red de acceso óptico (OAN) y permitiendo la conexión a una o más ODNs (Red de distribución óptica) [7].

ODN (Red de distribución óptica)

La ODN está compuesta por un cable alimentación o almacenamiento, que conecta el puerto del ODF (Armarios de Distribución Óptica) con la entrada principal del divisor óptico primario 1xn ó 2xn; y dependiendo de la atenuación, las salidas de los splitters secundarios del tipo 1xn a través de cables de distribución que se conectan a los equipos terminales (ONTs), mediante una caja de distribución y cables tipo Drop [13].

ONU (Unidad de Red Óptica)

La Unidad de Red Óptica es un dispositivo terminal que transforma señales de luz transmitidas por fibra óptica en señales eléctricas para ser enviadas por cobre, utiliza tres longitudes de onda diferentes entre la ONT y la OLT, las cuales son: 1310 nm, 1490 nm y 1550 nm [7].

2.2.2 Normativas técnicas UIT G.984.X

A continuación, se presenta el conjunto de recomendaciones que describen las redes GPON, la norma ITU-T G.984.x (x = 1, 2, 3, 4, 5, 6), que ayuda a tomar bases en el diseño y certificación de topologías GPON y proporciona un criterio amplio que busca optimizar los recursos como elementos pasivos, además de proyectar diseños ideales para evitar trabajos después de la construcción. En la Tabla 1, se detalla los parámetros más importantes para certificar una red FTTH GPON [14].

Tabla 1. Parámetros para certificar una red FTTH GPON (ITU-T G.984.x)

Norma ITU-T G 984.x				
ITU-T	Características generales.	Arquitectura del sistema OAM. Tipos de interfaz: servicio, usuario. Alcance lógico.	Tipos de servicio. Tasa física de transmisión y recepción. Rendimiento del sistema.	
G.984.1 (ITU-T, 2011)				
ITU-T G.984.2 (ITU-T, 2012)	Medios físicos dependientes.	Parámetros Class B+ Potencia óptica máxima Potencia óptica mínima Sensibilidad mínima Potencia óptica mínima de sobrecarga	ONT + 5 dBm +0,5 dBm -27 dBm - 8 dBm	OLT + 5 dBm +1,5 dBm -28 dBm - 8 dBm
ITU-T G.984.3 (ITU-T, 2014)	Convergencia de transmisión	Subcapas GPON TC Rango	Formato de trama Seguridad Ancho de Banda Dinámico. Operaciones, administración y mantenimiento.	
ITU-T G.984.4 (ITU-T, 2011)	Gestión ONT, especificación de la interfaz de control.	Interoperabilidad entre OLTs y ONTs de diferentes proveedores.		
ITU-T G.984.5 (ITU-T, 2014)	Mejoramiento de banda.	Define longitudes de onda reservados para las señales de servicio adicionales utilizando WDM en la futura red GPON. Especifica los requisitos técnicos para la aplicación del filtro de longitud de onda en la ONT.		
ITU-T G.984.6 (ITU-T, 2012)	Mayor alcance.	Describe los parámetros de la arquitectura y la interfaz para los sistemas GPON con mayor alcance.		

Nota: Normativa ITU-T G984.x. [14]

2.3 Tecnología NG-PON1

Las redes NG-PON1 (XG-PON) son redes pasivas de nueva generación desarrolladas por el grupo de trabajo NG-PON de la FSAN y estandarizada en la recomendación ITU-T G.987, utiliza fibras monomodo ITU-T G.652, las cuales también son usadas en tendidos de redes GPON, lo que demuestra características de compatibilidad con otras tecnologías.

En cuanto al plan de longitudes de onda se utiliza la banda O, que comprende longitudes de onda entre 1260 nm y 1280 nm para el enlace de subida; y, la banda C con longitudes de onda entre 1575 nm y 1580 nm para el enlace de bajada[15].

Existen dos tipos de XG-PON según su velocidad de transmisión:

- XG-PON con velocidades de transmisión asimétricas de 10 Gb/s en el enlace de bajada y 2.5 Gb/s en el enlace de subida.
- XG-PON con velocidades de transmisión simétricas de 10 Gb/s tanto en el enlace de bajada como en el enlace de subida.

Puesto que la mayoría de las redes XPON han sido implementadas con una relación de división máxima de 1:32 y 1:64, XG-PON toma como requisito mínimo una división en los splitters de 1:64 para ser compatible con GPON, con la opción de escalabilidad a relaciones de 1:128 y 1:256 debido al interés que presentan ciertos operadores por alcanzar una división más amplia de la que ofrece GPON [9].

XG-PON en coexistencia con GPON presenta un presupuesto óptico de clase B+ para alcanzar una distancia máxima de cobertura de 20 Km con una relación de división de 1:128, también permite alcanzar distancias de 30 Km reduciendo la relación de división a 1:64. Además, utiliza un presupuesto de potencia de clase C+ con un aumento de 4 dB al margen óptico para alcanzar una distancia de 60 Km [12].

En la tabla 2, se muestra los parámetros máximos y mínimos de atenuación para las clases de ODN mencionados.

Tabla 2. Parámetros máximos y mínimos de atenuación según la clase de la ODN

Clase	Pérdidas mínimas (dB)	Pérdidas máximas (dB)
Clase B+	13	28
Clase C+	17	32

Nota: Se indican los parámetros máximos y mínimos de atenuación. [9]

2.3.1 Arquitectura de la red NG-PON1

El sistema XGPON LAN puede ser activa o pasiva, con una arquitectura punto a punto o punto a multipunto. XGPON amplía la capacidad heredada del estándar GPON, para producir un margen de potencia adicional a fin de lograr comunicaciones en distancias más largas y/o un factor de división de potencia óptica pasiva superior.

La configuración de referencia de XGPON a alto nivel es muy similar a la red GPON. En la Figura 2 se presenta la arquitectura de referencia de la red de acceso óptico (OAN) aplicada a XGPON. Se aprecia como la ODN en XGPON, puede consistir en un único segmento de distribución óptica pasivo (ODS - Optical Distribution Segment), o bien puede estar formado por un grupo de ODSs pasivos interconectados entre si mediante extensores de alcance (RE - Reach Extenders) [9].

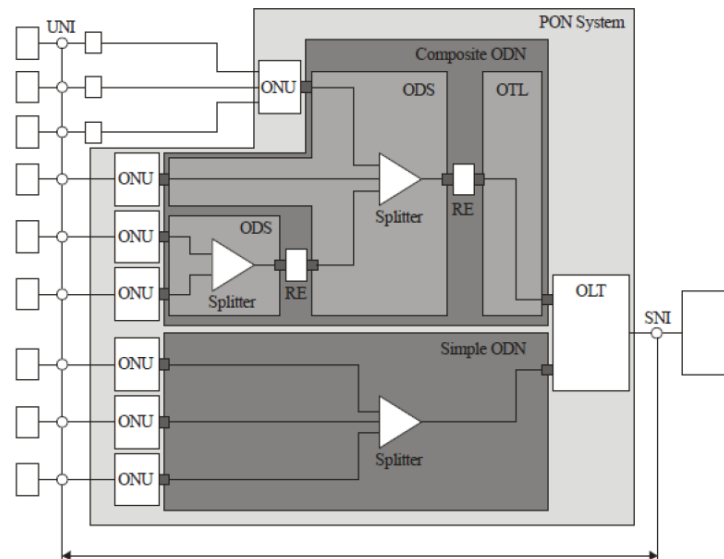


Figura 2. Arquitectura de referencia de la red de acceso XGPON[9]

La red de acceso óptico da lugar a un sistema global resultante que puede transmitir grandes volúmenes de datos como resultado de la contribución de cada una de las arquitecturas individuales.

UNI (User Network Interface), es el punto físico que representa la delimitación entre el dominio del cliente y el dominio del proveedor del servicio, mientras que SNI (Service Node Interface) prevé una forma de acceso a las funciones del nodo de servicio (service node function) [9].

2.3.2 Normativas técnicas UIT G.987.X

XGPON se encuentra definida por el estándar ITU G.987. Esta recomendación mantiene características de sus tecnologías predecesoras UIT-T G.983.x (APON y BPON) e IUT-T G.984.x (GPON), con el propósito de promover la compatibilidad con las redes de distribución óptica (ODN) de las tecnologías mencionadas.

Además, la recomendación permite la coexistencia GPON y XG-PON sobre la misma infraestructura de fibra mediante la incorporación de un elemento de coexistencia denominado WDM1r, que permite combinar las longitudes de onda asignadas a cada estándar, así como también el servicio de video RF. Sus títulos y contenidos provisionales se resumen en la Tabla 3, donde se proporciona una descripción general de G.987.1 a G.987.4 [16].

Tabla 3. Descripción General de la Normativas técnicas UIT G.987.X

Número	Título	Contenido
G.987.1	XG-PON: requisitos generales	Requisitos para servicios, interfaces a otros sistemas, escalabilidad (distancia, relación de división, etc.), y así sucesivamente.
G.987.2	XG-PON: especificación de capa dependiente de medios físicos (PMD)	Especificaciones de parámetros ópticos de señales transmitidas y recibidas entre OLT y ONU, así como características de trayecto óptico entre OLT y ONU.
G.987.3	XG-PON: convergencia de transmisión especificación de capa	Especificaciones de estructura de trama, mecanismo TDMA, esquema de activación de ONU, método de encriptación, etc.
G.987.4	G-PON: Gestión de ONU y especificación de interfaz de control (OMCI)	Especificaciones de los formatos de protocolo y mensaje de la base de información de gestión para gestionar/controlar las ONU XG-PON

Nota: Se describe la normativa técnica G.987.x. [16]

2.4 Tecnología NG-PON2

El estándar de Red Óptica Pasiva de Próxima Generación (NG-PON2), corresponde a la segunda fase, propuesto por el grupo de trabajo FSAN y está estandarizada en la recomendación UIT-T G.989. Esta recomendación mantiene características similares a las de sus tecnologías predecesoras con la finalidad de promover la compatibilidad de las ODN existentes y reducir los costos de implementación. Esto da como resultado una reducción significativa en el costo total de propiedad (TCO), al tiempo que permite la introducción de nuevas arquitecturas eficientes que se ajustan profundamente para satisfacer las demandas emergentes de los suscriptores[15].

NG-PON2 especifica dos tecnologías: TWDM-PON (multiplexación por división de tiempo y longitud de onda PON) como solución de un servicio compartido y PtP WDM-PON (Point to Point multiplexación por división de longitud de onda PON) como solución de un servicio dedicado [17].

En TWDM PON, las ONUs tienen asignado un slot temporal, con lo que se consigue un acceso múltiple no sólo por división de longitud de onda, sino también por división de tiempo. Así, cada ONU tiene asignado un slot temporal, y unas longitudes de onda de bajada y subida, que son compartidas a su vez por otras ONUs pertenecientes al mismo subgrupo del total de ONUs existentes en la ODN.

Por otro lado, PtP WDM está pensado para soportar servicios dedicados en los que se necesita una comunicación sostenida y de alta capacidad. A diferencia de la configuración TWDM, en la que las longitudes de onda de subida y baja son compartidas por conjuntos de ONUs, en el planteamiento PtP WDM que se asignan solo dos longitudes de onda para cada usuario de manera exclusiva, una para subida y otra para bajada.

Esto hace que PtP WDM en NGPON2, sea único en comparación con los conceptos de sistemas anteriores que acuden a mecanismos TDM (multiplexación por división de tiempo) de una forma u otra, ya que este establece canales WDM únicos y dedicados por conexión sin emplear ningún tipo de multiplexación en el tiempo [17].

Esta tecnología fue concebida no solo para dar servicio a usuarios residenciales, sino que va más allá de servicios empresariales que requieren un mayor ancho de banda y está presente también en el backhaul móvil [18].

NG-PON2 como la mayoría de las redes de acceso, utiliza fibra monomodo ITU-T G.652, esta fibra depende de la longitud de onda en la que trabaja. En la figura 3, se muestra la atenuación de la fibra monomodo sobre el espectro óptico; donde se distingue que las

bandas de interés C y L que pertenecen al sistema NG-PON2, presentan atenuaciones bajas.

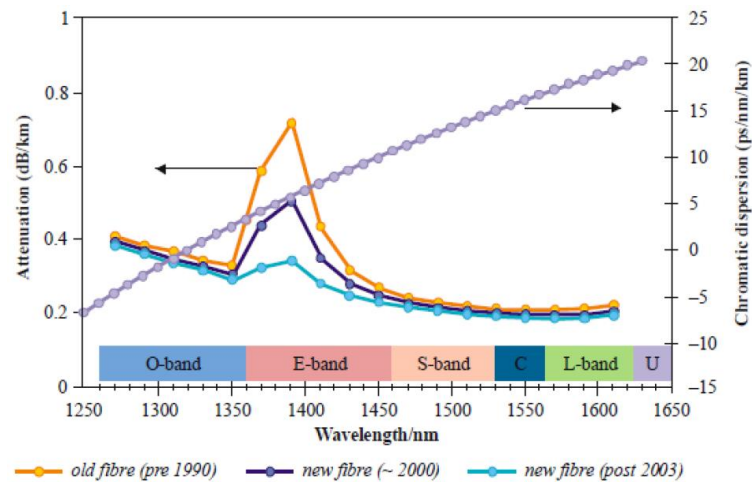


Figura 3. Atenuación y dispersión de la fibra monomodo ITU.T G.652 [9].

Así mismo, en la misma figura se observa la dispersión cromática (curva en color lila) en la fibra monomodo G.652, la cual depende de la longitud de onda, pues se observa que afecta a los sistemas NG-PON2 y PON heredados conforme aumenta la velocidad de transmisión sobre la fibra.

Entre las características principales de las redes NG-PON2, poseen una distancia de cobertura mínima de 40 Km sin extensores de alcance y una cobertura máxima de 60 Km con extensores de alcance. La red soporta como mínimo una relación de división de 1:256, permitiendo alcanzar relaciones más altas para ciertos servicios que así lo requieran. Pero también, se debe admitir relaciones de división entre 1:16 y 1:128, dado que la ODN implementada para los sistemas PON heredados presenta este tipo de divisiones en los splitters; con el fin de cumplir propósitos de compatibilidad con tecnologías antecesoras [19].

NG-PON2 con arquitectura TWDM soportan una velocidad mínima agregada de 40 Gb/s en el enlace de bajada y 10 Gb/s en el enlace de subida, empleando 4 longitudes de onda; y, puede alcanzar velocidades máximas de 80 Gb/s en el enlace de bajada y subida respectivamente empleando 8 longitudes de onda[20].

Se debe agregar que, teóricamente cada ONU tiene la capacidad de soportar una velocidad máxima de 10 Gb/s, mientras que la capacidad real depende de la relación de división máxima en los splitters y el tipo de servicio adquirido.

En cuanto a las tasas nominales descendentes y ascendentes por canal, en la tabla 4 se detalla las posibles combinaciones que puede soportar NG-PON2.

Tabla 4. Tasas nominales por canal de un sistema NG-PON2

	Descendente	Ascendente
Tasa nominal 1	10 Gb/s	10 Gb/s
Tasa nominal 2	10 Gb/s	2.5 Gb/s
Tasa nominal 3	2.5 Gb/s	2.5 Gb/s

Nota: Se describe las tasas nominales por canal para NG-PON2. [12]

2.4.1 Arquitectura NG-PON2

La arquitectura de un sistema NG-PON2 coincidiría principalmente con la de los estándares GPON y XGPON, es decir, adopta una arquitectura pasiva con configuración PtM al igual que sus antecesores, aunque NG-PON2 incorpora nuevas prestaciones mejoradas. En la Figura 4 se representa la arquitectura lógica de referencia para un sistema NG-PON2.

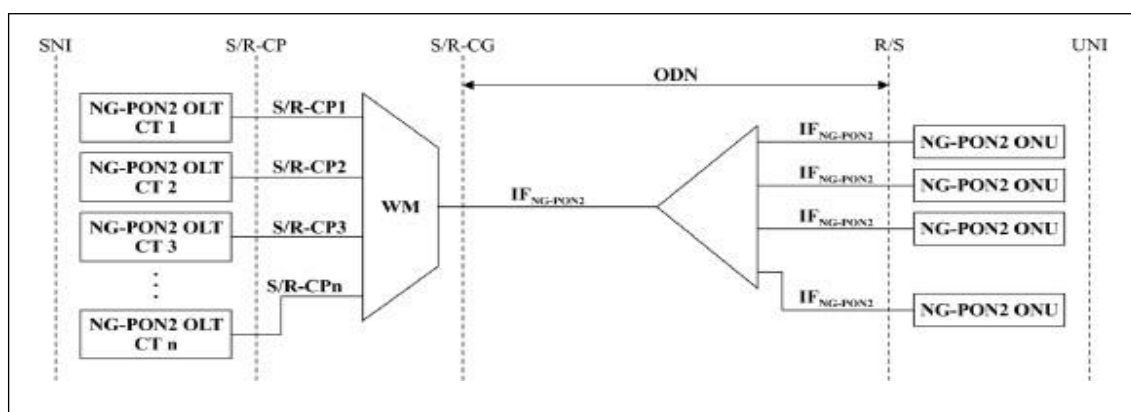


Figura 4. Arquitectura de referencia lógica NG-PON2[12]

De la figura anterior se deduce que en un sistema PON de longitud de onda múltiple, como lo es la tecnología NGPON2, la OLT está compuesta conceptualmente por múltiples terminaciones de canal (CT - Channel Termination) conectadas a través de un multiplexor de longitud de onda (WM - Wavelength Multiplexer)[12].

El punto de referencia S/R-CG denota la localización donde la OLT envía (para las ONUs) y recibe (desde las ONUs) un conjunto de pares de longitud de onda pertenecientes a los sentidos ascendentes y descendentes de la comunicación, denominados CG (Channel Group). Por consiguiente, la infraestructura asociada a la ODN, abarcará desde la salida del WM (punto de referencia S/R-CG), hasta la entrada de la ONU (punto de referencia R/S) [12].

Los principales componentes básicos de la red NG-PON2 incluyen:

Terminales de línea óptica (OLT)

Las tarjetas de línea OLT admiten planes de longitud de onda compatibles. Las tarjetas de línea proporcionan transceptores enchufables específicos de λ ($\lambda_1 \dots \lambda_4$).

Unidades de redes ópticas (ONU)

ONU con láseres sintonizables, filtros y receptores para admitir planes de longitud de onda compatibles, lo que permite la movilidad de longitud de onda.

Multiplexor de longitud de onda (WM1)

El multiplexor de longitud de onda es un dispositivo MUX de longitud de onda pasivo que combina 4 longitudes de onda NG-PON2 en una sola fibra (con soporte futuro para 8 longitudes de onda).

Elemento de coexistencia (CE)

El elemento de coexistencia es un dispositivo MUX de longitud de onda pasiva que combina la mayoría de las tecnologías de acceso en una sola fibra [21].

2.4.2 Plan de longitudes de onda

La selección del plan de longitud de onda en NG-PON2 es el resultado de una evaluación exhaustiva de muchas opciones, y un compromiso entre dos requisitos aparentemente divergentes. Si bien debe permitir la coexistencia con generaciones PON heredadas, también debe ser lo suficientemente flexible para adaptarse a diferentes escenarios de implementación y expansión a futuro.

Para ello, la opción de espectro expandido PtP WDM PON, admite una gran flexibilidad, hasta tal punto que podría ser empleada tanto para habilitar la coexistencia con sistemas PON legados, como para admitir nuevos escenarios de implementación [22].

El sistema NG-PON2 debe garantizar la posibilidad de flexibilidad espectral para permitir actualizaciones en su capacidad de forma progresiva, en función del crecimiento de la demanda de servicios. La flexibilidad espectral también deberá facilitar una gama de escenarios de coexistencia que evite la interferencia con sistemas heredados, para posteriormente pasar a liberar estas bandas de frecuencia una vez que caigan en desuso por la desactivación de los sistemas legados.

Para cumplir con los requisitos anteriores, el sistema NG-PON2 debe ofrecer la posibilidad de acceder a múltiples longitudes de onda, grupos de longitudes de onda, o bandas de longitud de onda, que puedan separarse física y lógicamente. De esta forma, podrán ser

gestionadas de manera aislada, ya sea a través de una única OLT, o por múltiples OLTs independientes [9].

En la tabla 5 se muestra el plan de longitudes de onda de la tecnología NG-PON2, para arquitecturas TWDM- PON y PtP WDM PON. Este plan de longitudes de onda permite la coexistencia con sistemas GPON, XG-PON y video RF.

Tabla 5. Plan de longitudes de onda NG-PON2

Sistemas PON heredados	TWDM PON		PtP WDM PON
	Descendente	Ascendente	Ascendente/Descendente
XG-PON, GPON y Video RF	1596 nm - 1603 nm	Banda ancha: 1524 nm - 1544 nm	Espectro expandido: 1524 nm - 1625 nm
		Banda reducida: 1528 nm - 1540 nm	
		Banda estrecha: 1532 nm - 1540 nm	

Nota: Se describe el plan de longitudes de onda para NG-PON2. [9]

El espectro TWDM descendente, fue diseñado específicamente para evitar interferencias con señales de video RF y XGPON1. Las tres opciones espectrales TWDM ascendente (banda ancha, banda reducida y banda estrecha) están determinadas por las capacidades de gestión de longitud de onda del transmisor ONU, con un mejor control que permite el uso de una banda operativa más estrecha.

Para los canales PtP WDM ascendente y descendente, se proporcionan dos modalidades espectrales. La primera opción de espectro expandido, es adecuada para implementaciones green field, o reutilizaciones flexibles de partes del espectro asignadas a priori a otros sistemas PON que se encuentren en desuso.

La segunda opción de espectro compartido, se emplea en despliegues brown field de coexistencia total con los sistemas PON heredados. A diferencia de TWDM, el sistema PtP WDM permite que los canales ascendente y descendente se encuentren en la misma banda de longitud de onda, y así permitir una mayor flexibilidad de implementación[22].

En la tabla 6 se muestra el plan de frecuencias centrales del canal descendente asignados a sistemas TWDM-PON, pues el funcionamiento de redes NG-PON2 comúnmente se lleva a cabo bajo una arquitectura punto-multipunto.

Tabla 6. Plan de frecuencias centrales del canal descendente TWDM

Canal	Frecuencia central (THz)	Longitud de onda (nm)
λ_1	187.8	1596.34
λ_2	187.7	1597.19
λ_3	187.6	1598.04
λ_4	187.5	1598.89
λ_5	187.4	1599.75
λ_6	187.3	1600.60
λ_7	187.2	1601.46
λ_8	187.1	1602.31

Nota: Se describe el plan de frecuencias del canal descendente TWDM NG-PON2. [9]

Cabe señalar, que los canales λ_1 a λ_4 son comúnmente asignados para el enlace descendente de sistemas TWDM que operan bajo 4 longitudes de onda, y los canales λ_5 a λ_8 pueden ser utilizados por sistemas PtP WDM o cualquier otro sistema PON, si no están reservados para incrementar la capacidad del sistema TWDM a futuro.

2.4.3 Capacidad de sintonización de longitud de onda en las ONUs

Muchas de las características presentes en GPON y XGPON, como las clases OPL XGPON o el soporte de video de RF, son mantenidas en NG-PON2 para garantizar la máxima reutilización de la tecnología existente, la infraestructura de fibra óptica ya instalada, y la coexistencia con sistemas PON heredados [20].

La transmisión en sentido ascendente y descendente en NG-PON2 se produce de manera simultánea a través de la misma fibra. Esto no supone ninguna diferencia respecto de los sistemas GPON y XGPON, que ya proporcionaban comunicación dúplex a través de la capacidad WDM integrada en las ONUs y OLTs.

Sin embargo, una característica clave que diferencia al sistema NG-PON2 de sus predecesores, es que se trata de la primera especificación PON de la industria que opera con múltiples longitudes de onda de comunicación mediante WDM, siendo compatible además con redes de distribución óptica basadas en divisores de potencia.

Así también, su capacidad de sintonización es otro aspecto importante introducido en NGPON2, cada ONU integrante del sistema NGPON2 está equipada con un transmisor y un receptor sintonizable [20].

Debido al requisito fundamental de compatibilidad con ODNs basadas en divisores de

potencia, ambos transeptores deben ser capaces de ajustarse a la longitud de onda de operación de los canales TWDM y PtP WDM dentro de las bandas especificadas por el estándar.

Si en la ODN existiera un dispositivo WDM, éste se encargaría de seleccionar/asignar la longitud de onda de operación de cada ONU ubicada en una rama de salida. Sin embargo, si la ODN estuviera constituida únicamente por un divisor de potencia, es preciso que cada ONU tenga la capacidad de sintonizarse a la longitud de onda que le sea asignada, de ahí que sea necesario que tengan cierta capacidad de sintonización.

Además de la capacidad para soportar ODNs de división de potencia, siendo este un requisito indispensable para permitir la compatibilidad con la infraestructura óptica de las redes de acceso ya instaladas, NGPON2 también soporta ODNs de división de longitud de onda, así como ODNs híbridas compuestas por una combinación de estas dos tipologías.

Las ONUs sin capacidad selectiva de longitud de onda, solo pueden operar dentro de ODNs de división de longitud de onda puras, puesto que una de las implementaciones preferidas en NG-PON2 se basa en redes híbridas a fin de escalar tanto en TDM como en WDM, sumado al requerimiento de compatibilidad con ODNs legadas basadas en división de potencia, hacen que las ONUs no sintonizables queden fuera del ámbito de NGPON.

Para dotar al sistema de una mayor flexibilidad y así poder escalar en capacidad, se espera que las ONUs puedan operar en más de una longitud de onda simultáneamente, gracias a la incorporación de un elemento multiplexor de longitud de onda que complementará al divisor de potencia. Así, se podrá escalar en velocidad, pudiendo transmitir/recibir en más de una longitud de onda de forma simultánea, lo cual refuerza la necesidad de que las ONUs dispongan de esta característica sintonizable.

Por otra parte, las OLTs, no deben disponer de esta capacidad de sintonización, tan solo deberán recibir el total de las longitudes de onda transmitidas por las distintas ONUs, y ser capaces de diferenciar al receptor destinatario concreto de cada uno de estos mensajes.

Por consiguiente, los sistemas NG-PON2 no pueden depender del filtrado estático de longitudes de onda en la ODN, ya que los distintos componentes espectrales podrían quedar sintonizados dentro de la banda de rechazo del filtro, dando lugar a pérdidas de señales de interés [23].

Una característica específica de estos dispositivos sintonizables NG-PON2 es su tiempo de sintonización, el cual se define como el tiempo transcurrido desde el momento en que el dispositivo sintonizable deja el canal de longitud de onda origen, hasta el momento en el que alcanza el canal de longitud de onda destino.

Los dispositivos sintonizables que soportan las diferentes clases de sintonización para permitir una gama de capacidades en el sistema NG-PON2, pueden basarse en una variedad de tecnologías que tienen costos potencialmente diferentes. Y se han especificado tres clases de tiempo de sintonización, los que se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Clases de tiempo de sintonización en NGPON2

Clases	Tiempo de Sintonización
1	< 10 μ s
2	10 μ s – 25 ms
3	25 ms – 1 s

Nota: Se describe las clases de tiempo de sintonización en NG-PON2. [9]

Los dispositivos sintonizables más lentos de Clase 3, podrían basarse en efectos térmicos para cambiar su longitud de onda de funcionamiento, siendo adecuados para aplicaciones que requieran reajustes de longitud de onda poco frecuentes, o sistemas tolerantes ante cortas interrupciones del servicio. Los dispositivos sintonizables de Clase 2 permiten una sintonización de canal más rápida, ofreciendo una protección inferior a 50 ms. Los dispositivos sintonizables de Clase 1, caracterizados por el tiempo de ajuste más corto, pueden alcanzar un tiempo de sintonización inferior a 10 μ s [9].

2.4.4 Pérdidas en el trayecto óptico según la clase de ODN

En el trayecto de la ODN, se pueden observar 4 clases de pérdida, estas pérdidas corresponden a la atenuación en el ODN, la misma que se clasifica en cuatro tipos de clases: N1, N2, E1, y E2.

En la tabla 8 se muestra las pérdidas máximas y mínimas de potencia óptica que se puede admitir según la clase de ODN, este parámetro es fundamental para superar los niveles de sensibilidad o evitar saturación de los equipos activos de la red NG-PON2 [12].

Tabla 8. Pérdidas máximas y mínimas en el trayecto óptico según la clase de ODN

Clase	Pérdidas máximas	Pérdidas mínimas
N1	29 dB	14 dB
N2	31dB	16 dB
E1	33 dB	18 dB
E2	35 dB	20 dB

Nota: Se describe las perdidas máximas y mínimas tolerables en NG-PON2. [12]

2.4.5 Normativas técnicas UIT G.989.X

La red óptica pasiva de la generación 2, apareció en la recomendación UITG.989 en el 2015 para redes pasivas de fibra óptica con velocidades de hasta 40Gbit/s por puerto, y se subdivide en los estándares que se especifican en la Tabla 9 [24].

