

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA:

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

INGENIERA ELECTRÓNICA

TEMA:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED FTTH EN LA MITAD DEL
MUNDO Y CARCELÉN BAJO UTILIZANDO TECNOLOGÍA GPON PARA
LA EMPRESA PUNTONET S.A.**

AUTORA:

PAULINA ELIANA ARGÜELLO OLMEDO

TUTOR:

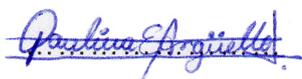
LUIS GERMÁN OÑATE CADENA

Quito, abril del 2016

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Paulina Eliana Argüello Olmedo, con documento de identificación N° 171904573-2, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajo de titulación intitulado: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED FTTH EN LA MITAD DEL MUNDO Y CARCELÉN BAJO UTILIZANDO TECNOLOGÍA GPON PARA LA EMPRESA PUNTONET S.A. mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Electrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....

Nombre: Paulina Eliana Argüello Olmedo

Cedula: 171904573-2

Fecha: abril del 2016

DECLARATORIA DE COAUTORIA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED FTTH EN LA MITAD DEL MUNDO Y CARCELÉN BAJO UTILIZANDO TECNOLOGÍA GPON PARA LA EMPRESA PUNTONET S.A. realizado por Paulina Eliana Argüello Olmedo, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, abril del 2016



.....

Luis Germán Oñate Cadena

Cédula: 1712157401

DEDICATORIA

“Todo parece imposible hasta que se hace.”

Nelson Mandela

A la memoria de mi padre Luis y a mi madre Margarita que siempre creyeron en mí.

AGRADECIMIENTO

A la empresa PUNTONET S.A. y a todas la personas que colaboraron para que este proyecto se pueda realizar.

A mi tutor el Ing. Luis Germán Oñate, por compartir sus conocimientos que fueron de gran ayuda para el desarrollo de este proyecto.

A mi lector el Ing. Luis Fernando Casanova, quien con sus comentarios y críticas indudablemente enriqueció mi trabajo.

ÍNDICE

| | |
|---|----------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO 1 | 3 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 3 |
| 1.1 Problema encontrado..... | 3 |
| 1.2 Antecedentes..... | 4 |
| 1.3 Pregunta. | 4 |
| 1.4 Objetivos..... | 4 |
| 1.4.1 Objetivo general..... | 4 |
| 1.4.2 Objetivos específicos..... | 4 |
| 1.5 Justificación..... | 5 |
| 1.6 Alcances..... | 5 |
| 1.7 Metodología de la investigación..... | 6 |
| 1.7.1 Investigación bibliográfica..... | 6 |
| 1.7.2 Desarrollo de la Implementación | 6 |
| 1.7.3 Documentación | 6 |
| CAPÍTULO 2 | 7 |
| REDES GPON | 7 |
| 2.1 Definición FTTX. | 7 |
| 2.2 Topologías FTTX. | 7 |
| 2.3 Introducción al sistema FTTH. | 8 |
| 2.4 Arquitectura de redes FTTH. | 8 |
| 2.4.1 Aplicaciones de FTTH. | 8 |
| 2.5 Redes PON. | 9 |
| 2.5.1 Descripción de una red PON..... | 9 |
| 2.5.2 Elementos de las redes PON. | 9 |
| 2.5.3 Definición de una red GPON. | 10 |
| 2.5.4 Arquitectura de una red GPON..... | 10 |
| 2.6 Tecnología de Transmisión para las redes PON..... | 11 |
| 2.6.1 DBA Dynamic Bandwidth Allocation..... | 12 |
| 2.6.2 ATM Asynchronous Transfer Mode. | 12 |
| 2.6.3 GEM GPON Encapsulation Method. | 12 |
| 2.6.4 Multiplexación TDM..... | 12 |
| 2.6.5 Multiplexacion TDMA..... | 13 |

CAPÍTULO 3 14

PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED FTTH. 14

| | | |
|------------|--|-----------|
| 3.1 | Estado de la red a enero del 2015..... | 14 |
| 3.1.1 | Red Wifi sector Mitad del Mundo y Carcelén Bajo. | 14 |
| 3.1.2 | Esquema de la red Wifi. | 17 |
| 3.2 | Requerimientos de diseño..... | 19 |
| 3.3 | Propuesta. | 20 |
| 3.4 | Criterios de diseño..... | 20 |
| 3.4.1 | Escalabilidad..... | 20 |
| 3.4.2 | Dimensionamiento..... | 21 |
| 3.4.3 | Factibilidad. | 21 |
| 3.4.3.1 | <i>Factibilidad técnica.....</i> | <i>21</i> |
| 3.4.3.2 | <i>Factibilidad de la red de fibra óptica.....</i> | <i>22</i> |
| 3.4.3.3 | <i>Factibilidad del radio enlace.....</i> | <i>22</i> |
| 3.4.3.4 | <i>Factibilidad de postes.....</i> | <i>24</i> |
| 3.4.4 | Esquema de la red de fibra óptica. | 24 |
| 3.4.5 | Diseño de la red Mitad del Mundo y Carcelén Bajo. | 25 |
| 3.4.5.1 | Ubicación de OLT. | 25 |
| 3.4.5.2 | Ruta principal de fibra óptica. | 25 |
| 3.4.5.3 | Enlace backup. | 26 |
| 3.4.5.4 | Diseño de la red FTTH. | 26 |
| 3.4.5.5 | Planificación..... | 28 |
| 3.4.5.5.1 | <i>Fase 1 - Red Troncal.</i> | <i>28</i> |
| 3.4.5.5.2 | <i>Fase 2 – Cobertura Mitad del Mundo.</i> | <i>29</i> |
| 3.4.5.5.3 | <i>Fase 3 – Cobertura Equinoccio.</i> | <i>29</i> |
| 3.4.5.5.4 | <i>Fase 4 – Cobertura Laguna Azul.....</i> | <i>30</i> |
| 3.4.5.5.5 | <i>Fase 5 – Cobertura La Pampa.....</i> | <i>31</i> |
| 3.4.5.5.6 | <i>Fase 6 – Cobertura Pomasqui.....</i> | <i>32</i> |
| 3.4.5.5.7 | <i>Fase 7 – Cobertura Pusuquí.....</i> | <i>33</i> |
| 3.4.5.5.8 | <i>Fase 8 – Cobertura Arquitectos.....</i> | <i>34</i> |
| 3.4.5.5.9 | <i>Fase 9 – Cobertura Carcelén Bajo I.....</i> | <i>35</i> |
| 3.4.5.5.10 | <i>Fase 10 – Cobertura Carcelén Bajo II.</i> | <i>36</i> |
| 3.5 | Cálculos. | 37 |
| 3.6 | Diseño de la red. | 39 |
| 3.6.1 | Concentrador VLAN – MPLS. | 41 |
| 3.6.2 | OLT. | 42 |
| 3.6.3 | Conectores SFP (Enlace Principal)..... | 42 |

| | | |
|---------------------------------|--|-----------|
| 3.6.4 | Equipos de Enlace Backup..... | 42 |
| 3.6.5 | Respaldo Eléctrico y Rack. | 43 |
| 3.6.6 | Suministros. | 43 |
| 3.6.6.1 | <i>Fosc 350</i> | 43 |
| 3.6.6.2 | <i>Fosc 450</i> | 44 |
| 3.6.6.3 | <i>Fibra Monomodo G.652, Prysmian</i> | 44 |
| 3.6.6.4 | <i>Splitters</i> | 44 |
| CAPÍTULO 4 | | 45 |
| ANÁLISIS DE COSTOS | | 45 |
| 4.1 | Costos de implementación y equipos. | 45 |
| 4.2 | Costos operacionales. | 46 |
| 4.2.1 | Costos arrendamiento de postes Empresa Eléctrica Quito (EEQ). | 46 |
| 4.2.2 | Costos por ampliación de la red de transporte. | 47 |
| 4.2.3 | Costos por arrendamiento de lugar de ubicación del nodo..... | 47 |
| 4.2.4 | Costos por explotación de frecuencias. | 47 |
| 4.2.5 | Indicadores de evaluación económica. | 48 |
| 4.2.5.1 | <i>Valor Actual Neto</i> | 49 |
| 4.2.5.2 | <i>Tasa Interna de Retorno</i> | 50 |
| 4.2.5.3 | <i>Periodo de Recuperación del Capital</i> | 51 |
| CONCLUSIONES | | 52 |
| RECOMENDACIONES | | 53 |
| REFERENCIAS..... | | 54 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Arquitectura FTTH.. | 5 |
| Figura 2. Elementos de la red PON. | 10 |
| Figura 3. Esquema GPON 8 ONU'S. | 11 |
| Figura 4. Multiplexación por División de Tiempo | 13 |
| Figura 5. Acceso Múltiple por División de Tiempo. | 13 |
| Figura 6. Ubicación Geográfica de los nodos sector Mitad del Mundo y Carcelén Bajo. ... | 14 |
| Figura 7. Esquema de la red Wifi . | 18 |
| Figura 8. Cobertura Nodo Pomasqui Principal. | 22 |
| Figura 9. Perfil de elevación entre los Nodos Wifi Pomasqui y Nodo Pomasqui Principal | 23 |
| Figura 10. Esquema de la red-Topología en Árbol. | 24 |
| Figura 11. Ubicación de mangas Troncales | 27 |
| Figura 12. Diseño de la Red GEPON-SERVICIO FTTH | 28 |
| Figura 13. Georreferenciación de Mangas y Abonados - Fase 2 | 29 |
| Figura 14. Georreferenciación de Mangas y Abonados-Fase 3 | 30 |
| Figura 15. Georreferenciación de Mangas y Abonados-Fase 4 | 31 |
| Figura 16. Georreferenciación de Mangas y Abonados-Fase 5 | 32 |
| Figura 17. Georreferenciación de Mangas y Abonados-Fase 6 | 33 |
| Figura 18. Georreferenciación de Mangas y Abonados-Fase 7 | 34 |
| Figura 19. Georreferenciación de Mangas y Abonados -Fase 8 | 35 |

