

Manual de buenas prácticas para diseño, instalación, puesta en marcha y operación de
sistemas FTTH

Paula Camila Sarmiento Pinzón

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniera Electrónica

Director

Homero Ortega Boada

PhD en Ingeniería

Codirector

David Eugenio Forero

MSc de la Información y las Comunicaciones

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas

Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Bucaramanga

2018

Dedicatoria

A mis padres, mi mayor motivación, quienes día a día me apoyaron y guiaron.

A mi abuela, mi alcahueta que siempre estuvo pendiente de mí.

A Musa, por estar siempre conmigo a pesar de la distancia.

A Lila, Benjamin, Azul y Emma, mi hogar y compañía en estos años.

A Joshua, por todo lo vivido, planeado y soñado desde la primera taza de café.

Agradecimientos

A todos y cada uno de los profesores que han aportado sus grandes conocimientos a mi formación académica, personal y profesional.

A La Empresa Telebucaramanga en especial al grupo de Proyectos, por abrirme sus puertas, brindarme una gran oportunidad, enseñarme todo lo necesario y en especial por hacerme sentir en familia.

A todos y cada uno de mis compañeros y amigos de carrera, en especial a Luisa, mi compañera de chocoaventuras.

Y en general, a todas aquellas personas que día a día contribuyeron en mi formación.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	14
1. Objetivos	16
1.1 Objetivo general	16
1.2 Objetivos específicos	16
2.1 Misión	17
2.2 Visión	18
2.3 Historia.....	18
3. Generalidades De La Fibra Óptica.....	19
3.1 Ventajas.....	19
3.2 Estructura física.....	20
3.3 Clasificación de la fibra óptica.....	21
3.3.1 La fibra monomodo.....	23
3.3.2 La fibra Multimodo de índice escalonado.....	23
3.3.3 La fibra Multimodo de índice gradual:	24
3.4 Multiplexación por división en longitud de onda (WDM).....	24
4. Tecnología GPON.....	26
4.1 Arquitectura de la red.....	27
4.2 Principales elementos de la red	29
4.2.1 OLT (Optical Line Terminal).....	29
4.2.2 ONT (Optical Network Terminal)	30

4.2.3 Splitter	31
4.3 Recomendaciones UIT -T G.984 GPON	32
5. Red FTTH	34
5.1. Tramos de red y elementos adicionales	34
5.1.1. Red de alimentación	35
5.1.2 Red de distribución	38
5.1.3 Red de dispersión	40
5.1.4 Red de usuario	42
5.2. Diseño de red FTTH.....	42
5.2.1. Verificación de Infraestructura.	43
5.2.2. Diseño.	44
5.2.3. Digitalización y Cartas de Conectividad.....	46
5.2.4. Presupuesto Óptico de Red.	48
6. Instalación, puesta en marcha y operación.....	49
6.1. Buenas y malas prácticas de construcción	49
6.2. Pruebas de puesta en marcha.....	53
6.2.1 Pruebas de potencia.....	54
6.2.2 Pruebas de reflectometría	54
6.3 Operación Plataforma UNM2000	57
7. Conclusiones	59
8. Referencias.....	60

Lista de Tablas

Tabla 1. Pérdidas de potencia en Splitter

32

Lista de Figuras

Figura 1. Telebucaramanga S.A E.S.P (Telebucaramanga, 2016)	17
Figura 2. Partes principales de una fibra óptica (Castro, 2014)	21
Figura 3. Tipos de una fibra óptica. Fibra Óptica, Wikipedia.	22
Figura 4. Viaje de rayo óptico en Fibra monomodo (Barroso, 2012)	23
Figura 5. Viaje de rayo óptico en Fibra de índice escalonado (Barroso, 2012)	24
Figura 6. Viaje de rayo óptico en Fibra de índice escalonado (Barroso, 2012)	24
Figura 7. Espectro electromagnético usado en comunicaciones ópticas (Pinto, 2014)	25
Figura 8. Arquitectura FTTx (Barroso, 2012)	27
Figura 9. Subida y bajada de datos en tecnología GPON (Barroso, 2012)	28
Figura 10. OLT AN5516-06 Fiberhome	29
Figura 11. OLT con tarjetas, puertos y patch cords instalados.	30
Figura 12. ONT instalada	31
Figura 13. Splitter 1:4	32
Figura 14. ODF	34
Figura 15. Bandejas dentro de ODF	35
Figura 16. GO ubicado en Cra 26 con Calle 17	36
Figura 17. Ubicación de bandejas dentro de un GO	36
Figura 18. Domo	37
Figura 19. Ubicación de bandejas y splitters dentro de un Domo	37

MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS FTTH	10
Figura 20. FDP instalada en el barrio Ciudadela	38
Figura 21. FDB instalada en el barrio Prado	39
Figura 22. NAP Indoor con prueba de potencia instalada en Edificio Vicenza, barrio Cabecera	39
Figura 23. Riser BOX con prueba de potencia instalada en Edificio Vajamar, barrio Antonia Santos	40
Figura 24. Fotografías de una Roseta	41
Figura 25. Cable Drop	41
Figura 26. Patch Cord UPC/APC	42
Figura 27. Levantamiento de canalización barrio La Universidad	43
Figura 28. Plano levantamiento de canalización barrio Modelo	44
Figura 29. Diseño en borrador de un GO del barrio Alarcón	45
Figura 30. Plano final de diseño del barrio Modelo	46
Figura 31. Topología de red óptica en GDi Vizion	47
Figura 32. Análisis Presupuesto Óptico de Red	48
Figura 33. FDP y fibra correctamente instaladas en cámara	50
Figura 34. Cámara totalmente desordenada	50
Figura 35. Cámara demasiado llena	50
Figura 36. Espuma de polietileno en tuberías	51
Figura 37. Espuma de polietileno en entrada de GO	51
Figura 38. Correcta instalación de elementos con pita guía	52
Figura 39. Bandeja con splitters correctamente ubicados y marquillados	52
Figura 40. Zona de trabajo correctamente demarcada	53
Figura 41. Prueba de potencia de NAP Indoor que arroja un valor de -16.18 dBm	54

Figura 42. OTDR	55
Figura 43. Prueba de reflectometría sin daños en la fibra	56
Figura 44. Prueba de reflectometría con daño en la fibra a 769,5 m de distancia	56
Figura 45. Información de ONTs asociadas a cada OLT	57
Figura 46. Datos de ONT, SLOT, PON y condiciones de operación de ONT en UNM2000	58

Resumen

Título: MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS PARA DISEÑO, INSTALACIÓN, PUESTA EN MARCHA Y OPERACIÓN DE SISTEMAS FTTH.

Autor: PAULA CAMILA SARMIENTO PINZÓN.

Palabras clave: GPON. FTTH. Fibra óptica. Divisor óptico.

Gracias al convenio entre la Universidad Industrial de Santander y la empresa de Telecomunicaciones de Bucaramanga, se llevó a cabo una práctica empresarial durante seis meses que consistió principalmente en dar apoyo al grupo de Diseño de red FTTH en todas sus labores. Dichas labores se enfocaron en la verificación de infraestructura y censo, el diseño del tendido de fibra óptica con todos sus elementos por los diferentes sectores y la digitalización de los mismos, la creación de las cartas de conectividad y la verificación y aprobación de viabilidades técnicas asociadas a nuevos predios. Todo esto dio como resultado la entrega de cuatro diseños que fueron aprobados, implementados y puestos en marcha.

Sin embargo, se buscó dar un valor agregado a este trabajo de manera que beneficiara tanto a la empresa como a la universidad. Es por esto que se decidió estructurar el presente manual de buenas prácticas para diseño, instalación, puesta en marcha, y operación de sistemas FTTH, de manera que brinde una introducción a los nuevos integrantes de la empresa sobre los trabajos que se desarrollan y así mismo permita que el grupo de investigación apropie los conocimientos básicos sobre la tecnología de vanguardia. Para esto, se realizó un análisis y descripción de la arquitectura adoptada por la empresa en sus despliegues de FTTH basada en la tecnología GPON, se estudiaron los elementos de la red, así como sus diferentes tramos, se dieron detalles de los procedimientos necesarios para crear los diseños, y se mostraron las buenas prácticas que se llevan a cabo durante la puesta en marcha de estos sistemas, para finalmente ser probados y verificados mediante pruebas de potencia óptica y reflectometría.

Abstract

Title: GOOD PRACTICES MANUAL FOR DESIGN, INSTALLATION, START-UP AND OPERATION OF FTTH SYSTEMS.

Author: PAULA CAMILA SARMIENTO PINZÓN

Keywords: GPON. FTTH. Optical Fiber, Splitter.

Due to the agreement between the Industrial University of Santander and the Telecommunications Company of Bucaramanga, a business practice was carried out for six months, which consisted mainly of giving support to the FTTH network Design group in all its tasks. These tasks focused on the verification of infrastructure and census, the design of the fiber optic cable laying with all its elements by the different sectors and their digitization, the creation of the connectivity charts and the verification and approval of associated technical viabilities to new properties. All this resulted in the delivery of four designs that were approved, implemented and put into operation.

However, we sought to add value to this work in a way that would benefit both the company and the university. That is why it was decided to structure this manual of good practices for design, installation, commissioning, and operation of FTTH systems, in order to provide an introduction to the new members of the company about the work being carried out and likewise allow the research group to acquire the basic knowledge about cutting-edge technology. For this, an analysis and description of the architecture adopted by the company in its FTTH deployments based on GPON technology was carried out, the elements of the network as well as its different sections were studied, details of the necessary procedures were given to create the designs, and showed the good practices that are carried out during the implementation of these systems, to finally be tested and verified by optical power and reflectometry tests.