Tabla 9. Recomendaciones UIT-T de la serie G.989.X para NGPON2

Recomendaciones UIT-T para NGPON2	Resumen de las recomendaciones
Recomendación UIT –T G.989.1	Presenta de manera general los requerimientos para guiar y motivar la especificación de la capa física (PMD) y la capa convergencia de transmisión (TC).
Recomendación UIT –T G.989.2	Presenta las especificaciones de la capa física (PMD) para NGPON2
Recomendación UIT –T G.989.3	Presenta las características de la capa de convergencia de transmisión (TC)
Recomendación UIT–TG.988	Describe la especificación OMCI (ONU Managment and Control Interface) para NGPON2

Nota: Se describen las recomendaciones ITU-T G.989.x. [24]

Recomendación UIT –T G.989.1

Proporciona ejemplos de servicios, interfaces de red de usuario (UNI) e interfaces de nodo de servicio (SNI) que requieren los operadores de red. Además, muestra la configuración de implementación principal. Siempre que sea posible, esta Recomendación mantiene las características de las Recomendaciones de la serie ITU T G.987.x. El sistema NG-PON2 contiene una capacidad multiplexada por división de tiempo y longitud de onda (TWDM), así como una capacidad punto a punto (P2P). Que admiten varios estilos OLT (single chassis, multi-chassis, integrated multi-channel line cards, and pay-as-you-grow pluggable line cards).

Aplicaciones y servicios de la ONU

El sistema NG-PON2 pretende ser una red de acceso de servicio completo. Una parte clave de eso es la extrema diversidad de la ONU coexistiendo en una PON común. Se admiten las ONU heredadas GPON y XG PON, así como las ONU TWDM (con ráfaga sintonizable óptica de modo continuo) y P2P ONU (con óptica de modo continuo sintonizable)[24].

Cada uno de esos tipos de ONU puede soportar diferentes UNI, convirtiendo a NG-PON2 en la “Swiss army knife” de las recomendaciones PON.

Recomendación UIT –T G.989.2

Proporciona los requisitos y especificaciones de la capa física para la capa PMD. Esta recomendación abarca los sistemas con velocidades de línea nominales de bajada de 9953,28 Mbit/s y de subida de 9953,28 Mbit/s o 2488,32 Mbit/s, así como otras velocidades. El PMD está diseñado para operar bidireccionalmente sobre un solo hilo de fibra óptica monomodo (ITU T G.652). Las longitudes de onda de bajada están en la banda L y las longitudes de onda de subida están en la banda C.

En estas bandas se define una cuadrícula de canales, que se realiza físicamente en el dispositivo multiplexor de longitud de onda (WM). El ODN está compuesto por fibras, divisores y conectores ópticos pasivos [24].

Recomendación UIT –T G.989.3

Define el formato de trama y el método de control de acceso a los medios, y todas las funciones habituales que se han descrito en generaciones anteriores de PON. Las nuevas adiciones aquí son los varios mensajes PLOAM nuevos para manejar la configuración y operación (por ejemplo, sintonización) del sistema multicanal. Se describe la compatibilidad con múltiples TWDM PON OLT que comparten el mismo ODN, así como nuevas formas de protección de longitud de onda.

Comportamiento de la ONU

El enfoque adoptado en ITU T G.989.3 describe en detalle el comportamiento de la unidad de red óptica (ONU), dejando el comportamiento detallado del terminal de línea óptica (OLT) al implementador. El enfoque hace posible probar la conformidad de la ONU con las especificaciones [24].

Esto hace posible la interoperabilidad de las ONU de diferentes proveedores en una sola PON. Existen programas de pruebas de conformidad e interoperabilidad organizados por el Broadband Forum (BBF).

Recomendación UIT–TG.988

Define objetos gestionados de una base de información de gestión (MIB) independiente del protocolo que modelan el intercambio de información entre la OLT y la ONU, no solo para GPON, sino para todos los sistemas PON estandarizados después de GPON. El MIB implícitamente describe en detalle la amplia gama de UNI que puede soportar una ONU. Abarca el canal, protocolo y mensajes de gestión y control de la ONT [25].

2.4.6 Beneficios de la tecnología NG-PON2

- Proporciona velocidades de línea simétrica de 10 Gbps por longitud de onda, hasta 8 longitudes de onda en la ODN
- Admite cuatro longitudes de onda en la versión inicial, y el estándar brinda la opción de pasar a 8 longitudes de onda
- Admite la coexistencia con tecnologías GPON y XGS-PON / XG-PON1
- Admite óptica sintonizable, que permite la movilidad de longitud de onda
- Permite ancho de banda bajo demanda [17].

2.4.7 Aplicaciones de NG-PON2

Los cambios en la industria de las telecomunicaciones están siendo impulsados por los requisitos de comunicación en rápida evolución en el mercado y las crecientes expectativas de los suscriptores. NG-PON2 está cobrando impulso en todo el mundo. Hasta la fecha, Verizon, SK Broadband, Portugal Telecom, Northpower Fiber (Nueva Zelanda) y varios otros proveedores de servicios en todo el mundo han implementado NG-PON2 en redes activas [17].

Con el uso de la tecnología NG-PON2 y la capacidad de hacer converger las redes de servicios en un solo ODN, existe una reducción significativa del TCO (total cost ownership). En la figura 5 se muestra cómo los proveedores de servicios pueden hacer converger sus servicios comerciales, residenciales y móviles en un ODN común utilizando NG-PON2.

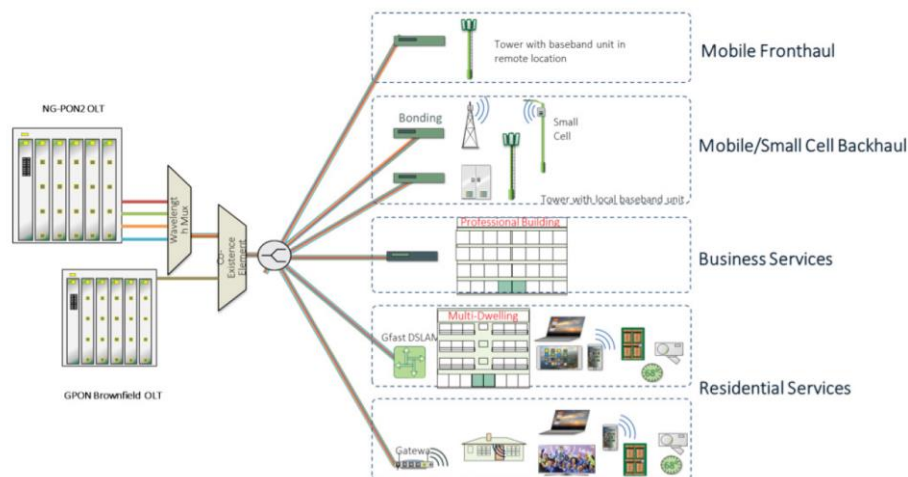


Figura 5. Servicios de implementación de NG-PON2 [15]

Con su soporte para ONT ajustables, NG-PON2 brinda la flexibilidad para que los proveedores de servicios muevan virtualmente las ONT en el área de servicio para proporcionar equilibrio de carga. Como se muestra en la presente figura, varias subredes

lambda NG-PON2 comparten un ODN mediante el uso de multiplexación por división de onda (WDM).

Cada PON de longitud de onda NG-PON2 puede funcionar de forma independiente o puede combinarse mediante la unión de longitudes de onda a un PON de gran ancho de banda (máx. 80 G de bajada y 80 G de subida). Esta arquitectura flexible permite a los proveedores de servicios pasar a una ODN convergente, lo que permite diferentes aplicaciones en la misma fibra.

Con la capacidad de entregar 10 Gbps (y más) a un suscriptor individual, NG-PON2 brinda nuevas oportunidades comerciales para los proveedores de servicios. Y admite las siguientes aplicaciones y servicios:

Servicios residenciales

- High-ARPU: proporcione un gran ancho de banda para compartir en áreas de servicio aprovechando los altos índices de división para reducir el costo por abonado.
- Servicios de unidades de viviendas múltiples (MDU): brindan un alto ancho de banda a las MDU (10 Gbps hasta el punto de demarcación del edificio) aprovechando la fibra en el edificio o G.fast sobre cobre para la conectividad en el edificio [26].

Servicios comerciales y pequeñas empresas

- Servicios de alto ancho de banda (10 Gbps a 40/80 Gbps a través del enlace lambda) para satisfacer las crecientes necesidades de ancho de banda
- Nuevas aplicaciones, incluida la redundancia
- Servicios basados en Lambda [26].

Backhaul móvil y fronthaul

- Backhaul móvil: demanda creciente a medida que el uso de datos inalámbricos sigue aumentando.
- Fuerte ajuste para backhaul móvil de celdas pequeñas al proporcionar mayor ancho de banda y menor latencia que cualquier otro estándar PON.
- Admite la venta al por mayor de servicios de backhaul móvil con asignación de longitud de onda al cliente [26].

Aplicaciones de ciudad inteligente

- Conecta una gran cantidad de dispositivos aumentando las proporciones de división

Aplicaciones de construcción/hogar inteligente

- Agrega casos de uso de baja latencia y alto ancho de banda al dividir y aumentar las proporciones de división para una gran cantidad de dispositivos [26].

LAN ópticas pasivas (POL)

- Brindar servicio de alto ancho de banda en redes de área local para universidades, hospitales y hoteles [26].

2.5 Arquitectura De Redes FTTx

El término FTTx (Fiber to the «x») fibra hasta «x», se emplea de forma genérica para describir una amplia variedad de opciones de arquitectura de redes de banda ancha que emplean fibra óptica para algunos o todos los últimos tramos de conectividad. La tecnología FTTx, donde la “x” representa el punto de terminación de la fibra, engloba implementaciones de fibra óptica como FTTH, FTTB, FTTC y FTTN [6].

La fibra hasta “x” es un componente básico del acceso de próxima generación (NGA), que describe la evolución de la infraestructura de la banda ancha hacia mejores niveles de velocidad y calidad del servicio (QoS) [6].

La televisión de alta definición, la realidad virtual y otras aplicaciones que consumen una gran cantidad de ancho de banda, así como IoT, la tecnología 5G, las ciudades inteligentes y la tecnología de cadena de bloques están ganando terreno rápidamente a medida que las aplicaciones de alta velocidad y baja latencia para FTTx continúan multiplicándose.

Las redes FTTx ofrecen la ventaja doble de velocidades de transmisión más altas y consumo de menor energía. Al trasladar la fibra óptica más cerca del usuario, se pueden aprovechar al máximo las técnicas más recientes de construcción, conexión y transmisión, y se disminuye la probabilidad de que se produzcan cuellos de botella en las redes coaxiales convencionales. Para que esto sea factible, han de aplicarse una planificación y una ejecución bien fundamentadas en todas las fases del ciclo de vida [6].

Las redes FTTx son implementadas por los operadores de telecomunicaciones de acuerdo con sus requerimientos técnicos y funcionalidades. En la figura 6, se presenta las topologías más utilizadas en la actualidad:

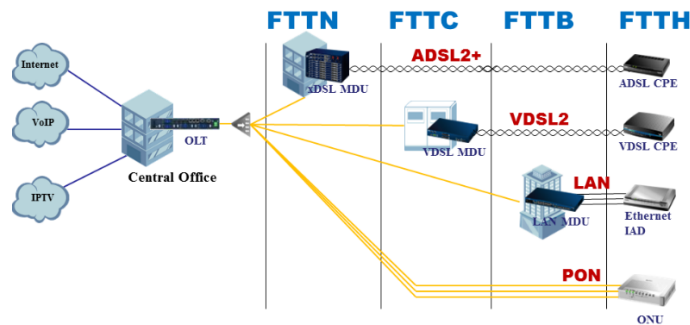


Figura 6. Arquitectura De Redes FTTx [7]

2.5.1 FTTH (Fiber to the Home)

En la actualidad, FTTH es la arquitectura de más utilizada; Fiber to the home o fibra hasta la casa, es una topología completamente basada en fibra óptica, es decir, todo el trayecto desde la central hasta la casa del usuario es fibra. Este tipo de topología es llamada árbol ya que parte desde la OLT, hasta algún elemento pasivo como por ejemplo los divisores ópticos, hasta la casa del usuario donde se encuentra el dispositivo terminal ONT [7], este tipo de topología será utilizada en el presente trabajo de titulación, en la red NG-PON2 para el barrio Juan de Velasco.

2.5.2 FTTB (Fiber to the Building)

FTTB o fibra hasta el edificio, es una topología mixta, en la que el camino de la fibra óptica va desde la OLT hasta la conexión del edificio, desde donde se distribuye dentro a cada oficina del edificio vía cobre; Se utiliza una ONU como receptor, o también se puede comunicar de forma inalámbrica [40].

2.5.3 FTTC (Fiber to the Curb)

FTTC o fibra hasta el gabinete o esquina, es una topología mixta al igual que FTTB, pues se utiliza tanto fibra óptica como cobre en el trayecto.

El camino de la fibra óptica va desde la sede del operador, es decir, desde la OLT hasta el nodo de distribución, que se construye a no más de 300m del usuario, a partir de ese punto de la red, la información llega a los usuarios mediante hilo de cobre [7].

2.5.4 FTTN (Fiber to the Node o Neighborhood)

Fibra hasta el nodo, en este caso la fibra óptica termina en la sede del operador del servicio que generalmente se encuentra en las inmediaciones del barrio, por lo que varios autores asignan la letra N como neighborhood, significando vecindario [7].

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

Para el Estudio, Diseño y Simulación de la red NG-PON2 en el Barrio Juan de Velasco, se utilizó el Método lógico deductivo, debido a que se utilizaron procedimientos de tipo sintético-analítico a lo largo del proyecto, presentando al inicio de la investigación definiciones, principios, conceptos y normas de las que se extrajeron conclusiones, por lo que la red propuesta se basa en enunciados generales presentados por la tecnología NG-PON2, y también de las tecnologías anteriores, y por medio de la investigación y la inferencia, se ha probado y aclarado.

3.1 Tipos de investigación

El tipo de investigación que se utilizó en el presente trabajo fue la investigación aplicada, descriptiva y de campo, las que se describen a continuación:

3.1.1 Investigación Aplicada

El proyecto se basa en conocimientos o descubrimientos existentes como son las tecnologías PON y el estudio de la tecnología NG-PON2, de esta manera, la red de acceso NG-PON2 para el Barrio Juan de Velasco, fue diseñada de acuerdo con investigaciones y desarrollos previos.

3.1.2 Investigación Descriptiva

La investigación descriptiva se utilizó durante la fase de levantamiento de información, en el sitio de estudio, para comprender las situaciones y actitudes imperantes en el barrio Juan de Velasco; se recopilaron datos y se agregó cuidadosamente la información para su

posterior análisis, a fin de extraer importantes generalizaciones que contribuyan en este proyecto.

3.1.3 Investigación de campo

Se acudió hasta el barrio Juan de Velasco para la búsqueda de datos, donde nos proporcionaron información necesaria para realizar el análisis de la demanda y análisis de mercado. En la etapa de diseño de la red, se visitó el sitio para realizar observaciones del área de estudio, a fin de obtener datos más precisos y confiables.

3.2 Metodología de diseño de la red NG-PON2

El Diseño de la red NG-PON2 para el Barrio Juan de Velasco, se realizó en 4 fases:

Fase 1: Estudiar las redes NG-PON2 con el fin de entender su estructura y funcionamiento. En esta fase se hizo un estudio de las características principales de la tecnología NG-PON2, su arquitectura, plan de longitudes de onda, pérdidas en el trayecto óptico según la clase de ODN y una revisión de la Normativa técnica UIT G.989.X, por último, se presentaron los beneficios de la tecnología y sus aplicaciones.

Fase 2: Diseñar una red NG-PON2 aplicada a redes FTTH en el Barrio Juan de Velasco. En esta fase se realizó el estudio de mercado y estudio de la demanda del Barrio Juan de Velasco, información que fue empleada en el diseño la red NG-PON2 aplicada a redes FTTH, la cual posee una arquitectura en cascada con 2 niveles de splitter y consta de tres partes: Red Feeder, Red de Distribución y Red de Dispersión. En esta fase se describió también, los elementos activos y pasivos a utilizarse en la red NG-PON2 y se realizó el cálculo del Presupuesto de Potencia Óptica, que hace referencia a la cantidad de pérdida que un enlace de datos puede tolerar, así como también, se comprobó que las combinaciones elegidas de los equipos son óptimas para el proyecto.

Fase 3: Simular la red diseñada mediante el software OptiSystem. En esta fase se detalla los elementos empleados en la Red NG-PON2 y se describe el desarrollo de la simulación. El diseño de la red NG-PON2, incluye 30 subsistemas que le permiten crear sus propios componentes a partir de elementos básicos proporcionados por el software y ayuda a optimizar el espacio de trabajo. En el escenario propuesto el primer subsistema está diseñado para fungir como OLT, el segundo subsistema es el equipo ONU y los 28 subsistemas restantes figuran las cajas de primero y segundo nivel, asimismo, se colocaron analizadores y visualizadores de la señal en todo el recorrido del enlace óptico y en el equipo de recepción ONU, a fin de predecir el rendimiento del sistema.

Fase 4: Analizar el rendimiento de la red NG-PON2 simulada. En esta fase se presentaron los resultados del sistema, a partir de una demostración experimental de acuerdo a los efectos de las no linealidades de Kerr y Raman, donde se consideró parámetros como la potencia de transmisión, longitud del enlace óptico y la separación entre canales, para lo cual, se empleó medidores de Potencia, Mínimo BER y Diagrama de Ojo.

3.3 Ubicación del Barrio Juan de Velasco

El Barrio Juan de Velasco se ubica en el sur este de la ciudad de Riobamba, dentro de la Parroquia Maldonado y está limitado entre la calle Pedro Rendon y Av. Edilberto Bonilla y la calle Loja y Puruhá; el sector posee un área de 171'631.48 m².

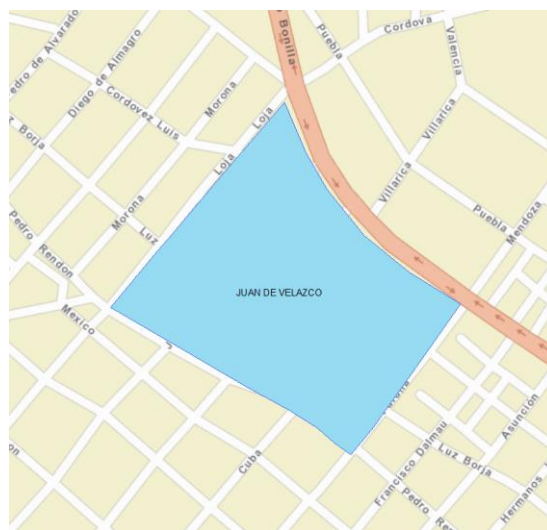


Figura 7. Ubicación geográfica del Barrio Juan de Velasco

3.4 Estudio De Mercado

En la actualidad miles de dispositivos se conectan a la red cada día aumentando la demanda de internet de banda ancha fija en los hogares. En un futuro esta demanda no disminuirá, muchos más usuarios harán uso de diferentes servicios en plataformas de internet, saturando las redes, además de la demanda de los usuarios por un mayor ancho de banda en los servicios[2] y la búsqueda en la actualidad de converger los servicios de telecomunicaciones a través de una misma infraestructura que garanticen calidad y velocidad de la información a bajos costos; ha generado que los proveedores de servicios de telecomunicaciones planteen como solución el uso de nuevas tecnologías para las redes de acceso, como las redes de próxima generación NG-PON y de esta manera atender a un mayor número de abonados con la posibilidad de acceder a los servicios a una mayor velocidad de conexión en el hogar [10].

De acuerdo con el estudio poblacional realizado los últimos 10 años, la ciudad de Riobamba ha evidenciado un crecimiento exponencial en las conexiones de Internet, proporcionalmente la demanda del servicio por causa de la Pandemia que inició en febrero del 2020. En los datos entregados por el INEC para la ciudad de Riobamba, se verificó un crecimiento en las tecnologías de comunicación e información, con un crecimiento de clientes de internet de 298 a 1320, donde solo está satisfecha la demanda para el 38.60% de los hogares [27]

El barrio Juan de Velazco, uno de los barrios más destacados de la ciudad de Riobamba ha tenido en los últimos años una transformación importante, al contar en la actualidad con Entidades Financieras, Instituciones Educativas, Centros de Salud, Centros Comerciales, Fabricas y otras Instituciones, existiendo así, un nicho de mercado y la oportunidad de brindar un servicio de internet de excelente calidad, convirtiéndose en una de las zonas de la ciudad de Riobamba donde se encuentran los principales proveedores de internet que ofrecen sus servicios a través de enlaces de Fibra Óptica como Netlife, CNT E.P, Punto net, y otras. Con la propuesta del proyecto en el barrio Juan de Velasco, se asegura el acceso al servicio de internet de altas velocidades de consumo masivo y la posibilidad de brindar más servicios convergentes, así mismo, se deja abierta la posibilidad de atender a más localidades del sector y demás barrios de la ciudad de Riobamba.

3.5 Estudio de la Demanda

Para el estudio de la demanda se realizó un barrido de la zona de cobertura para constatar el número de viviendas, mediante un conteo manual, para lo cual se consideraron los medidores de luz existentes, lo que representó a un posible cliente.

Luego de realizar el conteo de viviendas se comprobó que se tiene alrededor de 522 viviendas, 33 establecimientos comerciales de servicios tales como: oficinas, consultorios médicos, consultorios jurídicos, farmacias, ferreterías, tiendas de ropa, víveres, entre otros, y 3 instituciones educativas: CEI Dolores Veintimilla de Galindo, Unidad Educativa Juan de Velasco Sede Básica 1 e Instituto Superior Técnico y Tecnológico Juan de Velasco; dándonos un tamaño de la población igual a 558 usuarios aproximadamente.

Para el análisis de la demanda se realizó encuestas, las que ayudaron a conocer la opinión de los clientes; se consideró como clientes potenciales a aquellos que tienen contratado el servicio de internet de banda ancha con otros proveedores de telecomunicaciones pero que no están satisfechos con el mismo, así también a aquellos que aún no tienen contratado el servicio de internet.

Así se pudo conocer el nivel de satisfacción del servicio de internet de banda ancha que tienen contratado y de la misma forma saber si están dispuestos a adquirir un nuevo servicio.

3.6 Encuesta

La metodología de investigación incluye una serie de procedimientos y herramientas para generar, recolectar, analizar y presentar información auténtica, útil, confiable y objetiva; la técnica que se utilizó en el presente trabajo como se había mencionado anteriormente, fue la encuesta, lo que permitió analizar a los clientes potenciales y conocer el nivel de satisfacción del servicio ofertados por los proveedores que operan en el sector.

El cuestionario utilizado para las encuestas en el barrio Juan de Velasco se presenta en el siguiente link: <https://forms.gle/EturE9ude3nhQkfe7>

3.7 Cálculo de la Muestra

A continuación, determinamos la muestra según su tamaño, a fin de aplicar encuestas orientadas a establecer el nivel de aceptación del servicio de Internet con respecto a una red de siguiente generación como es la red NG-PON2.

Para el presente proyecto se utilizó la ecuación de muestra de población finita debido a que la población de estudio es menor a 100 000. La fórmula de muestra finita es la siguiente:

$$\text{Tamaño de Muestra} = \frac{Z^2 * p * q * N}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Donde:

η = Tamaño buscado de muestra

N= Tamaño de la población o Universo

Z= Parámetro estadístico dependiente del nivel de confianza (NC)

e = Error de estimación máximo aceptado

p= Probabilidad de que ocurra el evento estudiado

q= (1-p) = Probabilidad de que no ocurra el evento[28]

Para aplicar la fórmula se debe establecer un nivel de confianza para Zalfa (Z), en los casos de estudio de muestra se tiene como indicadores generales 90%, 95% y 99% para una estadística sólida, en el presente proyecto se consideró 99%, entonces Zalfa en la fórmula será igual a 2.58, este valor fue tomado en base a los parámetros para elegir el valor de Zalfa, con respecto a los Valores de Niveles de confianza, de acuerdo al documento “*Elementos de Muestreo de Scheaffer*” [29], entonces los datos empleados para el presente proyecto son los siguientes:

$$\text{Tamaño de Muestra} = \frac{2.58^2 * 0.5 * 0.5 * 558}{0.03^2 * (558 - 1) + 2.58^2 * 0.5 * 0.5}$$

Tamaño de Muestra=428,82≈429 encuestas

Con el cálculo de la fórmula, se obtuvo como resultado que se debe realizar 429 encuestas en el barrio Juan de Velasco, donde cada encuesta representa a un usuario.

3.8 Resultados de la Encuesta

Se efectuaron 429 encuestas en el barrio Juan de Velasco de forma presencial y virtual, el cuestionario empleado consta de 5 preguntas orientadas a evaluar el servicio de internet que brindan los proveedores que operan actualmente en el sector y la posibilidad de adquirir el servicio de internet a través de una red de siguiente generación como es la red NG-PON2, el análisis de los resultados se encuentra en el Anexo A.

3.9 Consideraciones de Diseño para la Red NG-PON2

Para empezar con el diseño de la red NG-PON2, es necesario conocer el ancho de banda que se asignará a cada hilo de fibra óptica de acuerdo con las necesidades del cliente final, y de esta manera seleccionar el tipo y nivel de splitter que se utilizará en el diseño de la red.

En cuanto al tráfico del barrio Juan de Velasco, no se encontró estadísticas publicadas sobre el ancho de banda que requiere el barrio Juan de Velasco o el ancho de banda que requiere el usuario final de dicho barrio, de esta manera, se indagó sobre el tema, con el objetivo de analizar el tráfico que demanda comúnmente un usuario final de un sector residencial y comercial.

De acuerdo, a los reportes de la herramienta de análisis de velocidad de banda ancha “Speedtest Global Index” de Ookla, la velocidad de descarga de Internet fijo en Ecuador durante los meses que se mantuvo el confinamiento producto de la pandemia del covid-19, fluctuó entre 23 y 27 Mb/s, entonces se necesitaría como mínimo una capacidad de ancho de banda de 30 Mb/s en el servicio de acceso a Internet para enfrentar este tipo de eventos inesperados donde la capacidad de las redes de acceso se vieron comprometidas, ya que los miembros de cada hogar (4 usuarios en promedio según el INEC) adoptaron el servicio de Internet como medio de trabajo, estudio y entretenimiento [3].

Si agregamos el ancho de banda que se requiriere para los servicios de telefonía fija (64 kb/s) y los diversos formatos de televisión digital (43 Mb/s) [9], los cuales hacen parte de un paquete triple play, el sector residencial demandaría una capacidad aproximadamente de 73.064 Mb/s por cliente.

Por otra parte, el servicio de acceso a Internet para el sector comercial requiere mayor ancho de banda, debido a que el número de usuarios dentro de un establecimiento comercial o empresarial, es notablemente superior con respecto a un hogar.

De esta manera, el ancho de banda que requiere un negocio o empresa se calcula en base al número de usuarios con conectividad simultánea y el tipo de tareas a realizar. Si se considera un uso moderado del servicio de Internet para descarga de archivos, música, video, servicios en la nube, conferencias interactivas, entre otras, se requiere una capacidad aproximada de 100 Mb/s en establecimientos que cuentan entre 10 y 20 empleados que hacen uso de 15 a 25 dispositivos, cabe señalar que la conexión de forma simultánea por parte de los usuarios normalmente es de un 80% y que cada uno utiliza el servicio para diferentes tareas, lo cual permite que la red esté siempre funcional y evite ralentizar la velocidad en los usuarios finales [9].

Ahora, de la misma manera, si le agregamos al servicio de internet, el ancho de banda correspondiente a los servicios de telefonía (64 kb/s) y televisión (43 Mb/s), se requiere una capacidad aproximadamente de 143.064 Mb/s, para cada usuario final del sector comercial. Lo descrito anteriormente se detalla en la tabla 10, que corresponde a la capacidad de ancho de banda por servicio, que requiere el sector residencial y el sector comercial.

Tabla 10. Capacidad de ancho de banda por servicio para el sector residencial y comercial

Servicio	Ancho de banda requerido Sector Residencial		Ancho de banda requerido Sector Comercial	
	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink
Internet	30 Mb/s	3 Mb/s	100 Mb/s	10 Mb/s
Telefonía digital	64 kb/s	64 kb/s	64 kb/s	64 kb/s
SDTV	3 Mb/s	-----	3 Mb/s	-----
HDTV	15 Mb/s	-----	15 Mb/s	-----
Televisión 4K	25 Mb/s	-----	25 Mb/s	-----
Capacidad	73.064 Mb/s	3.164 Mb/s	143.064 Mb/s	10.064 Mb/s

Nota: Se describe la capacidad de ancho de banda promedio utilizado por usuario en Ecuador.

El análisis anterior se hizo únicamente para el sector residencial y comercial, sin embargo es necesario mencionar que el barrio Juan de Velasco cuenta con 3 instituciones educativas como el Centro Educativo Inicial Dolores Veintimilla de Galindo, Unidad Educativa Juan de Velasco Sede Básica 1 e Instituto Superior Técnico y Tecnológico Juan de Velasco que según el Departamento de Tecnologías de la Información y Comunicación de cada

organización, se tiene un tráfico aproximado de 80 Mbps, 100 Mbps y 140 Mbps respectivamente, como podemos observar de acuerdo al tráfico que tiene cada entidad; las 3 instituciones educativas se encuentran dentro del tráfico que demanda el sector Comercial. Por otro lado NG-PON2 al ser un estándar nuevo que no se ha afianzado todavía de forma relevante dentro del mercado de redes PON y al ser considerado como una tecnología a futuro, se decidió incrementar el ancho de banda que requiere actualmente un usuario final del sector residencial y comercial, para lo cual se asignó 400 Mb/s *destinado a aplicaciones y Servicios NG-PON2*, esta cantidad podría ser cualquier otra, inclusive mayor, puesto que la red NG-PON2 está diseñada para brindar soluciones a grandes anchos de banda que día a día requieren los servicios de telecomunicaciones.

Recordemos que la red NG-PON2 puede funcionar con un solo par de longitudes de onda e ir incrementando su capacidad de acuerdo con las necesidades del cliente, lo que le atribuye flexibilidad y escalabilidad.

