



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES**

PROGRAMA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN
TELECOMUNICACIONES**

**TÍTULO:
IMPLEMENTACIÓN DE UNA TRONCAL DE FIBRA ÓPTICA Y DISEÑO DE
LA RED GPON EN LA ZONA CENTRO DE LA CIUDAD DE CÚCUTA PARA
LA EMPRESA DEVTEL.**

**Autor:
JAVIER ALEXANDER BECERRA VEGA**

**Director:
ING. JAIRO MORENO ACOSTA**

VILLA DEL ROSARIO-COLOMBIA

JUNIO DE 2021



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES
TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN
TELECOMUNICACIONES**

**TÍTULO:
IMPLEMENTACIÓN DE UNA TRONCAL DE FIBRA ÓPTICA Y DISEÑO DE
LA RED GPON EN LA ZONA CENTRO DE LA CIUDAD DE CÚCUTA PARA
LA EMPRESA DEVTEL**

**Autor:
JAVIER ALEXANDER BECERRA VEGA**

**Director:
ING. JAIRO MORENO ACOSTA**

**JURADO CALIFICADOR:
ING. KELLY TORRES
ING. SERGIO PINTO
ING. JAIRO MORENO**

VILLA DEL ROSARIO-COLOMBIA

JUNIO DE 2021

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS
Y TELECOMUNICACIONES

PROGRAMA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRABAJO PRESENTADO PARA OPTAR POR ÉL TÍTULO DE INGENIERO EN
TELECOMUNICACIONES

TEMA:

IMPLEMENTACIÓN DE UNA TRONCAL DE FIBRA ÓPTICA Y DISEÑO DE
LA RED GPON EN LA ZONA CENTRO DE LA CIUDAD DE CÚCUTA PARA
LA EMPRESA DEVTEL

FECHA DE INICIO DEL TRABAJO: MARZO 2021

FECHA DE TERMINACIÓN DEL TRABAJO: JUNIO 2021

NOMBRES Y FIRMAS DE AUTORIZACIÓN PARA LA SUSTENTACIÓN:

JAVIER ALEXANDER BECERRA VEGA
AUTOR

ING. JAIRO MORENO ACOSTA
DIRECTOR

ING. HERNANDO VELANDIA V.
DIRECTOR DEL PROGRAMA

JURADO CALIFICADOR:

ING. SERGIO PINTO

ING. KELLY TORRES

ING. JAIRO MORENO ACOSTA

VILLA DEL ROSARIO N. S. COLOMBIA
JUNIO DE 2021

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Carlos Becerra y Maira Vega quienes siempre han sido un apoyo incondicional, son quienes han dado todo porque yo progrese y sea feliz, doy gracias a dios por haberme dado los mejores padres. También dedico este trabajo a mi prometida Dayana Garzón, ya que nunca me ha dejado solo y siempre me ha apoyado sin importar la situación, es la mujer que amo y deseo que ya sea mi compañera de vida.

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a dios por permitirme llegar a estas estancias, y darme la oportunidad de crecer como persona y profesionalmente.

Le agradezco a mis padres por apoyarme y darme lo necesario para poder estudiar, por sus esfuerzos día a día por mi futuro, le doy gracias a mi prometida por siempre apoyarme en cualquier decisión que tome y ante cualquier dificultad, le doy gracias a mis compañeros de universidad especialmente a Víctor Ortiz no solo por el apoyo que me dio durante el periodo de formación sino también por el gran amigo que es.

Al Ing. Jairo Moreno Acosta por ser mi tutor, el apoyo y el guía en este proceso de culminación de mi trabajo para graduarme.

RESUMEN

La empresa DEVTEL S.A.S es una empresa de telecomunicaciones reciente en el mercado local de la ciudad de Cúcuta, fue fundada en el año 2016 con la finalidad de proporcionar servicios y soluciones en el área de las tecnologías de la información y la comunicación a toda la región, se enfoca principalmente en aquellas zonas donde el índice de acceso a Internet es bastante bajo o casi nulo. Actualmente cuenta con una red basada en radioenlaces en sus troncales y acceso a los clientes. Esta empresa desea ampliar su cobertura y así mismo plantear la migración de la infraestructura a fibra óptica con el estándar GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network), sustituyendo la antigua red de inalámbrica.

La empresa está en expansión y la red actual está llegando a su límite de capacidad para soportar la cantidad de usuarios a los cuales se les están prestando servicios, se presentan caídas y saturación de la red a causa de las limitaciones propias de la tecnología de radio enlace y el costo se hace elevado teniendo en cuenta su proyección de crecimiento a largo plazo.

Para solucionar estos problemas se planteó la renovación de la red existente a tecnologías GPON que es una red óptica pasiva con capacidad gigabit, esta red ofrece menores costos en mantenimientos, mayores anchos de banda, menor interferencias en cuanto a ruido, esta tecnología seguirá en funcionamiento a largo plazo puesto que soporta la implementación de nuevos servicios gracias a su gran capacidad de datos y pocas probabilidades de caída de la red.

En el desarrollo del trabajo se tiene en cuenta las actividades planteadas en cada uno de los objetivos específicos, se utiliza metodología cuantitativa ya que se hacen mediciones y cálculos para el diseño de la troncal y la red GPON del centro de la ciudad de Cúcuta y a su vez tablas donde se evidencian el presupuesto y comparativa de equipos a utilizar.

Palabras claves: Red óptica pasiva, fibra óptica, enlace troncal, nodo de telecomunicaciones, ancho de banda.

ABSTRACT

The company DEVTEL SAS is a recent telecommunications company in the local market of the city of Cúcuta, it was founded in 2016 with the purpose of providing services and solutions in the area of information and communication technologies to the entire region , focuses mainly on those areas where the rate of Internet access is quite low or almost zero. It currently has a network based on radio links in its trunks and access to customers. This company wishes to expand its coverage and also propose the migration of the infrastructure to fiber optics with the GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network) standard, replacing the old wireless network.

The company is expanding and the current network is reaching its capacity limit to support the number of users to whom services are being provided, there are drops and network saturation due to the limitations of radio technology link and the cost becomes high considering its long-term growth projection.

To solve these problems, the renewal of the existing network to GPON technologies was proposed, which is a passive optical network with gigabit capacity, this network offers lower maintenance costs, higher bandwidths, less interference in terms of noise, this technology will continue to operate in the long term since it supports the implementation of new services thanks to its large data capacity and little probability of network failure.

In the development of the work, the activities proposed in each of the specific objectives are taken into account, quantitative methodology is used since measurements and calculations are made for the design of the trunk and the GPON network of the center of the city of Cúcuta and its times tables where the budget and comparison of equipment to be used are evidenced.

Keywords: Passive Optical Network, fiber optic, trunk link, telecommunications node, bandwidth.

CONTENIDO

1. INTRODUCCION	13
1.1. Planteamiento del problema	14
1.2. Justificación	15
1.3. Delimitaciones	16
1.3.1. Objetivo General:	16
1.3.2. Objetivos específicos:	16
1.3.3. Acotaciones	17
2. MARCO REFERENCIAL	18
2.1. Marco Teórico	18
2.1.1. Redes telecomunicaciones	18
2.1.2. Clasificación de las redes según su cobertura	18
2.1.3. Redes Ópticas	19
2.1.4. Red GPON (red óptica pasiva con capacidad de Gigabit)	22
2.1.5. Técnicas de tendido de fibra óptica	29
2.1.6. Materiales, Herramientas y equipos de instalación	32
2.2. ESTADO DEL ARTE	33
2.2.1. Internacional	34
2.2.2. Nacional	35
2.2.3. Local	36
2.3. MARCO LEGAL	37
2.4. MARCO CONTEXTUAL	39
3. DESCRIPCIÓN DE LA RED ACTUAL Y PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA RED GPON	41
3.1. Infraestructura de la red actual	41
3.1.1. Nodo principal	41
3.1.2. Nodo Cundinamarca	42
3.1.3. Radioenlace troncal entre el nodo principal y secundario	43
3.1.4. Equipos de telecomunicaciones de la red actual	43
3.2. Parámetros de diseño para la red GPON	47
3.2.1. Generalidades	47
3.2.2. Parámetros técnicos para la red GPON	48
4. DISEÑO DE LA RED GPON EN LA ZONA CENTRO DE LA CIUDAD DE CUCUTA.	49
4.1. Sectorización y especificación de la infraestructura de postes	49
4.1.1. Sectorización	49
4.1.2. Postería requerida	51

4.2.	Delimitación de la red GPON:	58
4.3.	Cálculos teóricos de la red GPON	60
4.3.1.	Ubicación de cada usuario cercano y lejano	60
4.3.2.	Cálculo del ancho banda por usuario	60
4.3.3.	Cálculo de atenuación.....	61
4.3.4.	Calculo de potencia de recepcion	63
4.4.	Simulación de la red GPON	65
4.5.	Porcentaje de error entre resultados teóricos y simulados	67
4.6.	Tabla de equipos y costos	68
5.	DISEÑO DE LA TRONCAL DE FIBRA OPTICA	75
5.1.	Longitud de onda.....	75
5.2.	Trazado de la troncal de fibra óptica.....	75
5.3.	Cálculos teóricos de la troncal de fibra óptica.....	81
5.3.1.	Cálculo del ancho de banda del enlace troncal.....	82
5.1.1.	Cálculo de atenuación del enlace troncal	82
5.2.	Equipos necesarios para la troncal de fibra óptica.....	83
6.	CONSTRUCCION DE LA TRONCAL DE FIBRA OPTICA	86
6.1.	Tendido de la fibra óptica	86
6.2.	Instalación de caja de empalme en el Oiti.	86
6.3.	Terminación del cable en el nodo Cundinamarca.....	87
6.4.	Terminación del cable en el nodo principal.....	87
7.	PRUEBAS Y MEDICIONES DEL ENLACE TRONCAL DE FIBRA OPTICA.....	88
	CONCLUSIONES.....	92
	RECOMENDACIONES.....	93
	Bibliografía.....	94

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Redes telecomunicaciones	18
Ilustración 2 Fibra óptica	19
Ilustración 3, Red óptica activa	20
Ilustración 4, Red óptica pasiva	20
Ilustración 5, Red GPON	22
Ilustración 6, canal ascendente.....	23
Ilustración 7, canal descendente.....	24
Ilustración 8 OLT Tomado de: www.rzfibra.com	24
Ilustración 9, ONU	25
Ilustración 10, ONT	25
Ilustración 11, Divisores (Splitter).....	26
Ilustración 12, Fibra optica	26
Ilustración 13 Fibra mono modo Tomado de: beyondtech.us	27
Ilustración 14 Fibra multimodo	27
Ilustración 15, Cable auto soportado Tomado de: http://www.crttele.com/cable-figura-8.html ..	28
Ilustración 16 Tendido aéreo de fibra Tomado de: docplayer.es	28
Ilustración 17 Cable holgado Tomado de: ecatalog.corning.com	28
Ilustración 18 Mufa Tomado de: www.monografias.com	29
Ilustración 19 Caja NAP Tomado de: canovate.com	29
Ilustración 20 Tipos de conectores de fibra óptica. Tomado de: www.profesionalreview.com ..	29
Ilustración 21, pelacables	32
Ilustración 22, termoencogible	32
Ilustración 23, fusionadora	32
Ilustración 24, cortadora de fibra óptica	33
Ilustración 25, OTDR	33
Ilustración 26, medidor de potencia óptico.....	33
Ilustración 27 logo DEVTEL S.A.S	40
Ilustración 28 Ubicación empresa DEVTEL S.A.S	40
Ilustración 29 Edificio donde se encuentra la oficina principal de DEVTEL S.A.S	40
Ilustración 30, troncal de radio enlace actual.	41
Ilustración 31, ubicación de los nodos actuales.....	41
Ilustración 32, edificación del nodo principal.....	41
Ilustración 33, nodo principal.....	42
Ilustración 34. Rack ubicado en el nodo principal (Cll 15 entre av 10 y 11 B. el páramo).	42
Ilustración 35, rack por dentro.	42
Ilustración 36, ubicación de las antenas usadas para el radio enlace	42
Ilustración 37, Nodo donde finalizara la troncal de fibra óptica (av. 25 cll 11 Br. Cundinamarca)	42
Ilustración 38, Nodo donde finalizara la troncal de fibra óptica (av. 25 cll 11 Br. Cundinamarca)	42
Ilustración 39, cajas ubicadas en el nodo final (av. 25 cll 11 Br. Cundinamarca).....	42
Ilustración 40, Radio enlace 1 PowerBeam.	43
Ilustración 41, radio enlace 2 AirFiber Ubiquiti.....	43
Ilustración 42, señal de potencia y ancho de banda de radio enlace PowerBeam	46
Ilustración 43, otras características del enlace PowerBeam	46
Ilustración 44, potencia de radio enlace Airfiber	46
Ilustración 45, capacidad de ancho de banda de radio enlace Airfiber	46
Ilustración 46, otras características de radio enlace Airfiber	46
Ilustración 47, area a cubrir en la zona centro de la ciudad	48
Ilustración 48, sectorización de la zona centro de la ciudad de Cúcuta.	49
Ilustración 49, sector 1	50
Ilustración 50, sector 2	50
Ilustración 51, sector 3	50
Ilustración 52, sector 4	50

Ilustración 53, sector 5	51
Ilustración 54, sector 6	51
Ilustración 55, sector 7	51
Ilustración 56, Poste ubicado frente al OITI (calle 10 av. 7, centro) donde se dejara el punto para la futura red GPON	51
Ilustración 57, iconos usados para el recorrido.....	52
Ilustración 58, recorridos para cada uno de los sectores	52
Ilustración 59, iconos utilizados para la postería	52
Ilustración 60, postería total usada	52
Ilustración 61, postería sector 1	53
Ilustración 62, postería sector 2	53
Ilustración 63, postería sector 3	54
Ilustración 64, postería sector 4	55
Ilustración 65, postería sector 5	55
Ilustración 66, postería sector 6	56
Ilustración 67, postería sector 7	57
Ilustración 68, delimitación de la red GPON	58
Ilustración 69, simbología utilizada para red	58
Ilustración 70, delimitación sector 1	59
Ilustración 71, Delimitación sector 2.....	59
Ilustración 72, Delimitación sector 3.....	59
Ilustración 73, Delimitación sector 4.....	59
Ilustración 74, Delimitación sector 5.....	59
Ilustración 75, Delimitación sector 6.....	59
Ilustración 76, Delimitación sector 7.....	60
Ilustración 77, Diagrama del diseño de la red GPON en la zona centro de la ciudad de Cúcuta, 1x8x7 = 56 usuarios	60
Ilustración 78, simulación del sector 1	65
Ilustración 79, simulación del sector 2	65
Ilustración 80, simulación sector 3	66
Ilustración 81, simulación sector 4	66
Ilustración 82, simulación sector 5	66
Ilustración 83, simulación sector 6	66
Ilustración 84, simulación sector 7	67
Ilustración 85, recorrido definido para la troncal de fibra óptica	75
Ilustración 86, dispositivo usado para la medición	76
Ilustración 87. Postería elegida	76
Ilustración 88, Diagrama de la troncal de fibra óptica	81
Ilustración 89, salida del nodo principal	86
Ilustración 90, tendido de la fibra óptica.....	86
Ilustración 91, carrete de fibra óptica y personas contratadas por DEVTEL S.A.S.....	86
Ilustración 92, proceso de tendido de fibra óptica.....	86
Ilustración 93, proceso de fusión para la caja de empalme ubicada en el centro de Cúcuta (av. 7 entre cll 10 y 11)	87
Ilustración 94, caja de empalme dejada en el centro de Cúcuta (av. 7 entre cll 10 y 11).	87
Ilustración 95, empalme en el nodo final.....	87
Ilustración 96, fusión de fibra óptica en el nodo final.	87
Ilustración 97, caja de empalme en el nodo final	87
Ilustración 98, empalme en el nodo principal	87
Ilustración 99, fusión de fibra óptica en el nodo principal	87
Ilustración 100, Rack con todo instalado en el nodo principal	88
Ilustración 101, medición tomada con el OTDR.....	88
Ilustración 102, reparación de daño a 1230 metros (calle 10 entre av. 7 y 8)	89
Ilustración 103, fusion de fibra optica para la reparacion de daño a 1230 metros (calle 10 entre av 7 y 8)	89
Ilustración 104, medición tomada al final de la troncal de fibra óptica.....	89

Ilustración 105, medición de OTDR más cerca.....	90
--	----

TABLAS

Tabla 1, Equipos usados en la red actual	43
Tabla 2, parámetros para red GPON	48
Tabla 3, información posterior sector 1	53
Tabla 4, información posterior sector 2	53
Tabla 5, información posterior sector 3	54
Tabla 6, información posterior sector 4	55
Tabla 7, información posterior sector 5	55
Tabla 8, información posterior sector 6	56
Tabla 9, información posterior sector 7	57
Tabla 10, usuario más lejano y más cercano.....	60
Tabla 11, valores típicos de atenuación de cada elemento pasivo	62
Tabla 12, atenuación total de los demás usuarios de cada sector	63
Tabla 13, potencia de recepción para cada usuario	64
Tabla 14, porcentaje de error de todos los usuarios.....	67
Tabla 15, características de las posibles OLT a usar	68
Tabla 16, características de los posibles ONU a utilizar	70
Tabla 17, características de las posibles fibras DROP a usar	71
Tabla 18, equipos que se van a usar con sus respectivos costos	73
Tabla 19, características de cada poste usado para la troncal de fibra óptica con la medición. 76	
Tabla 20, cables de fibra óptica para la troncal	80
Tabla 21, equipos y elementos necesarios	83
Tabla 22, errores obtenidos después de medición de OTDR	88
Tabla 23, datos obtenidos de medición del OTDR	90
Tabla 24, Tabla atenuación teórica y medida	91

Capítulo 1

1. INTRODUCCION

Las redes de telecomunicaciones se han visto en la obligación de evolucionar en los últimos años, tanto en tecnologías como en infraestructura para ofrecer el mejor servicio posible, ya que el mercado exige una mayor transferencia de datos, de forma rápida y segura, manteniendo la calidad al establecer las comunicaciones.

La presente propuesta tiene dos partes principales, la primera es la implementación de una troncal de fibra óptica que sustituya el enlace actual de radio enlace entre el nodo principal y un nodo secundario, y la segunda es el diseño de una red GPON para el centro de Cúcuta, para la expansión de la red y mejora de servicios a los usuarios, de tal forma que se pueda presentar una alternativa de acceso en esta zona.