Introducción

La empresa de Telecomunicaciones de Bucaramanga Telebucaramanga S.A E.S.P es el principal líder local en la nueva tecnología llamada FTTH (Fiber To The Home), la cual está reemplazando las redes existentes en cobre por redes de fibra óptica que, a diferencia de las demás redes, permite llegar hasta el cliente con fibra óptica sin necesidad de usar tramos en cobre, al mismo tiempo que hace uso de equipos completamente ópticos para las conmutaciones, eliminando la necesidad de convertir las señales ópticas a eléctricas al pasar por los divisores ópticos. Estas novedosas cualidades permiten prestar servicios de Telefonía Fija, Internet Banda Ancha y TV Digital Satelital con mayor capacidad y calidad para hogares, clientes corporativos y pymes. Para llevar a cabo esta iniciativa, Telebucaramanga debe ejecutar varias etapas: la primera de ellas es un estudio de planeación en el cual se definen las zonas con mayor demanda de servicio del área metropolitana, y se realizan los correspondientes censos para contabilizar los posibles clientes. A partir de ello, se analiza la distribución de los Gabinetes Ópticos, distribuyendo las zonas por centrales y número de clientes. Tras analizar la infraestructura existente, se ejecutan las obras civiles necesarias y se diseña el tendido de la red de fibra óptica, que posteriormente es autorizado para ser construido siempre y cuando se compruebe el presupuesto óptico de la red. Una vez instalados todos los elementos, se requiere verificar y probar las redes instaladas, para lo cual se realizan pruebas de reflectometría y potencia óptica. Todo este proceso debe estar en permanente supervisión de expertos.

Para los procesos formativos, de investigación y de posible cooperación con empresas de telecomunicaciones, la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la

UIS, a través del grupo de investigación y desarrollo RadioGis, ha detectado la necesidad de realizar una práctica en Telebucaramanga para apropiarse de experiencias en ingeniería de redes fotónicas (estudios, diseño, implementación y pruebas de redes reales en diferentes partes de Bucaramanga) y documentarlas, en forma de un manual de buenas prácticas que favorece igualmente a la UIS y a Telebucaramanga como guía para lograr diseños, instalaciones, puestas en marcha y operaciones de sistemas FTTH de manera adecuada y eficiente.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Elaborar un manual de buenas prácticas para diseño, instalación, puesta en marcha y operación de sistemas FTTH en la empresa TELEBUCARAMANGA S.A E.S.P.

1.2 Objetivos Específicos

- Realizar una descripción de las arquitecturas FTTH y los equipos de red de distribución óptica pasiva.
- Identificar los criterios de diseño que garanticen una óptima distribución de la red con tecnología FTTH.
- Diseñar el tendido de fibra óptica en varios sectores del área metropolitana de Bucaramanga utilizando la infraestructura existente, digitalizar el diseño en AutoCAD y actualizar el inventario de recursos físicos en GDi Vizion.
- Realizar el análisis de presupuesto óptico, pruebas de reflectometría y potencia óptica en nuevas instalaciones de FTTH en el área metropolitana.

2. Generalidades de la Empresa



Figura 1. Telebucaramanga S.A E.S.P (Telebucaramanga, 2016).

Telebucaramanga es la primera compañía de telefonía de Bucaramanga y su Área Metropolitana. Hoy como empresa de Telecomunicaciones presta los servicios de Telefonía Fija, Internet Banda Ancha y TV Digital Satelital a hogares y pymes, siendo la compañía líder en participación del mercado local de Telefonía e Internet (Telebucaramanga, 2016).

2.1 Misión

“Satisfacer las necesidades de nuestros clientes mediante la innovación en la prestación de servicios de telecomunicaciones sosteniendo el liderazgo en el mercado y los indicadores de rentabilidad.” (Telebucaramanga, 2016).

2.2 Visión

“En el año 2018, seremos reconocidos como la empresa líder de servicios integrales e innovadores de telecomunicaciones a nivel local, con indicadores de calidad y servicio que superan las expectativas de nuestros clientes.” (Telebucaramanga, 2016).

2.3 Historia

Telebucaramanga es una compañía que ha contribuido con el mejoramiento y modernización de nuestra región por eso a lo largo de la historia podemos ver cómo ha dado su aporte a cada una de las familias Santandereanas:

- 1886: Llegaron las primeras centrales telefónicas a Bucaramanga.
- 1888: Con la moderna tecnología de aquel entonces; se organizó una sociedad con la autorización del colegio municipal para operar durante 30 años con un conmutador de 35 líneas. El 1 de noviembre de este año se realizó la primera llamada.
- 1923: Se instala un conmutador con mayor capacidad y con la última tecnología del momento.
- 1950: Se inició la venta del servicio de larga distancia.
- 1962: La empresa fue vendida al municipio, liquidándose para el beneficio de los accionistas.
- 1972: Se dio vida a las Empresas Públicas de Bucaramanga mediante acuerdo del Concejo Municipal, encargándose además de la telefonía, del matadero, plaza de ferias, mercados públicos, barrido de calles y recolección de basuras.
- 1994: La empresa cambió su razón social a Empresas Públicas de Bucaramanga E.S.P

- 1997: El Concejo Municipal ordenó la transformación de la empresa en una sociedad de economía mixta por acciones que en adelante se llamaría Empresas Públicas de Bucaramanga S.A E.S.P.
- 1998: Se aprobó la escisión y en consecuencia se creó la EMAB y la sociedad de Inversiones de Bucaramanga.
- 1999: El Municipio de Bucaramanga decide vender el 56% del total de las acciones, las cuales son adquiridas por TELECOM, convirtiéndose en el mayor accionista de la empresa.
- 2000: Cambia el nombre de la compañía, y por ende su imagen, transformándose en Empresa de Telecomunicaciones de Bucaramanga S.A E.S. P, - TELEBUCARAMANGA- (Telebucaramanga, 2016).

3. Generalidades de la fibra óptica

La Fibra Óptica es una delgada hebra de vidrio o silicio fundido utilizada para conducir luz, la cual representa la información que se transmite de manera guiada, y requiere dos filamentos para establecer una comunicación bidireccional, con transmisor y receptor. (Proaño, 2012).

3.1 Ventajas

Los sistemas convencionales basados en cobre están siendo reemplazados por fibra óptica debido a sus grandes cualidades y ventajas, a continuación, se nombran algunas de ellas:

- Gracias a su tamaño y ligereza, es posible empaquetar muchas fibras en un solo cable, optimizando espacios en tuberías y facilitando las instalaciones.
- La calidad de transmisión aumenta debido a su naturaleza dieléctrica, puesto que le permite ser utilizada en ambientes electromagnéticamente contaminados y no genera interferencia.
- Brinda seguridad de la información, puesto que no emite radiaciones por lo que no es detectable con facilidad, y permite localizar intrusiones en las líneas gracias a las pruebas de potencia.
- El volumen de información que puede ser transportado es bastante elevado, al igual que las velocidades alcanzadas.
- Permite lograr comunicaciones en distancias más largas que otros medios de transmisión gracias a su mínima atenuación. Puede alcanzar hasta 20 Km.
- Permite localizar fallas o daños a distancia por medio de telemetría, lo que aumenta su eficacia en los procedimientos de mantenimiento (Bolívar y Valdesueiro, 2016).
- Su principio de funcionamiento basado en multiplexación por longitud de onda permite transmitir varios canales por un solo hilo de fibra, cada uno por una longitud de onda diferente. Esto que hace que la red sea mucho más compacta, pero con la capacidad necesaria para atender la creciente demanda de usuarios. WDM
- Ofrece una fácil instalación de la red y la activación de nuevos clientes gracias a la distribución de los elementos ópticos en el diseño de la red.

3.2 Estructura física

La fibra óptica está constituida por tres capas: el núcleo, el revestimiento y la cubierta, como se observa en la Figura 2.

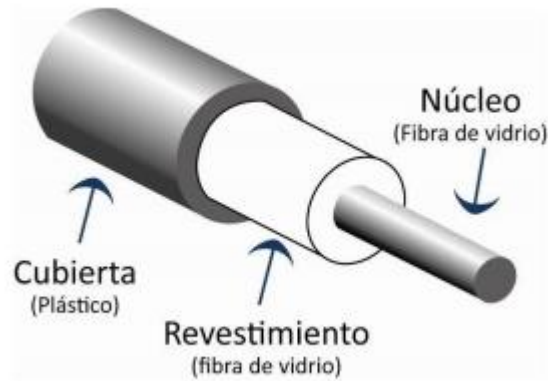


Figura 2. Partes principales de una fibra óptica (Castro, 2014).

El núcleo de la fibra, o también llamado Core, es la parte interna por la cual se propagan las ondas. Suele medir entre 8 y 11 μm para monomodo, y entre 50 y 62,5 μm para fibras multimodo.

El revestimiento o Cladding, es la capa intermedia que confina la luz en el centro de la fibra. Posee un diámetro de 125 μm .

La cubierta de la fibra, o también llamada buffer es la capa externa de la fibra que brinda protección mecánica. Generalmente tiene tres capas: la funda primaria de 250 μm , la funda de silicona de 400 μm y la funda exterior de polietileno de 900 μm de diámetro (Pinto, 2014).

3.3 Clasificación de la fibra óptica

La fibra óptica se puede clasificar de dos maneras, según su estructura o según su modo de propagación. Según su estructura pueden ser holgadas o densas. Las fibras de estructura holgada

son grupos de seis, ocho, diez o doce fibras agrupadas e introducidas en una protección secundaria (normalmente de 1 a 3 mm de espesor). Las fibras densas están recubiertas por su propia protección secundaria, normalmente de 900 μm .

Según su modo de propagación la fibra puede ser clasificada en dos grupos, de modo único o monomodo, y de modo múltiple o multimodo. El modo se refiere a la trayectoria que puede tener la luz al interior de la fibra. El perfil de índice de la fibra óptica es la representación gráfica del índice de refracción en la sección transversal de la fibra. El índice de refracción se grafica en el eje horizontal y la distancia radial en el eje vertical. El perfil de índice puede ser escalonado o graduado: el índice escalonado tiene un revestimiento fuera del núcleo con índice de refracción uniforme pero menor que el del núcleo, mientras que las fibras de índice graduado tienen el núcleo sin revestimiento y

el índice de refracción del núcleo no es uniforme, es máximo en el centro y disminuye a medida que se aleja. Esto puede observarse en la figura 3.