| | |
|--|----|
| Figura 20. Georreferenciación de Mangas y Abonados-Fase 9 | 36 |
| Figura 21. Georreferenciación de Mangas y Abonados -Fase 10 | 37 |
| Figura 22. Diagrama de la Red FTTH Mitad del Mundo y Carcelén Bajo | 40 |
| Figura 23. Infraestructura Cliente Final | 41 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Nodos Wifi -Coordenadas. | 15 |
| Tabla 2. Nodos Wifi – Abonados | 16 |
| Tabla 3. Nodos Wifi – Ancho de Banda..... | 16 |
| Tabla 4. Nodos Wifi – Abonados para migrar | 17 |
| Tabla 5. Ubicación de los Nodos. | 26 |
| Tabla 6. Cálculo del presupuesto óptico en dB | 38 |
| Tabla 7. Potencia máxima de equipos en el nodo | 43 |
| Tabla 8. Costos de implementación y materiales..... | 45 |
| Tabla 9. Costos materiales en el nodo Wifi Pomasqui | 46 |
| Tabla 10. Costo mensual por uso de frecuencia..... | 48 |
| Tabla 11. Valores totales del proyecto | 49 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|--|----|
| Ecuación 1. Cálculos del presupuesto óptico..... | 38 |
| Ecuación 2. Cálculo de costos para enlaces punto-punto (microondas en 15 Ghz)..... | 48 |
| Ecuación 3. Cálculo del VAN..... | 49 |
| Ecuación 4. Cálculo del TIR..... | 50 |
| Ecuación 5. Cálculo del PRC..... | 51 |

Resumen

El problema de saturación en los Nodos Wifi causa inconvenientes en el servicio que se les brinda a los abonados, ya que los anchos de banda en las radio bases no cubre la demanda existente; actualmente PUNTONET S.A. presenta como solución la implementación de redes FTTH (Fiber To The Home) con tecnología GPON (Gigabit Passive Optical Network), estas redes al ser enlaces físicos de fibra óptica permiten anchos de banda superiores a los 30 Mbps (Megabits por segundo) al abonado y así mejorar el servicio brindado. En este proyecto se analiza la situación inicial de la red, especialmente la capacidad en sus anchos de banda, se busca encontrar la mejor solución tecnológica para mejorar la capacidad del servicio, aumentar las zonas de cobertura gracias a las ventajas que supone el uso de enlaces de fibra óptica y descongestionar los nodos saturados que se encuentran dentro del proyecto.

El diseño de la red cuenta con información importante como es: la ruta principal de fibra hacia el nodo, el enlace backup, equipos necesarios para el diseño y costos relacionados a la implementación de la red, la misma que en el sector de la Mitad del Mundo y Carcelén Bajo permite recopilar información de gran importancia para la empresa.

Con la implementación de la red diseñada, los abonados cuentan con anchos de banda superiores a los 5Mbps equivale a un 600% ya que en los enlaces de fibra no se tiene compartición y se dispone el total del ancho de banda entregado.

Abstract

The problem of saturation in the wireless nodes causes inconvenience in the service offered to the customers as the bandwidths in the bases radius does not cover the existing demand; currently PUNTONET S.A., as a solution, proposes the implementation of FTTH (Fiber To The Home) with GPON (Gigabit Passive Optical Network), these optical fiber links allow above 30 Mbps and improve the service provided. Project analyzes the initial situation of the network especially the capacity in its bandwidth analyzed. It seeks to find the best technological solution to improve the service capacity, increase the cover areas thanks to the advantages of using fiber optic links and decongest saturated nodes that are within the project.

The network design has important information such as: the main route of the fiber to the node, the backup, equipment needed for the design and the cost related to the implementation of the network, the same as in the area of Mitad del Mundo and Carcelén Bajo allows collecting important information for the enterprise; as the number of subscribers to migrate to the new network.

With the implementation of the designed network, subscribers have greater width than 5Mbps, is equal to 600%, as the fiber links don't compartment and the total band width delivered is consumed.

INTRODUCCIÓN

Actualmente existe una creciente demanda de servicios multimedia en línea, las redes actuales no satisfacen esta necesidad por sus anchos de banda entre 2,2 Mbps y 5 Mbps, por tal motivo se considera a las redes FTTH (Fiber To The Home) con tecnología GPON (Gigabit Optical Passive Network) como la mejor solución, ya que permite llegar al usuario final brindándole anchos de banda superiores a 1 Gbps. Las redes FTTH son redes de fibra óptica que permiten tener una mayor cobertura y enlazar varios usuarios sin tener que utilizar elementos activos; la tecnología GPON proporciona anchos de banda de hasta 10 Gbps para los servicios de comunicación y aplicaciones en red.

Este proyecto se centra en el sector de la Mitad de Mundo y Carcelén Bajo, donde se utiliza una red de acceso basada en radio enlaces, su tecnología brinda anchos de banda entre 50 y 100 Mbps para todos los abonados atados a estas radio bases, esta red de acceso contaba con radio bases saturadas debido al hacinamiento de abonados y al incremento de la demanda del servicio de internet.

PUNTONET S.A. busca mejorar el servicio brindado a los usuarios, por tal motivo en este proyecto técnico se realiza el análisis para el diseño de la red FTTH que permita descongestionar la red inalámbrica que se encuentra en el sector de la Mitad del Mundo y Carcelén Bajo, el diseño adecuado de la red permite continuar con la implementación y puesta en marcha del proyecto.

En el primer capítulo se analiza la motivación del proyecto, los antecedentes, los objetivos, el alcance del proyecto y por último se describe la metodología de la investigación del diseño e implementación de la red FTTH en la Mitad del Mundo y Carcelén Bajo utilizando tecnología GPON para la empresa PUNTONET S.A.

En el segundo capítulo se analiza: los fundamentos teóricos, arquitectura y aplicaciones de las redes FTTH, las redes PON, sus elementos y estándares, la tecnología GPON y por último las técnicas de transmisión.

En el tercer capítulo se presenta el diseño de la red en la Mitad del Mundo y Carcelén Bajo, se especifica la zona de cobertura del proyecto, los materiales y equipos necesarios para la puesta en marcha del proyecto.

En el cuarto capítulo se definen los costos: de implementación del diseño, operacionales y la factibilidad económica donde se demuestra la rentabilidad del proyecto.

En el quinto capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo, se analiza la motivación principal del proyecto, los antecedentes, los objetivos, el alcance del proyecto y por último la metodología de investigación.

1.1 Problema encontrado.

En el sector de la Mitad del Mundo y Carcelén Bajo a enero del 2015 se utiliza una red de acceso basada en radio enlaces, esta red utiliza Nodos Wifi con varias antenas que brindan un ancho de banda entre 50 y 100 Mbps, esta red de acceso contaba con radio bases saturadas debido al hacinamiento de abonados y al incremento de la demanda del servicio de internet.

En el sector se cuenta con varios nodos Wifi, se tenía varios problemas principalmente con el Nodo Mitad del Mundo y el Nodo de Carcelén ya que cada uno de los nodos tiene un número promedio de 50 abonados por antena llegando a sobrepasar en algunos casos la totalidad de asignación, el número de abonados por antena debe ser de 30 abonados, con el uso de las red de radio enlace se tiene la desventaja de que al aumentar la distancia entre el usuario y el nodo disminuye la velocidad de transmisión, por tal motivo se buscó eliminar estos problemas en la red y mejorar el servicio brindado por parte de la empresa PUNTONET S.A. a los usuarios.