Las redes ópticas permiten una mejor conectividad al utilizar en su red un medio guiado de fibra óptica de mayor capacidad, no susceptible a las interferencias que afecten la integridad de la señal y una mayor distancia entre nodos o entre el nodo central y abonados, estableciendo una infraestructura más avanzada y sencilla.

1.1. Planteamiento del problema

La empresa DEVTEL cuenta con una red de radio enlace que se encuentra saturada por el alto tráfico, que demanda una gran cantidad de ancho de banda, y considerando además la situación actual de pandemia por el covid-19 que ha hecho que las personas hagan un mayor uso de servicios de red causando un incremento considerable de transmisiones de datos. La empresa está percibiendo inconformidad de sus usuarios por los constantes fallos que presenta la red, con periodos entre uno a dos días cada semana.

Inicialmente, se planteó el mejoramiento de la red existente basada en radio enlaces, sin embargo, dio como resultado un aumento significativo de los costos debido a los precios elevados de los equipos y sus mantenimientos preventivos continuos, que afecta económicamente a la empresa al no retornar la inversión en ganancias a corto plazo, aun sabiendo que esta no sería una solución definitiva puesto que esta tecnología es muy susceptible a fallos externos.

DEVTEL no cuenta con la capacidad de entregar un buen ancho de banda el cual es muy limitado, aproximadamente el 70% de sus usuarios están presentando problemas en la red, ya sea por caídas en la conexión o por un servicio de baja calidad. Otro factor importante es la competencia en el mercado frente a otras empresas en telecomunicaciones que ofrece servicios a la población de la ciudad de Cúcuta, dichas empresas ofrecen redes más optimas. La probabilidad de que nuevos usuarios tomen el servicio es baja y los actuales usuarios se encuentran en estado de inconformidad, por lo que es posible que migren a otros proveedores.

1.2. Justificación

La demanda de ancho de banda está en constante aumento por el cambio de tecnologías y la penetración del Internet en los territorios, entre más conectadas están las personas a la red es necesario brindar un óptimo acceso con más capacidad de ancho de banda y estabilidad, mejorando estas características se tendría la posibilidad de prestar un servicio de calidad que atraería mayor número de usuarios nuevos y aumento de las ganancias de la empresa.

La migración a la tecnología de fibra óptica ofrece mejor relación calidad y precio para grandes distancias, reduciendo los costos del mantenimiento de la troncal al ser más estable y también posibilita la expansión en la cobertura de servicios por la baja atenuación de su medio de transmisión.

Realizando la implementación adecuada de una troncal de fibra óptica y el diseño de una red GPON para potenciales usuarios no habrá saturación en la red de acceso a los usuarios al contar con un ancho de banda de transmisión mucho mayor que el ofrecido por medio de radio enlace, la señal es menos susceptible al ruido y tiene mayor inmunidad a interferencias electromagnéticas, es un medio mucho más eficiente y además ofrece una mayor velocidad de transmisión. La mejora en la red permitirá obtener nuevos usuarios para proyectos futuros haciendo que la empresa se posicione mejor en el mercado actual de la ciudad de Cúcuta.

1.3. Delimitaciones

1.3.1. Objetivo General:

Implementación de una troncal de fibra óptica y diseño de la red GPON en la zona centro de la ciudad de Cúcuta para la empresa DEVTEL.

1.3.2. Objetivos específicos:

- Determinar las características de la infraestructura actual y parámetros de diseño de la red GPON.
- Definir la red GPON de acuerdo a los parámetros de diseño.
- Construir la troncal de fibra óptica desde el nodo el principal hasta los nodos secundarios.
- Demostrar el correcto funcionamiento de la troncal de fibra óptica mediante pruebas.

1.3.3. Acotaciones

- La zona de cobertura de la zona centro de Cúcuta será estipulada por la empresa DEVTEL.
- Con base a la situación actual por el covid-19 la visita a la ubicación de los nodos puede verse afectada, en caso de no poder realizar esta actividad se obtendrán planos de los lugares específicos.
- Para el proceso de implementación de la troncal se van a sugerir diferentes equipos, sin embargo, la empresa DEVTEL escogerá los equipos dependiendo de sus propios criterios.

Capítulo 2

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Marco Teórico

A continuación, se indican los conceptos teóricos que se consideran para la implementación de la troncal de fibra óptica y diseño de la red GPON.

2.1.1. Redes telecomunicaciones

Es el conjunto de elementos que permite conexiones entre dos o más puntos definidos para establecer la comunicación entre ellos, y a través de la cual se prestan los servicios al público. Hacen parte de la red los equipos de conmutación, transmisión y control, cables y otros elementos físicos, el uso de los soportes lógicos, y la parte del espectro electromagnético asignada para la prestación de los servicios y demás actividades de telecomunicaciones (MINTIC, 1990).

Ilustración 1. Redes telecomunicaciones

Tomado de: <https://revolutionblogg.wordpress.com/2013/01/21/redes-y-telecomunicaciones/>

2.1.2. Clasificación de las redes según su cobertura

- **Redes LAN:** una red de área local (LAN por las siglas en inglés de Local Área Network) conecta diferentes ordenadores en un área pequeña, como un edificio o una habitación, lo que permite a los usuarios enviar, compartir y recibir archivos.
- **Redes MAN:** una red de área metropolitana (MAN por las siglas en inglés de Metropolitan Área Network) consiste en computadoras compartiendo recursos entre sí en áreas de cobertura de mayor tamaño que una LAN, pero menor que una WAN. Funcionan de forma muy parecida a una red

de área local, pero cumplen estándares tecnológicos diferentes. Estas mejoras son necesarias para subsanar los problemas de latencia (retardo en la entrega de información) y pérdida de calidad de la señal en interconexiones que abarcan largas distancias.

- **Redes WAN:** las redes de área amplia (WAN por las siglas de Wide Área Network) son redes informáticas LAN y MAN interconectadas entre sí. Sus nodos están separados por distancias que pueden abarcar continentes enteros. Los integrantes de esas redes no necesariamente están conectados físicamente. Hacen uso de servicios de microondas y satelitales para integrar sus diferentes nodos (GPC, 2019).

2.1.3. Redes Ópticas

Las fibras ópticas se usan ampliamente en los sistemas de telecomunicaciones, ya que permiten enviar gran cantidad de datos a una gran distancia y a altas velocidades, y son el medio de transmisión por excelencia, al ser inmunes a las interferencias electromagnéticas. También se utilizan para redes locales, en donde se necesite una alta confiabilidad y fiabilidad (Reynolds, 2012).

Ilustración 2 Fibra óptica

Tomado de: citelia.es

2.1.3.1. Red óptica activa (AON)

AON (Active Optical Network) es una red óptica activa, principalmente adopta una arquitectura de red punto a punto (PTP), y cada usuario puede tener una línea de fibra óptica dedicada. La red óptica activa se refiere al despliegue de enrutadores, agregadores de conmutación, equipos ópticos activos y otros equipos de conmutación entre equipos de oficina central y unidades de distribución de usuarios durante la transmisión de señales.

Estos conmutadores funcionan con electricidad para gestionar la distribución de señales de información y las señales de dirección para clientes específicos. El equipo óptico activo incluye fuente de luz (láser), receptor óptico, módulo transceptor óptico, amplificador óptico (amplificador de fibra y amplificador óptico semiconductor (fiber, 2020)).

Ilustración 3, Red óptica activa

Tomado de: <https://www.hdv-fiber.com/es/news/what-are-active-aon-and-passive-pon-optical-networks#>

2.1.3.2. Red óptica pasiva (PON)

PON (Passive Optical Network) es una red óptica pasiva, una estructura de red de punto a multipunto y es la tecnología principal para FTTB / FTTH (Fiber To The Building / Fiber To The Home). La red óptica pasiva se refiere a ODN (red de distribución óptica) que solo usa fibras ópticas y componentes pasivos, y solo necesita usar equipos activos en la fuente de señal y en el extremo receptor de señal. En un sistema PON típico, el divisor óptico es el núcleo y se utiliza para separar y recopilar las señales ópticas transmitidas a través de la red. Estos divisores para PON son bidireccionales. En el sentido descendente, el OLT (terminal de línea óptica) ubicado en la oficina central distribuye múltiples servicios como datos IP, voz y video en el modo de transmisión a través del divisor óptico pasivo 1: N en la ODN a todas las unidades ONU (unidad de red óptica) en la PON; en sentido ascendente, la información de servicio múltiple de cada ONU se acopla a la misma fibra óptica a través del combinador óptico pasivo 1: N en la ODN sin interferir entre sí, y finalmente se envía a la OLT en la oficina central para el extremo de recepción (fiber, 2020).

Ilustración 4, Red óptica pasiva

Tomado de: <https://www.hdv-fiber.com/es/news/what-are-active-aon-and-passive-pon-optical-networks#>

Red APON (Red óptica pasiva ATM)

A-PON se define en la revisión del estándar de la ITU-T G.983, este fue el primer estándar desarrollado para las redes PON. Las primeras especificaciones definidas para las redes PON fueron hechas por el comité FSAN (Full Service Access Network), donde utiliza el estándar ATM (modo de transferencia asíncrono) como protocolo de señalización de la capa 2 (Enlace de Datos). Los sistemas APON usan el protocolo ATM como portador. A-PON se adecua a distintas arquitecturas de redes de acceso, como, FTTH (Fibra hasta la vivienda), FTTB/C (fibra al edificio/a la acometida) y FTTCab (*Marchukov, 2011*).

Red BPON (Red óptica pasiva de banda ancha)

Esta tecnología de las redes PON surgió como una mejora de la tecnología APON para integrar y obtener acceso a más servicios como Ethernet, distribución de video, VPL, y multiplicación por longitud de onda (WDM) logrando un mayor ancho de banda, entre otras mejoras. Ya que se trata de una mejora de la tecnología APON, también posee sus características. Al igual que APON utiliza el protocolo ATM, pero tiene la diferencia que puede dar soporte a otros estándares de banda ancha. En su primera versión, las redes BPON estaban definidas bajo una tasa fija de transmisión de 155 Mbps, tanto para el canal ascendente como para el descendente (*Marchukov, 2011*).

Red EPON (Red óptica pasiva Ethernet)

Este sistema se basa principalmente en el transporte de tráfico Ethernet en vez del transporte por medio de celdas de ATM, que en muchos casos resulta ser muy ineficiente. Funciona con velocidades de Gigabit, por lo cual la velocidad con la que dispone cada usuario final depende del número de ONT (Terminal de red Óptica) que se interconecten a cada OLT. Sus principales ventajas frente a los sistemas anteriores APON y BPON son:

- Ofrece QoS (Calidad de servicio) en ambos sentidos, tanto descendente como ascendente.
- La interconexión entre las etapas es más simple.

-
- Facilita en gran medida la llegada con fibra hasta los abonados, ya que los equipos con los que se accede son más económicos al usar interfaces Ethernet.
 - La gestión y administración de la red se basa en el protocolo SNMP, lo cual permite reducir la complejidad de los sistemas de gestión de otras tecnologías. (Marchukov, 2011).

2.1.4. Red GPON (red óptica pasiva con capacidad de Gigabit)

Es un estándar aprobado por la ITU-T (concretamente en las recomendaciones G.984.1, G.984.2, G.984.3, G.984.4 y G.984.5) de obligado uso por todas las compañías y utilizado para llevar la conexión directamente hasta el hogar garantizando velocidades superiores a 1 Gbps.

Este estándar surgió para acabar con los problemas del estándar PON y busca dar soporte para todo tipo de servicios (voz, Internet, TV, etc.) a velocidades simétricas de 622 Mbit/s o 1.25 Gbit/s y asimétricas de 2.5 Gbit/s de bajada y 1.25 Gbit/s de subida (Velasco, 2019).

Ilustración 5, Red GPON

Tomado de: forum.huawei

2.1.4.1. Ventajas y desventajas de la red GPON

El estándar GPON consigue multiplicar por 4 la distancia máxima de enlace respecto a las conexiones ADSL (línea de abonado digital asimétrica) y VDSL (línea de abonado digital de muy alta tasa de transferencia), pudiendo crear un enlace de hasta 20 Km entre OLT y ONT con bajas pérdidas. Además, el ancho de banda que ofrece es mucho mayor, pudiendo conseguir enlaces de hasta 2.4 Gbps.

Este estándar es capaz de funcionar con voz, datos y vídeo sin necesidad de desplegar infraestructura adicional. Además, cuenta con un QoS para garantizar la

rapidez de las conexiones más importantes y medidas de seguridad, como un cifrado AES, para mantener los datos siempre protegidos.

Sin embargo, no todo son ventajas en cuanto al estándar GPON, y es que esta tecnología implica a tener mucho cuidado a la hora de hacer los empalmes de los cables y los conectores ya que la más mínima suciedad o problema al empalmar puede dar lugar a una importante pérdida de velocidad (Velasco, 2019)

2.1.4.2. Canales ascendente y descendente

Canal ascendente

El canal ascendente es el sentido de información procedente del ONT del usuario final, hasta el OLT del operador. En este canal, la red PON se comporta como una red punto a punto. Cada ONT recoge las tramas de voz y datos agregadas de cada usuario y que se dirigen hacia el OLT. En este punto, el ONT realiza la misma operación que el OLT en el canal descendente, es decir, convierte las tramas en señales (Marchukov, 2011).

Ilustración 6, canal ascendente

Tomado de: <https://es.slideshare.net/haroldguz/gpon-7278692>

Canal descendente

En este caso la red se comporta como una red punto-a-multipunto, ya que el OLT se encarga de enviar la información recopilada mediante broadcast. El OLT recoge todas las tramas de voz y datos y se usa WDM (Multiplicación por División de Longitud de Onda) para juntar dichas tramas con las tramas de vídeo, que tienen una longitud de onda distinta. Para la transmisión de voz y de los datos se utiliza la longitud de onda de 1490 nm, mientras que para el envío de video se usa una longitud de onda de 1550 nm.

Las tramas, como ya se ha visto en apartados anteriores, llevan información con la dirección de destino, para saber a qué usuario van dirigidos. El divisor óptico se encarga de repartir la señal de forma adecuada, enviando cada paquete a su correspondiente destino (Marchukov, 2011).

Ilustración 7, canal descendente

Tomado de: <https://es.slideshare.net/haroldguz/gpon-7278692>

2.1.4.3. Estructura de las redes GPON

OLT (Terminal de línea Óptica)

Es un equipo que integra la función de conmutador L2/L3 en el sistema GPON. En general, el equipo OLT contiene un bastidor, un módulo de control de conmutación, un ELM (módulo de enlace EPON, tarjeta PON), protección de redundancia, módulos de fuente de alimentación de -48v CC o un módulo de fuente de alimentación de 110/220 V CA y ventiladores. En estas partes, la tarjeta PON y la fuente de alimentación admiten el intercambio en caliente. Existen además otros módulos integrados en el interior de la OLT. La función principal del OLT es controlar desde una oficina central la información transmitida en ambas direcciones a través de la ODN (juan, 2018).

Ilustración 8 OLT

Tomado de: www.rzfibra.com

ONU (Unidad de red Óptica)

La ONU convierte las señales ópticas transmitidas a través de la fibra en señales eléctricas. Estas señales eléctricas son enviadas a los suscriptores individuales. En general, existe cierta distancia u otra red de acceso entre la ONU y las instalaciones donde se encuentra usuario final. Además, la ONU puede enviar, agregar y gestionar diferentes tipos de datos provenientes del cliente y enviarlos

en sentido ascendente a la OLT. *Grooming* es un proceso de gestión de la ONU que optimiza y reorganiza el flujo de datos para que estos sean transportados más eficazmente.

La OLT admite la asignación de ancho de banda para permitir así una entrega de datos a la OLT fluida y sin problemas, ya que ésta generalmente llega en ráfagas desde el cliente. Se puede conectar la ONU mediante varios métodos y tipos de cable (juan, 2018).

Ilustración 9, ONU

Tomado de: m.opticomfiber.com

ONT (Terminal de red Óptica)

En realidad, la ONT es lo mismo que la ONU en esencia. La ONT es un término de la UIT-T, mientras que ONU es un término del IEEE. Ambos se refieren al equipo del del usuario en el sistema GEPON (Gigabit Ethernet sobre redes ópticas pasivas). En la práctica, sin embargo, hay una pequeña diferencia entre ONT y ONU según su ubicación. La ONT es un dispositivo ubicado directamente en la casa del usuario, y la ONU puede colocarse en el corredor, y cada usuario está conectado a la ONU a través de un dispositivo como un Switch.

Ilustración 10, ONT

Tomada de: <https://www.aleashop.es/blog/2017/05/30/gpon-ont-huawei/>

Divisores (Splitter)

Los Splitter de Fibra Óptica o Divisores Ópticos, son los que se suelen emplear en Redes de distribución de vídeo (Broadcast) o de datos y en redes PON o GPON (FTTH).

Su principio de funcionamiento consiste en dividir la señal óptica en 2, extensible hasta el hecho de conseguir N salidas. Estas salidas son de menor potencia que la señal óptica original, pero mantienen el mismo contenido óptico de datos, por lo que cuantas más veces se divida, más usuarios dispondrán de la misma señal

óptica, teniendo en cuenta la pérdida de velocidad, ya que ésta también se divide.

Ilustración 11, Divisores (Splitter)

Tomado de: <https://www.gtlan.com/producto/splitter-de-fibra-optica-1x8-con-conector-2/>

Fibra óptica

La fibra óptica es la tecnología usada para transmitir información en forma de pulsos de luz mediante hilos de fibra de vidrio o plástico, a través de largas distancias.

Las fibras ópticas miden alrededor del diámetro de un cabello humano, y cuando se las combina en un cable de fibra óptica permiten transmitir más datos a través de distancias más largas y de forma más rápida que otros medios. Es la tecnología que permite brindar a los hogares y las empresas servicios de Internet, teléfono y TV por fibra óptica (VERIZON, 2020).