Ahora se tendría una capacidad Total de 473.064 Mb/s para el sector Residencial y 543.064 Mb/s para el sector Comercial, como se detalla en la tabla 11, que corresponde al ancho de banda que se empleará en el diseño de la red NG-PON2, para analizar su rendimiento en el Barrio Juan de Velasco.

Tabla 11. Capacidad de ancho de banda por servicio para el sector residencial y comercial NG-PON2

Servicio	Ancho de banda requerido Sector Residencial		Ancho de banda requerido Sector Comercial	
	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink
Internet	30 Mb/s	3 Mb/s	100 Mb/s	10 Mb/s
Telefonía digital	64 kb/s	64 kb/s	64 kb/s	64 kb/s
SDTV	3 Mb/s	-----	3 Mb/s	-----
HDTV	15 Mb/s	-----	15 Mb/s	-----
Televisión 4K	25 Mb/s	-----	25 Mb/s	-----
Capacidad	73.064 Mb/s	3.164 Mb/s	143.064 Mb/s	10.064 Mb/s
Aplicaciones y Servicios NG-PON2	400 Mb/s	100 Mb/s	400 Mb/s	100 Mb/s
Capacidad Total	473.064 Mb/s	103.164 Mb/s	543.064 Mb/s	110.064 Mb/s

Nota: Se describe la capacidad de ancho de banda necesario por usuario más Aplicaciones y Servicios NG-PON2.

A continuación, se procede a calcular el ancho de banda que se asignará a cada hilo de fibra de acuerdo con las necesidades del cliente final, para averiguar qué tipo y nivel de divisor óptico se considerará para el diseño de la red. Para lo cual, se hace uso de la siguiente fórmula:

$$AB = AB(NG-PON2) * \text{RELACIÓN SPLITTER}$$

Para el presente proyecto se empleó el sistema TWDM de 4 longitudes de onda, así cada longitud de onda multiplexada transportará una capacidad equivalente a 10 Gb/s en el enlace downlink y 2.5 Gb/s en el enlace uplink. Por lo tanto, se empleó los siguientes valores:

Tecnología NG-PON2

40 Gbps en el enlace descendente

10 Gbps en el enlace ascendente

Relación de splitter: 1/8, 1/16, 1/32... 1/128.

El cálculo corresponde a la multiplicación del ancho de banda que ofrece la tecnología NG-PON2 por la relación de splitter.

Entonces,

$$AB = AB(NG-PON2) * \text{RELACIÓN SPLITTER}$$

$$AB = 40 \text{ Gb/s} * 1/8 = 5 \text{ Gb/s}$$

Así en el enlace descendente (40Gb/s) para el tipo de splitter con una relación de 1:8 tenemos un ancho de banda de 5 Gb/s.

El cálculo del resto de splitters del enlace descendente y ascendente, se presenta en la tabla 12, que corresponde al ancho de banda a utilizar en el primer nivel de splitter.

Tabla 12. Ancho de banda del primer nivel de splitter

Sentido del enlace	Capacidad NG-PON2 Para el 1er nivel	Tipo de Splitter				
		1:8	1:16	1:32	1:64	1:128
Enlace descendente	40 (Gb/s)	5000	2500	1250	625	312.5
Enlace ascendente	10 (Gb/s)	1250	625	312.5	156.25	78

Nota: Se describe la capacidad de ancho de banda luego del primer nivel de splitter. Fuente Autor

Para calcular el ancho de banda del segundo nivel de splitter, repetimos la fórmula, obteniendo los valores que se muestran en la tabla 13.

Tabla 13. Ancho de banda del segundo nivel de splitter

Sentido del enlace	Capacidad NG-PON2 Para el 2do nivel	Tipo de Splitter				
		1:8	1:16	1:32	1:64	1:128
Enlace descendente	5000 (Mbps)	625	312,5	156,25	78,125	39,06
Enlace ascendente	1250 (Mbps)	156.25	78.13	39.06	19.53	9.77

Nota: Se describe la capacidad de ancho de banda luego del segundo nivel de splitter. Fuente Autor

El análisis parte desde la relación de 1/8 ya que es el tipo de splitter más común que encontramos en el mercado, aunque el sistema está preparado para dar servicio hasta 128 usuarios.

Por lo tanto, de acuerdo con el análisis del Ancho de banda del primero y segundo nivel de splitter, se utilizará la relación de splitter de tipo 1:8 en el primero y segundo nivel, puesto que con esta combinación tenemos un ancho de banda de 625 Mbps en el enlace descendente y 156,25 Mbps en el enlace ascendente, lo cual satisface óptimamente la demanda del cliente final tanto para el sector residencial como para el sector comercial, con una relación total de 1:64 usuarios por cada puerto PON2.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Diseño de la red NG-PON2 aplicada a redes FTTH

Para el diseño de la red NG-PON2 en el Barrio Juan de Velasco, se consideró parámetros importantes como la demanda del ancho de banda del sector residencial y comercial, la zona de cobertura, densidad poblacional entre otros. El diseño de la red se desarrolló mediante el software ArcGIS, donde el archivo shapefile de los barrios de la ciudad de Riobamba, se obtuvo gracias al municipio de la ciudad y el archivo shapefile de los postes lo encontramos disponible en la página oficial de la ARCOTEL.

Para el cálculo de la demanda se parte de 350 posibles usuarios en el barrio Juan de Velasco, obtenidos a través de la encuesta realizada en el apartado 3.6, el diseño de la red tendrá una proyección de crecimiento de 5 años y se utilizará un factor de crecimiento del 2%. Para calcular la demanda proyectada se utilizará la siguiente fórmula:

$$D = D_0(1 + i)^t$$

Donde:

D_0 = Demanda Inicial

i = Factor de Crecimiento

t = Tiempo considerado en Años

Por lo tanto el cálculo de la demanda proyectada será:

$$D = 350(1 + 0.02)^5$$

$$D = 383.82$$

$$D = \mathbf{384 \text{ Usuarios}}$$

El diseño de la red NG-PON2 para el Barrio Juan de Velasco, posee una arquitectura en cascada con 2 niveles de splitter, como la mayoría de las redes FTTH y consta de tres partes: Red Feeder, Red de Distribución y Red de Dispersión.

4.1.1 Red Feeder

La red feeder o de alimentación está conformada por cables de fibra óptica de alta capacidad que van desde la OLT ubicada en la central de telecomunicaciones hasta el primer nivel de splitter, es la red encargada de interconectar los puertos del ODF (Repartidor Óptico Modular) de planta externa con los armarios FDH o mangas porta splitter.

La red NG-PON2 en el Barrio Juan de Velasco, parte desde la conexión del Nodo 1 ubicado en las calles Joaquín Chiriboga y Cordovez Luis, a las cajas de primer nivel o mangas porta splitter, denominadas C01, C02, C03, C04 ubicadas alrededor del barrio Juan de Velasco.

Para la red Feeder se utilizó 1 tubo de fibra óptica de 6 hilos, de los cuales se construirían las cajas de primer nivel, dejando 4 hilos de fibra óptica para las cajas C02 y C04, colocando 2 splitters primarios de tipo 1:8 en cada caja respectivamente y 2 hilos de fibra óptica para las cajas C01 y C03, colocando 1 splitter primarios de tipo 1:8 por caja, dándonos un total de 4 cajas para el primer nivel.

Las 4 cajas asignadas para el primer nivel, fueron distribuidas en el Barrio Juan de Velasco. En la imagen 8, se muestra la ubicación de los Nodos, cajas de primer nivel y todo el trayecto de la Red Feeder.

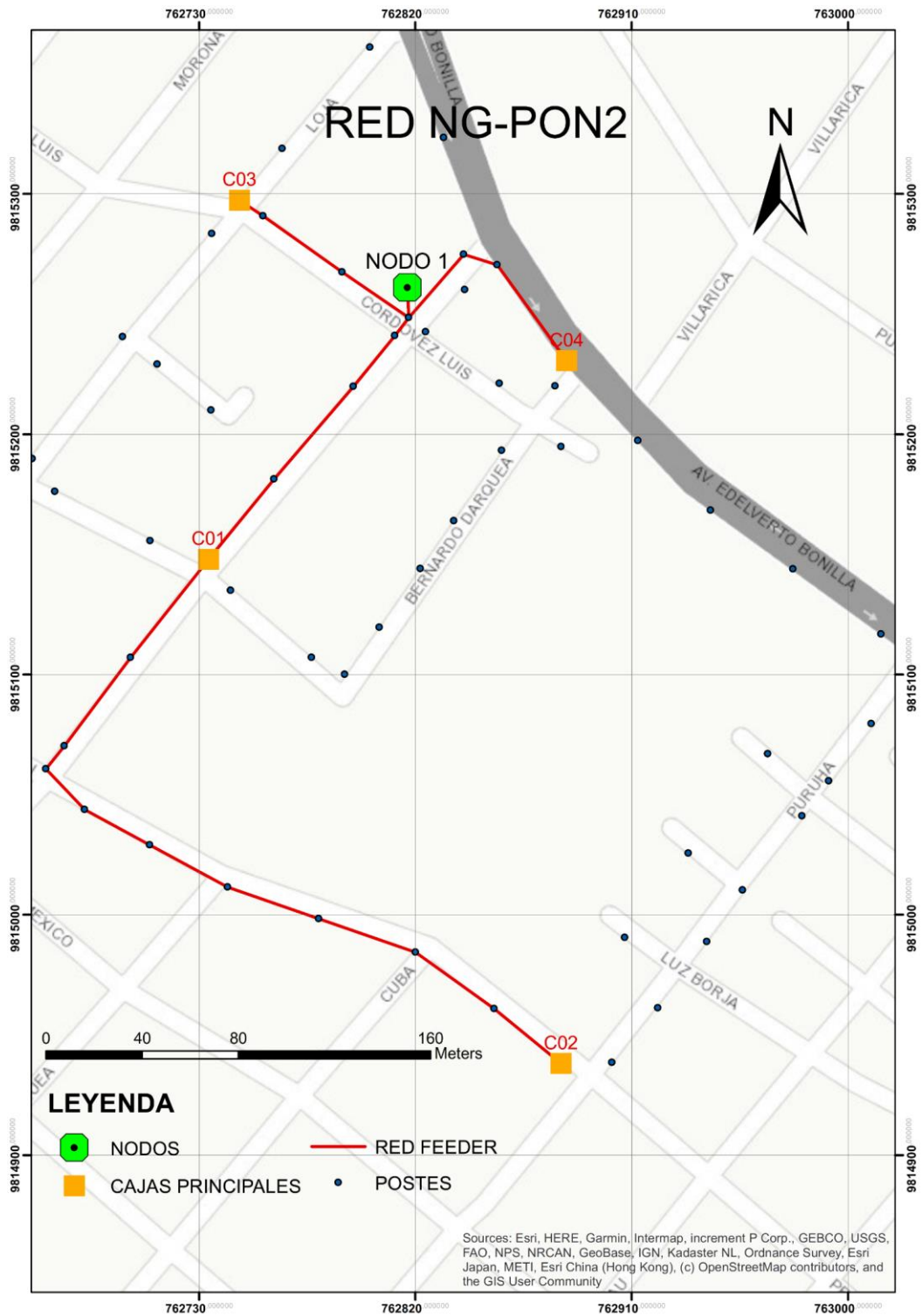


Figura 8. Red Feeder

En la tabla 14 se presenta la ubicación del Nodo 1, en donde se colocó la OLT para el barrio Juan de Velasco

Tabla 14. Ubicación de los Nodos

FID	Shape *	Id	NODO	LATITUD	LONGITUD	DIRECCIÓN
0	Point	0	NODO 1	1° 40' 11,844" S	78° 38' 16,113" W	JOAQUIN CHIRIBOGA Y CORDOVEZ LUIS

Nota: Se indica la ubicación del nodo 1. Fuente autor

En la siguiente tabla se presenta las cajas de primer nivel del barrio Juan de Velasco, así como el tipo y nivel de splitter y la dirección donde fueron ubicadas cada una de las cajas.

Tabla 15. Cajas de Primer Nivel

FID	Shape *	Id	CAJA	NIVEL	SPLITTER	LATITUD	LONGITUD	DIRECCIÓN
2	Point	0	C01	1er Nivel	1 x 1:8	1° 40' 15,528" S	78° 38' 18,787" W	Joaquin Chiriboga y Luz Eliza Borja
1	Point	0	C02	1er Nivel	2 x 1:8	1° 40' 22,350" S	78° 38' 14,034" W	Pedro Rendon y Puruha
3	Point	0	C03	1er Nivel	1 x 1:8	1° 40' 10,663" S	78° 38' 18,376" W	Loja y Codovez Luis
0	Point	0	C04	1er Nivel	2 x 1:8	1° 40' 12,832" S	78° 38' 13,969" W	Av. Edelberto Bonilla y Bernardo Darquea

Nota: Se indica la ubicación de las cajas de primer nivel. Fuente autor

En la tabla 16 se presenta la cantidad de hilos de fibra óptica que posee la Red Feeder y la distancia que cubre cada grupo de fibra óptica desde el Nodo 1 a las cajas de primer nivel.

Tabla 16. Fibra Óptica Trocal

FID	Shape *	Id	NOMBRE	DISTANCIA	TRONCAL
0	Polyline	1	Nodo1 - C01	143,229 m	1 Hilo
1	Polyline	2	Nodo1 - C02	503,659 m	2 Hilos
2	Polyline	3	Nodo1 - C03	98,480 m	1 Hilo
3	Polyline	4	Nodo1 - C04	111,286 m	2 Hilos

Nota: Se indica la distancia entre el nodo 1 y las cajas de primer nivel. Fuente autor

Para la red Feeder se utilizaron 36 herrajes de tipo A o de retención en conjunto con 36 preformados y 3 herrajes de tipo B o de Suspensión para Fibra Óptica Monomodo G.652D

de 6 hilos que conectarán las 4 cajas primarias con el Nodo 1, en la figura 9 se presenta el diagrama de herrajes para la red Feeder.

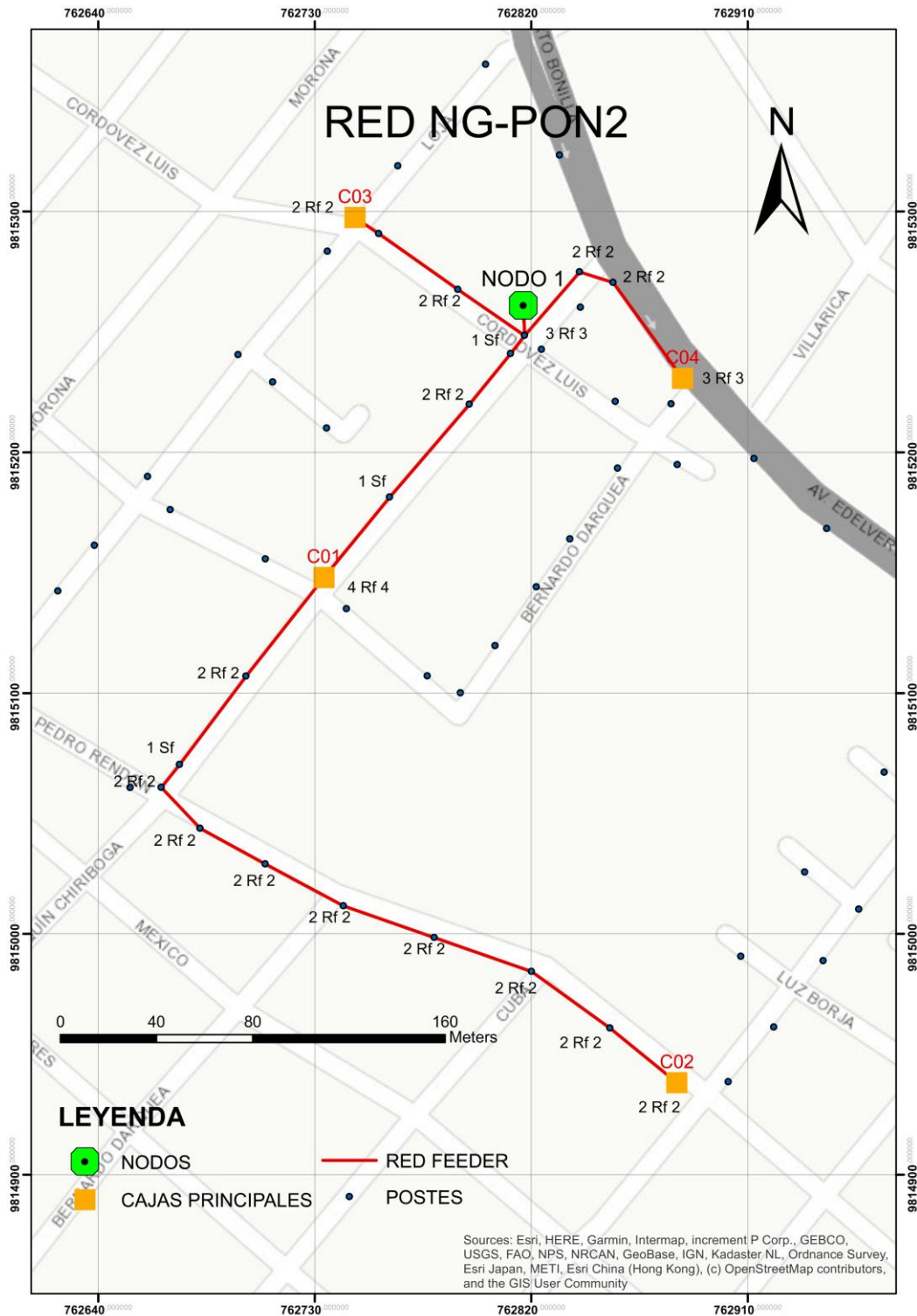


Figura 9. Herrajes utilizados en la Red Feeder

4.1.2 Red De Distribución

La red de distribución se define como el tramo que va desde los armarios FDH o mangas porta splitter hasta las cajas de distribución (NAP) conectadas a través de cables ópticos aéreos, canalizados o puestos en murales. Es decir, el cable de distribución a las cajas ópticas aéreas NAP, se toma de las cajas de Primer Nivel.

Cada splitter de las cajas de 1er Nivel, conectarán 8 cajas de Segundo Nivel con cables de fibra óptica tipo G652D, ubicados en los diferentes postes existentes en el Barrio Juan de Velasco. Se decidió utilizar este tipo de fibra óptica ya que presenta una baja dispersión cromática en las bandas C y L, las cuales son usadas por sistemas NG-PON2 para el enlace ascendente y descendente respectivamente.

En las cajas de distribución (Naps) se alojan los splitters secundarios de tipo 1:8 que sirven para dar servicio al usuario final. De acuerdo con el cálculo de la demanda proyectada realizada en el apartado 4.1 se tendrían 384 usuarios potenciales, por lo que al dividir este número para las 16 salidas que tiene cada caja se requiere un promedio de 24 cajas de distribución (NAP), y las demás salidas de los splitters primarios se reservaran para el crecimiento futuro de la red, recordemos que cada caja de segundo nivel cuenta con 2 splitter de 1:8 por caja.

Las 24 NAPs fueron distribuidas en puntos estratégicos, cubriendo de esta manera la demanda del barrio Juan de Velasco, como se muestra en la figura 10.

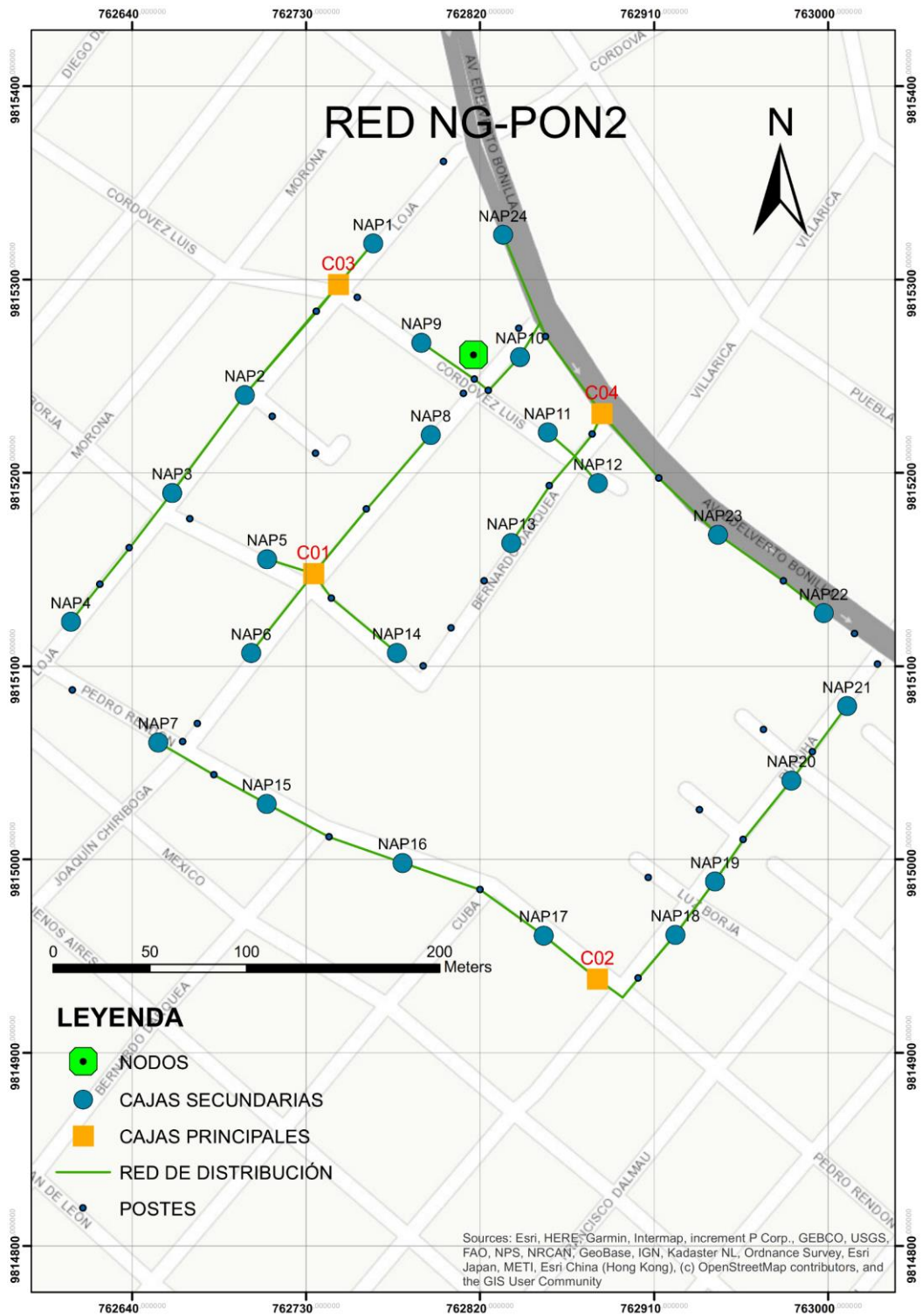


Figura 10. Red De Distribución

En la tabla 17, se muestra las 24 cajas de distribución (NAP) y los splitters de segundo nivel utilizados para atender la demanda del sector residencial y comercial del Barrio Juan de Velasco.

Tabla 17. Cajas de Distribución (NAP)

CAJAS SECUNDARIAS							
FID	Shape *	Id.	CAJA	NIVEL	SPLITTER	LATITUD	LONGITUD
23	Point	1	NAP1	2do Nivel	1:8	1° 40' 9,967" S	78° 38' 17,798" W
22	Point	2	NAP2	2do Nivel	1:8	1° 40' 12,520" S	78° 38' 19,943" W
21	Point	3	NAP3	2do Nivel	1:8	1° 40' 14,169" S	78° 38' 21,157" W
10	Point	4	NAP4	2do Nivel	1:8	1° 40' 16,343" S	78° 38' 22,852" W
9	Point	5	NAP5	2do Nivel	1:8	1° 40' 15,281" S	78° 38' 19,572" W
0	Point	6	NAP6	2do Nivel	1:8	1° 40' 16,863" S	78° 38' 19,832" W
8	Point	7	NAP7	2do Nivel	1:8	1° 40' 14,442" S	78° 38' 17,904" W
7	Point	8	NAP8	2do Nivel	1:8	1° 40' 13,187" S	78° 38' 16,835" W
6	Point	9	NAP9	2do Nivel	1:8	1° 40' 11,635" S	78° 38' 16,990" W
5	Point	10	NAP10	2do Nivel	1:8	1° 40' 11,874" S	78° 38' 15,341" W
4	Point	11	NAP11	2do Nivel	1:8	1° 40' 13,145" S	78° 38' 14,871" W
1	Point	12	NAP12	2do Nivel	1:8	1° 40' 13,999" S	78° 38' 14,038" W
2	Point	13	NAP13	2do Nivel	1:8	1° 40' 15,005" S	78° 38' 15,480" W
3	Point	14	NAP14	2do Nivel	1:8	1° 40' 16,858" S	78° 38' 17,394" W
11	Point	15	NAP15	2do Nivel	1:8	1° 40' 19,402" S	78° 38' 19,570" W
12	Point	16	NAP16	2do Nivel	1:8	1° 40' 20,394" S	78° 38' 17,296" W
13	Point	17	NAP17	2do Nivel	1:8	1° 40' 21,613" S	78° 38' 14,934" W
14	Point	18	NAP18	2do Nivel	1:8	1° 40' 21,599" S	78° 38' 12,730" W
15	Point	19	NAP19	2do Nivel	1:8	1° 40' 20,702" S	78° 38' 12,069" W
16	Point	20	NAP20	2do Nivel	1:8	1° 40' 18,997" S	78° 38' 10,792" W
17	Point	21	NAP21	2do Nivel	1:8	1° 40' 17,747" S	78° 38' 9,862" W
18	Point	22	NAP22	2do Nivel	1:8	1° 40' 16,181" S	78° 38' 10,252" W
19	Point	23	NAP23	2do Nivel	1:8	1° 40' 14,860" S	78° 38' 12,026" W
20	Point	24	NAP24	2do Nivel	1:8	1° 40' 9,817" S	78° 38' 15,626" W

Nota: Se indica la ubicación de las cajas de distribución NAP. Fuente autor

Para la red Distribución se utilizaron 8 herrajes de tipo A o de retención en conjunto con 8 preformados y 3 herrajes de tipo B o de Suspensión para en el trayecto de fibra que conecta las NAPs 1,2,3,4 con la caja primaria C03, 10 herrajes de tipo A o de retención en conjunto con 10 preformados y 1 herraje de tipo B o de Suspensión para en el trayecto de fibra que conecta las NAPs 5,6,8,14 con la caja primaria C01, 22 herrajes de tipo A o de retención en conjunto con 22 preformados y 3 herrajes de tipo B o de Suspensión para en el trayecto de fibra que conecta las NAPs 7,15,16,17,18,19,20,21 con la caja primaria C02, 21 herrajes de tipo A o de retención en conjunto con 21 preformados y 2 herrajes de tipo B o de Suspensión para en el trayecto de fibra que conectan las NAPs 9,10,11,12,13,22,23,24 con la caja primaria C04, para Fibra Óptica Monomodo G.652D de 12 hilos, en la figura 11 se presenta el diagrama de herrajes para la red Feeder.

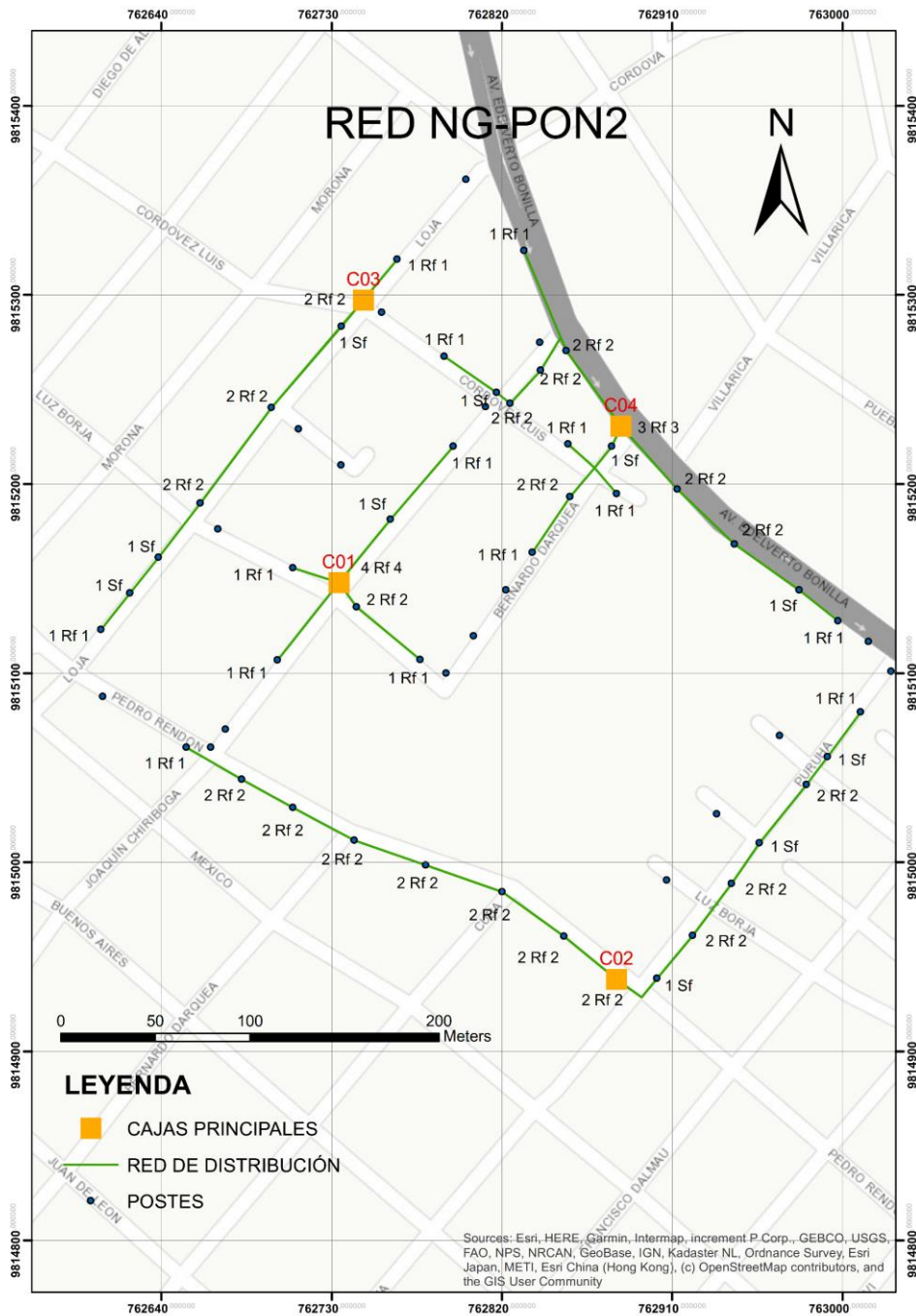


Figura 11. Herrajes utilizados en la Red de Distribución

4.1.3 Red de Dispersión

La red de Dispersión implica tender cables de acceso desde las cajas terminales NAP hasta la roseta óptica del cliente. En nuestro proyecto cada caja NAP abastecerá a 16 clientes finales. Para la red de dispersión se utilizó fibra óptica (G657A) debido a su insensibilidad a las pérdidas por flexión, es decir, presenta bajas atenuaciones ante torsiones que sufre la fibra óptica durante su trayecto.