PUNTONET S.A. busca mejorar sus servicios con la instalación y migración a una nueva red de acceso FTTH utilizando tecnología GPON ya que esta nos permite llegar directamente al usuario final con fibra óptica para brindarle un servicio que ofrece velocidades superiores a 1Gbps.

La empresa PUNTONET S.A. asigna a los abonados en los radio enlaces un ancho de banda máximo de 5Mbps mientras que con los enlaces por medio de fibra óptica se puede adjudicar un ancho de banda de 30 Mbps.

1.2 Antecedentes.

PUNTONET S.A. cubre varias ciudades como: Quito, Guayaquil, Cuenca, Santo Domingo, Machala, Ambato, Riobamba brindando sus servicios a través de las diferentes formas de acceso como enlaces microondas, radio enlaces, conexiones satelitales y conexiones con fibra óptica.

PUNTONET S.A. cuenta con una red troncal de fibra óptica en cada una de las ciudades donde brinda sus servicios, Quito cuenta con esta troncal de fibra óptica que se extiende a través de toda la ciudad conectando todos los nodos Wifi.

PUNTONET S.A. anteriormente ha realizado otros proyectos con tecnología FTTH para robustecer su tendido de fibra óptica en la ciudad de Quito. La empresa cuenta con los proyectos de: Chillogallo, Cumbaya, Terracota, y El Condado, siendo este el que ofrece mayor cobertura ya que cuenta con 1359 abonados.

Debido a la gran demanda del servicio de internet PUNTONET S.A. también se encuentra implementando proyectos con tecnología FTTH en otras ciudades como son: Cuenca, Santo Domingo, Durán y Guayaquil, siendo este último el más reciente que dentro de su primera etapa cuenta con 82 abonados del servicio de internet.

1.3 Pregunta.

¿Cómo se puede implementar una red FTTH para brindar servicio de internet a los usuarios de la empresa PUNTONET S.A., localizados en la Mitad del Mundo y Carcelén Bajo?

1.4 Objetivos.

A continuación se describen el objetivo general y los objetivos específicos de este proyecto.

1.4.1 Objetivo general

- Diseñar e Implementar la Red FTTH en la Mitad del Mundo y Carcelén Bajo utilizando tecnología GPON para PUNTONET S.A.

1.4.2 Objetivos específicos

- Diseñar la red FTTH para los usuarios de la empresa PUNTONET S.A. para la Mitad del Mundo y Carcelén Bajo.
- Definir la factibilidad técnica y económica de la red diseñada.

- Implementar la red FTTH y comprobar que se esté brindando el servicio a los usuarios.

1.5 Justificación.

El presente proyecto beneficia a los usuarios de los servicios brindados por la empresa PUNTONET S.A. en el sector de la Mitad del Mundo y Carcelén Bajo mejorando el servicio de internet, ya que al utilizar redes FTTH con tecnología GPON permite entregar a los usuarios un servicio con mayor velocidad y estabilidad en los enlaces, permitiendo que los datos sean transferidos sin interrupciones.

De esta manera se disminuirá la tasa de errores y el número de caídas de los enlaces, aumentando la confiabilidad de las conexiones.

Este proyecto beneficia a la empresa PUNTONET S.A. permitiendo ampliar la cobertura de la red de acceso y mejorar los servicios brindados llegando a un mayor número de abonados, haciendo que se sientan más seguros de usar el servicio de internet.

Se pretende mejorar las prestaciones que brinda la empresa PUNTONET S.A. como proveedora de internet ofreciendo mejor servicio a los actuales abonados y a los futuros abonados potenciales que se encuentran en el sector.

Beneficia a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electrónica mención en Telecomunicaciones como material de apoyo e información sobre cómo se diseñan las redes FTTH con tecnología GPON.

1.6 Alcances

Este proyecto realiza lo siguiente:

- Análisis de la situación afinales de diciembre del 2015 del servicio brindado por la empresa PUNTONET S.A. en el sector de la Mitad del Mundo y Carcelén Bajo.
- Se realiza el diseño de la red FTTH de la Mitad del Mundo y Carcelén Bajo, esta red se basa en un eje troncal de fibra óptica tendida a enero del 2015 de aproximadamente 16 km.
- Implementación de la nueva red de fibra óptica para la migración del medio de transmisión de aproximadamente 1500 abonados.

1.7 Metodología de la investigación

A continuación se detalla los pasos planteados para la realización del proyecto, la investigación cuenta con los siguientes fundamentos: recopilación de la información de la situación inicial a enero del 2015 de la red, desarrollo del marco teórico, diseño e implementación de la red.

1.7.1 Investigación bibliográfica

Se realiza la investigación sobre la arquitectura de las redes FTTH, cuáles son sus características, aplicaciones, ventajas y desventajas.

También se averigua sobre las principales tecnologías PON, características, velocidad, ventajas y protocolos. Se indaga sobre la técnica que permite la transmisión de la señal la cual es TDM (Multiplexación por División de Tiempo).

1.7.2 Desarrollo de la Implementación

Para la implementación del proyecto se requiere de 2 OLT's (Optical Line Terminal) Calix E7-2, se utilizaran 19 puertos PON y 3 tarjetas ópticas. El punto central para la instalación del equipamiento activo se lo realizará en el Nodo Pomasqui, la red troncal de fibra óptica cuenta con una extensión de 17 km de fibra de 48 hilos, de los cuales ya se encuentran instalados 16 km que pertenecen a la red de transporte.

Para la red de distribución se instaló 25 km de fibra óptica de 6 hilos y la instalación de 76 mangas.

1.7.3 Documentación

Se redactó un escrito que corresponde al desarrollo de este proyecto técnico, mismo que, de una manera clara y ordenada da a conocer los resultados que se obtuvieron en esta investigación

CAPÍTULO 2

REDES GPON

En este capítulo se analizará los fundamentos teóricos de las redes FTTH (Fiber To The Home), de la tecnología GPON (Gibabit Passive Optical Network) y de las técnicas de transmisión TDM (Time Division Multiplexing). Además se analizará el estado del arte del diseño de las redes FTTH

2.1 Definición FTTX.

La capacidad de transmisión de la fibra óptica permite desarrollar el despliegue de redes ópticas punto a punto al implementar arquitectura FTTx (Fiber To The X) permite utilizar un enlace a varios abonados al mismo tiempo, no se requieren elementos activos que regeneren la señal. (EXFO, 2012)

2.2 Topologías FTTX.

En la familia de las redes FTTX (Fiber To The X), se pueden distinguir distintos tipos, estas son totalmente pasivas. La arquitectura de las redes depende de la distancia hacia el usuario final, las más destacables son:

- **FTTB (Fiber To The Building).**

El cuarto de distribución del edificio que generalmente se encuentra en el sótano, desde este punto se llega al usuario utilizando cobre, wireless, etc. (FTTH Council Europe, 2014)

- **FTTH (Fiber To The Home).**

La fibra óptica llega de forma directa al hogar u oficina del usuario, esta arquitectura utiliza divisores ópticos como son los splitters. (FTTH Council Europe, 2014)

- **FTTC (Fiber To The Curb).**

El usuario es conectado a un gabinete o armario de telecomunicaciones ubicado generalmente en la calle, desde ahí llega al abonado con un solo hilo de fibra óptica, el tráfico de la información es a través de Ethernet Gigabit. (FTTH Council Europe, 2014)

