UCASAL

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SALTA

Facultad de Ingeniería e Informática

Carrera: Ingeniería en Telecomunicaciones

PROYECTO FINAL DE GRADO

ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN PROYECTO DE RED GPON CON SERVICIO DE DATOS PARA LA URBANIZACIÓN LOS ROBLES EN LA LOCALIDAD DE LA SILLETA

Alumnos:
Ibañez Herrera, Federico Sebastián
Pora Bustillo, Marcos Daniel Sebastián

Director:
Ing. Molina, José Luis

SALTA – 2021

INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

Director: **Ing. Molina, José Luis** Firma: .....

Tribunal Evaluador:

..... Firma: .....

..... Firma: .....

..... Firma: .....

Fecha de Exposición del Trabajo: .....

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Eduardo y Magdalena, quienes me apoyaron y formaron a lo largo de toda mi vida como estudiante y, sobre todo, como persona. A mi tía Mónica, quien no sólo me brindó su apoyo incondicional, sino que también me dio la oportunidad de estudiar la carrera de mi vida. Al resto de mi familia, siempre al tanto y motivándome a realizar cada uno de mis pasos. A mis amigos, siempre presentes brindándome su compañía, oído y consejo. Y al amor de mi vida, Macarena, compañera de vida y ser fundamental en mi crecimiento como persona y pareja, gracias a ella soy cada vez mejor y más feliz.

~Federico S. Ibañez H.

En primer lugar quiero agradecer a mis padres, Rosana y Javier, quienes me apoyaron toda mi vida y me contagiaron desde muy pequeño las ganas de aprender cada día más. Un agradecimiento muy especial a la UCaSal por brindarme la oportunidad de estudiar la carrera que quería gracias a su sistema de becas. A mis hermanos, Fausto y Axel, mis amigos del Oratorio Salesiano, quienes se volvieron mi segunda familia. Y a todas aquellas personas que me ayudaron de una u otra manera en mi vida universitaria y no puedo nombrar uno por uno porque serian demasiados.

~Marcos D. S. Pora Bustillo

Queremos hacer un sentido agradecimiento al profesor guía de nuestro Proyecto de Grado, José Molina. A Roberto Breslin, jefe de carrera, por acompañarnos a lo largo de la carrera, por motivarnos a crecer profesionalmente y a ser ingenieros en la vida. A todos aquellos profesores que nos enseñaron sus materias de manera apasionada y responsable para inculcarnos las ganas de aprender y ser mejores personas. A todo el personal de la Facultad de Ingeniería, siempre presente y bien dispuestos a darnos una mano cuando más lo necesitábamos.

También queremos agradecer a nuestros compañeros de Ingeniería, sobre todo, al gran y, a la vez, pequeño grupo de Telecomunicaciones. Quienes se volvieron nuestros grandes amigos y que están en cada instante de nuestras vidas. Por último, queremos agradecer a todas las personas que contribuyeron de alguna manera al desarrollo de este Proyecto, desde llevarnos un domingo soleado a Los Robles hasta regalarnos un plano de la urbanización.

~Federico S. Ibañez H. & Marcos D. S. Pora Bustillo

INDICE GENERAL

Contenido

1 INTRODUCCIÓN 11
1.1. Planteamiento del problema 11
1.2. Delimitación del Problema 11
1.3. Hipótesis 11
1.4. Objetivos 12
1.4.1. Objetivo General 12
1.4.2. Objetivos Específicos 12
1.5. Justificación 12
1.6. Metodología 12
1.6.1. Método Analítico 12
1.6.2. Método Deductivo 12
1.7. Técnica 12
1.8 Descripción de la Propuesta 13
2 CONCEPTOS DE FIBRA ÓPTICA 14
2.1 Qué es la fibra óptica 14
2.2 Partes de un cable de fibra óptica 15
2.2.1 Núcleo 15
2.2.2 Drenaje de humedad 15
2.2.3 Hilos de fibra 15
2.2.4 Buffer y Cladding (revestimiento) 15
2.2.5 Cinta de Mylar y capas aislantes 16
2.2.6 Armadura 16
2.2.7 Recubrimiento exterior 16
2.3 Principios de propagación de la luz 16
2.3.1 La reflexión 17
2.4 La transmisión en la fibra óptica. 18
2.4.1 Fibra multimodo 19
2.4.2 Fibra monomodo 20
2.5 Perdidas en una fibra óptica 20
2.5.1 Pérdidas por curvatura 21
2.5.2 Pérdidas por conexión y empalme 21
2.5.3 Pérdidas inherentes a la fibra 21
2.5.4 Pérdidas que resultan de la fabricación de la fibra 21

2.5.5 Reflexión de Fresnel 21
2.5.6 Atenuación 22
2.6 Ventanas de transmisión 22
2.6.1 Primera ventana 23
2.6.2 Segunda ventana 23
2.6.3 Tercera ventana 23
2.7 Ventajas de la transmisión por fibra óptica 23
2.8 Desventajas de la transmisión por fibra óptica 24
2.9 Ancho de banda 24
2.9.1 Dispersión modal 24
2.9.2 Dispersión cromática 25
3 REDES DE FIBRA ÓPTICA 26
3.1 Red de transporte 26
3.2 Red de acceso 27
3.3 Red de acceso FTTx 27
3.3.1 FTTH 28
3.3.2 FTTB 28
3.3.3 FTTC 28
3.3.4 FTTN 28
3.4 Arquitectura FTTH con estándar GPON 28
3.4.1 Ventajas GPON 30
3.4.2 Desventajas GPON 31
3.4.3 Multiplexación 31
3.5 Equipos de la red GPON 33
3.5.1 Elementos de la planta externa 33
3.5.2 Elementos en cabecera 37
3.6 Partes de la red GPON 39
3.6.1 Cabecera 40
3.6.2 Red Troncal 40
3.6.3 Red de distribución 40
3.6.4 Red de dispersión 41
4 ANÁLISIS Y ESTUDIO PRELIMINARES 42
4.1 Estudio y análisis del área geográfica 42
4.2 Estudio y análisis de la red de comunicaciones. 43
4.3 Determinación de requisitos de topología, tráfico y servicio de los usuarios. 45
4.3.1 Requerimientos de topología. 45

4.3.2 Requerimientos de servicio de los usuarios. 48
4.3.3 Cantidad de usuarios. 48
4.3.4 Requerimientos de tráfico. 49
5 DISEÑO E INGENIERÍA 51
5.1 Diseño de alto nivel 51
5.1.1 Zonificación 51
5.1.2 Diseño de Alto Nivel en base a la Zonificación 53
5.2 Especificaciones y selecciones de tecnologías 56
5.2.1 Diseño de la cabecera GPON y selección de equipos 57
5.2.2 Especificaciones y selección de equipos para la red de distribución y dispersión 73
5.2.3 Especificación y selección de fibras ópticas 80
5.2.4 Especificaciones de la postería existente y la propuesta 82
5.3 Cálculo Óptico aproximado de la red GPON 82
5.3.1 Cálculo óptico downstream (1490nm) 83
5.3.2 Cálculo óptico upstream (1310nm) 83
5.4 Diseño de bajo nivel 84
5.4.1 Cálculo Óptico Final hasta la salida de la NAP 92
5.5 Presupuesto del proyecto 95
5.5.1 Presupuesto inicial estimado 95
5.5.2 Presupuesto final 96
6 CONCLUSIÓN 98
7 BIBLIOGRAFÍA 99

INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1.1. Esquema simplificado de una red GPON. 13
Figura 2.1. Cable de fibra óptica. 14
Figura 2.2. Partes de un cable de fibra óptica. 15
Figura 2.3. Refracción entre el aire y el agua. 17
Figura 2.4. Principio de reflexión. 18
Figura 2.5. Modos de transmisión en fibra multimodo 20
Figura 2.6. Modo de transmisión en fibra multimodo 20
Figura 2.7. Ventanas de transmisión en la fibra óptica. 23
Figura 2.8. Dispersión modal. 25
Figura 3.1. Red de telecomunicaciones. 26
Figura 3.2. Esquemas de arquitectura FTTx. 28
Figura 3.3. Red GPON. 30
Figura 3.4. Downstream en GPON. 32
Figura 3.5. Upstream en GPON. 33
Figura 3.6. Fibra óptica. 33
Figura 3.7. Divisor óptico 1:8. 34
Figura 3.8. Tipos de conectores. 34
Figura 3.9. Caja de empalme vertical. 35
Figura 3.10. Caja NAP. 36
Figura 3.11. Terminal de red óptica. 37
Figura 3.12. OLT de la marca Huawei. 38
Figura 3.13. Distribuidor de fibra óptica. 38
Figura 3.14. Patch Cord 39
Figura 3.15. Partes de la red GPON. 40
Figura 4.1. Localización de la urbanización Los Robles. 42
Figura 4.2. Perfil geográfico del polígono. 43
Figura 4.3. Plano de mensura y loteo. 44
Figura 4.4. Detalle de los postes en archivo DWG. 45
Figura 4.5. Topologías de una Red de Comunicaciones. 45
Figura 5.1. División de nodos de toda la urbanización. 52
Figura 5.2. Detalle de la división de nodos. 53
Figura 5.3. Esquema inicial de la Red GPON. 55
Figura 5.4. Esquema de la segunda fase de implementación. 56
Figura 5.5. Esquema de la cabecera GPON. 57
Figura 5.6. Descripción general del hardware 59
Figura 5.7. Puertos del panel frontal. 59
Figura 5.8. LEDs del panel frontal. 59
Figura 5.9. Panel trasero. 60
Figura 5.10. Paneles laterales. 60
Figura 5.11. Módulos de alimentación para OLT. 60
Figura 5.12. Bastidor para la OLT. 61
Figura 5.13. Cable ODN Multimodo 10G UOC-3. 61
Figura 5.14. Módulo GPON OLT SFP+ Ubiquiti UF-MM-10G. 62
Figura 5.15. Panel frontal del EdgeRouter INFINITY. 63
Figura 5.16. DC/DC PowerModule™ modelo: RPS-DC-100W. 63
Figura 5.17. Módulo GPON OLT SFP Ubiquiti UF-GP-C+. 64

Figura 5.18. Patch cord de la marca Ubiquiti. 65
Figura 5.19. Adaptador SC/APC UF-ADAPTER-APC 66
Figura 5.20. Splitter Modular Preconectado, 1:4 estándar LGX. 67
Figura 5.21. ODF ACONET 68
Figura 5.22. Software UNMS. 69
Figura 5.23. SAI Smart-UPS SRT. 71
Figura 5.24. Características principales de la UPS. 71
Figura 5.25. Pack de baterías de 192 V, 5 kVA y 6 kVA. 72
Figura 5.26. Especificaciones técnicas del pack de baterías. 72
Figura 5.27. Caja de Empalme Óptico Aéreo FK-CEO-4T. 73
Figura 5.28. Sellado Termo Contráctil. 73
Figura 5.29. Bandeja tubo loose (x1). 74
Figura 5.30. Bandeja de empalme (x1). 74
Figura 5.31. Splitter PLC 1:8 G.657A NC/NC. 74
Figura 5.32. NAP Furukawa FK-CTO-16MC. 75
Figura 5.33. Caja FK-CTO-16-MC. 76
Figura 5.34. Bandeja de Conectores con 8 ADAPT. SC-APC (x1). 76
Figura 5.35. Bandeja de Empalme 16F (x1). 76
Figura 5.36. Splitter con salidas preconectadas PLC 1:8 G.657A NC/SC-APC. 76
Figura 5.37. Conector SC/APC SM. 78
Figura 5.38. ONT Ufiber WIFI. 79
Figura 5.39. Fibra a modo de ilustración. 80
Figura 5.40. Cable de drop de fibra óptica. 81
Figura 5.41. Diseño nodo N1. 86
Figura 5.42. Diseño nodo N2 87
Figura 5.43. Diseño nodo N3 88
Figura 5.44. Diseño nodo N4 89
Figura 5.45. Diseño nodo N5 90
Figura 5.46. Diseño nodo N6 91
Figura 5.47. Detalle de tabla de cálculo óptico (N1-N3). 93
Figura 5.48. Detalle de tabla de cálculo óptico (N4-N6) 94

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Pérdidas en una fibra óptica. 21
Tabla 4.1 Tabla con Cantidad de parcelas (usuarios) por manzana 49
Tabla 5.1 Tabla de referencias de nodos con sus respectivos colores. 51
Tabla 5.2 Comparación de las distintas OLT del mercado. 58
Tabla 5.3 Datasheet de los módulos de alimentación. 61
Tabla 5.4 Datasheet del EdgeRouter INFINITY 8-Port 10G SFP+ 64
Tabla 5.5 Datasheet Módulo GPON OLT SFP Ubiquiti UF-GP-C+ 65
Tabla 5.6 Datasheet de los patch cord. 65
Tabla 5.7 Datasheet del adaptador SC/APC UF-ADAPTER-APC. 66
Tabla 5.8 Datasheet de splitters de primer nivel. 67
Tabla 5.9 Conector de splitter de primer nivel. 67
Tabla 5.10 Consumo en cabecera. 70
Tabla 5.11 Datasheet de los splitters de segundo nivel. 75
Tabla 5.12 Datasheet de los splitters de tercer nivel. 78
Tabla 5.13 Datasheet de la ONT Ufiber WIFI. 79
Tabla 5.14 Tabla de símbolos. 85
Tabla 5.15 Presupuesto inicial estimado. 96
Tabla 5.16 Presupuesto final. 97

ABSTRACT

En el presente trabajo se propone el análisis y diseño de una red de fibra óptica basada en la tecnología GPON, capaz de realizar el transporte de información a través de dicha red hacia un sistema perteneciente a la Urbanización Los Robles de la localidad de La Silleta. Para ello, se dividió la organización del trabajo en cinco capítulos:

Los primeros tres capítulos establecen algunos parámetros del proyecto, los principios básicos de fibra óptica y las redes correspondientes a estas. Es importante establecer el funcionamiento básico de este medio de transmisión, ya que en la actualidad y desde hace ya algún tiempo, es el medio más óptimo y eficiente y, por lo tanto, el más utilizado por los grandes carriers, como así también medianos y pequeños ISP. Por ende, se considera de suma importancia el establecer los principios fundamentales del funcionamiento de esta tecnología para poder entender la aplicación que tendrá dentro del proyecto.

En el capítulo cuatro se realiza el análisis y estudio preliminar, donde se estudian los parámetros iniciales para poder encarar el diseño de la red GPON de forma óptima. Para ello, se investiga el área geográfica objetivo y las redes de comunicaciones ya existentes, como así también la existencia de postes. Se determina cuál es la topología de red más adecuada para la red, y cuáles son los requerimientos de los usuarios y del tráfico de datos.

En el capítulo cinco se realiza el proceso de diseño e ingeniería, donde se establecen los parámetros finales para poder llevar a cabo el proyecto. Los mismos se determinan a partir de lo estudiado y analizado del capítulo anterior. En esta etapa se contemplan los casos de éxito de otros proyectos similares, para así realizar un diseño óptimo a partir los principios que estos manejan. También se realiza el diseño en sí mismo, desde el diseño de alto nivel (zonificación y establecimiento de la red a nivel macro) hasta el diseño de bajo nivel (diseño detallado zona por zona) Se especifican y seleccionan las tecnologías propuestas que mejor se ajustan al diseño y, en base a estos, se realizan los cálculos ópticos pertinentes como así también el presupuesto del proyecto.

Por último, pero no menos importante, describir que el alcance de dicho proyecto engloba netamente el análisis y diseño de la red GPON. No se enfoca en obras civiles, análisis económico, red de transporte, etc. Ya que el enfoque del proyecto es el realizar un diseño lo más realista posible y como una solución propuesta a una problemática, que se detalla más adelante, que posiblemente pueda implementar un ISP local. De igual forma, del lado de servicios, sólo se limita hasta la conexión con la OLT e interconexión de OLT mediante Router según las especificaciones del mismo.

1 INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En el mundo actual, en la mayoría de las áreas que el ser humano desarrolla diariamente tales como la ciencia, investigación, educación, economía, salud y demás, las telecomunicaciones juegan un papel indispensable y protagónico. Estas áreas demandan cada vez más flujos de información, calidad, confiabilidad y disponibilidad de las redes, especialmente de la red de redes, Internet.

El crecimiento exponencial de las telecomunicaciones, año tras año, trae consigo grandes progresos para la humanidad, y la globalización genera una tendencia de tratar de estar a la vanguardia. Pero como en todo progreso, no muchos países y menos muchas ciudades pueden seguir el hilo de este crecimiento.

En el interior de la provincia de Salta existe un grave problema de acceso a internet, ya que no todas las localidades gozan de este servicio básico, o al menos, correctamente. Es de esperar que diariamente se presenten dificultades en situaciones límites que atenten a la sociedad. En tiempos difíciles, la economía, los medios de producción, la educación y demás, son unas de las grandes afectadas. Pero también el acceso a la información y, para ello, es vital poder asegurar, como mínimo, una conectividad acorde a los tiempos que corren. El crecimiento no puede ser a gran escala, ya que existe un razonable límite económico que impide una implementación adecuada a tal magnitud. Como tal, es necesaria una instalación gradual, constante y sostenida de infraestructuras de Telecomunicaciones, y es por ello que los proveedores del servicio de internet tienen un papel fundamental.

Por este motivo, es necesario no sólo apuntar a optimizar y escalar las redes ya instaladas, sino que también implementarlas en aquellas urbanizaciones emergentes. Es del todo patente que las redes de fibra óptica son la mejor opción a la hora de desarrollar infraestructuras de telecomunicaciones más en los tiempos que corren, ya que la tecnología necesaria para llevarlas a cabo es una alternativa económica y viable.

1.2. Delimitación del Problema

Este proyecto se define como una solución de servicio de datos a partir del análisis y diseño de una red GPON (*Gigabit-capable Passive Optical Network*) en la prolífera Urbanización Los Robles en la localidad de La Silleta (Provincia de Salta), como así también establece los parámetros necesarios a tener en cuenta para la implementación de este tipo de redes.

1.3. Hipótesis

A base de la experiencia obtenida a nivel de redes, se puede destacar que, en las urbanizaciones emergentes, llámese ciudad, pueblo, villa, comuna, localidad, o cualquier otro término para definir a un determinado territorio geográfico, el simple hecho de implementar redes con servicio de datos, motiva a la mayoría de la sociedad, que compone dicho territorio, a hacer uso del mismo para actividades educacionales, económicas, de salud, de información y demás de igual índole.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Analizar y Diseñar una red basada en medios ópticos para el servicio de datos utilizando la tecnología GPON.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar y estudiar la zona geográfica objetivo.
- Realizar relevamiento de la zona geográfica objetivo.
- Establecer la ubicación geográfica de la cabecera.
- Diseñar la red GPON a partir del punto anterior.
- Determinar los equipos que serán necesarios para la aplicación de dicho proyecto.
- Determinar la ingeniería necesaria para llevar a cabo dicho proyecto.
- Establecer los costos aproximados que conlleva el proyecto.

1.5. Justificación

Debido a que la Provincia de Salta posee un alcance limitado del servicio de datos, el siguiente proyecto busca brindar una solución para contribuir con la expansión de dicho servicio en la Urbanización Los Robles, ubicada en la localidad de La Silleta (Provincia de Salta).

Los distintos apartados mostrados en este proyecto se declaran de carácter teórico-práctico y no contempla una planificación exhaustiva, sino una acorde a las limitaciones propias del mismo por su naturaleza académica.

1.6. Metodología

1.6.1. Método Analítico

Se aplicó el método analítico desarrollando relevamientos para su posterior análisis. A partir de allí, se estudia y determina el cómo se encarará el diseño del proyecto.

1.6.2. Método Deductivo

Mediante estudios realizados sobre el manejo de fibra óptica, las capacidades de la misma y su comportamiento en redes de transmisión de datos, se dedujeron los valores óptimos de los equipos a utilizar para realizar las interconexiones correspondientes y obtener un sistema eficiente en la transmisión de los datos.

1.7. Técnica

Se utilizaron las siguientes técnicas para el desarrollo de la investigación de este proyecto:

- **Técnica documental:** Para la realización de este proyecto se utilizaron varios tipos de investigación, como investigación de campo, donde se determinará: característica física del sistema, relevamiento de la ubicación geográfica objetivo. Investigación bibliográfica, donde se tomaron en cuenta otros sistemas similares para tener un soporte del desarrollo de los sistemas con otras tecnologías.

- **Técnica Experimental:** Para la realización de este proyecto se utilizaron varios modelos de equipos, en los cuales se determinó las marcas y características de cada equipo a utilizar para cumplir con los objetivos del proyecto.

1.8 Descripción de la Propuesta

La solución propuesta trata del diseño de una red GPON con servicio de datos, partiendo del análisis y estudio de la zona geográfica objetivo y contemplando las distintas tecnologías disponibles. El software implementado para plasmar dicho diseño es el AutoCAD, el cual ofrece las herramientas gráficas necesarias. Por lo tanto, se realizan los cálculos correspondientes que sustenten la solución propuesta. Finalmente, se realiza una estimación de costos a tener a consideración en el caso que se quiera implementar el proyecto en un escenario real.

Una simplificación de la red se especifica abajo (Figura 1.1). Más adelante se especificarán cada uno de los equipos y las conexiones entre ellos, al igual que las definiciones de las siglas que se encuentran en la figura (puntualmente en la pág. 29)

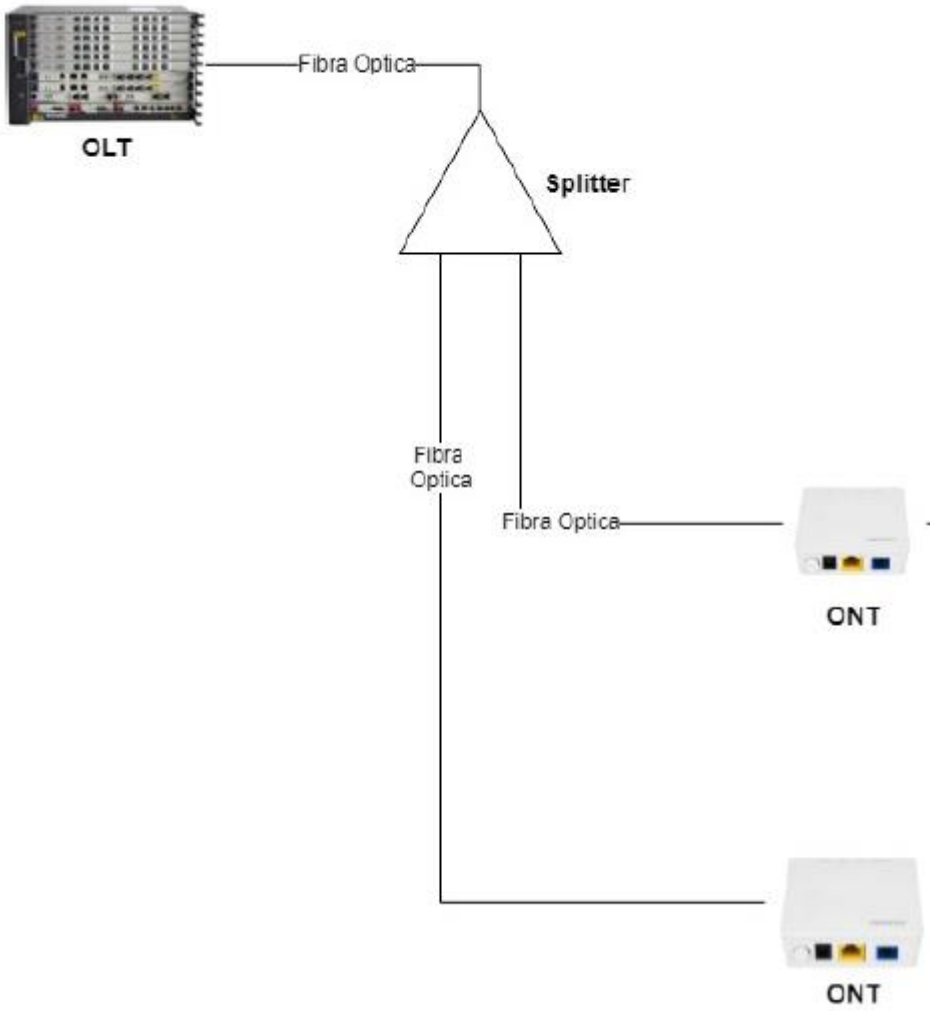


Figura 1.1.Esquema simplificado de una red GPON.

2 CONCEPTOS DE FIBRA ÓPTICA

La creación de Internet ha sido sin duda una de las tecnologías informáticas y de comunicación más importante de nuestro siglo. Internet es de reciente creación, hablamos de 1991, cuando se creó el *World Wide Web*, momento en el que la evolución en velocidad y accesibilidad comenzó a disparase hasta nuestros días. Precisamente gracias tecnologías como la fibra óptica, el aumento de capacidad de transferencia de datos ha llegado a altísimos niveles de velocidad y distancia.

2.1 Qué es la fibra óptica

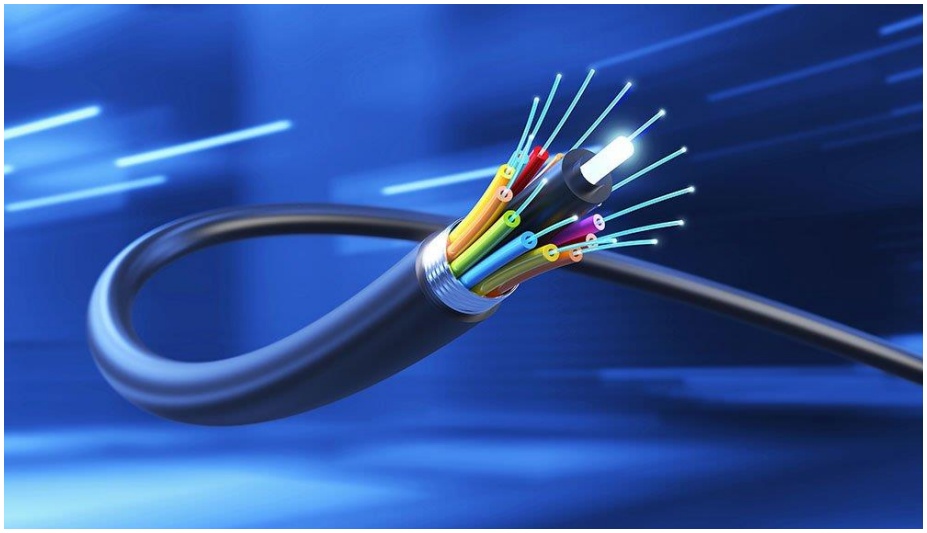


Figura 2.1.Cable de fibra óptica.

La fibra óptica es un medio de transmisión de datos mediante impulsos fotoeléctricos a través de un hilo construido en vidrio transparente u otros materiales plásticos con la misma funcionalidad. Estos hilos pueden llegar a ser casi tan finos como un pelo, y son precisamente el medio de transmisión de la señal.

Básicamente, por estos finísimos cables se transfiere una señal luminosa desde un extremo del cable hasta el otro. Esta luz puede ser generada mediante un láser o un LED, y su uso más extendido es el de transportar datos a grandes distancias, ya que este medio tiene un ancho de banda mucho mayor que los cables metálicos, menores pérdidas y a mayores velocidades de trasmisión.

Otro aspecto muy importante que debemos tener en cuenta, es que la fibra óptica es inmune a las interferencias electromagnéticas, que es algo que, por ejemplo, los cables de pares trenzados sufren en todos los casos y contribuyen a que se necesiten repetidores cada cierta distancia. Debemos saber que la fibra óptica no transporta energía eléctrica, solamente señales de luz.

Pero la fibra óptica no solamente se utiliza para la transmisión de datos en redes, sino también para conexiones de audio de alta calidad. Además, también es una fuente de iluminación para proporcionar visibilidad en espacios reducidos e incluso para productos de decoración, por ejemplo, en árboles de navidad y cosas similares. Por supuesto, estas fibras

están construidas de plástico y son de bajo coste, y tienen poco que ver con los cables que se utiliza para datos.

2.2 Partes de un cable de fibra óptica

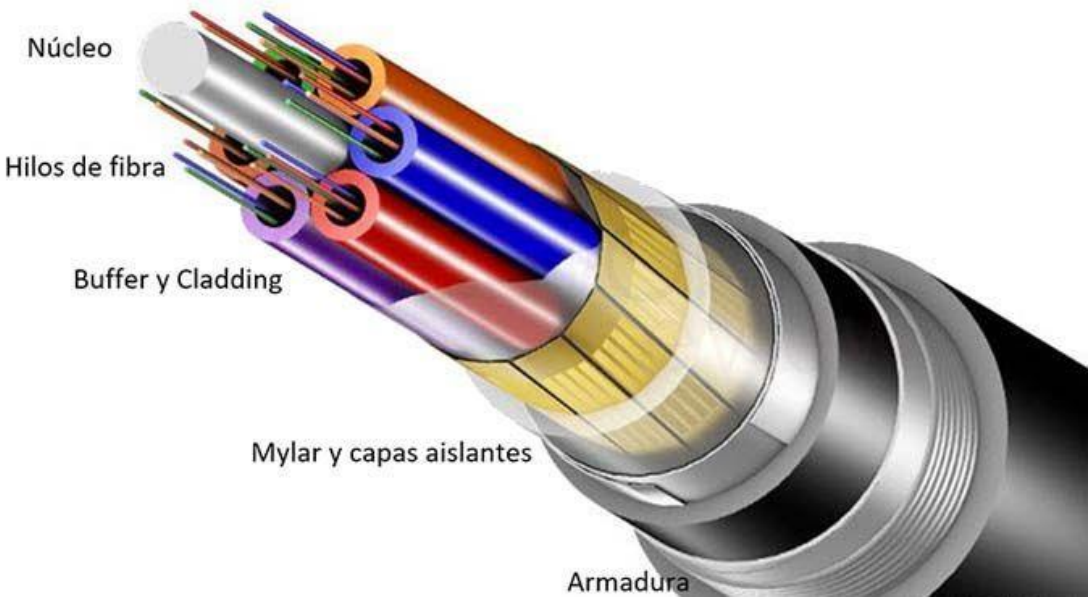


Figura 2.2.Partes de un cable de fibra óptica.