Ilustración 12, Fibra optica

Tomado de: <https://concepto.de/fibra-optica/>

Fibra óptica mono modo

El cable de modo único es un solo soporte de fibra de vidrio con un diámetro de 8,3 a 10 micras que tiene un modo de transmisión. Fibra mono modo con un diámetro relativamente estrecho, a través del cual sólo un modo se propagará típicamente a 1310 o 1550nm. Lleva mayor ancho de banda que la fibra multimodo, pero requiere una fuente de luz con un ancho espectral estrecho.

La fibra mono modo le da una velocidad de transmisión más alta y hasta 50 veces más distancia que multimodo, pero también cuesta más. La fibra mono modo

tiene un núcleo mucho más pequeño que el multimodo. El núcleo pequeño y la única onda de luz prácticamente eliminan cualquier distorsión que podría resultar de los pulsos de luz superpuestos, proporcionando la menor atenuación de señal y las velocidades de transmisión más altas de cualquier tipo de cable de fibra (Madrid, 2015).

Ilustración 13 Fibra mono modo

Tomado de: beyondtech.us

Fibra óptica multimodo

El cable multimodo está hecho de fibras de vidrio, con diámetros comunes en el rango de 50 a 100 micrones para el componente de transporte ligero (el tamaño más común es 62.5). POF es un nuevo cable basado en plástico que promete un rendimiento similar al cable de vidrio en recorridos muy cortos, pero a un costo menor.

La fibra multimodo le da un alto ancho de banda a altas velocidades en distancias medias. Las ondas de luz se dispersan en numerosos caminos, o modos, a medida que viajan a través del núcleo del cable, típicamente 850 o 1300 nm. Los diámetros típicos de núcleo de fibra multimodo son 50, 62,5 y 100 micrómetros. Sin embargo, en tramos de cable largos (más de 3000 pies [914.4 m]), múltiples trayectorias de luz pueden causar distorsión de la señal en el extremo receptor, lo que resulta en una transmisión de datos poco clara e incompleta (Madrid, 2015).

Ilustración 14 Fibra multimodo

Tomado de: <https://xxxamin1314.medium.com/fibra-multimodo-de-%C3%ADndice-escalonado-vs-fibra-multimodo-de-%C3%ADndice-graduado-46b3e2b9f6e5>

Cables autos soportados

Son cables de fibra óptica auto soportados diseñados para tendidos entre postes o fachada, con anclajes entre puntos con cables fijador que hacen de guía (silexfiber, 2014).

Ilustración 15, Cable auto soportado

Tomado de: <http://www.crttele.com/cable-figura-8.html>

Ilustración 16 Tendido aéreo de fibra

Tomado de: docplayer.es.

Cable Aéreo Holgado ADSS

Diseño completamente libre de metales con recuentos de fibras de 12 a 288 fibras, adecuado para el despliegue cerca de líneas de alta tensión en tramos largos. Estos cables se pueden instalar en tramos cortos entre postes aéreos sin un mensajero separado sobre el cual se pueda conectar el cable óptico. También disponible en tramos de longitud media y larga.

Ilustración 17 Cable holgado

Tomado de: ecatalog.corning.com

Mufa o Cierre de Empalme de Fibra Óptica

Es un producto destinado a proteger los puntos de fusión de fibra óptica, en Redes de Planta externa, su diseño de cierre central mediante sello, evita el ingreso de humedad y aire al interior de la cavidad contenedora de las fibras (dismatel, 2020).

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 (boiero, 2015).

Ilustración 18 Mufa

Tomado de: www.monografias.com

Ilustración 19 Caja NAP

Tomado de: canovate.com

Conectores

Los conectores son los encargados de hacer la conexión de las líneas de fibra óptica a un elemento que puedes receptor como también un transmisor, hay varios tipos de conectores entre los cuales son los siguientes:

- FC, es usado para la transmisión de datos y telecomunicaciones.
- FDDI, redes de fibra óptica.
- LC y MT-Array que se utilizan en transmisiones de alta densidad de datos.
- SC y SC-Dúplex se utilizan para la transmisión de datos.
- ST o BFOC se usa en redes de edificios y en sistemas de seguridad.

Ilustración 20 Tipos de conectores de fibra óptica.

Tomado de: www.profesionalreview.com

2.1.5. Técnicas de tendido de fibra óptica

Básicamente se diferencian dos tipos de tendidos: tendidos en exteriores y tendidos en interiores.

Tendidos en canalización exterior

Los tendidos de cable de fibra óptica por canalización exterior se realizan desplegando el cable por alguno de los conductos o subconductos que conforman el prisma de la canalización disponible. En cualquiera de las técnicas disponibles para los tendidos en canalización se ha de cumplir que los conductos a emplear para la instalación se encuentren mandrilados. La acción de mandrilar consiste en tener comprobada la continuidad del conducto, para lo que se pasa un hilo con una punta de una determinada longitud y diámetro para su comprobación.

Tendidos en fachada

Los tendidos de cable de fibra óptica por fachada se deben minimizar por el riesgo que suponen para el cable una vez instalado. A continuación, se enumeran algunas de las precauciones que hay que considerar al realizar los tendidos de cable por fachada:

- El tendido se debe mantener a una altura constante, sin cambios de nivel, siendo la altura mínima de 2,5m sobre el suelo, yendo el cable en todo momento paralelo al suelo o perpendicular.
- Con objeto de minimizar el impacto estético, se utilizan elementos arquitectónicos como molduras, canaletas, etc. Es importante que el cable de fibra sea de difícil accesibilidad.
- El recorrido del cable se realiza siempre que sea posible de forma que esté lo menos expuesto al deterioro por las inclemencias atmosféricas.
- El tendido se realiza de forma que se emplee la menor cantidad de materiales, con el menor número de ángulos e intentando salvar todos los obstáculos posibles.
- Los trazados verticales, se separan al menos 30 cm. de las aristas salientes de los edificios.
- Se tiene especial cuidado con el radio de curvatura del cable y las aristas propias de la fachada, de modo que no se realicen curvaturas con radios menores a las indicadas en las instrucciones técnicas del cable a instalar, debiendo disponer

Tendidos aéreos

Para realizar los tendidos de cable de fibra óptica por trazado aéreo, hay que tener en cuenta las siguientes precauciones:

- En general, la bobina se sitúa junto al poste desde el que se va a iniciar el tendido, suspendida de una grúa, sobre remolque o sobre gatos, de manera que pueda girar libremente y el cable salga siempre por la parte superior. Se procura que esté nivelada con la sección de postes donde se pretende tender el cable.
- Se realiza la instalación aérea entre postes, atando el cable de fibra óptica a un fiador existente de acero. El cable de fibra óptica se coloca junto al fiador mediante camiones y trailers de bobinas de cable.
- Para asegurar el cable al fiador se utiliza una guía y un fijador de cables. Mientras un camión sigue al fijador con objeto de asegurar que está actuando correctamente y que el cable se está ajustando adecuadamente a las posiciones de la línea.
- En el extremo preparado del cable se pone un nudo giratorio y se ata una cuerda de cáñamo.
- El modo de realizar la tracción sobre el cable para llevar a cabo el tendido, diferencia dos formas de tendido aéreo. Que son tendido manual o tendido mediante cabestrante.
- Finalizado el tendido, se realiza el cosido del cable al fiador. Se amarra al fiador mediante cosido con hilo de acero de 2 mm. Este cosido se realiza con la máquina ligadora que va cosiendo el cable según va avanzando a lo largo del cable de suspensión
- En cada poste, el cable formará una vuelta de expansión para permitir la dilatación del fiador. Debido a las propiedades de la fibra óptica, el cable se dilata o contrae muy poco cuando varía la temperatura. Por tanto, para reducir la tensión de un cable de fibra óptica que se haya unido a un fiador de acero, se añadirá una pequeña vuelta de expansión.
- Debe tenerse en cuenta el radio de curvatura del cable, de modo que la longitud de la vuelta del lazo D debe ser dos veces mayor que su

profundidad R y la longitud D también debe ser dos veces mayor que el radio de curvatura mínimo del cable. (jaurlaritz, 2018).

2.1.6. Materiales, Herramientas y equipos de instalación

Pelacables para fibra óptica

Como su nombre lo indica esta herramienta se usa para retirar el recubrimiento si hacer ningún daño a la fibra.

Ilustración 21, pelacables

Tomada de: <https://toolboom.com/es/catalogue/fiber-optic-network-maintenance/fiber-optics-strippers>

Termo-encogible

Se usa para dar resistencia ante cualquier peligro de ruptura en la fibra, se coloca entre las uniones realizadas para darle firmeza al tramo.

Ilustración 22, termoencogible

Tomado de: https://es.made-in-china.com/co_njtxtdz/product_T-918-Heat-Shrink-Fiber-Optic-Splice-Sleeve_eiroouueg.html

Fusionadora

Es una máquina de precisión electro mecánica, que se utiliza para empalmar una fibra óptica con otra, ya sea en despliegue de una red de fibra óptica o en reparación de una rotura en un cable óptico de una red ya existente. Es muy importante que la fusiónadora y la cortadora de fibra óptica sean de gran precisión para obtener un óptimo resultado, que se traducirá en unas pérdidas introducidas mínimas y empalme resistente y duradero (melcox, 2019).

Ilustración 23, fusionadora

Tomado de: <https://melcox.com/que-es-una-fusionadora-de-fibra-optica-y-como-elegirla2/>

Cortador de fibra óptica

Como lo dice su nombre esta es una herramienta usada para cortar la fibra óptica y posteriormente hacer el empalme de esta misma.

Ilustración 24, cortadora de fibra óptica

Tomado de: <https://www.fibraoptica hoy.com/cortadoras-fibra-optica/>

OTDR (Refractómetro óptico en el dominio del tiempo)

Este es una herramienta utilizada para hacer la revisión de la integridad de la fibra óptica, puede hacer la verificación de fallas en el empalme, medir distancia y encontrar defectos.

Ilustración 25, OTDR

Tomado de: <https://www.optitel srl.com/product/otdr-distintas-configuraciones-sm-mm-grandway/>

Medidor de potencia óptica

Este hace la medición de la diferencia entre la tensión de salida y el punto donde la tensión está en su punto pico, esa diferencia se multiplica por la responsividad de la foto detector, esta responsividad es una función del sensor y de la longitud de onda de la luz. El resultado es igual a la energía del pulso.

Ilustración 26, medidor de potencia óptico

Tomado de: <https://silexfiber.com/producto/medidor-de-perdida-y-potencia-optica-e3216/>

2.2. ESTADO DEL ARTE

Actualmente se pueden encontrar diversos proyectos con respecto a las redes GPON o troncales de fibra óptica donde se puede observar diseños

e implementaciones de redes en diferentes lugares, a continuación, se expondrá diversos proyectos relacionados.

2.2.1. Internacional

En el trabajo **Diseño de una red FTTH para la renovación de los servicios de las operadoras telefónicas de Guayaquil (2012)** presentado en la universidad católica de Guayaquil, por los autores Rodríguez Zambrano y Cristian Rudich, se detalla de forma minuciosa, el diseño y la instalación una red óptica FTTH, como proyecto inicial y una modalidad de expansión a futuro para una empresa dedicada a las telecomunicaciones donde finalmente se realizó la implementación de la red FTTH para esta empresa de telecomunicaciones dando oportunidad de expansión.

En el proyecto **Diseño y optimización de una red GPON a través de una red SDN** para la facultad técnica para el desarrollo (2020), presentado en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, por el autor Alberto Javier Herrera Vaca, se implementa un diseño que permite la optimización de una red de acceso GPON a través del escenario de SDN para la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil (UCSG) donde finalmente se generó diversos beneficios para los usuarios internos y externos de este lugar.

El trabajo **Implementación de una red FTTH bajo el estándar GPON en el distrito de Santiago de Surco en la zona residencial de Cerro de Camacho** (2020), de la Universidad Tecnología de Perú, por el autor Rubén Augusto Vega Márquez, presenta un diseño de red desarrollado con la tecnología de fibra óptica hasta el hogar, implementada bajo el estándar GPON en el distrito de Santiago de Surco en la zona residencial de Cerro de Camacho. La propuesta para el tendido de la red de fibra óptica está implementada bajo la técnica de micro zanjado y finalmente

se logró ofrecer un servicio óptimo en la zona residencia de cerro de Camacho.

El trabajo titulado **Diseñar e implementar una red GPON y arquitectura FTTH aplicando los estándares ANSI/TIA/EIA-568-b.3 y TIA 598-a**, en la facultad de sistemas y telecomunicaciones (2020), presentado en la universidad Estatal Península de Santa Elena facultad de sistemas y telecomunicaciones por los autores Ariana Verónica Pardo Ríos y Braulio Damián Santos Suarez, es un proyecto de aprendizaje práctico en redes de fibra óptica que ayudó a los estudiantes a entender el funcionamiento y comportamiento de las redes GPON y FTTH, extendiendo sus conocimientos en estas áreas.

En el trabajo **Desarrollo de la red FTTH con tecnología GPON de la empresa ALFATEL para la ciudad El Ángel provincia del Carchi** (2021) presentado en la universidad politécnica salesiana de ecuador por los autores Sánchez Pico y Jorge Jahir, donde se diseñó e implemento una red de fibra óptica mediante la tecnología FTTH (Fiber To The Home) y el estándar GPON para la empresa ALFATEL ubicada en la ciudad de El Ángel en la Provincia del Carchi donde finalmente se pudo ofrecer un óptimo servicio en esta zona.

2.2.2. Nacional

El proyecto titulado **Planeación y diseño de una red de acceso por fibra óptica FTTH para brindar servicios multimedia a comunidades beneficiadas por el fin del conflicto armado** (2018), presentado en la universidad Distrital Francisco José de caldas por los autores Lina Vanesa Buitrago Forero y Oscar David Gómez Mora, buscó dotar de soluciones tecnológicas que permitieran ofrecer servicios de multimedia como internet, televisión y voz para los miembros de las comunidades rurales que fueron desplazadas por el conflicto armado, , dando un aporte a esta familias que fueron afectadas.

El proyecto titulado **Estudio para la implementación de red GPON en el sector comercial de Barrancabermeja** (2017), presentado en la Institución Universitaria Politécnico Gran Colombiano por los autores Laura Bibiana Rivera Galeano y Oscar Javier Huertas Campo, se trabajó una propuesta por parte de la alcaldía, para mejorar la visibilidad del sector comercial de la ciudad, a causa de los trabajos realizados se propone reemplazar las redes canalizadas compuestas de cable de cobre por redes canalizadas con fibra óptica donde finalmente se concluyó que el cambio de la red de cobre a una red GPON canalizadas por fibra óptica es una buena forma de mejorar la red en esta zona.

El trabajo titulado **Propuesta de un manual de procedimientos de instalación y mantenimiento preventivo y correctivo de la red de fibra óptica de la EBSA con canales de 10 Gbps** (2016), presentado en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia por la autora Paola Andrea Sainea Molina, este proyecto se desarrolló con el fin de proporcionar a la empresa de energía de Boyacá recomendaciones de tendido de fibra óptica, así como un protocolo de mantenimiento de la red de fibra óptica

El proyecto titulado **Propuesta para la implementación de la red de fibra óptica y suministro de Internet en las sedes principales de los colegios públicos del Municipio de Chía (2018)**, presentado en la universidad uniminuto por los autores Luna Gutiérrez, Pablo Fernández, Adrián Barajas y Humberto Ramiro donde se describe la situación en que se encuentran el internet en los principales colegios públicos del municipio de Chía se determina el problema y se establecen los objetivos y solución para entregar un internet estable por medio de la tecnología FTTH en estas instituciones educativas.

2.2.3. Local

En el proyecto **enlace de fibra óptica de trayecto largo entre las ciudades de Bogotá y Cúcuta (2018)** presentado en la universidad distrital francisco José de caldas por el autor Jaime Andrés Molina Rodríguez, se expone el diseño detallado de un enlace de trayecto largo de fibra óptica, específicamente entre las ciudades colombianas de Bogotá y Cúcuta, al culminar este proyecto se hizo la conexión de estas dos ciudades mediante una troncal de fibra óptica.

2.3. MARCO LEGAL

- ITU-T REC G.653 (07/10), (2010) CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES Y FIBRAS ÓPTICAS MONO MODO CON DISPERSIÓN DESPLAZADA., describe los atributos geométricos, mecánicos y de transmisión de una fibra óptica mono modo y un cable con dispersión cero de longitud de onda desplazada a la región de longitud de onda de 1550 nm en la región de la longitud de onda de 1550 nm. Se trata de la última revisión de la Recomendación que se creó por primera vez en 1988. Esta revisión elimina la definición de la longitud de onda de corte del cable de puente y añade Notas que permiten una mayor atenuación máxima del cableado para los cables de puente cortos (UIT, UIT, 2010).
- UIT-T L.90 INSTALACIÓN DE REDES ÓPTICAS PASIVAS, describe la red de acceso óptico que debe utilizarse en el diseño y construcción de la fibra hasta el hogar (FTTH). Trata principalmente de las arquitecturas de las redes de acceso y de la actualización o el nuevo despliegue de la fibra óptica a las redes de acceso óptico (UIT, UIT, 2012).
- UIT-T G.987.3 (2014) REDES ÓPTICAS PASIVAS CON CAPACIDAD DE 10 GIGABITS (XG-PON): ESPECIFICACIONES DE LA CONVERGENCIA DE TRANSMISIÓN (TC), describe la capa de convergencia de transmisión para los sistemas de red óptica pasiva con capacidad de 10 gigabits de red óptica pasiva, una familia de sistemas de red de acceso flexible que opera sobre una infraestructura de acceso óptico punto a multipunto a velocidades de datos nominales del orden de

10,0 Gbit/s. infraestructura de acceso óptico punto a multipunto a velocidades de datos nominales del orden de 10,0 Gbit/s en al menos en una dirección, proporcionando una amplia gama de servicios de banda ancha y estrecha a los usuarios finales (UIT, UIT, 2014).