- **FTTN (Fiber to the Node).**

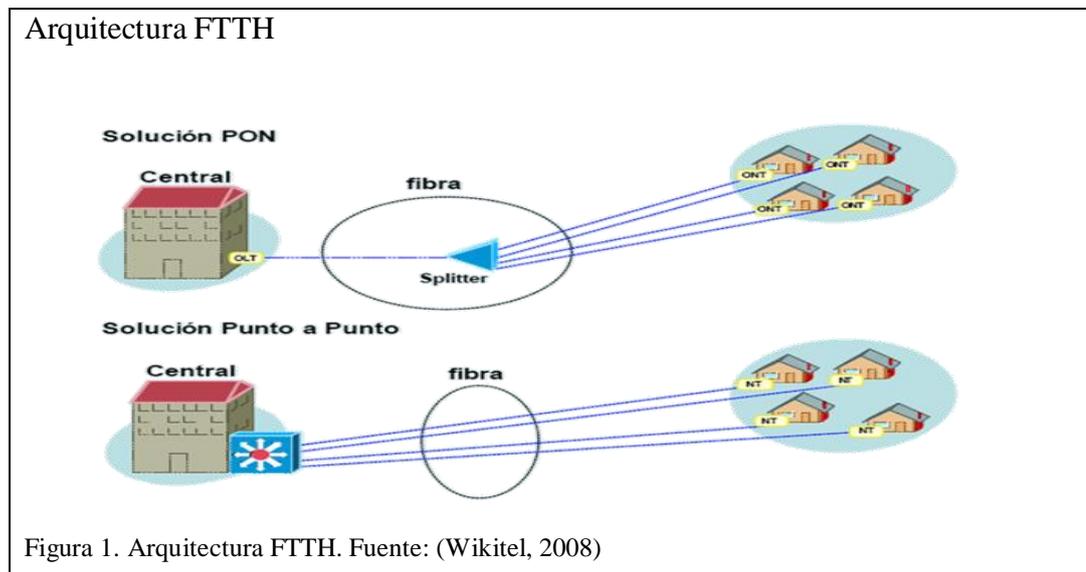
La fibra óptica va desde la central hasta una distancia entre 1,5 km y 3 km hasta el usuario; también incluye los casos en que la fibra óptica termina en un punto de distribución. (EXFO, 2014)

2.3 Introducción al sistema FTTH.

Las redes FTTH tienen la capacidad de transportar gran cantidad de datos e información a velocidades muy elevadas, son consideradas redes de banda ancha.

La fibra óptica como medio de transmisión hasta el usuario final cubre con las necesidades actuales y futuras, ya que su estructura física basada en un diseño escalable permite un ahorro a largo plazo y el costo inicial es amortizado en muy corto tiempo.

2.4 Arquitectura de redes FTTH.



Las redes FTTH se basan en dos tipos de arquitecturas, la primera es Punto a Punto (P2P), que es una línea directa entre el proveedor y el usuario final; y la segunda es la arquitectura Punto Multipunto (P2MP), esta arquitectura utiliza splitters para la distribución de la red a los abonados, es una red pasiva que utiliza Gigabit Ethernet.

2.4.1 Aplicaciones de FTTH.

Las redes FTTH alcanzan distancias de 20 km, por esto una de las aplicaciones es su uso en barrios residenciales donde los hogares se encuentran dispersos.

2.5 Redes PON.

2.5.1 Descripción de una red PON.

Las redes PON evitan en su totalidad los componentes activos entre el servidor y el usuario final, en su lugar utiliza divisores ópticos (splitters), sus características permiten un gran ancho de banda, es un sistema de comunicación bidireccional con topología punto-multipunto. (Barahona, 2010)

2.5.2 Elementos de las redes PON.

Los elementos de la red PON se encuentran en la planta externa donde se realiza la distribución de la red de fibra óptica.

Los elementos son: cables ópticos, divisores ópticos (splitters), conectores y acoples.

- **Divisor Optico (Splitter).**

Es una terminal de acceso multiple, el divisor óptico conectado a la red permite la división de la señal en 1x4, 1x8, 1x16, 1x32 o 1x64, es decir una sola fibra óptica es capaz de tener 64 fibras ópticas de salida. (Teleco, 2015)

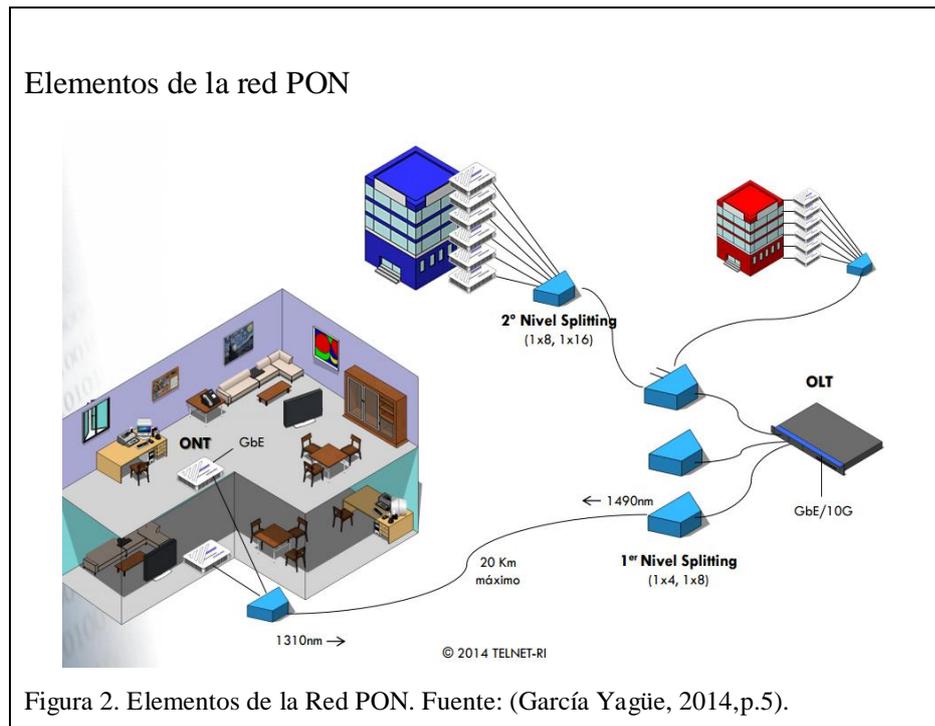
Los únicos elementos activos con los que cuenta la red PON son la OLT que se encuentra en la central, la ONU o la ONT que están cerca del cliente. (Teleco, 2015)

- **OLT – Optical Line Terminal.**

Es el equipo de cabecera, conecta la red del operador con la red PON, se utiliza en formato modular, esto permite disponer de puertos para conexión de uplink y puertos para el acceso en la red. (Martinez, 2013)

- **ONT – Optical Network Terminal.**

Se puede decir que el ONT es el modem de la red PON, es el equipo que ofrece el servicio al cliente. (Martinez, 2013)



2.5.3 Definición de una red GPON.

GPON hace referencia a las redes PON con capacidad de Gigabit, fueron aprobadas en el año 2004, están especificadas en la Recomendación ITU-T G.984.

GPON es una red basada en fibra óptica permitiendo que las velocidades de transmisión sean mucho mayores que anteriores tecnologías, pasando de una velocidad de Mbps a Gbps. (Cevallos, Montalvo , & Vinueva, 2010)

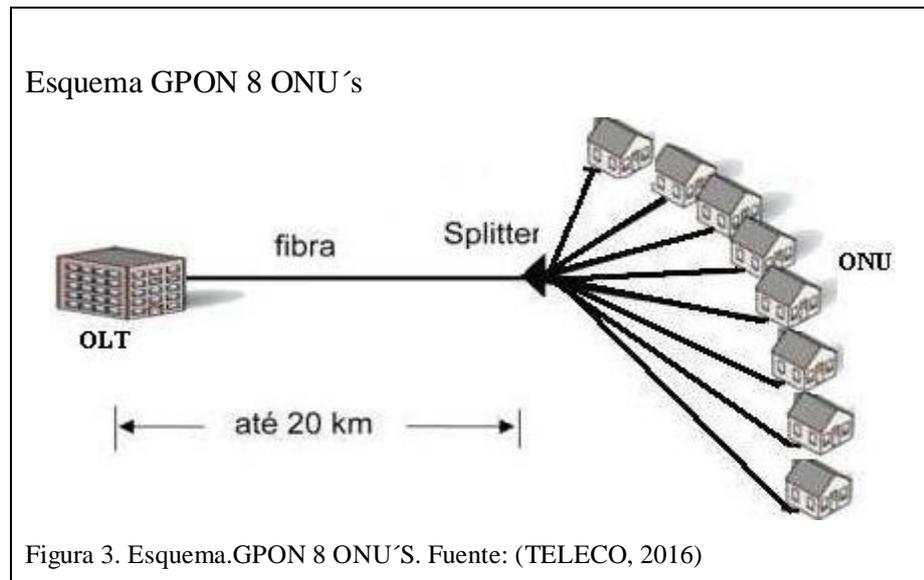
GPON maneja distintas velocidades de transmisión:

- 1.2 Gbps subida / 2.4 Gbps bajada
- 2.4 Gbps subida / 2.4 Gbps bajada

2.5.4 Arquitectura de una red GPON.

Los principales elementos de la red GPON son la fibra óptica como medio de transmisión, es la guía de transmisión de onda de luz, el OLT es el elemento activo situado en la central, el ONT es el dispositivo localizado en el hogar del abonado de la red FTTH. La fibra óptica es el método de transmisión entre el OLT y el ONT, transporta una longitud de onda, el tráfico de bajada generado en el OLT puede ser distribuido utilizando dispositivos que dividen la señal de luz hasta alcanzar el número de abonados requeridos, siendo 1xn (donde n=2, 4, 6, 8, 16, 32 o 64), esto se denomina arquitectura punto-multipunto. El tráfico de subida desde el ONT hasta el OLT es distribuido en una longitud de onda diferente para evitar colisiones con el

tráfico de bajada. Se realiza un broadcast óptico para el tráfico downstream, cada ONU es capaz de procesar el tráfico al que tiene acceso por parte del operador; TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo) es el protocolo en el que se basa en el tráfico de subida este protocolo asegura la transmisión sin colisiones desde el ONU hasta el OLT. (Millán, 2007)



En la figura 3 se observa que la distancia entre el OLT y el splitter no supera los 20 km, el splitter permite alcanzar el número de abonados requeridos.