2.2.1 Núcleo

Es el elemento central de un cable de fibra óptica que no siempre está presente. Su función es simplemente la de proporcionar un refuerzo para evitar la rotura y deformación del cable.

2.2.2 Drenaje de humedad

Este elemento tampoco está presente en todos los cables. Su función es la de evitar que la posible humedad que tenga el cable no se extienda. Va enrollado en el núcleo.

2.2.3 Hilos de fibra

Es el elemento conductor, por ellos viaja la luz y los datos en ella. Están fabricados de cristal de silicio o plástico de extrema calidad que crean un medio en el que la luz pueda reflejarse y refractarse correctamente hasta llegar al destino.

2.2.4 Buffer y Cladding (revestimiento)

Básicamente es el recubrimiento de los hilos de fibra óptica. El *cladding* es un material que rodea al núcleo, y consiste en un relleno de gel de capa oscura. El Buffer es una cubierta plástica para proteger el *cladding* y puede tener un código de color para su fácil identificación.

2.2.5 Cinta de Mylar y capas aislantes

Básicamente es un recubrimiento aislante que recubre todos los buffers de fibra. En función del tipo de construcción tendrá varios elementos, todos ellos de material dieléctrico (no conductor).

2.2.6 Armadura

La siguiente capa se trata de la armadura del cable, que en los de mayor calidad siempre están construida de hilos de Kevlar. Este material es liviano y de gran resistencia e ignífugo, lo podremos ver en chalecos antibala y cascos de pilotos.

2.2.7 Recubrimiento exterior

Como cualquier cable, se necesita un recubrimiento exterior, normalmente de plástico o PVC.

2.3 Principios de propagación de la luz

El cable de fibra óptica está compuesto por un conjunto de filamentos, los cuales constan de un núcleo central de plástico o de vidrio que posee un alto índice de refracción, rodeado por una capa de material similar que posee un índice de refracción menor, de allí que cuando la luz llega a la superficie es limitada por un índice de refracción menor por lo que se refleja en gran parte. En el interior del cable la luz se refleja contra las paredes en ángulos que son muy abiertos, lo que hace que las señales luminosas sean transportadas sin perdidas por las largas distancias.

Es preciso tener en cuenta que la luz es una forma de energía electromagnética, la cual viaja a velocidades de 300.000 Km/s, y que decrece a medida que se propaga por medios con mayor densidad. De allí que, en la transmisión por fibra óptica, se presentan diversas propiedades de la óptica clásica, entre las cuales se puede mencionar la refracción y la reflexión.

La luz se propaga en línea recta durante su movimiento a través de una única sustancia uniforme, sin embargo, cuando cambia de medio hacia otro más o menos denso, su velocidad cambia en forma abrupta, causando que el rayo cambie de dirección, en razón a la refracción.

La dirección en la que se refracta un rayo de luz, depende del cambio de densidad que este encuentre, tal que, si el cambio es hacia una sustancia con mayor densidad, esta tiende a curvarse en dirección al eje vertical; de este fenómeno óptico se extraen datos tales como el ángulo de incidencia y el ángulo de refracción.

Asimismo, en relación a la refracción se debe considerar el ángulo crítico el cual relaciona 90° el ángulo de incidencia y el ángulo de refracción, haciendo que el rayo se mueva en dirección a la vertical. En la siguiente imagen (Figura 2.3) se puede apreciar el cambio en la dirección que sufre el rayo incidente en proporción a la densidad del medio de cambio entre el aire y el agua.

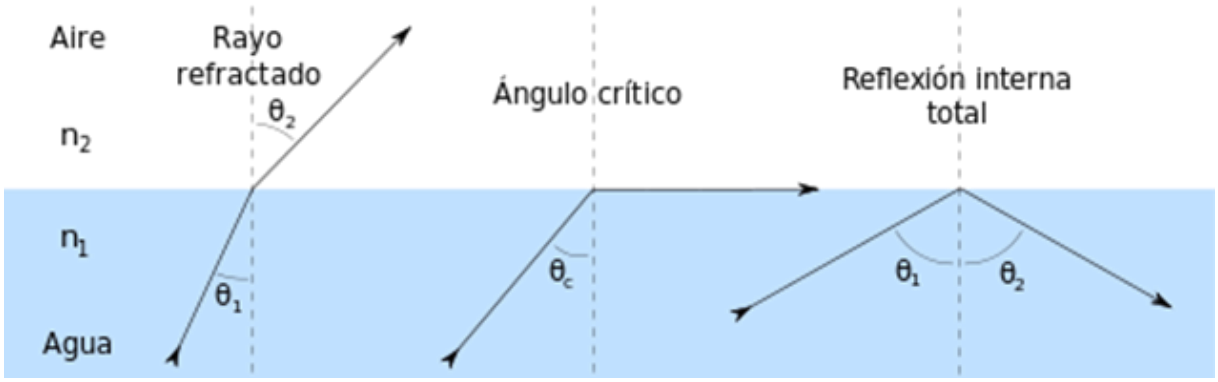


Figura 2.3.Refracción entre el aire y el agua.

En relación al ángulo crítico se deben considerar las siguientes premisas:

- Si el ángulo de incidencia se hace mayor que el ángulo crítico, los rayos de luz serán totalmente reflejados.
- La reflexión total no puede producirse cuando la luz pasa de un medio menos denso a otro más denso.

En este sentido, cuando la luz entra por un extremo de un tubo macizo de vidrio o plástico, puede verse reflejada totalmente en la superficie exterior del tubo y, después de una serie de reflexiones totales sucesivas, salir por el otro extremo. Un caso particular son las fibras de vidrio de diámetro muy pequeño, las cuales se recubren de un material cuyo índice de refracción menor y que se utilizan para la transmisión de imágenes. Los haces flexibles, que pueden emplearse para iluminar además de para transmitir imágenes, son muy útiles para la exploración médica, ya que pueden introducirse en cavidades estrechas e incluso en vasos sanguíneos.

2.3.1 La reflexión

La reflexión es además la propiedad del movimiento ondulatorio que hace que la onda retorne al propio medio de propagación posterior a su incidencia sobre una superficie, de tal manera que, las ondas al incidir sobre un segundo medio una parte de ellas se refracta y la otra se refleja. La reflexión regular (en la que la dirección de la onda reflejada está claramente determinada) cumple dos condiciones: el rayo incidente y el rayo reflejado forman el mismo ángulo con la normal (una línea perpendicular a la superficie reflectante en el punto de incidencia), y el rayo reflejado está en el mismo plano que contiene el rayo incidente y la normal. Los ángulos que forman los rayos incidente y reflejado con la normal se denominan respectivamente ángulo de incidencia y ángulo de reflexión. Las superficies rugosas reflejan en muchas direcciones, y en este caso se habla de reflexión difusa.

Para reflejar un tren de ondas, la superficie reflectante debe ser más ancha que media longitud de onda de las ondas incidentes. Por ejemplo, un pilote que sobresale de la superficie del mar puede reflejar pequeñas ondulaciones, mientras que las olas de gran tamaño pasan alrededor de él. Los sonidos estridentes, que tienen longitudes de onda muy cortas, son reflejados por una ventana estrecha, mientras que los sonidos de mayor longitud de onda lo atraviesan. En la atmósfera, algunas partículas pequeñas de polvo reflejan sólo las longitudes de onda más cortas de la luz solar, correspondientes a los tonos azules.

En la siguiente imagen (Figura 2.4) se ilustra el principio de reflexión:

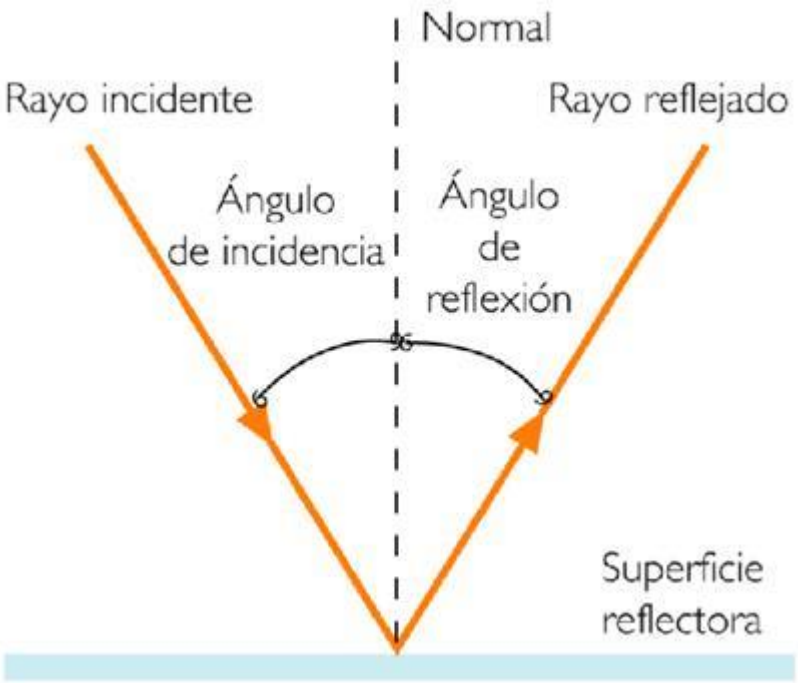


Figura 2.4.Principio de reflexión.

El núcleo de la fibra óptica tiene un índice de refracción que es mayor en consideración al revestimiento, de tal manera que la luz que llega al límite entre el núcleo y el revestimiento con un ángulo de incidencia mayor que el ángulo crítico se refleja y continúa su recorrido dentro del núcleo, obedeciendo a un principio de reflexión total.

La reflexión total, constituye el pilar fundamental en el que se sustenta el funcionamiento de la fibra óptica, tomando en consideración el índice de refracción para el núcleo se sitúa alrededor de 1,47 y para el revestimiento de 1,45, de manera que la diferencia de densidad de ambos materiales debe permitir que el rayo de luz que se mueve a través del núcleo debe ser reflejado por la cubierta en lugar de refractado por ella. La información se codifica dentro de un rayo de luz como series de destellos *On – Off* que representan los bits 1 y 0, respectivamente.

2.4 La transmisión en la fibra óptica.

En los sistemas de transmisión a través de la fibra óptica, se deben tener en cuenta ciertos componentes importantes, los cuales transforman las ondas electromagnéticas en energía luminosa. El proceso de transmisión continúa cuando las señales son transmitidas por las fibras para posteriormente ser detectadas (en la etapa de recepción) y transformadas en señales electromagnéticas nuevamente. Asimismo, en la medida en que cada tramo es empalmado, se deben colocar correctores ópticos, y en los extremos amplificadores para mejorar la calidad de la señal.

Por otro lado, deben tenerse en cuenta parámetros tales como la pérdida de canal y la dispersión de la señal para establecer la fiabilidad en la transmisión. Las pérdidas de inserción en el canal constituyen la máxima perdida de señal o atenuación desde el transmisor hasta el receptor. La dispersión de la señal, se refiere al esparcimiento de las señales dentro de la fibra.

Tomando en consideración los parámetros anteriormente mencionados, se logran establecer otros, tales como la longitud máxima de operación, la velocidad de datos y el ancho de banda de la fibra. Asimismo, deben considerarse los modos de propagación.

En la actualidad se evidencian dos modos de propagación de la luz a lo largo de canales ópticos, cada uno de los cuales necesita fibras con características distintas. Estos son: monomodo, y multimodos (de índice escalonado, o de índice de gradiente gradual).

2.4.1 Fibra multimodo

Recibe su nombre dado a que hay múltiples rayos de luz de una fuente luminosa, los cuales se mueven a través del núcleo por distintos caminos. Dichos movimientos dependen de la estructura del núcleo. En el caso particular de la fibra multimodo de índice escalonado, la densidad del núcleo es constante desde el centro hasta los bordes. Un rayo de luz se mueve a través de una densidad constante en línea recta hasta que logra alcanzar la interfaz del nuevo y la cubierta. En la interfaz se da un intercambio abrupto a una densidad más baja que altera el ángulo de movimiento del rayo. Cabe destacar que algunos rayos del centro de la fibra viajan en línea recta a través del núcleo y alcanzan el destino sin reflejarse o refractarse; mientras que otros golpean la interfaz del núcleo y se reflejan en un ángulo menor que el ángulo crítico, penetrando la cubierta y posteriormente perdiéndose. Sin embargo, hay los rayos que tienen ángulos mayores que el ángulo crítico, los cuales se reflejan dentro del núcleo hasta el otro lado, rebotando a lo largo del canal hasta lograr alcanzar su destino.

Cada rayo se refleja fuera de la interfaz en un ángulo que es igual a su ángulo de incidencia. Cuanto mayor es el ángulo de incidencia, más amplia es la reflexión, y mientras es más pequeño debe viajar más rápido para poder alcanzar su destino.

Es importante tener en cuenta, que en la recepción no se tiene una señal replica de la transmitida, ya que ésta es distorsionada por los retrasos de la propagación.

En el caso de la fibra multimodo de índice gradual, ésta reduce el valor de la distorsión de la señal a través del cable. Tomando en cuenta que el índice de refracción está relacionado a la densidad del medio, las fibras de índice gradual tienen densidad variable. La densidad es mayor en el centro del núcleo y decrece gradualmente hasta el borde. En esta, la señal se introduce en el centro del núcleo y a partir de este punto, solamente el rayo horizontal se mueve en línea recta a través de la zona central, de la densidad constante. Los rayos en otros ángulos se mueven a través de una serie de densidades que cambian constantemente. Cada diferencia de densidad hace que el rayo se refracte formando una curva. Además, cambiar la refracción cambia la distancia de cada rayo que viaja en el mismo periodo de tiempo, resultando que los rayos distintos se intercepten a intervalos regulares.

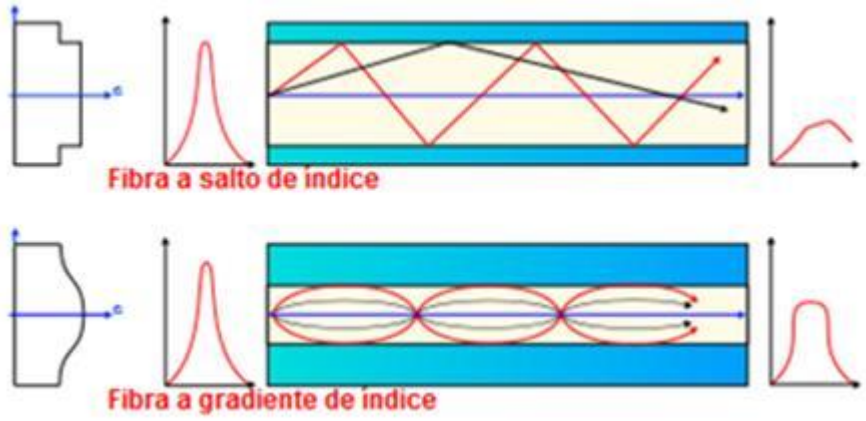


Figura 2.5.Modos de transmisión en fibra multimodo

2.4.2 Fibra monomodo

En el caso de la fibra monomodo, esta utiliza el índice de refracción escalonado, y una fuente de luz enfocada, la cual limita los rayos a un rango muy pequeño de ángulos, cercanos a la horizontal. Su fabricación tiene en consideración un diámetro más pequeño que los multimodos, y con una densidad (índice de refracción) que es considerablemente inferior.

El decrecimiento de la densidad, origina que el ángulo crítico este muy cercano a los 90° para hacer que la propagación de los rayos sea casi horizontal, tal que para los distintos rayos la propagación es muy similar y los retrasos son despreciables. En la etapa de recepción, todos los rayos llegan en condiciones similares y se pueden recombinar sin distorsionar la señal.

Figura 2.6.Modo de transmisión en fibra multimodo

2.5 Perdidas en una fibra óptica

La pérdida de potencia (medida en dB) que sufre la onda de luz en su propagación a lo largo de una fibra óptica es debida a la combinación de diversos efectos que depende de algunos factores (intrínsecos y extrínsecos) y varía según la longitud de onda de la señal transmitida, siendo aquellas con una longitud de onda más corta las más afectadas por la absorción sufriendo, por lo tanto, mayor pérdida de potencia, mientras que aquellas con una longitud de onda de 1550nm son las que sufren menos atenuación y se usan frecuentemente para transmisiones a larga distancia.

Intrínsecos	Extrínsecos
Pérdidas por curvatura	Pérdidas inherentes a la fibra
Pérdidas por conexión y empalme	Pérdidas que resultan de la fabricación de la fibra
	Reflexión de Fresnel
	Atenuación

Tabla 2.1 Pérdidas en una fibra óptica.

2.5.1 Pérdidas por curvatura

De alguna manera, las pérdidas por curvatura ocurren en todas las curvas de una fibra óptica debido al cambio del ángulo de incidencia de la frontera núcleo-revestimiento. Si el radio de curvatura es más mayor que el radio de curvatura mínimo de la fibra, las pérdidas son despreciables y, por lo tanto, ignoradas.

Las pérdidas por curvatura también pueden ocurrir a una escala más pequeña. Curvas pronunciadas en el núcleo de una fibra con desplazamientos de uno pocos milímetros o menos, causadas por la protección exterior de la fibra, la fabricación, el procedimiento de instalación, etc., pueden causar también pérdidas de potencia. Estas pérdidas se denominan pérdidas por microcurvaturas y pueden ser significativas para grandes distancias.

2.5.2 Pérdidas por conexión y empalme

Las pérdidas por empalme varían dependiendo del tipo de empalme utilizado y se encuentran en un rango de 0,2dB a 0,5dB. Estas pueden deberse a varios factores como: desalineamiento de los núcleos, malos cortes, contaminación, etc.

Las pérdidas por conectores varían dependiendo del tipo de conector usado y se encuentra comúnmente en el rango de 0,3dB a 1,5dB. Entre los factores que contribuyen a estas pérdidas se tiene: suciedad en el conector, instalación incorrecta, daños físicos en el conector, desalineamiento de las fibras, etc.

2.5.3 Pérdidas inherentes a la fibra

Las pérdidas de luz en una fibra que no se pueden eliminar en el proceso de fabricación se deben a las impurezas en el vidrio y a la absorción de la luz a nivel molecular. Las pérdidas de luz debidas a las variaciones en la densidad óptica, composición y estructura molecular se denomina *dispersión de Rayleigh.* Los rayos de luz que encuentran estas variaciones e impurezas se dispersan en muchas direcciones y se pierden.

2.5.4 Pérdidas que resultan de la fabricación de la fibra

Estas pérdidas se deben a imperfecciones que resultan en la fibra como resultado del proceso de fabricación.

2.5.5 Reflexión de Fresnel

La *reflexión de Fresnel* ocurre en cualquier frontera de un medio donde cambie el índice de refracción, causando que una parte de los rayos incidentes sean reflejados al primer medio. El extremo de una fibra es un buen ejemplo de este hecho. La luz, que viaja del aire al núcleo de la fibra, refractado al núcleo. Sin embargo, parte de la luz, alrededor del 4%, es reflejada de vuelta al aire. La cantidad que se refleja se puede calcular usando la siguiente formula:

$$Luz\ reflejada(\%) = 100 * \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2}$$

Donde:

n_1 = índice de refracción del núcleo

n_2 = índice de refracción del aire

Estas pérdidas están comúnmente en un rango que va desde 0,1dB a 0,7dB. Una manera de reducirlas es utilizando conectores que están diseñados para minimizar esta reflexión como los PC (*PhisicalContact*).

2.5.6 Atenuación

Es la cantidad pérdida de potencia o distorsión que sufre la señal óptica al viajar por la fibra, lo cual impone un límite en cuanto a la máxima distancia a la cual debe encontrarse el receptor de manera que los pulsos luminosos puedan ser detectados sin errores, evitando de esta manera la pérdida de información.

La atenuación producida por el propio cable de F.O. depende del tipo de fibra a utilizar y de la longitud de onda que se esté transmitiendo. En general para la fibra Monomodo las pérdidas son de:

- 0,40 dB/km para 1310nm
- 0,35dB/km para 1490nm
- 0,30 dB/km para 1550nm

2.6 Ventanas de transmisión

En el desarrollo de la tecnología de la fibra óptica a lo largo de la historia, se han utilizado muy diversas fuentes de luz, cada una con un color o longitud de onda determinada. Por otra parte, sabemos que la luz está sujeta a una serie de pérdidas en su viaje por la fibra. Con la experimentación, los científicos se dieron cuenta de que había una relación entre color de la luz y pérdida de transmisión. Así fue el origen de las ventanas de transmisión: rangos de longitud de onda donde la atenuación por km era pequeña.

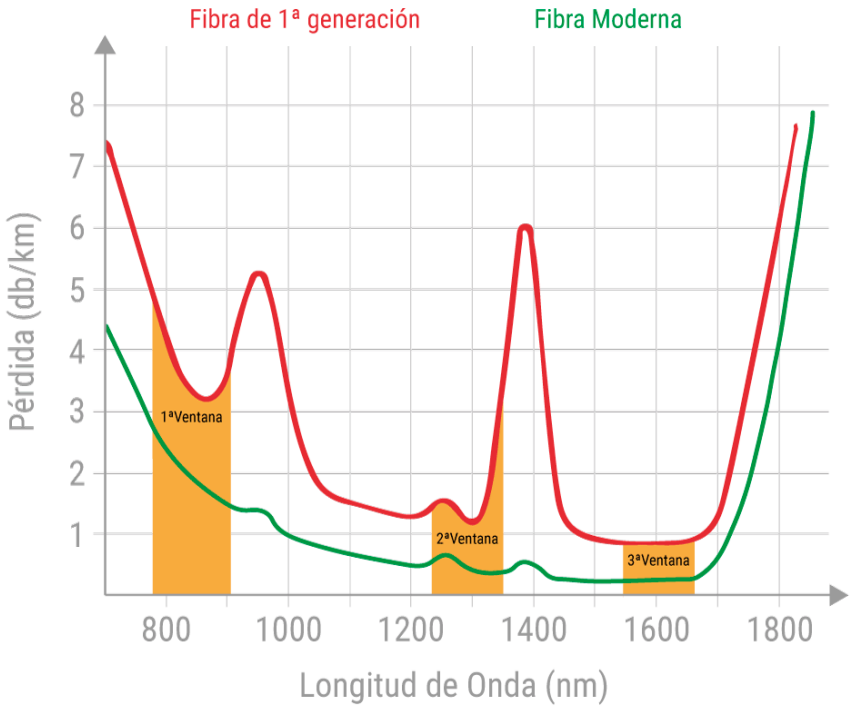


Figura 2.7.Ventanas de transmisión en la fibra óptica.

2.6.1 Primera ventana

Corresponde a una onda con una longitud de 850nm, e incluye las ondas que se encuentran en un rango de 800 a 900nm. Permite realizar conexiones con una distancia máxima de 275 metros sobre fibras de 62,5/125µm y de 550 metros sobre fibra de 50/125µm. Utiliza en la transmisión económicos diodos laser con luz multimodal.

2.6.2 Segunda ventana

Corresponde a una longitud de onda de 1310nm, e incluye ondas que se encuentren en el rango de 1250 a 1350nm. Permite realizar conexiones con una distancia de 5-10km sobre fibras monomodo, además utiliza para la transmisión diodos láser con luz multimodal o monomodal.

2.6.3 Tercera ventana

Corresponde a una longitud de onda de 1550nm, incluye ondas dentro del rango de 1500 a 1600nm. Debido a que esta ventana corresponde a la mayor longitud de onda se pueden realizar transmisiones con una longitud de 100km además los equipos utilizados son relativamente económicos, además si se utiliza una fibra monomodo de buena calidad, se pueden alcanzar atenuaciones del orden de los 0,2 a 0,25dB/km.

2.7 Ventajas de la transmisión por fibra óptica

- Tiene una alta velocidad de transmisión. Soporta aproximadamente 2.000 millones de pulsos por segundo lo cual se traduciría en aproximadamente 60.000 llamadas telefónicas realizadas simultáneamente. Un cable estándar de 200 fibras puede soportar 6.000.000 de conversaciones telefónicas que es una

capacidad mucho más alta si se la compara con un cable de cobre de tamaño similar que soporta solamente 10.000 conversaciones.

- No existen problemas de comunicaciones cruzadas.
- Al tener un diámetro más pequeño y ser más ligera que un cable de cobre de capacidad similar, es mucho más fácil de instalar especialmente en lugares donde el espacio es limitado debido a la existencia, por ejemplo, de otros cables.
- Es inmune a las radiaciones electromagnéticas lo que la hace ideal para suministrar un camino para una comunicación limpia en el más hostil de los ambientes.
- Permite comunicaciones por fibra más allá de los 70km antes de que se requiera regenerar la señal y puede extenderse hasta 150km usando amplificadores láser.
- Permite mayor seguridad en el servicio y no puede ser intervenida por medios tradicionales.

2.8 Desventajas de la transmisión por fibra óptica

- Los transmisores y receptores utilizados son más caros, y su instalación es más complicada desde el punto de vista manual ya que los empalmes requieren más precisión y son más complejos por lo que necesita de técnicas especiales de ingeniería para instalación de los enlaces.
- El cable de fibra óptica sólo se puede utilizar en tierra y no puede separarse del suelo ni funcionar con la comunicación móvil.
- La fibra óptica es bastante frágil y más vulnerable a los daños en comparación con los alambres de cobre. Es mejor no torcer o doblar los cables de fibra óptica.
- Los sistemas con fibra ópticas requieren fuente de alimentación independiente para cada repetidor de energía, a distancia no es posible a través del medio de transmisión en sí.

2.9 Ancho de banda

El ancho de banda es una medida de la capacidad de transmisión de información. Está limitada por la dispersión total de la fibra que causa solapamiento de los pulsos que causan errores en la recepción. Cuando esto ocurre se debe reducir la frecuencia de transmisión de datos. La dispersión, que es una medida de la longitud, afecta la potencia pico de la señal, comprometiendo así el presupuesto del enlace.

La dispersión total se puede dividir en dos categorías: dispersión cromática y dispersión modal:

2.9.1 Dispersión modal

También conocida como dispersión multimodo, afecta solo a la fibra multimodo y está causada por los diferentes caminos o modos que sigue un rayo de luz en la fibra. Esto da como resultado que los rayos recorran distancias diferentes y lleguen al otro extremo de la fibra en tiempos diferentes. Un pulso transmitido se ensanchará debido a este efecto y reducirá en consecuencia la máxima velocidad de transmisión efectiva de datos.

Una fibra de índice escalón tiene una dispersión modal más alta y por tanto el ancho de banda más bajo. Debido al perfil no uniforme del índice de refracción de una fibra de índice gradual, la dispersión modal decrece.

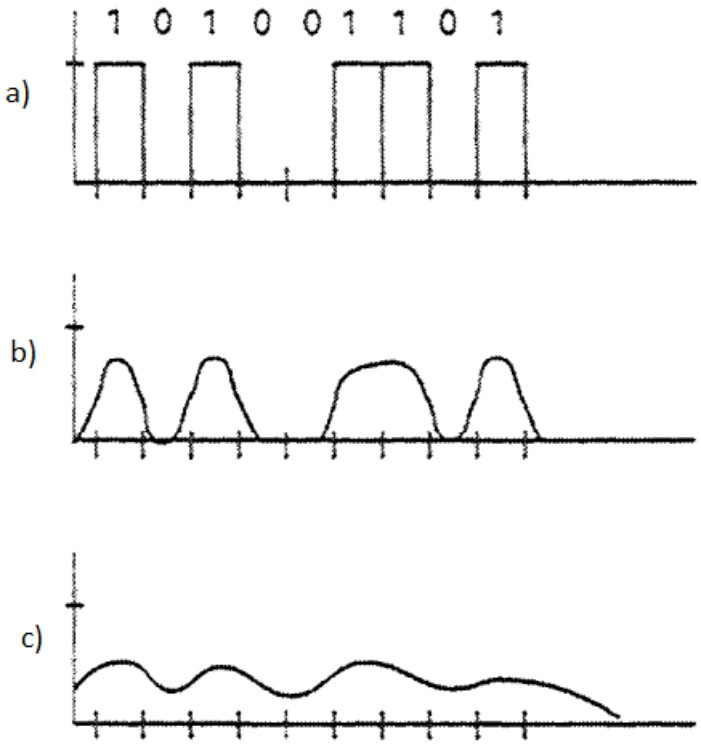


Figura 2.8.Dispersión modal.

a) Señal óptica digital sin dispersión. Señal ideal.
b) La misma señal con algo de dispersión, pero todavía aceptable.
c) Dispersión extendida sobre toda la señal. Los pulsos individuales son indistinguibles. Esta señal no es aceptable.

2.9.2 Dispersión cromática

El ancho de banda de una fibra monomodo está limitado únicamente por la dispersión cromática de la fibra.

Esta dispersión hace que las componentes monocromáticas de los pulsos se distorsionen debido a que cambian la velocidad con la que se transmiten por la fibra. Una señal óptica que se propaga en una fibra sufre este tipo de atenuación debido a que la velocidad de propagación varía con la longitud. Como la fuente de luz (diodo láser) no es monocromático, sino que transmiten impulsos que están formados por varias longitudes de onda, estos llegan al receptor en tiempos diferentes provocando un alargamiento del pulso transmitido teniéndose entonces una interferencia inter-simbólica que provoca errores en la recepción y que dependiendo de la cantidad de ISI (interferencia inter-simbólica) puede hacer que el proceso de regeneración sea muy complicado al punto de no poder recuperar la señal original.

3 REDES DE FIBRA ÓPTICA

Las redes de fibra óptica son redes de telecomunicaciones que permiten la transmisión de información a altas velocidades. Constituyen un nuevo tipo de redes de comunicaciones que sustituyen los enlaces de microondas y las tradicionales redes de cobre usadas desde la invención del teléfono para transmitir voz y que luego fueron mejoradas para soportar la transmisión de datos usando, entre otras, la tecnología ADSL.