- UIT-T G.984.1 (2008) REDES ÓPTICAS PASIVAS CON CAPACIDAD DE GIGABITS: CARACTERÍSTICAS GENERALES, La Recomendación UIT-T G.984.1 describe una red de acceso de fibra óptica flexible capaz de soportar los requisitos de ancho de banda de los servicios empresariales y residenciales y cubre sistemas de 2,4 Gbit/s en sentido descendente y de 1,2 Gbit/s y 2,4 Gbit/s en sentido ascendente dirección de subida. Las redes ópticas pasivas (GPON) simétricas y asimétricas (ascendentes y descendentes) con capacidad de gigabit (GPON) simétricos y asimétricos. Esta Recomendación propone las características generales características generales de la GPON basadas en los requisitos de servicio de los operadores (UIT, UIT, 2008).
- UIT-T G.983.2 ESPECIFICACIÓN DE LA INTERFAZ DE CONTROL Y GESTIÓN DE TERMINALES DE RED ÓPTICA PARA REDES ÓPTICAS PASIVAS DE BANDA ANCHA, En el sistema de redes ópticas pasivas (PON) definido en la Rec. UIT-T G.983.1 [3] (denominado red óptica pasiva con modo de transferencia asíncrono en la Rec. UIT-T G.983.1), las terminaciones de la red óptica están situadas en el domicilio del cliente. El sistema de gestión de elementos de la red óptica pasiva de banda ancha (B-PON) sólo gestionará los terminales de la red óptica (ONT) como parte del sistema de red óptica pasiva de banda ancha a través del terminal de línea óptica (OLT) que utiliza la interfaz de control y gestión de ONT (OMCI). La presente Recomendación trata de los requisitos de esta interfaz de control y gestión. En primer lugar, especifica las entidades gestionadas de una base de información de gestión independiente del protocolo que modela el intercambio de información entre el OLT y el ONT. A continuación, describe el canal de gestión y control del ONT, el protocolo y los mensajes detallados. Esta segunda versión revisada de la Rec. UIT-T G.983.2 incorpora el material de las

Enmiendas 1 (2003) y 2 (2005) a la Rec. UIT-T G.983.2, de la Guía del Implementador de G.983.2 (2003) y de las Recs. UIT-T G.983.6 (2002), G.983.7 (2001), G.983.8 (2003), G.983.9 (2004), G.983.10 (2004) en el texto de base de la versión revisada de G.983.2 (2002). También incluye algunas correcciones menores, aclaraciones y ampliación de funciones (UIT, UIT, 2005).

- ITU-T REC-G.650.3 MÉTODOS DE PRUEBA PARA ENLACES DE CABLE DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO INSTALADOS (agosto del 2017). La Recomendación UIT-T G.650.3 describe las pruebas que normalmente se realizan en enlaces de cable de fibra óptica mono modo instalados. Incluye una colección de referencias a los principales métodos de medición y proporciona una indicación de cuáles son los más adecuados para los enlaces de cable instalados, según el nivel de inspección requerido. Los enlaces de cable de fibra óptica se componen de múltiples secciones de cable, empalmes y otras conexiones. Este término se define más completamente en esta Recomendación (UIT, UIT, 2017).

2.4. MARCO CONTEXTUAL

La empresa DEVTEL S.A.S. fue fundada en la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia, en el año 2016, actualmente tiene cobertura en zonas del barrio Cundinamarca y alrededores, su objetivo principal es proporcionar servicios y soluciones en el área de las tecnologías de la información y la comunicación a toda la región enfocándose principalmente en aquellas zonas donde el acceso a redes o a Internet es bastante bajo o casi nulo.

La empresa DEVTEL S.A.S. ofrece servicios de:

- Internet: Servicio de Internet con canales banda ancha o dedicados para dar acceso a recursos de información y comunicación

-
- VPN: Redes Privadas Virtuales para permitirle a su empresa una extensión segura de su red local sobre una red pública.
 - Cableado estructurado: Servicio altamente especializado en el Diseño e implementación de cableados estructurados para redes de voz y datos.
 - CCTV: Circuitos cerrados de televisión para mantener su empresa vigilada y segura.
 - Voz sobre IP: Ofrecemos soluciones de Telefonía IP para la comunicación interna y externa en su empresa.
 - Desarrollo de software: Análisis, diseño e implementación de soluciones de software a la medida para su empresa.

Logo de la empresa:

Ilustración 27 logo DEVTEL S.A.S

Tomado de: <http://devtel.com.co/index.html>

A continuación, se muestra la ubicación de la oficina principal de la empresa DEVTEL S.A.S. (Av. 5E con diagonal Santander).

Ilustración 28 Ubicación empresa DEVTEL S.A.S

Ilustración 29 Edificio donde se encuentra la oficina principal de DEVTEL S.A.S

Capítulo 3

3. DESCRIPCIÓN DE LA RED ACTUAL Y PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA RED GPON

3.1. Infraestructura de la red actual

La empresa DEVTEL S.A.S cuenta con una troncal inalámbrica entre su nodo principal y su nodo secundario que provee servicios de telecomunicaciones a usuarios ubicados en la zona de Cundinamarca, los proveedores de servicios (ISP) contratados son TIGO y ETB. El objetivo de este capítulo es hacer un diagnóstico de la infraestructura, el tipo y los equipos de red que se están usando.

Ilustración 30, troncal de radio enlace actual.

Ilustración 31, ubicación de los nodos actuales

En la ilustración 31 se observa el mapa de la ubicación de cada uno de los nodos que actualmente tiene la empresa DEVTEL. Posteriormente se realiza visita a los nodos donde se requiere hacer la migración hacia una troncal de fibra óptica, a continuación, en las siguientes ilustraciones se muestra en detalle cada uno de los nodos (principal y secundario) y se indica el sitio donde la empresa DEVTEL S.A.S requiere ubicar el punto para la futura red GPON.

3.1.1. Nodo principal

El nodo principal se encuentra ubicado en la avenida 10 entre calles 15 y 16, el salón de telecomunicaciones esta al fondo de la edificación en el segundo piso, en la ilustración 32 se puede evidenciar mejor, también se muestra la ubicación del rack con el que cuenta esta sala de telecomunicaciones.

Ilustración 32, edificación del nodo principal

Ilustración 33, nodo principal

En las siguientes ilustraciones se puede evidenciar que la empresa DEVTEL solo tiene un rack en el nodo principal, este rack tiene un switch y 8 PoE. También se observa la ubicación de las antenas en la edificación y la sala de telecomunicaciones.

Ilustración 34. Rack ubicado en el nodo principal (Cll 15 entre av 10 y 11 B. el páramo).

Ilustración 35, rack por dentro.

Ilustración 36, ubicación de las antenas usadas para el radio enlace

Las antenas que están en el nodo principal son antenas Power Beam y Airfiber de modelos 5AC-620 y 5XHD respectivamente, de marca UBIQUITI. La empresa DEVTEL como se mencionó anteriormente tiene dos proveedores que son TIGO y ETB, donde tienen contratado 1.2 Gb con TIGO y 300 Mb dedicadas con ETB.

3.1.2. Nodo Cundinamarca

En este nodo igual que en el nodo principal contamos con las dos antenas del radio enlace que actualmente tiene la empresa DEVTEL y las demás antenas que van dirigidas a los diferentes usuarios suscritos a esta misma, también cuenta con un switch de marca Tp-Link modelo TL-SG1016D y los PoE usados para las antenas, todo estos se muestra en las siguientes ilustraciones.

Ilustración 37, Nodo donde finalizara la troncal de fibra óptica (av. 25 cll 11 Br. Cundinamarca)

Ilustración 38, Nodo donde finalizara la troncal de fibra óptica (av. 25 cll 11 Br. Cundinamarca)

Ilustración 39, cajas ubicadas en el nodo final (av. 25 cll 11 Br. Cundinamarca)

3.1.3. Radioenlace troncal entre el nodo principal y secundario

Actualmente la red de la empresa DEVTEL S.A.S. cuenta con dos radios enlaces que se usan como troncal, uno usando antenas powerBeam y el otro usando AirFiber, para proveer de servicios de internet a los usuarios ubicados en la zona de Cundinamarca.

A continuación, se muestran los dos radios enlaces en la ilustraciones 40 y 41 respectivamente tomado de la interfaz de usuario de los radios, donde se puede observar la distancia que hay entre cada radio enlace, la capacidad y rendimiento.

Ilustración 40, Radio enlace 1 PowerBeam.

Ilustración 41, radio enlace 2 AirFiber Ubiquiti.

3.1.4. Equipos de telecomunicaciones de la red actual

En la siguiente tabla se describe la marca, modelo y características de los equipos usados en el nodo principal y final de la red actual de la empresa DEVTEL.

Tabla 1, Equipos usados en la red actual

EQUIPO	MARCA	MODELO	CARACTERISTICAS	IMAGEN
Antena Power Beam	UBIQUITI	5AC-620	La PowerBeam soporta hasta 450 Mbps reales TCP/IP. Tiene una antena que ofrece 29 dBi de ganancia y 24 dBm de Potencia de Transmisión.	

(nodo principal y nodo secundario)			Opera en el intervalo de frecuencia de 5150 – 5875 MHz. Cuenta con un procesador Atheros MIPS 74KC a 720 MHz y 128MB de RAM.	
Antena AirFiber. (nodo principal y nodo secundario)	UBIQUITI	5XHD	Modo de operación: Master/Slave. Procesamiento: 2 Millones de paquetes por segundo (Mpps). Anchos de canal ajustable: 10/20/30/40/50/60/80/100 MHz. Soporte de OFDM y OFDMA. Configuración vía Bluetooth®. Procesador propietario: airFiber® LTU IC. Seguridad AES-256. Sincronización GPS. Análisis de espectro dedicado. Ultra baja latencia.	
Switch (nodo principal)	HP	1910-48G	• 48 puertos RJ-45 10/100/1000 con negociación automática. • 4 puertos SFP de 1000 Mbps. • Admite un máximo de 48 puertos 10/100/1000 de detección automática • 4 puertos SFP 1000BASE-X, o una combinación de estos Incluido • hasta 77,4 Mpps • IMC - Intelligent Management Center Interfaz de línea de	

			comandos limitada Navegador web Administrador de SNMP Mib Ethernet IEEE 802.3 • ARM a 333 MHz • flash de 128 MB • tamaño de búfer de paquetes: 512 KB • 128 MB de RAM	
switch (nodo secundario)	Tp-Link	TL-SG1016D	• 16 Puertos 10/100/1000 Mbps • Throughput: 35.7 Mpps • Innovadora tecnología de eficiencia energética para ahorrar energía hasta un 40% • 100% de tasa de datos de filtrado elimina todos los paquetes de error • Es compatible con IEEE 802.3x control de flujo para modo Full Dúplex y contrapresión para modo Medio-Dúplex • Conmutación sin bloqueo hacia delante arquitectura y filtra paquetes a velocidad de cable para un máximo rendimiento • Capacidad de conmutación de 32 Gbps • Auto-MDI/MDIX elimina la necesidad de cables cruzados • Es compatible con dirección MAC auto-aprendizaje y auto-envejecimiento • Apoyo el puerto N-Way Auto-Negociación, de almacenamiento y reenvío. • Diseño de tamaño compacto para computadoras de escritorio, montaje en bastidor • Diseño Plug and Play facilita la instalación	

Teniendo en cuenta la relación de equipos de la tabla anterior, se usó el software de ubiquiti y airfiber para obtener las características de cada uno de los radio enlaces tales como potencia de transmisión, ancho de banda. Estos datos fueron dados por la empresa DEVTEL S.A.S.

Datos del radio enlace PowerBeam:

Ilustración 42, señal de potencia y ancho de banda de radio enlace PowerBeam

Ilustración 43, otras características del enlace PowerBeam

En las ilustraciones 42 y 43 se observó datos de este radio enlace (PowerBeam) como la capacidad de rendimiento del emisor y receptor que es de 399.60 Mbps y 372.60 Mbps respectivamente, también la potencia de transmisión de cada uno de los equipos, la señal por cadena recibida por la antena remota que es de -39 dBm en ese momento pero que normalmente según estos datos oscila entre -42 y -43 dBm. También nos proporciona otros datos como los el uso de la memoria y CPU de cada una de las antenas, la distancia entre las antenas y el piso de ruido que es de -93dBm.

Datos del radio enlace Airfiber:

Ilustración 44, potencia de radio enlace Airfiber

Ilustración 45, capacidad de ancho de banda de radio enlace Airfiber

Ilustración 46, otras características de radio enlace Airfiber

Anteriormente en la ilustraciones 44, 45 y 46 se evidencio las características del radio enlace airfiber donde se muestra el ancho de banda que puede soportar este sistema (435.84 Mbps) y el que está transmitiendo (330.77 Mbps), como también el que se está recibiendo al otro extremo del enlace (289.28 Mbps). Mediante este software también se muestra la potencia de transmisión del

sistema que es de 22 dBm y la señal por cadena recibida por la antena remota que según estos datos oscila entre -40 y -43 dBm, la señal que se espera recibir según el software es de -31 dBm. También se observa como en el sistema de radio enlace anterior PowerBeam datos como la memoria y CPU.

De acuerdo a las características de la red que posee la empresa DEVTEL S.A.S se puede concluir que presenta problemas para sustentar las demandas de un aproximado de 800 clientes suscritos a la empresa con ancho de banda entre 3 a 10 Megas, de acuerdo a lo anterior, se pueden definir unos parámetros para hacer el diseño de la red GPON y la troncal de fibra óptica.

3.2. Parámetros de diseño para la red GPON

3.2.1. Generalidades

Entre los parámetros generales de diseño de la red GPON que se usara para renovar y sustituir el sistema de radio enlaces se debe considerar la demanda de los usuarios actuales y futuros según la proyección de la empresa, también se debe tener en cuenta la implementación de un medio guiado instalado en estructuras aéreas, los equipos utilizados serán cambiados en su mayoría ya que deben ser compatibles con la tecnología a la que se desea actualizar.

Para la red GPON es importante resaltar que debe hacerse el diseño para un total de 56 clientes, este dato fue aportado por DEVTEL S.A.S ya que es un requerimiento de esta empresa para su futura ampliación de cobertura, otro parámetro relevante para el diseño de la red GPON es que se realizara el diseño para prestar un servicio de banda ancha.

Se hace una proyección de 56 usuarios, donde estos tengan un servicio de banda ancha en sus hogares o locales de comercio. El servicio de banda ancha en Colombia es de 25 Mbps en adelante, esto implementado por la CRC (comisión de regulación de comunicaciones) en la resolución 5161 de 2017.

El área de cobertura a cubrir en la zona centro de la ciudad de Cúcuta es de 5.46 Km^2 , el área deseada por cubrir se muestra en la ilustración 47, esta área fue obtenida por la herramienta Mymaps. Los futuros usuarios ubicados en esta

área son de estrato entre 3 y 4, toda esta zona es muy comercial ya que por estos lugares se encuentran diferentes almacenes de ropa, zapatos, electrodomésticos etc.

Ilustración 47, area a cubrir en la zona centro de la ciudad

3.2.2. Parámetros técnicos para la red GPON

Tabla 2, parámetros para red GPON

Parámetro	Descripción
Tendido	El tendido se hará de forma aérea puesto que para salir de la edificación donde se encuentra el nodo principal es más fácil de esta forma y para llegar al nodo final ubicado en la parte alta de Cundinamarca la mejor forma de llegar es de forma aérea.
Ancho de banda	Según la CRC el ancho de banda que se espera ofrecer deberá ser mayor a 25 Megas ya que se piensa ofrecer un servicio de banda ancha, este ancho de banda no es fijo ya que la red GPON es para un futuro crecimiento de la empresa.
Usuarios	Se proyecta lograr proveer de servicios de internet a 56 usuarios a futuro con la red GPON.

Capítulo 4

4. DISEÑO DE LA RED GPON EN LA ZONA CENTRO DE LA CIUDAD DE CUCUTA.

Para el diseño de la red GPON se deben tener en cuenta los parámetros mencionados anteriormente en la conclusión del capítulo 3, se inicia la sectorización en la zona centro de la ciudad de Cúcuta con la ayuda de la herramienta Mymaps, que fue usada para hacer la demostración de manera gráfica de cada uno de los sectores, este sectorizado fue trazado principalmente en AutoCAD como se muestra en el anexo 1, también se hará la especificación de la postería a usar, los cálculos teóricos y simulados necesarios en el diseño de la red GPON, la escogencia de los equipos y el presupuesto económico.

4.1. Sectorización y especificación de la infraestructura de postes

4.1.1. Sectorización

En la ilustración 48 se evidencia que se trabajó con un total de 7 sectores para así poder cubrir toda la zona centro de la ciudad de Cúcuta sin dividir de forma exagerada la zona centro de la ciudad y tampoco tener sectores demasiado grandes, un sector es más grande que otro ya que es diferente la concentración de personas en cada sector.

Ilustración 48, sectorización de la zona centro de la ciudad de Cúcuta.

Delimitación sector 1

El primer sector que hará parte de la red GPON en la zona centro de Cúcuta se muestra en la ilustración 49 que tiene color amarillo, este sector cuenta con una

cobertura de 2.04 km², el sector 1 empieza desde la av. 12 hasta la av. 7, así mismo también va desde la calle 10 hasta la calle 14 formando un rectángulo encerrando todo el sector, para este sector se proyectó un total de 7 usuarios.

Ilustración 49, sector 1

Delimitación sector 2

El segundo sector mostrado en la ilustración 50 en color morado cuenta con una cobertura de 1.59 km², este empieza desde la calle 10 hasta la calle 8, así mismo también desde la avenida 12 hasta la avenida 7, para este sector se proyectó un total de 7 usuarios.

Ilustración 50, sector 2

Delimitación sector 3

El tercer sector mostrado en la ilustración 51 en color negro cuenta con una cobertura de 1.61 km², este sector va desde la av. 7 hasta la av. 4, desde la calle 14 hasta la calle 10, para este sector se proyectó un total de 10 usuarios.

Ilustración 51, sector 3

Delimitación sector 4

El cuarto sector que se muestra en la ilustración 52 en color verde claro tiene una cobertura de 2.13 km², el sector 4 va desde la calle 10 hasta la calle 8 y desde la avenida 7 hasta la avenida 0, para este sector se proyectó un total de 10 usuarios.

Ilustración 52, sector 4

Delimitación sector 5

El quinto sector mostrado en la ilustración 53 con color azul tiene una cobertura de 2.07 km, este sector va desde la calle 17 hasta la calle 14 y entre la avenida 7 y la avenida 1, para este sector se proyectó un total de 7 usuarios.

Ilustración 53, sector 5

Delimitación sector 6

El sexto sector que se muestra en la ilustración 54 en color rojo claro que tiene una cobertura de 1.89 km, va desde la avenida 4 hasta la avenida 0 y desde la calle 14 hasta la calle 10, para este sector se proyectó un total de 10 usuarios.