El cable de fibra óptica se tenderá a través de la infraestructura de entrada al domicilio, utilizando escalerillas o ductos como por ejemplo manguera negra reforzada de 32mm - 1". La Roseta óptica utilizará un cable de derivación conectado con el terminal SC-APC hembra incorporado en la roseta, mediante un cable pigtail. El criterio para la ubicación final de la roseta será la distancia del jumper que provee la ONU; por lo tanto, la roseta no debe estar a más de dos metros de distancia de la ONU.

En la figura 12 se presenta la red de dispersión que parte desde las cajas de segundo nivel denominadas NAPs (circulo azul), con fibra G657A hasta el domicilio del cliente, en la imagen se hace una representación de los 16 usuarios finales, a través del símbolo pentágono en color lila, siendo el último tramo de la red, obteniendo así, el diseño completo de la Red NG-PON2 para el Barrio Juan de Velasco.

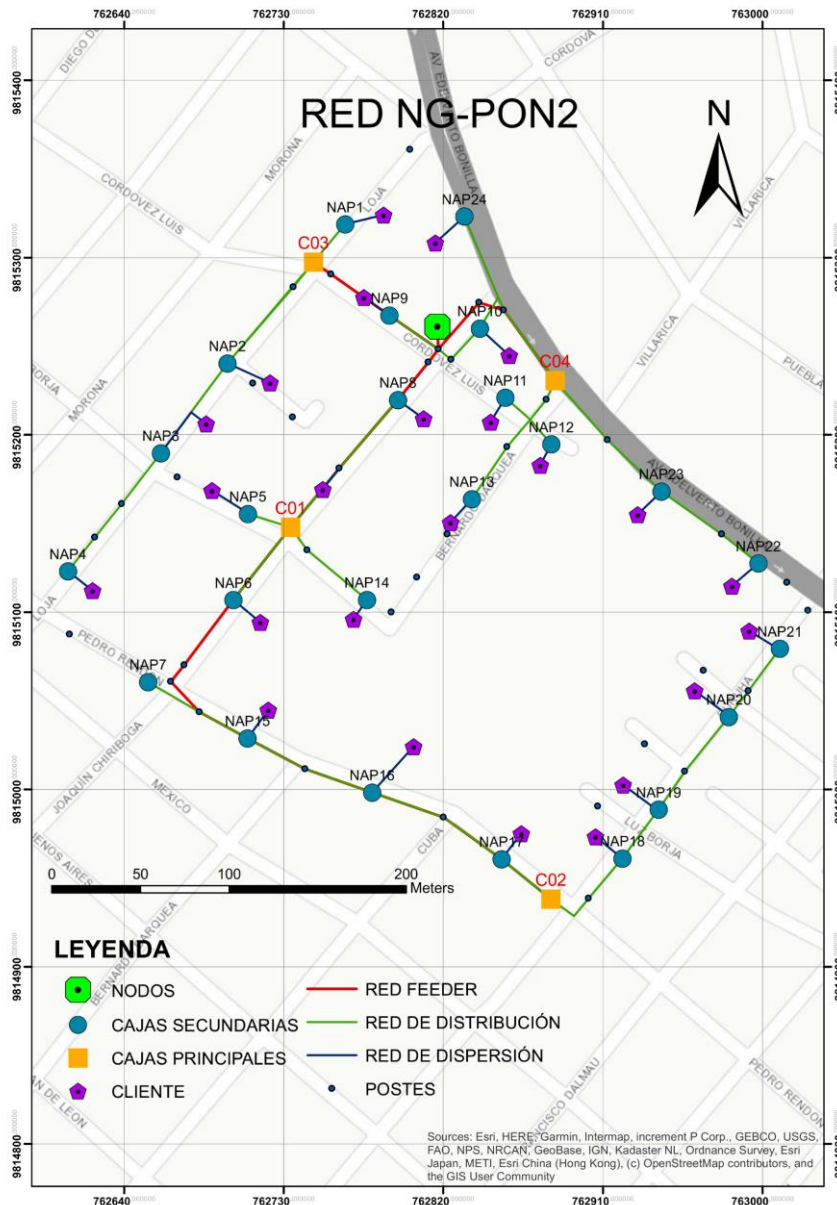


Figura 12. Red NG-PON2 aplicada a redes FTTH para el Barrio Juan de Velasco

4.2 Elementos Activos de la Red NG-PON2

NG-PON2 al ser una red de siguiente generación, las empresas dedicadas al desarrollo y fabricación de equipos de telecomunicaciones todavía no han introducido en el mercado suficientes equipos que cumplan con todas las especificaciones y necesidades de las redes NG-PON2. De este modo, algunos de los equipos que se describen a continuación, fueron acoplados de acuerdo con las especificaciones del estándar y fueron seleccionados de acuerdo con los más altos estándares de calidad, entrega rápida, soporte continuo y confiabilidad.

4.2.1 Unidades de Red Óptica (ONU)



Para la unidad de red óptica, se requiere de ONUs sintonizables (colorless), dispositivos terminales que filtren o sintonicen las diferentes longitudes de onda con las que trabaja el sistema. En la actualidad son muy pocas las empresas que disponen de ONUs específicas para las redes NG-PON2 y ninguna de ellas se encuentra dentro de nuestro territorio nacional. Por ahora en nuestro país se comercializan ONUs que cumplen con los requerimientos de los sistemas PON heredados (GPON, EPON, XGS-PON, etc.) sin embargo, pueden ser acoplados a la presente tecnología.

Por esta razón, se presenta dos opciones de equipos terminales para el diseño de la red NG-PON2 en el barrio Juan de Velasco. Como primera opción se propone el equipo GP1200NG GigaPoint ONU de la empresa CALIX, país de origen India, el equipo es una solución de premisa para las redes NG-PON2, equipada con una interfaz WAN 10G NG-PON2 y un puerto de servicio Ethernet 10G para proporcionar un servicio conveniente de ancho de banda ultra alto en el extremo del suscriptor. La ONU GP1200NG permite brindar hasta 10G de datos y/o servicios de IPTV a suscriptores residenciales y de pequeñas y medianas empresas [30].

La segunda opción que se propone es utilizar ONUs de los sistemas PON heredados (GPON, EPON, XGS-PON, etc.) que permitan acoplarse a las necesidades de las redes NG-PON2, la elección de un dispositivo u otro depende principalmente del caso de uso del proveedor, así como de los servicios contratados por el cliente. Dado que el escenario planteado en la presente tesis es un caso genérico y no se profundiza a ese nivel de detalle, se seleccionó el equipo GPR3000X que pertenece a la tecnología XGS-PON, pues presenta las mejores características para adaptarse a las redes NG-PON2.

La ONU GPR3000X presenta interfaces 10G XGS-PON WAN, 10G SFP+ y 1G LAN para que sus clientes de ancho de banda ultra alto puedan experimentar una velocidad, un rendimiento y una confiabilidad inigualables, pues brinda servicios IP simétricos y Ethernet de operador de hasta 10G. Los dos modelos propuestos se describen de manera resumida en la tabla 18.

Tabla 18. Modelos de ONU propuestos para la red NG-PON2

PRODUCTO	GP1200NG 	GPR3000X 
Tecnología óptica 10G PON WAN	NG-PON2	XGS-PON
Interfaz WAN: Óptica modular (XFP)	1	0
LAN: 10GE (SFP+)	0	1
LAN: 10GE (100/1000/10G Base-T Ethernet/RJ-45)	1	0
LAN: 1GE (10/100/1000 Base-T Ethernet / RJ-45)	0	2
WAN Interface: Modular Optics (SFP+)	0	1
Voz: puertos RJ-11	2**	0
Funciones compatibles con MEF 2.0*	No	Si
Sensibilidad de Recepción	-28 dBm	-28 dBm

Nota: Se describe características de las ONUs GP2100NG y GPR3000X. Para más información, véase el anexo B. [30]

Si optamos por la segunda opción, es decir por el equipo ONU GPR3000X, se debe adicionar un transceptor óptico adaptable a la unidad de red óptica, para dar funcionamiento al estándar NG-PON2. Por ello, se propone el módulo LTW2601-BC+, que presenta características propias de la tecnología NG-PON2 y es considerado como un módulo en miniatura que se puede insertar en cualquier puerto SFP de un punto de acceso (AP, Access Point) u ONU.

El transceptor LTW2601-BC+ está diseñado para la aplicación NG-PON2 ONU. Está configurado con un transmisor ascendente BM de banda C de 9,95328 Gbps y un receptor

descendente CW de banda L de 9,95328 Gbps que funcionan en configuración TDM. Los transmisores pueden ser controlados por la función LVTTL Tx_Disable y los receptores incorporan la salida LVTTL Rx_LOS. El dispositivo LTW2601 está diseñado para admitir hasta 128 suscriptores en distancias de hasta 40 km en la ODN [31].

Las características principales del transeptor óptico se presentan en la tabla 19.

Tabla 19. *Transeptor ONU LTW2601-BC+ NG-PON2*

Nombre del producto	Modelo	Paquete	Interfaz	Alcanza	Temperatura	Salida de transmisión	Tasa de transmisión	Longitud de onda de transmisión	Entrada Rx	Tasa de prescripción	Longitud de onda prescrita
ONU NG-PON2	LTW2601-BC+	SFP+ XFP	CAROLINA DEL SUR	40km	C	4~9dBm @ER≥6dB	9,953 Gb/s	1532.68/1533.47/1534.25/1535.04nm	-28dBm	9,953 Gb/s	1596.34/1597.19/1598.04/1598.89nm

Nota: Se describe características de EL Transeptor LTW201-BC. [31]

4.2.2 Terminal de Línea Óptica (OLT)

Actualmente no se cuenta con una OLT específica para la tecnología NG-PON2, por lo tanto, para llevar a cabo el diseño de la red NG-PON2 en el barrio Juan de Velasco, se decidió analizar el equipo OLT TJ1400 de la empresa Tejas Networks. El Terminal de Línea Óptica admite transmisión ITU-T G.984(GPON) e ITU-T G.9807 (XGS PON), con una velocidad de línea de hasta 10 Gbps simétrico y TWDM-PON, parámetros base para habilitar la red NG-PON2, además es importante mencionar que las próximas versiones del equipo OLT TJ1400 admitirán estándares PON de próxima generación de mayor velocidad, como NG-PON2, a través de simples actualizaciones o reemplazando las tarjetas de línea[32].

Descripción del producto

La OLT TJ1400 es una serie de elementos GPON avanzados diseñados para redes de acceso óptico de próxima generación implementadas en formatos FTTH (Fibra hasta el hogar) y FTTB (Fibra hasta el edificio). Aborda la creciente necesidad de los proveedores de servicios de soluciones de banda ancha de línea fija flexibles y de alta capacidad para admitir aplicaciones de video emergentes (por ejemplo, HDTV, VOD) en implementaciones residenciales, agregación de tráfico backhaul desde sitios celulares LTE, servicios VPN empresariales y SD - Redes WAN basadas en el paradigma NFV.

Ofrece una de las realizaciones de OLT más densas del mercado actual con opciones de protocolo de transporte, TDM, Ethernet, OTN y TWDM-PON. El equipo TJ1400 OLT


cumple totalmente con el conjunto de estándares ITU-T G.984 y G.9807 que definen las especificaciones de la capa dependiente de los medios físicos y la capa de convergencia de transmisión para las redes GPON/ XGS-PON[32, pp. 1400-7].

Características:

- Compatible con redes GPON, XGS-PON y Combo-PON
- Plan Residencial, empresarial, backhaul móvil y aplicaciones IoT
- Familia compacta de OLT de última generación con tarjetas de servicios comunes para construir modulares soluciones OLT 1U/2U/5U/7U
- QoS mejorado y multidifusión para video
- Protección contra fallas xPON multinivel[32, pp. 1400-7]

El equipo OLT TJ1400-7 propuesto para la red NGPON2, se describe de forma resumida en la tabla 20.

Tabla 20. OLT para la red NG-PON2

	Modelo OLT TJ1400-7	Marca:	Tejas
	Tipo de producto:	Acceso de banda ancha de fibra	
	Distancia de transmisión:	40 km dependiendo de la relación de división	
	Estándar:	NG-PON2	
	Transmisión:	ITU-T G.984(GPON), ITU-T G.9807 (XGSPON)	
	Tasa de línea de transmisión:	D/S, U/S – 2,5/1,2 Gbps o 10 Gbps simétrico	
	Conector de transmisión:	SC/UPC	
	Network Uplinks:	Gigabit Ethernet 10 gigabit ethernet 100 gigabit ethernet	
	Tarjetas de Servicio	8 port GPON Card 16 port GPON Card 16 port GPON/XG-PON/XGS-PON Card 32 port GPON/XG-PON/XGS-PON Card 32 port Combo-PON Card 1:128 split ratio 1+1 Power, Fabric and Control card Redundancy Unified TejNMS based Network Management	
	Dimensiones físicas (alto x ancho x profundidad)	TJ1400-7: 88*433*204mm	

Nota: Se describe características de la OLT TJ1400-7. [32]

Adicional, como parte del sistema de recepción se debe especificar las características de los transceptores ópticos conectables de pequeño factor de forma SFP+ (small form-factor pluggable plus), los cuales se conectan en la OLT para transformar las señales eléctricas en señales ópticas y suministran la potencia de transmisión hacia la ODN.

En la tabla 21, se muestra las especificaciones del módulo SFP+ que se propone para el presente proyecto con el propósito de dar servicio a la red NG-PON2.

Tabla 21. Transceptor OLT LTF62XX SFP+ para NG-PON2

Nombre del producto	Modelo	Paquete	Interfaz	Alcanza	Temperatura	Salida de transmisión	Tasa de transmisión	Longitud de onda de transmisión	Entrada Rx	Tasa de prescripción	Longitud de onda prescrita
NG-PON2 OLT	LTF62XX-PC+	SFP+	CAROLINA DEL SUR	40km	C	5.2~8.2dBm	9,953 Gb/s	1596.34/1597.19/1598.04/1598.89nm	-29.2dBm	9,953 Gb/s	1524~1544nm

Nota: Se describe las características del transceptor LTF62XX SFP. [32]

En esta sección se describe también, el Multiplexor de longitud de onda (WM1) que es un dispositivo MUX de longitud de onda pasivo que combina 4 longitudes de onda NG-PON2 en una sola fibra (con soporte futuro para 8 longitudes de onda) y que es utilizado en el presente diseño y el Elemento de coexistencia (CEX) que es un MUX de longitud de onda pasiva que combina la mayoría de las tecnologías de acceso en una sola fibra y aunque no se empleó en nuestro proyecto, se presenta como parte del estudio de la tecnología NG-PON2.


Actualmente, dentro del mercado de las telecomunicaciones ya existen estos dos dispositivos diseñados específicamente para la tecnología NG-PON2. En el presente trabajo se analizó el Multiplexor de longitud de onda y el Elemento de coexistencia de la empresa HYOPTIC, ya que ofrecen asistencia técnica completa, responsabilidad de los trámites de importación, sustitución parcial en caso de fallas, responsabilidad de licencias de NG-PON2 de ser el caso, etc.

4.2.3 Multiplexor de longitud de onda (WM1)

El módulo HyOptic Wavelength Mux WM1 de la empresa HYOPTIC, es un multiplexor óptico pasivo, multiplexa y demultiplexa NG-PON2, 4 TWDM en sentido descendente y ascendente en una sola fibra óptica, para lograr NG-PON2 con 40 Gigabit de capacidad a través de 4x10G por puerto [34].

Los puertos del Módulo HyOptic Wavelength Mux WM1, se presentan en la tabla 22 y sus especificaciones técnicas en la tabla 23.

Tabla 22. Módulo HyOptic Wavelength Mux WM1

HyOptic Wavelength Mux WM1	PUERTOS
	Puerto 1 Longitud de onda central 1532.68 y 1596.34 nm
	Puerto 2 Longitud de onda central 1533.47 y 1597.18 nm
	Puerto 3 Longitud de onda central 1534.25 y 1598.04 nm
	Puerto 4 Longitud de onda central 1535.04 y 1598.89 nm

Nota: Se describe características del módulo HyOptic Wavelength Mux WM1. [34]

Tabla 23. Especificaciones Técnicas


Parameter	UWDM1-LGX
Operating wavelength	1520~1610 nm
Channel number	4 CH
Channel spacing	DWDM 100GHz
Bandwidth @ 0.5dB	ITU ±0.125 nm
Channel 1 Central wavelength	1532.68 /1596.34 nm
Channel 2 Central wavelength	1533.47 /1597.19
Channel 3 Central wavelength	1534.25 /1598.04
Channel 4 Central wavelength	1535.04 /1598.89
Insertion Loss (without connector)	< 3.0dB
Insertion Loss (with connector and receptacle)	< 3.5dB
Isolation (Adjacent)	> 30dB
Isolation (Non-adjacent)	> 40dB
Return Loss	< 0.2dB
Band ripple	< 0.5dB
Extinction Loss	> 50dB

Nota: Se describe las especificaciones técnicas del módulo HyOptic Wavelength Mux WM1. [34]

Elemento de coexistencia (CEX)

El módulo HyOptic 5CH WDM está diseñado para la coexistencia entre las tecnologías xPON como GPON, XGS-PON y NG-PON2, incluyendo señales de vídeo RF y OTDR. El módulo multiplexa en una sola fibra, durante la transmisión de la OLT a la ONU. Y viene empaquetado en un casete LGX que se puede conectar a 1U Rackmount [35]. Los canales del Módulo HyOptic 5CH WDM se presentan en la tabla 24 y las especificaciones técnicas en la tabla 25.

Tabla 24. Canales del Módulo HyOptic 5CH WDM

Elemento de coexistencia CEx	CANALES
	CH1: GPON Ancho de Banda 1290-1330 nm y 1480-1500 nm
	CH2: XGS-PON Ancho de Banda 1260-1280 nm y 1575-1580 nm
	CH3: NG-PON2 Ancho de Banda 1524-1544 nm, y 1596-1603 nm
	CH4: OTDR 1625-1650 nm
	CH5: Video de RF 1550-1560nm

Nota: Se describe los canales del módulo HyOptic 5CH WDM. [35]

Tabla 25. Especificaciones Técnicas

Parameter		Units	Wavelength (US)	Wavelength (DS)
Working Wavelength Range		nm	1260 ~ 1650	
Pass Band	G-PON	nm	1290 ~ 1330	1480 ~ 1500
	XGS-PON		1260 ~ 1280	1575 ~ 1581
	NG-PON2		1524 ~ 1544	1596 ~ 1603
	Video		1550 ~ 1560	
	OTDR Mon		1625 ~ 1650	
Insertion Loss (without connector)	G-PON	dB	≤ 0.8	
	XGS-PON		≤ 1.1	
	NG-PON2		≤ 1.4	
	Video		≤ 1.7	
	OTDR Mon		≤ 2.0	
Isolation	G-PON	dB	≥ 30	
	XGS-PON			
	NG-PON2			
	Video			
	OTDR Mon			

Nota: Se describe características del módulo HyOptic 5CH WDM. [35]

4.3 Elementos Pasivos de la Red NG-PON2

A continuación, se presenta el listado de materiales a utilizarse en la Red Feeder, Red Distribución y Red de Dispersión, que contienen el suministro de empalmes, tendido de fibra óptica, colocación de herrajes, splitters, conectores, cajas de distribución óptica, subidas a poste y los elementos empleados en el tendido de fibra óptica de acometida al usuario final. Los materiales a utilizarse en la Red Feeder y Red Distribución se muestran en la tabla 26 y 27 respectivamente:

Tabla 26. Elementos de la red Feeder

RED FEEDER			
ITEM	UNIDAD DE PLANTA	U	CANTIDAD
1	FUSIÓN DE FIBRA OPTICA (1 HILO)	u	6
2	ODF DE 24 PUERTOS SC/APC, INCLUYE 2 BANDEJAS DE 24 EMPALMES, 24 ADATADORES SC/APC, 24 MANGUITOS TERMOCONTRAIBLES 40mm, 24 PIGTAIL SC/APC	u	1
3	SUJECIÓN Y PREPARACION DE PUNTA DE CABLE DE FIBRA OPTICA	u	1
4	PRUEBA REFLECTOMÉTRICA POR FIBRA EN UNA VENTANA NG-PON2	hilo	6
5	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE UNA CAJA PORTA SPLITTER AÉREA TIPO DOMO	u	4
6	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE IDENTIFICADOR ACRILICO PARA FIBRA	u	6
7	SUMINISTRO Y COLOCACION DE SPLITTER (1X8)	u	6
8	CABLE AÉREO ADSS G.652.D DE 6 HILOS DE FIBRA ÓPTICA	m	856.65

Nota: Se describe los elementos que actuarán sobre la red Feeder. Fuente Autor

Tabla 27. Elementos de la red de Distribución

RED DE DISTRIBUCIÓN			
ITEM	UNIDAD DE PLANTA	U	CANTIDAD
1	FUSIÓN DE FIBRA OPTICA (1 HILO)	u	48
2	PREPARACION DE PUNTA DE CABLE DE FIBRA OPTICA G.652.D + SUJECION DE CABLES DE 12 HILOS	u	48
3	PRUEBA DE POTENCIA DE FIBRA OPTICA (1 HILO)	hilo	24
4	PRUEBA REFLECTOMÉTRICA POR FIBRA EN UNA VENTANA NG-PON2	hilo	24
5	SUMINISTRO Y COLOCACION DE CAJA NAP AÉREA	u	24
6	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE IDENTIFICADOR ACRILICO PARA FIBRA	u	24
7	SUMINISTRO Y COLOCACION DE SPLITTER (1X8)	u	44
8	CABLE AÉREO ADSS G.652.D MONOMODO DE 12 HILOS	m	1800
9	HERRAJE TIPO A PARA FIBRA ÓPTICA ADSS + 2 EXTENSIONES	u	49
10	HERRAJE TIPO B CÓNICO PARA FIBRA ÓPTICA ADSS + PERNO DE AJUSTE	u	12
11	PREFORMADO PARA FIBRA ÓPTICA DE ACERO GALVANIZADO	u	97

Nota: Se describe los elementos que actuarán sobre la red de Distribución. Fuente Autor

En la siguiente tabla se presenta los elementos de la red de dispersión para *una Caja*, que comprende el suministro de elementos empleados en el tendido de fibra óptica de acometida al cliente final.

Tabla 28. Elementos red de dispersión

RED DE DISPERSIÓN			
ITE M	UNIDAD DE PLANTA	U	CANTIDA D
1	FUSIÓN DE FIBRA OPTICA (1 HILO)	U	350
3	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ROSETA ÓPTICA CON 2 HILOS DE FIBRA + 2 ADAPTADORES SC/APC + 2 MANGUITOS DE PROTECCIÓN DEEMPALME	U	350
4	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PATCH CORD FC/APC-SC/APC DUPLEX. G.652D (5m)	U	350
5	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE PARA INTERIOR TIPO DROP G.657 (2 FIBRAS ÓPTICAS)	m	Según Proveedor

Nota: Se describe los elementos que actuarán sobre la red de Dispersión. Fuente Autor

4.4 Presupuesto de Potencia Óptica

El presupuesto de potencia óptica hace referencia a la cantidad de pérdida que un enlace de datos (transmisor a receptor) puede tolerar. Para realizar el presupuesto de potencia se debe tener en cuenta un valor máximo y mínimo de pérdidas en la ODN, lo cual garantice que tanto la OLT como la ONT de los clientes finales reciban una potencia mínima que permitan el correcto funcionamiento de sus receptores y una potencia máxima que no sature los equipos receptores [7].

En el caso del cliente más lejano las pérdidas en la ODN deben ser máximas y se considera la potencia mínima de transmisión con la finalidad de verificar que la potencia que llega a los receptores esté por encima del nivel de sensibilidad de los detectores ópticos y pueda funcionar el sistema correctamente.

Para el cliente más cercano a la OLT, las pérdidas en la ODN serán mínimas y se tomará en cuenta la potencia máxima de transmisión, con el objetivo de comprobar que la potencia de la señal que llega a los receptores esté por debajo del umbral máximo que puede soportar los detectores ópticos.

Para lo cual, se debe calcular el Presupuesto de Pérdida Óptica, que es la cantidad de pérdida que una red posee, se calcula sumando las pérdidas de todos los componentes utilizados en la red para obtener la pérdida punto a punto estimada.

Los elementos que se consideran en el cálculo, son aquellos que aportan a la atenuación, siendo estos: ODFs, conectores, fusiones, splitters, donde la atenuación depende de la cantidad de puertos para los que se divide la señal de la fibra y de la longitud de onda establecida [9].

A continuación, se calcula el Presupuesto de Pérdida Óptica para el usuario más lejano y el usuario más cercano:

4.4.1 Presupuesto de Pérdida Óptica del usuario más lejano

Para realizar el cálculo se tomó como base el punto más lejano entre la OLT y las 4 cajas de distribución (cajas principales), que en el diseño corresponde a la Caja denominada C02, ubicada en la calle Puruhá y Pedro Rendon, luego se seleccionó el tramo más lejano desde la caja C02 a una caja de segundo nivel, siendo esta la caja NAP21 y para efectos del presente cálculo, se tomó una distancia referencial de 250m entre la caja terminal NAP y la ONT, ubicada en el domicilio del cliente, a esto se le añadió 5 metros debido a los 2 patch cord existentes a cada extremo de la red y un pigtail.

Finalmente, la longitud total de la red de distribución u ODN para el usuario más lejano es el resultado de la suma de las distancias entre la OLT y la caja de primer nivel C02 y la distancia entre la caja C02 al terminal NAP21, más última milla adicional, se debe tener en cuenta lo que son reservas y catenaria, como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 29. Distancia cliente más lejano

Cálculos máxima distancia (km)	
OLT-C02	0.504
Reservas OLT- C02	0.028
C02- NAP21	0.183
Catenaria distribución + feeder	0.030
<i>Total, Distribución + Feeder</i>	0.745
Última Milla	0.250
Patch cord y pigtail	0.005
<i>Total, Última Milla</i>	0.255
TOTAL	1.000

Nota: Se describe el cálculo de distancia entre la OLT y el usuario más lejano. Fuente Autor

En consecuencia, se tiene aproximadamente una distancia de 1 km entre la OLT y la ONT del cliente más lejano.

En el presente diseño, se utilizó fibra óptica G.652.D y G.657.A, cuya atenuaciones que introduce la fibra óptica por kilómetro, correspondiente a la red feeder y red de distribución con fibra óptica G.652.D, posee una atenuación de 0.25 dB/Km pertenecientes a la banda L (1625 nm) y la misma atenuación, correspondiente a la banda C (1550 nm), ambos rangos son utilizados para la transmisión y recepción de voz, datos y video sobre IP respectivamente [9].

Por otro lado, en el tramo correspondiente a la red de dispersión, se utilizó fibra óptica G.657.A, la cual introduce atenuaciones de 0.40 dB/Km para las longitudes de onda de 1625 nm y atenuaciones de 0.30 dB/Km para las longitudes de onda de 1550 nm [9].

Así mismo, en el cálculo del Presupuesto de Pérdida Óptica se consideró todas las pérdidas por inserción generadas por los elementos pasivos de la ODN tales como splitters, NAP, FDF, rosetas, etc., así como las pérdidas producidas por conectores y fusiones de la fibra; que se detallan en la tabla 30, pérdidas que introduce el trayecto de la ODN hasta llegar a la ONT del cliente más lejano a la OLT, se incluye también las pérdidas ocasionadas por el módulo WM en el lado de la OLT.

Es necesario mencionar que el trayecto de la ODN, posee 4 clases de pérdidas (N1.N2, E1 y E2), como se había mencionado en el apartado 2.4.1. Para el presente trabajo se consideró la clase N1, la cual presenta pérdidas máximas de 29 dB, es decir por encima de este nivel de pérdidas en la ODN la potencia de la señal que llegue a la ONT del cliente más lejano, no podrá ser detectada por los detectores ópticos del receptor y el sistema no funcionará.