El principal beneficio de las redes de fibra es la mayor velocidad en la transmisión de datos y los menores precios esperados. Por un lado, las redes de fibra usan una sola red de transporte para brindar servicios de voz, datos y video. De esta forma, los operadores pueden reducir de manera significativa sus costos de mantenimiento y personal, además que resulta menos costoso desarrollar e implementar nuevos servicios.

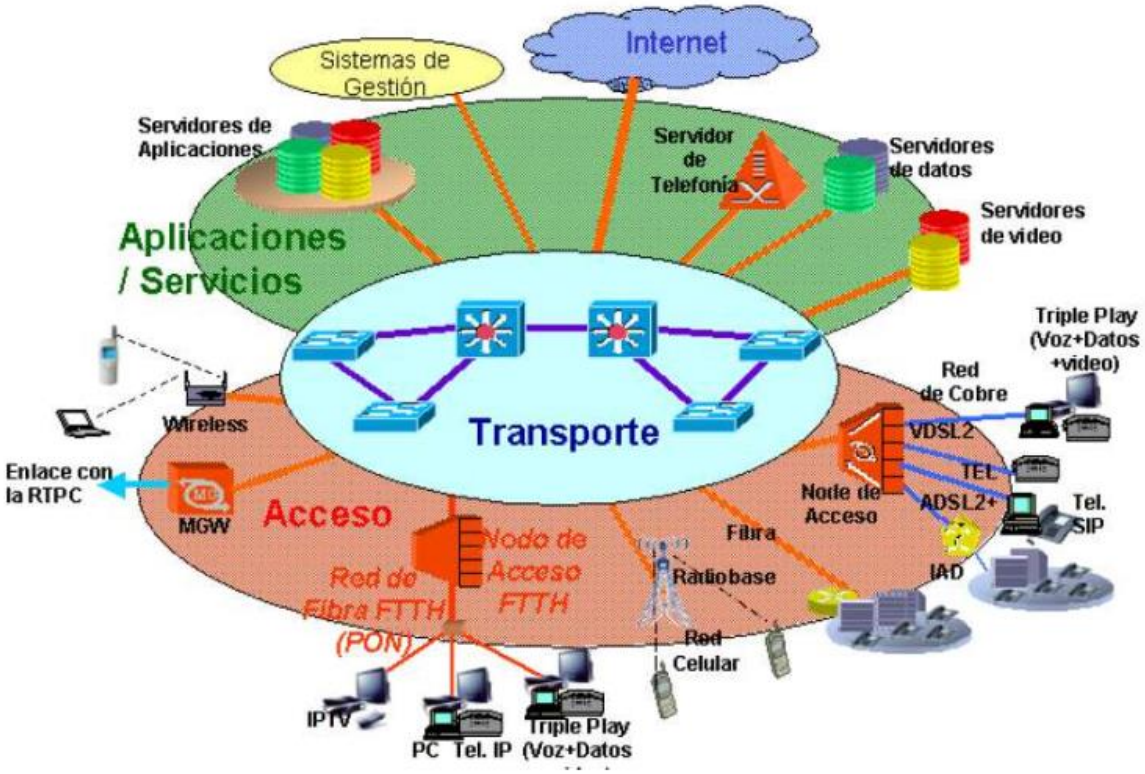


Figura 3.1.Red de telecomunicaciones.

Finalmente, las redes de fibra permiten brindar una gama de nuevos servicios a clientes residenciales y corporativos. Por ejemplo, la demanda por mayores anchos de banda derivados de la descarga de videos, contenido generado por los usuarios, juegos en línea y televisión de alta definición harán obsoletas las actuales redes de cobre dejando espacio para nuevas tecnologías en los próximos años.

3.1 Red de transporte

Las redes de transporte son redes que interconectan el país y permiten el transporte de grandes cantidades de información, para ello se utiliza fibra óptica principalmente, ya que es el portador que mayor ancho de banda permite.

La arquitectura de este tipo de redes es diversa, y cada operador despliega las que más le conviene según el tipo de zona que quiera cubrir y según el tráfico que quiera transportar. Por ejemplo, se pueden utilizar topologías en forma de anillo, es decir, todos los nodos estarían conectados formando un anillo. Tiene la ventaja de que es una forma barata y fácil de desplegar una red, además presenta cierto tipo de seguridad ante la caída de un enlace, ya que siempre se puede dar la vuelta al anillo por el otro lado para llegar al destino. Las arquitecturas en forma de malla, es decir, nodos unidos unos con otros en mayor o menor grado son mucho más flexibles y versátiles, pero son más caros de desplegar, hay más enlaces entre los nodos. Y precisamente gracias a esto, una arquitectura en malla puede tener varios caminos alternativos para llegar de un punto a otro.

3.2 Red de acceso

Las redes de acceso, en contraposición, son redes que permiten el acceso de última milla. En otras palabras, son las redes que conectan la compañía operadora con el cliente final. Por definición, las redes de acceso requieren de un grado de capilaridad importante que incrementan de manera significativa el costo de despliegue. En suma, las redes de transporte pueden compararse con carreteras que unen distintos puntos del país mientras que las redes de acceso con calles que unen dichas carreteras con cada casa.

Existen distintas configuraciones de redes de acceso. Las diferencias entre ellas se deben al alcance del componente de fibra, que tiene una relación, directa con las velocidades que se pueden ofrecer.

3.3 Red de acceso FTTx

FTTx son las siglas en inglés de *Fiber to the x* o Fibra hasta x. En realidad, no es una tecnología de fibra óptica en sí, sino un término usado para englobar una serie de topologías o arquitecturas de despliegue de la fibra óptica, diferenciadas según dónde termina el cable de fibra.

Tradicionalmente, una conexión de fibra óptica comercial es en realidad una solución mixta, que utiliza cable de fibra óptica para los tramos de larga distancia de la red y otro tipo de cableado (cobre xDSL, coaxial HFC, ethernet…) para el último kilómetro (o milla en inglés), el más cercano al abonado. Este tipo de arquitectura permite un ahorro de coste y complejidad cuanto más lejos queda la verdadera fibra óptica del abonado. El ancho de banda y latencia permanecen casi inalterados bajo la percepción del usuario final (y si se dimensiona bien la red).

La "x" del término FTTX adopta varias letras, siendo las más famosas son: *Home* (hogar), *Building* (edificio), *Curb* (acera) y *Node* (nodo). Vamos a conocer cada una de ellas, ordenadas por su proximidad al usuario final (ver Figura3.2), de más cerca a más lejos:

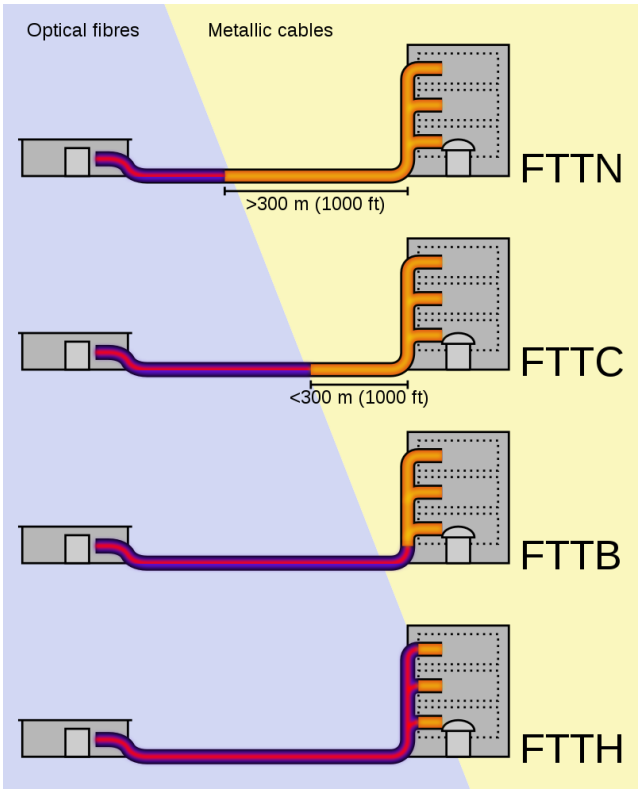


Figura 3.2.Esquemas de arquitectura FTTx.

3.3.1 FTTH

Fiber To The Home o fibra hasta el hogar, en esta variante la fibra llega hasta el mismo hogar u oficina del abonado.

3.3.2 FTTB

Fiber To The Building or Basement o fibra hasta el edificio o sótano, la fibra alcanza una ubicación dentro del edificio o bloque de edificios.

3.3.3 FTTC

Fiber To The Curb or Cabinet o fibra hasta la acera o armario, en esta variante la fibra termina en una ubicación próxima al edificio o bloque de edificios, normalmente a menos de 300 metros.

3.3.4 FTTN

Fiber To The Node or Neighborhood o fibra hasta el nodo o vecindario, en esta variante la fibra acaba en un armario distribuidor del operador, situado a una distancia de los abonados superior a los 300 metros de FTTC.

3.4 Arquitectura FTTH con estándar GPON

La tecnología FTTH (*Fiber To The Home* – Fibra hasta el Hogar) está basada en el uso de cables de fibra óptica y elementos de distribución ópticos para la distribución de servicios avanzados (Telefonía, Internet de Banda Ancha, Televisión, etc.) a los hogares y negocios de

los abonados, y se implementa con topología en estrella, realizando conexiones punto-multipunto (central-clientes).

La red es una Red Óptica Pasiva (PON – *Passive Optical Network*) basada en el estándar G-PON de esta manera un proyecto FTTH determina el alcance de una red, los objetivos que tiene una empresa, organización o proyecto sobre una red de fibra óptica, mientras que GPON determina los estándares que se va a utilizar para diseñar dicha red.

A finales de los años 90 se empezó a desarrollar la tecnología PON (*Passive Optical Network*) y dio lugar a varios estándares como APON, BPON, EPON y GPON. GPON ofrece ventajas sobre el resto de las otras tecnologías ya que admite múltiples servicios a la vez.

GPON proviene del acrónimo inglés "*Gigabit-capable Passive Optical Netw*ork" y quiere decir "Red Óptica Pasiva con Capacidad Gigabit". El estándar GPON ha ido evolucionando con el tiempo y son un conjunto de recomendaciones (G.984.x del ITU-T) que describe las técnicas para encapsular la información, cómo gestionar la red, cómo transportarla, etc.

El enlace en una conexión GPON se hace mediante un dispositivo que se encuentra en la central llamado OLT (*Optical Line Terminal*) y el dispositivo que se coloca en la casa llamado ONT (*Optical Node Terminal*). También al ONT se le puede denominar ONU (*Optical Network Unit*).

Entre medio es necesario colocar unos divisores de fibra que se llaman splitters. Son elementos pasivos, es decir, se limitan a agrupar o desagregar las diferentes fibras, pero no a amplificar la señal o a modificarla.

Así de esta manera en las centrales de las distintas operadoras se encuentra alojado el OLT y mediante los diferentes splitters la fibra se va subdividiendo en más líneas hasta llegar a la casa del usuario final donde se instala el ONT/ONU.

En la siguiente imagen (Figura 3.3) se puede observar una Arquitectura de conexión de fibra óptica típica:

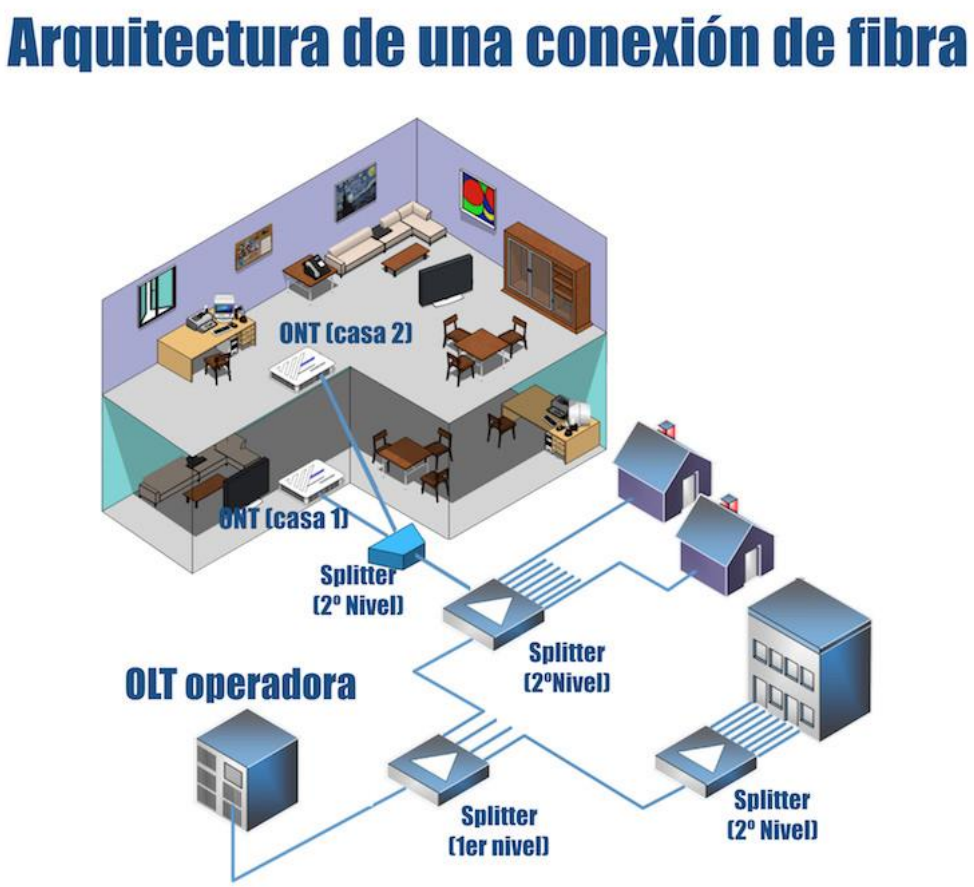


Figura 3.3.Red GPON.

3.4.1 Ventajas GPON

- Permite conexiones de fibra de hasta 20 Km entre el OLT y el ONT. Esto es una gran ventaja ya que las antiguas conexiones xDSL sólo alcanzaban como máximo los 5,5 Km y la velocidad de la conexión caía rápidamente al incrementar la distancia. Este es el motivo por el que aquellos usuarios que vivían lejos de la centralita sufrían una penosa conexión en comparación con la velocidad contratada con su ISP (*Internet Service Provider* – Proveedores de internet).
- Anchos de banda muy grandes que permiten alcanzar hasta los 2,4 Gbps de bajada y 1,2 Gbps de subida. El incremento de velocidad respecto a las conexiones xDSL es notable.
- También se pueden alcanzar los 2,4 Gbps simétricos, pero se utiliza el 2,4/1,2 Gbps.
- No necesita equipos intermedios activos entre el OLT y el ONT. Simplifica mucho el despliegue de la fibra y permite tipologías de red mucho más sencillas y baratas. Recuerda que los splitters son elementos pasivos.
- Gran reducción de costes para el operador porque permite el envío de muchos servicios a la vez por una misma conexión de fibra. Gracias a la multiplexación podemos enviar simultáneamente: Voz (teléfono VoIP), Datos (Internet), TV y video (*multicast*), se puede enviar televisión digital en alta definición (IPTV), video bajo demanda (VOD).

- QoS (*Quality of Service*) para garantizar que cada usuario y cada servicio funcionen correctamente.
- Seguridad: la información en una red de fibra viaja cifrada mediante un encriptado AES (*Advanced Encryption Standard*)
- La operativa y el mantenimiento para las operadoras es también más sencillo ya que GPON cuenta con gestión remota del equipo del usuario (ONT), descarga de actualizaciones, parámetros de funcionamiento, etc.

3.4.2 Desventajas GPON

Realmente las ventajas son mayores que los inconvenientes, aunque también las tiene.

- Los instaladores deben tener cuidado con los empalmes mecánicos para no sufrir pérdidas y atenuaciones. Necesitan personal especializado.
- Cuidado con los conectores sucios o dañados porque pueden originar muchos problemas.
- Identificar y corregir la reflexión tanto en el canal descendente (*downstream* desde el OLT al ONT del usuario) como en el ascendente (*upstream* desde el ONT hasta la centralita con el OLT).
- No se puede colocar cualquier hardware. Con la líneas xDSL se podía comprar el router neutro y colocar. En las conexiones de fibra el ONT debe estar registrado en la OLT y no vale cualquier hardware. Por eso es necesario obtener las claves de configuración para poder instalar el hardware que se requiera.

3.4.3 Multiplexación

En la comunicación de fibra óptica, se considera que la multiplexación es el principal medio para la expansión de la ingeniería de red de fibra existente. Dado que los datos ópticos se pueden transportar empleando diferentes dimensiones físicas, como el tiempo, la frecuencia, el espacio, la polaridad, etc.

Hay muchos tipos de multiplexación, pero GPON utiliza WDM (*Wavelength División Multiplexing*) y quiere decir multiplexación por división de longitud de onda, es decir, multiplexa o superpone varias longitudes de onda en una sola fibra usando un haz de luz láser o LED.

WDM es bidireccional y los datos de subida (*upstream*) y los de bajada (*downstream*) comparten la misma fibra, se envían datos, voz y vídeo simultáneamente.

3.4.3.1 Downstream

- Utiliza la longitud de onda de 1490 nm.
- Los paquetes son transmitidos desde el OLT en modo broadcast TDM (*Time Division Multiplexing*).
- En TDM siempre se está emitiendo con un periodo temporal fijo, independientemente de que haya datos disponibles o no.
- Todos los datos se transmiten a todas las ONTs y los splitters se limitan a replicar los datos.
- Cada ONT filtra los datos y se queda sólo con los que van dirigidos a su usuario. El resto de los datos son desechados porque corresponden a otros abonados.
- Los datos van cifrados para que una ONT no pueda leer los datos de otro usuario.

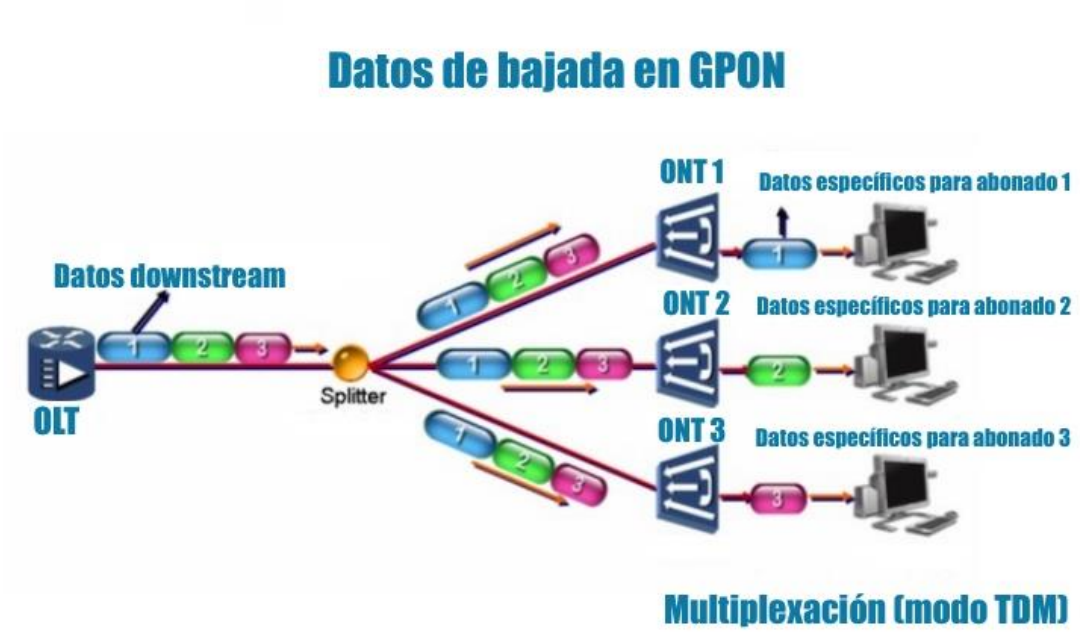


Figura 3.4.Downstream en GPON.

3.4.3.2 Upstream

- Utiliza la longitud de onda de 1310 nm.
- Los paquetes son enviados por el ONT en modo TDMA (Time División Múltiple Access).
- Los datos van desde el ONT de cada abonado al OLT de la operadora. Los datos de todos usuarios de juntan en el splitter.
- En TDMA el ONT sólo se transmite cuando es necesario para que no se produzcan colisiones al enviar los datos al OLT.
- El OLT es el que indica al ONT cuándo debe emitir para que no se produzcan estas colisiones y debe saber la distancia de todas las ONTs para tener en cuenta el tiempo de llegada de cada una.

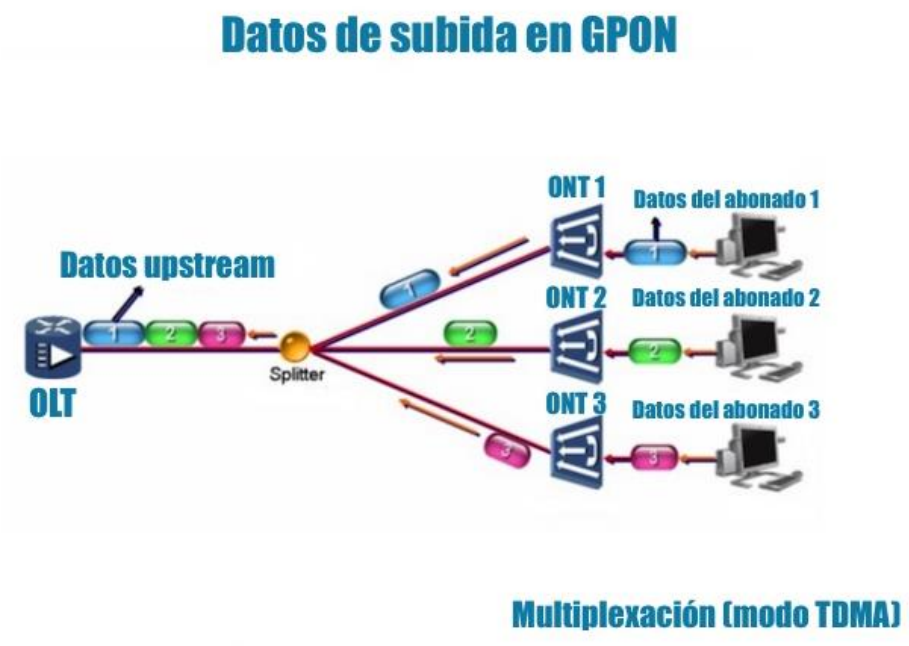


Figura 3.5.Upstream en GPON.

3.5 Equipos de la red GPON

A continuación, haremos una descripción genérica de los elementos empleados en una red FTTH. Las características técnicas no son objetivo de este apartado ya que dicha información se dará en un capítulo posteriormente, donde se hará una descripción más detallada de los elementos seleccionados para el despliegue de la red.

3.5.1 Elementos de la planta externa

3.5.1.1 Fibra óptica

Es un medio de transmisión en redes de telecomunicaciones que, por su flexibilidad, los conductores ópticos pueden agruparse formando cables. Las fibras usadas en este campo son de plástico o de vidrio y algunas veces de los dos tipos. Por la baja atenuación que tienen, las fibras de vidrio son utilizadas en medios interurbanos.

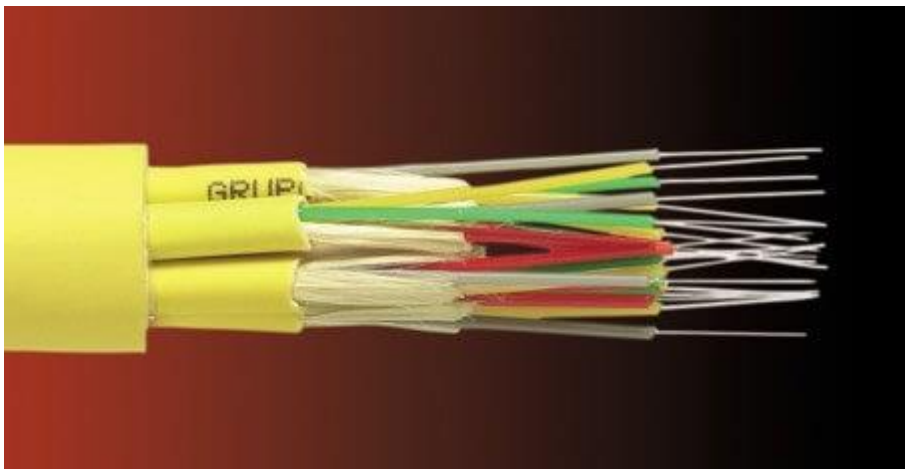


Figura 3.6.Fibra óptica.

3.5.1.2 Divisor óptico o splitter

Los divisores ópticos son componentes pasivos que realizan la división de la señal óptica en una red PON. Se componen de dos fibras de entrada y N fibras de salida, las cuales dividen la potencia de la señal óptica de forma proporcional entre ellas, caracterizándolas como splitters balanceados.

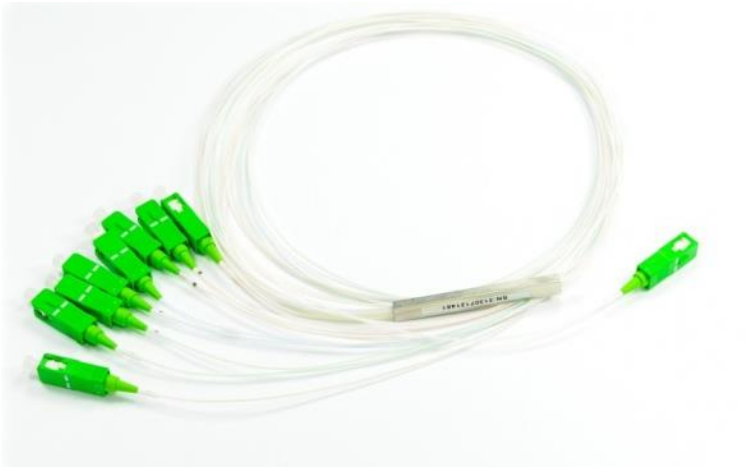


Figura 3.7.Divisor óptico 1:8.

3.5.1.3 Conectores

Los conectores son los elementos encargados de terminar una fibra. Hacen que la fibra presente una interfaz conveniente para la inserción en algún equipo o elemento de la red PON.

Hay 4 tipos de conectores:

- **SC**: Son las siglas de Conector de Suscriptor (*Suscriptor Connector*) o Conector Cuadrado (*Square Connector*).
- **LC**: Son las siglas de Conector Lucent (*Lucent Connector*) o Conector Pequeño (*Little Connector*).
- **ST**: Son las siglas de Punta Recta (*Straight Tip*).
- **FC**: Son las siglas de Conector de Ferrule (*Ferrule Connector*).

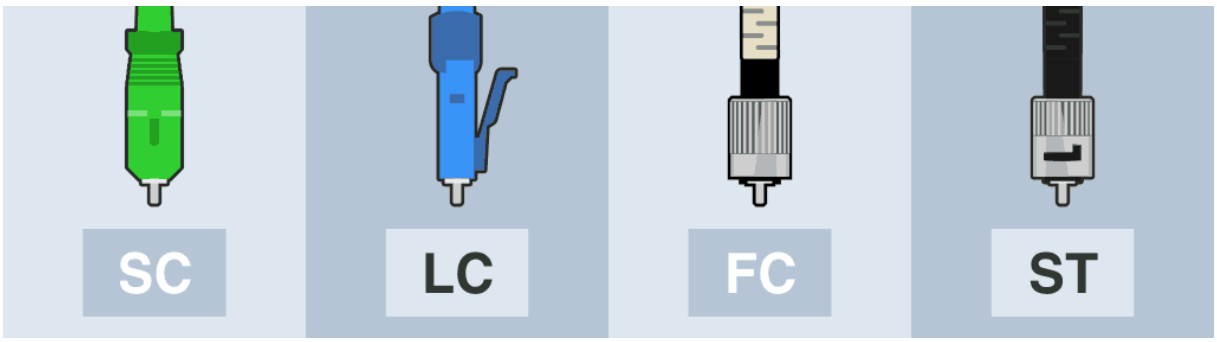


Figura 3.8.Tipos de conectores.

3.5.1.4 Caja de empalmes

Las cajas de empalme de fibra óptica o también llamados Cierres de empalme son la mejor opción para resguardar las uniones entre una o más fibras. Generalmente son resistentes a los rayos UV, humedad, golpes y al polvo.

Además, las cajas de empalme vienen en dos versiones: vertical y horizontal. Gracias a esto se pueden adaptar a todo tipo de entornos y satisfacer todas las necesidades de instalación de manera aérea y subterránea. También pueden ser clasificadas por la cantidad de fibras y/o número de empalmes que pueden alojar.

Cuentan con un sistema organizador interno, para el mejor arreglo y orden de las fibras ópticas. Tienen un diseño compacto, ligero y de fácil uso, lo cual ahorra tiempo y dinero al momento de realizar las instalaciones.

Figura 3.9.Caja de empalme vertical.

3.5.1.5 Caja NAP

Las Cajas NAP (*Network Access Point*), son elementos para la distribución de la señal en redes FTTH realizando la transición de la red óptica de alimentación a la red de bajada en el usuario. Estas cajas se pueden instalar en poste o muro, en el exterior o en el interior.

Estas cajas se diferencian de otros elementos de distribución, porque contienen splitter internamente, la cantidad de splitter puede variar, pero lo más habitual son de 1×4, 1×8 o 1×16.

Figura 3.10.Caja NAP.

3.5.1.6 ONT

Estrictamente, el término que debe aplicarse a la conectividad de los hogares de un único o varios subscriptores es ONU (*Optical Network Unit*). El término ONT (*Optical Network Termination*) únicamente aplica cuando se da servicio a un único subscriptor. Pero en la práctica, el término ONT se usa para referirse al elemento que termina la fibra óptica y ofrece las interfaces, indistintamente del número de subscriptores a los que da servicio. En adelante, usaremos ONT u ONU sin distinción del número de clientes a los que da servicio.

Para la mayoría de clientes de ISP (proveedor de servicios de internet), este dispositivo lo llaman modem, en cierto sentido tiene razón, es un dispositivo doble. Están normalmente ubicados en los hogares de los clientes (ya sea en el interior o el exterior).