Ilustración 54, sector 6

Delimitación sector 7

El séptimo y último sector que se muestra en la ilustración 55 tiene una cobertura de 2.59 km siendo este el más grande de todos los sectores, va desde la avenida 8 hasta la diagonal Santander, haciendo un corte en la calle 5 entre la avenida 8 y avenida 6, desde la avenida 6 se va hasta la calle 4 y desde allí va desde la avenida 6 hasta la diagonal Santander, para este sector se proyectó un total de 5 usuarios.

Ilustración 55, sector 7

4.1.2. Postería requerida

Para definir la postería que se requiere primero se estableció el poste donde se pondrá la caja de empalme donde se iniciara el diseño de la red GPON

Ilustración 56, Poste ubicado frente al OITI (calle 10 av. 7, centro) donde se dejara el punto para la futura red GPON

Posteriormente al establecimiento del poste donde se pondrá la caja de empalme se va a definir la postería que se usó para la red GPON, se hicieron varios recorridos por la zona centro de la ciudad, para seleccionar las mejores rutas que permitieran llegar a cada uno de los sectores. Finalmente se determinaron las siguientes siete rutas.

Estas rutas fueron seleccionadas por razones de continuidad en la postería hasta cada uno de los sectores, también se tuvo en cuenta el estado de cada uno de los postes por donde se tendera la fibra óptica, teniendo esto en consideración se hizo la selección de las rutas mostradas en la ilustración 57.

Ilustración 57, iconos usados para el recorrido

Ilustración 58, recorridos para cada uno de los sectores

A continuación, se va a definir la postería que se usara para cada uno de los sectores anteriormente determinados, se muestra en las ilustraciones la postería y en tablas la información de la medida entre postes, peso de postes, altura de postes y ubicación en coordenadas.

Ilustración 59, iconos utilizados para la postería

La postería total usada para el diseño de la red GPON ubicada en la zona centro de la ciudad de Cúcuta se muestra en la ilustración 60, a continuación, se evidencia la postería usada para cada sector de forma individual. La información de peso y altura que se muestra en cada una de las tablas desde la 3 hasta la 9 fue obtenida por cada uno de los postes ya que estos tienen impresos sobre su estructura el valor de altura y peso.

Ilustración 60, postería total usada

Postería sector 1

Para el sector 1 se hizo necesario la utilización de 12 postes y dos cruces, uno en la calle 10 con av. 7 y otro en la calle 10 con av. 8.

Ilustración 61, postería sector 1

Tabla 3, información postería sector 1

SECTOR 1				
# poste	tamaño-poste	peso-poste (kg)	medida entre postes (m)	ubicación en coordenadas
Cruce 1			22,8	7.88654, -72.50601
1	12 m	750	10,7	7.88651, -72.5061
2	12 m	750	34,3	7.88646, -72.5064
3	10 m	750	20,2	7.88641, -72.50664
4	12 m	750	2	7.8864, -72.50666
5	8 m	510	26,7	7.88636, -72.50684
Cruce 2			17	7.8863465732356675, -72.50699471248939
6	12 m	750	25	7.886128, -72.506950
7	8 m	750	32	7.885847, -72.506890
8	8 m	750	38	7.885515, -72.506822
9	8 m	750	17	7.885368, -72.506791
10	8 m	510	26	7.885134, -72.506755
11	8 m	510	18	7.884974, -72.506716
12	8 m	510	38	7.884632, -72.506670
NAP-SEC1	8 m	510	27	7.884397, -72.506626
TOTAL(m)	354.7			

Postería sector 2

En el segundo sector se utilizaron trece postes y dos cruces uno en la calle 10 con av. 7 y otro cruce en la calle 10 con av. 9 para así llegar a la NAP que se ubica en el sector 2.

Ilustración 62, postería sector 2

Tabla 4, información postería sector 2

SECTOR 2				
# poste	tamaño-poste	peso-poste (kg)	medida entre postes (m)	ubicación en coordenadas
Cruce 1			22,8	7.88654, -72.50601
1	12 m	750	10,7	7.88651, -72.5061

2	12 m	750	34,3	7.88646, -72.5064
3	10 m	750	20,2	7.88641, -72.50664
4	12 m	750	2	7.8864, -72.50666
5	8 m	510	26,7	7.88636, -72.50684
13	12 m	1050	29,8	7.88631, -72.50712
14	8 m	750	29,9	7.88625, -72.50738
15	12 m	metálico	27,9	7.8862, -72.50764
16	12 m	metálico	21,6	7.88615, -72.5079
Cruce 2			13	7.886176, -72.508015
17	12 m	metálico	13	7.886284, -72.508032
18	8 m	750	27	7.886523, -72.508072
19	8 m	750	29	7.886774, -72.508117
NAP-SEC2	12 m	750	8	7.886846, -72.508131
TOTAL(m)	315.9			

Postería sector 3

En este sector se necesitó de 11 postes y solo un cruce en la av. 7 con calle 12 para así poder llegar a la NAP ubicada en el sector 3.

Ilustración 63, postería sector 3

Tabla 5, información postería sector 3

SECTOR 3				
# poste	tamaño-poste	peso-poste (kg)	medida entre postes (m)	ubicación en coordenadas
20	12 m	2000	26,6	7.88608, -72.50596
21	8 m	510	26,7	7.88587, -72.50586
22	12 m	2000	26,4	7.88561, -72.50581
23	8 m	750	35,8	7.88532, -72.50576
24	12 m	2000	20,6	7.88514, -72.50572
25	12 m	2000	24,5	7.88495, -72.50568
26	12 m	2000	34,7	7.88461, -72.50563
Cruce 1			11	7.884520, -72.505661
27	12 m	750	24	7.884537, -72.505454
28	8 m	510	19	7.884568, -72.505294
29	8m	510	26	7.884600, -72.505061
NAP-SEC3	8 m	510	14	7.884617, -72.504949
TOTAL(m)	289.3			

Postería sector 4

El cuarto sector es el recorrido más corto ya que para este se usaron 7 postes y un cruce en la calle 9 con av. 7.

Ilustración 64, postería sector 4

Tabla 6, información postería sector 4

SECTOR 4				
# poste	tamaño-poste	peso-poste (kg)	medida entre postes (m)	ubicación en coordenadas
30	12 m	Metálico	26	7.886630, -72.506031
31	12 m	Metálico	27	7.886864, -72.506073
32	12 m	Metálico	44	7.88725, -72.50615
Cruce 1			33	7.887543, -72.506198
33	8 m	750	13	7.88756, -72.506081
34	12 m	1050	29	7.887605, -72.505839
35	8 m	750	14	7.887600, -72.505703
NAP-SEC4	12 m	1050	56	7.887723, -72.505217
TOTAL(m)	242			

Postería sector 5

En el sector 5 se emplearon 23 postes y un solo cruce en la av. 7 con calle 15 para la llegar a la NAP ubicada en el sector 5, este es uno de los recorridos más largos.

Ilustración 65, postería sector 5

Tabla 7, información postería sector 5

SECTOR 5				
# poste	tamaño-poste	peso-poste (kg)	medida entre postes (m)	ubicación en coordenadas
20	12 m	2000	26,6	7.88608, -72.50596
21	8 m	510	26,7	7.88587, -72.50586
22	12 m	2000	26,4	7.88561, -72.50581

23	8 m	750	35,8	7.88532, -72.50576
24	12 m	2000	20,6	7.88514, -72.50572
25	12 m	2000	24,5	7.88495, -72.50568
26	12 m	2000	34,7	7.88461, -72.50563
36	8 m	750	32,1	7.88438, -72.50558
37	12 m	2000	39,6	7.88397, -72.50551
38	8 m	510	21,8	7.88384, -72.50549
39	12 m	2000	22,3	7.88358, -72.50544
40	8 m	1050	38	7.88331, -72.50539
41	12 m	1050	35,1	7.88296, -72.50534
42	8 m	510	20,8	7.8828, -72.50531
43	12 m	1050	23,3	7.88253, -72.50527
44	12 m	1050	29,9	7.88242, -72.50525
45	12 m	1050	31,5	7.8821, -72.50517
46	8 m	750	28,3	7.88196, -72.50514
47	12 m	1050	21,2	7.88166, -72.50507
Cruce 1			20,7	7.881462, -72.505066
48	8 m	510	22	7.881498, -72.504868
49	8 m	510	27	7.881534, -72.504631
50	8 m	510	30	7.881589, -72.504372
NAP-SEC5	8 m	510	37	7.881674, -72.504050
TOTAL (m)	675.9			

Postería sector 6

El sector 6 tiene el recorrido más largo, se usaron 36 postes y 4 cruces uno en la av. 7 con calle 13, otro en la calle 13 con av. 4, seguidamente en la av. 4 con calle 14 y finalmente otro cruce en la calle 14 con av. 3.

Ilustración 66, postería sector 6

Tabla 8, información postería sector 6

SECTOR 6				
# poste	tamaño-poste	peso-poste (kg)	medida entre postes (m)	ubicación en coordenadas
20	12 m	2000	26,6	7.88608, -72.50596
21	8 m	510	26,7	7.88587, -72.50586
22	12 m	2000	26,4	7.88561, -72.50581
23	8 m	750	35,8	7.88532, -72.50576
24	12 m	2000	20,6	7.88514, -72.50572
25	12 m	2000	24,5	7.88495, -72.50568
26	12 m	2000	34,7	7.88461, -72.50563
36	8 m	750	32,1	7.88438, -72.50558

37	12 m	2000	39,6	7.88397, -72.50551
38	8 m	510	21,8	7.88384, -72.50549
39	12 m	2000	22,3	7.88358, -72.50544
Cruce 1			18	7.883421, -72.505435
51	12 m	750	18	7.883450, -72.505266
52	8 m	510	37	7.883512, -72.504942
53	12 m	750	26	7.883562, -72.504706
54	8 m	510	33	7.883623, -72.504418
55	12 m	750	25	7.883658, -72.504193
56	8 m	510	40	7.883716, -72.503839
57	12 m	750	25	7.883771, -72.503623
58	8 m	510	25	7.883817, -72.503382
59	12 m	1350	28	7.883860, -72.503135
60	8 m	1350	34	7.883916, -72.502843
61	8 m	750	29	7.883966, -72.502591
62	8 m	750	29	7.884024, -72.502338
Cruce 2			7	7.884038, -72.502281
63	8m	750	3	7.884011, -72.502278
64	8 m	510	39	7.883666, -72.502214
65	10 m	1050	14	7.883536, -72.502190
66	12 m	1050	3	7.88351, -72.50218
67	12 m	1050	45	7.883116, -72.502110
Cruce 3			12	7.883015, -72.502083
68	12 m	1050	19	7.883047, -72.501917
69	12 m	1050	37	7.883108, -72.501590
70	12 m	1050	28	7.883177, -72.501346
71	8 m	510	22	7.883198, -72.501153
Cruce 4			15	7.883243, -72.501027
72	8 m	1500	19	7.883408, -72.501047
73	8 m	1050	27	7.883658, -72.501074
74	12 m	750	27	7.883898, -72.501117
NAP-SEC6	12 m	750	34	7.884206, -72.501149
TOTAL (m)	1029.1			

Postería sector 7

Finalmente, el sector 7, en este se utilizaron 15 postes y un solo cruce en la av. 7 con calle 7.

Ilustración 67, postería sector 7

Tabla 9, información postería sector 7

SECTOR 7				
# poste	tamaño-poste	peso-poste (kg)	medida entre postes (m)	ubicación en coordenadas

30	12 m	metálico	23	7.886630, -72.506031
31	12 m	metálico	26	7.886864, -72.506073
32	12 m	metálico	31	7.887141, -72.506119
75	12 m	metálico	59	7.887656, -72.506217
76	8 m	metálico	27	7.887880, -72.506269
77	12 m	metálico	41	7.888232, -72.506321
78	12 m	Metálico	56	7.888730, -72.506407
79	12 m	Metálico	47	7.889156, -72.506498
80	8 m	Metálico	6	7.889213, -72.506502
81	8 m	510	11	7.889311, -72.506516
Cruce 1			24	7.889526, -72.506536
82	8 m	510	7	7.889545, -72.506479
83	8 m	510	23	7.889573, -72.506272
84	12 m	510	44	7.889633, -72.505876
85	10 m	510	10	7.889656, -72.505794
NAP-SEC7	8 m	510	14	7.889666, -72.505666
TOTAL (m)	449			

4.2. Delimitación de la red GPON:

Ilustración 68, delimitación de la red GPON

Para la ilustración 68 se usó el software mymaps para facilitar la vista de cómo queda el diseño de la red GPON en la zona centro de la ciudad de Cúcuta, se definen dos usuarios por sector para posterior a la delimitación hacer los cálculos para el usuario más lejano y más cercano en cada sector. Estos usuarios no son reales ya que se está realizando un diseño de la red GPON para una futura expansión de la empresa DEVTEL.

Ilustración 69, simbología utilizada para red

Las figuras utilizadas para la delimitación de la red GPON que se muestran en la ilustración 69 se usan para facilitar y tener una mejor vista de la red, aclarando donde están ubicados los splitter, NAP'S y los usuarios.

A continuación se muestra la delimitación para cada uno de los sectores.

Delimitación sector 1

Ilustración 70, delimitación sector 1

En la ilustración anterior se evidencia el usuario más lejano y el más cercano para el sector 1.

Delimitación sector 2

Ilustración 71, Delimitación sector 2

En la ilustración 71 se definió la ubicación de los usuarios más cercano y más lejano para el sector 2.

Delimitación sector 3

Ilustración 72, Delimitación sector 3

Para la delimitación del sector 3 se hizo como se muestra en la ilustración 72 para el usuario más lejano y más cercano.

Delimitación sector 4

Ilustración 73, Delimitación sector 4

En la ilustración 73 se evidencia el usuario más cercano y más lejano para el sector 4

Delimitación sector 5

Ilustración 74, Delimitación sector 5

Para el sector 5 se definió como se muestra en la ilustración 74 la ubicación del usuario más cercano y el más lejano.

Delimitación sector 6

Ilustración 75, Delimitación sector 6

Para la anterior ilustración se hace la delimitación del sector 6 ubicando los usuarios más lejano y más cercano.

Delimitación sector 7

Ilustración 76, Delimitación sector 7

Para la ilustración 76 se la ubicación del usuarios más lejano y más cercano para el sector 7.

4.3. Cálculos teóricos de la red GPON

Para estos cálculos se definen para cada sector dos usuarios como se planteó anteriormente en la delimitación de la red GPON, a los cuales se harán los respectivos cálculos de ancho de banda y atenuación según los conectores, distancias y splitter necesarios para el diseño. En la ilustración 77 se muestra de forma general los elementos a tener en cuenta para el cálculo de potencia y ancho de banda de cada usuario desde la ONT hasta la ONU.

Ilustración 77, Diagrama del diseño de la red GPON en la zona centro de la ciudad de Cúcuta, 1x8x7 = 56 usuarios

4.3.1. Ubicación de cada usuario cercano y lejano

Tabla 10, usuario más lejano y más cercano

usuario	Distancia del nodo principal (km)	Distancia de la NAP (Km)
Usuario 1-sector 1	1,9397	0.538
Usuario 2-sector 1	1,4987	0.097
Usuario 3-sector 2	1,7099	0.347
Usuario 4-sector 2	1,4269	0.064
Usuario 5-sector 3	1,7093	0.373
Usuario 6-sector 3	1,4693	0.133
Usuario 7-sector 4	2,002	0.713
Usuario 8-sector 4	1,35	0.061
Usuario 9-sector 5	2,4069	0.684
Usuario 10-sector 5	1,7839	0.061
Usuario 11-sector 6	2,6101	0.534
Usuario 12-sector 6	2,1781	0.102
Usuario 13-sector 7	2,194	0.698
Usuario 14-sector 7	1,561	0.065

4.3.2. Cálculo del ancho banda por usuario

Para hacer el cálculo del ancho de banda para cada usuario se debe dividir la capacidad de downstream de la OLT que es de 2.5 Gbps entre la cantidad de usuarios a los que se les prestara el servicio, 56 usuarios. Esto cumpliendo con la recomendación ITU-T G.984.1.

$$x(\text{ancho de banda por usuario}) = \frac{D(\text{Downstream})}{N(\# \text{ usuarios})}$$

$$x(\text{ancho de banda por usuario}) = \frac{2.5 * 10^9}{56}$$

$$x(\text{ancho de banda por usuario}) = 44.6429 \text{ Mbps}$$

Con el cálculo hecho anteriormente se puede establecer que para cada usuario se le puede asignar un ancho de banda máximo de 44.6429 Mbps. El número de usuarios máximo que puede tener por puerto de la OLT es de 64 usuarios esto por la recomendación ITU G 984, si se deseara hacer una expansión de red se tendría la capacidad de ofrecer servicios de banda ancha a 8 usuarios más usando este mismo puerto y habilitando otro puerto a 64 usuarios más, para demostrar estos se realizó el cálculo del ancho de banda para el número máximo por puerto.

$$x(\text{ancho de banda por usuario}) = \frac{D(\text{Downstream})}{N(\# \text{ usuarios})}$$

$$x(\text{ancho de banda por usuario}) = \frac{2.5 * 10^9}{64}$$

$$x(\text{ancho de banda por usuario}) = 39.0625 \text{ Mbps}$$

Se puede concluir que este ancho de banda es mayor al mínimo ancho de banda establecido por la CRC que es de 25 Mbps, por esto se satisface el principal requerimiento que es el de brindar un servicio de banda ancha a cada usuario que se encuentra en la zona centro de la ciudad de Cúcuta para los usuarios establecidos por la empresa como también para una posible expansión de la red.

4.3.3. Cálculo de atenuación

Tabla 11, valores típicos de atenuación de cada elemento pasivo

Atenuación de la red GPON	
Conectores SC	0.3 dB
empalmes	0.3 dB
fibra óptica mono modo por kilometro	0.2 dB/Km
Splitter 1:8	10.5 dB

En la anterior tabla se muestra la atenuación que influye en el sistema de cada elemento usado en la red GPON, teniendo en cuenta estos valores típicos se puede obtener el valor de la atención total para cada usuario de la red GPON en la zona centro de la ciudad. Para hallar la atenuación total se tiene en cuenta la siguiente ecuación.