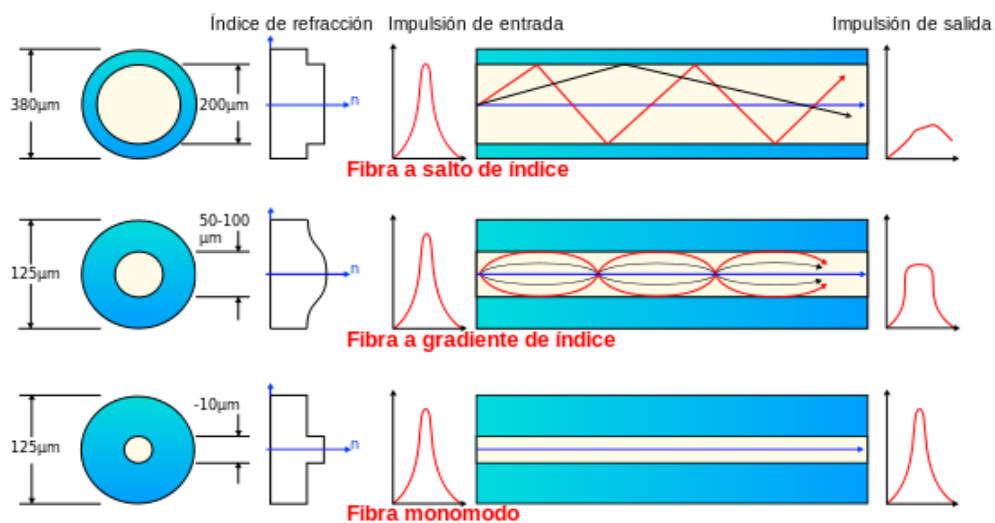


Figura 3. Tipos de una fibra óptica. Fibra Óptica, Wikipedia.

De esta manera, la fibra óptica puede clasificarse en tres grupos de acuerdo con su modo de propagación:

3.3.1 La fibra monomodo: Tiene un núcleo de pequeño diámetro para que la luz solo tenga una trayectoria que seguir al propagarse por el cable. El índice de refracción del núcleo es ligeramente mayor al del revestimiento (1,5 a 1,49). El ángulo crítico está entre 70° y 77° , lo que hace que el ángulo de aceptación sea pequeño y se dificulte acoplar la luz en la interfaz aire-fibra. Estas fibras son más costosas, pero tienen las mejores características de transmisión.

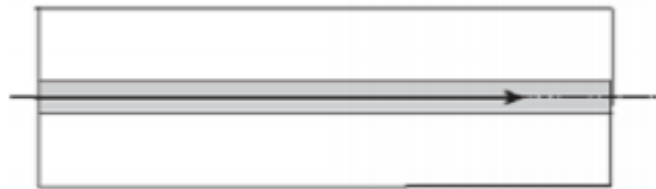


Figura 4. Viaje de rayo óptico en Fibra monomodo (Barroso, 2012).

3.3.2 La fibra Multimodo de índice escalonado: Tiene un núcleo con mayor diámetro que permite mayor entrada de luz a la fibra y a su vez el ángulo de aceptación es mayor. Los pulsos se pueden transmitir con diferentes frecuencias o modos y tomar diferentes caminos, como se observa en la Figura 5. Suelen ser las más económicas pero las de peores características de transmisión.

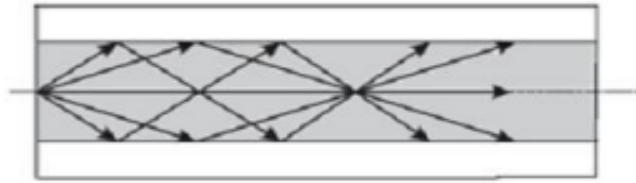


Figura 5. Viaje de rayo óptico en Fibra de índice escalonado (Barroso, 2012).

3.3.3 La fibra Multimodo de índice gradual: En las cuales el índice de refracción del núcleo no es uniforme, disminuyendo a medida que se aleja del centro, mostrado en la Figura 6. En este tipo de fibra la luz se propaga por refracción, lo que hace que a medida que se acerca al centro la velocidad de propagación sea menor (Pinto, 2014).

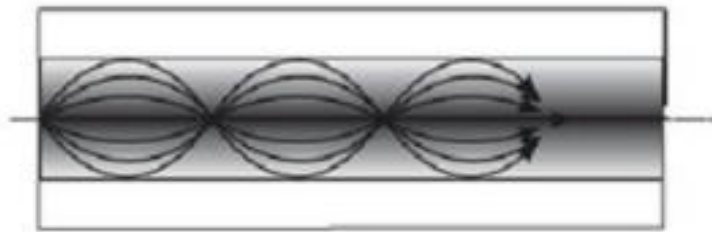


Figura 6. Viaje de rayo óptico en Fibra de índice gradual (Barroso, 2012).

3.4 Multiplexación por división en longitud de onda (WDM)

Wavelength Division Multiplexing, o multiplexación por división en longitud de onda, es la gran cualidad de las redes GPON. Permite que un único hilo de fibra pueda transmitir hasta 64 canales, utilizando portadoras ópticas de distintas longitudes de onda. En la figura 7 se observa el espectro electromagnético utilizado en comunicaciones ópticas.

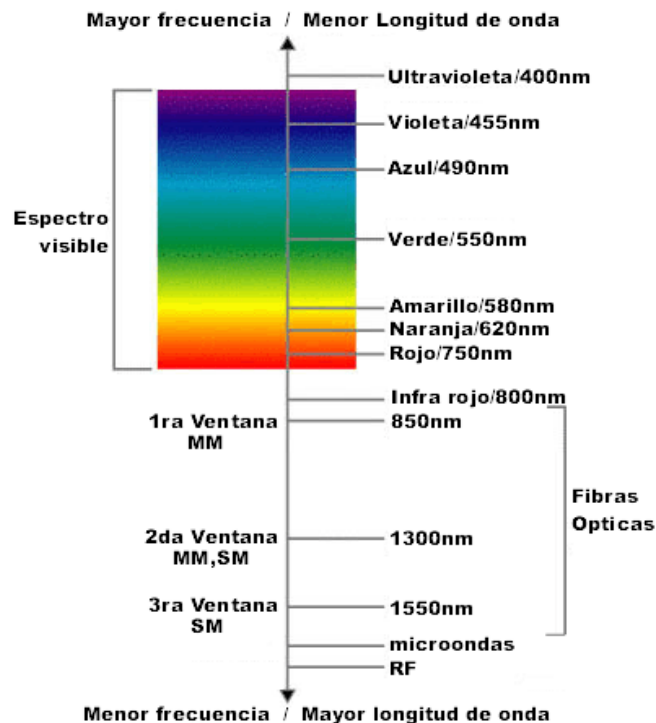


Figura 7. Espectro electromagnético usado en comunicaciones ópticas (Pinto, 2014).

Existen dos tipos de sistemas, los SWDM y los DWDM. Los SWDM hacen referencia a la multiplexación por división en longitud de onda simple, y son sistemas en los cuales las longitudes de onda de las señales portadoras se encuentran ampliamente distanciadas entre ellas. Por otro lado, los DWDM hacen referencia a la multiplexación por división en longitud de onda densa, y son aquellos sistemas en los que la diferencia entre las longitudes de onda es muy reducida, lo cual aumenta la densidad de canales que puede transmitir. La DWDM está definida para la banda de 1530 a 1610 nm, con un espaciado entre canales de 0,8 y 1,6 nm. Es en esta última técnica de multiplexación en la cual se basa la tecnología GPON, lo que le permite tener su ventajosa arquitectura que aumenta su capacidad de cobertura sin necesidad de tender gran cantidad de cables.

4. Tecnología GPON

La tecnología GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network) hace referencia a una Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit, y se trata de las estandarizaciones de las redes PON a velocidades superiores a 1 Gbps. Esta tecnología fue aprobada por ITU-T en las recomendaciones G.984.1, G.984.2, G.984.3, G.984.4 y G.984.5.

El soporte global multiservicio, el alcance físico de 20 Km, el soporte para varias tasas de transferencia, las facilidades en gestión, operación, y mantenimiento de la red y la seguridad a nivel de protocolo son las principales características que hacen que el estándar GPON sea actualmente el mejor para ofrecer FTTx. La tecnología FTTx (Fiber to the...) se refiere a cualquier arquitectura de acceso de banda ancha sobre fibra óptica hasta diferentes alcances, figura 8: al hogar FTTH (Fiber to the home), al edificio FTTB (Fiber to the Building), a un punto remoto FTTC (Fiber to the Curb), o hasta el nodo FTTN (Fiber to the Node).

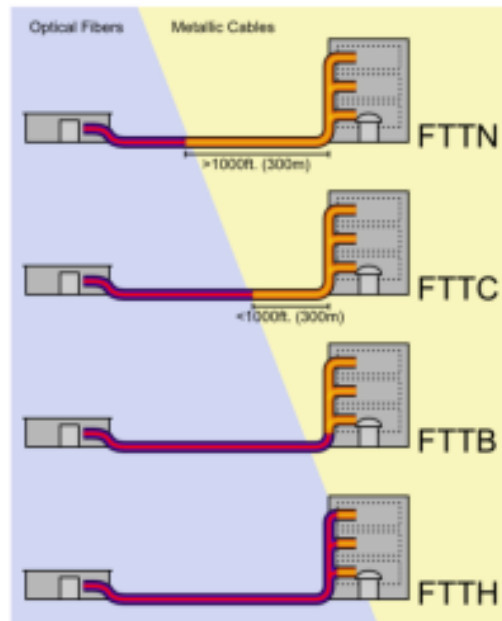


Figura 8. Arquitectura FTTx (Barroso, 2012).

4.1 Arquitectura de la red

La arquitectura de esta red se basa en sistemas sin elementos electrónicos activos, lo que quiere decir que solo se compone de elementos pasivos que no necesitan alimentación por lo que pueden ser ubicados en cualquier lugar. Estas arquitecturas se basan principalmente en divisores ópticos pasivos llamados Splitter, que dividen el haz de luz y lo distribuye a diferentes fibras dependiendo de la dirección del mismo haz. De esta manera se puede compartir costes en un mismo segmento óptico entre distintas terminales, reduciendo el número de fibras a usar para una misma cantidad de clientes.