Tabla 30. Pérdidas del usuario más lejano

PRESUPUESTO DE PÉRDIDA ÓPTICA					
MODELO Masivos/Abonado SPLITTER FUSIONADO					
OLT	ODF	C02 Caja 1er Nivel	NAP18	ROSETA	ONT
<i>Caja de Distribución Óptica:</i>					
MARGEN DE ATENUACIÓN MÁXIMO ESTABLECIDO:				29 dB	
dB BUDGET					
Cliente más Lejano					
ELEMENTO		Cantidad	Atenuación típica Att(dB)	Total, Att(dB)	
Empalmes de fusión ITU751=0.1dB promedio		5	0,10	0,50	
Conectores (mated) ITU671=0.5dB		5	0,50	2,50	
Empalmes mecánicos ITU751=0.3dB promedio			0,30	0,00	
Splitters		1x2	3,50	0,00	
		1x4	7,00	0,00	
		1x8	10,50	21,00	
		1x16	14,00	0,00	
		1x32	17,50	0,00	
		1x64	21,00	0,00	
Fibra óptica		1625	1 km	0,25	
G.652.D		1625	0.255 km	0,102	
G.652.A					
Total (dB)				24,35	
Insertion Loss WM				3	
Pérdidas totales incluido módulo WM				27,35 dB	

Nota: Se describe el presupuesto de pérdida óptica para el usuario más lejano. Fuente Autor

Como se muestra en la presente tabla, las pérdidas totales en la ODN del cliente más lejano son de 27.28 dB, lo que quiere decir que está por debajo del nivel máximo de pérdidas de la clase N1 (29 dB), lo cual comprueba que el sistema operará correctamente.

4.4.2 Presupuesto de Pérdida Óptica del usuario más cercano

En este caso se tomó en consideración a la caja más cercana a la OLT, en nuestro diseño corresponde a la Caja C03, ubicada en la calle Loja y Codovez Luis. Luego se calculó el tramo más cercano desde la caja de primer nivel C03 a una caja de segundo nivel, siendo esta la caja NAP1 y para efectos del presente cálculo, de igual manera se tomó una distancia referencial de 250m entre la caja terminal NAP y la ONT ubicada en el domicilio del cliente, a esto se le añadió también 5 metros que corresponde a los 2 patch cord ubicados a cada extremo de la red y un pigtail.

Finalmente, la longitud total de la red de distribución u ODN para el usuario más cercano, es el resultado de la suma de las distancias entre la OLT y la caja de primer nivel denominada caja C03 y la distancia entre la caja C03 y el terminal NAP1, más última milla, de igual manera se añadió la distancia de las reservas y catenaria. De acuerdo a la tabla 31, se tiene una distancia aproximadamente de 0,373 km entre la OLT y la ONT para el usuario más cercano.

Tabla 31. Distancia usuario más cercano

Cálculos máxima distancia (km)	
OLT-C03	0.099
Reservas OLT- C03	0.010
C03- NAP 1	0.028
Catenaria distribución + feeder	0.011
<i>Total, Distribución + Feeder</i>	0.148
Última Milla	0.25
Patch cord y pigtail	0.005
<i>Total, Última Milla</i>	0.225
TOTAL	0,373

Nota: Se describe el cálculo de distancia entre la OLT y el usuario más cercano. Fuente Autor

Las pérdidas a las que se ve sometido el enlace del cliente más cercano a la OLT serán mínimas y de igual manera que el caso anterior, se consideró la clase N1 para el usuario más cercano, el cual presenta pérdidas mínimas de 14 dB, es decir por debajo de este nivel de pérdidas en la ODN, la potencia de la señal que llegue a la ONT del cliente más cercano saturará el detector óptico.

En la tabla 32, se presenta las pérdidas que introduce el trayecto de la ODN hasta llegar a

la ONT del cliente más cercano a la OLT.

Tabla 32. Perdidas del usuario más cercano

PRESUPUESTO DE PÉRDIDA ÓPTICA					
MODELO Masivos/Abonado SPLITTER FUSIONADO					
OLT	ODF	C03 Caja 1er Nivel	NAP21	ROSETA	ONT
<i>Caja de Distribución Óptica:</i>					
MARGEN DE ATENUACION MAXIMO ESTABLECIDO:				14 dB	
dB BUDGET					
Cliente más Lejano					
ELEMENTO		Cantidad	Atenuación típica Att(dB)	Total, Att(dB)	
Empalmes de fusión ITU751=0.1dB promedio		5	0,10	0,50	
Conectores (mated) ITU671=0.5dB		5	0,50	2,50	
Empalmes mecánicos ITU751=0.3dB promedio			0,30	0,00	
Splitters		1x2	3,50	0,00	
		1x4	7,00	0,00	
		1x8	10,50	21,00	
		1x16	14,00	0,00	
		1x32	17,50	0,00	
		1x64	21,00	0,00	
Fibra óptica		1625	0,0984 km	0,024	
G.652.D		1625	0,255 km	0,077	
G.652.A					
Total (dB)				21.899	
Insertion Loss WM				3	
Pérdidas totales incluido módulo WM				24.899 dB	

Nota: Se describe el presupuesto de pérdida óptica para el usuario más cercano. Fuente Autor

Por lo tanto, como podemos observar en la presente tabla, el nivel de pérdidas totales en la ODN del cliente más cercano es de 24.899 dB, lo cual comprueba que el sistema operará correctamente dado que está por encima del nivel mínimo de la clase N1.

4.4.3 Cálculo del Presupuesto de potencia

El presupuesto de potencia óptico garantiza que la señal que llega al receptor sea la adecuada. Para lograr esto, se debe considerar las características de potencia de transmisión y sensibilidad de los equipos activos que intervienen en la red, así como también, las pérdidas por inserción que provocan todos los elementos pasivos de la ODN [7].

Para calcular el balance óptico, se debe cumplir la siguiente inecuación:

$$\mathbf{Prx} \leq \mathbf{Ptx} - \mathbf{\alpha Total}$$

Donde:

Ptx = Potencia mínima/máxima del transmisor óptico.

Prx = Potencia mínima de sensibilidad de recepción del equipo.

α Total = Valor total de pérdidas [7].

De esta manera, en el presente proyecto se consideró el módulo OLT LTF62XX que presenta una potencia máxima de transmisión de 8.2 dBm y una potencia mínima de 5.2 dBm, las pérdidas totales del ODN incluido el módulo WM, para el usuario más lejano fueron de 27.35 dB y para el usuario más cercano 24.899 dB y el módulo LTW2601 adaptable a ONUs de redes NG-PON2, posee una sensibilidad de recepción de -28dBm. Entonces el cálculo del balance óptico para el usuario más lejano y usuario más cercano es el siguiente:

Cliente más lejano:

Para el cálculo del presupuesto de potencia del cliente más lejano a la OLT, se debe considerar la potencia mínima de transmisión y las pérdidas máximas en la ODN, esto con el propósito de comprobar que los detectores ópticos en los receptores puedan detectar la señal.

$$\mathbf{Prx} \leq \mathbf{Ptx} - \mathbf{\alpha Total}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq 5.2 \text{ dBm} - 27.35 \text{ dB}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq -22.15 \text{ dBm}$$

Cliente más cercano:

Para el cálculo del presupuesto de potencia del cliente más cercano a la OLT, se debe considerar la potencia máxima de transmisión y las pérdidas mínimas en la ODN, esto con el objetivo de comprobar que no se sature el detector óptico en el receptor.

$$\text{Prx} \leq \text{Ptx} - \alpha_{\text{Total}}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq 8,2 \text{ dBm} - 24,899 \text{ dB}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq -16,699 \text{ dBm}$$

Como se podemos ver en los resultados, en todos los casos esperados para el sistema, no se superan ni los valores determinados por la desigualdad ni los valores del rango de sensibilidad proporcionado por el fabricante, por lo que se determina que el sistema operará apropiadamente y se comprueba que los equipos seleccionados son los óptimos para el presente proyecto.

4.5 Simulación de la red NGPON2 mediante el software OptiSystem

Para analizar el rendimiento de la red NG-PON2 en el Barrio Juan de Velasco, se utilizó el software OptiSystem, un simulador de alto nivel para sistemas basados en el modelado realista de la tecnología de comunicaciones por fibra óptica, posee un entorno de simulación de gran alcance y una definición verdaderamente jerárquica de componentes y sistemas. Los usuarios también pueden agregar nuevos componentes basados en bibliotecas y subsistemas personalizados, o utilizar la simulación conjunta con herramientas de terceros, como MATLAB o SPICE [36].



Figura 13. Software OptiSystem [36]

OptiSystem proporciona la suite de diseño fotónica y comunicación óptica más completa para ingenieros de diseño óptico, permite que la simulación sea tan detallada como dicta la precisión deseada, además del modelado de los diseños, el software permite probar y optimizar prácticamente cualquier tipo de canal óptico en la capa física de una amplia variedad de redes ópticas, sistemas de radiodifusión de vídeo analógico o redes troncales intercontinentales.

Para predecir el rendimiento del sistema, el software permite el cálculo de parámetros como BER (Bit Error Rate) y Q-Factor mediante el análisis numérico o técnicas semianalíticas para sistemas limitados por ruido e interferencia entre símbolos [36].

Las principales herramientas de análisis que podemos acceder en OptiSystem son:

- Q-Factor
- Diagrama del ojo
- Diagrama de constelación
- BER (Bit Error Rate)
- Potencia de señal
- Ganancia, etc. [36]

4.5.1 Desarrollo de la simulación

En esta sección se detalla los elementos empleados en la Red NG-PON2 para el barrio Juan de Velasco y se describe el paso a paso de la simulación, asimismo se analizan los resultados a partir de las gráficas que se muestran en los analizadores y visualizadores de la señal recibida, en el equipo ONU para el usuario más lejano y el usuario más cercano.

En la figura 14, se presenta la interfaz de usuario y los componentes principales del software OptiSystem.

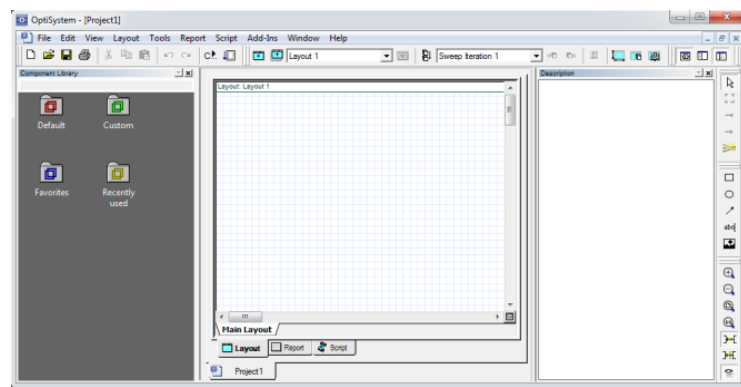


Figura 14. Interfaz de usuario [36]

Para modelar la red NG-PON2 se han creado subsistemas que permiten crear tus propios componentes a partir de los elementos básicos proporcionados por el software, además se utilizan para un uso eficiente del espacio de trabajo.

, asimismo, se colocaron analizadores y visualizadores de la señal en todo el recorrido del enlace óptico y en el equipo de recepción ONU, a fin de predecir el rendimiento del sistema.

El diseño de la red está formado por 30 subsistemas, donde, el primer subsistema está diseñado para fungir como OLT, el segundo subsistema es el equipo ONU y los 28 subsistemas restantes cumplen la función de cajas de primero y segundo nivel, mismos que se detallan a continuación:

4.5.2 Terminal de Línea Óptica (OLT)

Para la creación de la OLT, se usaron cuatro transmisores ópticos, cada uno de ellos está formado por un “CW Laser” (láser de onda continua: Continuous Wave Laser), donde se configuró las longitudes de onda centrales del canal descendente TWDM, un “Pseudo-Random Bit Sequence Generator” (PRBSG), en el cual se configuró la velocidad de transmisión en 10^9 bit/s (10Gbps).

Ahora para transformar los 1 y 0 lógicos del PRBSG en 1 y 0 eléctricos, se colocó un NRZ Pulse Generator, el que crea automáticamente una conexión con el PRBSG y se añadió un MZ (Mach-Zehnder) Modulator, mismo que se encargará de transformar la señal binaria eléctrica en una señal óptica tomando para el efecto la energía óptica generada por el CW Laser. Y al final de los 4 transmisores se colocó un MUX 4x1 que combina las 4 longitudes de onda NG-PON2 en una sola fibra.

En el receptor, se utilizó un demultiplexor, para separar las longitudes de onda y simular el sistema, compuesto por un fotodiodo, encargado de realizar la conversión óptica-eléctrica, de un filtro paso bajo Bessel, que es utilizado para eliminar frecuencias no deseadas, como el ruido introducido por los fotodiodos y un buffer selector encargado de almacenar los datos en la OLT.

Al final, como se muestra en la figura 15, se encuentra un Circulator que permite conectar el transmisor al receptor y el elemento Fork se colocó en representación del tubo de fibra, del que parten los 6 hilos de fibras hacia las cajas de primer nivel. El subsistema del equipo OLT se muestra a continuación.

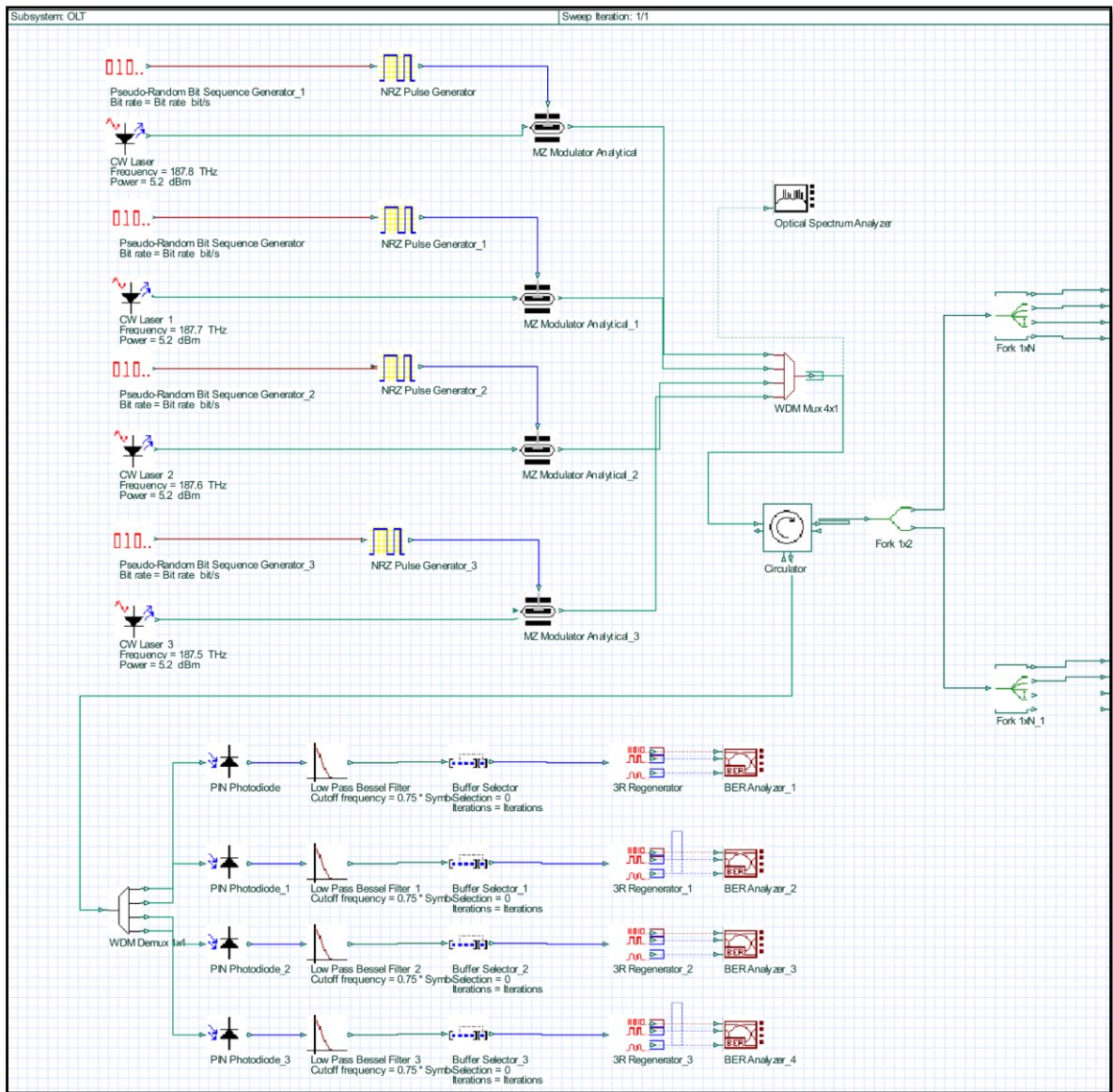


Figura 15. OLT (Optical Line Termination)

4.5.3 Red de Distribución Óptica

La Red de Distribución Óptica (ODN) se compone de un canal de fibra óptica y se utilizan divisores ópticos en la red. En el diseño de la red NG-PON2, se configuró 54 splitter de tipo 1:8 con una atenuación de 10.5dB, que fueron distribuidos de la siguiente manera: 6 splitter para las cajas de primer nivel y 48 splitter para las cajas de segundo nivel, donde se colocó dos splitter por caja.

La distancia y la longitud de onda de referencia han sido ajustadas en la fibra, en nuestro caso se utiliza la ventana de 1625 nm porque tiene la mayor atenuación en comparación con otras longitudes de onda con un valor de 0.40 dB, además se coloca un atenuador en la fibra

para simular la pérdida que poseen los conectores y los puntos de fusión. En la figura 16, se observa las conexiones de la ODN.

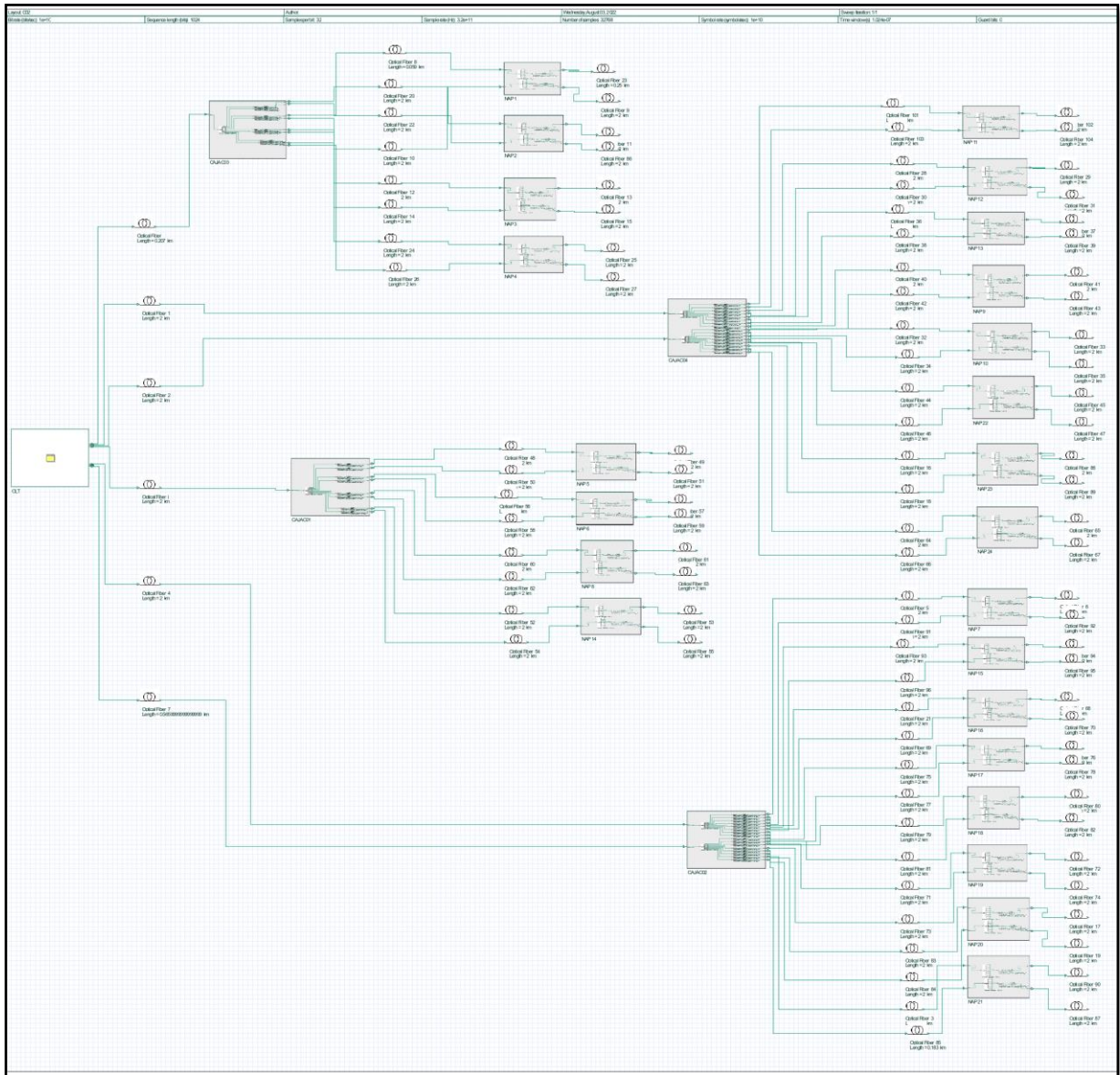


Figura 16. ODN (Optical Distribution Network)

4.5.4 Unidad de Red Óptica (ONU)

Para el equipo ONU se utilizó un filtro gaussiano en el cual se configuró su respectiva frecuencia central y ancho de banda y luego de cada filtro, se colocó un Optical Receiver, en el que se configuró el fotodiodo a un APD en lugar de PIN que encontramos por defecto en el software. En la figura 17 se observa el subsistema del equipo receptor ONU.

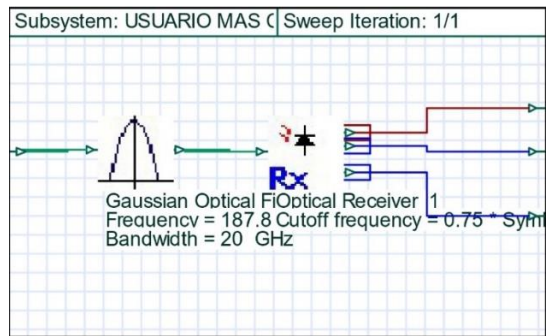


Figura 17. ONT (Óptica Network Terminal)

Una vez completado el diseño y definido los parámetros del dispositivo, se continúa con la simulación, como podemos observar en la figura 18.

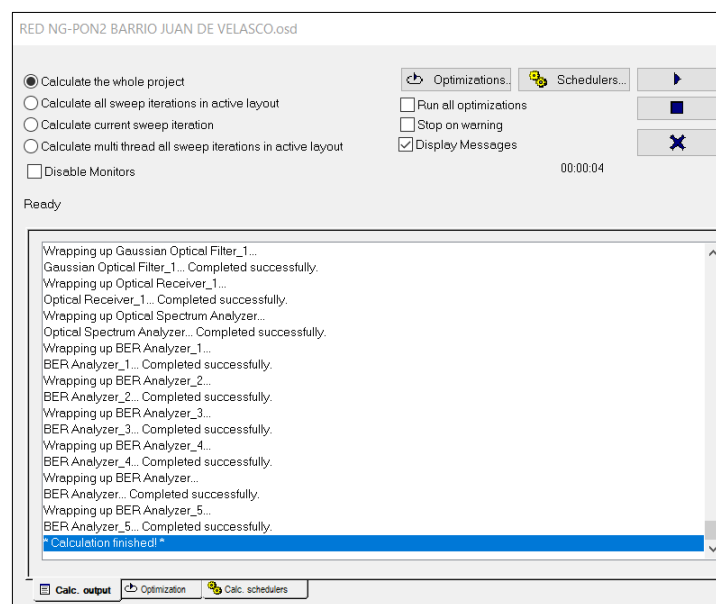


Figura 18. Simulación red NG-PON2

OptiSystem al terminar de analizar la simulación, nos responde con el mensaje “completed successfully” en el caso de que las conexiones sean correctas, de otro modo nos entrega un mensaje de error finalizando así la simulación, en cuyo caso se debe verificar la configuración de las conexiones y los parámetros utilizados. Modelar toda la red conlleva el uso de una gran cantidad de memoria RAM y un tiempo considerable para nuestro hardware. El esquema completo de la red NG-PON2 para el barrio Juan de Velasco, se presenta en el anexo D.

4.6 Análisis del rendimiento de la red NG-PON2

Los resultados obtenidos de la simulación se presentan a partir de una demostración experimental, de acuerdo a los efectos de las no linealidades de Kerr y Raman que pueden

ser diversos en un sistema NG-PON2, dependiendo de la potencia de transmisión, longitud del enlace óptico y de la separación entre canales[21], parámetros que fueron considerados en el presente trabajo, con la finalidad de analizar el rendimiento de la red NG-PON2 en el barrio Juan de Velasco, para lo cual se empleó medidores de Potencia, Mínimo BER y Diagrama de Ojo.

En la simulación se empleó la longitud del enlace óptico y la potencia óptica de transmisión definida para el usuario más lejano y el usuario más cercano y se consideró dos espacios entre canales diferentes: 0,85 nm y 0,425 nm, a fin de comparar su influencia en el rendimiento del sistema. Los datos empleados en la simulación fueron los siguientes:

Usuario más Lejano

(P_{tx}) Potencia del transmisor óptico: 5,2 dBm

Pérdidas totales incluido módulo WM: 27,35 dB

Separación entre canales: 0,85 nm y 0,425 nm

Usuario más Cercano

(P_{tx}) Potencia del transmisor óptico: 8,2 dBm

Pérdidas totales incluido módulo WM: 24,899 dB

Separación entre canales: 0,85 nm y 0,425 nm

En el primer escenario, se configuró las frecuencias centrales del canal descendente TWDM de la tecnología NG-PON2. Por lo tanto, las longitudes de onda correspondientes a las portadoras ópticas OLT, se ajustaron a los siguientes valores: $\lambda_1 = 1596,34$ nm, $\lambda_2 = 1597,19$ nm, $\lambda_3 = 1598,04$ nm, $\lambda_4 = 1598,89$ nm, lo que significa una separación entre canales de 0,85 nm. La potencia medida en la salida del OLT para el usuario más lejano fue 5.2 dBm con una distancia de ODN igual a 1.062km y para el usuario más cercano, se configuró una potencia de transmisión de 8.2 dBm con una distancia de ODN igual a 0,512 km, mientras que las pérdidas en el ODN para el usuario más lejano y usuario más cercano fueron de 27,30 dB y 24, 899 dB respectivamente.


Para la segunda etapa experimental, solo se cambió el valor de la separación entre canales a 0,425 nm, es decir a la mitad de la frecuencia central del canal descendente TWDM. Por lo tanto, los nuevos valores de las longitudes de onda fueron: $\lambda_1 = 1596,34$ nm, $\lambda_2 = 1596,765$ nm, $\lambda_3 = 1597,19$ nm, $\lambda_4 = 1597,615$ nm.

Los resultados obtenidos para el usuario más lejano y usuario más cercano, fueron los siguientes:

4.6.1 Usuario más lejano

La influencia de las degradaciones de la fibra óptica, como las no linealidades y la dispersión cromática, provocaron variaciones en el rendimiento del sistema, como se muestran en las curvas de BER (Tasa de error de Bit) y la potencia óptica recibida, como se observa en la tabla 33 y 34.