Atenuación total = (suma de splitters usados) + (distancia en km * aten/km) + (cantidad de empalmes* atenuación por empalme) + (conectores * atenuación por conector)

$$Atenuacion\ total = \left(\sum Splitters \right) + \left(Distancia\ Km * \frac{Aten}{Km} \right) + \left(\# empalmes * \frac{Aten}{tipo\ de\ empalme} \right) + \left(Conectores * \frac{Aten}{conector} \right)$$

Este proceso se hará para 2 usuarios demostrando el uso de la ecuación anterior.

Usuario 1, sector 1:

$$Atenuacion\ total = (2(1:8)) + (1.9397 * 0.2) + (2 * 0.3) + (4 * 0.3)$$

$$Atenuacion\ total = 23.38794\ dB$$

Usuario 2, sector 1:

$$Atenuacion\ total = (2(1:8)) + (1.4987 * 0.2) + (2 * 0.3) + (4 * 0.3)$$

$$Atenuacion\ total = 23.29974\ dB$$

En la solución anterior de la ecuación se usó el usuario 1 que es el usuario más alejado que hay de la NAP en este sector y el usuario 2 que es el más cercano que hay de la NAP en este sector.

Tabla 12, atenuación total de los demás usuarios de cada sector

usuario	atenuación total (dB)
1. sector 1	23,38794
2. sector 1	23,29974
3. sector 2	23,34198
4. sector 2	23,28538
5. sector 3	23,34186
6. sector 3	23,29386
7. sector 4	23,4004
8. sector 4	23,27
9. sector 5	23,48138
10. sector 5	23,35678
11.sector 6	23,52202
12. sector 6	23,43562
13. sector 7	23,4388
14. sector 7	23,3122

En la tabla anterior se evidencia el resultado del calculo de la atenuacion para cada uno de los usuarios que se hicieron como prueba del mas cercano y el mas lejano para cada uno de los sectores.

4.3.4. Calculo de potencia de recepcion

Para este cálculo se debe tener en cuenta los cálculos anteriores de la atenuación ya que es un factor importante que influye en el sistema.

A continuación, se muestra la ecuación que se utiliza para el cálculo de la potencia de recepción para cada uno de los usuarios, este cálculo se hará para dos usuarios igual que como se hizo para el cálculo de la atenuación.

$$Prx = Ptx - \text{Atenuacion total}$$

La potencia de transmisión es dada por la OLT, se usa la potencia máxima de transmisión clase B que es de 5 dBm, la sensibilidad mínima de recepción es de -28 dBm y de sobrecarga es de -8 dBm, esto teniendo en cuenta la Recomendación ITU G 984.x.

Usuario 1, sector 1:

$$Prx = 5 \text{ dBm} - 23.38794 \text{ dB}$$

$$Prx = -18.38794 \text{ dBm}$$

Usuario 2, sector 1:

$$Prx = 5 \text{ dBm} - 23.29974 \text{ dB}$$

$$Prx = -18.29974 \text{ dBm}$$

Tabla 13, potencia de recepción para cada usuario

usuario	Potencia-Rx (dBm)
1. sector 1	-18,38794
2. sector 1	-18,29974
3. sector 2	-18,34198
4. sector 2	-18,28538
5. sector 3	-18,34186
6. sector 3	-18,29386
7. sector 4	-18,4004
8. sector 4	-18,27
9. sector 5	-18,48138
10. sector 5	-18,35678
11. sector 6	-18,52202
12. sector 6	-18,43562
13. sector 7	-18,4388
14. sector 7	-18,3122

En la tabla 12 se aprecia el resultado de cada una de las potencias de recepción para cada uno de los usuarios que están en los diferentes sectores.

Teniendo en cuenta la sensibilidad de la ONU que es de -27 dBm<->-8dBm, se puede concluir que los resultados que se obtuvieron están correctos ya que están dentro del rango de potencia de recepción permitida.

4.4. Simulación de la red GPON

Se creó la simulación con base en las medidas tomadas desde mymaps para la fibra óptica y así obtener resultados lo más exacto posible, ingresando datos de atenuación para cada uno de los elementos utilizados. Esta simulación se hizo teniendo en cuenta la delimitación que se hizo para el usuario más cercano y más lejano, estos usuarios no son usuarios reales ya que se está realizando un diseño de la red GPON para una futura expansión de la empresa DEVTEL como se mencionó anteriormente en la delimitación de la red GPON, por esto los usuarios son de prueba para evidenciar el buen funcionamiento de la red.

Optisystem es un software usado para diseñar sistemas de comunicaciones ópticas, como en este caso será usado para simular una red GPON, también permite diseñar redes LAN, SAN, MAN, también proporciona una visión global del rendimiento del sistema que se esté diseñando.

Usuario 1 y 2, sector 1

Ilustración 78, simulación del sector 1

En la ilustración 78 se evidencia el funcionamiento de la red en el primer sector para el usuario más cercano y el más lejano, donde se obtuvo como resultado de potencia de recepción para el más cercano de -17.814 dBm y el más lejano de -17.902 dBm.

Usuario 3 y 4, sector 2

Ilustración 79, simulación del sector 2

La ilustración 79 muestra la simulación del segundo sector, dio como resultado para el usuario más lejano una potencia de recepción de -17.856 dBm y para el más cercano una potencia de recepción de -17.799 dBm.

Usuario 5 y 6, sector 3

Ilustración 80, simulación sector 3

Para el sector 3 la simulación que se muestra en la ilustración 80 se obtiene el resultado para el usuario más lejano como potencia de recepción -17.856 dBm y para el más cercano -17.807 dBm.

Usuario 7 y 8, sector 4

Ilustración 81, simulación sector 4

En la ilustración 81 se muestra la simulación del sector 4, el valor de la potencia de recepción para el usuario más lejano es de -17.914 dBm y para el más cercano es de -17.783 dBm.

Usuario 9 y 10, sector 5

Ilustración 82, simulación sector 5

Para el sector 5 se evidencia la potencia de recepción del usuario más lejano y el más cercano, estos tienen una potencia de recepción de -17.995 dBm y -17.871 dBm respectivamente.

Usuario 11 y 12, sector 6

Ilustración 83, simulación sector 6

En la ilustración 83 se muestra la simulación del sector 6, la potencia de recepción dio como resultado para el usuario más lejano de -18.036 dBm y para el usuario más cercano -17.950 dBm.

Usuario 13 y 14, sector 7

Finalmente, el sector 7, el usuario más lejano tiene una potencia de recepción de -17.953 dBm y el más cercano -17.826 dBm.

4.5. Porcentaje de error entre resultados teóricos y simulados

Es necesario realizar la comparación de los resultados de potencia de recepción de los 14 usuarios considerados, entre los resultados obtenidos teóricamente por medio de la formula y los obtenidos por medio del simulador Optisystem.

Para hallar este porcentaje de error se usó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ error} = \frac{|valor \text{ teorico} - valor \text{ experimental}|}{valor \text{ teorico}} * 100$$

Esto se hace para los primeros dos usuarios que pertenecen al sector 1, el resto serán relacionados en tabla.

Usuario 1, sector 1:

$$\% \text{ error} = \frac{|-18.38794 - (-17.902)|}{18.38794} * 100$$

$$\% \text{ error} = 2.6\%$$

Usuario 2, sector 1:

$$\% \text{ error} = \frac{|-18.29974 - (-17.814)|}{18.29974} * 100$$

$$\% \text{ error} = 2.7\%$$

Tabla 14, porcentaje de error de todos los usuarios

usuario	Potencia-Rx (dBm)	Potencia-Rx practico(dBm)	% error
1. sector 1	-18,38794	-17,902	2,6
2. sector 1	-18,29974	-17,814	2,7
3. sector 2	-18,34198	-17,856	2,6
4. sector 2	-18,28538	-17,799	2,7
5. sector 3	-18,34186	-17,856	2,6
6. sector 3	-18,29386	-17,807	2,7

7. sector 4	-18,4004	-17,914	2,6
8. sector 4	-18,27	-17,783	2,7
9. sector 5	-18,48138	-17,995	2,6
10. sector 5	-18,35678	-17,871	2,6
11. sector 6	-18,52202	-18,036	2,6
12. sector 6	-18,43562	-17,95	2,6
13. sector 7	-18,4388	-17,953	2,6
14. sector 7	-18,3122	-17,826	2,7

El porcentaje de error es confiable si es menor a 10 %, se puede concluir que el resultado que se obtuvo para cada uno de los usuarios es de confianza ya que el porcentaje de error está en el rango de 2.6% y 2.7% siendo menores a 10%.

4.6. Tabla de equipos y costos

Para realizar la cotización de los elementos y dispositivos necesarios en la red GPON, la empresa DEVTEL S.A.S. proporciona el contacto de tres proveedores donde ya tienen un historial de compras y por esto ofrece descuentos especiales a la empresa, estos proveedores son:

- Syscom
- Macrotics
- Redcom

Primero se hizo la comparativa de tres diferentes OLT, tres diferentes ONU'S y dos cables de fibra óptica para poder determinar cuál son los más adecuados a utilizar en la red GPON ubicada en la zona centro de la ciudad de Cúcuta.

Tabla 15, características de las posibles OLT a usar

EQUIPO	MODELO	CARACTERISTICAS	VALOR
OLT	P1201-08 (TP-LINK)	• Compatible con ITU-T G.984.x, estándares G.988 • Función de gestión estándar de OMCI • Soporte de relación de división 1: 128 para cada puerto PON • Soporte de cifrado AES 128 para el enlace ascendente y transmisión de datos de enlace descendente Algoritmo de DBA, soporta 5 tipos de DBA Soporte 128 perfiles de DBA • Downstream: 2.5Gbps • Upstream: 1.25Gbps • Autenticación ONU	5'634.631.85

		• Distancia de transmisión hasta de 20 KM. • Puertos de servicio: 8 Puertos PON. • Puertos Uplink: ○ 4 10/100/1000Mbps RJ45 ○ 4 1000Mbps SFP ○ 2 10G SFP+ (opcional) • 1 puerto de consola RJ45 • 1 puerto de mantenimiento RJ45	
OLT	UF-OLT-4 (UBIQUITI NETWORKS)	• 4 puertos GPON SFP. • 1 puertos SFP+ 10 GB. • Alto desempeño. • 512 ONUs concurrentes (128 Clientes por puerto). • Distancia de hasta 20 km. • Sistema de entrega de fibra óptica para Triple Play (datos, voz, IPTV / VoD). • 2.488 Gbps de downstream • 1.244 Gbps de upstream. • Sin licencias ni tarifas de uso. • Longitud de onda: 1490 nm Upstream (TX), 1310 nm Downstream (RX)	3'128.448.55
OLT	UF-OLT (UBIQUITI NETWORKS)	• 8 puertos GPON SFP. • 2 puertos SFP+ 10GB. • Alto desempeño. • 1024 ONUs concurrentes. • Distancia de hasta 20 km. • Sistema de entrega de fibra óptica para Triple Play (datos, voz, IPTV / VoD). • Velocidades de hasta 2.488 Gbps de downstream y 1.244 Gbps de upstream. • Sin licencias ni tarifas de uso. • Longitud de onda: 1490 nm Upstream (TX), 1310 nm Downstream (RX).	5'634.943.16

Al hacer la comparación de estas tres OLT, se hizo la elección de la OLT modelo P1201-08 de marca TP-LINK, esto porque cumple con el requisito de velocidades de bajada y subida, son de 2.5 Gbps y 1.25 Gbps respectivamente, en los otros

dos modelos de OLT son de 2.488 Gbps y 1.244 Gbps, este requisito está dado por la recomendación ITU G 984.

Otro aspecto que se tuvo en cuenta son los puertos, ya que la OLT escogida tiene más puertos y también variedad de puertos, esto es importante para un futuro crecimiento en la red que se diseñó o en una ampliación de cobertura.

En cuanto al precio, se puede mostrar que la OLT de modelo UF-OLT-4 y marca UBIQUITI NETWORKS es la de menor precio pero no cumple con las características anteriormente nombradas, esto nos deja con los modelos de OLT UF-OLT y P1201-08, que como se evidencia los precios son muy similares, pero al final la OLT de modelo UF-OLT no cuenta con la misma variedad de puertos que la de modelo P1201-08.

Tabla 16, características de los posibles ONU a utilizar

EQUIPO	MODELO	CARACTERISTICAS	VALOR
ONU	AN5506-04-FS (FIBERHOME)	• Dimensiones: 211 x 36 x 154 mm (Alto x Ancho x Profundidad) • Peso: 430g • Interfaz GPON: ○ Estándar: ITU-T G.984, Class B+. ○ Tipo de Interfaz: SC/UPC • Interfaz: ○ Tipo de Interfaz: 4 Puertos Gigabit ○ Tipo de Interfaz: USB 2.0 ○ 2 puertos POTS (RJ11) para telefonía análoga • WiFi: ○ Estándar: IEEE 802.11 b/g/n ○ Cantidad de Antenas: 2 ○ Ganancia de Antenas: 5dBi • Alimentación: 12VCD/1.5A (Adaptador Incluido) • Consumo Máximo: 12 Watts • Temperatura de Operación: -5°C ~ 45°C • Hasta 300 Mbps en 802.11n • Hasta 32 conexiones simultáneas en WiFi (recomendadas)	255.319.88

ONU	HG6244C (FIBERHOME)	- Longitud de Onda Central: Tx: 1310 nm, Rx: 1490 nm - Potencia Óptica Tx: 0.5 dBm a 5.0 dBm - Rango de Potencia Óptica Rx: -8 dBm a -29 dBm 1 Puerto GPON ITU-T G.984, Clase B+ 4 Puertos Gigabit Ethernet 2 Puertos POTS (RJ11) 1 Puerto USB 1 Puerto CATV (RF) - WiFi IEEE 802.11 b/g/n, 2.4 GHz, 4 SSIDs	428.389.07
ONU	FD504XW-X-Z410	- Cumple con el estándar ITU - T G. 984 - Admite descubrimiento automático de ONU / detección de enlaces / actualización remota de software - La serie Wi-Fi cumple con los estándares técnicos 11 n / b / g - Admite configuración de etiquetas VLAN transparente 1 Gigabit Ethernet port GPON/GEAPON 3FE port, 1 PON optical port	102.000

Según la tabla 15, se puede afirmar que la ONU que se usara para el diseño de la red GPON es la de modelo FD504XW-X-Z410, las ONU'S anteriormente evaluadas cuentan con los puertos necesarios para el cliente, y cumplen con la recomendación ITU G.984, aunque la ONU de modelo HG6244C tiene un puerto que no tiene la de modelos AN5506-04-FS y FD504XW-X-Z410 que es el de televisión (CATV), pero para este diseño no es necesario este puerto.

La razón de que se haya escogido la ONU de modelo FD504XW-X-Z410 es que tiene menor valor que la ONU de modelo HG6244C y la de modelo AN5506-04-FS, este aspecto es suficiente para hacer la elección de esta misma.

Tabla 17, características de las posibles fibras DROP a usar

ELEMENTO	MODELO	CARACTERISTICAS	PRECIO
Cable fibra DROP 2 hilos por KM	GLC-DROP-2-FLAT-DIE	- El cable óptico se posiciona en el centro - Dos hilos Kevlar refuerzan y protegen la fibra - El portante de KEVLAR como elemento de refuerzo adicional, garantiza un buen	294.000

		rendimiento de resistencia a la tracción. • La cubierta del cable es LSZH de color negro. • Dos fibras Kevlar de refuerzo.	
Cable fibra DROP 1 hilo por KM	IC-FIG8A2-1C	• Fibra Óptica Drop G.657A2 plana BIF (Insensible a las curvaturas) • Forro: LSOH (Bajo Humo, Cero Halógenos) • Tensión Maxima: 600N • Aplicaciones: Interior/Exterior • Rango de Temperatura: - 20°C a +60°C • Peso: 20 Kg (44 lb) • 1 hilo • Diámetro: 2 ± 0.3 mm (H) x 5.2 ± 0.3 mm • Radio mínimo de curvatura: Instalación 30H, Operación 15H • Span: 80 metros	276.597,55

En la tabla 16 se evidencia dos posibilidades de fibra óptica DROP a usar para el diseño de la red GPON, la fibra óptica escogida es la de modelo IC-FIG8A2-1C, esto porque para el diseño de la red GPON se hace necesario una fibra de un solo hilo, y la que se ha escogido cumple con ese requisito, la de modelo GLC-DROP-2-FLAT-DIE también cumple aunque tiene un hilo de más, la razón principal de haber elegido la de modelo IC-FIG8A2-1C es el precio ya que esta es de menor precio y cumple con los requerimientos.

Finalmente, después de haber comparados estos equipos y elementos se hizo una tabla de todos los equipos y elementos necesarios para la red GPON con sus respectiva cantidad necesaria y precios tanto unitarios como total, y por último el valor total de toda la implementación de la red GPON excluyendo la instalación.

Las cotizaciones de cada uno de los elementos y equipos se encuentran en el anexo 2.

Tabla 18, equipos que se van a usar con sus respectivos costos

EQUIPO	MODELO	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL	TIENDA DONDE SE COTIZO
OLT	P1201-08	5'634,671.85	1	5634671,85	Syscom (https://www.syscomcolombia.com/producto/P1201-08-TP-LINK-168136.html)
ODF	LP-ODF-8002	85.614,40	1	85.614,40	Syscom (https://www.syscomcolombia.com/producto/LP-ODF-8002-LINKEDPRO-155295.html)
Caja de empalme	GJS-2019	164.631,80	2	329.263,60	Syscom (https://www.syscomcolombia.com/producto/GJS-2019-FIBERHOME-171648.html)
Splitter 1:8	UF-SPLITTER-8	56.147,80	1	56.147,80	Syscom (https://www.syscomcolombia.com/producto/UF-SPLITTER-8-UBIQUITI-NETWORKS-167298.html)
Fibra DROP por KM	IC-FIG8A2-1C	276.597,55	10	2.765.975,50	Syscom (https://www.syscomcolombia.com/producto/IC-FIG8A2-1C-LINKEDPRO-BY-FIBERHOME-171890.html)
NAP + Splitter 1:8+16 adap. SC/APC	GLC-FDB-001-02	84.200,00	7	589.400,00	Macrotics (https://macrotics.com/producto/caja-nap-con-splitter-1x8-opc-sangria-expansion-16-glc-tec/)
SFP	SFP-HW-EPX20+	131.705,00	2	263.410,00	Latic
Patch cord	P. CORD FO SC/PC – SC/PC SM X 1 MTS SIMPLEX	8.800,00	58	510.400,00	Macrotics (https://macrotics.com/producto/p-cord-fo-sc-pc-sc-pc-sm-x-1-mts-simplex/)
Herrajes	Herraje	3.050,00	14	42.700,00	Mercado libre

ONU	AN5506-04-FS	102.000,00	56	5.712.000,00	Syscom (https://www.syscomcolombia.com/producto/AN5506-04-FS-FIBERHOME-161868.html)
TOTAL(\$)	15.989.583,15				

Capítulo 5

5. DISEÑO DE LA TRONCAL DE FIBRA OPTICA

5.1. Longitud de onda

La longitud de onda que se usa para la fibra óptica es mayor a las frecuencias de la luz visible, por esto la sitúa entre los infrarrojos, la frecuencias usadas para fibra óptica son 850, 1310, 1490 y 1550 nm, estas frecuencias son usadas puesto que ofrecen un valor menor de atenuación en la señal. La fibra mono modo opera en las longitudes de ondas 1310, 1490 y 1550 nm, ya que son las frecuencias usadas para distancias largas. Las longitudes de onda usadas para este proyecto son de 1490 para TX y 1310 para RX puesto que estas son las frecuencias usadas en los SFP, esto se puede evidenciar en la tabla 20, en las características del elemento SFP.