2.6 Tecnología de Transmisión para las redes PON.

Para la transmisión de datos se cuenta con el uso de la tecnología TDM (*Time Division Multiplexing*) para el envío descendente de datos y TDMA (*Time Division Multiple Access*) para el tráfico de bajada de datos; utilizando técnicas de seguridad como el Estándar de Encriptación Avanzada AES (*Advance Encryption Standard*), para el uso eficiente del ancho de banda se dispone de la Asignación Dinámica del Ancho de Banda DBA (*Dynamic Bandwidth Allocation*), en el transporte de datos se aplican los protocolos ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) Modo de Transferencia Asíncrona y GEN (*GPON Encapsulation Method*), Método de Encapsulamiento GPON que es la adaptación del estándar GFP (*Generic Frame Procedure*) definido en el estándar ITU-T G.7041. (Tepan, 2015)

2.6.1 DBA Dynamic Banwidth Allocation.

Es la técnica, por la cual un ancho de banda es asignado de forma adecuada dependiendo de la necesidad de los usuarios. (Tepan, 2015)

2.6.2 ATM Asynchronous Transfer Mode.

Es una tecnología de transmisión de datos digitales, es un protocolo por conmutación de paquetes de tamaño fijo, entre los puntos de enlace previo al intercambio de datos. (Tepan, 2015)

2.6.3 GEM GPON Encapsulation Method.

En el protocolo está definido por la recomendación UIT-T G.984.3, en el protocolo la información es transportada usando el protocolo GPON GTC (GPON Trasmision Convergence) en sentido ascendente. (Tepan, 2015)

2.6.4 Multiplexación TDM.

La Multiplexación por División de Tiempo o Time Divisor Multiplexing es utilizada especialmente en transmisiones digitales, consiste en asignar la totalidad del ancho de banda a un canal de transmisión, en un intervalo de tiempo determinado, de esta manera nos permite compartir un canal de transmisión entre varios usuarios.

TDM permite organizar el mensaje de salida en unidades de información llamadas tramas asignando a cada canal un intervalo de tiempo determinado, de esta manera el primer canal de la trama corresponde a la primera comunicación, el segundo a la segunda y así sucesivamente hasta que el n-esimo +1corresponda nuevamente al primero. (Restrepo, 2007, p.27).

Multiplexación por División de Tiempo

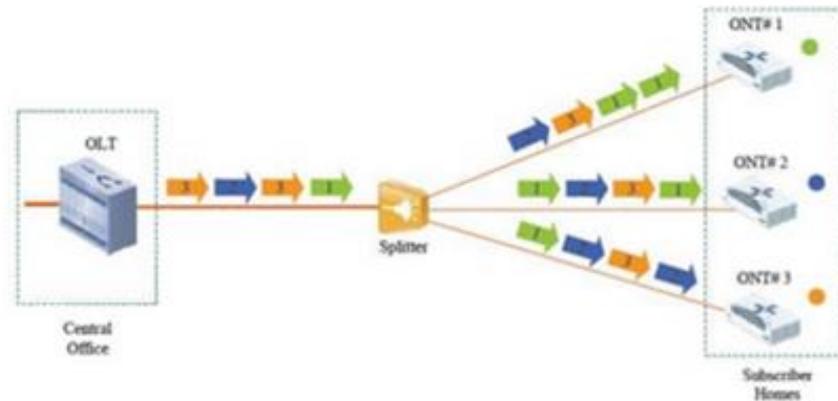


Figura 4. Multiplexación por División de Tiempo. Fuente: (Guzmán & Ayala, 2011, p. 13).

2.6.5 Multiplexacion TDMA.

TDMA (Time Division Multiple Access) permite que cada usuario acceda a un canal compartido por un intervalo de tiempo, este canal es compartido con otros usuarios a los que se les asigna diferentes periodos de tiempo (Ablán y Cano, 2014).

Acceso Múltiple por División de Tiempo

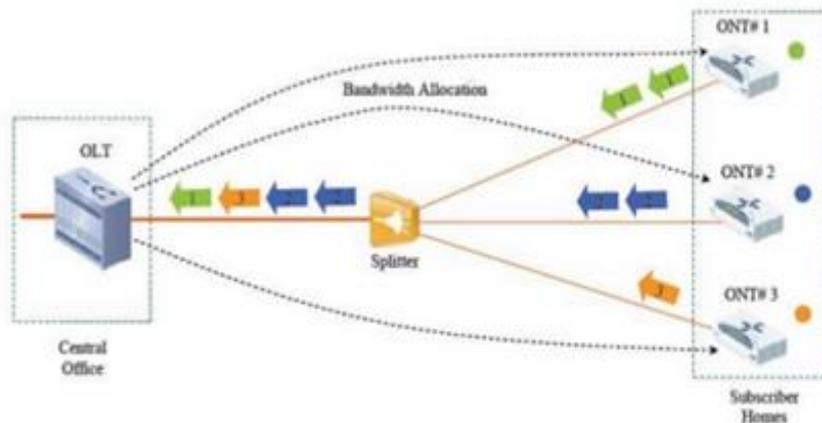


Figura 5. Acceso Múltiple por División de Tiempo. Fuente: (Guzmán & Ayala, 2011, p.14).

CAPÍTULO 3

PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED FTTH.

En el presente capítulo se describen el diseño e implementación de la red FTTH en el sector de la Mitad del Mundo y Carcelén Bajo.

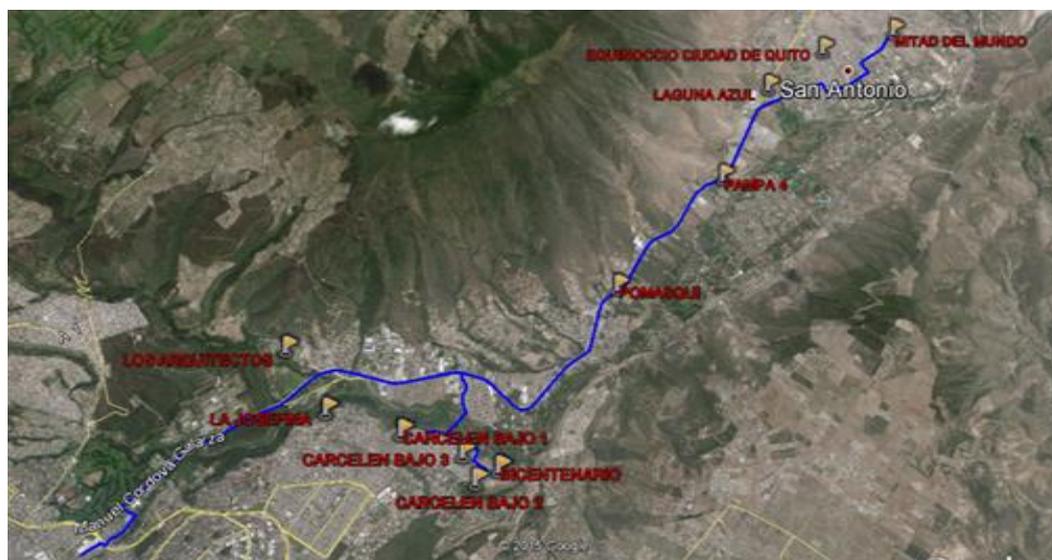
3.1 Estado de la red a enero del 2015.

Para poder realizar un diseño de una red FTTH, se debe conocer los requerimientos de demanda del servicio existente, número de abonados y posibles abonados a futuro.

A continuación se presenta es estado a enero del 2015 de la estructura de la red Wifi desplegada en el sector, se expone el escenario de despliegue de la red FTTH, se realizan los cálculos de perdidas, anchos de banda y distancias.