Las ONTs convierten la señal óptica que proviene de la fibra en señales eléctricas y viceversa que se distribuyen a los equipos del cliente. Al mismo tiempo, también envía el tráfico de abonados a la OLT (*Optical Line Terminal*), para cerrar el enlace de comunicación con el centro.

Figura 3.11.Terminal de red óptica.

3.5.2 Elementos en cabecera

En la Central o Cabecera podemos encontrar los elementos que se encargan del control de la red FTTH, así como los elementos que sirven de interfaz hacia otras redes necesarias para proveer a los clientes de los servicios de internet.

3.5.2.1 OLT

OLT (Terminal de línea óptica) es un dispositivo terminal para conectar un tronco de fibra. El dispositivo OLT es un dispositivo de oficina central importante. Se puede conectar al switch frontal (capa de agregación) mediante un cable de red y convertirlo en una señal óptica. La fibra óptica única está interconectada con el divisor óptico en el extremo del usuario.

Este elemento es el responsable de la transmisión y control del tráfico bidireccional a través de la red de distribución óptica. En la dirección de bajada, la OLT inyecta la voz, el vídeo y los datos procedentes de los proveedores de servicio y los distribuye a todas las ONTs a través de la red FTTH en la longitud de onda 1490nm. En la dirección de subida, la OLT recibe el tráfico que proviene de todas las ONTs en la longitud de onda de 1310nm.

Figura 3.12.OLT de la marca Huawei.

3.5.2.2 ODF

El ODF (Distribuidor de Fibras Ópticas) es el elemento donde se interconectan todos los cables de fibra que salen hacia la planta externa y los que se interconectan con los puertos de las placas de la OLT. Además, sirve de elemento de interconexión entre diferentes equipos de la central. Para este tipo de redes necesitamos ODF de alta densidad, que sean modulares y escalables para poder seguir el crecimiento de la red.

En la cabecera encontramos ODF de gran capacidad, aunque también existen ODF para planta externa.

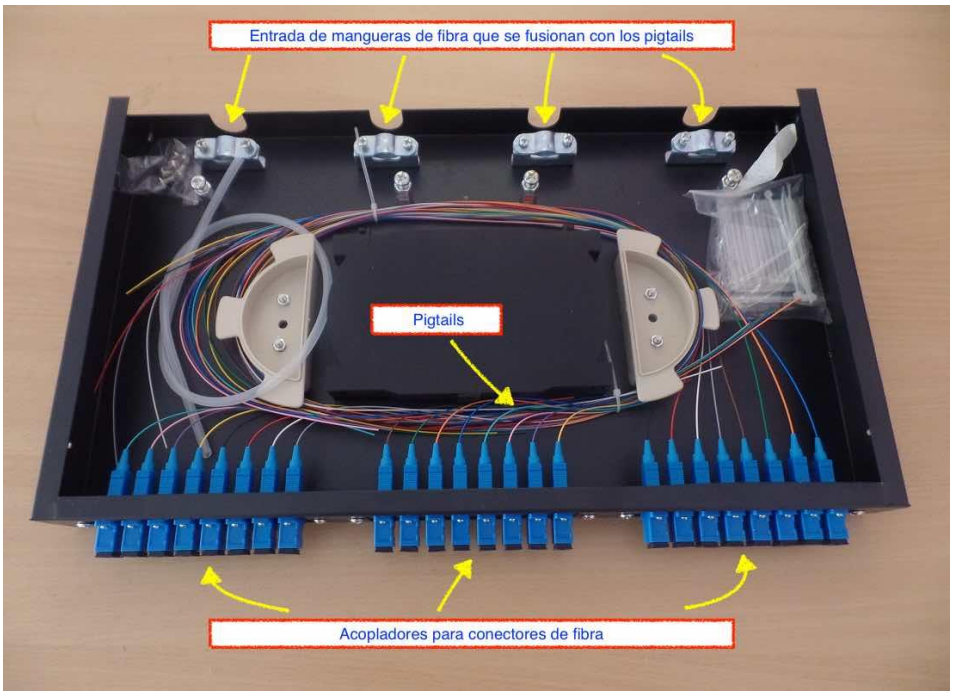


Figura 3.13.Distribuidor de fibra óptica.

3.5.2.3 Patch Cord

Un Patch Cord o "Cable de Enlace" permiten la interconexión entre los ODF y los Equipos de Comunicaciones. Estos cables reciben mucha manipulación por lo que vienen recubiertos de mucho Kevlar.

Un dato a tomar en cuenta son las palabras Simplex o Dúplex que está relacionado con el número de hilos del mismo; en caso de ser solo un hilo se llama Simplex y de ser dos hilos se le conoce como Dúplex.

Figura 3.14.Patch Cord

3.5.2.4 Switch

Los switches son equipos de nivel 2 utilizados para la interconexión a nivel de enlace entre distintos dispositivos. El switch utilizado en las centrales FTTH es el encargado de conectar la OLT con el router de accesos a internet y los servidores que ofrecen el servicio de voz y de vídeo.

3.5.2.5 Router

El router es el equipo de nivel 3 encargado de conectar la red FTTH (en este caso la OLT) y la troncal de internet. Será el encargado de las funciones de nivel 3, tales como enrutado, DNS o autenticación.

3.6 Partes de la red GPON

Una red GPON se divide en cuatro partes que la componen:

- Cabecera
- Red troncal
- Red de distribución
- Red de dispersión

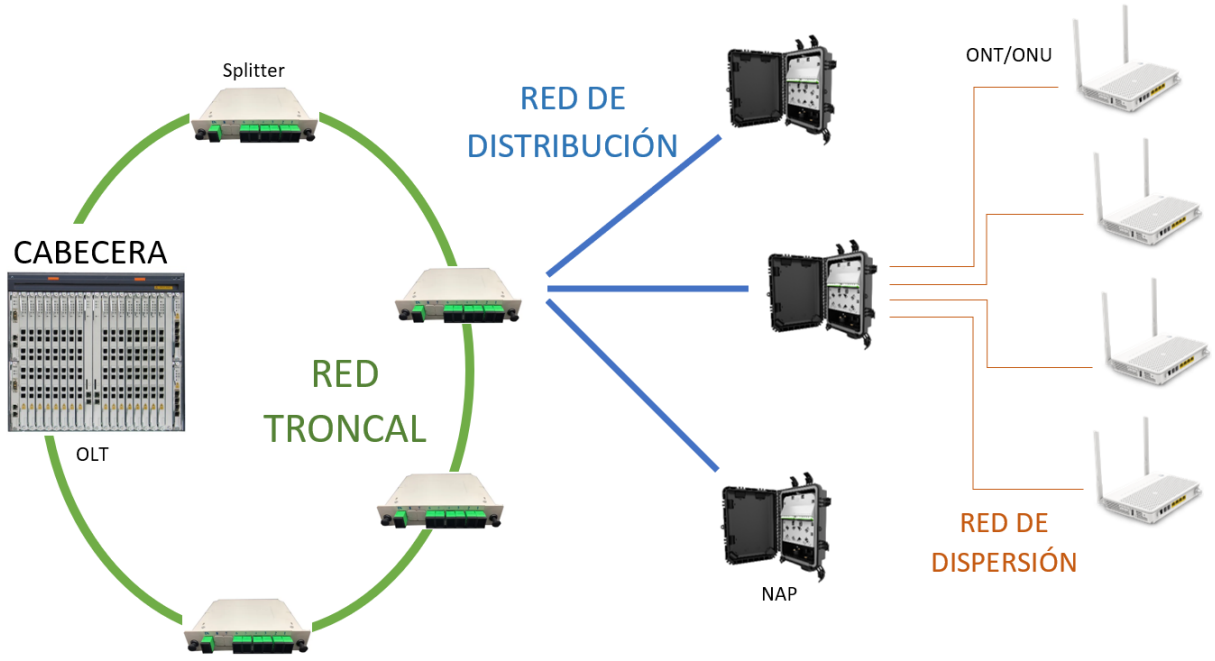


Figura 3.15.Partes de la red GPON.

3.6.1 Cabecera

En la cabecera se centraliza la recepción, generación, y combinación de las señales de los distintos servicios que serán distribuidos en la red. Es el lugar físico en el cual confluyen todas las señales, cuenta con la infraestructura necesaria para las distintas prestaciones en la red, su complejidad dependerá de la diversidad de los servicios que se brinden.

La cabecera también se encarga del monitorear la red, supervisar el funcionamiento y de las tareas relacionadas con la tarifación y control de los servicios prestados a los abonados.

En una red GPON la cabecera cuenta con transmisores ópticos que son los que alimentan a la red troncal.

3.6.2 Red Troncal

La red troncal es la encargada de repartir la señal, generada por la cabecera a todas las zonas de distribución que abarca la red. El primer paso en la evolución de las redes clásicas de CATV hacia las redes de telecomunicaciones por cable HFC y PON consistió en sustituir las largas cascadas de amplificadores y el cable coaxial de la red troncal por enlaces punto a punto de fibra óptica por lo que no se agrega ruido por presencia de estos dispositivos en la red. Así la antigua red troncal se transformó en una estructura con anillos redundantes que unen nodos ópticos entre sí. Además, puede usar dispositivos splitter (divisores) para alimentar los distintos nodos zonales ópticos.

3.6.3 Red de distribución

La red de distribución es la encargada de suministrar las señales desde la red troncal hasta la red del abonado. La línea de distribución está conformada por cable coaxil y por elementos activos como amplificadores en redes HFC, mientras que en redes ópticas pasiva por cables de fibra óptica y los correspondientes elementos pasivos como splitters simétricos o asimétricos, divisores, acopladores y NAPS.

3.6.4 Red de dispersión

La red de dispersión conecta la red de distribución (en este caso de fibra óptica), con los usuarios, abarca desde la NAP (donde termina la red de distribución) y llegando hasta el domicilio del abonado. Cuenta los cables drop necesarios y con los distintos dispositivos que hacen posible el uso de los servicios ofrecidos al abonado, tales como la ONU u ONT, llamados modem comúnmente, decodificadores de señales HD o contenido exclusivo, MTA (adaptador terminal multimedia), etc.

4 ANÁLISIS Y ESTUDIO PRELIMINARES

4.1 Estudio y análisis del área geográfica

En la fase inicial del proyecto se define la zona de interés donde desplegar la red, que va a ser la zona de actuación definitiva, y en paralelo obtendremos los datos poblacionales en el apartado de Estudio y análisis de la red de Comunicaciones. (Ver Capítulo 4.2).

El escenario de despliegue de la red GPON es la Urbanización Los Robles en la localidad de La Silleta. Dicha localidad pertenece al departamento Rosario de Lerma de la Provincia de Salta, en el Noroeste Argentino.

El área objetivo cuenta con una densidad poblacional baja, debido a que es una Urbanización emergente. En este despliegue se cubrirá la totalidad de la localidad, ya que hay zonas potencialmente habitables en un plazo no más de 10 años.

En las imágenes que se adjuntan a continuación se trata de poner un poco en contexto la localización geográfica de la Urbanización Los Robles, como así hacer una primera inspección del perfil del terreno que será objeto de instalación.

Figura 4.1.Localización de la urbanización Los Robles.

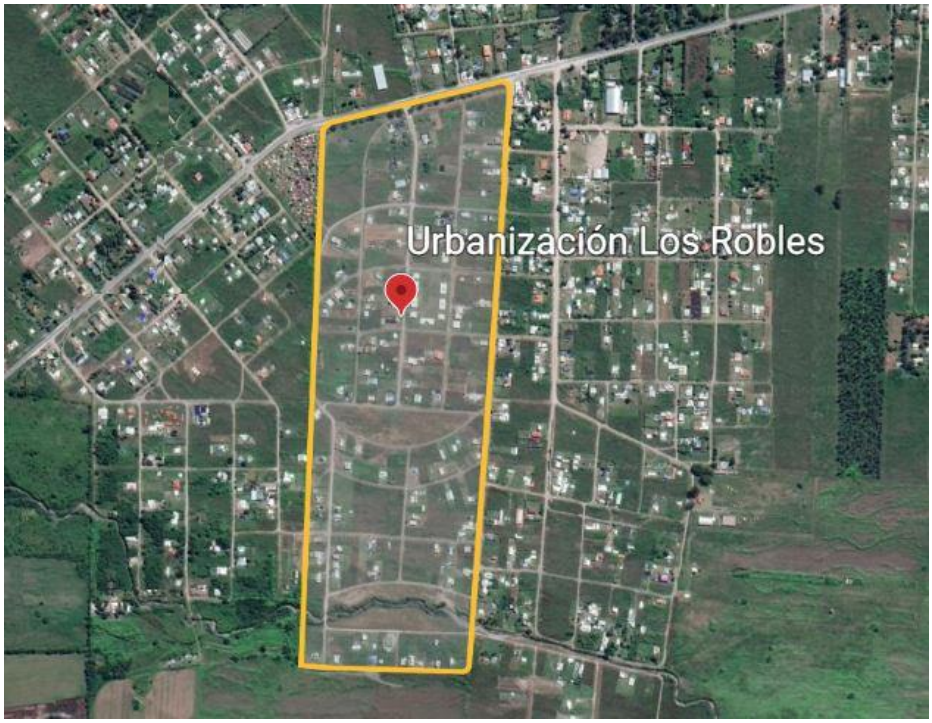


Figura 4.2.Perfil geográfico del polígono.

Se trata de una zona en construcción que albergará en un futuro próximo hasta 393 edificaciones para el desarrollo de actividad social y comercial.

4.2 Estudio y análisis de la red de comunicaciones.

En este paso se debe realizar el relevamiento y estudio del tipo de red existente en el área, si es que cuenta con alguna red.

- **Existencia de postería:** Los postes son el esqueleto de una red GPON, ya que estos harán el soporte de la fibra óptica. Hay que determinar la ubicación de los postes que se hayan en la zona y, además, qué servicios corren por cada poste, como aquellos de baja tensión eléctrica o alta tensión eléctrica.
  Además, los postes son elementos que se encuentran en la vía pública, por lo tanto, están expuestos a la intemperie, el clima, las personas, etc. Por esto es necesario saber si se encuentran o no en buen estado.
- **Existencia de transformadores:** Por cuestiones de seguridad y criterios de mantenimiento se considera de mala práctica realizar tendidos de fibra óptica sobre la misma mano donde hubiese transformadores de energía. Ya que estos, al igual que los postes de alta tensión, presentan un riesgo potencialmente alto para el personal que realizará el despliegue.

Teniendo en cuenta estos parámetros, en la elaboración del proyecto técnico se han elaborado diferentes actividades de replanteo, consumiendo gran cantidad de tiempo, con el objetivo de que la información con la que se trabaja sea lo más ajustada a la realidad posible.

Se obtuvo el plano de mensura y loteo, pero en este sólo se aprecia el perfil del polígono y la división de parcelas previstas para el momento en que se aborde la construcción. Se han tratado de respetar esta parcelación y sobre este plano se plantea el despliegue de la red de fibra para telecomunicaciones.

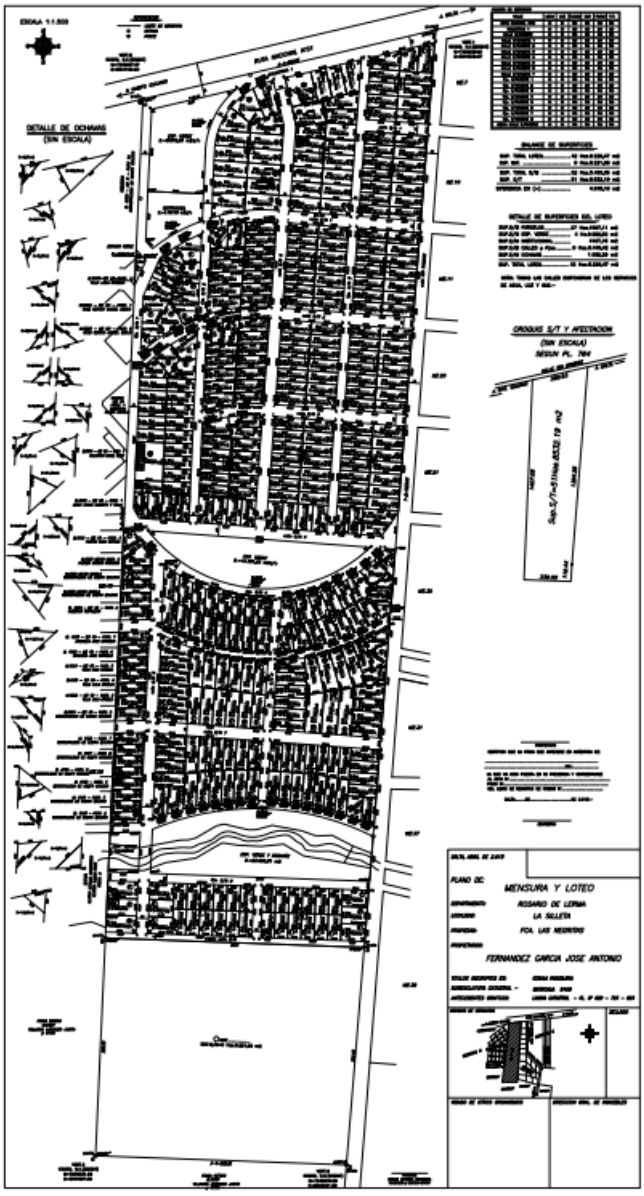


Figura 4.3.Plano de mensura y loteo.

Una vez obtenidos los planos, se han realizado visitas a la zona de despliegue para documentar la ubicación de los postes existentes, qué servicios brindan, trasformadores de energía y conseguir una mayor familiarización o detalles a tener en cuenta del terreno.

Toda esta información ha sido digitalizada en un archivo DWG (extensión para el tipo de archivo de AutoCAD) para su utilización en el software de diseño.

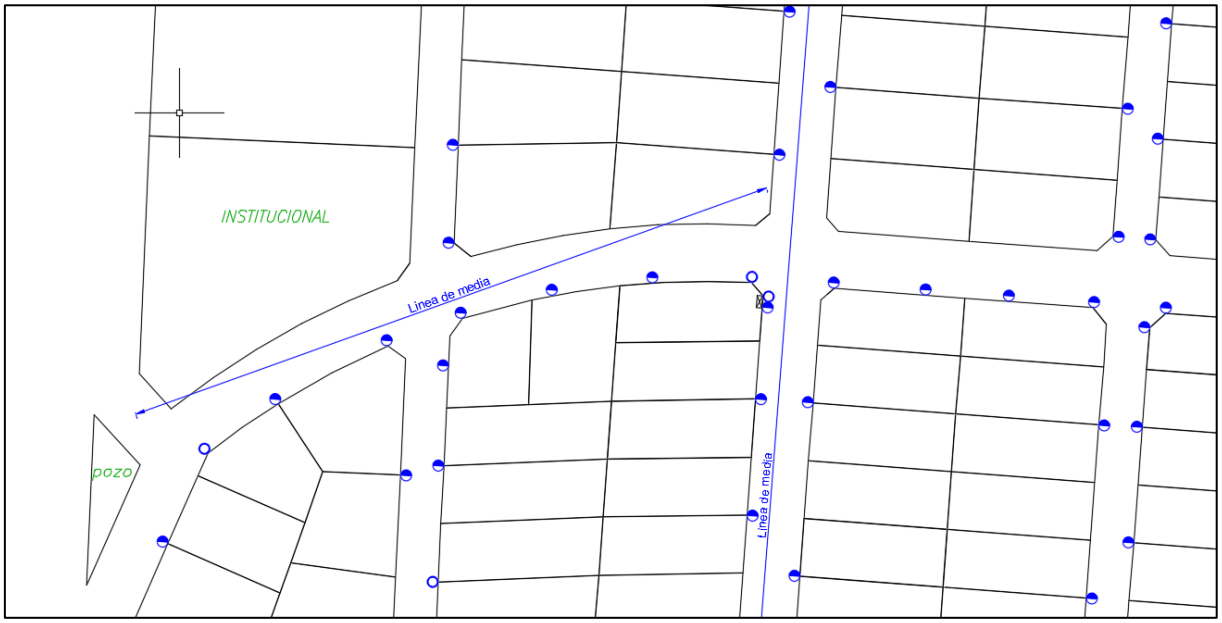


Figura 4.4.Detalle de los postes en archivo DWG.

4.3 Determinación de requisitos de topología, tráfico y servicio de los usuarios.

Este paso ayuda en base a las necesidades del área de interés para determinar el diseño de la nueva red. En este punto es donde obtendremos el tipo de topología adecuado para una red de comunicaciones óptima, información sobre la cantidad de usuarios que tendrá la red y la cantidad de tráfico requerido para la misma.

4.3.1 Requerimientos de topología.

La topología de red se define como una familia de comunicación usada por los computadores que conforman una red para intercambiar datos. En otras palabras, la forma en que está diseñada la red, sea en el plano físico o lógico. El concepto de red puede definirse como "conjunto de nodos interconectados". Un nodo es el punto en el que una curva se intercepta a sí misma. Lo que un nodo es concretamente, depende del tipo de redes a que nos refiramos.

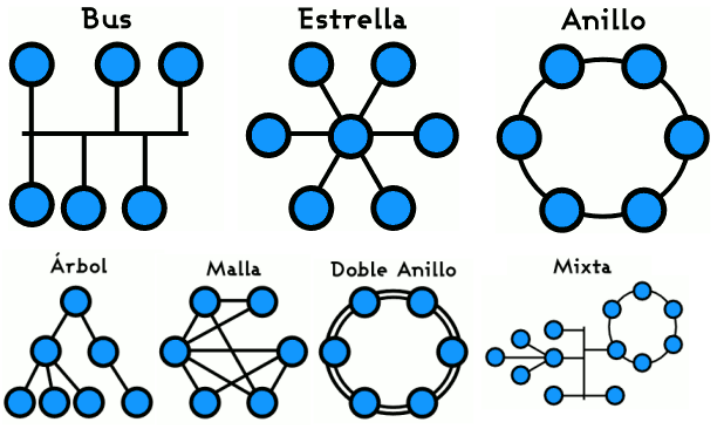


Figura 4.5.Topologías de una Red de Comunicaciones.

4.3.1.1 Punto a punto

La topología más simple es un enlace permanente entre dos puntos finales (también conocida como *point-to-point*, o abreviadamente, PtP). La topología punto a punto conmutado es el modelo básico de la telefonía convencional. El valor de una red permanente de punto a punto la comunicación sin obstáculos entre los dos puntos finales. El valor de una conexión punto-a-punto a demanda es proporcional al número de pares posibles de abonados y se ha expresado como la ley de Metcalfe.

4.3.1.2 Bus

En la topología de bus todos los nodos (computadoras) están conectados a un circuito común (bus). La información que se envía de una computadora a otra viaja directamente o indirectamente, si existe un controlador que enruta los datos al destino correcto. La información viaja por el cable en ambos sentidos a una velocidad aproximada de 10/100 Mbps y tiene en sus dos extremos una resistencia (terminador). Se pueden conectar una gran cantidad de computadoras al bus, si un computador falla, la comunicación se mantiene, no sucede lo mismo si el bus es el que falla. El tipo de cableado que se usa puede ser coaxial, par trenzado o fibra óptica. En una topología de bus, cada computadora está conectada a un segmento común de cable de red. El segmento de red se coloca como un bus lineal, es decir un cable largo que va de un extremo a otro de la red, y al cual se conecta cada nodo de ésta. El cable puede ir por el piso, las paredes, el techo o por varios lugares, siempre y cuando sea un segmento continuo.

4.3.1.3 Estrella

Reduce la posibilidad de fallo de red conectando todos los nodos a un nodo central. Cuando se aplica a una red basada en la topología estrella este concentrador central reenvía todas las transmisiones recibidas de cualquier nodo periférico a todos los nodos periféricos de la red, algunas veces incluso al nodo que lo envió. Todos los nodos periféricos se pueden comunicar con los demás transmitiendo o recibiendo del nodo central solamente. Un fallo en la línea de conexión de cualquier nodo con el nodo central provocaría el aislamiento de ese nodo respecto a los demás, pero el resto de sistemas permanecería intacto. El tipo de concentrador hub se utiliza en esta topología, aunque ya es muy obsoleto; se suele usar comúnmente un switch.

La desventaja radica en la carga que recae sobre el nodo central. La cantidad de tráfico que deberá soportar es grande y aumentará conforme vayamos agregando más nodos periféricos, lo que la hace poco recomendable para redes de gran tamaño. Además, un fallo en el nodo central puede dejar inoperante a toda la red. Esto último conlleva también una mayor vulnerabilidad de la red, en su conjunto, ante ataques.

4.3.1.4 Anillo

Si el nodo central es pasivo, el nodo origen debe ser capaz de tolerar un eco de su transmisión. Una red, en estrella activa, tiene un nodo central activo que normalmente tiene los medios para prevenir problemas relacionados con el eco.

Una red en anillo es una topología de red en la que cada estación tiene una única conexión de entrada y otra de salida. Cada estación tiene un receptor y un transmisor que hace la función de traductor, pasando la señal a la siguiente estación. En este tipo de red la comunicación se da por el paso de un token o testigo, que se puede conceptualizar como un

cartero que pasa recogiendo y entregando paquetes de información, de esta manera se evitan eventuales pérdidas de información debidas a colisiones. En un anillo doble (Token Ring), dos anillos permiten que los datos se envíen en ambas direcciones (Token passing). Esta configuración crea redundancia (tolerancia a fallos). Evita las colisiones.

4.3.1.5 Árbol

(También conocida como topología jerárquica) puede ser vista como una colección de redes en estrella ordenadas en una jerarquía. Este árbol tiene nodos periféricos individuales (por ejemplo, hojas) que requieren transmitir a y recibir de otro nodo solamente y no necesitan actuar como repetidores o regeneradores. Al contrario que en las redes en estrella, la función del nodo central se puede distribuir.

Como en las redes en estrella convencionales, los nodos individuales pueden quedar aislados de la red por un fallo puntual en la ruta de conexión del nodo. Si falla un enlace que conecta con un nodo hoja, ese nodo hoja queda aislado; si falla un enlace con un nodo que no sea hoja, la sección entera queda aislada del resto.

Para aliviar la cantidad de tráfico de red que se necesita para retransmitir en su totalidad, a todos los nodos, se desarrollaron nodos centrales más avanzados que permiten mantener un listado de las identidades de los diferentes sistemas conectados a la red. Éstos switches de red "aprenderían" cómo es la estructura de la red transmitiendo paquetes de datos a todos los nodos y luego observando de dónde vienen los paquetes de respuesta también es utilizada como un enchufe u artefacto.

4.3.1.6 Malla

La topología de red mallada es una topología de red en la que cada nodo está conectado a todos los nodos. De esta manera es posible llevar los mensajes de un nodo a otro por distintos caminos. Si la red de malla está completamente conectada, no puede existir absolutamente ninguna interrupción en las comunicaciones. Cada servidor tiene sus propias conexiones con todos los demás servidores. Las redes de malla son auto ruteables. La red puede funcionar, incluso cuando un nodo desaparece o la conexión falla, ya que el resto de los nodos evitan el paso por ese punto. En consecuencia, la red malla, se transforma en una red muy confiable.

4.3.1.7 Híbrida o Mixta

Topología híbrida, las redes pueden utilizar diversas tipologías para conectarse, como por ejemplo en estrella. La topología híbrida es una de las más frecuentes y se deriva de la unión de varios tipos de topologías de red, de aquí el nombre de híbridas. Ejemplos de topologías híbridas serían: en árbol, estrella-estrella, bus-estrella, etc.

Su implementación se debe a la complejidad de la solución de red, o bien al aumento en el número de dispositivos, lo que hace necesario establecer una topología de este tipo. Las topologías híbridas tienen un costo muy elevado debido a su administración y mantenimiento, ya que cuentan con segmentos de diferentes tipos, lo que obliga a invertir en equipo adicional para lograr la conectividad deseada.

4.3.1.8 Topología a implementar

La topología a implementar es la de Árbol. Dicha topología es la más adecuada para el área de interés, la cual posee un tamaño moderado y controlado, y las distancias a cubrir son

los suficientemente acotadas para que sea implementada de forma óptima. También se consideran la cantidad de usuarios potenciales, la distribución y organización de las parcelas, y la actividad que se desarrollaría a futuro.

Una arquitectura anillada para redes GPON sería una opción potable. Pero la misma, junto a sus ventajas, sería más óptima para áreas más extensas y de mayor crecimiento poblacional. Aparte, su implementación resultaría más costosa, lo cual no condice con los propósitos de este proyecto.

4.3.2 Requerimientos de servicio de los usuarios.

En la Urbanización de Los Robles se proveerá el servicio de datos. Este servicio permite a los usuarios que sus aplicaciones estén altamente disponibles y, a la vez, es escalable, por lo que ayuda a evitar la interrupción significativa de las aplicaciones después de un único fallo. Se busca un modelo de provisión y distribución de la información en la cual los archivos de datos (incluyendo textos, imágenes, sonidos y videos) se ponen a disposición de los usuarios a través de una red, en este caso Internet.

4.3.3 Cantidad de usuarios.

A partir del análisis del plano del área de interés y del relevamiento, se determina la cantidad de manzanas, parcelas (o usuarios) ocupadas y totales. Para ello se confecciona la siguiente tabla que muestra dicha información en el instante que se realizó dicho análisis y relevamiento.