5.2. Trazado de la troncal de fibra óptica

Lo primero que se hizo fue un recorrido por la zona centro de la ciudad de Cúcuta y en el barrio Cundinamarca para así elegir la mejor ruta desde el barrio el páramo (calle 16 av. 10) donde se encuentra el nodo principal hasta el oiti (calle 10 av. 7) donde se dejara la caja de empalme para la futura red GPON, y desde allí hasta el barrio Cundinamarca parte alta (av. 25 cli 11). A continuación, se muestra el recorrido que se definió para la troncal de fibra óptica, para esto se usa la herramienta mymaps haciendo más fácil la vista (plano en AutoCAD puede verse en el anexo 3).

El recorrido mostrado en la ilustración 85 fue elegido teniendo en cuenta que exista continuidad en la postería y el buen estado de cada uno de los postes. Además se procura que el cableado se instale por calles y avenidas principales.

Ilustración 85, recorrido definido para la troncal de fibra óptica

Se presenta la ubicación de cada poste y en tablas la medida que hay entre postes, como también las características de cada poste usado como la altura,

peso, dirección y ubicación geográfica. La medición se hizo a pie con un dispositivo con ruedas que mide en metros llamado Odómetro.

Ilustración 86, dispositivo usado para la medición

Ilustración 87. Postería elegida

Tabla 19, características de cada poste usado para la troncal de fibra óptica con la medición

CUADRA 1 (av 10, 15-16)					
#	altura	Peso (Kg)	Punto referencia	Medida entre postes (m)	Ubicación geográfica
1	8 m	510	15-90	30	7.88001, -72.50798
2	8 m	510	15-82	11,8	7.88014, -72.508
3	8 m	510	15-76	13	7.8803, -72.50803
4	8 m	1050	15-54	30,1	7.88056, -72.50807
5	8 m	750	15-16	35,9	7.88087, -72.50812
6	12 m	1050	esquina	21,1	7.88104, -72.50815
CUADRA 2 (cll 15, 10-9)					
7	8 m	1050	9a-41	21,3	7.88109, -72.50793
8	8 m	1050	9a-07	27	7.88114, -72.50771
9	8 m	1050	9-06	59,3	7.88112, -72.50717
CUADRA 3 (cll 15, 9-8)					
10	8 m	510	8a-3	27,7	7.88112, -72.50696
11	8 m	1050	8a-16	32,5	7.88116, -72.50664
12	8 m	1050	8-26	41,1	7.88121, -72.50627
13	8 m	750	esquina	11,5	7.88122, -72.50619
CUADRA 4 (cll 15, 8-7)					
14	8 m	510	7-90	30,8	7.88127, -72.50592
15	8 m	510	7-64	27,9	7.88132, -72.50563
16	8 m	510	7-36	32	7.88138, -72.50534
17	8 m	510	7-08	27,7	7.88142, -72.50511
18	8 m	750	esquina	7,4	7.88144, -72.50503
CUADRA 5 (av 7, 15-14)					

19	12 m	1050	14-86	20,7	7.88166, -72.50507
20	8 m	750	14-66	21,2	7.88196, -72.50514
21	12 m	1050	14-38	28,3	7.8821, -72.50517
22	12 m	1050	14-12	31,5	7.88242, -72.50525
CUADRA 6 (av 7, 14-13)					
23	12 m	1050	13-89	28,9	7.88253, -72.50527
24	8 m	510	13-68	23,3	7.8828, -72.50531
25	12 m	1050	13-48	20,8	7.88296, -72.50534
26	8 m	1050	13-12	35,1	7.88331, -72.50539
CUADRA 7 (av 7, 13-12)					
27	12 m	2000	12-82	38	7.88358, -72.50544
28	8 m	510	12-50	22,3	7.88384, -72.50549
29	12 m	2000	12-46	21,8	7.88397, -72.50551
30	8 m	750	12-10	39,6	7.88438, -72.50558
CUADRA 8 (av 7, 12-11)					
31	12 m	2000	11-98	32,1	7.88461, -72.50563
32	12 m	2000	11-42	34,7	7.88495, -72.50568
33	12 m	2000	11-34	24,5	7.88514, -72.50572
34	8 m	750	11-20	20,6	7.88532, -72.50576
CUADRA 9 (av 7, 10-11)					
35	12 m	2000	10-90	35,8	7.88561, -72.50581
36	8 m	510	10-78	26,4	7.88587, -72.50586
37	12 m	2000	10-44	26,7	7.88608, -72.50596
38	8 m	750	10-16	26,6	7.88642, -72.50597
CUADRA 10 (cli 10, 7-8)					
39	12 m	1050	6-94	22,8	7.88654, -72.50601
40	12 m	750	7-08	10,7	7.88651, -72.5061
41	12 m	750	7-50	34,3	7.88646, -72.5064
42	10 m	750	7-58	20,2	7.88641, -72.50664
43	12 m	750	7-58	2	7.8864, -72.50666
44	8 m	510	7-86	26,7	7.88636, -72.50684
CUADRA 11 (cli 10, 8-9)					
45	12 m	1050	8-14	29,8	7.88631, -72.50712
46	8 m	750	8-24	29,9	7.88625, -72.50738
47	12 m	metalico	8-64	27,9	7.8862, -72.50764
48	12 m	metalico	8-90	21,6	7.88615, -72.5079
CUADRA 12 (cli 10, 9-10)					
49	12 m	1500	9-12	39,7	7.88611, -72.50824
50	12 m	metalico	9-46	29,8	7.88603, -72.50852
51	8 m	1500	9-74	24,7	7.886, -72.50869
52	12 m	metalico	9-96	27,6	7.88594, -72.50898
CUADRA 13 (cli 10, 10-11)					

53	8 m	510	10-12	28,8	7.88592, -72.50922
54	12 m	1500	10-42	30,6	7.88584, -72.5095
55	8 m	1050	10-64	22,5	7.88587, -72.50964
56	12 m	1050	10-84	27,4	7.88575, -72.50993
CUADRA 14 (cll 10, 11-12)					
57	8 m	510	11-06	34	7.88571, -72.51019
58	12 m	1500	11-34	32,5	7.88564, -72.51051
59	8 m	510	11-80	26,5	7.88561, -72.51073
60	12 m	1050	11-90	22,4	7.88557, -72.51095
CUADRA 15 (cll 10, 12-13)					
61	8 m	510	12-10	36,6	7.88555, -72.51125
62	12 m	1050	12-32	27,3	7.8855, -72.51149
63	8 m	510	12-54	22	7.88544, -72.51164
64	8 m	510	12-78	25,4	7.8854, -72.51192
CUADRA 16 (cll 10, 13-14)					
65	12 m	1050	12-104	24,9	7.88543, -72.51211
66	8 m	750	12-110	13,5	7.88534, -72.51225
67	12 m	1050	13-28	29,3	7.88533, -72.51251
CUADRA 17 (cll 10, 14-canal)					
68	12 m	1500	13-86	53,4	7.88528, -72.51309
CUADRA 18 (cll 10, canal-15)					
69	8 m	510	14-20	34,6	7.88521, -72.51336
70	12 m	1050	14-50	33,3	7.88516, -72.51351
71	8 m	510	14-84	31,6	7.88507, -72.51386
72	12 m	1050	14-110	38,6	7.88502, -72.51429
CUADRA 19 (cll 10, 15-16)					
73	8 m	510	15-02	18,8	7.88498, -72.51439
74	12 m	1050	15-30	25,7	7.88495, -72.51453
75	8 m	750	15-62	31,9	7.88488, -72.51483
76	12 m	750	15-71	24,2	7.88487, -72.51512
CUADRA 20 (cll 10, 16-17)					
77	8 m	750	16-16	31,8	7.88479, -72.51536
78	12 m	750	16-42	23,6	7.88475, -72.5156
79	8 m	510	16-58	28,4	7.8847, -72.51589
80	12 m	1050	16-62	30,1	7.88468, -72.51602
CUADRA 21(cll 10, 17-18)					
81	8 m	750	17-12	29,1	7.88462, -72.51635
82	12 m	1050	17-36	29,6	7.88457, -72.5166
83	8 m	750	17-64	31	7.88451, -72.51686
84	12 m	1500	17-108	28,8	7.88446, -72.51713
CUADRA 22 (cll 10, 18-19)					
85	8 m	1050	18-06	27,2	7.88441, -72.51741
86	12 m	750	18-34	33,1	7.88435, -72.51775
87	8 m	1050	18-68	30,3	7.88432, -72.51793
CUNDINAMARCA ALTA					

88	12 m	1500	9-90	21,6	7.88431, -72.51812
89	12 m	1500	10-10	11	7.88422, -72.51811
90	12 m	750	10-24	35,6	7.88388, -72.51807
91	8 m	1500	10-50	19,5	7.88373, -72.51805
92	12 m	1500	10-88	41,2	7.88338, -72.51796
93	8 m	1050	colegio	6,8	7.88332, -72.51795
94	8 m	750	19-06	10,4	7.88328, -72.51806
95	8 m	1500	19-32	28,7	7.88324, -72.5183
96	12 m	1500	19-64	31,8	7.88321, -72.51859
97	8 m	1050	19-92	32,1	7.88316, -72.5189
98	12 m	1350	20-02	25,6	7.88313, -72.51907
99	8 m	510	20-44	33,5	7.88305, -72.51944
100	12 m	1050	20-74	32,7	7.88301, -72.51968
101	8 m	1050		33,9	7.88295, -72.52001
102	12 m	1050		38,9	7.88291, -72.52034
103	8 m	750		40,3	7.88285, -72.5207
104	12 m	1050		32,8	7.88281, -72.52094
105	8 m	1050		35,9	7.88277, -72.52128
106	12 m	1050		35,6	7.88274, -72.52158
107	12 m	750		45,5	7.88269, -72.52198
108	8 m	850		38,7	7.8826, -72.52229
109	8 m	750		33	7.88255, -72.52261
110	8 m	750		43	7.88245, -72.52292
111	8 m	750		37	7.88237, -72.52321
112	8 m	510		40	7.88271, -72.52328
113	8 m	510		35	7.88282, -72.52322
114	8 m	510		15,2	7.88277, -72.52358
115	8 m	510		21,2	7.88288, -72.52355
116	8 m	1050		34,3	7.88307, -72.52355
117	8 m	1350		28,7	7.88317, -72.5238
118	12 m	510		33,2	7.88326, -72.52408
119	8 m	750		24	7.88356, -72.52401
120	12 m	510		24,9	7.88377, -72.52392
121	8m			30	7.884, -72.52383
122	12 m	750	10-20	24,9	7.88417, -72.52378
123	RACK			35	7.88432, -72.52392
TOTAL (KM)		3.4373			

En la anterior tabla se evidencio las características de la postería elegida, también la distancia total para la troncal de fibra de 3.4373 Km sin incluir las reservas de cable, por esto la empresa definió un total de 20 m de reserva cada 7 postes, esto quiere decir que:

$$reservas = \frac{122 \text{ postes}}{7 \text{ postes/reserva}} = 17.42$$

$$reservas = 17 \text{ reservas}$$

$$cantidad \text{ de reservas total} = 17 \text{ reservas} * 20 \text{ m}$$

$$cantidad \text{ de reservas total} = 340 \text{ m}$$

Según los cálculos hechos anteriormente entonces se puede definir la cantidad total necesaria de fibra óptica para la troncal:

$$cantidad \text{ total de fibra optica (Km)} = 3.4373 + 0.340$$

$$cantidad \text{ total de fibra optica (Km)} = 3.7773$$

Ya teniendo la cantidad total de fibra óptica se optó por escoger la fibra óptica o tipo de fibra óptica necesaria para esta troncal, para esto se tuvieron en cuenta dos tipos de cables de fibra óptica:

Tabla 20, cables de fibra óptica para la troncal

Tipo de fibra óptica	Características
Fibra óptica 12 hilos por Km (modelo OCADSS12CS100 -1)	- Fibra Óptica ADSS G.652D Mono modo Loose Tube - Cubierta Exterior: HDPE (Polietileno de Alta Densidad) - Máxima tensión: 1800 N - Temperatura de operación: -20°C a +65°C - Span (Distancia entre Postes): 100 metros - Protección contra rayos UV y humedad - Diámetro nominal (D): 10.1 ± 0.5 mm - Radio mínimo de curvatura: Instalación 25D, Operación 12.5D - Peso nominal (kg/km): 78 ± 15 kg 12 hilos - Forro Negro
Fibra óptica 24 hilos por Km (modelo OC-ADSS-24C-S100)	- Fibra Óptica ADSS G.652D Mono modo Loose Tube - Cubierta Exterior: HDPE (Polietileno de Alta Densidad) - Máxima tensión: 1800 N

	• Temperatura de operación: $-20^{\circ}\text{C} \sim +65^{\circ}\text{C}$ • Span (Distancia entre Postes): 100 metros • Protección contra rayos UV y humedad • Diámetro nominal (D): $10.1 \pm 0.5 \text{ mm}$ • Radio mínimo de curvatura: Instalación 25D, Operación 12.5D • Peso nominal (kg/km): $78 \pm 15 \text{ kg}$ • 24 hilos • Forro Negro
--	---

En la tabla 19 se evidencio las características de dos modelos de fibra óptica, se elige la fibra óptica de 12 hilos modelo OCADSS12CS100 -1, puesto que la troncal de fibra óptica que se desea cuenta con la cantidad necesaria de hilos para usar y es suficiente para satisfacer los requerimientos de la empresa DEVTEL S.A.S, también sobran hilos de la fibra para que a futuro sea posible ampliar la red GPON en la zona centro de la ciudad, otro aspecto es que es de menor precio que la de 24 hilos modelo OC-ADSS-24C-S100.

En la ilustración 88 se muestra de forma general como se establece la conexión de la fibra óptica desde el nodo principal hacia los demás nodos.

Ilustración 88, Diagrama de la troncal de fibra óptica

La trocal está compuesta por un transmisor punto a punto, una caja de empalme donde se hará la fusión de los cables del que se usaran para hacer la transmisión y la recepción, también es necesario se hace necesario realizar el tendido hasta la segunda caja de empalme ubicada en un poste en la calle 10 av. 7 frente a el Oiti para habilitar la red GPON diseñada en el capítulo anterior, y luego se continua el tendido de fibra óptica hasta el receptor ubicado en el nodo del barrio Cundinamarca donde finalizara la troncal de fibra óptica. El tendido de fibra óptica se realiza de forma aérea.

5.3. Cálculos teóricos de la troncal de fibra óptica

Para estos cálculos, se tuvo que considerar los datos proporcionados por la empresa DEVTEL S.A.S., los cuales son el ancho de banda y la cantidad de usuarios actuales que están recibiendo el servicio de la empresa, los cuales suman un total de 800 usuarios con un ancho de banda en el rango de 3 a 10 Mbps.

5.3.1. Cálculo del ancho de banda del enlace troncal

El primer cálculo sé qué desarrollo es el de ancho de banda necesario a utilizar para esta troncal de fibra óptica, esto tomando como valor el máximo ancho de banda para cada uno de los usuarios de 10 Mbps, para asegurar que la troncal de fibra óptica tenga un óptimo funcionamiento, y finalmente cumpla con la capacidad de soportar a los 800 usuarios. Para este cálculo se multiplica el número de clientes por el tipo de plan, que es el ancho de banda por usuario y se divide por el factor de reusó que determina la cantidad de ancho de banda necesario para brindar un servicio adecuado, para este se tomó un valor de 5.

$$\text{Ancho de banda} = \frac{(\# \text{ de clientes} * \text{tipo de plan})}{\text{factor de reusó}}$$

$$\text{Ancho de banda} = \frac{(800 * 10)}{5} = 1.6 \text{ Gbps}$$

5.1.1. Cálculo de atenuación del enlace troncal

Atenuacion total

$$= \left(\sum \text{Splitters} \right) + \left(\text{Distancia Km} * \frac{\text{Aten}}{\text{Km}} \right) + \left(\# \text{ empalmes} * \frac{\text{Aten}}{\text{tipo de empalme}} \right) + \left(\text{Conectores} * \frac{\text{Aten}}{\text{conector}} \right)$$

$$\text{Atenuacion total} = (0) + (3.7773 \text{ Km} * 0.2) + (3 * 0.3) + (4 * 0.3)$$

$$\text{Atenuacion total} = 2.85546 \text{ dB}$$

Teniendo en cuenta el valor obtenido de atenuación se puede evidenciar que la fibra óptica es inmune a las interferencias, la única forma de encontrar atenuaciones en este medio es por empalmes, conectores, splitters y el tamaño

de la fibra óptica, aun así se obtuvo un valor bastante bajo de atenuación. Por el contrario en la tecnología que se usaba de radio enlace cualquier factor puede afectar y atenuar la señal como por ejemplo un obstáculo entre los radio enlaces y el clima.