3.1.1 Red Wifi sector Mitad del Mundo y Carcelén Bajo.

Ubicación Geográfica de los nodos sector Mitad del Mundo y Carcelén Bajo



— Tendido de F.O

Nodos Wifi



Figura 6. Ubicación Geográfica de los nodos sector Mitad del Mundo y Carcelén Bajo. Fuente: Area de Networking-PUNTONET S.A. Elaborado por: Paulina Argüello

En la figura 6 se puede observar la red de fibra óptica que atraviesa el sector de la Mitad del Mundo y Carcelén Bajo, esta red es fundamental para el diseño del proyecto FTTH, también se puede visualizar la ubicación geográfica de los nodos sobre [el mapa de Google Earth](#) distribuidos en los diferentes sectores comprendidos entre Carcelén y la Mitad del Mundo, la información corresponde a los nodos de los cuales se va a realizar la migración de aproximadamente 1500 abonados.

Los nodos de la red Wifi que corresponden al sector involucrados en el proyecto están ubicados en las localizaciones geográficas que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1.

Nodos Wifi –Coordenadas

| Nodo | Latitud | L0ngitud |
|-----------------|----------------|-----------------|
| Arquitecto | 00°04'28.07"S | 78°29'04.32"O |
| Equinoccio | 00°00'25.36"S | 78°26'56.74"O |
| Laguna Azul | 00°00'54.83"S | 78°27'09.39"O |
| Mitad del Mundo | 00°00'00.12"N | 78°26'33.35"O |
| Pampa 4 | 00°01'44.24"S | 78°27'06.00"O |
| Pomasqui | 00°02'52.85"S | 78°27'20.33"O |
| San Gregorio | 00°04'16,61"S | 78°28'40,45"O |
| Carcelén Bajo 1 | 00°04'32.89"S | 78°28'04.44"O |
| Carcelén Bajo 2 | 00°04'34.25"S | 78°27'28.03"O |
| Carcelén Bajo 3 | 00°04'27.44"S | 78°27'38.25"O |
| Bicentenario | 00°04'25.06"S | 78°27'22.81"O |
| Josefina | 00°04'41.20"S | 78°28'35.55"O |

Nota. Area de Networking-PUNTONET S.A. Elaborado por: Paulina Argiello

En la Tabla.1 se detallan las coordenadas en las que se encuentra localizado cada uno de los nodos Wifi

La cobertura de los nodos Wifi cubre los sectores de: La Campiña, Pusuquí Chico – Alto, Carcelén Bajo, Pusuquí, Las Tolas, Pomasqui, San Antonio y Mitad del Mundo donde se encuentran 12 nodos Wifi con un total de 2337 abonados, a continuación se revisara la situación de cada uno de los nodos.

Tabla 2.

Nodos Wifi – Abonados

| Nodo | Número de abonados | Capacidad calculada | % Utilizado |
|-----------------|--------------------|---------------------|-------------|
| ARQUITECTOS | 79 | 190 | 41,58 |
| EQUINOCCIO | 106 | 270 | 39,26 |
| LAGUNA AZUL | 62 | 186 | 33,3 |
| MITAD DEL MUNDO | 330 | 460 | 71,74 |
| PAMPA 4 | 109 | 210 | 51,90 |
| POMASQUI | 301 | 600 | 50,17 |
| SAN GREGORIO | 120 | 120 | 100 |
| CARCELEN BAJO 1 | 234 | 300 | 78 |
| CARCELEN BAJO 2 | 441 | 490 | 90 |
| CARCELEN BAJO 3 | 352 | 482 | 73 |
| BICENTENARIO | 141 | 170 | 82,94 |
| JOSEFINA | 62 | 120 | 51,67 |
| Total | 2337 | 3598 | |

Nota. Area de Networking-PUNTONET S.A. Elaborado por: Paulina Argüello

En la tabla 2 se destacan que en el Nodo San Gregorio se tiene un total de 120 abonados y la capacidad calculada es de 120 abonados teniendo un 100% de capacidad utilizada en los enlaces.

Características de ancho de banda de los nodos de la red Wifi.

Tabla 3.

Nodos Wifi – Ancho de Banda

| Nodos | A/B UtilizadoDown (Mbps) | A/B Cconfigurado (Mbps) |
|-----------------|--------------------------|-------------------------|
| ARQUITECTOS | 22,21 | 50 |
| EQUINOCCIO | 29,09 | 50 |
| LAGUNA AZUL | 23,12 | 50 |
| MITAD DEL MUNDO | 86,20 | 100 |
| PAMPA 4 | 37,13 | 100 |
| POMASQUI | 38,29/6,38 | 50/100 |
| SAN GREGORIO | 18,5 | 20 |
| CARCELEN BAJO 1 | 39,46 | 100 |

| | | |
|-----------------|-------|-----|
| CARCELEN BAJO 2 | 29,1 | 100 |
| CARCELEN BAJO 3 | 62,37 | 100 |
| BICENTENARIO | 35,7 | 40 |
| JOSEFINA | 15,6 | 24 |

Nota. Area de Networking-PUNTONET S.A. Elaborado por: Paulina Argüello

En la tabla 3 se distingue el ancho de banda de cada nodo que se utilizó para brindar el servicio al sector de la Mitad del Mundo y Carcelén Bajo y el ancho de banda configurado a cada uno de los equipos. Se debe tomar en cuenta que este ancho de banda es utilizado para brindar servicio de internet, estos nodos al no ser principales no brindan otro tipo de servicio.

Tabla 4.

Nodos Wifi – Abonados para migrar

| Nodo | Abonados para migrar |
|-----------------------|-----------------------------|
| ARQUITECTOS | 47 |
| EQUINOCCIO | 64 |
| LAGUNA AZUL | 37 |
| MITAD DEL MUNDO | 198 |
| PAMPA 4 | 65 |
| POMASQUI | 180 |
| SAN GREGORIO | 80 |
| CARCELEN BAJO 1 | 140 |
| CARCELEN BAJO 2 | 275 |
| CARCELEN BAJO 3 | 211 |
| BICENTENARIO | 85 |
| JOSEFINA | 31 |
| Total Abonados | 1413 |

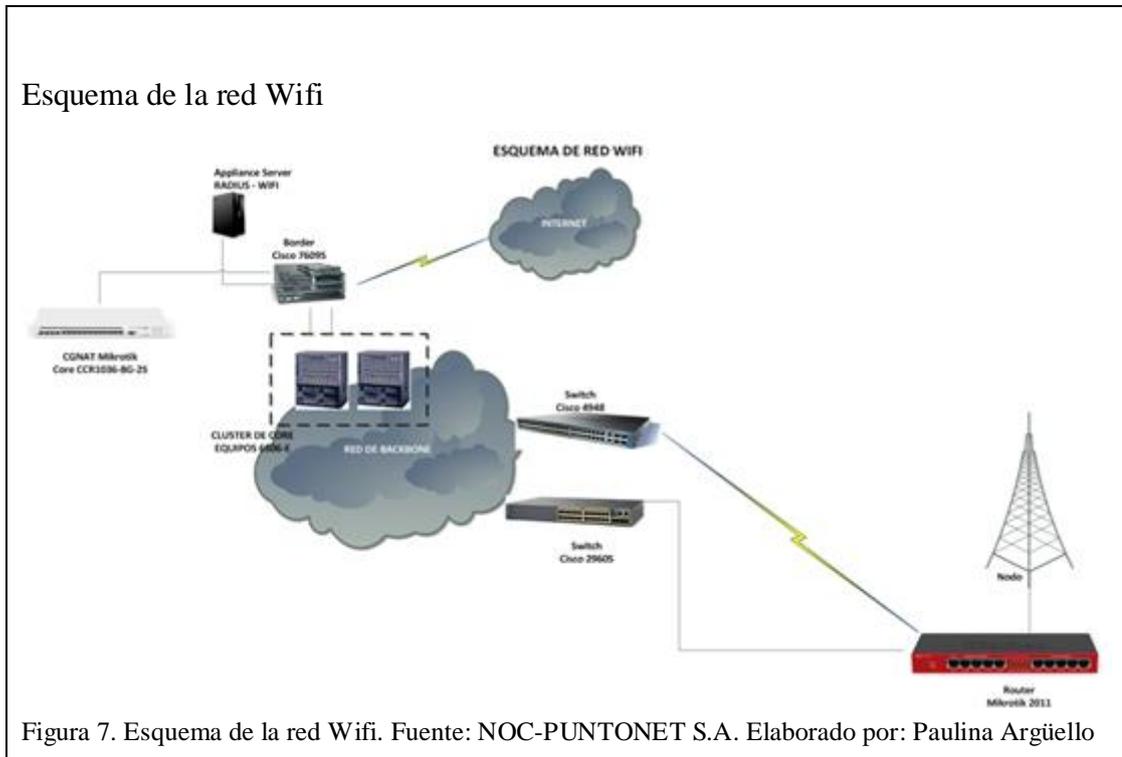
Nota. Area de Networking-PUNTONET S.A. Elaborado por: Paulina Argüello

En la tabla 4 se detalla el número de usuarios que se va a migrar de los nodos Wifi a la nueva red de fibra óptica.