Cantidad de parcelas totales, ocupadas y libres por manzana			
Manzana [N°]	**Parcelas**	**P. ocupadas**	**P. libres**
1	14	7	7
2	19	4	15
3	11	5	6
4	14	4	10
5	10	3	7
6	14	5	9
7	14	7	7
8	14	3	11
9	24	11	13
10	14	7	7
11	14	13	1
12	14	6	8
13	17	10	7
14	18	7	11

15	18	2	16
16	6	2	4
17	16	5	11
18	17	9	8
19	7	5	2
20	18	3	15
21	21	9	12
22	8	5	3
23	18	8	10
24	20	6	14
25	3	1	2
26	15	7	8
27	15	7	8
Totales	**393**	**161**	**232**

Tabla 4.1 Tabla con Cantidad de parcelas (usuarios) por manzana

Se observa en la tabla los siguientes datos relevantes al proyecto:

- **Cantidad de parcelas:** 393 parcelas. Este número indica qué tanto crecerá la Urbanización a lo largo de los próximos años, por lo que se puede establecer un parámetro fijo de crecimiento a nivel de red.
- **Cantidad de parcelas ocupadas:** 161 parcelas. Este número indica cuántas parcelas están ocupadas, o equitativamente, cuántos usuarios potenciales residen actualmente.
- **Cantidad de parcelas libres:** 232 parcelas. Este número indica las parcelas disponibles en la Urbanización, las cuales también son contempladas en la ingeniería del proyecto.

4.3.4 Requerimientos de tráfico.

4.3.4.1 Consideraciones.

a) **Ancho de banda disponible en cada puerto PON y Ancho de banda de servicio:** Se debe tener en cuenta para el cálculo que se tienen 2,5Gbps disponibles en el *downlink* y 1,25Gbps para el *uplink*. Es necesario multiplicar el ancho de banda por usuario por el número total de usuarios de la red con el objetivo de saber el ancho de banda total requerido, verificando siempre que este ancho de banda total será menor que el ancho de banda disponible en el puerto PON conectado a esa fibra. Esta verificación debe hacerse con perspectiva a futuro tomando en cuenta los usuarios potenciales que podrán ser atendidos por la red, por lo tanto, es indispensable considerar el máximo número de

clientes que puede llegar a servir cada fibra, independientemente de los servicios que actualmente están siendo conectados de manera efectiva. Se debe tener en cuenta que la capacidad de la fibra dependerá de la relación de división seleccionada y deberá ser suficiente para cubrir el servicio ofrecido.

b) **Relación de splitteo máxima:** La relación de división que se usa en el proyecto es el de 1:128 por puerto. Si bien esta relación no se utiliza generalmente, para los fines del proyecto es la que más se adapta a los requerimientos de la red. Ya que se prevé el crecimiento máximo que tendrá la Urbanización.

4.3.4.2 Relación de división

Sabiendo que se tiene una velocidad de bajada por puerto PON de 2,5Gbps y una velocidad de subida de 1,25Gbps, es necesario determinar el ancho de banda máximo que se puede brindar por usuario dependiendo de la relación de splitteo que se seleccione.

- 2,5Gbps/128= 19,53Mbps
- 1,25Gbps/128= 9,76Mbps

Se observa que de acuerdo a la relación de división elegida (1:128 por puerto) se puede asegurar 19,53Mbps de ancho de banda en el enlace *downlink* y 9,76Mbps de ancho de banda en el enlace *uplink* por cada usuario, los cuales se consideran suficientes para satisfacer la demanda existente en cuanto a ancho de banda en la Urbanización Los Robles.

5 DISEÑO E INGENIERÍA

5.1 Diseño de alto nivel

Es la realización del diseño de red en forma general o la realización de un esquema en forma global de la solución a implementar. Para poder realizar este diseño se necesita:

5.1.1 Zonificación

Con los datos censales tomados del relevamiento, deberemos sectorizar haciendo agrupaciones de hogares conformando los Nodos, es decir, dividir el área de interés en zonas para facilitar el diseño. Los criterios que se han tomado para esta tarea son los siguientes:

- Espacio geográfico de la urbanización.
- Facilidad para la instalación de los equipos.
- El recorrido más óptimo de la fibra troncal.
- La ubicación de la cabecera GPON.
- Los postes y la red eléctrica existente.

De esta manera el plano de la urbanización dividido en nodos se puede apreciar en la siguiente imagen (Figura 5.1) junto con la tabla de referencia de colores de los nodos:

Nodos	Color
N1	Verde (Zona inferior)
N2	Cian
N3	Amarillo
N4	Verde (Zona superior)
N5	Azul
N6	Rojo

Tabla 5.1 Tabla de referencias de nodos con sus respectivos colores.

Figura 5.1.División de nodos de toda la urbanización.

Figura 5.2.Detalle de la división de nodos.

5.1.2 Diseño de Alto Nivel en base a la Zonificación

El diseño de este proyecto se implementará en dos fases, debido a la relación entre la cantidad de hogares que actualmente están edificados y cuánto puede crecer en un futuro. También se implementará una red de tres niveles de splitters.

5.1.2.1 Consideraciones

Para realizar el diseño de alto nivel, según las zonas, se tomaron las siguientes consideraciones:

- Al tener diferentes relaciones de splitter para el primer y segundo nivel, es conveniente que los splitters con mayor relación de división se coloquen más cerca de los clientes, por lo tanto, con el objetivo de utilizar cables de menor capacidad en la red de distribución y dispersión, por lo tanto así reducir los costos en materiales (cables, splitter, NAP, etc.), en caso de existir un segundo nivel de división, es conveniente que en este nivel se utilicen splitters con una mayor relación que el primero. En cada nodo para el diseño de esta red se utilizan splitters Centralizados, es decir que habrá solo un centro de distribución

comunicados por la red troncal de fibra óptica, del cual nacerán las fibras que alimentaran a las diferentes NAPs y posteriormente a las ONTs, estos divisores se colocarán de manera que se acoten las distancias de manera óptima.

- Es imprescindible considerar las normativas municipales, así como el impacto ambiental y arquitectónico que limitan la longitud máxima que puede tener la acometida. Se recomienda procurar siempre que el cable de acometida (cable drop) no sea demasiado largo (máximo 80-100 metros).
- En caso de requerir la adición de un segundo o tercer nivel de splitting, esta debe hacerse considerando las pérdidas introducidas por los splitters introducidos y cómo afectan estos a los cálculos de potencia.
- Se debe procurar que el diseño de la red sea fácilmente escalable, por lo tanto, con el objetivo de dimensionar la capacidad de la red con una visión para un crecimiento futuro, es recomendable dejar reservas de fibras en los splitters del último nivel y que los equipos que se deban cambiar estén en cabecera y no en la calle. Al tomar en cuenta estas consideraciones para el cálculo del ancho de banda, se evitarán posibles problemas de saturación de la red.
- La distancia máxima que puede alcanzar la ODN es de 20km para redes FTTH, sin embargo, es necesario tomar en cuenta el margen de potencia que existe entre el equipo de central (OLT) y el equipo terminal óptico (ONT), ya que este alcance se ve limitado por todas las pérdidas que se agregan como resultado de los diferentes elementos utilizados en la red.

5.1.2.2 Fase inicial

En cabecera se hará uso de sólo dos puertos de la OLT de 2,5GB *downlink* y 1,25GB *uplink* cada uno. Se tendrá dos splitters de 1:4 de 1er nivel conectados a dichos puertos. En el apartado anterior se ha mostrado que la Urbanización estará dividida en 6 zonas o nodos, por lo que podemos destinar tres de ellas a cada splitter de 1er nivel. Cada puerto tiene la capacidad máxima de administrar 128 clientes (relación de división 1:128). Se calcula que la cantidad de clientes totales conectados a cada puerto es de 192. Esta divergencia entre cantidad máxima de clientes administrados por puerto y cantidad de clientes totales conectados a estos, tiene una base fundamentada en la Ingeniería y la inversión inicial del proyecto con el objetivo de la escalabilidad, los cuales serán detallados en la siguiente fase.

En la red de Distribución, cada uno de estos nodos tendrá un splitter central de 1:8 de 2do nivel que estará comunicado por la red Troncal de fibra óptica. La red de Dispersión estará compuesta en cada zona por 8 divisores de 1:8 de 3er nivel denominados "NAPS", los cuales estarán conectados a su respectivo splitter central. En esta red se realizará la bajada de los cables de drop que se conectan a las ONT's de los usuarios. Esta configuración permanecerá inmutable a lo largo de toda la implementación del proyecto, o al menos, así se estima dentro de los próximos 10 años.

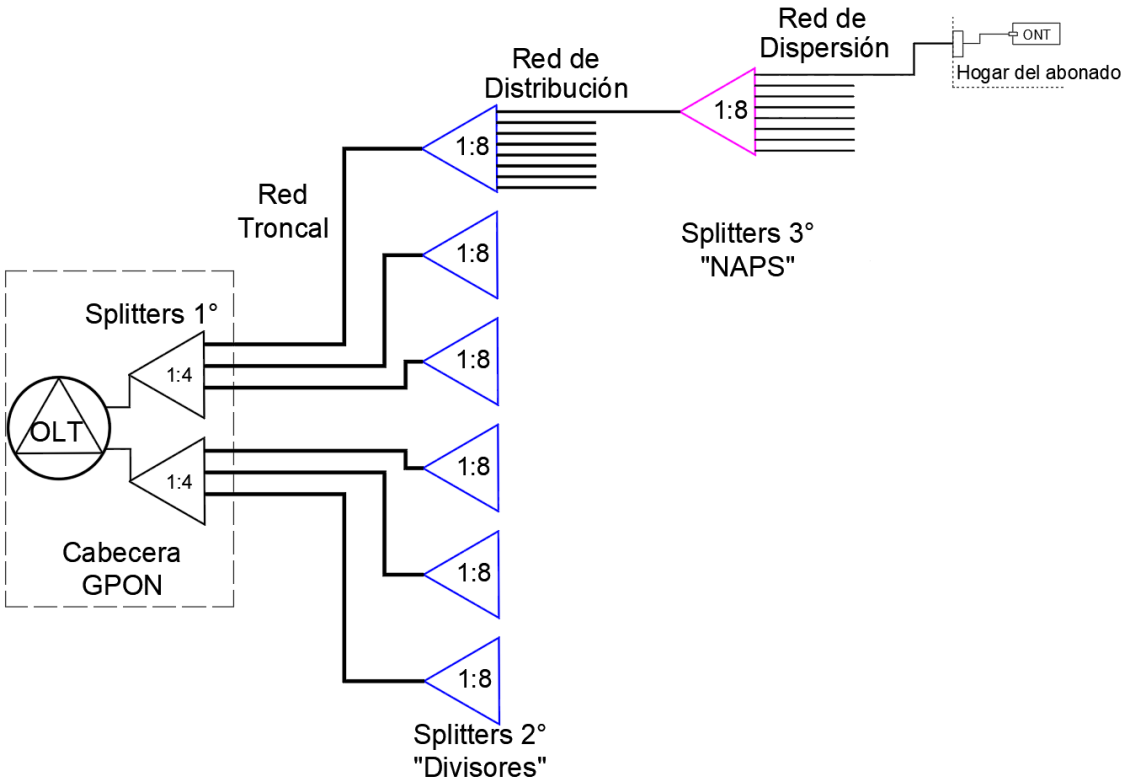


Figura 5.3.Esquema inicial de la Red GPON.

5.1.2.3 Fase final

Se tiene en cuenta que una vez realizado el despliegue de la red GPON en La Urbanización, la cantidad de usuarios conectados será suficiente como para mantener la fase inicial del proyecto. En este caso, la escalabilidad de la red recae en la cabecera, como bien se mencionó en la fase anterior, debido al análisis previo que se hizo en cuanto a ancho de banda y cantidad de clientes.

La inversión inicial debe ser mínima, tanto como sea posible, dentro de las limitaciones estudiadas del proyecto. También se estima que el número de usuarios irá incrementando gradualmente con el paso del tiempo, por lo que se observa que se requerirán más recursos. Esto anticipa la fase final, la cual inicia cuando se esté por implementar el cliente número 129 (superando la capacidad máxima del puerto) En esta instancia se habilitará un puerto GPON más, y se cambiarán los dos splitters 1:4 de 1er nivel por tres nuevos de 1:2 de 1er nivel. Gracias a que la escalabilidad es sólo en cabecera, no se requiere cambiar ningún equipo en la calle. Con este nuevo esquema se logrará alimentar toda la red en su máxima capacidad, a nivel de cantidad de clientes.

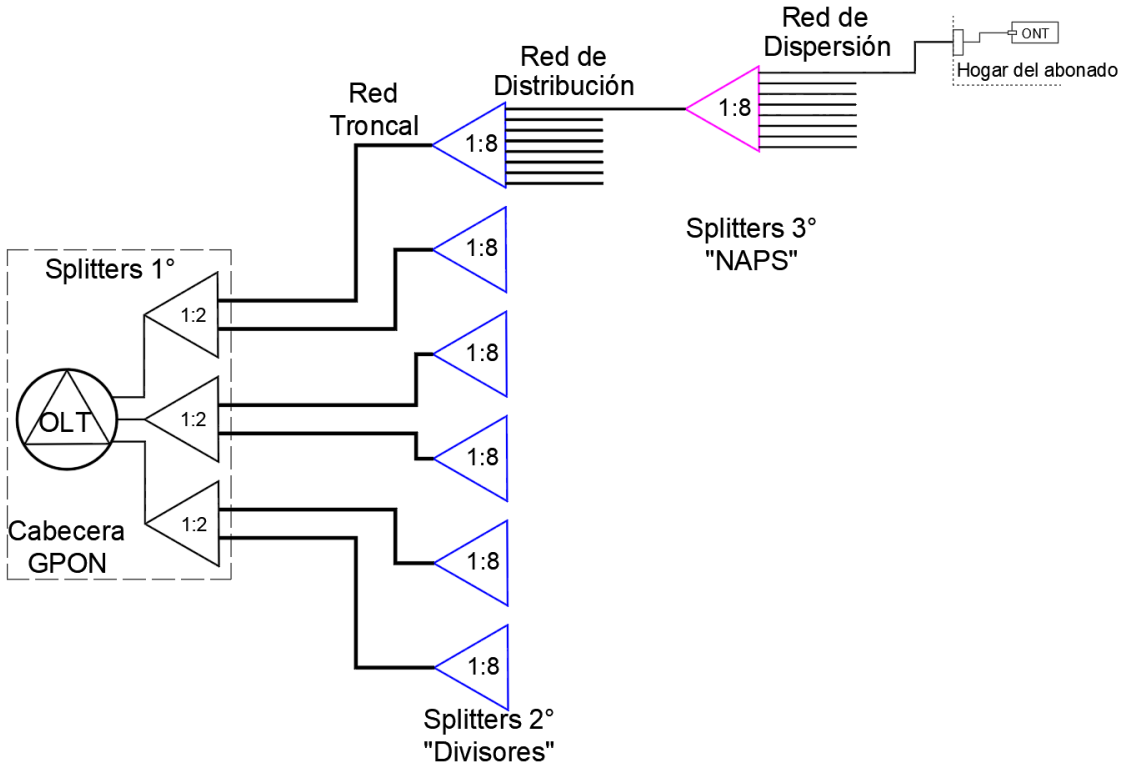


Figura 5.4.Esquema de la segunda fase de implementación.

5.1.2.4 Posibilidades de mayor crecimiento

Las siguientes posibilidades descritas plantean escenarios que no entran en competencia para este proyecto. Pero son viables dentro de la configuración de red propuesta.

- La red puede seguir creciendo en un futuro en lo que respecta a cantidad de ancho de banda ofrecido a cada cliente. Se podría habilitar un puerto GPON para cada nodo, eliminando los splitters de 1er nivel. La red de tres niveles de splitters se convertiría en una de dos niveles.
- Se prevé dejar un pelo de fibra de reserva en cada splitter de 2do nivel, ante la posibilidad de un mayor crecimiento a nivel de ancho banda, dividiendo el nodo en dos nuevos subnodos y añadiendo un nuevo splitter (también se requerirá un cambio del splitter original por uno más adecuado a la configuración) Cabe destacar que en cabecera aumentaría el número de puertos requerido, por lo que se debería cambiar la configuración de la misma.

5.2 Especificaciones y selecciones de tecnologías

En todo proyecto de Telecomunicaciones es indispensable determinar qué equipos y materiales se utilizarán para concretar dicho proyecto. Contemplando los criterios desarrollados en el diseño de alto nivel es que se determina lo antes mencionado. Para ello, se cuenta con una extensa gama de marcas que entran en competencia y que cumplen con los requisitos del proyecto.

Los equipos especificados y seleccionados concilian con los lineamientos del proyecto, por lo que es necesario especificar tanto Marca y Modelo como sus correspondientes Especificaciones Técnicas.

Aquí se presentan los equipos y materiales especificados y seleccionados:

5.2.1 Diseño de la cabecera GPON y selección de equipos

En el siguiente esquema (Figura 5.5) se observa cuáles serán los equipos y las conexiones que se harán en la cabecera GPON:

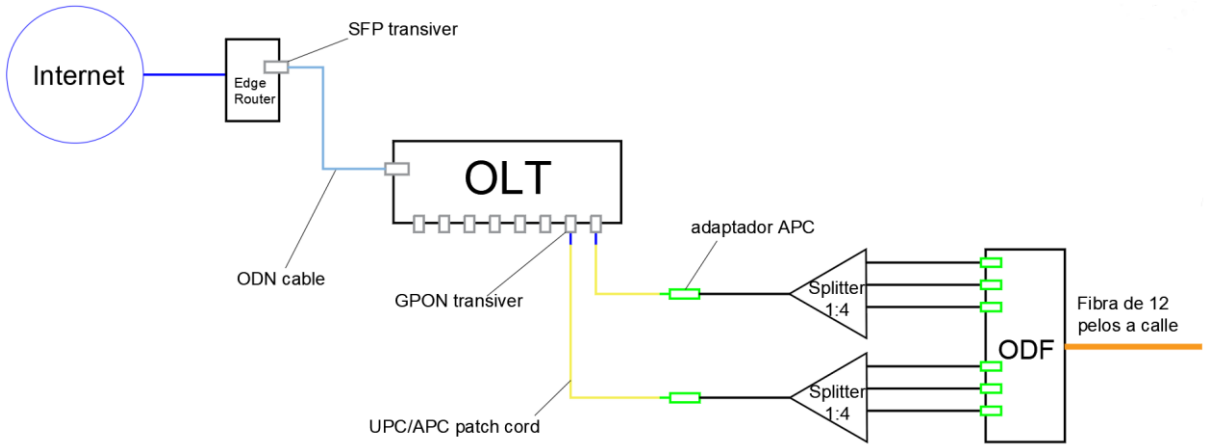


Figura 5.5.Esquema de la cabecera GPON.

5.2.1.1 OLT

A la hora de determinar qué especificaciones son las más importantes para la terminal de línea óptica (OLT) se debe pensar en la cantidad de puertos GPON que se necesitan en el proyecto teniendo en cuenta tanto el inicio como el crecimiento futuro del mismo. Considerando esto y los estándares que existen en el mercado se debería buscar una OLT que posea 8 puertos GPON para servicios. Se ha realizado una investigación de las principales marcas y sus respectivos productos disponibles en el mercado. Por lo que se preseleccionaron las siguientes:

- U fiber OLT de la marca Ubiquiti
- SmartAX EA5801 OLT de la marca Huawei
- Concentrador óptico standalone GPON LD3008 de la marca Furukawa

Ya que este equipo tiene una función central en la red y el resto de los dispositivos deben ser compatibles con él, es sobre el cual se hizo la comparación a la hora de seleccionar el indicado. En la siguiente tabla se muestran las características técnicas de las distintas OLT's:

Modelo	Ubiquiti U fiber OLT	Huawei EA5801-GP08	Furukawa LD3008
Imagen			
Dimensiones	442.4 mm x 285.6 mm x 43.7 mm	442 mm x 222.3 mm x43.6 mm	440 mm x 300 mm x44 mm
Interfaces de red	(8) GPON OLT SFP (2) 1G/10G SFP+ (1) Ethernet para gestión (1) Puerto de consola serie RJ45	(8) GPON OLT SFP (2) 1GE/10GE (2) GE puerto uplink eléctrico/óptico	(8) GPON SFP; (4) 10 GE (SFP +) (4) puerto de uplink 1 GE RJ45
Clientes	1024 ONUs/ONTs registradas (128 por puerto GPON)	1024 ONUs/ONTs registradas (128 por puerto GPON)	1024 ONUs/ONTs registradas (128 por puerto GPON)
Velocidades GPON	2.5 Gbps Downstream 1.25 Gbps Upstream	2.5 Gbps Downstream 1.25 Gbps Upstream	2.5 Gbps Downstream 1.25 Gbps Upstream
Longitudes de onda operativas	1490 nm TX 1310 nm RX	1490 nm TX 1310 nm RX	1490 nm TX 1310 nm RX
Max. Distancia de fibra	20 km	20 km	20 km
Método de energía	DC fuente de poder: -38 V a -54 V (Opcional) AC fuente de poder: 100 V a 240 V (incluido)	DC fuente de poder: -38.4 V a -72 V AC fuente de poder: 100 V a 240 V	DC fuente de poder: -48 V a -60 V AC fuente de poder: 100 V a 240 V
Max. consumo de energía	40 watts (Excluyendo módulos SFP)	50 watts	50 watts
QoS	Admite 8 colas de prioridad por puerto de usuario y clasificación de tráfico	Clasificación de tráfico; Procesamiento de prioridad; Vigilancia de tráfico basada en trTCM; WRED; Conformación del tráfico; PQ / WRR / PQ + WRR; ACL	Tráfico de programación (SP, WRR y DRR); Soporte de CoS con prioridad WRED, WRR y DSCP / 802.1p; 8 filas por puerta; Limitación condicional de tasa (*Traffic Shaping*).
Temperatura de funcionamiento	-10 a 45° C	-40°C a 65°C	-20° a 60° C
Humedad de funcionamiento	10% a 90% Sin condensación	5% a 9% Sin condensación	5% a 90% Sin condensación
Precio aprox.	2.520 U$S	2.600 U$S	3.000 U$S

Tabla 5.2 Comparación de las distintas OLT del mercado.

Como se puede apreciar, las especificaciones técnicas son muy similares entre los distintos productos. Por lo que a la hora de decidir qué equipo utilizar se ha considerado el valor monetario y la compatibilidad con los productos de cada marca.

Por lo tanto, en el diseño de la red GPON se decide utilizar la marca Ubiquiti y su Ufiber OLT. Se considera que es la mejor opción en relación calidad/precio. Cabe destacar también que la marca Ubiquiti tiene toda una solución de equipos para redes GPON de diversos tamaños y tipos que satisfacen las necesidades para el resto de la red.

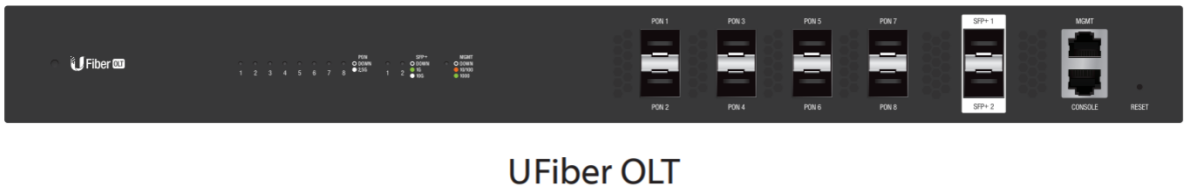


Figura 5.6.Descripción general del hardware

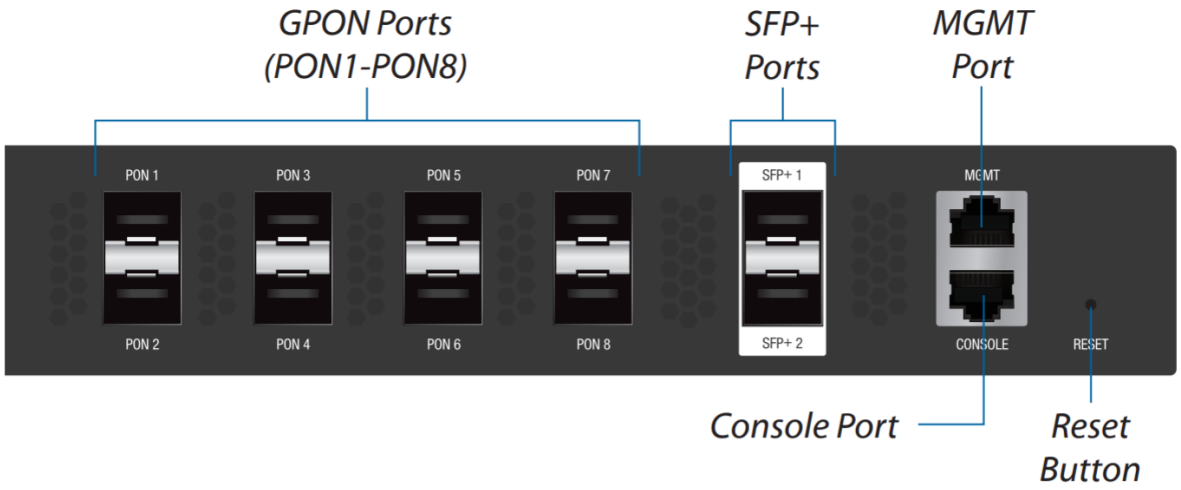


Figura 5.7.Puertos del panel frontal.

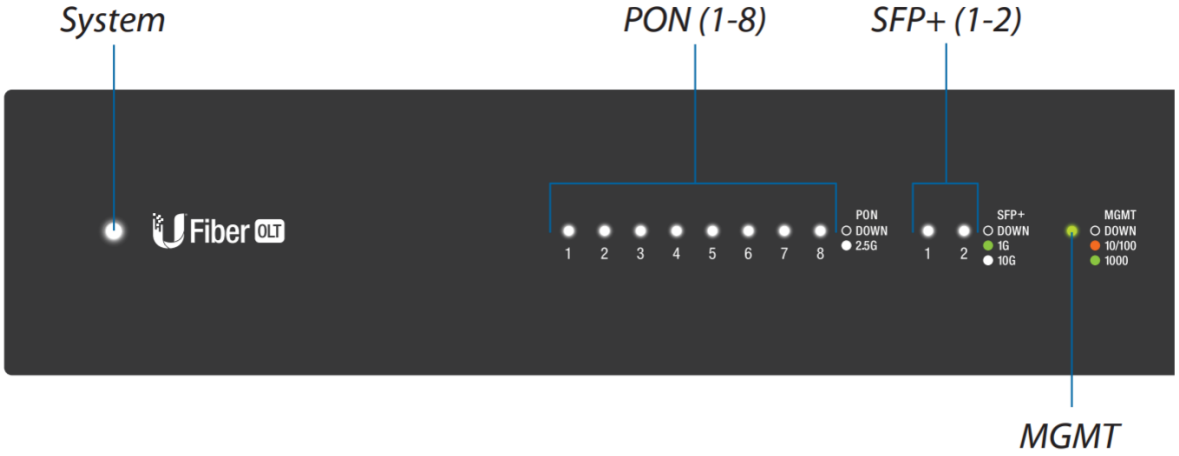


Figura 5.8.LEDs del panel frontal.

Figura 5.9.Panel trasero.

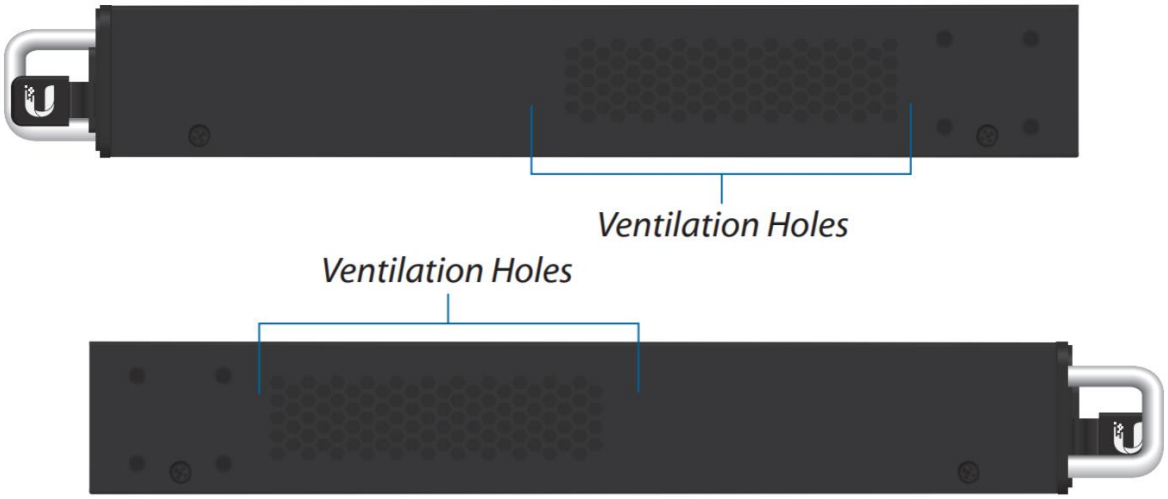


Figura 5.10.Paneles laterales.

- **Módulos de potencia para OLT**

El UF-OLT viene con un AC/DC módulo de potencia preinstalado y cuenta con dos adaptadores de corriente modulares bahías para opciones de energía flexibles:

Energía de respaldo: La segunda bahía de energía puede albergar un módulo de energía de respaldo. Si el UF-OLT detecta un fallo del módulo de energía principal, el respaldo módulo se activa automáticamente para Suministro de energía ininterrumpida.

Alimentación CC/CC: Ambos compartimentos de alimentación pueden también alberga un módulo de alimentación CC/CC para utilizar con alimentación de CC.

Figura 5.11.Módulos de alimentación para OLT.

	RPS-AC-100W	RPS-DC-100W
Tipo de energía	AC/DC	DC/DC
Rango de voltaje de entrada	90-264VAC	38-54VDC
Rango de voltaje de salida	24-26VDC	23-25V
Temp. de funcionamiento.	-10 to 45° C (14 to 104° F)	-10 to 50° C (14 to 122° F)
Humedad de funcionamiento	5 to 95% sin condensación	5 to 95% sin condensación

Tabla 5.3 Datasheet de los módulos de alimentación.

- **Diseño de montaje en rack**

El chasis de metal de 1U de altura permite un montaje conveniente en un bastidor de tamaño estándar de 19 "de ancho.

Figura 5.12. Bastidor para la OLT.

5.2.1.2 Cable ODN

Cable ODN Multimodo 10G UOC-3

Los cables de conexión de fibra multimodo son ideales para interiores sobre redes de telecomunicaciones y datos para equipos como EdgeRouter, EdgeSwitch y UniFi Switch.