La red está compuesta por un Terminal de Línea Óptica (OLT) que se encuentra en las centrales de comunicaciones de los operadores, y se conecta con las Terminales Ópticas de Red

(ONT) que se encuentran en las residencias de los clientes mediante un cable de fibra óptica. Esta red es bidireccional, por lo que se deben tener diferentes longitudes para bajada y para subida: 1310 nm en subida o upstream, desde la ONT hasta la OLT, y 1590 nm en downstream o bajada de la OLT a la ONT. Sin embargo, se puede usar una tercera longitud de onda de 1550 nm de bajada para broadcast de video RF mediante WDM (Multiplexado por división en longitudes de onda), (Barroso, 2012) como se observa en la figura 9.

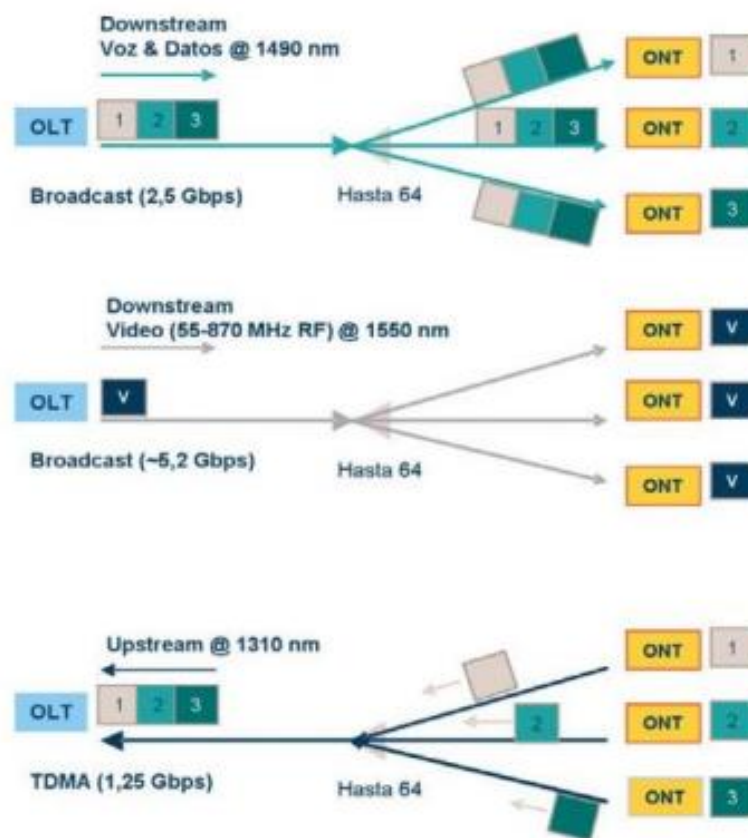


Figura 9. Subida y bajada de datos en tecnología GPON (Barroso, 2012).

4.2 Principales elementos de la red

4.2.1 OLT (Optical Line Terminal): Este elemento es el que recibe la información de todos los clientes, y permite el enlace de la red externa con el proveedor de servicio de internet. Su función principal es distribuir la señal hacia todas las ONTs que tenga relacionadas, su apariencia se muestra en la figura 8. Está ubicada en las centrales de comunicaciones y realiza funciones de router para todos los usuarios. Una OLT puede soportar hasta 128 ONT. Es un elemento activo en el cual se encuentran almacenados los puertos PON, los que a su vez son instalados y organizados en SLOTS o tarjetas. Cada puerto PON alimenta un Splitter de Primer Nivel, y cada Tarjeta contiene 16 puertos, como se muestra en la figura 10. A su vez, una misma OLT contiene 6 tarjetas. Ofrece soporte triple play (datos, voz y video) aunque actualmente la red FTTH solamente está soportando los servicios de voz e internet, sin embargo, la prestación del servicio de televisión por FTTH (IPTV) está en etapa de pruebas. La figura 11 muestra una OLT con tarjetas, puertos y patch cords instalados.



Figura 10. OLT AN5516-06 Fiberhome.

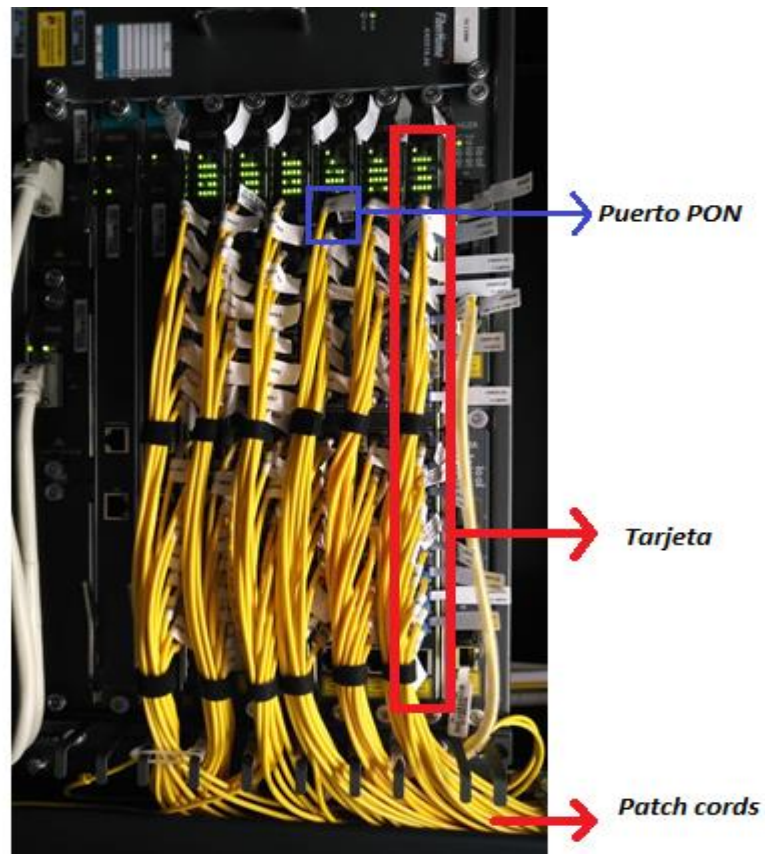


Figura 11. OLT con tarjetas, puertos y patch cords instalados.

4.2.2 ONT (Optical Network Terminal): Es un elemento activo que se ubica en la residencia de cada usuario, el cual se muestra en la figura 12. Es el encargado de convertir la señal óptica a eléctrica. Cuenta con 4 puertos para conexiones ethernet y brinda servicio de conexión inalámbrica Wi-Fi.



Figura 12. ONT instalada.

Como se observó en la figura 9, La OLT en bajada transmite en broadcast, es decir, toda la información la transmite al mismo tiempo para todas las ONT, y son estas las encargadas de filtrar la información por medio de un password.

4.2.3 Splitter: Son elementos pasivos que permiten la conexión punto a multipunto. Cuenta con una fibra de entrada y varias de salida, dependiendo su relación. En la figura 13 se muestra un splitter 1:4. Estos divisores ópticos cumplen la función de dividir la señal por longitudes de onda y distribuirlas, lo cual permite que una sola fibra conectada a la OLT pueda conectarse con hasta 64 ONTs en diferentes lugares. Existen divisores de primer nivel y segundo nivel, y pueden tener relaciones 1:4, 1:8 o 1:16. Es uno de los puntos donde se genera una mayor pérdida de potencia, en la tabla 1 se muestran las pérdidas aproximadas generadas por los splitter según la relación de número de puertos que tengan.



Figura 13. Splitter 1:4.

Número de Puertos	Pérdida de Potencia en Splitter (dB)
2	3
4	6
8	9
16	12
32	15
64	18

Tabla 1. Pérdidas de potencia en Splitter.

4.3 Recomendaciones UIT -T G.984 GPON

Las recomendaciones aprobadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT son las que regulan las características de los equipos para el soporte de las tecnologías GPON

buscando mejorar los costos y la competitividad. Estos estándares fueron aprobados entre el 2013 y 2014. El grupo de la UIT encargado de la normalización de las Telecomunicaciones (UIT-T) de la serie G (Sistemas y Medios de Transmisión, Sistemas y Redes Digitales) aprueba las siguientes cinco recomendaciones:

- **UIT-T G.984.1:** Es una introducción al estándar GPON, la cual describe las características y generalidades relacionadas con el funcionamiento y la constitución, así como las topologías usadas en estas redes (UIT, 2018).
- **UIT-T G.984.2:** Contiene las recomendaciones, especificaciones y requisitos para el manejo de la capa dependiente de los medios físicos PDM (Physical Media Dependent) para velocidades de línea nominales de 1244,160 Mbit/s y 2488,320 Mbit/s en sentido descendente y 155,520 Mbit/s, 622,80 Mbit/s, 1224,160Mbit/s y 2488,320 Mbit/s en sentido ascendente (UIT, 2018).
- **UIT-T G.984.3:** Son las especificaciones de la Capa de Convergencia de Transmisión TC (Transmission Convergence), y describe las características que se deben considerar para el diseño de la red, teniendo en cuenta distancias, seguridad y funcionalidad (UIT, 2018).
- **UIT-T G.984.4:** Son las recomendaciones de la interfaz de control y gestión del protocolo OMCI (ONT Management and Control Interface) de la terminación de la red óptica ONT. Describe la comunicación entre la OLT y la ONT, permitiendo tener control sobre configuración, averías y calidad de funcionamiento de la ONT (UIT, 2018).
- **UIT-T G.984.5:** Estas recomendaciones abarcan las bandas y longitudes de onda que se deben reservar para el futuro y que deben ser superpuestas por multiplexación por longitud de onda para maximizar la distribución de la red (UIT, 2018).

5. RED FTTH

5.1. Tramos de red y elementos adicionales

La red FTTH está dividida dos, la correspondiente a planta interna y la correspondiente a planta externa. El presente manual se enfoca en la red correspondiente a planta externa. La red se distribuye desde la central en donde se encuentra la OLT, hasta llegar a la ONT ubicada en el correspondiente lugar de cada usuario. Para hacer este recorrido se utilizan elementos adicionales que contienen divisores ópticos, y son ubicados estratégicamente para lograr una adecuada cobertura de la red.