Tabla 33. Potencia óptica recibida para un espacio entre canales de 0,85 nm y 0,425 nm

Potencia final recibida en el equipo ONU	
Channel Spacing: 0,85 nm	 <p>Optical Power Meter</p> <p>6.236 E-6 W</p> <p>-22.051 dBm</p> <p>Signal Index: 0</p> <p>Total Power</p>
Channel Spacing: 0,425 nm	 <p>Optical Power Meter</p> <p>10.956 E-6 W</p> <p>-19.604 dBm</p> <p>Signal Index: 0</p> <p>Total Power</p>

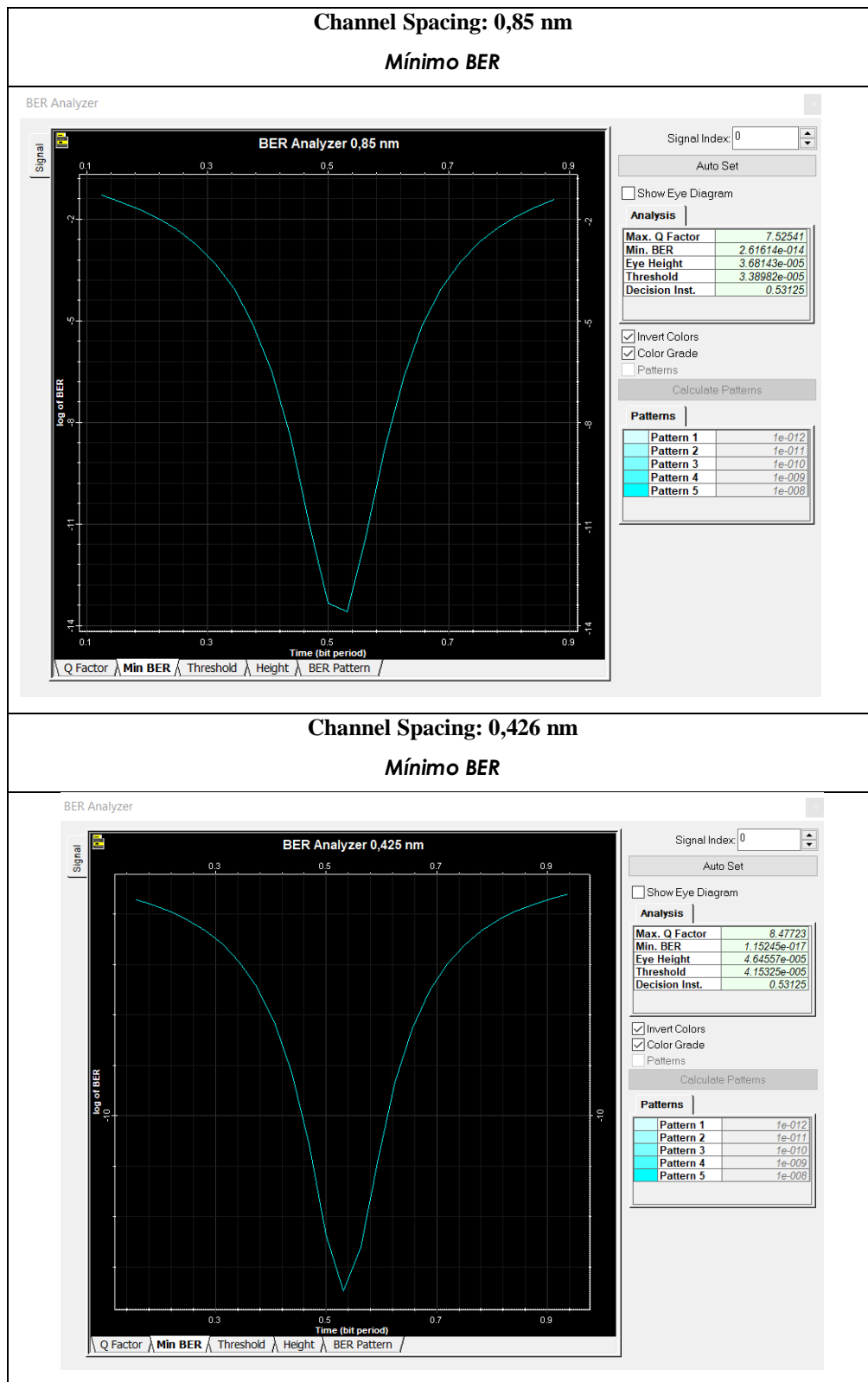
Nota: Se observa los resultados de potencia óptica recibida para un espacio entre canales de 0,85 nm y 0,426 nm para el usuario más lejano. Fuente Autor

Con una separación de canales de 0,85 nm, se obtuvo una potencia recibida de -22,051 dBm, mientras que, al disminuir la separación entre canales a 0,425 nm, se tuvo un valor de la potencia óptica recibida igual a -19,604 dBm, es decir, hay un valor diferenciador de 2,45 dB al reducir el espacio entre canales.

Así mismo, el valor que se obtuvo de la potencia fue menor en ambos casos, al resultado obtenido del cálculo teórico realizado que fue de -22,15 dBm. Cabe señalar que receptor seleccionado para el presente proyecto, en sus características, tiene una sensibilidad de recepción de -28dBm, por lo que podemos concluir que el resultado es adecuado, ya que se encuentra dentro del rango de sensibilidad de potencia que tiene el equipo.

Seguidamente, se muestran los resultados obtenidos en el equipo ONU, empleando el analizador BER (Bit Error Rate).

Tabla 34. BER para un espacio entre canales de 0,85 nm y 0,426 nm



Channel Spacing: 0,426 nm

Mínimo BER

Nota: Se observa los resultados del BER para un espacio entre canales de 0,85 nm y 0,426 nm. Fuente Autor

De acuerdo con la curva del BER, para la separación entre canales de 0,85 nm se tiene un mínimo de Tasa de Error de Bits igual a $2,616e-014$, es decir se generan aproximadamente 2.6 bits errados de cada 100 billones de bits transmitidos. Por otra parte, para la separación entre canales de 0,425 nm se tiene un resultado de BER igual a $1,152e-017$, es decir, aproximadamente se genera 1.2 bits errado de 100 mil billones de bits transmitidos, entonces se puede decir que los resultados obtenidos, están dentro del rango de los parámetros establecidos por la norma UIT –T G.989.2

Diagrama de Ojo

El diagrama de ojo indica que la señal se transmite con éxito a través del canal combinando los parámetros de Factor de Calidad (Factor Q), mínimo Tasa de Error de Bits (BER), Threshold y Height [7]. En la figura 19 y 20, se presentan los resultados del Diagrama de Ojo del enlace descendente TWDM para el usuario más lejano, en las cuales se observa el factor de calidad en el bit 0.5, donde este posee la más alta probabilidad de transmisión para una separación entre canales de 0,85 nm y en el punto 0.54 bit, se tiene una mayor probabilidad de transmisión para una separación entre canales de 0,425 nm.

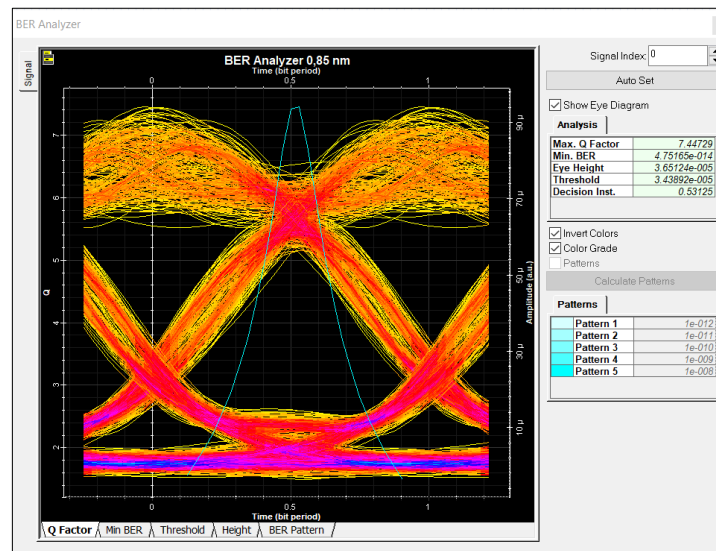


Figura 19. Señal recibida en el equipo ONU – 0,85 nm

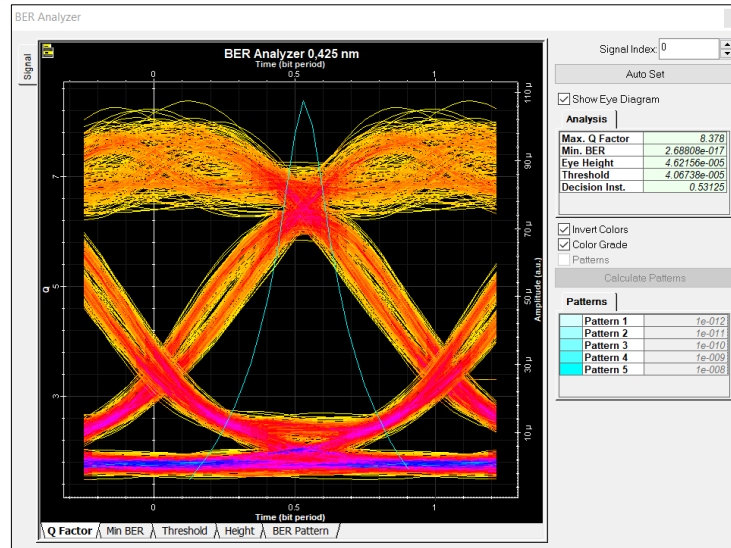


Figura 20. Señal recibida en el equipo ONU – 0,425 nm

4.6.2 Usuario más cercano

Para el usuario más cercano, de igual manera se calculó la potencia óptica de recepción y Mínimo BER, que se muestran en las tabla 35 y 36 respectivamente, donde se tiene un BER igual a $1,012e-17$, con una potencia de recepción de $-16,640$ dBm, para una separación entre canales de $0,85$ nm, mientras que, al disminuir la separación entre canales a $0,425$ nm, el valor de BER alcanzó un valor de $3,292e-31$ y una potencia óptica de $-14,041$ dBm, en este caso, se tuvo un valor diferenciador de $2,599$ dB al reducir el espacio entre canales.

Tabla 35. Potencia óptica recibida para un espacio entre canales de $0,85$ nm y $0,426$ nm

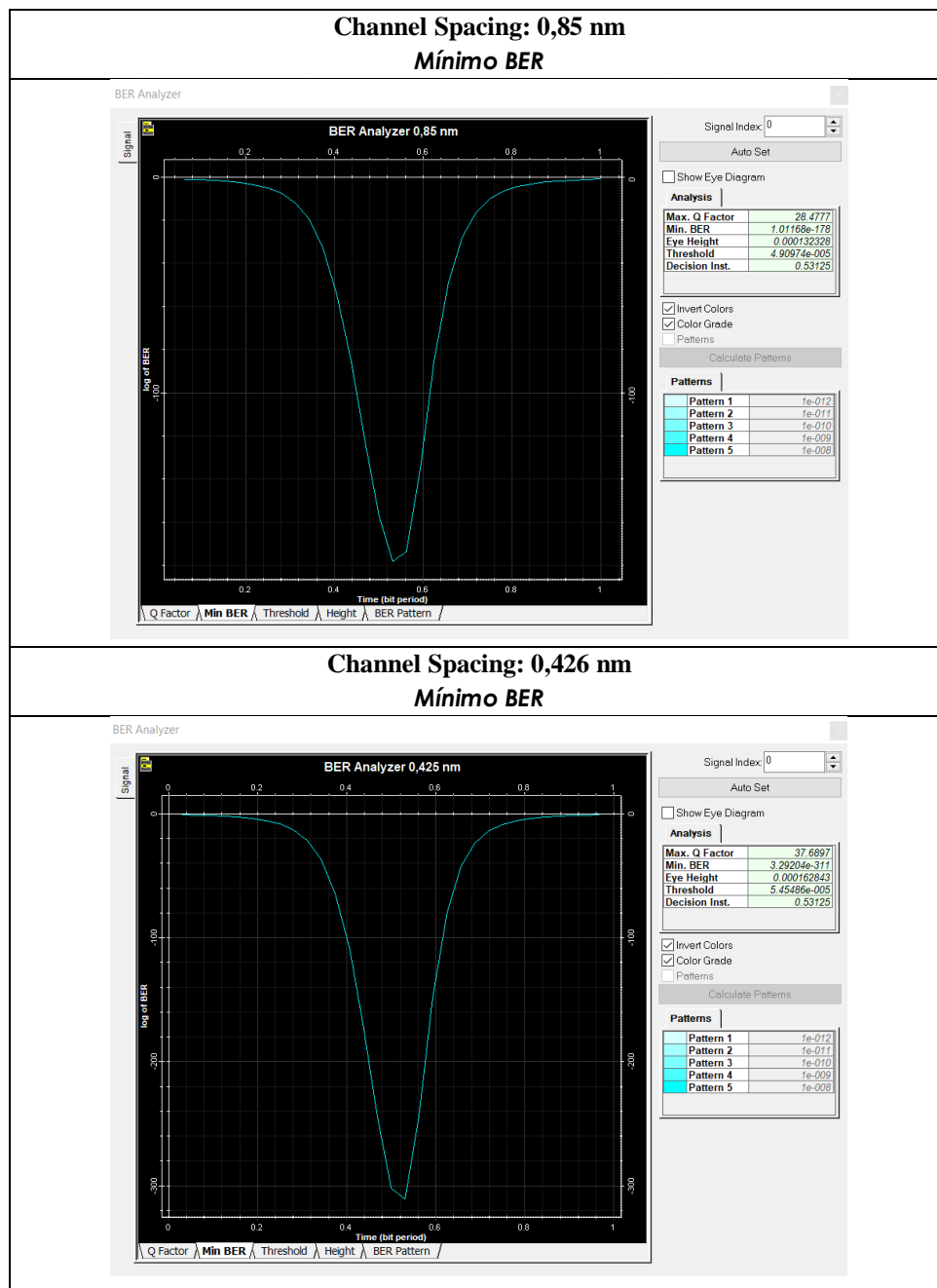
Potencia final recibida en el equipo ONU	
Channel Spacing: 0,85 nm	Optical Power Meter 
Channel Spacing: 0,425 nm	Optical Power Meter 

Nota: Se observa los resultados de potencia óptica recibida para un espacio entre canales de $0,85$ nm y $0,426$ nm para el usuario más cercano. Fuente Autor

De acuerdo con los resultados obtenidos de la simulación y en comparación al resultado que se obtuvo del cálculo teórico que fue de -16,699 dBm, se tiene una diferencia de -0.059 dBm para una separación del canal de 0,85 nm y 2,658 dBm para una separación del canal de 0,425 nm.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en el equipo ONU, para el usuario más cercano, empleando el analizador BER (Bit Error Rate).

Tabla 36. BER para un espacio entre canales de 0,85 nm y 0,426 nm



Nota: Se observa los resultados del BER para un espacio entre canales de 0,85 nm y 0,426 nm. Fuente Autor

De acuerdo con la curva del BER, para la separación entre canales de 0,85 nm se tiene un mínimo de Tasa de Error de Bits igual a $1,012e-17$, es decir se generan aproximadamente 1.5 bits errado de cada 100 mil billones de bits transmitidos. Por otro lado, para la separación entre canales de 0,425 nm, se tiene un resultado de BER igual a $3,292e-31$, es decir, aproximadamente se genera 1.5 bits errado de 10 quintillonésimos bits transmitidos, entonces se puede decir que los resultados obtenidos, al igual que el caso anterior, se encuentran en el rango aceptable dentro de los parámetros especificados en la norma UIT – T G.989.2

Diagrama de Ojo

El diagrama de ojo nos permitió evaluar la performance del sistema NG-PON2, en el enlace descendente TWDM, donde se observa el factor de calidad para el usuario más cercano que en el rango 0.4 y 0.5 bit, presenta la mayor probabilidad de transmisión para una separación entre canal de 0,85 nm y en el punto 0.55 bit posee la mayor probabilidad de transmisión, para una separación entre canales de 0,425 nm, como se muestra en la figura 21 y 22.

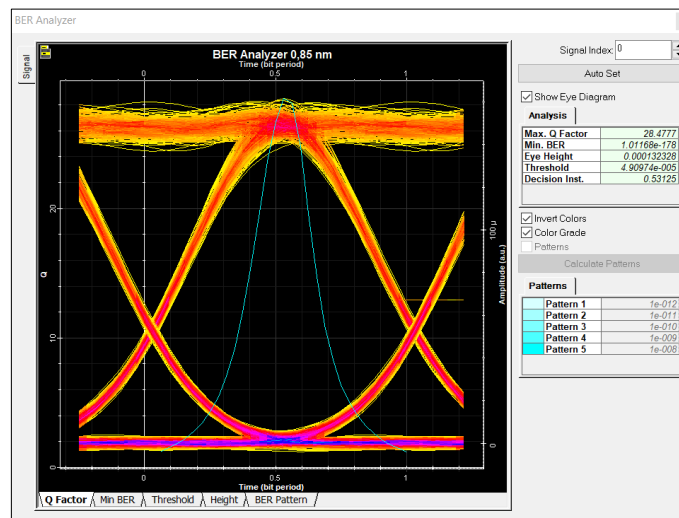


Figura 21. Señal recibida en el equipo ONU – 0,85 nm

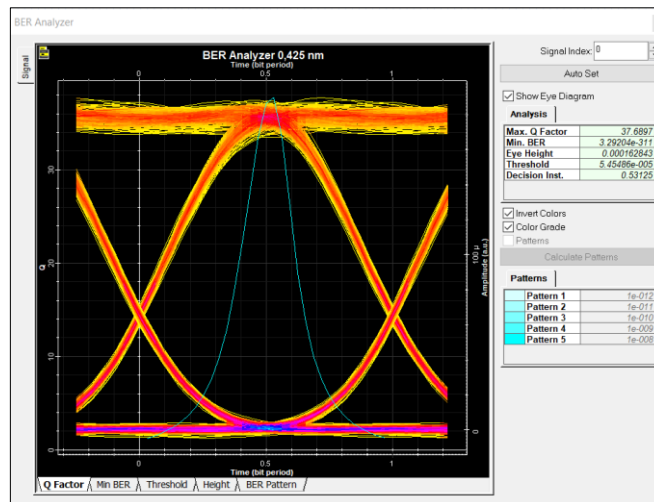


Figura 22. Señal recibida en el equipo ONU – 0,425 nm

De acuerdo con los resultados obtenidos, se ha demostrado que el espacio entre canales en una red NG-PON2, influye en el rendimiento general del sistema óptico. Al disminuir a la mitad el espacio entre canales, de las frecuencias centrales del canal descendente TWDM de la tecnología NG-PON2, el rendimiento de la red NG-PON2 en el barrio Juan de Velasco es mejor. Los resultados obtenidos confirmaron que, para el usuario más lejano, cuando la separación entre canales es de 0,85 nm se obtiene un BER de $2,616e-014$ con una potencia recibida de $-22,051$ dBm, mientras que, al disminuir la separación entre canales a 0,425 nm, el valor de BER alcanzó un valor de $1,152e-017$ y una potencia óptica recibida de $-19,604$ dBm, es decir, hay un valor diferenciador de 2,45 dB al reducir el espacio entre canales.

Para el usuario más cercano con una separación de canales de 0,85 nm, se tiene un BER igual a $1,012e-17$, con una potencia de recepción igual a $-16,640$ dBm y al disminuir la separación entre canales a 0,425 nm, el valor de BER alcanzó un valor de $3,292e-31$ y una potencia óptica de recepción igual a $-14,041$ dBm, diferenciándose en 2,599 dB.

Así mismo, los resultados del BER (Bit Error Rate) de la red NG-PON2, tanto para el usuario más lejano como para el usuario más cercano, se encuentran dentro del rango de los parámetros estipulados por la norma UIT-T G.989.2, lo cual permite tener una comunicación óptima entre equipos activos, permitiendo elevar la velocidad de las redes PON actuales.

4.7 Análisis de Rentabilidad Económica de la red NG-PON2

La rentabilidad se la puede definir como el rendimiento, que a través de una actividad económica se esperaría recibir, luego de una inversión, medida con respecto a un periodo y un valor de inversión [49].

El análisis de rentabilidad económica se realizará mediante el presupuesto referencial de los equipos activos y pasivos que intervienen en la red NG-PON2, ubicada en el barrio Juan de Velasco, para los 350 usuarios que fue diseñada la red.

Para el presupuesto referencial se agrupó por separado los costos de los equipos Activos y Pasivos, así también de los elementos que actúan en cada etapa de la red como son Feeder, Distribución, Dispersión y Canalización.

Los costos utilizados para este proyecto fueron tomados de memorias técnicas de empresas dedicadas a prestar servicios de diseño y construcción de sistemas eléctricos, electrónicos y de telecomunicaciones, así también de proformas de costos unitarios por equipos, de empresas ecuatorianas y extranjeras dedicadas a ventas de equipos de telecomunicaciones.

4.7.1 Presupuesto de los Elementos Activos de la red NG-PON2

En la siguiente tabla se describen los elementos Activos que intervienen en la red de acceso NG-PON2, tomando en cuenta que estos elementos han sido calculados para el número de usuarios proyectados para esta red.

Tabla 37. Costos Totales de Equipos Activos

Presupuesto para Equipos Activos NG-PON2					
Dispositivo	Modelo	Fabricante	Coste c/u	Cantidad	Precio
ONU	GPR3000X	Calix	\$160	350	\$56.000
Módulo Transceptor	LTW2601-BC+	Hisense Broadband	\$100	350	\$35.000
OLT	TJ1400	Tejas Networks	\$4800	1	\$4.800
Transceptor OLT	LTF62XX SFP+	Hisense Broadband	\$117	6	\$702
Multiplexor	HyOptic Wavelength Mux WM1	Hyoptic	\$150	6	\$900
Total					\$97.402

Nota: Se describe los costos de los elementos activos que actúan sobre la red NG-PON2. [30], [31], [32], [33], [34]

4.7.2 Presupuesto de los Elementos Pasivos de la red NG-PON2

En este apartado se presentarán los costos y el listado de todos los elementos pasivos que actúan sobre la red NG-PON2 diseñada; tanto para la red Feeder, red de Distribución y red de Dispersión, estos costes comprenderán empalmes, tendido de cable de fibra óptica, splitters, herrajes, cajas de distribución óptica y subidas a poste, además se añade los costos de Canalización que se utilizarían en la red.

Tabla 38. Costos de la Red Feeder

Presupuesto para Red Feeder				
Dispositivo	Unidad	Coste c/u	Cantidad	Precio
Fusión de Fibra Óptica (1 Hilo)	c/u	\$15	6	\$190
ODF de 24 Puertos SC/APC (Incluye 2 bandejas de 24 Empalmes, 24 Adaptadores SC/APC, 24 Manguitos Termo contraíbles 40mm, 24 Pigtail SC/APC)	c/u	\$55	1	\$55
FIBRA ADSS G.652D de 6 Hilos, Diámetro de chaqueta 10 mm, 4 KM, Span 120 mts.	metros	\$0,67	856.65	\$573.96
Tendido de Cable de Fibra óptica de 6 hilos	metros	\$6	856.65	\$5.140
Caja de Distribución de Primer nivel (Incluye Herraje para Fijación)	c/u	\$145	4	\$580
Armado de Caja de Empalme	c/u	\$20	4	\$80
Suministro y Colocación de Identificador acrílico de Fibra óptica	c/u	\$7	6	\$42
Suministro y Colocación de Splitter para Fusión (1x8)	c/u	\$30	6	\$180
Total				\$6.741

Nota: Se describe los costos generados por la red Feeder NG-PON2. [41], [42], [46], [44]

Tabla 39. Costos de la Red de Distribución

Presupuesto para red de Distribución				
Dispositivo	Unidad	Coste c/u	Cantidad	Precio
Fusión de Fibra Óptica (1 Hilo)	c/u	\$15	48	\$720
Sujeción y Preparación de Cable de Fibra Óptica	c/u	\$6,5	48	\$312
Prueba de Potencia de Fibra Óptica (1 Hilo)	c/u	\$8	24	\$192
Prueba Reflectométrica Unidireccional por fibra óptica en una ventana NG-PON2 + Traza Reflectométrica	c/u	\$8	24	\$192
Suministro y Colocación de caja de Distribución Aérea - Puertos SC/APC (Incluye Herraje para Fijación)	c/u	\$45	24	\$1.080
Suministro y Colocación de Identificador acrílico de Fibra Óptica	c/u	\$7	48	\$336
Suministro y Colocación de Splitter para Fusión (1x8)	c/u	\$30	48	\$1.440
FIBRA ADSS de 12 Hilos G.652D, Diámetro de chaqueta 10 mm, 4KM, Span 120 mts.	metros	\$0,85	1800	\$1.530
Herraje tipo A para fibra Óptica ADSS + 2 Extensiones	c/u	\$5.99	49	\$294
Preformado para fibra Óptica de acero galvanizado	c/u	\$5.20	97	\$504
Herraje tipo B cónico para fibra Óptica ADSS + Perno de ajuste	c/u	\$6.00	12	\$72
Cinta de acero 1/2" 30 m + hebilla	c/u	\$30	3	\$90
Total				\$6.762

Nota: Se describe los costos generados por la red de Distribución NG-PON2. [41], [44], [45], [43], [53], [54], [55], [56]

Tabla 40. Costos de la Red de Dispersión

Presupuesto para red de Dispersión				
Dispositivo	Unidad	Coste c/u	Cantidad	Precio
Fusión de Fibra Óptica (1 Hilo)	c/u	\$15	350	\$5.250
Suministro y Colocación de Conector Mecánico SC/APC	c/u	\$1	350	\$350
Sujeción y Preparación de Fibra Óptica tipo DROP de 2 Hilos	c/u	\$6,50	700	\$4.550,00
Suministro y Colocación de Roseta Óptica de 2 hilos de Fibra, incluye 2 adaptadore SC/APC, 2 Manguitos de protección de empalme.	c/u	\$15	350	\$5.250
Suministro y Colocación de Patch Cord Dúplex FC/APC-SC/APC de 5 m. G.652D	c/u	\$13,60	350	\$4.760,00
Suministro y Tendido de Cable de Fibra Óptica para interior, plana, 2 hilos, con cable mensajero G.657A (DROP)	metros	\$1,10	87500	\$96.250,00
Total				\$116.410

Nota: Se describe los costos generados por la red de Dispersión NG-PON2. [41], [47], [52]

Tabla 41. Costos de Canalización

Canalización				
Dispositivo	Unidad	Coste c/u	Cantidad	Precio
Rotura de Calzada	m2	\$5,0	1,6	\$8
Excavación para subida a Poste, canalización y desalojo para subida a Poste	m	\$20	10	\$200
Subida a poste + 9m Tubo Galvanizado 2" y manguera 19mm	Unidad	\$110	1	\$110
Relleno y Compactación	m3	\$20	1,72	\$34
Pozo de Revisión 48 Bloques	Unidad	\$1.400	1	\$1.400
Total				\$1.752

Nota: Se describe los costos generados por Canalización. [41], [43]

4.7.3 Presupuesto Total de la Red NG-PON2

El presupuesto total de la red diseñada está conformado por la suma de los equipos o elementos Activos y Pasivos colocados en cada etapa de la red, esta se puede observar a continuación en la tabla 40.

Tabla 42. Presupuesto total de la red NG-PON2 diseñada.

Etapas de la Red	Costo
Elementos Activos	\$ 97.402
Red Feeder	\$6.741
Red de Distribución	\$6.762
Red de Dispersión	\$116.410
Canalización	\$1.752
Total	\$227.849.000

Nota: Se describe la sumatoria de costos de la red NG-PON2. Fuente Autor

El presupuesto total de la red es de \$227.849 dólares, cabe recalcar como se mencionó en el apartado 4.7 todos estos costos fueron colocados, tomando como referencia memorias técnicas de empresas dedicadas a prestar servicios de diseño y construcción de sistemas eléctricos, electrónicos y de telecomunicaciones, así también de proformas de costos unitarios por equipos, de empresas ecuatorianas y extranjeras dedicadas a ventas de equipos de telecomunicaciones, además cada costo de los elementos activos y pasivos ya incluyen IVA.

4.7.4 Cálculo de Rentabilidad Económica del Proyecto

Una de las formas para determinar la rentabilidad económica del proyecto es mediante el cálculo del índice de rentabilidad (IR), el cual es una relación entre el valor presente de los flujos de caja futuros y la inversión realizada para el proyecto, que en nuestro caso viene dada por el presupuesto total de la red NG-PON2 diseñada que es de \$227.849.000 dólares. Por esto, podemos afirmar que el índice de rentabilidad ayuda a medir la rentabilidad de un proyecto de inversión [48].

La fórmula del índice de rentabilidad es:

$$IR = \frac{\sum VP(Fcj)}{I_0}$$

Donde:

$\sum VP(Fcj)$: Sumatoria del valor presente de todos los flujos de caja “j”

I_0 : Inversión inicial realizada

El valor presente de los flujos de caja futuros se describe como la relación entre el flujo de efectivo neto y el valor actual [48], en el que actúa la tasa de descuento, que es una medida financiera que se aplica para medir el valor actual de un pago futuro, en nuestro caso utilizaremos una tasa de descuento del 10%, por lo cual la fórmula para encontrar el valor presente de los flujos de caja futuros es:

$$VP(Fcj) = \frac{Fcj}{(1 + Td)^n}$$

Donde:

Fcj = Flujos de caja “j”

Td = Tasa de Descuento

n = Representa el periodo en el cual se genera el flujo de caja.

El flujo de efectivo neto no es más que la diferencia entre los Ingresos y Egresos del proyecto, por lo que es necesario considerar los Ingresos y Egresos referenciales que se tendría una vez implementada la red NG-PON2.

En referencia a la encuesta realizada para el estudio de mercado y a los precios referenciales de otros proveedores de servicios locales, se considera realizar un cobro mensual de \$40 dólares por el servicio de internet a los usuarios del Barrio Juan de Velasco, de esa forma los Ingresos y Egresos mensuales serían los siguientes:

Tabla 43. Ingresos del Proyecto

INGRESOS	
Tarifa Mensual =	\$40
Número de Usuarios =	350
Ingreso Mensual =	\$14.000
Ingreso Anual =	\$168.000

Nota: Se describe los posibles ingresos generados por el despliegue de la red NG-PON2. Fuente Autor

Tabla 44. Egresos del Proyecto

EGRESOS	
Renta =	\$800
Luz =	\$60
Agua =	\$30
Combustible =	\$40
Salario 6 trabajadores =	\$3.600
Egresos Mensuales =	\$4.530
Egresos Anuales =	\$54.360

Nota: Se describe los posibles egresos generados por el despliegue de la red NG-PON2. Fuente Autor

El cálculo de Índice de Rentabilidad se proyectará para un lapso de 3 años, tomando en cuenta que en el año 0 no tendremos Ingresos ni Egresos ya que se considera la Inversión Inicial como el único gasto inicial.

Tabla 45. Cálculo del Flujo de Efectivo Neto y Valor Actual

AÑO	INGRESOS	EGRESO	FLUJO DE EFECTIVO NETO	VALOR ACTUAL
AÑO 0			-\$227.849	-\$227.849
AÑO 1	\$168.000	\$54.360	\$113.640	\$103.309
AÑO 2	\$168.000	\$54.360	\$113.640	\$93.917
AÑO 3	\$168.000	\$54.360	\$113.640	\$85.379

Nota: Se describe el cálculo de Flujo de Efectivo Neto y Valor Actual. Fuente Autor

En esta tabla podemos observar el valor actual con proyección de 3 años, mediante una sumatoria obtenemos el valor presente de la suma de flujos actualizados, obteniendo un valor de \$282.606 dólares.