Figura 5.13.Cable ODN Multimodo 10G UOC-3.

- Conector: LC-LC
- Modo de fibra: 20/125 µm
- Tipo de fibra: Duplex

- Longitud del cable: 3 m
- Cable Jacket: PVC
- Estándar del cable: OM3
- Pérdida de inserción: ≤ 0.3dB
- Polish: UPC a UPC
- Diámetro del Jacket: 2.0 mm
- Color del Jacket: Agua
- Longitud de onda: 850/1310 mm
- Repetibilidad: ≤ 0,1 dB
- Durabilidad: ≤ 0.2 dB (1000 Times Mating)
- Pérdida de Retorno: ≤ 50 dB
- Temperatura de Operación: -40 to 75° C (-40 to 167° F)

5.2.1.3 Módulo GPON OLT SFP+

Módulo GPON OLT SFP+ Ubiquiti UF-MM-10G

Los módulos UF-MM-10G se pueden usar a velocidades de 10 Gbps. Se pueden usar en equipos como el EdgePoint con el EdgePower, para proteger y aislar la alimentación DC y los despliegues de fibra.

- Modo: Multi-Mode Fiber.
- Conector: (2) LC.
- BiDi: No.
- Longitud de onda TX: 850nm.
- Longitud de onda RX: 850nm.
- Velocidad: 10 Gbps SFP+.
- Consumo de energía típico: ≤0,6W
- Rango de temperatura: 0 to 70° C (32 to 158° F).

Figura 5.14.Módulo GPON OLT SFP+ Ubiquiti UF-MM-10G.

5.2.1.4 Router de borde

En telecomunicaciones al equipo router que se encuentra en la entrada a la red se le llama router de borde o fronterizo ya que es el equipo que por así decirlo separa la red de la red WAN. Estos equipos se encargan del enrutamiento BGP y ciertas configuraciones como NAT, balanceo de carga, administrar diferentes tipos de tráfico, entre otras cosas. Estos equipos suelen o deben ser robustos ya que serán los que se encarga de todo el tráfico entrante y saliente de la WAN. En estos equipos se debe manejar la regla NAT de enmascaramiento ya que es el que se encuentra conectado con nuestro ISP y es con la IP con la que deberá salir el tráfico que venga de cualquiera de nuestras redes.

Partiendo de esta definición, se puede elegir el router de borde más adecuado a nuestra configuración. Ya que Ubiquiti provee una variada gama de routers, se ha seleccionado el siguiente:

EdgeRouter INFINITY 8-Port 10G SFP+ Router (Modelo: ER-8-XG)

El EdgeRouter Infinity combina rendimiento agregado de 80 Gbps y valor precio/rendimiento en un compacto factor de forma montable en el rack seleccionado.

Figura 5.15. Panel frontal del EdgeRouter INFINITY.

Panel trasero del EdgeRouter INFINITY.

Figura 5.16.DC/DC PowerModule™ modelo: RPS-DC-100W.

ER-8-XG	
Dimensiones	442.4 x 285.6 x 43.7 mm (17.42 x 11.24 x 1.72")
Peso sin montura **Peso con montura**	4.950 kg (10.91 lb) 5.045 kg (11.12 lb)
Características del chasis	SGCC Acero
Consumo de energía máximo	100W
Método de energía	Módulo de fuente de alimentación AC/DC o DC/DC * intercambiable en caliente
Rango de voltaje admitido:	100 to 240VAC, 24VDC Output

Módulo de fuente de alimentación CA / CC **Módulo de fuente de alimentación CC / CC**	38 to 54VDC, 24VDC Output
Botón	Reset
LEDs: **Sistema** **SFP+ Puerto datos** **RJ45 Puerto de datos**	 Estado Link/Activity Link/Activity
Puertos: **Puerto de consola serial** **Puerto de datos**	 (1) RJ45 Serial Port (8) SFP+ Ports (1) RJ45 Gigabit Ethernet Port
Rendimiento de reenvío de capa 3 **Tamaño del paquete: 64 bytes** **Tamaño del paquete: 1514 bytes**	 18,000,000 pps 80 Gbps (Line Rate)
Procesador	MIPS64 16 Core 1.8 GHz con aceleración de hardware para procesamiento de paquetes
Memoria del sistema	16 GB DDR4 RAM
Almacenamiento flash integrado	8 MB NOR Flash 4 GB eMMC NAND Flash
Certificados	CE, FCC, IC
Montaje en rack	Si, 1U
Protección ESD/EMP	Aire: ± 24 kV, Contacto: ± 24 kV
Temporada de funcionamiento	-5 to 40° C (23 to 104° F)
Humedad de operación	5 - 95% sin condensación

Tabla 5.4 Datasheet del EdgeRouter INFINITY 8-Port 10G SFP+.

5.2.1.5 Módulo GPON OLT C+

Módulo GPON OLT SFP Ubiquiti UF-GP-C+

Módulo individual GPON/SFP clase C+, evolución de la clase B+, para uso en equipo OLT/Cabecera Ubiquiti UF-OLT.

Cada módulo puede gestionar hasta 128 ONTs cliente.

Figura 5.17.Módulo GPON OLT SFP Ubiquiti UF-GP-C+.

UF-GP-C+	
Modos compatibles	Fibra Single-Mode
Tipo de conector	(1) SC/UPC
Longitud de onda TX	1490 nm
Longitud de onda RX	1310 nm
Rango de potencia TX	3 to 7 dBm

Rango de potencia RX	-30 to -12 dBm
Tasa de datos downstream	2.5 Gbps
Tasa de datos upstream	1.25 Gbps
Distancia del cable	20 km
Opciones de paquete	20-Pack

Tabla 5.5 Datasheet Módulo GPON OLT SFP Ubiquiti UF-GP-C+.

5.2.1.6 Cables Patch cord

Ubiquiti ofrece dos cables de conexión para construir redes GPON:

- **UF-SM-PATCH-UPC-APC**
- **UF-SM-PATCH-APC-APC**

Cada cable patch está disponible como paquete individual.

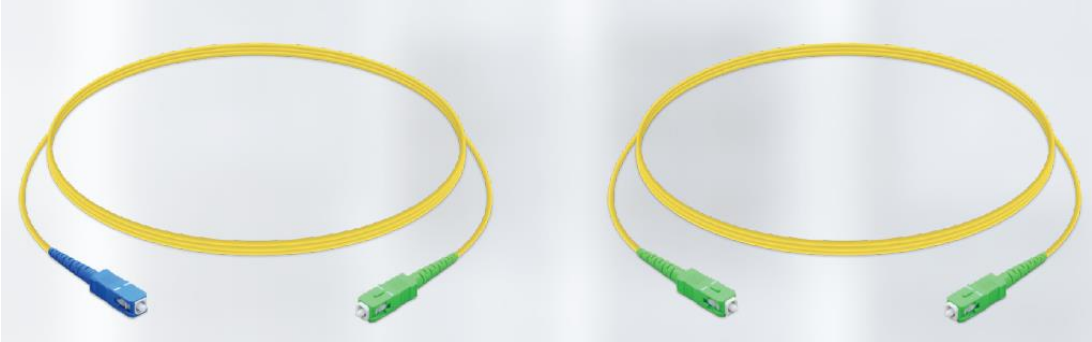


Figura 5.18.Patch cord de la marca Ubiquiti.

	UF-SM-PATCH-UPC-APC	UF-SM-PATCH-APC-APC
Conectores	(1) SC/UPC, (1) SC/APC	(2) SC/APC
Pérdida por inserción	≤ 0.3 dB	≤ 0.3 dB
Pérdida de retorno	UPC: ≥ 50 dB APC: ≥ 60 dB	≥ 60 dB
Tipo de cable	SM9/125 SX 2.0 mm, Chaqueta de PVC, amarilla	SM9/125 SX 2.0 mm, Chaqueta de PVC, amarilla
Conectores	(1) SC/UPC 2.0 mm conector SM SX, Azul (1) SC/APC 2.0 mm conector SM SX, Verde	(2) SC/APC 2.0 mm conector SM SX, Verde
Largo total	1.5 m (59.1")	1.5 m (59.1")

Tabla 5.6 Datasheet de los patch cord.

5.2.1.7 Adaptador SC/APC

Adaptador SC/APC UF-ADAPTER-APC

Se usan para interconectar los patch cords (conector macho) con los splitters modulares de fibra.

Figura 5.19. Adaptador SC/APC UF-ADAPTER-APC

UF-ADAPTER-APC	
Conector	SC/APC
Pérdida por inserción	≤ 0.2 dB
Durabilidad	<0,2 dB de cambio típico (1000 acoplamientos)
Temperatura de operación	-40 to +85° C (-40 to +185° F)
Estándares	Telcordia, ANSI, TIA/EIA, NTT, and JIS
Dimensiones	27.5 x 12.9 x 9.2 mm (1.08 x 0.50 x 0.36")

Tabla 5.7 Datasheet del adaptador SC/APC UF-ADAPTER-APC.

5.2.1.8 Splitters de primer nivel

Splitters Óptico Modular Preconectado Furukawa de primer nivel con relación de división de 1:2 y 1:4, estándar LGX (*Lightguide Cross-Connect*)

Los splitters modulares LGX son específicamente desarrollados para aplicaciones *plug-and-play*, aumentando la velocidad y la organización de la instalación.

Norma:

- Telcordia GR-1209 (Componentes Ópticos Pasivos)
- Telcordia GR-1221 (Requisitos de Confiabilidad para Componentes Ópticos Pasivos)
- IEC 61753-1 (Dispositivos de Interconexión de Fibra Óptica y Componentes Pasivos - Estándar de Rendimiento)

Certificaciones:

- Splitter 1xN PLC: Anatel (Homologación 1837-11-0256)

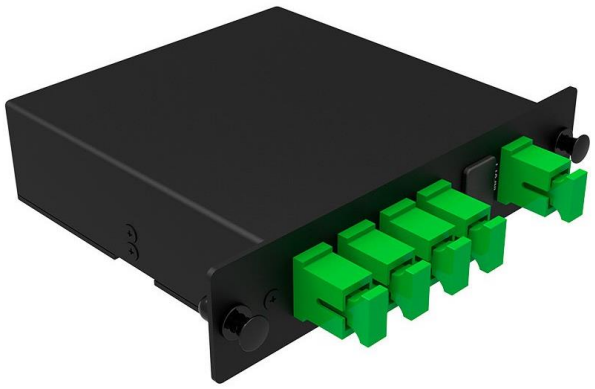


Figura 5.20.Splitter Modular Preconectado, 1:4 estándar LGX.

División	1x2	1x4
Banda Óptica Pasante	FBT: 1260~1360nm e 1480~1580nm PLC: 1260~1650nm	
Pérdida de Inserción Máxima (sin tener en cuenta las pérdidas de los conectores)	3,7 dB	7,1 dB
Uniformidad	0,5 dB	0,6 dB
Sensibilidad a la Polarización Máxima (PDL)	0,2 dB	0,2 dB
Directividad	>55 dB	
Pérdida de Retorno	>55 dB	

Tabla 5.8 Datasheet de splitters de primer nivel.

Tipo de conector en la entrada:

Conectores	Atenuación Óptica (dB)		Pérdida por Retorno Máxima (dB)	Características
	Típica	Máxima		
SC-APC	0,15	0,30	>60	Conector "push-pull" Cuerpo plástico Cerrojo cerámico (zirconia) Fibra SM

Tabla 5.9 Conector de splitter de primer nivel.

5.2.1.9 ODF

ODF ACONET de 12 puertos SC/APC Modelo: ODF12

Figura 5.21.ODF ACONET

- Bandeja de fibra óptica GLC para montaje en rack de 1U y 19".
- Posee guías deslizantes para una mejor posición de trabajo.
- Posee 4 ingresos de cable en la parte posterior de la bandeja.
- La reserva de fibra es de 2 mts, y se almacenan de la bandeja de empalmes.
- El producto incluye material de sujeción, tiras de rotulación y manual de instalación.

5.2.1.10 Software de control

Ubiquiti se distingue por su potente e intuitivo software de gestión que se incluye sin costo adicional. Las redes UFiber se gestionan de forma inteligente mediante UNMS (*Ubiquiti Network Management System*), un controlador de gestión. Cuenta con una interfaz de usuario gráfica que es fácil para aprender y navegar. UNMS gestiona todos los OLT UFiber registrados y sus clientes ONT.

Características:

- Interfaz de usuario web gráfica e intuitiva
- Configuración e implementación rápida de dispositivos UFiber
- Gestión centralizada de múltiples sitios / redes GPON
- Informes visuales para una supervisión y resolución de problemas eficientes
- Instalación de software basada en Linux
- Software incluido: sin tarifas de licencia ni de soporte

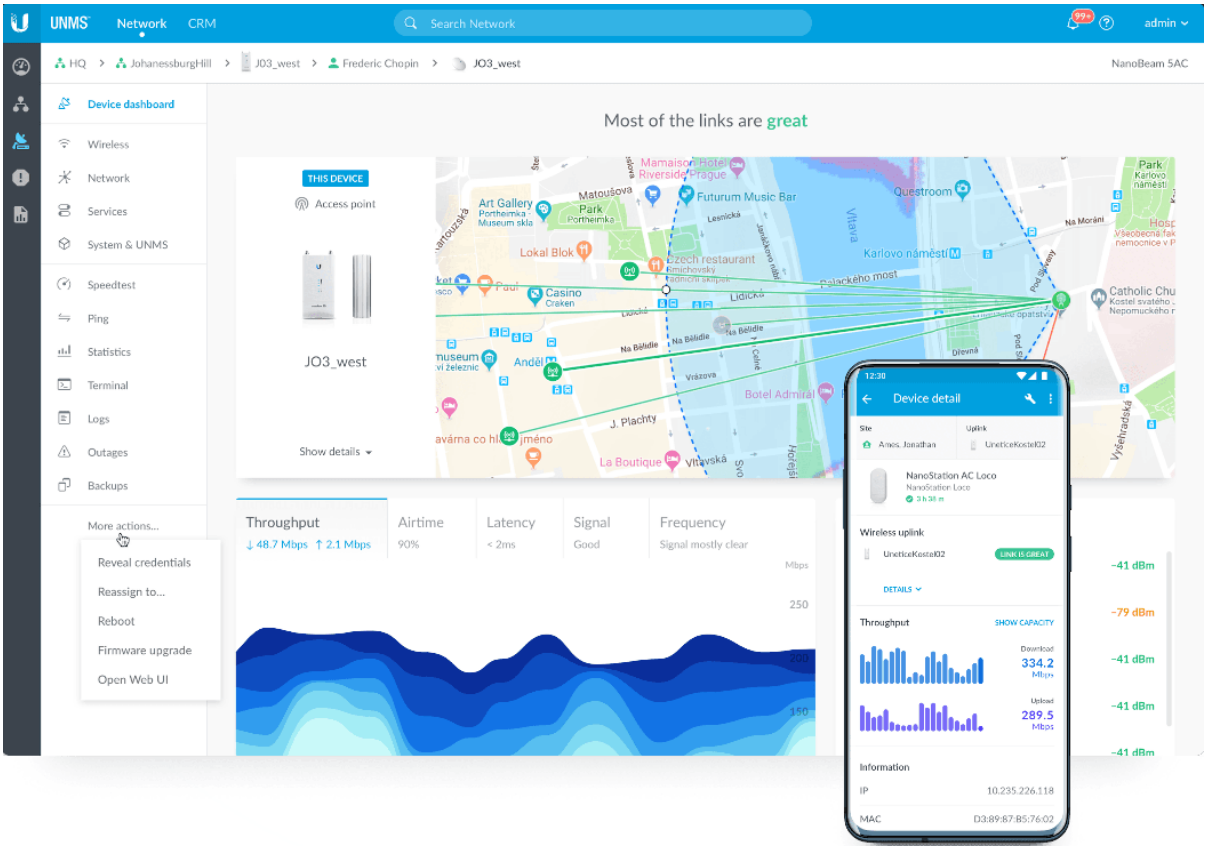


Figura 5.22.Software UNMS.

5.2.1.11 Cálculo del requisito total de potencia para la cabecera

El Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI), es un dispositivo que, gracias a sus baterías y otros elementos almacenadores de energía, durante un apagón eléctrico puede proporcionar energía eléctrica por un tiempo limitado a todos los dispositivos que tenga conectados. Otra función que se puede añadir a estos equipos es mejorar la calidad de la energía eléctrica que llega a las cargas, filtrando subidas y bajadas de tensión y eliminando armónicos de la red en caso de usar corriente alterna.

Los UPS (SAI) proporcionan energía eléctrica a equipos llamados cargas críticas, como aparatos médicos, industriales o informáticos que requieren alimentación permanente y de calidad, para estar siempre operativos y sin fallos (picos o caídas de tensión).

El dimensionamiento del sistema SAI (Sistema de alimentación ininterrumpida) para la cabecera exige conocer la cantidad de electricidad requerida por las cargas críticas. Los requisitos de potencia pueden variar, pero pueden estimarse con precisión usando reglas simples una vez que se determinan los requisitos de potencia de la carga IT planificada.

Para dicho cálculo se realiza una tabla que contendrá el consumo en Watts (W) de cada dispositivo activo en la cabecera y el total correspondiente:

Consumo en cabecera			
Equipos	**Cantidad**	**Consumo Unitario [W]**	**Consumo Total [W]**
OLT	1	40	40
Computadora de escritorio	1	500	500
Router	1	100	100
Módulo SFP+	2	0,6	1,2
Módulo SFP C+	3	0,6	1,8
			643

Tabla 5.10 Consumo en cabecera.

Se observa que el consumo total de potencia eléctrica de la cabecera es de 643W, lo cual representa un valor demasiado pequeño para una cabecera de estas características. Cabe destacar que el cálculo de consumo de toda la infraestructura no entra en los propósitos del proyecto, ya que su enfoque se basa netamente en la red GPON.

A partir del consumo total resultante se puede determinar qué SAI se usará. Para tal elección se cuenta con la herramienta web de la marca APC (*American Power Conversion*) donde se cargan datos tales como:

- **Voltaje en la ubicación del usuario:** Se debe seleccionar un sistema de voltaje básico para la ubicación.
- **Carga total:** Introduzca aquí la carga total (consumo de energía) de todos los dispositivos que debe proteger el SAI. Especifique si la carga se mide en vatios, VA (voltio-amperios) o kVA.
- **Tiempo de funcionamiento:** Este es el tiempo de funcionamiento que necesitará durante un corte eléctrico total. El tiempo de funcionamiento añadido aumenta la disponibilidad al permitir que el sistema funcione durante un corte más prolongado sin apagarse. Los valores típicos son: estación de trabajo: 15 minutos; Servidor de departamento: 20 minutos; Sistema telefónico: 1-2 horas; Equipos de conexión en red: 30 minutos.
- **Ampliación de potencia:** Este campo representa la cantidad de sobredimensionamiento que desea incluir en su configuración.

Los Sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI) que ofrece APC trabajan en Argentina con un rango de hasta 230V. La carga total es de 643W, pero si se considera una posible implementación de, por ejemplo, una computadora más por cualquier expansión, dicha carga es de 1200W. Se contempla un tiempo de funcionamiento de 3hs, teniendo en cuenta el tiempo promedio de los cortes de energía eléctrica pública. El equipo recomendado es el SAI Smart-UPS SRT de APC 1500VA 230V junto con seis Packs de baterías de 48V, 1kVA y 1,5kVA para SAI Smart-UPS SRT de APC.

SAI Smart-UPS SRT de APC 1500 VA 230 V

UPS con Protección eléctrica en línea de alta densidad y doble conversión con tiempo de autonomía escalable.

Figura 5.23.SAI Smart-UPS SRT.

Características principales		
Tiempo de funcionamiento de la carga	1200 W	7m 23s
Max. capacidad utilizada		80%
Capacidad eléctrica de salida		1.5Kilovatios / 1.5kVA
Conexiones de salida		(6) IEC 60320 C13 (Batería de reserva) (6) IEC 320 C13 (Batería de reserva)
Voltaje de salida nominal		230V
Voltaje Nominal de Entrada		230V
Tipo de Conexión de Entrada		IEC 60320 C14

Figura 5.24.Características principales de la UPS.

Pack de baterías de 48V, 1kVA y 1,5kVA para SAI Smart-UPS SRT

Los sistemas de batería de autonomía extendida proporcionan tiempos de ejecución flexibles a aplicaciones Smart-UPS de importancia crítica. Garantiza una energía limpia e ininterrumpida para proteger el equipo mientras se cambian las baterías.

Figura 5.25.Pack de baterías de 192 V, 5 kVA y 6 kVA.

Salida	
Tensión de salida de la batería	48 V
Baterías y tiempo de autonomía	
Tipo de batería	Batería de plomo y ácido
Montaje de batería	Stand alone battery stack ((*))
Vida útil esperada de la batería (en años)	3-5 años
Cantidad de RBC™	2

Figura 5.26.Especificaciones técnicas del pack de baterías.

5.2.2 Especificaciones y selección de equipos para la red de distribución y dispersión

5.2.2.1 Caja de Empalme Óptico Aéreo

Caja de Empalme Óptico Aéreo FK-CEO-4T - Módulo Básico 24F

Capacidad para hasta 144 fibras en 6 bandejas de 24 fibras cada una. Pueden acomodar splitters ópticos no conectorizados.

Esta caja de empalme se utiliza para albergar los splitters no conectorizados de segundo nivel (Capitulo 5.2.2.2) y formar los "Divisores centrales" de que cada nodo.

Figura 5.27.Caja de Empalme Óptico Aéreo FK-CEO-4T.

Con la siguiente configuración:

Figura 5.28. Sellado Termo Contráctil.

Figura 5.29. Bandeja tubo loose (x1).

Figura 5.30. Bandeja de empalme (x1).

5.2.2.2 Splitter de segundo nivel

Splitter Óptico Furukawa PLC 1:8 G.657A NC/NC 2M/2M

Figura 5.31.Splitter PLC 1:8 G.657A NC/NC.

Norma:

- Telcordia GR-1209 (Componentes Ópticos Pasivos)
- Telcordia GR-1221 (Requisitos de Confiabilidad para Componentes Ópticos Pasivos)
- IEC 61753-1 (Dispositivos de Interconexión de Fibra Óptica y Componentes Pasivos - Estándar de Rendimiento)

Certificaciones:

- ANATEL (Homologación 01837-11-00256 y 01835-11-00256)

División	1x8
Banda Óptica Pasante	FBT: 1260~1360nm e 1480~1580nm PLC: 1260~1650nm
Pérdida de Inserción Máxima (sin tener en cuenta las pérdidas de los conectores)	10,5 dB
Uniformidad	1 dB
Sensibilidad a la Polarización Máxima (PDL)	0,25 dB
Directividad	>55 dB
Pérdida de Retorno	>55 dB
Profundidad	40mm
Ancho	4mm
Altura	4mm
Longitud del hilo	2m
Diámetro del hilo	250µm

Tabla 5.11 Datasheet de los splitters de segundo nivel.

5.2.2.3 NAP o Caja de terminal

NAP o Caja de terminal óptica Furukawa FK-CTO-16MC

La Caja de Terminación Óptica FK-CTO-16MC tiene la finalidad de almacenar y proteger los empalmes ópticos por fusión entre el cable de distribución y los drops de una red óptica de terminación. También proporciona la gestión y el almacenamiento de los adaptadores ópticos para salidas conectorizadas.

Figura 5.32.NAP Furukawa FK-CTO-16MC.

Con la siguiente configuración:

Figura 5.33.Caja FK-CTO-16-MC.

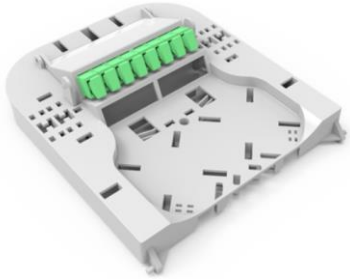


Figura 5.34.Bandeja de Conectores con 8 ADAPT. SC-APC (x1).

Figura 5.35.Bandeja de Empalme 16F (x1).

5.2.2.4 Splitter de tercer nivel

Splitter óptico con salidas preconectadas Furukawa PLC 1:8 G.657A NC/SC-APC 1.5D0.9/0.6D0.9 sin breakout

Figura 5.36.Splitter con salidas preconectadas PLC 1:8 G.657A NC/SC-APC.

Norma:

- Telcordia GR-1209 (Componentes Ópticos Pasivos)
- Telcordia GR-1221 (Requisitos de Confiabilidad para Componentes Ópticos Pasivos)
- IEC 61753-1 (Dispositivos de Interconexión de Fibra Óptica y Componentes Pasivos - Estándar de Rendimiento)

Certificaciones:

- ANATEL (Homologación 01837-11-00256 y 01835-11-00256)

División	1x8
Banda Óptica Pasante	FBT: 1260~1360nm e 1480~1580nm PLC: 1260~1650nm
Pérdida de Inserción Máxima (sin tener en cuenta las pérdidas de los conectores)	10,5 dB
Uniformidad	1 dB
Sensibilidad a la Polarización Máxima (PDL)	0,25 dB
Directividad	>55 dB
Pérdida de Retorno	>55 dB
Profundidad	55mm
Ancho	7mm
Altura	4mm
Longitud de pigtail de entrada	0,6m
Longitud de pigtail de salida	0,6m
Diámetro del pigtail	900µm ó 2mm

Tabla 5.12 Datasheet de los splitters de tercer nivel.

5.2.2.5 Conector SC/APC

Conector SC/APC SM MECANICO CAPUCHON LARGO

Se utiliza el siguiente conector para conectorizar un extremo del cable drop en las distintas cajas NAP y el otro para conectorizar la ONT.

Figura 5.37.Conector SC/APC SM.

5.2.2.6 ONT

ONT Ufiber WIFI (Modelo: UF-WIFI)

UFiber WiFi es una ONT GPON robusto y de alto rendimiento que ofrece enrutamiento, cuatro puertos LAN y Wi-Fi. Es impulsado por PoE pasivo de 24 V o un adaptador de corriente de 24 V y 0,5 A.

Figura 5.38.ONT Ufiber WIFI.

Ufiber WIFI (Modelo: UF-WIFI)	
Dimensiones	126.34 x 126.09 x 31.65 mm (4.97 x 4.96 x 1.25")
Peso	190 g (6.70 oz)
Interfaces de red	(1) SC/APC, GPON WAN (4) Gigabit RJ45, Ethernet LAN (1) Wi-Fi, 802.11n
Velocidad de las interfaces de red **GPON WAN, ITU G.984** **GbE LAN** **Wi-Fi**	2.488 Gbps Downstream 1.244 Gbps Upstream 10/100/1000 Mbps 300 Mbps
Interfaz de gestión	In-Band Ethernet/PON
Rango de potencia óptica normal	TX (Class B+): 1.5 to 5 dBm RX: -28 to -8 dBm
Método de energía	DC Jack, 24VDC 24V Passive PoE (Pins 4, 5+; 7, 8-)
Fuente de alimentación	100-240VAC, 50/60 Hz Universal AC/DC Adaptador de energía: 24V, 0.5A
Máximo consumo de energía	7W
Rango de voltaje admitido	20 to 28V
Especificaciones del procesador	MIPS, 900 MHz
Información de la memoria	256 MB DDR
Botones	(1) Reset
Temperatura de operación	-10 to 45° C (14 to 113° F)
Humedad de operación	10 to 90% sin condensación
Certificaciones	CE, FCC, IC

Tabla 5.13 Datasheet de la ONT Ufiber WIFI.

5.2.3 Especificación y selección de fibras ópticas

El tipo de fibra a usarse se basa en la resolución de la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU-T G.652D. Este tipo de fibra es una variante de la recomendación ITU-T G.652, la misma es la fibra que tiene mayor despliegue. Si bien el equipamiento para este tipo de fibra es costoso, tiene la ventaja de que la tasa de información de pérdida es casi nula.

Para la Red Troncal y la Red de Distribución se hará uso de una Fibra Óptica de la misma marca y modelo, pero sin variar la cantidad de pelos respectivamente por una cuestión económica y de comodidad. Se tendrá una Fibra Óptica de 12 pelos para la Red Troncal y la Red de Distribución.

5.2.3.1 Fibra Óptica de 12 cores (Troncal y Distribución)

Fibra Óptica GLC ADSS Monomodo 12 Cores G.652D

Cable totalmente dieléctrico, apto para uso en instalaciones aéreas. El código de colores de las fibras y tubos responde a la especificación EIA-TIA 598-A. Ensayos mecánicos y ambientales según norma IEC 794-1.

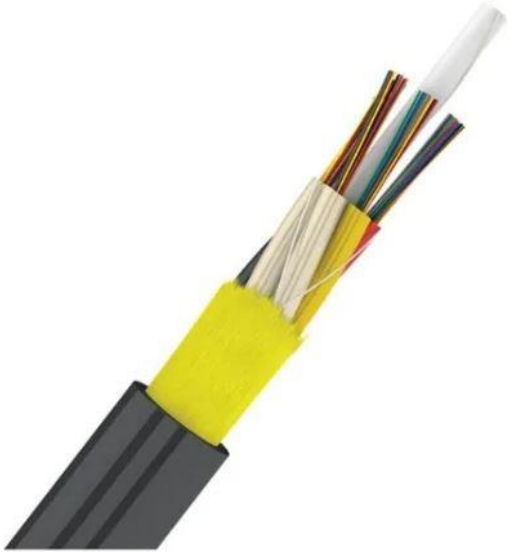


Figura 5.39.Fibra a modo de ilustración.

Datos Técnicos

Denominación según Norma VDE 0888:

- A-DQ(ZN)2Y 2X6 E9/125
- A-DQ(ZN)2Y 4X6 E9/125

Características del Cable

- Diseño compacto, diámetro y peso optimizado según requerimiento específico.
- Tubos holgados de doble capa (PC/PP = Policarbonato / Polipropileno). Cableados en SZ.
- Protección UV.

- Apto para instalaciones en ducto o aéreas.
- Núcleo óptico con bloqueo antihumedad mediante compuestos secos.
- Tubo buffer con gel tixotrópico.