5.2. Equipos necesarios para la troncal de fibra óptica

Según lo dicho anteriormente se puede concluir que para la troncal de fibra óptica que se desea implementar es necesario la utilización de:

- Switch 24 puertos 4 puertos SFP por requerimiento de DEVTEL S.A.S.
- Switch 24 puertos 2 SFP, ya lo posee DEVTEL S.A.S.
- Caja de empalme.
- Bandeja de distribución para rack.
- Cable de fibra óptica.

Después de que se hizo la especificación de los equipos y elementos necesarios para la tronca de fibra óptica se determinó la selección de los equipos y elementos que se usaran para hacer la implementación de la troncal.

Tabla 21, equipos y elementos necesarios

EQUIPO O ELEMENTO	MODELO	CARACTERISTICAS	VALOR UNITARIO	TOTAL
Switch (nodo principal)	2530-24g	• Tecnología: Ethernet Gigabit Ethernet • Voltaje de entrada: 220 V AC 110 V AC • Administración basada en: web SyslogSNMP v1 / v2c / v3RMON 1;2;3;9CLIMIB IITelnetVLANDHCPQoS • Puerto de gestión: Sí • Tecnología de redes: 10/100 / 1000Base-T • Cantidad de puertos de red (RJ-45): 24 • Fuente de alimentación: Sí • Número total de puertos de red: 24 • Factor de forma: Montable en la pared- Montaje en bastidor- Escritorio • Capacidad de apilado: Virtual- 16 conmutadores	2'500.000 (1)	2'500.000

Switch (nodo secundario)	1910-48G	• Latencia: Latencia de 100 Mb: • 48 puertos RJ-45 10/100/1000 con negociación automática. • 4 puertos SFP de 1000 Mbps. • Admite un máximo de 48 puertos 10/100/1000 de detección automática • 4 puertos SFP 1000BASE-X, o una combinación de estos Incluido • hasta 77,4 Mpps • IMC - Intelligent Management Center Interfaz de línea de comandos limitada Navegador web Administrador de SNMP Mib Ethernet IEEE 802.3 • ARM a 333 MHz • flash de 128 MB • tamaño de búfer de paquetes: 512 KB • 128 MB de RAM	La empresa ya cuenta con este equipo	0
Caja de empalme	GJS-D006	• Excelente Protección contra rayos UV • IP65 • 6 charolas de 24 empalmes (Hasta 144 empalmes) • 4 entradas de fibra principales para cable Ø4 - 16 mm • 8 salidas para cable drop de cada lado • Temperatura de Operación - 40 a +65°C • Dimensiones 350x210x110 mm • 6 espacios para micro splitter (1:2, 1:4, 1:8) (No incluidos) • Compatible con fibra ADSS, Mini ADSS y Mini Figura 8* • Para instalación aérea	137.270 (2)	274.540

Bandeja de distribución para rack 12 hilos	Bandeja de distribución para rack	• 12 fusiones • Indoor • SC-LC simplex- duplex	374.000 (1)	374.000
Cable de fibra óptica ADSS por KM	OCADSS1 2CS100 -1	• Fibra Óptica ADSS G.652D Monomodo Loose Tube • Cubierta Exterior: HDPE (Polietileno de Alta Densidad) • Maxima tensión: 1800 N • Temperatura de operación: - 20°C a +65°C • Span (Distancia entre Postes): 100 metros • Protección contra rayos UV y humedad • Diametro nominal: 10.1 ± 0.5 mm • Peso nominal (kg/km): 78 ± 15 kg • 12 hilos • Forro Negro	1'643.544,48 (3.773 Km)	6'208.160
Herrajes	Herraje	Herrajes	3.050,00 (78)	237.900,00
SFP	SFP-HW-EPX20+	• 1490TX / 1310RX • Distancia 20KM • Fuente alimentación 3.3V • Temperatura de funcionamiento 0°C -70 °C	131.705 (4)	526.820
TOTAL(\$)	10'121.420			

Capítulo 6

6. CONTRUCCION DE LA TRONCAL DE FIBRA OPTICA

En este capítulo se hizo la construcción de la troncal de la fibra óptica teniendo en cuenta los cálculos y equipos buscados en el capítulo anterior.

6.1. Tendido de la fibra óptica

Para el tendido de la fibra óptica la empresa DEVTEL S.A.S contrato personal técnico para hacer este proceso, se realizó el acompañamiento mientras se hacia el tendido. En las siguientes ilustraciones se evidencia la realización del tendido de la fibra óptica.

Ilustración 89, salida del nodo principal

Ilustración 90, tendido de la fibra óptica

En las anteriores ilustraciones se muestra cuando se está saliendo del nodo principal mientras se tiende la fibra óptica.

Ilustración 91, carrete de fibra óptica y personas contratadas por DEVTEL S.A.S

Ilustración 92, proceso de tendido de fibra óptica

Para las ilustraciones 91 y 92 se muestra los técnico trabajando en el tendido de fibra óptica por el centro de la ciudad de Cúcuta

6.2. Instalación de caja de empalme en el Oiti.

Posteriormente de haber finalizado el tendido de fibra óptica se procedió a hacer los empalmes, dando inicio con la caja de empalme que se dejara en centro de la ciudad de Cúcuta.

Ilustración 93, proceso de fusión para la caja de empalme ubicada en el centro de Cúcuta (av. 7 entre cll 10 y 11)

Ilustración 94, caja de empalme dejada en el centro de Cúcuta (av. 7 entre cll 10 y 11).

Para las anteriores ilustraciones se hizo el debido fusiónamiento de la fibra óptica para dejar montada en el poste la caja de empalme que se dejara en el oiti para un futuro crecimiento en cobertura de la empresa, para esto se usó la cortadora de fibra óptica y fusor.

6.3. Terminación del cable en el nodo Cundinamarca

Después de finalizar con la puesta de la caja de empalme del centro de Cúcuta, se procedió a hacer el empalme en el nodo final.

Ilustración 95, empalme en el nodo final

Ilustración 96, fusión de fibra óptica en el nodo final.

Ilustración 97, caja de empalme en el nodo final

Para terminar en el nodo en Cundinamarca se tuvo que empalmar el cable de fibra óptica en una caja de empalme para dejar la fibra lista y posteriormente ser conectada al switch que se dejara en este nodo.

6.4. Terminación del cable en el nodo principal

Por último, se procedió a hacer el empalme en la caja de empalme metálica en el nodo principal.

Ilustración 98, empalme en el nodo principal

Ilustración 99, fusión de fibra óptica en el nodo principal

Ilustración 100, Rack con todo instalado en el nodo principal

Finalmente para finalizar con la instalación de equipos en el nodo principal primero se realizó el empalme de la fibra óptica en el odf metálico de fibra óptica y posteriormente se hizo la instalación del switch al rack para así finalizar con el tendido de la fibra óptica.

Capítulo 7

7. PRUEBAS Y MEDICIONES DEL ENLACE TRONCAL DE FIBRA OPTICA

Después de haber realizado la construcción de la troncal se realizan las mediciones para comprobar los valores de potencia obtenidos teóricamente, dependiendo de este valor o de diferentes situaciones que se pudieran presentar durante la construcción de la troncal de fibra óptica se corrigen errores.

Ilustración 101, medición tomada con el OTDR

En la ilustracion 101 se evidencia el hallazgo de tres eventos a 577 m, 1050 m y 1230 m del nodo principal en producto del proceso de tendio de la fibra optica, despues de haber hecho la revision en a lo largo del cable, se evidencia que el fallo a 577 m y 1050 m se debe a una curvatura del cable y el segundo fallo a 1230 m se debe a una falla electrica en un transformador, lo que se espera era que no hubieran errores de atenuacion o perdias de la señal hasta la terminacion de la linea que es aproximadamente a 3.6364 Km.

Tabla 22, errores obtenidos después de medición de OTDR

FALLA	CAUSA FALLA	DISTANCIA (m)
	Al doblarse excesivamente el cable de fibra optica, la señal optica que esta dentro del cable puede refractarse y	

Dobles de cable	por consiguiente salir del revestimiento, la flexion tambien puede dañar permanente la fibra optica generando microfisuras en ella.	577 y 1050
Cable quemado por transformador	En los dias en los que se estuvo haciendo el tendido e instalacion de la fibra optica hubo lluvias y entre estos dias tormentas electricas, por esto uno de los transformadores por donde pasaba la fibra sufrio un descarga electrica e hizo que se quemara el transformador y por consiguiente la fibra optica tambien	1230

Para hacer la correccion de estos errores a 577 y 1050 metros el cable se restauró corrigiendo la alta atenuación en este punto y a 1230 metros se dio solución al instalar un caja de empalme adicional.

Ilustración 102, reparación de daño a 1230 metros (calle 10 entre av. 7 y 8)

Ilustración 103, fusion de fibra optica para la reparacion de daño a 1230 metros (calle 10 entre av 7 y 8)

Después de finalizar a reparación de los daños se hizo la medición al final de la troncal de fibra óptica.

Ilustración 104, medición tomada al final de la troncal de fibra óptica

Ilustración 105, medición de OTDR más cerca

En la ilustración 104 y 105 se evidencia que la línea amarilla da continuidad hasta la cabecera, esto quiere decir que no hay problemas en la troncal de fibra óptica y está en óptimas condiciones para ser usada.

Tabla 23, datos obtenidos de medición del OTDR

Dato	Valor	
Atenuación total	Atenuación a 2.596 Km (dB)	Atenuación al final de la troncal (dB)
	1.14	1.48
	2.62 dB	
Total en Km de fibra óptica	3.6364 Km	

Al hacer una comparación con la distancia dada finalmente por el OTDR y la medida teóricamente se puede hallar un porcentaje de error.

$$\% \text{ error} = \frac{|valor \text{ teorico} - valor \text{ experimental}|}{valor \text{ teorico}} * 100$$

$$\% \text{ error} = \frac{|3.7773 - 3.6364|}{3.7773} * 100$$

$$\% \text{ error} = 3.73\%$$

Con el resultado del porcentaje de error se puede concluir que estuvo acertado el cálculo teórico y el medido por el OTDR ya que está por debajo del 10 %.

Ahora bien según datos tomados con el OTDR arrojo una atenuación de 1.14 dB a 2596 Km y otra atenuación de 1.48 dB a lo último de la línea de fibra óptica, si sumamos estas atenuaciones entonces tenemos un total de 2.62 dB. Ahora comparando con el valor teórico.

$$\% \text{ error} = \frac{|valor \text{ teorico} - valor \text{ experimental}|}{valor \text{ teorico}} * 100$$

$$\% \text{ error} = \frac{|2.855 - 2.62|}{2.855} * 100$$

$$\% \text{ error} = 8.23\%$$

Según el valor obtenido de porcentaje de error se concluye que es un buen valor ya que es menor a 10%.

Tabla 24, Tabla atenuación teórica y medida

Atenuación Teórica (dB)	Atenuación Medida (dB)	Porcentaje de error (%)
2.855	2.62	8.23

En la anterior tabla se evidencia las atenuaciones obtenidas teóricamente y la atenuación obtenida de las mediciones con el OTDR y el porcentaje de error.

Capítulo 8

CONCLUSIONES

El uso de redes de fibra óptica hace posible el aumento de ancho de banda en los servicios y así mismo el crecimiento en cobertura y usuarios para cualquier empresa que desee implementar este tipo de tecnología.

Este trabajo permitió la migración de una red de radio enlace a una red de fibra óptica solucionando problemas de saturación que se estaban presentando en la red de radio enlace.

Según cálculos obtenidos en el diseño de la red GPON se concluye que cumple con el requisito mínimo de 25 Mb para poder prestar un servicio de banda ancha ya que se puede ofrecer hasta 44.6429 Mbps por usuario.

Se verifico el funcionamiento de la troncal de fibra óptica puesto que se obtuvo un valor bajo de atenuación y se corrigieron todos los errores que se presentaron durante el tendido de la fibra óptica.

RECOMENDACIONES

Es recomendable el uso de una UPS para el cuidado de los equipos y de información tanto en el nodo principal como en el secundario.

Se recomienda adecuar una mejor sala de telecomunicaciones para el nodo secundario, a fin de tener una mayor vida útil de los equipos.

Se recomienda tener más orden en las salas de telecomunicaciones para no tener problemas por confusión de cables o desconexiones accidentales que se puedan presentar.

Es recomendable hacer la migración de radio enlace a fibra óptica el tramo restante entre el nodo de Cundinamarca y el nodo de virgen de Fátima.

Se recomienda mejorar las técnicas y capacitación del personal sobre el tendido de fibra óptica para evitar fallos futuros en la red.

Bibliografía

- boiero. (2015). *boiero*. Obtenido de boiero: http://www.boiero.com.ar/catalogo/155_cajas-naps#:~:text=en%20el%20usuario.-,Las%20Cajas%20NAP%20%2FNetwork%20Access%20Point%2C%20son%20elementos%20para%20la,exterior%20o%20en%20el%20interior.
- Ciset. (s.f.). *Ciset*. Obtenido de Ciset: <https://www.ciset.es/glosario/472-red-lan>
- dismatel. (2020). *dismatel*. Obtenido de dismatel: <https://dismatel.net/es/producto/mufa-o-cierre-de-empalme-de-fibra-optica/#:~:text=Es%20un%20producto%20destinado%20a,cavidad%20contenedora%20de%20las%20fibras.>
- fiber, H. (2020). *HDV FIBER*. Obtenido de HDV FIBER: <https://www.hdv-fiber.com/es/news/what-are-active-aon-and-passive-pon-optical-networks#:~:text=La%20red%20%3%B3ptica%20activa%20se,durante%20la%20transmisi%C3%B3n%20de%20se%C3%B1ales.>
- GPC. (2019). *GPC*. Obtenido de GPC: <https://gpcinc.mx/blog/redes-lan-man-wan/>
- jaurilaritza, e. (2018). *euskadi*. Obtenido de euskadi: https://www.contratacion.euskadi.eus/w32-1084/es/contenidos/anuncio_contratacion/expjaso945/es_doc/adjuntos/pliego_bases_tecnicas3.pdf
- juan. (2018). *xxamin*. Obtenido de xxamin: <https://xxxamin1314.medium.com/an%C3%A1lisis-de-pon-qu%C3%A9-es-olt-onu-ont-y-odn-8e78eb25e4bb>
- Madrid, T. (2015). *Telpro Madrid*. Obtenido de Telpro Madrid: <https://telpromadrid.eu/que-es-la-fibra-optica-monomodo-y-multimodo/>
- Marchukov, Y. (2011). *universidad politecnica de valencia*. Obtenido de universidad politecnica de valencia: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13413/memoria.pdf>
- melcox. (2019). *melcox*. Obtenido de melcox: <https://melcox.com/que-es-una-fusionadora-de-fibra-optica-y-como-elegirla2/>
- MINTIC. (1990). *MINTIC*. Obtenido de MINTIC: https://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-3568_documento.pdf
- NFON. (s.f.). *NFON*. Obtenido de NFON: <https://www.nfon.com/es/servicio/base-de-conocimiento/base-de-conocimiento-destacar/redes-de-telecomunicaciones>
- Reynolds, S. (2012). *revistas utp*. Obtenido de revistas utp: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/527/html>

-
- silexfiber. (2014). *sillexfiber*. Obtenido de silexfiber: <https://silexfiber.com/producto/cable-fibra-optica-autosoportado-figura-8/>
 - UIT. (2005). *UIT*. Obtenido de UIT: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.983.2-200507-I/es>
 - UIT. (2008). *UIT*. Obtenido de UIT: <https://www.itu.int/itu-t/recommendations/>
 - UIT. (2010). *UIT*. Obtenido de UIT: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.653-201007-I/es>
 - UIT. (2012). *UIT*. Obtenido de UIT: <https://www.itu.int/rec/T-REC-L.90-201202-I/es>
 - UIT. (2014). *UIT*. Obtenido de UIT: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.987.3-201401-I/es>
 - UIT. (2017). *UIT*. Obtenido de UIT: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.650.3-201708-I/es>
 - Velasco, R. (2019). *redeszone*. Obtenido de redeszone: <https://www.redeszone.net/2019/04/06/gpon-que-es/>
 - VERIZON. (2020). *VERIZON*. Obtenido de VERIZON: <https://espanol.verizon.com/info/definitions/fiber-optics/>
-
- ARIANNA VERONICA PARDO RIOS, B. D. (2020). *UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA*. Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/5360/1/UPSE-TET-2020-0006.pdf>
 - Herrera Vaca, A. J. (16 de 09 de 2020). *Universidad catolica de santiago de guayaquil*. Obtenido de <http://192.188.52.94:8080/bitstream/3317/15577/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-383.pdf>
 - LAURA BIBIANA RIVERA GALEANO, O. J. (2017). *instituto universitario politecnico grancolombiano*. Obtenido de <http://alejandria.poligran.edu.co/bitstream/handle/10823/929/Documento.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 - Lina Vanesa Buitrago Forero, O. D. (24 de 08 de 2018). *Univerisdad distrital francisco jose de caldas*. Obtenido de <file:///C:/Users/jaalb/Downloads/PLANEACI%C3%93N%20Y%20DISE%C3%91O%20DE%20UNA%20RED%20DE%20ACCESO%20POR%20FIBRA%20%C3%93PTICA%20FTTH%20PARA%20BRINDAR%20SERVICIOS%20MULTIMEDIA%20A%20COMUNIDADES%20BENEFICIADAS%20POR%20EL%20FIN%20DEL%20CONFLICTO%20ARMADO.pdf>
 - Márquez, R. A. (2020). *Universidad tecnologica de peru*. Obtenido de http://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/UTP/3303/1/Ruben%20Vega_Trabajo%20de%20Suficiencia%20Profesional_Titulo%20Profesional_2020.pdf
 - MOLINA, P. A. (2016). *UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA*. Obtenido de <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1717/1/TGT-401.pdf>

-
- rodriguez, j. a. (2018). Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/13734/MolinaRodriguezJaimeAndres2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS:

Anexo 1. Plano en AutoCAD del diseño de la red GPON en el centro de la ciudad de Cúcuta.

Tener en cuenta el símbolo circular pintado en rojo que muestra donde esta ubicación cada una de las NAP en cada sector.

Anexo 2. Costos de equipos para el diseño de la red GPON y el diseño de la troncal de fibra óptica.

Para la primera ilustración de costos, la moneda en que se están dando es en dólares y ya en la segunda ilustración es en pesos.

Anexo 3. Plano del troncal de fibra óptica presentado a cens para la aprobación del uso de la posteria.