Entonces el índice de rentabilidad obtenido resulta de la siguiente manera:

$$IR = \frac{\sum VP(Fc_j)}{I_0}$$

$$IR = \frac{\$282.606}{\$227.849}$$

$$IR = 1.2403$$

Si el índice de Rentabilidad es menor a 1 se debe buscar una mejor inversión por lo que indica que el valor presente de los flujos que se espera generar es menor que la inversión realizada por lo que no es conveniente, caso contrario si el índice de Rentabilidad es mayor a 1 indica que el proyecto será rentable, siendo este el caso de nuestro proyecto demostrando así la viabilidad de la implementación de la red NG-PON2 en el barrio Juan de Velasco.

El valor Actual Neto (VAN) o valor presente neto indica un ingreso futuro o un gasto en términos monetarios traídos al presente, donde este valor representa generalmente la viabilidad de un proyecto en función del valor de la inversión, los costos de operación y los ingresos [51].

Podemos calcular el Valor Actual Neto mediante la siguiente formula:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+k)^t}$$

Donde:

Ft= Flujo de dinero en cada periodo t

I₀= Inversión Inicial

n= Número de periodos en el tiempo

k= Tipo de descuento

Si el VAN es mayor a 0 el proyecto generará beneficios, si el valor es igual a 0 no tendremos beneficios ni pérdidas, pero si el valor resulta menor a 0 quiere decir que el proyecto nos traerá pérdidas por lo cual no es viable.

El Cálculo del Valor Actual Neto (VAN) para nuestro proyecto resulta de la siguiente manera:

$$VAN = -227.849 + \frac{113.640}{(1+0.10)^1} + \frac{113.640}{(1+0.10)^2} + \frac{113.640}{(1+0.10)^3}$$

$$VAN = 54.757$$

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es otro método para poder determinar la rentabilidad y viabilidad de un proyecto, TIR es una tasa que iguala la inversión con los valores futuros traídos al presente que genera una inversión [50].

También se podría definir como el valor de la tasa de descuento k que hace que el VAN sea igual a 0, donde si el TIR es mayor a la tasa de descuento se consideraría al proyecto como rentable.

Como se mencionó para el índice de rentabilidad, la red está proyectada para un periodo de tres años, con una tasa de descuento del 10% y una inversión inicial de \$227.849 dólares, el flujo de efectivo neto se puede observar en la tabla 42, por lo que el cálculo de la tasa interna de retorno es igual a:

$$TIR = 0.2320$$

$$TIR = 23\%$$

Finalmente, el periodo de recuperación de la inversión (PRI) se puede calcular mediante la inversión inicial y el flujo de efectivo neto, esto nos mostrara el tiempo en el cual los flujos de caja neto cubren en totalidad la inversión realizada [48].

$$PRI = A + \frac{b-c}{d}$$

Donde:

A= Período anterior al que se recuperara la inversión

B= Inversión inicial

C= Flujo de caja acumulado del periodo A

D= Flujo de caja del período donde se recupera la inversión

Entonces el periodo de recuperación de la inversión obtenido resulta de la siguiente manera:

$$PRI = 2 + \frac{227.849 - 227.280}{113.640}$$

$$\mathbf{PRI = 2.005008}$$

La inversión inicial del proyecto de diseño de una red NG-PON2 se podrá recuperar en su totalidad en un promedio de 2 años.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- En esta tesis se hizo un Estudio, Diseño y Simulación de una red NG-PON2, para analizar su rendimiento en el Barrio Juan de Velasco, el que se basa en la necesidad de dar solución a los problemas de velocidad y ancho de banda que presentan actualmente las redes ópticas pasivas PON.
- El estudio de la tecnología GPON y la evolución a la próxima generación PON, permitió entender la estructura y funcionamiento de la tecnología NG-PON2, cuya característica clave que diferencia al estándar NG-PON2 de sus predecesores, es que se trata de la primera especificación PON de la industria que opera con múltiples longitudes de onda de comunicación mediante WDM, siendo compatible además con redes de distribución óptica basadas en divisores de potencia. Su capacidad de sintonización es otro aspecto importante introducido en la presente tecnología, ya que cada equipo ONU integrante de la red NG-PON2, está equipado con un transmisor y un receptor sintonizable.
- El adecuado estudio de mercado y estudio de la demanda permitió diseñar de forma positiva la red NG-PON2, aplicada a redes FTTH en el Barrio Juan de Velasco, el diseño posee una arquitectura en cascada con 2 niveles de splitter y consta de tres partes: Red Feeder, Red de Distribución y Red de Dispersión, otro aspecto primordial en el desarrollo de la red NG-PON2, fue el cálculo del Presupuesto de Potencia Óptica, lo que permitió estimar la cantidad de pérdidas que el enlace de datos puede tolerar, asimismo nos permite asegurar que los equipos elegidos son los óptimos para el proyecto. Lo más difícil en el presente trabajo fue no contar con la información suficiente sobre los elementos activos de la red NG-PON2, al ser un estándar nuevo, que no se ha afianzado todavía de forma relevante dentro del mercado de redes PON.

- El análisis del rendimiento de la red NG-PON2, se basó en los efectos de las no linealidades de Kerr y Raman, en el que se consideró parámetros como la potencia de transmisión, longitud del enlace óptico y la separación entre canales, y de acuerdo a los resultados obtenidos de la simulación, se demostró que el espacio entre canales en una red NG-PON2, influye en el rendimiento general del sistema óptico; al disminuir a la mitad (0,425 nm) el espacio entre canales de las frecuencias centrales del canal descendente TWDM (0,85 nm) de la tecnología NG-PON2, el rendimiento de la red NG-PON2 en el barrio Juan de Velasco es mejor.
- Los resultados obtenidos confirmaron que, para el usuario más lejano, cuando la separación entre canales es de 0,85 nm se obtiene un BER de $2,616e-014$ con una potencia de recepción igual a -22,051 dBm, mientras que, al disminuir la separación entre canales a 0,425 nm, el valor de BER alcanzó un valor de $1,152e-017$ y una potencia óptica recibida de -19,604 dBm, es decir, hay un valor diferenciador de 2,45 dB al reducir el espacio entre canales. Para el usuario más cercano se obtuvo, con una separación de canales de 0,85 nm un BER igual a $1,012e-17$ y una potencia de recepción igual a -16,640 dBm y al disminuir la separación entre canales a 0,425 nm, el valor de BER fue de $3,292e-31$ y una potencia óptica igual a -14,041 dBm, diferenciándose en 2,599 dB.
- Así mismo, los resultados del BER (Bit Error Rate) de la red NG-PON2, resultaron satisfactorios tanto para el usuario más lejano como para el usuario más cercano, ya que se encuentran dentro del rango de los parámetros estipulados por la norma UIT-T G.989.2, lo cual permite tener una comunicación óptima entre equipos activos, permitiendo elevar la velocidad de las conexiones de las redes PON actuales.
- Para el análisis de rentabilidad económica se calculó el Índice de Rentabilidad (IR), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI), proyectados a un periodo de tres años, para lo cual se obtuvo un IR de 1.24, un TIR de 23% y un PRI de 2.005. Tanto el Índice de Rentabilidad como la Tasa Interna de Retorno nos indican que el proyecto será rentable en el periodo establecido, con una rentabilidad del 23% y una recuperación de la inversión inicial en 2 años.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda a las empresas proveedoras de internet implementar a corto plazo redes NG-PON2, ya que brindan solución a los problemas actuales de las redes PON, debido a su gran capacidad de ancho de banda que va desde 40 Gb/s hasta 80 Gb/s.
- El estándar NG-PON2 al permitir la coexistencia con generaciones PON heredadas, se recomienda para aquellos que prevén una futura migración, utilizar una arquitectura en cascada, la cual permite la modificación de la relación de división en la ODN, hacia tecnologías superior como es el estándar NG-PON2.
- Se sugiere configurar en una red NG-PON2, el espacio entre canales a la mitad de las frecuencias centrales del canal descendente TWDM, pues el rendimiento de la red, como se demostró es mejor.
- Evaluar el rendimiento de las redes NG-PON2, utilizando otras plataformas de simulación, que permitan a los estudiantes de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, adquirir nuevos conocimientos y destrezas sobre la presente tecnología.
- Se recomienda evaluar extensivamente el efecto Raman Nonlinearity y como podría afectar a los sistemas WDM en determinadas condiciones, así mismo realizar un análisis de transmisión en ráfagas para evaluar el rendimiento de la transmisión de la red TWDM en diferentes intervalos.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Candela, V. Luconi, y A. Vecchio, «Impact of the COVID-19 pandemic on the Internet latency: a large-scale study», *Comput. Netw.*, vol. 182, p. 107495, dic. 2020, doi: 10.1016/j.comnet.2020.107495.
- [2] CISCO, «Cisco Annual Internet Report - Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper», *Cisco*, 9 de marzo. <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html> (accedido 9 de septiembre de 2022).
- [3] Speedtest Global Index, «Speedtest Global Index – Internet Speed around the world», *Speedtest Global Index*, julio de 2022. <https://www.speedtest.net/global-index> (accedido 9 de junio de 2022).
- [4] EL UNIVERSO, «Estos son los países con la velocidad de internet más rápida de Latinoamérica», *El Universo*, 3 de diciembre de 2019. <https://www.eluniverso.com/noticias/2019/12/03/nota/7632755/estos-son-paises-velocidad-internet-mas-rapida-latinoamerica> (accedido 19 de julio de 2022).
- [5] SITEAL, «Plan Nacional de Telecomunicaciones y Tecnologías de Información del Ecuador». 12 de diciembre de 2018. [En línea]. Disponible en: https://siteal.iiep.unesco.org/sites/default/files/sit_accion_files/ec_5016.pdf
- [6] VIAVI, «Red óptica pasiva (PON) | VIAVI Solutions Inc. | VIAVI Solutions Inc.», 2020. <https://www.viavisolutions.com/es-es/red-optica-pasiva-pon> (accedido 13 de agosto de 2022).
- [7] H. T. Ilbay Yupa, «Diseño de una red de accesos GPON en la ESPOCH para proveer servicios triple-play (voz, video y datos).», *Ecuador*, nov. 2016, Accedido: 7 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/6429>
- [8] S. Ortega y J. Kevin, «Análisis evolutivo de las redes de acceso de fibra óptica GPON - XGPON», *Ecuador*, p. 70, ago. 2018.
- [9] J. F. Paucar Moposita, «Diseño de una red de acceso NG-PON2 (40-Gigabit-Capable Passive Optical Networks) para brindar servicio triple play a determinadas zonas urbanas de la parroquia de Sangolquí», *Ecuador*, oct. 2021, Accedido: 18 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21876>
- [10] S. J. Alava Guanopatin y F. F. Arias Mozo, «Diseño de la red GPON de la empresa Telerapid S.A en el sector del Carmen Bajo de la ciudad de Quito», *Ecuador*, mar. 2022, Accedido: 2 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22203>
- [11] F. Effenberger, «XG-PON1 versus NG-PON2: Which one will win?», en *2012 38th European Conference and Exhibition on Optical Communications*, sep. 2012, pp. 1-3. doi: 10.1364/ECEOC.2012.Tu.4. B.1.
- [12] M. Manzanares y J. Mario, «Estudio tecno-económico del despliegue del estándar NG-PON2 sobre infraestructura óptica heredada», *España*, p. 100, ene. 2018.
- [13] C. P. Cando Torres, «Análisis comparativo entre NGPON2 y GPON para mejorar el desempeño de las redes pasivas de fibra óptica FTTH.», *Ecuador*, feb. 2020, Accedido: 5 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/14083>
- [14] E. Quisnancela y N. Espinosa, «Certificación de redes GPON, normativa ITU G.984.x», *Enfoque UTE*, vol. 7, n.º 4, pp. 16-30, 2016.
- [15] R. Millán, «NG-PON (Next Generation Passive Optical Network)», *CONECTrónica*, p. 3, 2012.
- [16] ITU-T G.987, TELECOMMUNICATION, STANDARDIZATION SECTOR, y OF ITU, «G.987 : Sistema de red óptica pasiva con capacidad de 10 Gigabit (XG-PON)»,

- junio de 2012. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.987/es> (accedido 9 de septiembre de 2022).
- [17] D. Nasset, «NG-PON2 Technology and Standards», *J. Light. Technol.*, vol. 33, n.º 5, pp. 1136-1143, mar. 2015.
- [18] D. A. Khotimsky, «NG-PON2 Transmission Convergence Layer: A Tutorial», *J. Light. Technol.*, vol. 34, n.º 5, pp. 1424-1432, mar. 2016, doi: 10.1109/JLT.2016.2523343.
- [19] Daniel Martín González, «ANÁLISIS DE PRESTACIONES DE LÁSERES EN REDES DE ACCESO ÓPTICAS PASIVAS DE SIGUIENTE GENERACIÓN NG-PON2 (NEXT GENERATION PASSIVE OPTICAL NETWORKS)», *fdocuments.ec*, 2017. <https://fdocuments.ec/document/anlisis-de-prestaciones-de-lseres-en-redes-de-acceso-.html> (accedido 9 de septiembre de 2022).
- [20] P. Kourtessis, W. Lim, N. Merayo, Y.-M. Yang, y J. M. Senior, «Efficient T-CONT-Agnostic Bandwidth and Wavelength Allocation for NG-PON2», *J. Opt. Commun. Netw.*, vol. 11, n.º 7, pp. 383-396, jul. 2019, doi: 10.1364/JOCN.11.000383.
- [21] A. O. María, M. Yacelga-Pinto, y G. V. Arévalo, «Experimental evaluation of a NG-PON2 network», en *2018 IEEE Third Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)*, oct. 2018, pp. 1-4. doi: 10.1109/ETCM.2018.8580339.
- [22] Y. Luo *et al.*, «Time- and Wavelength-Division Multiplexed Passive Optical Network (TWDM-PON) for Next-Generation PON Stage 2 (NG-PON2)», *J. Light. Technol.*, vol. 31, n.º 4, pp. 587-593, feb. 2013, doi: 10.1109/JLT.2012.2215841.
- [23] R. Bonk, H. Schmuck, W. Poehlmann, y T. Pfeiffer, «Beneficial OLT transmitter and receiver concepts for NG-PON2 using semiconductor optical amplifiers [invited]», *J. Opt. Commun. Netw.*, vol. 7, n.º 3, pp. A467-A473, mar. 2015, doi: 10.1364/JOCN.7.00A467.
- [24] ITU-T G.989, TELECOMMUNICATION, STANDARDIZATION SECTOR, y OF ITU, «G.989 : Redes ópticas pasivas con capacidad de 40 Gigabits (NG-PON2)», octubre de 2015. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.989-201510-I/es> (accedido 9 de abril de 2022).
- [25] ITU-T G.988, TELECOMMUNICATION, STANDARDIZATION SECTOR, y OF ITU, «G.988 : Especificaciones de la interfaz de gestión y control de unidades de red óptica (OMCI)», noviembre de 2017. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.988-201711-I/es> (accedido 14 de septiembre de 2022).
- [26] Broadband Forum, «NG-PON2 The future of Passive Optical Networking is Here». 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.broadband-forum.org/wp-content/uploads/2018/11/BBF-112-NG-PON2-Marketing-Report-FINAL.pdf>
- [27] Instituto Nacional de Estadística y Censos, «home – Instituto Nacional de Estadística y Censos», 2020. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/> (accedido 14 de septiembre de 2022).
- [28] B. R. R. R., «Estadística y muestreo - Ciro Martínez Bencardino - 13ED», *ECOE*, 2012, Accedido: 15 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/39626329/Estad%C3%ADstica_y_muestreo_Ciro_Mart%C3%ADnez_Bencardino_13ED
- [29] M. WILLIAM, S. RICHARD L, y L. O. R, *Elementos de muestreo*. Editorial Paraninfo, 2006.
- [30] Calix Solutions, «10G PON ONTs/ONUs», *Calix*, 2022. https://www.calix.com/content/calix/en/site-prod/home/platforms/axos/axos-systems/10g_ont_onu.html (accedido 15 de septiembre de 2022).

- [31] 海信宽带多媒体, «LTW2601 XFP NG-PON2 ONU Transceiver - NGPON 2 - 海信宽带多媒体», 2022. https://hbmt.hisense.com/html/Products/NGPON_2/20160912_7.html (accedido 15 de septiembre de 2022).
- [32] Tejas Networks, «TJ1400-OLT: Tejas Networks», 2021. <https://tejasnetworks.com/northamerica/product/tj1400-olt> (accedido 17 de septiembre de 2022).
- [33] Hisense Broadband, «LTF62XX SFP+ NG-PON2 OLT Transceiver - NGPON 2 - Hisense Broadband», 2021. http://www.hisensebroadband.com/html/products/ngpon_2/20200214_269.html (accedido 17 de septiembre de 2022).
- [34] HyOptic, «WM1 NGPON2 Module, WDM 1R, wdm 1r module Multiplexes-Passive Optical Components_Fiber Optic Devices_Manufacturer_OEM ODM | HyOptic», 2022. <https://hyoptic.com/pon-wdm/wm1-ngpon2-module.html> (accedido 20 de septiembre de 2022).
- [35] HyOptic, «CEX WDM Module, WDM 1R, wdm 1r module Multiplexes-Passive Optical Components_Fiber Optic Devices_Manufacturer_OEM ODM | HyOptic», 2022. <https://hyoptic.com/web/index.php?topclassid=16&classid=97&id=131> (accedido 21 de septiembre de 2022).
- [36] Optiwave, «OptiSystem Overview», *Optiwave*, 2022. <https://optiwave.com/optisystem-overview/> (accedido 21 de septiembre de 2022).
- [37] J. Kani et al., «Next-generation PON-part I: Technology roadmap and general requirements», *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, n.o 11, pp. 43-49, nov. 2018, doi: 10.1109/MCOM.2009.5307465.
- [38] Víctor Miguel Sempere Payá, «Configuración de servicios en entornos GPON», 24 de noviembre de 2019. <https://riunet.upv.es/handle/10251/133826> (accedido 7 de noviembre de 2022).
- [39] J. García Tomás, 'Configuración de servicios de usuario con QoS sobre una red GPON real', Universitat Politècnica de València, 2019.
- [40] D. Martínez de Ceano-Vivas and Others, 'Diseño de una Red de Acceso PON FTTH para un Bloque de Edificios por Interior', Universitat Politècnica de València, 2021.
- [41] Grupo DYCONEL, Proyecto Fibra Óptica Conjunto Residencial "Livorno", 13 de noviembre de 2018, Memoria Técnica, Quito, Ecuador.
- [42] ENERGITEL. "CODF211048 ODF alta densidad hasta 48 puertos"[Online]. Available:<https://www.energitel.com/producto/odf-1ur-con-bandeja-deslizable/> (accedido el 21 de noviembre de 2022).
- [43] "FIBRA ADSS 12 Hilos Span 120 mts G.652D UV-ANTI HONGOS-GEL Interna, Diametro de chaqueta 10 mm, 4 KM | TECNIT"[Online]. TECNIT. Available: <https://tecnit.com.ec/producto/fibra-adss-12-hilos-span-120-mts-g-652d-uv-antihongos-gel-interna-diametro-de-chaqueta-10-mm-4-km/> (accedido el 21 de noviembre de 2022).
- [44] ENERGITEL. "CODF211048 ODF alta densidad hasta 48 puertos"[Online]. Available: <https://www.energitel.com/producto/odf-1ur-con-bandeja-deslizable/> (accedido el 21 de noviembre de 2022).
- [45] S. EC. "> Connection CFO-5416 caja distribución NAP 16H Vacía IP68 [FTTH]" [Online]. SincablesEC- Distribuidor de Equipos para Telecomunicaciones. Available: <https://www.sincables.com.ec/product/connection-cfo-5416-caja-distribucion-nap-16h-vacia-ip68/> (accedido el 5 de diciembre de 2022).

- [46] TECNIT. "FIBRA ADSS 6 Hilos Span 120 mts G.652D UV-ANTI HONGOS-GEL Interna, Diametro de chaqueta 10 mm, 4 KM | TECNIT". TECNIT. <https://tecnit.com.ec/producto/fibra-adss-6-hilos-span-120-mts-g-652d-uv-antihongos-gel-interna-diametro-de-chaqueta-10-mm-4-km/> (accedido el 5 de diciembre de 2022).
- [47] IMPORTRADE. "CONECTOR MECÁNICO FO SC-APC – Importrade". Importrade – Tecnología a tu alcance [Online]. Available: <https://www.importrade.ec/product/conector-mecanico-fo-sc-apc/> (accedido el 11 de diciembre de 2022).
- [48] A. M. Andrade Pinelo, 'Aplicación del índice de rentabilidad (IR) y el período de recuperación de la inversión (PRI)', 2021.
- [49] G. A. C. Arias, F. A. C. Guerrero, and A. B. T. Priet, 'Indicadores financieros y rentabilidad en bancos grandes y medianos ecuatorianos, periodo: 2016-2019', INNOVA Research Journal, vol. 6, no. 2, pp. 225–239, 2021.
- [50] J. M. E. M. Delgado and J. Manuel, 'Cómo tomar decisiones para invertir mediante las metodologías científicas de la Tasa Interna de Retorno o la del Valor Presente Neto', Cultura: Revista de la Asociación de Docentes de la USMP, no. 33, 2019.
- [51] J. E. G. Ascón and Others, 'Simulación dinámica del pronóstico y mercadotecnia de un producto para controlar el riesgo inherente integrando el valor presente neto', FACE: Revista de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, vol. 19, no. 1, pp. 70–80, 2019.
- [52] CABLIX. "FIBRA OPTICA DROP SM CABLIX 2 HILOS PLANA G.657A2 CON CABLE MENSAJERO 100 METROS | TECNIT". TECNIT[Online]. Available: <https://tecnit.com.ec/producto/fibra-optica-drop-sm-cablax-2-hilos-plana-g-657a2-con-cable-mensajero-100-metros/> (accedido el 11 de diciembre de 2022).
- [53] INDUMEVER. "Herraje tipo A con extensiones - Indumever - Industrias Metálicas Vergara". Indumever - Industrias Metálicas Vergara. <https://www.indumever.ec/producto/herraje-terminal-tipo-a-para-cable-de-fibra-optica/> (accedido el 09 de marzo de 2023).
- [54] INDUMEVER. "Preformado para fibra óptica - Indumever". Indumever - Industrias Metálicas Vergara. <https://www.indumever.ec/producto/preformado-para-fibra-optica/> (accedido el 9 de marzo de 2023).
- [55] MAC Representaciones S.C.C. "Herraje tipo B cónico - MAC Representaciones". MAC Representaciones. <https://macrepresentaciones.com/producto/herraje-tipo-b-conico-para-cable-de-fibra-optica-adss/#:~:text=Descripción%20El%20Herraje%20tipo%20B%20cónico%20elaborado%20en,la%20ruta%20para%20distancias%20menores%20de%2090%20metros.> (accedido el 9 de marzo de 2023).
- [56] INDUMEVER. "Cinta de acero Cinta Eriband - Indumever - Industrias Metálicas Vergara". Indumever - Industrias Metálicas Vergara. <https://www.indumever.ec/producto/cinta-de-acero-cinta-eriband/> (accedido el 9 de marzo de 2023).

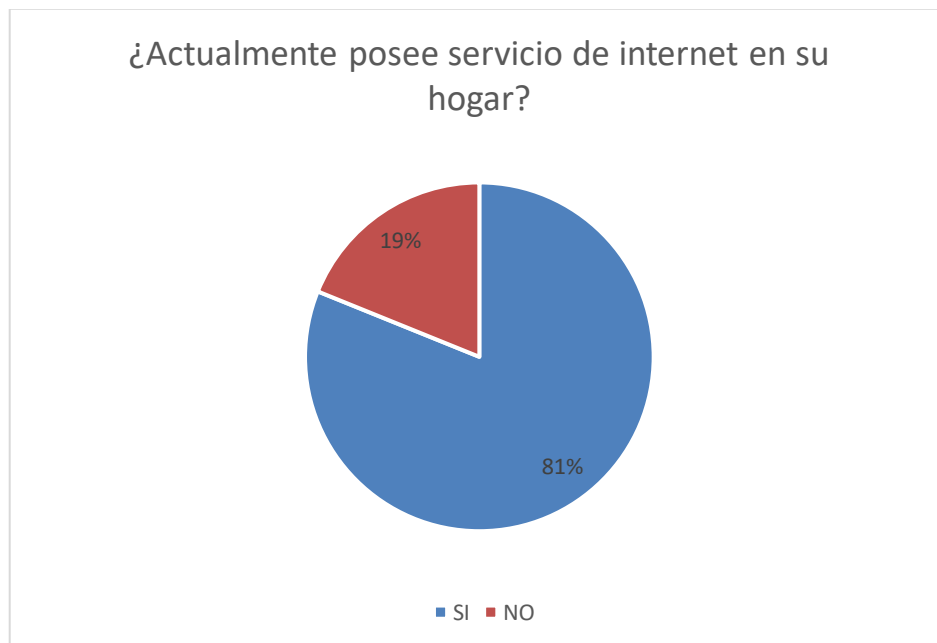
ANEXOS

Anexo A. RESULTADOS DE LA ENCUESTA

En la primera pregunta: ¿Actualmente posee servicio de internet en su hogar?, se trata de recopilar información para determinar la cantidad de clientes que poseen este servicio en el Barrio Juan de Velasco. En la siguiente tabla, se presentan las respuestas obtenidas.

¿Actualmente posee servicio de internet en su hogar?	Número de usuarios de la muestra	Porcentaje
SI	348	81%
NO	81	19%
TOTAL	429	100%

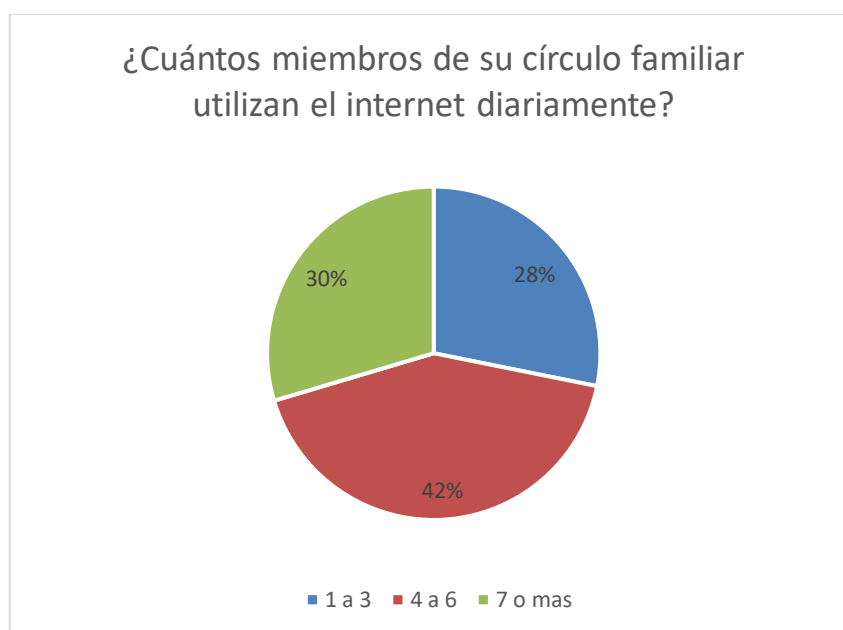
El 81% aseguró tener contratado un servicio de Internet en su hogar, mientras que solo el 19% de los encuestados del Barrio Juan de Velasco no cuentan con Internet.



En la segunda pregunta: ¿Cuántos miembros de su círculo familiar utilizan el internet diariamente?, se desea saber cuántas personas de una misma familia pueden llegar a utilizar el servicio. En la siguiente tabla se presentan las respuestas a la pregunta propuesta.

¿Cuántos miembros de su círculo familiar utilizan el internet diariamente?	Número de usuarios de la muestra	Porcentaje
1-3	98	28%
4-6	147	42%
7 o mas	103	30%
TOTAL	348	100%

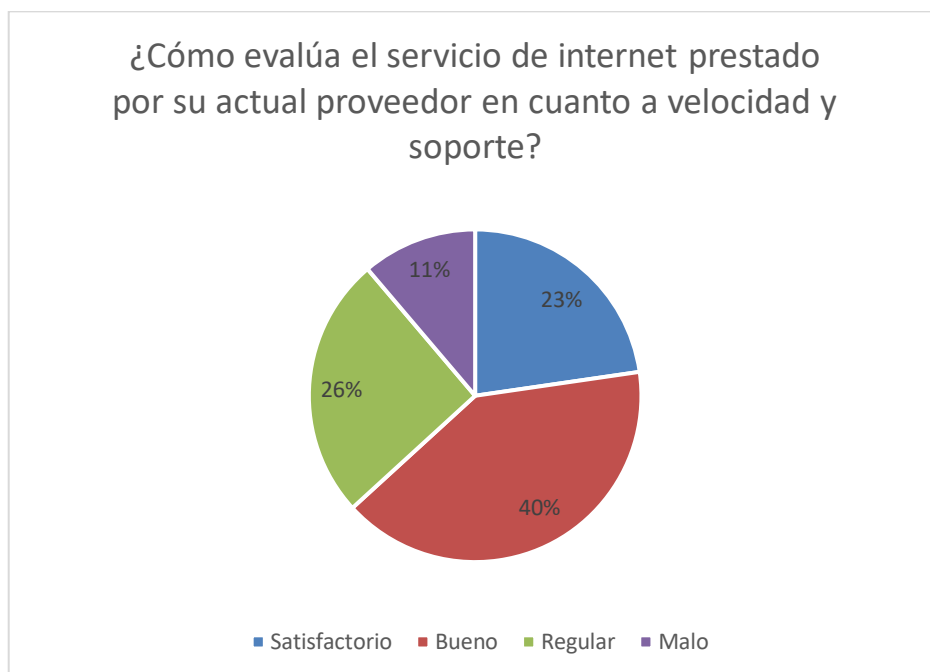
El 28% de encuestados, afirma que en sus hogares de 1 a 3 personas usan el Internet, el 42% de los encuestados de 4 a 6 personas y el 30% de los encuestados afirma que en sus hogares 7 o más personas utilizan Internet.