Material del Núcleo

El núcleo de la fibra óptica, con un índice de refracción mayor que el del revestimiento, está constituido de SiO2 (Dióxido de Silicio) dopado con GeO2 (Dióxido de Germanio).

Material del Revestimiento

El revestimiento de la fibra óptica está constituido por SiO2 (Dióxido de Silicio)

Recubrimiento Primario

El recubrimiento primario está formado por un acrilato curado con UV. Se aplica en dos capas, cada una con diferente módulo de Young. La capa interna es algo más blanda que la externa. Este diseño protege a la fibra de las pérdidas por microcurvaturas y de las abrasiones.

5.2.3.2 Cable Drop

Cable Fibra Óptica Drop 1 Pelo Bobina 1km G657a2

Drop cable, 1FO, figure 8, G657A2, LSZH (SM) (Bobina 1KM) Cable de naturaleza óptica que resiste a inclemencias dado que su núcleo está cubierto por fuera por un polímero que además no es inflamable.

Uno de los componentes que resultan importantes para el correcto funcionamiento de estos tendidos de fibra es el cable drop, que es un cable de naturaleza óptica que resiste a inclemencias dado que su núcleo está cubierto por fuera por un polímero que además no es inflamable; este cable lleva un refuerzo conformado por alambre galvanizado de acero que le ofrece aún mayor resistencia, y por lo tanto es un componente que resiste muy bien entornos de intemperie.

Figura 5.40.Cable de drop de fibra óptica.

5.2.4 Especificaciones de la postería existente y la propuesta

Una de las cosas que hay que tener en cuenta es que, al hacer un tendido aéreo, indefectiblemente implica tener soportes por dónde sostener la fibra óptica y, por lo tanto, dichos soportes van sobre los postes ubicados en la vía pública.

Los postes presentes en el área geográfica objetivo pertenecen a la empresa proveedora del Sistema de Energía Eléctrica. Es entonces que se opta por hacer uso de los mismos. También se sugiere la colocación de postes propios en lugares estratégicos y necesarios para el diseño de la red GPON. La selección de los postes junto con los herrajes correspondientes no compete en el alcance de este proyecto, por lo que se sugiere la ubicación de los mismos en el plano.

Este ítem, está mucho más ligado a las tareas relacionadas a la Ingeniería Civil, por lo que se omiten indicaciones sobre la colocación de los postes en la vía pública. Sólo se recomienda el uso de postes de 9 metros como norma general.

Finalmente, cabe destacar que para el diseño de bajo nivel (ver Capítulo 5.4) la sugerencia de dónde colocar los postes se contempla siempre respetando la distancia máxima del vano de la fibra óptica. En este caso, el vano máximo es de 80 metros.

5.3 Cálculo Óptico aproximado de la red GPON

El equipo de cabecera (OLT) es el equipo encargado de brindar lo qué es la potencia óptica. La OLT se caracteriza por tener puertos para conexión de fibra óptica para tecnología GPON conocidos como puertos PON. Estos últimos, físicamente son conversores electro-ópticos conocidos como SFP (*small form-factor pluggable transceptor* - transceptor pequeño de factor y forma conectable) Se opta por un SFP Clase C+ que posee las siguientes potencias y sensibilidades de recepción:

- SFP Clase C+:
    - Potencia media de transmisión máxima: 7 dBm
    - Potencia media de transmisión mínima: 3 dBm
    - Sensibilidad de recepción máxima: -12dBm
    - Sensibilidad de recepción mínima: -30dBm

Teniendo en cuenta estos valores, se debe tomar el valor mínimo:

- SFP Clase C+:
    - Potencia media de transmisión mínima: 3dB

El cálculo de potencia recibido por cada ONT se puede calcular en base a valores predeterminados y los estipulados en los *datasheet* de cada equipo. Cabe destacar que no todos los empalmes generan 0,1dB de atenuación. En la práctica es el máximo, pero puede llegar a ser nula. Los empalmes mecánicos en la calle pueden generar atenuaciones variables, por lo que se establece como máximo 0,6dB. A continuación, se calcula el presupuesto óptico tanto para el *Downstream* (1490nm) como *Upstream* (1310nm) a partir del punto más lejano teórico a la cabecera considerando solamente la fase inicial del proyecto. El valor resultante de dicho cálculo sirve como indicativo de que la Red GPON puede implementarse y funcionar sin ningún tipo de conflicto. Se cuentan con los siguientes datos:

- ONT Tipo B+:
    - Sensibilidad de recepción máxima: -8dBm

  - Sensibilidad de recepción mínima: -28dBm
- Pérdidas por conectores en cabecera: 0,2dB
- Pérdidas por conectores en la calle: 0,6dB
- Pérdida de inserción de Splitter 1:4 de 1er Nivel: 7,1dB
- Pérdida de inserción de Splitter 1:8 de 2do Nivel: 10,5dB
- Pérdida de inserción de NAP 1:8 de 3er Nivel: 10,5dB
- Pérdida por empalme: 0,1dB
- Pérdida de F.O. 1490nm (12 o 6 hilos o 1 hilo): 0,23dB/km
- Pérdida de F.O. 1310nm (12 o 6 hilos o 1 hilo): 0,25dB/km
- Distancia Tramo Cabecera-ONT: 2,5km

5.3.1 Cálculo óptico downstream (1490nm)

$$Potencia\ de\ OLT - Pérdida\ en\ los\ conectores - Pérdida\ por\ distancia\ de\ la\ F.O. - Pérdida\ por\ Splitters - Pérdida\ por\ Empalmes = \boldsymbol{Nivel\ Rx\ ONT}$$

$$3dBm - (3 * 0{,}2\text{dB} + 1 * 0{,}6\text{dB}) - \left(2{,}5\text{km} * \frac{0{,}23\text{dB}}{\text{km}}\right) - (7{,}1\text{dB} + 10{,}5\text{dB} + 10{,}5\text{dB}) - (5 * 0{,}1\text{dB}) = \textbf{Nivel Rx ONT}$$

$$3dBm - 1{,}2dB - 0{,}57dB - 28{,}1dB - 0{,}5dB = \boldsymbol{Nivel\ Rx\ ONT}$$

$$\boldsymbol{-27{,}37dBm = Nivel\ Rx\ ONT}$$

Se observa que el Nivel de Señal recibido por la ONT es de -27,37dBm. Como la Sensibilidad de Recepción mínima de la misma es de -28dBm y se contempló una distancia sobredimensionada, se puede concluir que el valor obtenido es viable.

5.3.2 Cálculo óptico upstream (1310nm)

- ONT Clase B+:
  - Potencia media de transmisión máxima: 5 dBm
  - Potencia media de transmisión mínima: 1,5 dBm

Teniendo en cuenta estos valores, se debe tomar el valor mínimo:

- ONT Clase B+:
  - Potencia media de transmisión mínima: 1,5dBm

$$Potencia\ de\ ONT - Pérdida\ en\ los\ conectores - Pérdida\ por\ distancia\ de\ la\ F.O. - Pérdida\ por\ Splitters - Pérdida\ por\ Empalmes = \boldsymbol{Nivel\ Rx\ OLT}$$

$$1{,}5dBm - (3 * 0{,}2\text{dB} + 1 * 0{,}6\text{dB}) - (2{,}5\text{km} * \frac{0{,}25\text{dB}}{\text{km}}) - (7{,}1\text{dB} + 10{,}5\text{dB} + 10{,}5\text{dB}) - (5 * 0{,}1\text{dB}) = \textbf{Nivel Rx ONT}$$

$$1{,}5dBm - 1{,}2dB - 0{,}62dB - 28{,}1dB - 0{,}5dB = \boldsymbol{Nivel\ Rx\ ONT}$$

$$\boldsymbol{-28{,}92dBm = Nivel\ Rx\ ONT}$$

Se observa que el Nivel de Señal recibido por la OLT es de -28,92dBm. Como la Sensibilidad de Recepción mínima de la misma es de -30dBm y se contempló una distancia sobredimensionada, se puede concluir que el valor obtenido es viable.

Los resultados del Cálculo Óptico demuestran la viabilidad de la red, no así su optimización. Es viable porque la OLT puede regular su potencia de transmisión a una más adecuada a las necesidades de la red. No es un resultado óptimo porque las pérdidas generadas al utilizar una red de tres niveles de splitters son bastantes grandes, al menos en la fase inicial. En la fase final, el cambio de splitters en la cabecera otorga una ganancia de 3dB aproximadamente y, en ese caso, el Cálculo Óptico es el óptimo.

5.4 Diseño de bajo nivel

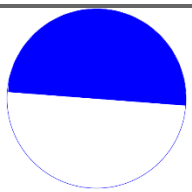
Es la realización del diseño en forma detallada de la solución planteada. Para este paso se lo realiza minuciosamente con la finalidad de obtener el diseño final de la red.

Para ello, se tendrán en cuenta los siguientes factores:

- Diseño de fibra óptica (en un plano del área de interés se realizará el trazado del tendido de fibra)
- Ubicación de OLT (en un plano determinaremos la ubicación de las OLT)
- Ubicación de splitters (en un plano determinaremos la ubicación de los Splitters en nuestra área de interés)
- Ubicación de las cajas NAP (en un plano determinaremos la ubicación de las cajas NAP en nuestra área de interés)
- Diseño final (Para obtener el diseño final en un plano reuniremos los anteriores diseños del tendido de fibra óptica, la ubicación de la OLT, los splitters y las NAPS).

El diseño se la red se realiza con el programa AutoCAD. Este es un software de diseño asistido por computadora utilizado para dibujo 2D y modelado 3D. Actualmente es desarrollado y comercializado por la empresa Autodesk. El nombre AutoCAD surge como creación de la compañía Autodesk, donde Auto hace referencia a la empresa y CAD a diseño asistido por computadora (por sus siglas en inglés *Computer Assisted Design*), teniendo su primera aparición en 1982, AutoCAD es un software reconocido a nivel internacional por sus amplias capacidades de edición, que hacen posible el dibujo digital de planos de edificios o la recreación de imágenes en 3D; es uno de los programas más usados por arquitectos, ingenieros, diseñadores industriales y otros.

Para interpretar el plano realizado, a continuación, se muestra la tabla de referencias de la simbología utilizada:

Símbolo	Referencia
	Postes de madera de la empresa proveedora del Sistema de Energía Eléctrica

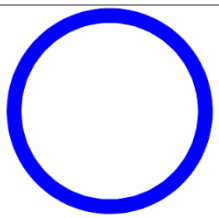
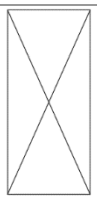
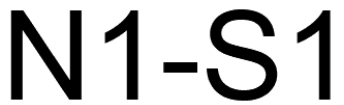
	Postes de hormigón de la empresa proveedora del Sistema de Energía Eléctrica
	Postes propuestos a colocar
	Línea de media tensión eléctrica
	Transformadores eléctricos de media tensión
	"Divisores" – Splitters de segundo nivel
	Identificación del nodo
	Caja NAP
	Identificación de la caja NAP
	OLT
	Recorrido FO troncal 12 pelos
	Recorrida FO red de dispersión 12 pelos

Tabla 5.14 Tabla de símbolos.

Teniendo en cuenta los criterios de secciones anteriores para los diseños nombrados, se logra diseñar el plano final de la red. Para su mayor apreciación se detallará nodo por nodo:

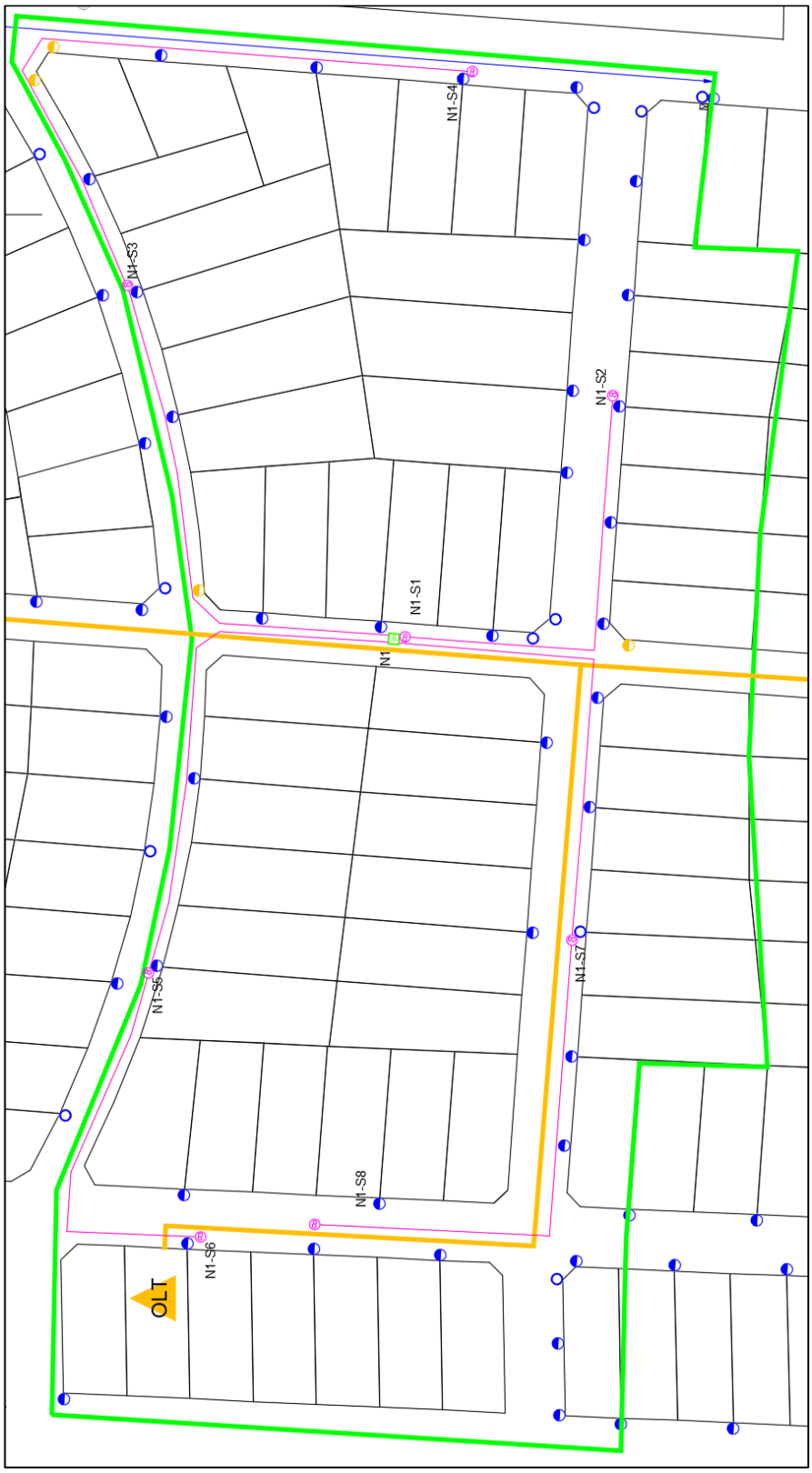


Figura 5.41. Diseño nodo N1.