3.1.2 Esquema de la red Wifi.

PUNTONET S.A. posee una estricta política de seguridad con respecto a la información que se pueda divulgar referente a la red de datos, por lo cual se mostrara

únicamente la información necesaria para realizar el proyecto en curso, a continuación se muestra el esquema general de la red Wifi de PUNTONET S.A.



En la figura 7 se puede observar esquema de la red Wifi y sus diferentes equipos; los nodos cuentan con diferentes radio bases que permiten el enlace con los abonados, estas radio bases o antenas se encuentran conectadas a varios routers Mikrotik 2011, este equipo cuenta con 5 puertos Gigabit Ethernet: 3 puertos están conectados a las radio bases, 1 para el Uplink que nos permite conectarnos con el Cluster de Core y 1 puerto para el backup. El backup del nodo puede ser un enlace de radio o un enlace de fibra óptica.

Los equipos Router Mikrotik 2011 están conectados al Watch Cisco 2960S o al Watch Cisco 4948, estos equipos nos permiten conmutación y conexión a la red backbone para brindar el servicio requerido.

Los switch se conectan al Cluster de Core donde se encuentran el Switch Cisco 6506E que es un conmutador de red, nos permite máxima redundancia y una rápida conmutación (1 a 3 segundos).

Los equipos están conectados al router de borde CISCO 7609 S, se encuentra en el borde de la red, permite desplegar una infraestructura de red avanzada que soporta múltiples aplicaciones, cumple con los requerimientos para redundancia, alta disponibilidad y velocidad.

En el borde también está el CGTA Mikrotik Core CCR1036-8G-2S que es el router de enrutamiento con las funciones de enrutamiento dinámico, punto de acceso, firewall, MPLS, VPN, QoS avanzado, balanceo de carga, configuración a tiempo real y monitoreo, el router cuenta con 2 puertos SPF y 8 puertos Gigabit Ethernet y tiene una memoria RAM de 16 GB.

Por último tenemos el Servidor Radius que es un protocolo de autenticación y autorización para el enlace a la red, se debe generar un nombre de usuario y una contraseña, estos datos son configurados para identificar al usuario, cuando estos datos son autenticados se autoriza el acceso a la red del ISP y asigna los recursos de red. El Radius verifica la información de usuario y contraseña, si la información es válida autoriza el acceso al sistema y asigna los recursos de la red.

3.2 Requerimientos de diseño.

A continuación se detalla los requerimientos de la empresa PUNTONET S.A. para la implementación de la red FTTH en La Mitad del Mundo y Carcelén Bajo:

- La empresa comprometiéndose a cumplir con los nuevos desafíos de servicios, implementa y mantiene en crecimiento una red de fibra óptica que cumple con los estándares en la recomendación ITU_T G.984x.
- El objetivo del diseño propuesto a continuación es dar una solución tecnológica a un problema de crecimiento de la demanda que requiere resultados eficientes y rápidos, de manera que permita soportar este incremento durante los próximos 5 años.
- Realizar la migración a la tecnología GPON de abonados cuya última milla de radio presenta limitaciones de capacidad y por último la posibilidad de captar nuevos abonados en zonas que están presentando aumento de la demanda.

- Se han incluido puntos específicos a los que la red GPON debe llegar con una ruta exclusiva, estos sitios son aquellos con mayor concentración de abonados activos y abonados potenciales.
- El Nodo Pomasqui que será el nodo principal para la red FTTH, debe tener un enlace de radio de backup con la suficiente capacidad para suplir el tráfico generado.
- Los equipos deben tener la capacidad de ser administrados y monitoreados de manera remota, deben tener la capacidad de ingresar al a red MPLS (Multiprotocol Label Swiching) del Backbone de PUNTONET S.A.

3.3 Propuesta.

Se selecciona como punto central para la instalación y activación de los elementos activos el Nodo Wifi Pomasqui por alto rendimiento, se instalará una fibra óptica de 48 hilos en una extensión de 1 km ya que los 16 km restantes ya se encuentran instalados, la instalación de la red FTTH se la realizará por fases.

La red deberá estar diseñada para soportar al menos dos etapas de división (*splitter*), al mismo tiempo debe estar bien distribuida como para no tener pérdidas superiores a los 30dB (Decibelios).

3.4 Criterios de diseño.

Se debe tener en cuenta varios factores como son: las condiciones técnicas para la instalación de equipos, disponibilidad de postes, factibilidad geográfica, ampliación de la red y crecimiento a futuro.

3.4.1 Escalabilidad.

La red FTTH debe ser escalable, esto quiere decir que la red debe adaptarse al crecimiento de la demanda sin perder la calidad de servicio permitiendo que la red crezca para admitir más abonados.

Se debe tomar en cuenta la escalabilidad horizontal y vertical dentro del diseño de la red, la escalabilidad horizontal permite agregar mayor número de estaciones de trabajo, en el caso del diseño de la red FTTH permite aumentar nodos y mangas para un mejor rendimiento de la red y también la capacidad de la cobertura.

La escalabilidad vertical se puede aplicar al aumento de la velocidad de transmisión asignada a cada abonado.

3.4.2 Dimensionamiento.

Se debe considerar varios aspectos geográficos, técnicos y logísticos para el diseño de la red.

- En los sectores de La Mitad del Mundo y Carcelén Bajo la topología es irregular para el tendido de fibra óptica que conecta el OLT que estará ubicado en el Nodo Pomasqui, los datos de la topología del sector deben ser considerados para el diseño, los datos de accidentes geográficos, relieves, distancias y toda la información correspondiente a topografía es obtenida gracias a la Empresa Eléctrica Quito.
- La distribución de las mangas y splitter están basadas en parámetros técnicos de no exceder una distancia de 1.8 km entre ellas.
- El lugar seleccionado debe contar con línea de vista hacia el nodo principal ya que este será el enlace de respaldo o backup de radio.

3.4.3 Factibilidad.

Siguiendo las recomendaciones ITU-T G.983 que hace referencia a las especificaciones a sistemas de acceso óptico de banda ancha, basados en redes ópticas pasivas y a la disponibilidad de postes y la geografía en el sector involucrado, se debe verificar las rutas y localidades idóneas para la implementación del diseño de la red. (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2015)

3.4.3.1 Factibilidad técnica.

Cumpliendo los requerimientos mencionados anteriormente, se requiere que el diseño de la red tenga un enlace principal y un backup, necesitando el acondicionamiento de los nodos con equipos adecuados para el uso de fibra óptica.

El Nodo Pomasqui cuenta con enlaces redundantes de fibra óptica punto a punto con capacidad Gigabit hacia el Nodo Principal Puntonet ubicado en la oficina principal en Quito, ubicado en la Av. Amazonas y Pereira, también cuenta con enlaces de radio.

3.4.3.2 Factibilidad de la red de fibra óptica.

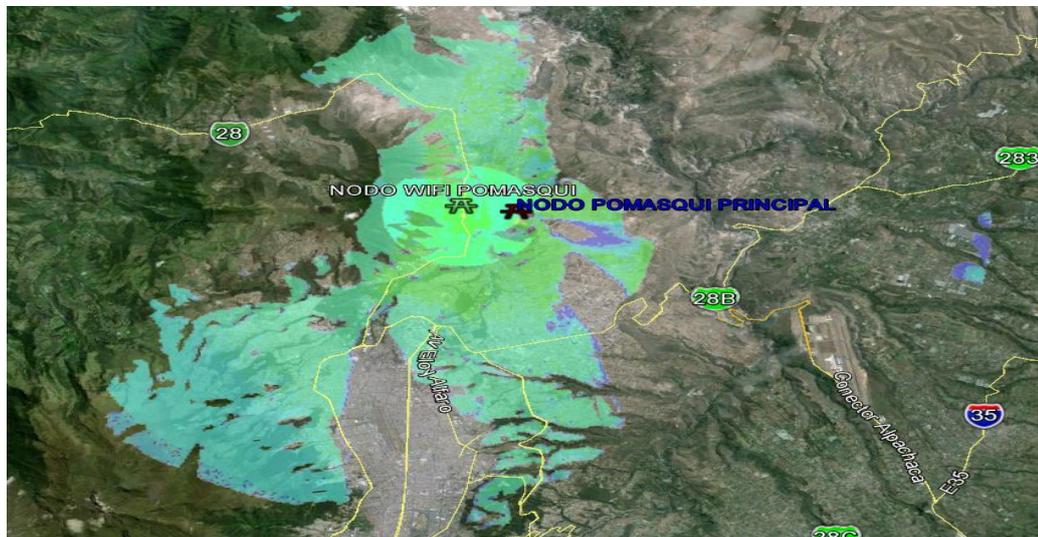
Debido al diseño de la red se recomienda que el OLT se localice en una zona central, con el fin de realizar una mejor distribución de las rutas de fibra óptica y balanceo de las potencias de la señal, se debe tener presente que la distancia entre el OLT y el cliente no puede exceder los 20 km.