Adicionalmente, en las centrales están ubicados los Repartidores Ópticos Modulares (ODF), los cuales son utilizados para la interconexión y terminación de los cables de fibra óptica y se muestran en la figura 14.



*Figura 14.*ODF.

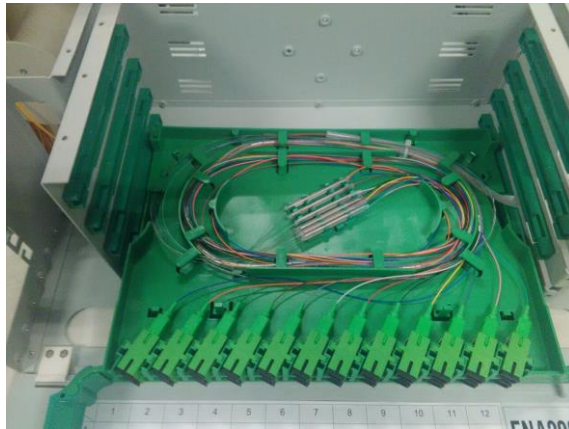


Figura 15. Bandejas dentro de ODF.

Dentro de los ODF se disponen las bandejas, las cuales almacenan las fusiones internas de la fibra. Esto se muestra en la figura 15.

5.1.1. Red de alimentación: Se trata de la red comprendida entre la ONT y los Gabinetes Ópticos GO. Los Gabinetes Ópticos son elementos ubicados sobre los armarios de cobre o en bases de cemento, como se observa en la figura 16 y son distribuidos por los diferentes barrios. Tienen capacidad para aproximadamente 1900 clientes, de manera que dependiendo de la cantidad de posibles clientes que tenga un barrio, se colocan los Gabinetes Ópticos necesarios para su cobertura. En los Gabinetes Ópticos se encuentran los splitter de primer nivel, los cuales están distribuidos en bandejas. Un Gabinete Óptico puede almacenar máximo diez bandejas, como se muestra en la figura 17.



Figura 16. GO ubicado en Cra 26 con Calle 17.



Figura 17. Ubicación de bandejas dentro de un GO.

La fibra que conecta las centrales con los Gabinetes Ópticos es llamada Fibra de Alimentación, y generalmente se utilizan fibras de 144 o de 96 hilos. Cuando existen varios Gabinetes Ópticos que deben ser alimentados por la misma fibra, pero tienen diferentes rutas de alimentación, se hace necesario el uso de Domos, figura 18. Estos elementos se ubican en las cámaras externas, por lo que deben ser totalmente resistentes a condiciones de intemperie. Su uso principal es el de almacenar sangrías (divisiones) de la fibra o empalmes, los cuales también son ubicados de manera ordenada en bandejas al interior del domo, como se observa en la imagen 19.



Figura 18. Domo.



Figura 19. Ubicación de bandejas y splitters dentro de un Domo.

5.1.2 Red de distribución: La red de distribución hace referencia al tramo comprendido entre los Gabinetes Ópticos y las Cajas Terminales Ópticas, o CTO. Las CTO pueden ser ubicadas en cámaras o en postes, para el caso de las cámaras, las CTO se denominan FDP, mientras que las instaladas en postes se denominan FDB. Las CTO contienen los splitter de segundo nivel, y para el caso de las FDPs y las FDBs, tienen la capacidad de almacenar dos splitter de relación 1:8, es decir que cada CTO cubrir hasta 16 clientes. Para el caso de edificios que tienen acometida y ductería interna, se pueden instalar dos elementos, las Riser BOX con capacidad para 8 clientes, y las NAP Indoor con capacidad para 16 clientes. Estos elementos son ubicados de manera estratégica en los strips existentes en cada edificación. Estos elementos se pueden observar en las figuras 20, 21, 22 y 23.



Figura 20. FDP instalada en el barrio Ciudadela.

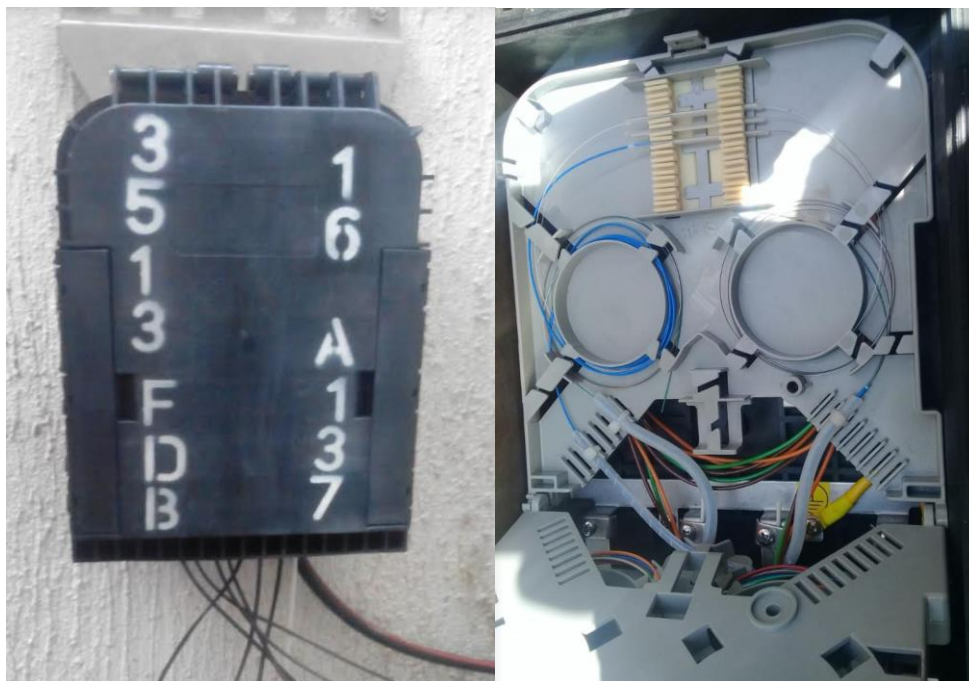


Figura 21. FDB instalada en el barrio Prado.



Figura 22. NAP Indoor con prueba de potencia instalada en Edificio Vicenza, barrio Cabecera.



Figura 23. Riser BOX con prueba de potencia instalada en Edificio Vajamar, barrio Antonia Santos.

5.1.3 Red de dispersión: La red de dispersión corresponde al segmento de red entre las CTO y la roseta óptica al interior de los domicilios de los clientes, figura 24. Las rosetas cumplen la misma función que los domos de guardar fusiones y sangrías, pero son instaladas generalmente al interior de los edificios. Las rosetas son alimentadas mediante cable de Fibra tipo Drop, que son cables de fibra óptica pero que contienen un único hilo figura 25.

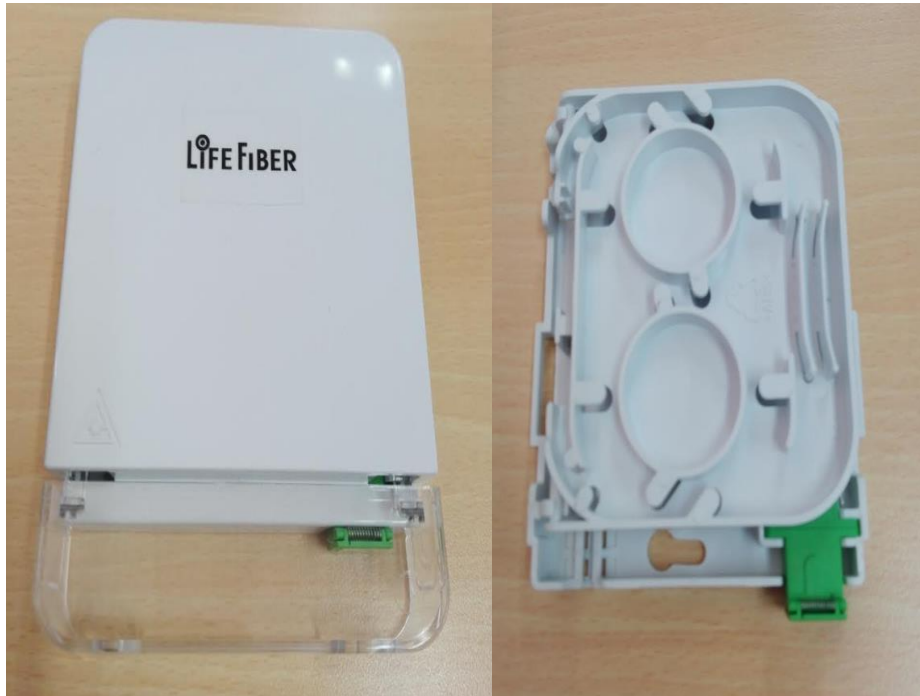


Figura 24. Fotografías de una Roseta.



Figura 25. Cable Drop.

5.1.4 Red de usuario: La red de usuario es el último tramo comprendido entre la roseta óptica y la ONT. Para realizar estas conexiones se utilizan Patch Cords tipo UPC/APC (Conector Ultra Pulido / Conector Pulido en Ángulo), mostrado en la figura 26, los cuales traen los conectores ópticos adecuados, a diferencia del cable drop que sí necesita ser empalmado mecánicamente.



Figura 26. Patch Cord UPC/APC.

5.2. Diseño de red FTTH.

Para el diseño de la red FTTH se hacen necesarias tres etapas: censado, levantamiento y verificación de la canalización existente, diseño del tendido y distribución de la fibra y la digitalización en AutoCAD y GDi Vizion.

5.2.1. Verificación de Infraestructura: En la primera etapa se busca principalmente verificar la infraestructura existente por la cual se va a distribuir la fibra, así como verificar la cantidad de clientes que existen en determinado sector. Para ello se utilizan los planos de cartografía que la empresa tiene a disposición, y se verifica en terreno cámaras, tubería de canalización y postería existente. Estos datos se dibujan en los planos al mismo tiempo que se realizan las anotaciones correspondientes cuando es necesaria la intervención de mantenimiento o de obra civil, figuras 27 y 28. Al mismo tiempo se realiza el censo correspondiente para verificar direcciones, casas, apartamentos, locales y demás posibles clientes.