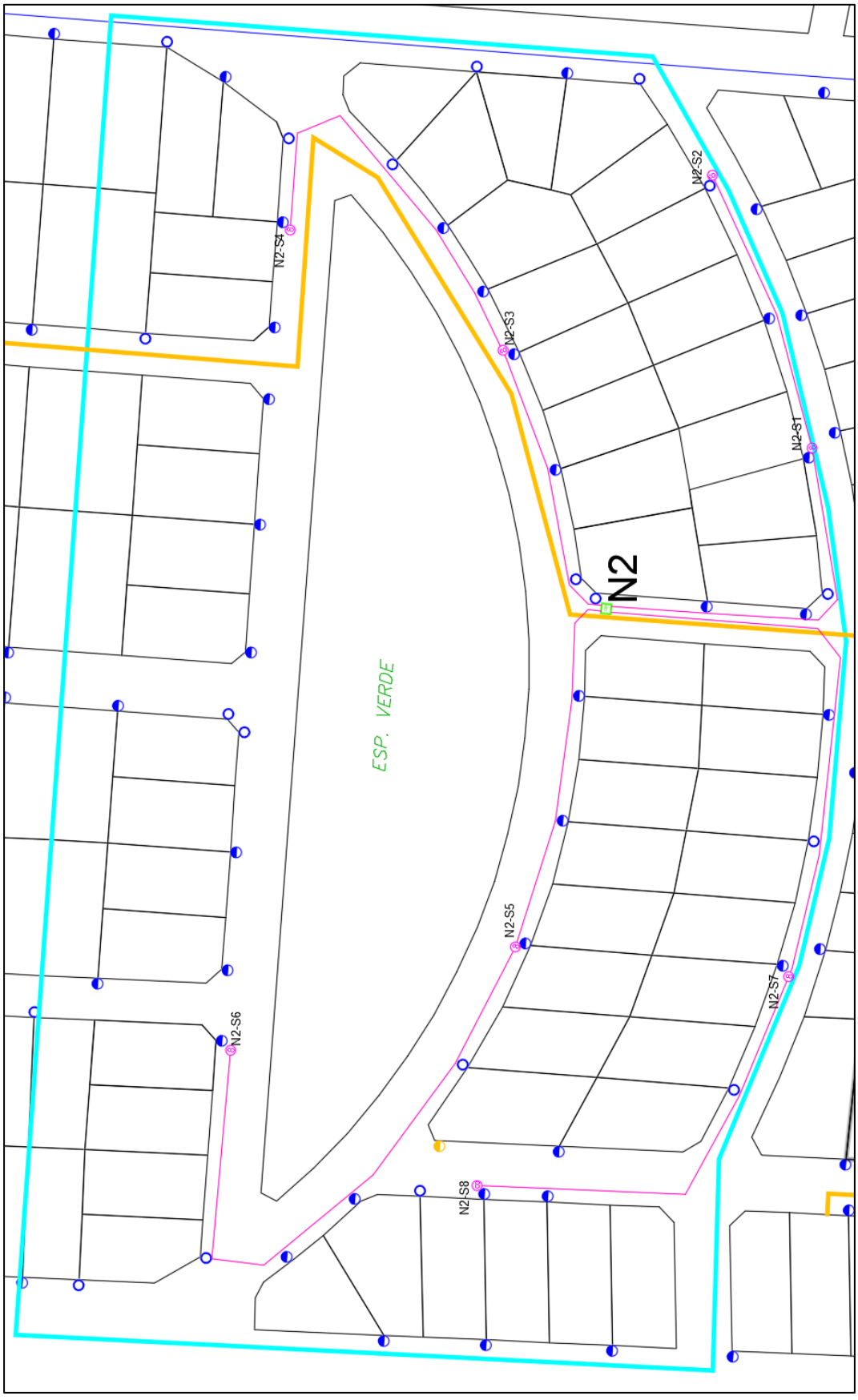


Figura 5.42.Diseño nodo N2

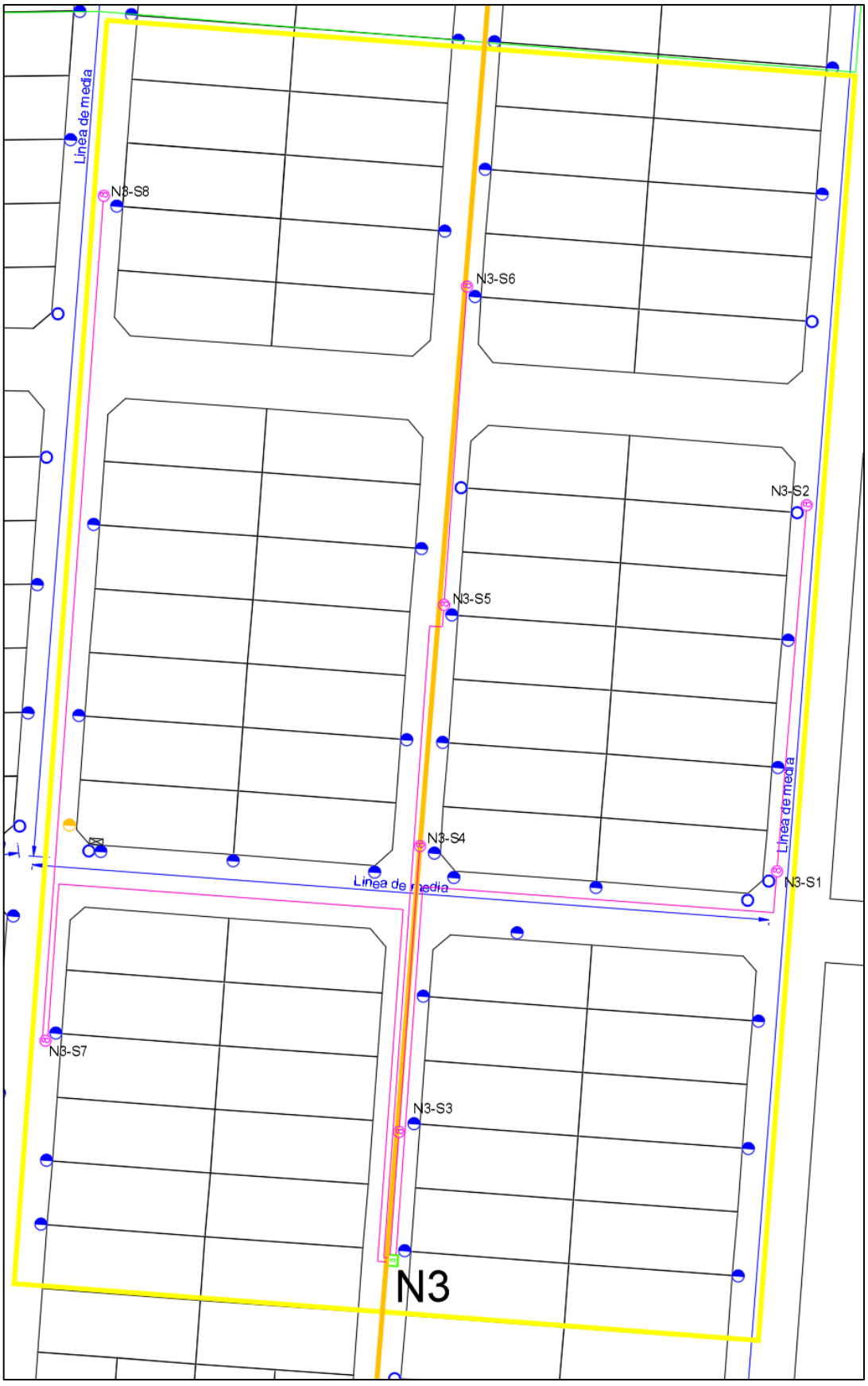


Figura 5.43.Diseño nodo N3

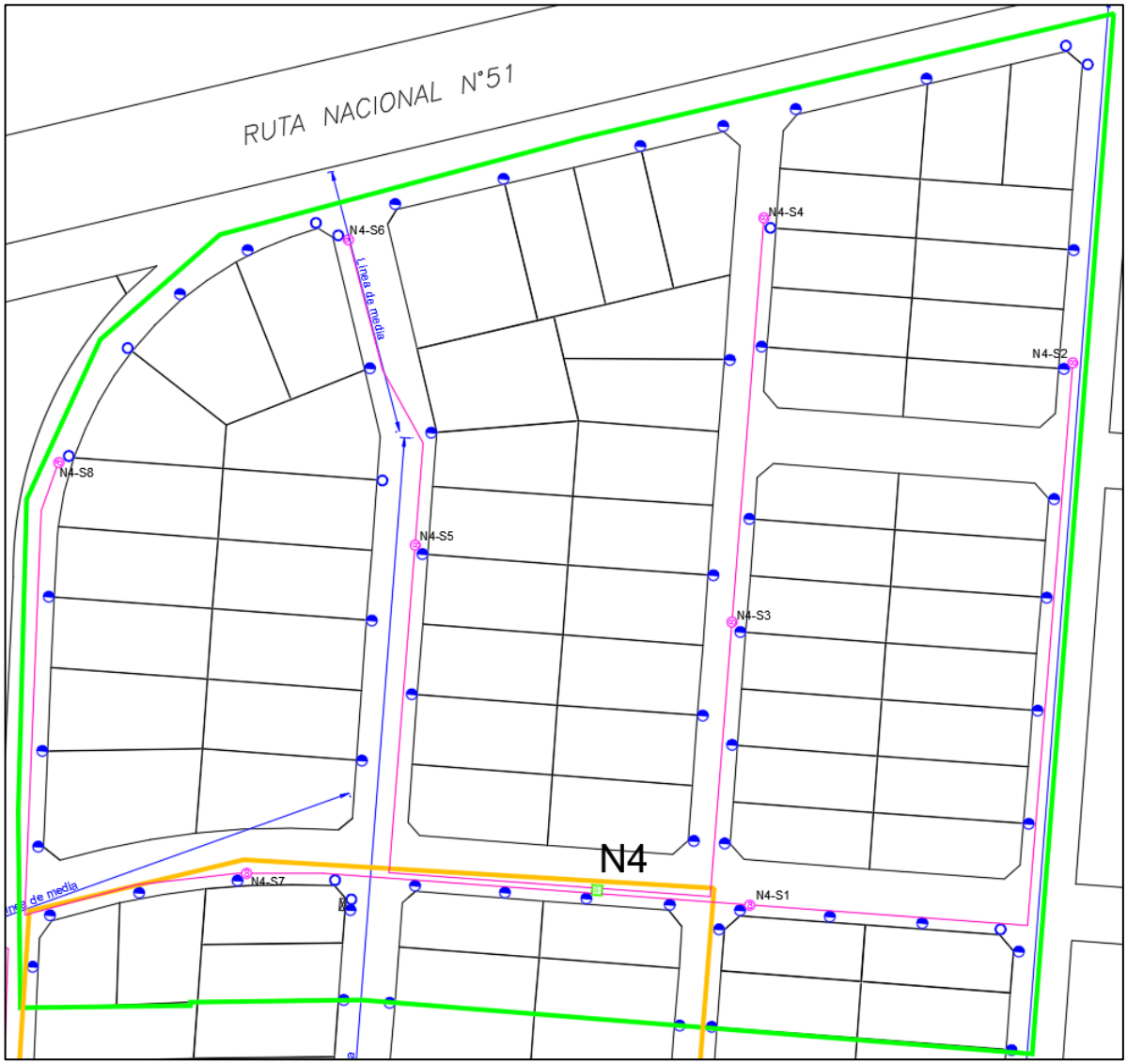


Figura 5.44. Diseño nodo N4

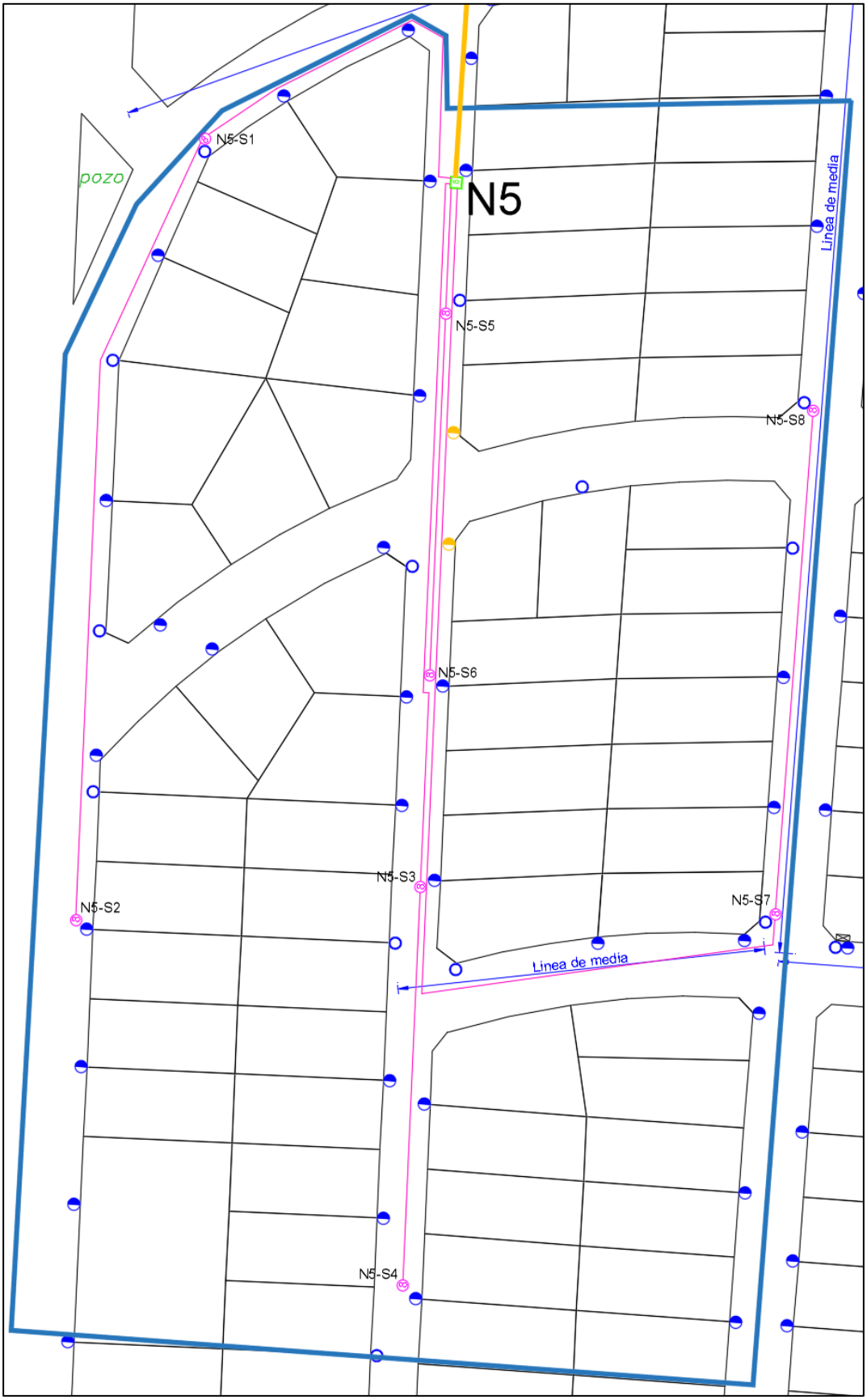


Figura 5.45. Diseño nodo N5

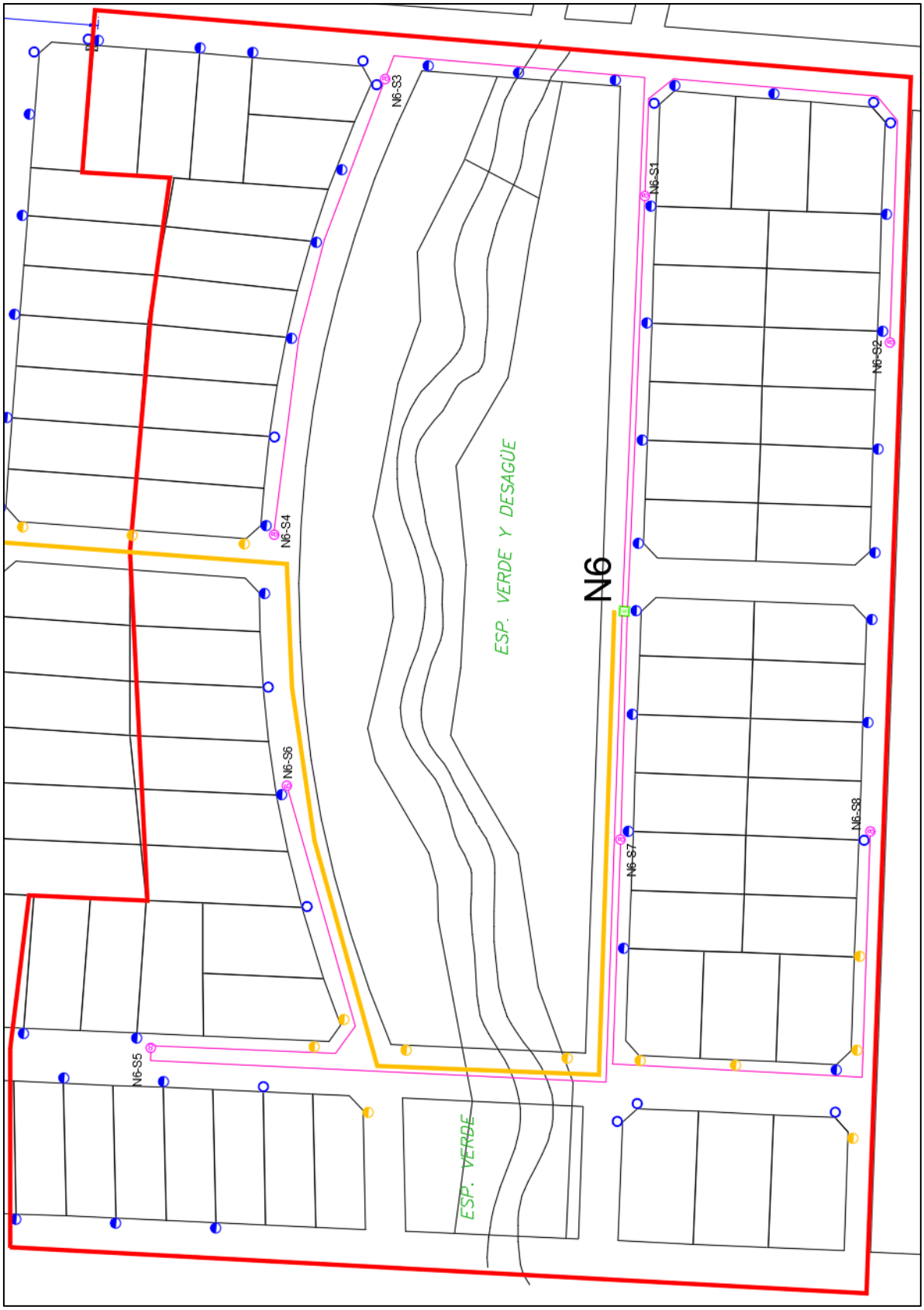


Figura 5.46. Diseño nodo N6

5.4.1 Cálculo Óptico Final hasta la salida de la NAP

Teniendo en cuenta los valores descritos anteriormente junto con la ecuación para el cálculo óptico (ver Capítulo 5.3) se realizan los cálculos ópticos hasta la salida de cada NAP de la red. Se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- La pérdida de nivel de potencia óptica en el Cable Drop es minúscula, ya que la distancia que recorre es muy pequeña y se opta por omitirla a efectos prácticos.
- Las distancias que recorre cada fibra óptica son divididas por tramo para la facilidad del cálculo. Los tramos considerados son:
    - Tramo Cabecera-Nodo (F.O. 12 hilos)
    - Tramo Nodo-NAP (F.O. 12 hilos)
- Se confecciona una tabla de Excel que calcula y muestra los resultados teniendo en cuenta la ventana de 1490nm (*Downstream*) y 1310nm (*Upstream*) tanto para la fase inicial como final.

A continuación, se muestran dos imágenes de las tablas realizadas en Excel contando con todos los nodos:

Cálculo de Presupuesto Óptico

NODOS	Distancia Tramo Cabecera–Nodo (F. O. 12 hilos) [km]	Pérdida Tramo Cabecera–Nodo (1490nm) [dB]	Pérdida Tramo Cabecera–Nodo (1310nm) [dB]	Tramos por Nodo	Distancia Tramo Nodo–NAP (F. O. 6 hilos) [km]	Pérdida Tramo Nodo–NAP (1490nm) [dB]	Pérdida Tramo Nodo–NAP (1310nm) [dB]	Nivel de Señal en salida de la NAP (1490nm) [dBm]– Fase Inicial	Nivel de Señal recibida en la OLT (1310nm) [dBm]– Fase Inicial	Nivel de Señal en salida de la NAP (1490nm) [dBm]– Fase Final	Nivel de Señal recibida en la OLT (1310nm) [dBm]– Fase Final
Nodo N1	0,314	0,07222	0,0785	Tramo a NAP N1-S1	0	0	0	-26,87222	-28,3785	-23,47222	-24,9785
				Tramo a NAP N1-S2	0,121	0,02662	0,04477	-26,89884	-28,42327	-23,49884	-25,02327
				Tramo a NAP N1-S3	0,141	0,03102	0,05217	-26,90324	-28,43067	-23,50324	-25,03067
				Tramo a NAP N1-S4	0,331	0,07282	0,12247	-26,94504	-28,50097	-23,54504	-25,10097
				Tramo a NAP N1-S5	0,141	0,03102	0,05217	-26,90324	-28,43067	-23,50324	-25,03067
				Tramo a NAP N1-S6	0,251	0,05522	0,09287	-26,92744	-28,47137	-23,52744	-25,07137
				Tramo a NAP N1-S7	0,128	0,02816	0,04736	-26,90038	-28,42586	-23,50038	-25,02586
				Tramo a NAP N1-S8	0,27	0,0594	0,0999	-26,93162	-28,4784	-23,53162	-25,0784
Nodo N2	0,438	0,10074	0,1095	Tramo a NAP N2-S1	0,111	0,02442	0,04107	-26,92516	-28,45057	-23,52516	-25,05057
				Tramo a NAP N2-S2	0,194	0,04268	0,07178	-26,94342	-28,48128	-23,54342	-25,08128
				Tramo a NAP N2-S3	0,82	0,1804	0,3034	-27,08114	-28,7129	-23,68114	-25,3129
				Tramo a NAP N2-S4	0,204	0,04488	0,07548	-26,94562	-28,48498	-23,54562	-25,08498
				Tramo a NAP N2-S5	0,104	0,02288	0,03848	-26,92362	-28,44798	-23,52362	-25,04798
				Tramo a NAP N2-S6	0,295	0,0649	0,10915	-26,96564	-28,51865	-23,56564	-25,11865
				Tramo a NAP N2-S7	0,162	0,03564	0,05994	-26,93638	-28,46944	-23,53638	-25,06944
				Tramo a NAP N2-S8	0,29	0,0638	0,1073	-26,96454	-28,5168	-23,56454	-25,1168
Nodo N3	0,745	0,17135	0,18625	Tramo a NAP N3-S1	0,193	0,04246	0,07141	-27,01381	-28,55766	-23,61381	-25,15766
				Tramo a NAP N3-S2	0,286	0,06292	0,10582	-27,03427	-28,59207	-23,63427	-25,19207
				Tramo a NAP N3-S3	0,03	0,0066	0,0111	-26,97735	-28,49735	-23,57735	-25,09735
				Tramo a NAP N3-S4	0,104	0,02288	0,03848	-26,99423	-28,52473	-23,59423	-25,12473
				Tramo a NAP N3-S5	0,17	0,0374	0,0629	-27,00875	-28,54915	-23,60875	-25,14915
				Tramo a NAP N3-S6	0,251	0,05522	0,09287	-27,02657	-28,57912	-23,62657	-25,17912
				Tramo a NAP N3-S7	0,217	0,04774	0,08029	-27,01909	-28,56654	-23,61909	-25,16654
				Tramo a NAP N3-S8	0,432	0,09504	0,15984	-27,06639	-28,64609	-23,66639	-25,24609

Figura 5.47. Detalle de tabla de cálculo óptico (N1-N3).

Cálculo de Presupuesto Óptico

NODOS	Distancia Tramo Cabecera-Nodo (F.O. 12 hilos) [km]	Pérdida Tramo Cabecera-Nodo (1490nm) [dB]	Pérdida Tramo Cabecera-Nodo (1310nm) [dB]	Tramos por Nodo	Distancia Tramo Nodo-NAP (F.O. 6 hilos) [km]	Pérdida Tramo Nodo-NAP (1490nm) [dB]	Pérdida Tramo Nodo-NAP (1310nm) [dB]	Nivel de Señal en salida de la NAP (1490nm) [dBm]- Fase Inicial	Nivel de Señal recibida en la OLT (1310nm) [dBm]- Fase Inicial	Nivel de Señal en salida de la NAP (1490nm) [dBm]- Fase Final	Nivel de Señal recibida en la OLT (1310nm) [dBm]- Fase Final
Nodo N4	1,125	0,25875	0,28125	Tramo a NAP N4-S1	0,043	0,00946	0,01591	-27,06821	-28,53716	-23,66821	-25,19716
				Tramo a NAP N4-S2	0,283	0,06226	0,10471	-27,12101	-28,68596	-23,72101	-25,28596
				Tramo a NAP N4-S3	0,11	0,0242	0,0407	-27,08295	-28,62195	-23,68295	-25,22195
				Tramo a NAP N4-S4	0,225	0,0495	0,08325	-27,10825	-28,6645	-23,70825	-25,2645
				Tramo a NAP N4-S5	0,152	0,03344	0,05624	-27,09219	-28,63749	-23,69219	-25,23749
				Tramo a NAP N4-S6	0,243	0,05346	0,08991	-27,11221	-28,67116	-23,71221	-25,27116
				Tramo a NAP N4-S7	0,099	0,02178	0,03663	-27,08053	-28,61788	-23,68053	-25,21788
				Tramo a NAP N4-S8	0,293	0,06446	0,10841	-27,12321	-28,68966	-23,72321	-25,28966
Nodo N5	1,335	0,30705	0,33375	Tramo a NAP N5-S1	0,107	0,02354	0,03959	-27,13059	-28,67334	-23,73059	-25,27334
				Tramo a NAP N5-S2	0,307	0,06754	0,11359	-27,17459	-28,74734	-23,77459	-25,34734
				Tramo a NAP N5-S3	0,177	0,03894	0,06549	-27,14599	-28,69924	-23,74599	-25,29924
				Tramo a NAP N5-S4	1,147	0,25234	0,42439	-27,35939	-29,05814	-23,95939	-25,65814
				Tramo a NAP N5-S5	0,03	0,0066	0,0111	-27,11365	-28,64485	-23,71365	-25,24485
				Tramo a NAP N5-S6	0,09	0,0198	0,0333	-27,12685	-28,66705	-23,72685	-25,26705
				Tramo a NAP N5-S7	0,296	0,06512	0,10952	-27,17217	-28,74327	-23,77217	-25,34327
				Tramo a NAP N5-S8	0,42	0,0924	0,1554	-27,19945	-28,78915	-23,79945	-25,38915
Nodo N6	0,715	0,16445	0,17875	Tramo a NAP N6-S1	0,123	0,02706	0,04551	-26,99151	-28,52426	-23,59151	-25,12426
				Tramo a NAP N6-S2	0,3	0,066	0,111	-27,03045	-28,58375	-23,63045	-25,18375
				Tramo a NAP N6-S3	0,242	0,05324	0,08954	-27,01769	-28,56629	-23,61769	-25,16829
				Tramo a NAP N6-S4	0,382	0,08404	0,14134	-27,04849	-28,62009	-23,64849	-25,22009
				Tramo a NAP N6-S5	0,281	0,06182	0,10397	-27,02627	-28,58272	-23,62627	-25,18272
				Tramo a NAP N6-S6	0,42	0,0924	0,1554	-27,05685	-28,63415	-23,65685	-25,23415
				Tramo a NAP N6-S7	0,066	0,01452	0,02442	-26,97897	-28,50317	-23,57897	-25,10317
				Tramo a NAP N6-S8	0,28	0,0616	0,1036	-27,02605	-28,58235	-23,62605	-25,18235

Figura 5.48.Detalle de tabla de cálculo óptico (N4-N6)

5.5 Presupuesto del proyecto

La inversión es una parte de la economía que explica la acción de destinar un cierto capital para comprar bienes que no son de consumo final y que sirven para producir otros bienes, es decir, es la colocación de un capital para obtener una futura ganancia.

En este caso se está invirtiendo en una obra que beneficiará a la urbanización de Los Robles pero que en un futuro se verá retribuido con ganancias.

En este apartado se detalla el presupuesto del despliegue de la red GPON. El presupuesto se ha divido en dos fases para su mejor apreciación. En la fase inicial, como se explica en apartados anteriores, la red crecerá a medida que haya más clientes, por lo que la instalación de los equipos ONT y todo lo que sea necesario para su instalación se adquirirá gradualmente en el tiempo.

Cabe destacar que los siguientes presupuestos son sólo un aproximado de los precios de los equipos existentes en el mercado (a fecha actual) de marcas recomendadas, por lo que se pueden buscar alternativas más o menos costosas. Se decidió realizar los mismos en dólares para así obtener una mejor visión de los distintos precios a lo largo del tiempo (en corto y/o mediano plazo), ya que dicha moneda es una de las más estables mundialmente.

Los siguientes presupuestos consideran únicamente el apartado técnico, esto quiere decir que sólo se tienen en cuenta los valores de los equipos utilizados, por lo que cualquier obra civil no está contemplada, ya que no compete en los alcances de este proyecto.

5.5.1 Presupuesto inicial estimado

Articulo	Modelo	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario (U$S)	Precio total (U$S)
OLT	U fiber OLT	UNIDAD	1	$2.520,00	$2.520,00
Módulo de alimentación	RPS-DC-100W	UNIDAD	2	$76,60	$153,20
Cable ODN multimodo	10G UOC-3	UNIDAD	1	$18,21	$18,21
Módulo GPON OLT SFP+	UF-MM-10G	PACK X2	1	$50,80	$50,80
Edge router	ER-8-XG	UNIDAD	1	$2.231,93	$2.231,93
Módulo GPON OLT SFP	UF-GP-C+	UNIDAD	3	$128,35	$385,05
Patch cord	UF-SM-PATCH-UPC-APC	UNIDAD	3	$2,00	$6,00
Patch cord	UF-SM-PATCH-APC-APC	UNIDAD	6	$3,00	$18,00
Adaptador	SC/APC UF-ADAPTER-APC	PACK X50	1	$8,00	$8,00
Splitter	Modular Preconectado 1:2	UNIDAD	0	$16,00	$0,00
Splitter	Modular Preconectado 1:4	UNIDAD	2	$20,00	$40,00

UPS	SAI Smart-UPS SRT	UNIDAD	1	$563,00	$563,00
Baterías	48 V, 1 kVA y 1,5 kVA	PACK	6	$649,00	$3894,00
Bandeja ODF	ODF12	UNIDAD	1	$52,00	$52,00
Caja de empalme	FK-CEO-4T – Mód. Básico 24F	UNIDAD	7	$50,00	$350,00
Splitter	No preconectorizada 1:8	UNIDAD	6	$16,00	$96,00
NAP	FK-CTO-16MC	UNIDAD	48	$25,00	$1.200,00
Splitter	Salidas Conectorizadas 1:8	UNIDAD	48	$16,00	$768,00
Conector	SC/APC SM MECANICO	UNIDAD	128	$3,00	$384,00
ONT	UF-WIFI	UNIDAD	128	$85,00	$10.880,00
Cable drop FO	BOBINA 1Km	BOBINA	11	$113,00	$1.243,00
Fibra Óptica	BOBINA 4Km	BOBINA	4	$1.780,00	$7.120,00
TOTAL					$31.981,19

Tabla 5.15 Presupuesto inicial estimado.

Como se puede apreciar en la tabla, la obtención de 128 ONTs es un número razonable como inversión para así iniciar la red GPON. El número de clientes inicial puede producir una ganancia estimada suficiente como para reinvertir y comprar el resto de los equipos.

Así es como se obtiene la inversión inicial para este proyecto: TREINTA Y UN MIL NOVECIENTOS OCHENTA Y DOS DOLARES.

5.5.2 Presupuesto final

Articulo	Modelo	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario (U$S)	Precio total (U$S)
OLT	U fiber OLT	UNIDAD	1	$2.520,00	$2.520,00
Módulo de alimentación	RPS-DC-100W	UNIDAD	2	$76,60	$153,20
Cable ODN multimodo	10G UOC-3	UNIDAD	1	$18,21	$18,21
Módulo GPON OLT SFP+	UF-MM-10G	PACK X2	1	$50,80	$50,80
Edge router	ER-8-XG	UNIDAD	1	$2.231,93	$2.231,93
Módulo GPON OLT SFP	UF-GP-C+	UNIDAD	3	$128,35	$385,05
Patch cord	UF-SM-PATCH-UPC-APC	UNIDAD	3	$2,00	$6,00
Patch cord	UF-SM-PATCH-APC-APC	UNIDAD	6	$3,00	$18,00

Adaptador	SC/APC UF-ADAPTER-APC	PACK X50	1	$8,00	$8,00
Splitter	Modular Preconectado 1:2	UNIDAD	3	$16,00	$48,00
Splitter	Modular Preconectado 1:4	UNIDAD	2	$20,00	$40,00
UPS	SAI Smart-UPS SRT	UNIDAD	1	$563,00	$563,00
Baterías	48 V, 1 kVA y 1,5 kVA	PACK	6	$649,00	$3894,00
Bandeja ODF	ODF12	UNIDAD	1	$52,00	$52,00
Caja de empalme	FK-CEO-4T – Mód. Básico 24F	UNIDAD	7	$50,00	$350,00
Splitter	No preconectorizada 1:8	UNIDAD	6	$16,00	$96,00
NAP	FK-CTO-16MC	UNIDAD	48	$25,00	$1.200,00
Splitter	Salidas Conectorizadas 1:8	UNIDAD	48	$16,00	$768,00
Conector	SC/APC SM MECANICO	UNIDAD	393	$3,00	$1.179,00
ONT	UF-WIFI	UNIDAD	393	$85,00	$33.405,00
Cable drop FO	BOBINA 1Km	BOBINA	33	$113,00	$3.729,00
Fibra Óptica	BOBINA 4Km	BOBINA	4	$1.780,00	$7.120,00
TOTAL					$57.835,19

Tabla 5.16 Presupuesto final.

Este presupuesto final se hace a modo de apreciación, por lo cual dicho presupuesto de la red se basa en una ocupación del 100%.

6 CONCLUSIÓN

Para concluir este proyecto, cabe destacar la importancia de efectuar un correcto análisis y estudio del área geográfica objetivo. Es importante tener en cuenta cada detalle que presenta el relevamiento, desde la postería hasta las redes de telecomunicaciones existentes. También tiene relevancia tener un plan bien hecho en lo que respecta al tendido de fibra óptica y todo el diseño que surge a partir de allí. Esto posibilita minimizar el margen de error y no generar tanta incertidumbre a la hora de encarar el proyecto.

En parte, la determinación de la demanda existente para los usuarios de la red GPON permitieron determinar el tipo de abonados, y se logró establecer las divisiones de las distintas zonas para cada nodo. Este punto es clave en el diseño de la red, pues permiten determinar las áreas de cobertura de cada NAP de modo que satisfaga el ancho de banda demandado.

El diseño de la red GPON desde un enfoque de alto y bajo nivel, permite establecer una especie de guía para poder planificarlo de la mejor manera posible. Para ello, el uso de la herramienta AutoCAD es indispensable, ya sea para la extracción directa de atributos de todos los elementos gráficos presentes en los planos de la red como para plasmar el diseño.

Finalmente, se pudo determinar el volumen de la red y su respectivo presupuesto. Se calculó, con el diseño de la red presentado, que es viable, en la fase inicial, dar servicio incluso a un abonado que se encuentre fuera del área geográfica objetivo.

Destacar además qué todo trabajo conlleva su tiempo de planificación, en el caso del presente proyecto. Pero también en la implementación como la ejecución, supervisión y el mantenimiento, por lo que, si se construyen las bases sólidas para poder evitar tener desfase en cuanto a tiempo, dinero y alcance, todo proyecto puede realizarse sin muchas complicaciones.

Por último, cabe destacar que, en el campo de las Telecomunicaciones, las redes de fibra óptica no están siendo implementadas al 100%, sobre todo, en las urbanizaciones emergentes. Existe un gran campo de investigación e implementación de las mismas, ya que la evolución no se presenta en el cable de fibra óptica en sí, sino en toda la tecnología necesaria para el funcionamiento de la red. GPON es una solución sólida, pero la demanda en ancho de banda está creciendo exponencialmente en los últimos años, por lo que es indispensable investigar la posibilidad de implementar tecnologías que logren equiparar dicha demanda.

7 BIBLIOGRAFÍA

1) Bob Chomycz. *Instalaciones de Fibra Óptica*. 225 páginas. Editorial: McGraw-Hill, Interamericana de España, 1998. ISBN 8448136454, 9788448136451.
2) José Manuel Huidobro Moya. *Telecomunicaciones. Tecnologías, Redes y Servicios. 2ª edición actualizada*. 431 páginas. Editorial: Grupo Editorial RA-MA, 2014. ISBN 8499644503, 9788499644509.
3) Edwin San Román Zubizarreta y Cristina San Román. *Redes de acceso y transmisión de Fibra Óptica: alternativas de políticas y regulaciones*. Revista Círculo de Derecho Administrativo. Núm. 12 (2012): Tomo 2. Páginas 39-48.
4) José Antonio Castillo. 2019. *Fibra óptica: qué es, para qué se usa y cómo funciona*. https://www.profesionalreview.com/2019/02/15/fibra-optica-que-es/. Página vigente al 15/04/2021.
5) Antonio del Pago Aguas. 2017. *Familias de cables de fibra óptica*. https://sigmanetwork.es/familias-cables-fibra-optica. Página vigente al 15/04/2021.
6) Héctor R. Martínez. 2013. *Sistemas de transmisión por fibra óptica*. https://www.monografias.com/trabajos99/principios-fibra-optica/principios-fibra-optica.shtml. Página vigente al 15/04/2021.
7) *Leandro. 2017. *Ftth, lo que debes saber*. https://elcajondelelectronico.com/tag/odf/#:~:text=ODF%20%3A%20También%20conocido%20como%20ROM,mangueras%20de%20fibra%20en%20conectores.&text=Los%20ODF%20se%20instalan%20en,red%20GPON%20con%20el%20OLT. Página vigente al 15/04/2021.
8) José Luis Martínez. 2018. *Ventanas de transmisión Fibra Óptica*. https://www.prored.es/ventanas-de-transmision/. Página vigente al 15/04/2021.
9) José Luis Martínez. 2018. *FTTx ¿Qué significa? ¿Qué variantes tiene?* https://www.prored.es/fttx-que-significa-que-variantes-tiene/. Página vigente al 15/04/2021.
10) *Juan. 2018. *Una visión general de la red de acceso FTTH con GPON*. https://xxxamin1314.medium.com/una-visión-general-de-la-red-de-acceso-ftth-con-gpon-104bc8973d65#:~:text=La%20red%20de%20acceso%20FTTH%20basada%20en%20la%20red%20óptica,instalaciones%2C%20de%2032%20a%20128. Página vigente al 15/04/2021.
11) Mac Josan. 2017. *Cómo funciona una conexión de fibra. GPON y FTTH*. https://naseros.com/2017/03/13/como-funciona-una-conexion-de-fibra-gpon-y-ftth/. Página vigente al 15/04/2021.
12) ITU. *Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales*. https://www.itu.int/rec/T-REC-G/s. Página vigente al 15/04/2021.
13) PROMAX. 2019. *Tipos de conectores de fibra óptica: Guía sencilla*. https://www.promax.es/esp/noticias/578/tipos-de-conectores-de-fibra-optica-guia-sencilla/#:~:text=Las%20siglas%20SC%2C%20LC%2C%20FC,láser%20entre%20dos%20fibras%20ópticas. Página vigente al 15/04/2021.
14) FIBRAMARKET. 2018. *Cajas de empalme – cierres de empalme*. https://www.fibramarket.com/cajas-de-empalme/#:~:text=Las%20cajas%20de%20empalme%20de,de%20protección%20IP68%20o%20IP55. Página vigente al 15/04/2021.

15) Conectronica. 2017. *Punto de distribución óptico para FTTH y FTTB*. https://www.conectronica.com/fibra-optica/cajas-de-distribucion/punto-de-distribucion-optico-para-ftth-y-fttb#:~:text=La%20caja%20PDO%20(Punto%20de,en%20espacios%20interiores%20o%20exteriores. Página vigente al 15/04/2021.
16) Ringringenergy. 2016. *Soluciones en Patch cord de fibra óptica*. http://www.ringringenergy.com/noticias-detalle/soluciones-en-patchcord-de-fibra-optica/#:~:text=Un%20Patch%20Cord%20o%20"Cable,vienen%20recubiertos%20de%20mucho%20Kevlar. Página vigente al 15/04/2021.
17) Wikipedia. 2021. *AutoCAD*. https://es.wikipedia.org/wiki/AutoCAD. Página vigente al 15/04/2021.
18) Juan Settecase. 2018. *Introducción Redes HFC, CMTS y DOCSIS* https://juansettecase.blogspot.com/2018/03/introduccion-redes-hfc-cmts-y-docsis.html. Página vigente al 15/04/2021.
19) Carla Gisbert. 2019. *Pasos para diseñar una red de Comunicaciones con Fibra Óptica.* https://medium.com/the-applied-telecom/pasos-para-diseñar-una-red-de-comunicaciones-con-fibra-óptica-959ba5be1034. Página vigente al 15/04/2021.
20) Adolfo García Yagüe. 2014. *GPON y GPON Doctor Introducción y Conceptos Generales*.http://www.ccapitalia.net/descarga/docs/2012-gpon-introduccion-conceptos.pdf. Página vigente al 15/04/2021.
21) Paola Orellana y Andrea Orellana. 2020. *Topologías de Red.*https://sites.google.com/site/tecnocompu32/home/topologias-de-red. Página vigente al 15/04/2021.
22) Saul Herrera. 2020. *Qué es un Router de Borde y uno de Administración. http://foroisp.com/threads/1620-%C2%BFQue-es-un-Router-de-Borde-y-uno-de-Administracion.* Página vigente al 15/04/2021.
23) APC by Schneider Electric. 2021. *Selector de SAI.* https://www.apc.com/shop/ar/es/tools/ups_selector. Página vigente al 15/04/2021.
24) Daniel Anchondo. 2020. *Ubiquiti UFiber: Ejemplo de diseño de una red GPON*. https://soporte.syscom.mx/es/articles/1686234-ubiquiti-ufiber-ejemplo-de-diseno-de-una-red-gpon. Página vigente al 15/04/2021.
25) Ubiquiti. 2021. *UFiber Datasheet*. https://dl.ubnt.com/ds/uf_gpon Página vigente al 15/04/2021.
26) Ubiquiti. 2021. *UFiber GPON - Designing a GPON Network*. https://help.ui.com/hc/en-us/articles/115011654907--UFiber-GPON-Designing-a-GPON-Network. Página vigente al 15/04/2021.
27) Ubiquiti. 2021. *Guía de inicio rápido de UF-OLT*. https://dl.ubnt.com/qsg/UF-OLT/UF-OLT_ES.html. Página vigente al 15/04/2021.
28) Cristina Castillo Jaramillo y Santiago Figueroa Torres. 2013. *Determinación de la demanda, dimensionamiento y diseño de una red de servicios de telecomunicaciones, mediante la tecnología de acceso ftth en el Cantón Gualaceo para la empresa CNT E.P.* 232 Páginas. Universidad Politécnica Salesiana.
29) Echenique Toran, Rodolfo Gabriel y Le Favi, Lucas Nahuel. 2019. *Diseño de una red de fibra óptica para el transporte de streaming de video hacia un sistema de seguridad por videovigilancia gubernamental*. 118 páginas. Universidad Católica de Salta.
30) Roberto Ibáñez Lindes. 2017. *Estudio, diseño y ejecución de una red FTTH en el municipio de Basauri*. 128 páginas. Universidad de Sevilla.

31) Santiago Mauri Isorna. 2017. *Diseño para despliegue de red de fibra óptica con tecnología GPON en polígono industrial de Mairena del Alcor*. 145 páginas. Universidad de Sevilla.
32) Jaime Prieto Zapardiel. 2014. *Diseño de una red de acceso mediante fibra óptica.* 83 páginas. Universidad Politécnica de Madrid.
33) Laura Bibiana Rivera Galeano y Oscar Javier Huertas Campo. 2017. *Estudio para la implementación de Red GPON en el sector comercial de Barrancabermeja.* 36 páginas. Institución Universitaria Politécnica Gran Colombiano.