En la tercera pregunta: ¿Cómo evalúa el servicio de internet prestado por su actual proveedor en cuanto a velocidad y soporte?, se busca determinar la conformidad del cliente referente a su actual proveedor de Internet. En la Tabla se presentan las respuestas a la pregunta propuesta.

¿Cómo evalúa el servicio de internet prestado por su actual proveedor en cuanto a velocidad y soporte?	Número de usuarios de la muestra	Porcentaje
Satisfactorio	79	23%
Bueno	141	40%
Regular	89	26%
Malo	39	11%
TOTAL	348	100%

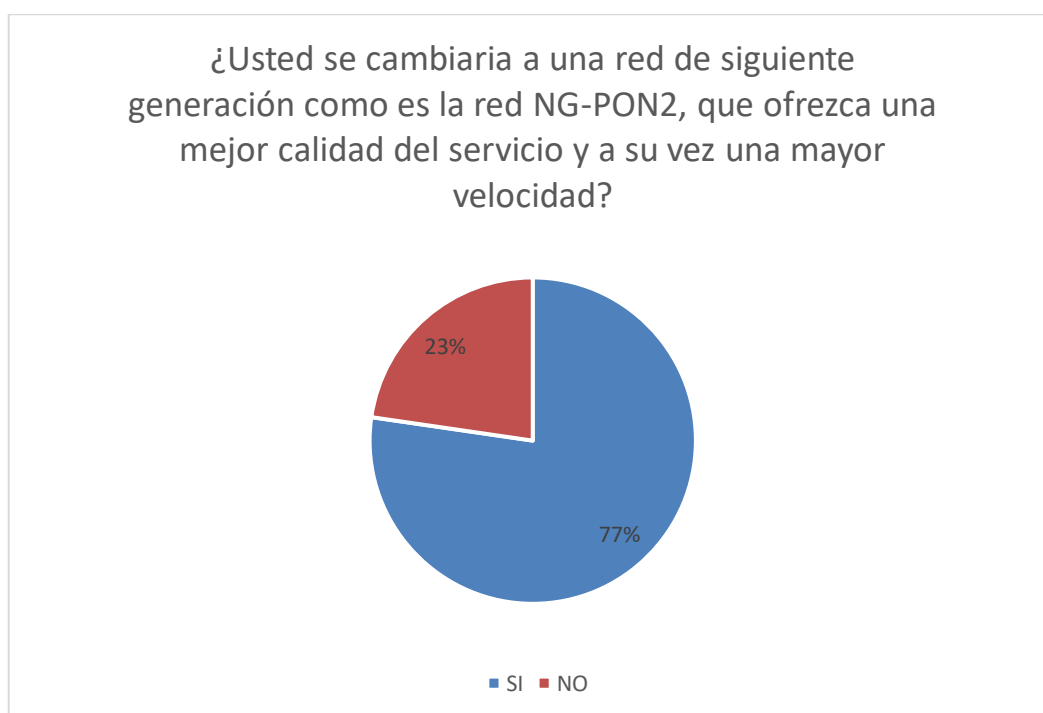
Para el 11% de encuestados su conformidad con el servicio es malo, el 26% es regular, el 40% considera el servicio bueno y el 23% de los usuarios consideran satisfactorio su servicio.



En la cuarta pregunta: ¿Usted se cambiaría a una red de siguiente generación como es la red NG-PON2, que ofrezca una mejor calidad del servicio y a su vez una mayor velocidad?, se busca conocer el nivel de convencimiento del cliente, de renovar el servicio de internet, por uno que le ofrezca mejor calidad.

¿Usted se cambiaría a una red de siguiente generación como es la red NG-PON2, que ofrezca una mejor calidad del servicio y a su vez una mayor velocidad?	Número de usuarios de la muestra	Porcentaje
SI	269	77%
NO	79	23%
TOTAL	348	100%

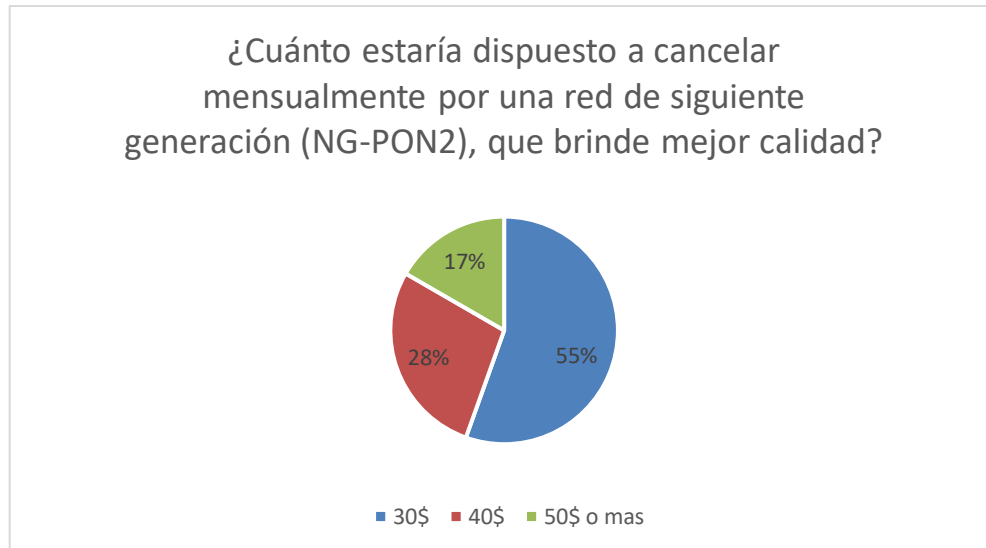
El 77% de los usuarios encuestados cambiarían su servicio de internet, por cualquier opción que les brinde mayores beneficios, mientras que el 23% se quedaría con su proveedor actual.



En la quinta pregunta: ¿Cuánto estaría dispuesto a cancelar mensualmente por una red de siguiente generación (NG-PON2), que brinde mejor calidad?, se busca determinar el costo del servicio de internet para la tecnología NG-PON2, respecto al punto de vista del cliente. En la siguiente tabla se presentan las respuestas a la pregunta propuesta.

¿Cuánto estaría dispuesto a cancelar mensualmente por una red de siguiente generación (NG-PON2), que brinde mejor calidad?	Número de usuarios de la muestra	Porcentaje
30\$	193	55%
40\$	97	28%
50\$ o mas	58	17%
TOTAL	348	100%

Como se puede observar en la Figura, el 55% estaría dispuesto a cancelar mensualmente el costo de 30\$, mientras que el 28% considera un precio de 40\$, y el 17% restante de los encuestados estaría dispuesto a cancelar un costo de 50\$ o más.



Al finalizar la encuesta se pudo conocer el nivel de satisfacción del servicio de internet de banda ancha que tienen contratado los usuarios del barrio Juan de Velasco y si están dispuestos a adquirir un nuevo servicio, así como el costo que estarían dispuestos a pagar por una red de mejor calidad como es la red NG-PON2.

Se consideró como clientes potenciales a aquellos que tienen contratado el servicio de internet de banda ancha con otros proveedores de telecomunicaciones pero que no están satisfechos con el mismo y están dispuestos a adquirir un nuevo servicio (269 usuarios), así también a aquellos que aún no tienen contratado el servicio (81 usuarios), obteniendo un total de 350 clientes potenciales para el presente diseño de la red NG-PON2.

Anexo B. EQUIPO ONU GPR3000X

SPECIFICATIONS

GPR3000X GigaPro

DIMENSIONS

Height: 9.0 in (22.8 cm)
Width: 6.5 in (16.5 cm)
Depth: 1.66 in (4.2 cm)
Weight: 23 oz. (.7 kg)

PON CHARACTERISTICS

Max. split**: 128 GPON
Max. reach**: 20 km (12.4 miles), N1 Class
Maximum Optical Distribution Network (ODN) Attenuation:
XGS, 29 dB
Optical receiver 1577nm: -28dBm
Optical transmitter 1270nm: +2.0 to +7 dBm

INTERFACES

Data/Business Ethernet/IPTV:
Two 10/100/1000 BaseT Ethernet port, RJ-45 connector
One SFP+ 10G Ethernet port
SFP+ XGS uplink port
PON: Single 9/125 μ m (single mode) fiber, SC/APC connector, minimum 50 dB return loss
Power: 8-pin connector

DATA

Drop length: 328 feet (100 m) maximum using CAT6 or CAT6A cable
Auto MDI/MDIX crossover for 1000BASE-TX, 100BASE-TX, and 10BASE-T ports
Traffic Management and QOS: 802.1Q VLAN, data and management priorities; Q-in-Q tagging; Rate limiting

STANDARDS SUPPORT

IEEE Bridging
IEEE 802.3 Ethernet
VLAN Cross-Connect – based on Outer, Outer and Inner VLAN tags
IEEE 802.1p Prioritization
IEEE 802.1Q VLAN tagging
IEEE 802.1ad VLAN stacking (Q-in-Q) support
IEEE 802.1ag Connectivity Fault Management
Y.1731 OAM functions and mechanisms for Ethernet based networks
Y.1564 Ethernet service activation test methodology
MEF 6.1.1 – L2CP aspects Amendment to 6.1
MEF 10.3 Service Attributes
MEF 11/13/20 UNI type 1 and 2
MEF 23.1 Class of Service Phase 2 Implementation Agreement
MEF 26.1 External Network Interface (ENNI)–Phase 2
MEF 33 E-ACCESS services
MEF 30 Service OAM Fault Management Implementation Agreement
MEF 35 Service OAM Performance Monitoring Implementation Agreement
MEF 45 Multi-CEN L2CP
MEF 48 Service Activation Testing
MEF 49 Service Activation Testing Protocol and PDU Formats

CERTIFICATION AND COMPLIANCE

Emissions:
FCC Part 15 Class B
CISPR-22
Safety:
UL 60950 and UL 1697 approved
IEEE: 802.3, 802.3AB, 802.3U, 802.11p, 802.11Q

TIMING

Simple Network Time Protocol (SNTP) client functions per RFC-2030
ITU G.8261 Timing and synchronization aspects in packet networks
ITU G.8262 Timing characteristics of a synchronous Ethernet equipment slave clock
ITU G.987.3 10-Gigabit-capable passive optical networks*
SyncE SSM per ITU-T G.781
Synchronization Layer Function*

ENVIRONMENTAL

Operating temperature:
Indoor ambient temperature, 0° to 40°C (32° to 104° F)
Relative humidity (non-condensing):
Operating/Storage: 5% to 90%
Altitude: -200 to 7,000 feet (-61 to 2,134 m) above sea level

POWERING AND ALARMS

8-pin connector
Input voltage: 12 VDC (nominal), 10 VDC (min.), 15 VDC (max)
External Power Adapter: External Power Adapter: 12 VDC, 2.5 A

ORDERING INFORMATION

Calix GPR3000X GigaPro

000-01101..... GPR3000X 10G GigaPro, 2 GE, 1 SFP+ 10GE, including SFP+ optical module, with 12 VDC US Power Adapter
100-05088..... GPR3000X 10 inch rack mount bracket and accessories

Note: Calix believes the information in this publication to be accurate as of publication date, and is not responsible for error. Product Specifications are subject to change without notice.

TJ1400 OLT Solutions
Versatile GPON/XGS-PON Solutions for Fiber Broadband



Technical Specifications

PON Interface Specifications

Transmission: ITU-T G.984(GPON), ITU-T G.9807 (XGS-PON),
Line Rate: D/S, U/S – 2.5/1.2 Gbps or 10 Gbps symmetric
Connector: SC/UPC

Network Uplinks

Gigabit Ethernet
10 Gigabit Ethernet
100 Gigabit Ethernet

L2 Switching

IEEE 802.1Q, IEEE 802.1ad
STP, RSTP (IEEE 802.1D-2004)
IGMP Snooping, IGMP Proxy
IGMP v1/v2/v3
Broadcast/Multicast storm recovery
Traffic Policing
QoS (DSCP/802.1p)
ERPS (ITU G.8032)
MAC learning, MAC limiting
DHCP relay agent with Option 82
Multicast VLAN Registration function
Pluggable SFP/XFP for Ethernet ports
MPLS-TP

OLT Variants

TJ1400-1 : Fixed 1U OLT with 8xGPON+ 2x10G + 4x1G uplink ports
TJ1400-1 : Fixed 1U OLT with 16xGPON+ 4x10G uplink ports
TJ1400-7 : Fully redundant, modular 2U OLT with up to 40xGPON+10x10G uplink ports
TJ1400-13: Fully redundant, modular 5U OLT with up to 80xGPON+16x10G uplink ports
TJ1400-18 : Fully Redundant, modular 7U OLT with up to 2 x100G + 20 x10G +128xGPON with 1G/10G/100G uplink ports

OLT Service Card on TJ1400

8 port GPON Card
16 port GPON Card
4 port GPON/XG-PON/XGS-PON Card
8 port GPON/XG-PON/XGS-PON Card
8 port Combo-PON Card
1:128 split ratio
1+1 Power, Fabric and Control card Redundancy
Unified TejNMS based Network Management

Selected ONT Variants

TJ2100N-10: SFP ONT
TJ2100N-11G: 4GE TJ2100N-12: 1GE + 1FE+ 1 POTS + 1 USB
TJ2100N-12V: 4GE + Wi-Fi (802.11n)
TJ2100N-12W: 1GE + 1FE + 1 POTS + Wi-Fi (802.11n)
TJ2100N-14B: 2GE + 1 POTS + Dual Band Wi-Fi (802.11n, 802.11ac)
TJ2100N-14E: 4GE + 2 POTS + Dual Band Wi-Fi (802.11n, 802.11ac)
TJ2100N-14OR: 4 GE + 2 POTS fits in Corning Housing
TJ2100N-20PS : 8 GE + 2 POTS + 2 USB industrial ONT
TJ2100N-20PS4 : 4 GE + 2 POTS industrial ONT
TJ2100N-30ET : 1 10GE + 5 GE + 2 POTS +1 USB + Dual Band Wi-Fi (802.11n, 802.11ac)
TJ2100N-30GT : 1 10GE + 4 GE

Node Management

Configurable management VLAN
WEB based (HTTPS)
Telnet
SNMP v1/v2c
10/100BaseT Management Interface

Synchronization

NTP v1/v2/v3
Clock recovery : ACR, DCR and internal re-timed clock Support
TOD, SyncE

Power & Thermal

AC: 160-270V, DC: -40 to -60 Volts-
Forced Cooling
TJ1400-1: 8 Port : 70W (Maximum)
TJ1400-1: 16 Port : 110W (Maximum)
TJ1400-7 : 600W (Maximum)
TJ1400-13 : 863W (Maximum)
TJ1400-18 : 2500W (Maximum)

Physical Dimensions (H*W*D)

TJ1400-1 : 44*414*300 mm
TJ1400-7 : 88*433*204 mm
TJ1400-13 : 222*483*250 mm
TJ1400-18 : 311*444*237 mm

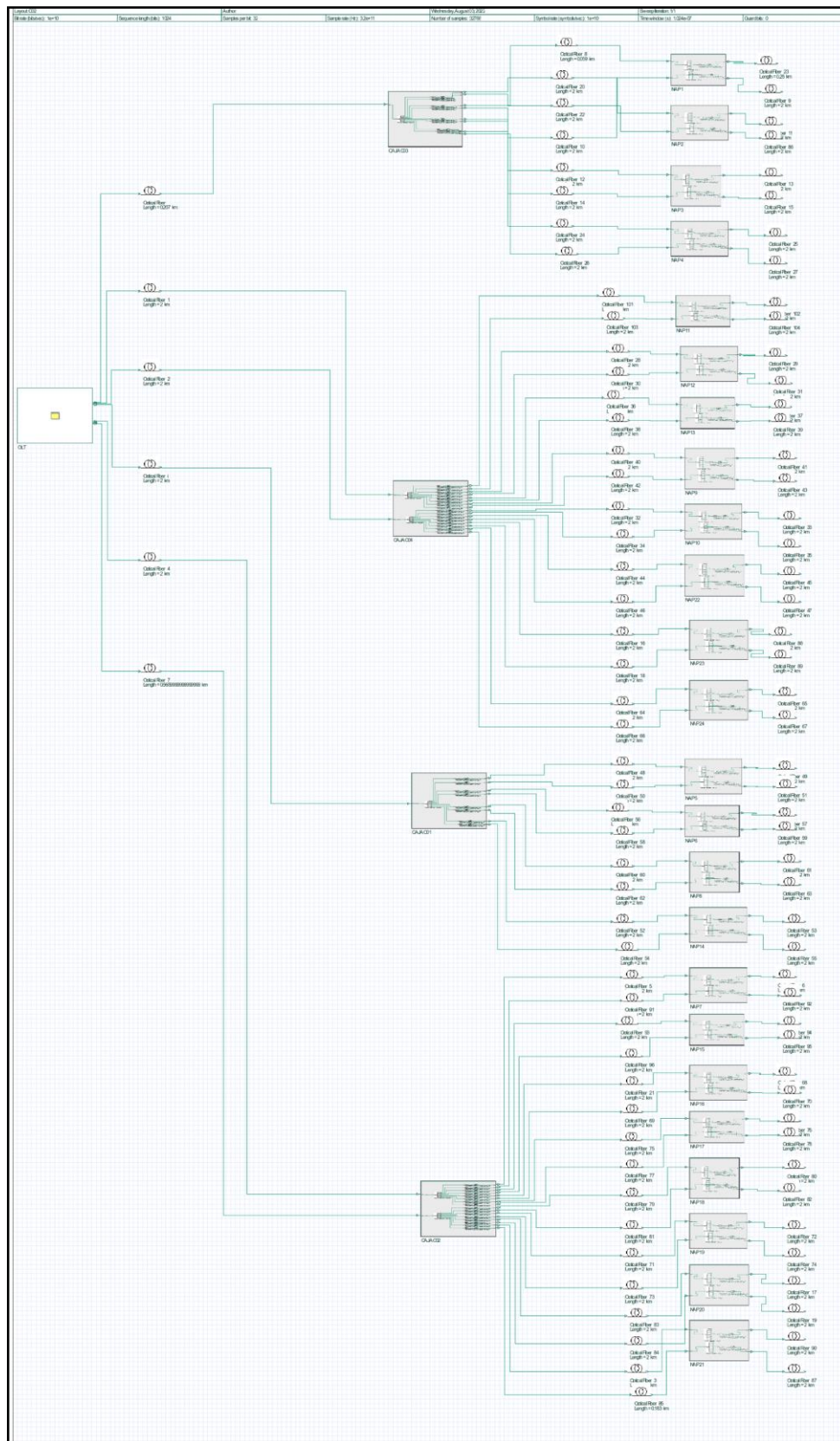
Environmental

Operating Temperature: 0 °C to 50 °C (65°C as orderable)
Altitude: 15,000 ft operations
Humidity: 5 to 90% non-condensing

Advanced Security

L2 classification based on: Source MAC,
Destination MAC, EtherType, 802.1p priority

Anexo D. SIMULACIÓN DE LA RED NG-PON2



Anexo E. Registro de Cajas de Primer Nivel , NAPs y Fibras de Red de Telecomunicaciones

Cajas de Primer Nivel	NAP	HILO	USUARIO
C01	NAP 5	S1 - 01	1
		S1 - 02	2
		S1 - 03	3
		S1 - 04	4
		S1 - 05	5
		S1 - 06	6
		S1 - 07	7
		S1 - 08	8
		S2 - 01	9
		S2 - 02	10
		S2 - 03	11
		S2 - 04	12
		S2 - 05	13
		S2 - 06	14
		S2 - 07	15
		S2 - 08	16
	NAP 6	S1 - 01	17
		S1 - 02	18
		S1 - 03	19
		S1 - 04	20
		S1 - 05	21
		S1 - 06	22
		S1 - 07	23
		S1 - 08	24
		S2 - 01	25
		S2 - 02	26
		S2 - 03	27
		S2 - 04	28

		S2 - 05	29
		S2 - 06	30
		S2 - 07	31
		S2 - 08	32
	NAP 14	S1 - 01	33
		S1 - 02	34
		S1 - 03	35
		S1 - 04	36
		S1 - 05	37
		S1 - 06	38
		S1 - 07	39
		S1 - 08	40
		S2 - 01	41
		S2 - 02	42
		S2 - 03	43
		S2 - 04	44
		S2 - 05	45
		S2 - 06	46
	S2 - 07	47	
	S2 - 08	48	
	NAP 8	S1 - 01	49
		S1 - 02	50
		S1 - 03	51
		S1 - 04	52
		S1 - 05	53
		S1 - 06	54
		S1 - 07	55
		S1 - 08	56
		S2 - 01	57
		S2 - 02	58
		S2 - 03	59
S2 - 04		60	
S2 - 05		61	

		S2 - 06	62
		S2 - 07	63
		S2 - 08	64
C02	NAP 7	S1 - 01	65
		S1 - 02	66
		S1 - 03	67
		S1 - 04	68
		S1 - 05	69
		S1 - 06	70
		S1 - 07	71
		S1 - 08	72
		S2 - 01	73
		S2 - 02	74
		S2 - 03	75
		S2 - 04	76
		S2 - 05	77
		S2 - 06	78
	S2 - 07	79	
	S2 - 08	80	
	NAP 15	S1 - 01	81
		S1 - 02	82
		S1 - 03	83
		S1 - 04	84
		S1 - 05	85
		S1 - 06	86
		S1 - 07	87
		S1 - 08	88
		S2 - 01	89
		S2 - 02	90
S2 - 03		91	
S2 - 04		92	
S2 - 05	93		
S2 - 06	94		

		S2 - 07	95
		S2 - 08	96
	NAP 16	S1 - 01	97
		S1 - 02	98
		S1 - 03	99
		S1 - 04	100
		S1 - 05	101
		S1 - 06	102
		S1 - 07	103
		S1 - 08	104
		S2 - 01	105
		S2 - 02	106
		S2 - 03	107
		S2 - 04	108
		S2 - 05	109
		S2 - 06	110
		S2 - 07	111
		S2 - 08	112
	NAP 17	S1 - 01	113
		S1 - 02	114
		S1 - 03	115
		S1 - 04	116
		S1 - 05	117
		S1 - 06	118
		S1 - 07	119
		S1 - 08	120
		S2 - 01	121
S2 - 02		122	
S2 - 03		123	
S2 - 04	124		
S2 - 05	125		
S2 - 06	126		
S2 - 07	127		

		S2 - 08	128
	NAP 18	S1 - 01	129
		S1 - 02	130
		S1 - 03	131
		S1 - 04	132
		S1 - 05	133
		S1 - 06	134
		S1 - 07	135
		S1 - 08	136
		S2 - 01	137
		S2 - 02	138
		S2 - 03	139
		S2 - 04	140
		S2 - 05	141
		S2 - 06	142
		S2 - 07	143
		S2 - 08	144
	NAP 19	S1 - 01	145
		S1 - 02	146
		S1 - 03	147
		S1 - 04	148
		S1 - 05	149
		S1 - 06	150
		S1 - 07	151
		S1 - 08	152
		S2 - 01	153
		S2 - 02	154
		S2 - 03	155
		S2 - 04	156
		S2 - 05	157
		S2 - 06	158
		S2 - 07	159
		S2 - 08	160

	NAP 20	S1 - 01	161
		S1 - 02	162
		S1 - 03	163
		S1 - 04	164
		S1 - 05	165
		S1 - 06	166
		S1 - 07	167
		S1 - 08	168
		S2 - 01	169
		S2 - 02	170
		S2 - 03	171
		S2 - 04	172
		S2 - 05	173
		S2 - 06	174
		S2 - 07	175
		S2 - 08	176
	NAP 21	S1 - 01	177
		S1 - 02	178
		S1 - 03	179
		S1 - 04	180
		S1 - 05	181
		S1 - 06	182
		S1 - 07	183
		S1 - 08	184
		S2 - 01	185
		S2 - 02	186
		S2 - 03	187
		S2 - 04	188
		S2 - 05	189
		S2 - 06	190
	S2 - 07	191	
	S2 - 08	192	
C03	NAP 1	S1 - 01	193

		S1 - 02	194
		S1 - 03	195
		S1 - 04	196
		S1 - 05	197
		S1 - 06	198
		S1 - 07	199
		S1 - 08	200
		S2 - 01	201
		S2 - 02	202
		S2 - 03	203
		S2 - 04	204
		S2 - 05	205
		S2 - 06	206
		S2 - 07	207
		S2 - 08	208
	NAP 2	S1 - 01	209
		S1 - 02	210
		S1 - 03	211
		S1 - 04	212
		S1 - 05	213
		S1 - 06	214
		S1 - 07	215
		S1 - 08	216
		S2 - 01	217
		S2 - 02	218
		S2 - 03	219
		S2 - 04	220
		S2 - 05	221
		S2 - 06	222
	S2 - 07	223	
	S2 - 08	224	
	NAP 3	S1 - 01	225
		S1 - 02	226

		S1 - 03	227
		S1 - 04	228
		S1 - 05	229
		S1 - 06	230
		S1 - 07	231
		S1 - 08	232
		S2 - 01	233
		S2 - 02	234
		S2 - 03	235
		S2 - 04	236
		S2 - 05	237
		S2 - 06	238
		S2 - 07	239
		S2 - 08	240
	NAP 4	S1 - 01	241
		S1 - 02	242
		S1 - 03	243
		S1 - 04	244
		S1 - 05	245
		S1 - 06	246
		S1 - 07	247
		S1 - 08	248
		S2 - 01	249
		S2 - 02	250
		S2 - 03	251
		S2 - 04	252
		S2 - 05	253
		S2 - 06	254
		S2 - 07	255
		S2 - 08	256
C04	NAP 11	S1 - 01	257
		S1 - 02	258
		S1 - 03	259

		S1 - 04	260
		S1 - 05	261
		S1 - 06	262
		S1 - 07	263
		S1 - 08	264
		S2 - 01	265
		S2 - 02	266
		S2 - 03	267
		S2 - 04	268
		S2 - 05	269
		S2 - 06	270
		S2 - 07	271
		S2 - 08	272
	NAP 12	S1 - 01	273
		S1 - 02	274
		S1 - 03	275
		S1 - 04	276
		S1 - 05	277
		S1 - 06	278
		S1 - 07	279
		S1 - 08	280
		S2 - 01	281
		S2 - 02	282
		S2 - 03	283
		S2 - 04	284
		S2 - 05	285
		S2 - 06	286
		S2 - 07	287
		S2 - 08	288
	NAP 13	S1 - 01	289
		S1 - 02	290
		S1 - 03	291
		S1 - 04	292

		S1 - 05	293
		S1 - 06	294
		S1 - 07	295
		S1 - 08	296
		S2 - 01	297
		S2 - 02	298
		S2 - 03	299
		S2 - 04	300
		S2 - 05	301
		S2 - 06	302
		S2 - 07	303
		S2 - 08	304
	NAP 9	S1 - 01	305
		S1 - 02	306
		S1 - 03	307
		S1 - 04	308
		S1 - 05	309
		S1 - 06	310
		S1 - 07	311
		S1 - 08	312
		S2 - 01	313
		S2 - 02	314
		S2 - 03	315
		S2 - 04	316
		S2 - 05	317
		S2 - 06	318
		S2 - 07	319
		S2 - 08	320
	NAP 10	S1 - 01	321
		S1 - 02	322
		S1 - 03	323
		S1 - 04	324
		S1 - 05	325

		S1 - 06	326
		S1 - 07	327
		S1 - 08	328
		S2 - 01	329
		S2 - 02	330
		S2 - 03	331
		S2 - 04	332
		S2 - 05	333
		S2 - 06	334
		S2 - 07	335
		S2 - 08	336
	NAP 22	S1 - 01	337
		S1 - 02	338
		S1 - 03	339
		S1 - 04	340
		S1 - 05	341
		S1 - 06	342
		S1 - 07	343
		S1 - 08	344
		S2 - 01	345
		S2 - 02	346
		S2 - 03	347
	S2 - 04	348	
	S2 - 05	349	
	S2 - 06	350	
	S2 - 07	351	
	S2 - 08	352	
	NAP 23	S1 - 01	353
		S1 - 02	354
		S1 - 03	355
		S1 - 04	356
		S1 - 05	357
		S1 - 06	358

		S1 - 07	359
		S1 - 08	360
		S2 - 01	361
		S2 - 02	362
		S2 - 03	363
		S2 - 04	364
		S2 - 05	365
		S2 - 06	366
		S2 - 07	367
		S2 - 08	368
	NAP 24	S1 - 01	369
		S1 - 02	370
		S1 - 03	371
		S1 - 04	372
		S1 - 05	373
		S1 - 06	374
		S1 - 07	375
		S1 - 08	376
		S2 - 01	377
		S2 - 02	378
		S2 - 03	379
		S2 - 04	380
		S2 - 05	381
		S2 - 06	382
		S2 - 07	383
		S2 - 08	384