Figura 27. Levantamiento de canalización barrio La Universidad.



Figura 28. Plano levantamiento de canalización barrio Modelo.

5.2.2. Diseño: Una vez recolectada toda la información necesaria, se digitaliza en AutoCAD la parte correspondiente a infraestructura, y en formatos de Excel lo correspondiente a censos. Luego de esto, se realiza un análisis de la zona para definir la ubicación de los Gabinetes Ópticos y se procede a realizar el diseño respectivo, como se muestra en la figura 29.



Figura 29. Diseño en borrador de un GO del barrio Alarcón.

5.2.3. Digitalización y Cartas de Conectividad: Después de verificar el diseño y la cobertura de cada elemento, se procede a la digitalización del plano en AutoCAD, para lo cual se deben contabilizar los elementos y definir las fibras. Todos los elementos y las fibras utilizadas deben tener un único nemónico, para lo cual se crean las llamadas Cartas de Conectividad. En estas cartas se especifica la distribución y correspondencia de los hilos para los elementos diseñados, y se organiza de manera que los buffers de las fibras queden distribuidos de manera adecuada en el GO. El resultado final es la unión del diseño, la carta de conectividad, la tabla de convenciones y el correspondiente rótulo con la información del plano, como se observa en la figura 30.

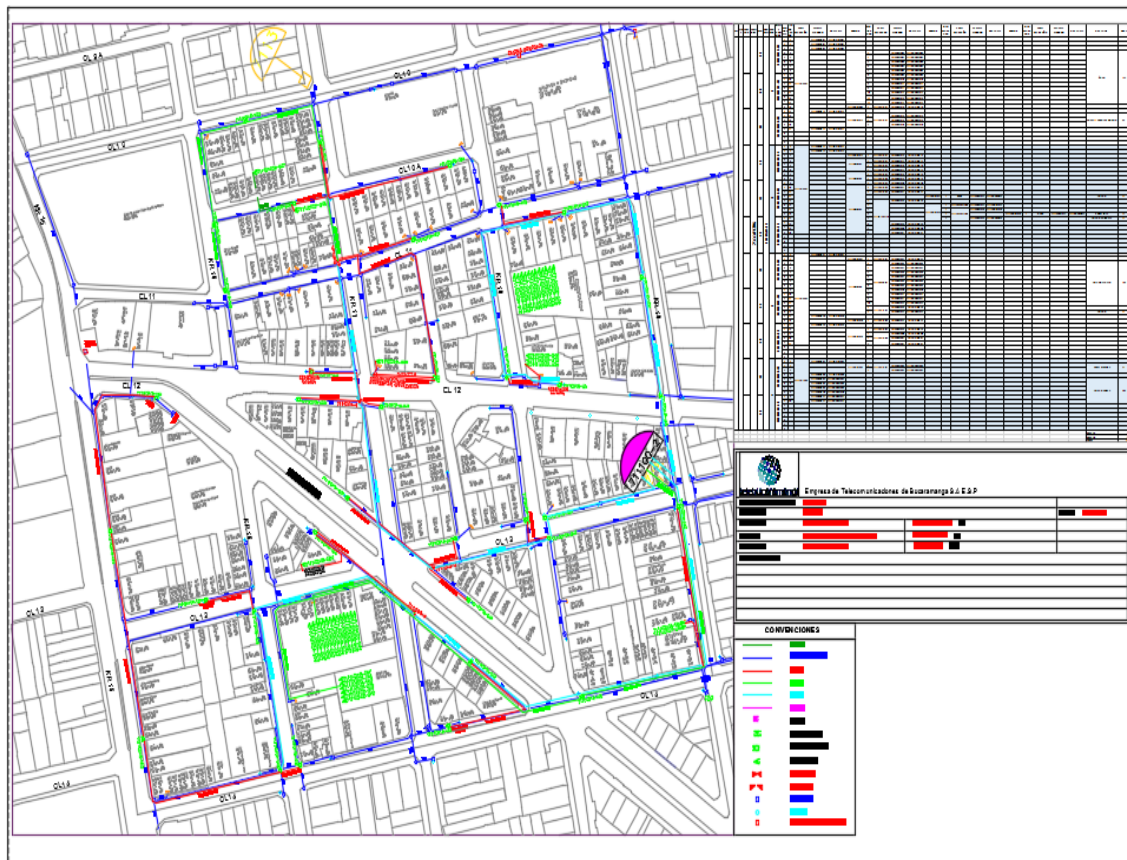


Figura 30. Plano final de diseño del barrio Modelo.

Adicionalmente se cuenta con el software GDi Vizion, el cual permite tener un inventario de recursos físicos actualizado. Este software cuenta con un mapa en el cual se dibuja la infraestructura y los diseños, colocando los elementos en su ubicación real. GDi Vizion almacena la información de cada elemento, sus propiedades como nombre, dirección, barrio, estado de los puertos y número de enlaces de los clientes asociados, pero su mayor aporte es la posibilidad que brinda de realizar y observar las conexiones unilares de las fibras ópticas, es decir, permite realizar la conexión de cada hilo de la fibra desde la OLT hasta la ONT, teniendo en cuenta el número del puerto por el cual pase la fibra en cada elemento durante todo su recorrido. Un ejemplo de ello se muestra en la figura 31.

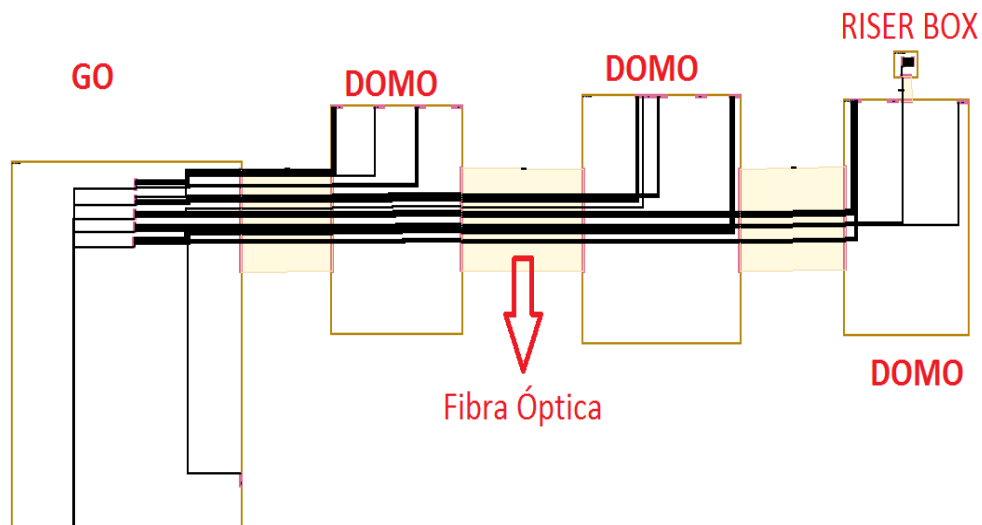


Figura 31. Topología de red óptica en GDi Vizion.

5.2.4. Presupuesto Óptico de Red: Finalmente, para garantizar una buena prestación de servicios, se hace necesario realizar un análisis de presupuesto óptico de red. Este análisis permite aproximar la potencia que debe llegar a cada ONT dependiendo de las pérdidas que pueda presentar desde la OLT.

Un cable de fibra óptica presenta una pérdida aproximada de 0,35 dB por Kilómetro, los conectores de 0,5 dB y las fusiones o empalmes de 0,10 dB. Las pérdidas de potencia causadas por los splitters fueron nombradas en capítulos anteriores.

La figura 32 muestra un ejemplo de un cálculo de presupuesto óptico. Al realizar la sumatoria de las pérdidas de potencia se obtiene la potencia aproximada que le debe llegar a la ONT en la residencia del cliente. Esta potencia debe estar dentro del umbral que acepta la ONT para funcionar de manera adecuada, siendo este entre -27 y -7 dBm. Llegado el caso que la potencia final no sea suficiente, se debe modificar el diseño para garantizar que el presupuesto se cumpla correctamente.

CÁLCULOS	W-OLT	RESUP	PRESUPUESTO ÓPTICO NODO T			PRESUPUESTO ÓPTICO RED DE ACCESO					PRESUPUESTO ÓPTICO PREDIO							
UBICACIÓN		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10							
ELEMENTO DE RED	OLT	INDOOR 1	ODF	OUTDOOR 1	DOMO 1	OUTDOOR 2	NAP 1	DROP/RISER	PATCH CORD	ONT	Σ							
NEMÓNICO	4300	BQ1	CABLE1	ODF1	CABLE3	Sp 1:8 x	CABLE4	Ss 1:8 x	CABLE5	CABLE6	ONT1							
TIPO DE EMPALME		C	C	F		F	F		F	C	F	C		C				
LONGITUD (mts)			10		2500		600		60		2							
PÉRDIDA dBm	3	-0.5	-0.0035	-0.5	-0.1	-0.875	-0.1	-10.5	-0.1	-0.21	-0.1	-10.5	-0.5	-0.021	-0.1	-0.5	-0.0007	-0.5
PREDIO	CASTELLANA REAL																	

RESUMEN	Unidad	Valor
Σ CABLE	dBm	-1.110
Σ CONEXIONES / FUSIONES	dBm	-3.000
Σ SPLITTER	dBm	-21.000
TOTAL		-25.110
Valor inferior del umbral señal óptica		-27 dBm
Valor superior del umbral señal óptica		-7 dBm

Figura 32. Análisis Presupuesto Óptico de Red.

6. Instalación, Puesta En Marcha Y Operación

6.1. Buenas y malas prácticas de construcción

Una vez el diseño es aprobado, los planos correspondientes son entregados al área de construcción quienes se encargan de hacer entrega de los mismos a las diferentes contratistas que tiene la empresa para llevar a cabo la construcción de dicho diseño. Una vez construido e instalados los elementos y las fibras, los supervisores de Fibra Óptica deben verificar que las instalaciones se hayan hecho de manera adecuada. En las siguientes fotografías se evidencian algunos casos de buenas y malas prácticas encontradas en terreno.

En las cámaras externas donde se dejan los elementos, generalmente se hace necesario alojar reserva de la fibra óptica. Tanto los elementos como la fibra que se deje en dichas cámaras deben estar correctamente ubicadas, ancladas a las paredes y teniendo en cuenta que la fibra no sufra estrés ni doblamientos con ángulos que superen los 30° , puesto que esto genera atenuaciones en la señal. En la figura 33 se observa una FDP correctamente instalada y la fibra de reserva almacenada y ubicada de manera correcta, a diferencia de la figura 34 que muestra una cámara totalmente desordenada, con las fibras sueltas y en posiciones erróneas. La figura 35 evidencia una cámara totalmente llena, lo cual se debe evitar puesto que la fibra puede sufrir daños a la hora de realizar nuevas instalaciones. Para evitar estos últimos casos se debe desplazar la fibra hacia la siguiente cámara donde haya disponibilidad para almacenar la reserva.



Figura 33. FDP y fibra correctamente instalada en cámara.



Figura 34. Cámara totalmente desordenada.



Figura 35. Cámara demasiado llena.

Adicionalmente, se recomienda que utilicen espuma de polietileno en las entradas y salidas de los Gabinetes y de las cámaras, esto con el fin de evitar el paso de los roedores que muy comúnmente se comen la fibra y generan daños y caídas de los servicios. Esta es una muy buena práctica a resaltar, como se evidencia en las figuras 36 y 37.



Figura 36. Espuma de polietileno en tuberías.



Figura 37. Espuma de polietileno en entrada de GO.

Al realizar instalaciones en edificios con ductería interna, muchas veces se encuentran strips desordenados y tubería llena, por lo cual se recomienda dejar los elementos bien asegurados en los strips y con una pita en la tubería que sirva de guía para las futuras instalaciones, sin llegar a afectar las líneas de datáfonos u otros servicios. Esta buena práctica se observa en la figura 38.



Figura 38. Correcta instalación de elementos con pita guía.

Igualmente se hace necesario mantener un estricto orden en los Gabinetes Ópticos, puesto que es allí a donde llegan todos los servicios antes de la central. El orden de las fibras a las entradas y salidas del GO y su correcta ubicación, el orden de las bandejas y de los splitters, así como su correcta marcación (figura 39) son buenas prácticas que se hacen necesarias para evitar inconvenientes o confusiones en los Gabinetes.

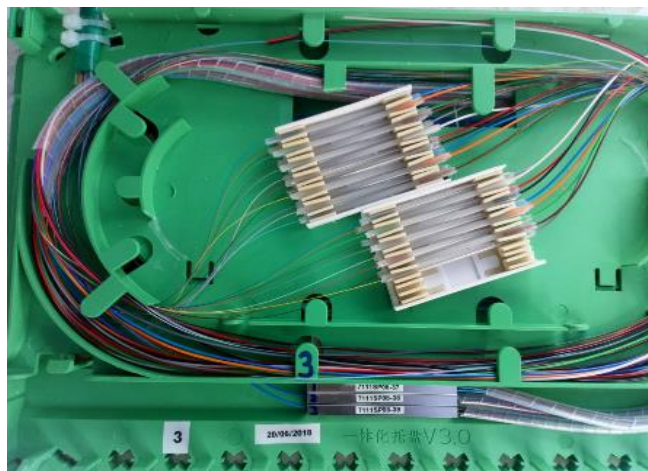


Figura 39. Bandeja con splitters correctamente ubicados y marquillados.

Al momento de realizar trabajos en calle, es indispensable que las personas a cargo se aseguren de colocar una adecuada demarcación de la zona, puesto que generalmente estos trabajos se realizan en espacio público y se deben cumplir ciertas normas para asegurar que no se presente ningún tipo de accidente. Esta buena práctica se resalta en la figura 40.



Figura 40. Zona de trabajo correctamente demarcada.

6.2. Pruebas de puesta en marcha

Después que los contratistas reportan las instalaciones finalizadas, los supervisores de fibra óptica se encargan de verificar el correcto funcionamiento de los elementos. Para ello se llevan a cabo dos clases pruebas: las pruebas de potencia y las pruebas de reflectometría.

6.2.1 Pruebas de potencia: Para realizar las pruebas de potencia, los supervisores utilizan un instrumento llamado Power Meter, el cual indica la potencia de la señal que recibe cada elemento en dBm, figura 41.



Figura 41. Prueba de potencia de NAP Indoor que arroja un valor de -16.18 dBm.

6.2.2 Pruebas de reflectometría: Estas pruebas se realizan con un instrumento de medida llamado OTDR, por sus siglas en inglés Optical Time Domain Reflectometer, figura 42.

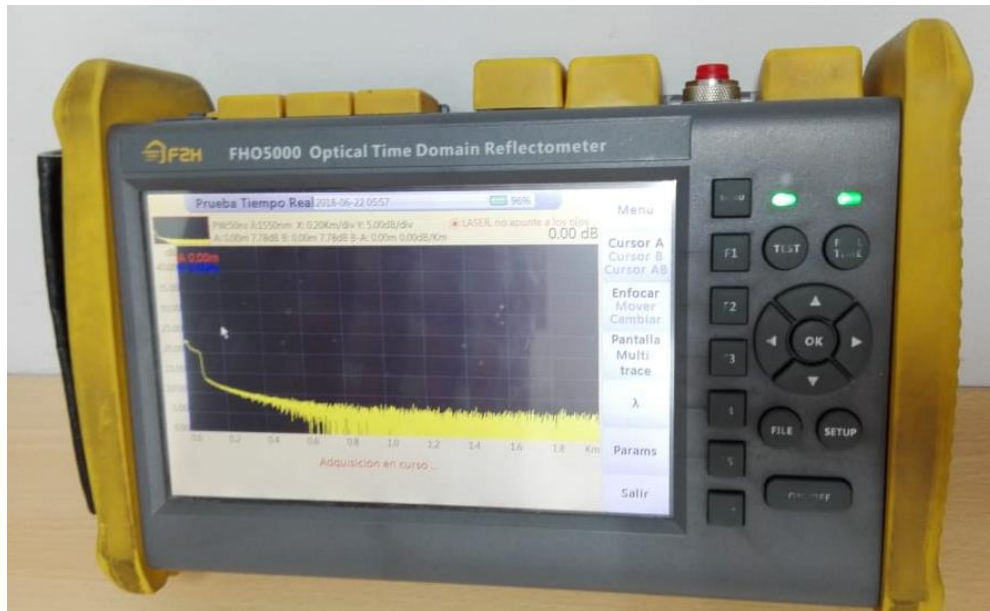


Figura 42. OTDR.

Su función principal es realizar un diagnóstico de la red, estimando la longitud de la fibra y sus posibles atenuaciones o pérdidas. Este elemento es de gran ayuda puesto que permite localizar el punto donde la fibra está sufriendo daños. Su principio de funcionamiento consiste en inyectar pulsos ópticos y analizar la luz reflejada en el mismo punto. En la imagen 43 se puede observar una prueba de reflectometría realizada, la cual indica que la señal no presenta grandes pérdidas y que la fibra se encuentra sin ningún daño. Esta prueba también permite corroborar la distancia máxima que puede llegar una fibra sin que la atenuación afecte la señal de manera considerable.

En la imagen 44 se observa una prueba de reflectometría con una caída de potencia a 769,5 metros de distancia, la cual se corroboró y se encontró un daño causado por roedores.

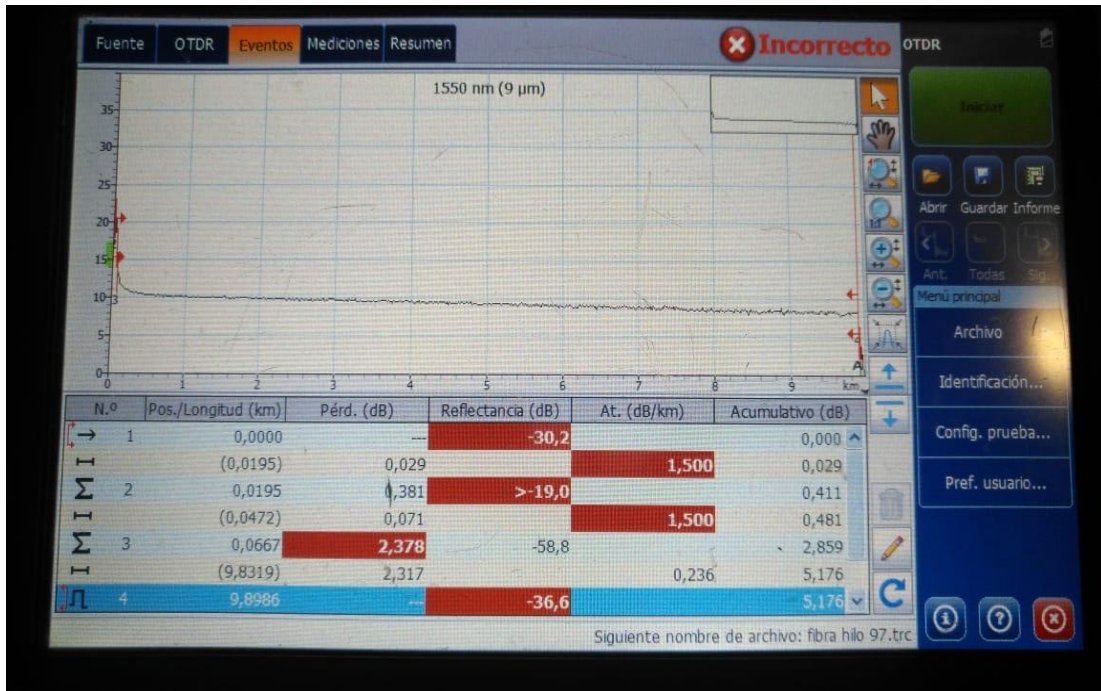


Figura 43. Prueba de reflectometría sin daños en la fibra.

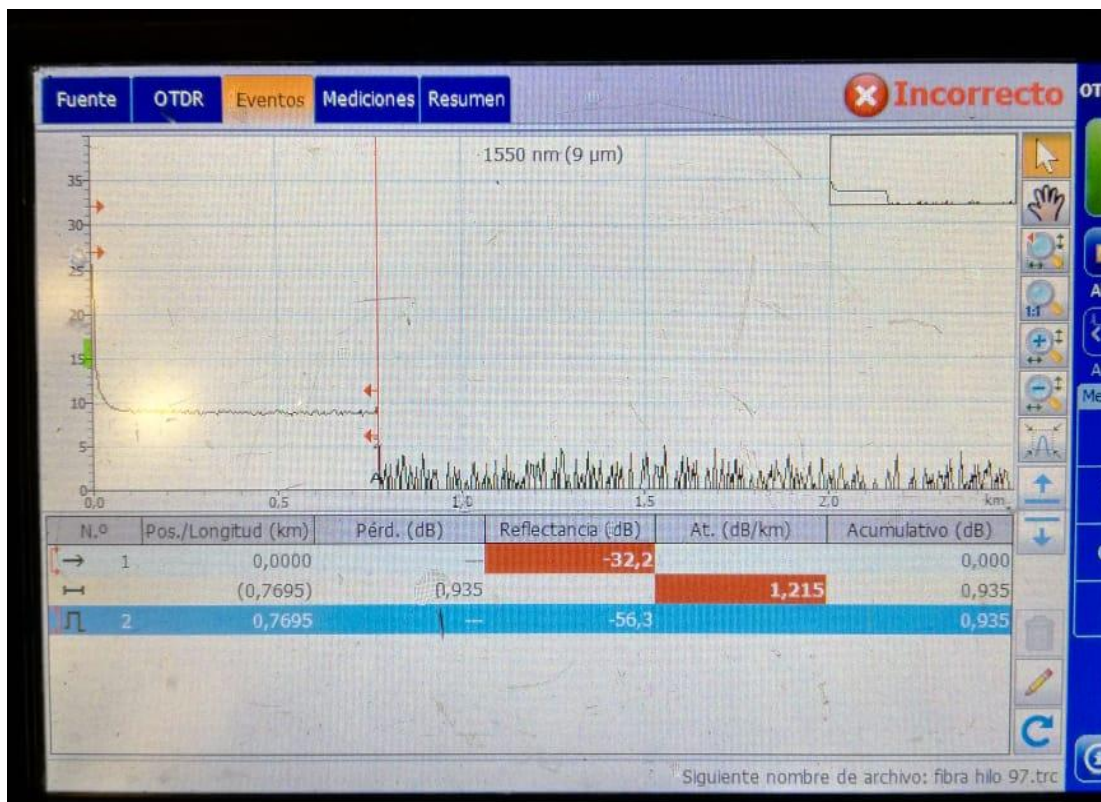


Figura 44. Prueba de reflectometría con daño en la fibra a 769,5 m de distancia.

6.3 Operación Plataforma UNM2000

La plataforma UNM2000 es un sistema para el gerenciamento de la convergencia de red. Permite observar todas las OLT y las correspondientes ONTs que tenga conectadas, así como definir sus perfiles de usuario, contraseñas, ancho de banda, y brindar información en tiempo real sobre el estado de la ONT con datos de potencia, temperatura, corriente y voltaje de alimentación. Adicional a esto, por medio de esta plataforma se puede verificar la tarjeta y el puerto PON a los que está conectada cada OLT. En las figuras 45 y 46 se observan ejemplos de estas pruebas de operación.

The screenshot displays the UNM2000 NE Manager interface. On the left, a 'Device Tree' shows a hierarchy of devices, with a red circle highlighting the OLTs. The main window shows a table of ONT information for a selected OLT (AN5516-06_1[1]). The table columns are: Device Name, Device Type, Slot No., PON Num., ONU No., Physical Address, ONU Password, and Logical ID. The table contains 2721 entries, with entry 515 selected.

Device Name	Device Type	Slot No.	PON Num.	ONU No.	Physical Address	ONU Password	Logical ID
272983	ANS506-04-F1	11	16	11	FHT110961660		
361060	ANS506-04-F1	11	16	12	FHTT0996f6130		
59342	ANS506-04-F1	11	16	13	FHTT0996f6140		
133483	ANS506-04-F1	11	16	14	FHTT11b2a630		
14644	ANS506-04-F1	11	16	15	FHTT11b23e00		
423947	ANS506-04-F1	11	16	16	FHTT11b63960		
425364	ANS506-04-F1	11	16	17	FHTT11b24e68		
426770	ANS506-04-F1	11	16	18	FHTT11b23098		
448474	ANS506-04-F1	11	16	19	FHTT2381a6f8		
454929	ANS506-04-F1	11	16	20	FHTT238296f0		
424201	ANS506-04-F1	12	1	1	FHTT11b22a68		
444790	ANS506-04-F1	12	1	2	FHTT23822868		
386788	ANS506-04-F1	12	1	3	FHTT23827920		
11783	ANS506-04-F1	12	1	4	FHTT23828c68		
455873	ANS506-04-F1	12	1	5	FHTT2381a860		
455574	ANS506-04-F1	12	1	6	FHTT2381a948		

Figura 45. Información de ONTs asociadas a cada OLT.

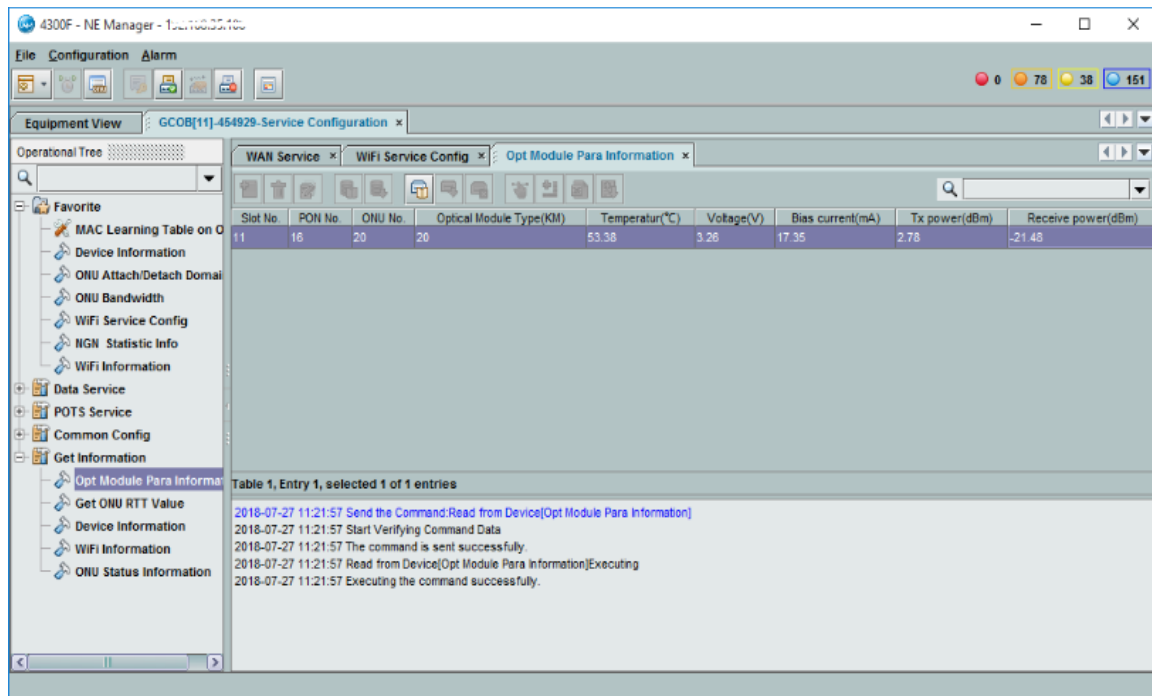


Figura 46. Datos de ONT, SLOT, PON y condiciones de operación de ONT en UNM2000.

7. Conclusiones

- La creación de un manual que abarca generalidades, estudios, diseño, instalaciones y pruebas de puesta en marcha de sistemas FTTH beneficiará a la empresa para dar una introducción a nuevos trabajadores que se involucren en cualquiera de estos procesos.
- La realización de la práctica empresarial en Telebucaramanga permitió un gran acercamiento al estado actual de las telecomunicaciones, y mediante este manual se lograron documentar las experiencias que posiblemente abrirán campo para que el grupo de investigación RadioGis y la Universidad en general pueda realizar futuros trabajos en el área.
- Calidad, seguridad, volumen, velocidad, distancias y facilidad para instalaciones y mantenimiento hacen de FTTH la tecnología más competitiva del mercado. Su principio de funcionamiento basado en DWDM es fundamental para que estas arquitecturas tengan tan buenas cualidades.
- A pesar del enorme protagonismo que tienen hoy las redes de comunicaciones móviles, tanto en servicios de voz como de datos, es indudable que FTTH representa una enorme ventaja competitiva para Telebucaramanga en la prestación de servicios Triple Play, ahorrando elementos y costos de instalación.

8. Referencias

- Barroso, A. (2012). *Diseño de una red de fibra óptica para la implementación de servicios de una banda ancha en una zona de viviendas en casco urbano* (tesis de pregrado) Universidad Politécnica de Madrid
- Bolívar, M. L., Valdesueiro, R. (2016). *Curso de Instalación de Fibra Óptica*. Instalación y Mantenimiento FTTH en domicilio de cliente. Telefónica, versión 2
- Castro, S. (2014). *Fibra óptica y las voces de la región- El vigía*. Recuperado de <http://www.elvigia.net/c-t/2014/5/17/fibra-optica-voces-region-158481.html>
- Empresa de Telecomunicaciones de Bucaramanga S.A E.S.P. (2016). *Quienes Somos*. <https://www.telebucaramanga.com.co/nuestra-empresa/quienes-somos>
- Pinto, R. (2014). *Sistemas de comunicaciones ópticas (Monografía)*. Bogotá, Colombia: Universidad Militar Nueva Granada
- Proaño, A. (2012). *Repositorio de la Universidad Técnica de Ambato*. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13690/1/UPS-ST002849.pdf>
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. *Recomendaciones y otras publicaciones*. (2018). <https://www.itu.int/es/ITU-T/publications/Pages/default.aspx>