El OLT será ubicado en uno de los nodos que posee PUNTONET S.A., de ser necesario se buscara otro nodo que cumpla con los requerimientos; el diseño de la red siempre debe contar con enlaces de backup.

3.4.3.3 Factibilidad del radio enlace.

Se escoge el Nodo Pomasqui ya que brinda cobertura a todo el sector donde se realizó el proyecto, el nodo tiene un torre de 36 m de altura, este nodo se encuentra dentro de la cobertura que brinda el Nodo Pomasqui Principal siendo este el enlace backup mediante microondas.

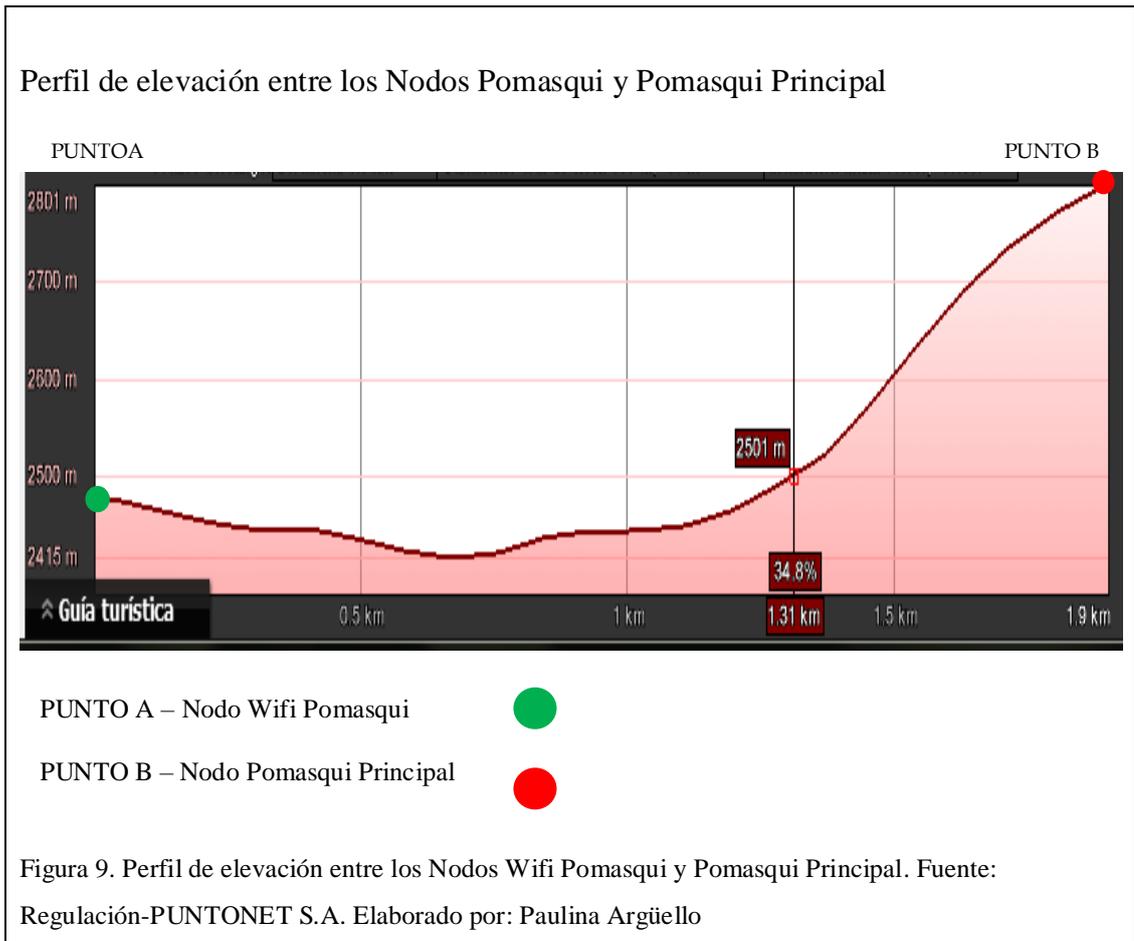
Cobertura Nodo Pomasqui Principal



- Cobertura Nodo Wifi Pomasqui. Radio 2,5 km.
- Cobertura Nodo Pomasqui Principal. Radio 15 km.

Figura 8. Cobertura Nodo Pomasqui Principal. Fuente: Regulación-PUNTONET S.A. Elaborado por: Paulina Argüello

En la figura 8 se puede observar la zona de cobertura que brinda el Nodo Wifi Pomasqui, el radio de cobertura es de 2,5 km, también se observa la zona de cobertura que brinda el Nodo Pomasqui Principal, la zona de cobertura de este nodo es mucho mayor ya que es un nodo que cuenta con equipos que permiten alto rendimiento de la red ejecutando diversos procesos de manera simultánea sin generar fallos, el radio de cobertura es de 15 km, también se puede observar como esta zona cubre la cobertura del Nodo Wifi Pomasqui.



En la figura 9 se observa el perfil de elevación entre los dos nodos y se verifica que la línea de vista entre ellos no tiene obstáculos para tener un enlace de radio óptimo.

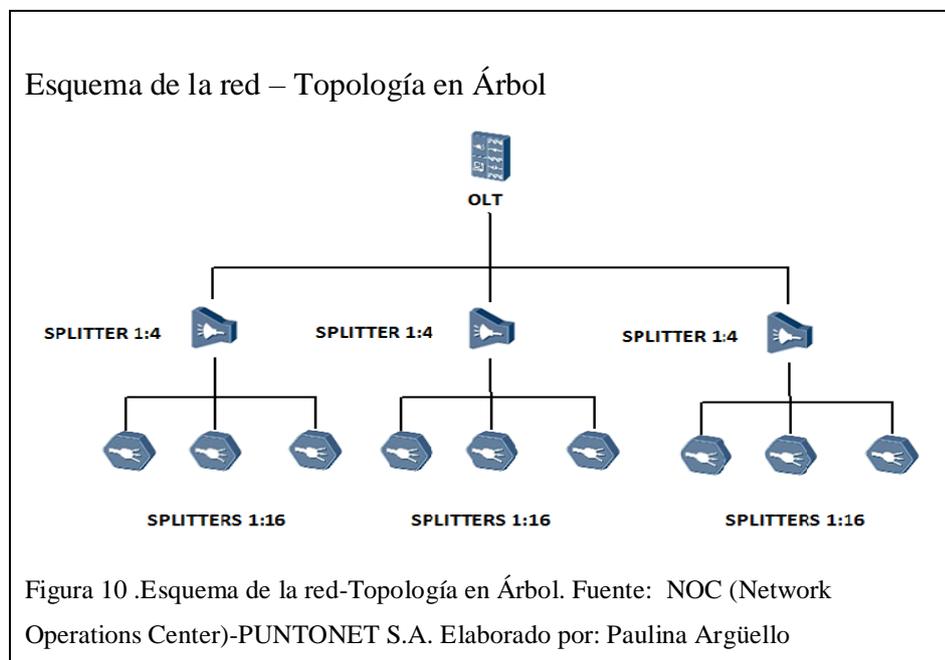
El PUNTO A, representa al Nodo Wifi Pomasqui y el PUNTO B, indica la ubicación del Nodo Pomasqui Principal.

3.4.3.4 Factibilidad de postes.

Para el diseño de la red, se debe tomar en cuenta un punto importante antes de establecer las rutas de la red, este punto es la disponibilidad de postes para realizar el tendido de la red, es una ventaja que el proyecto se realice dentro del Distrito Metropolitano de Quito ya que cuenta con los postes de hormigón armado de la Empresa Eléctrica Quito.

3.4.4 Esquema de la red de fibra óptica.

La topología de la red es de tipo árbol, esto permite un enlace troncal entre las mangas, si hubiese falla de una de las mangas esto no afectaría la comunicación entre las demás.



En la figura 10 se puede observar los elementos dispuestos de manera jerárquica, los splittes de 1x16 que son los de menor jerarquía se conectan a los splitter de 1x4 que son los principales y estos a su vez al OLT del nodo.

Cada puerto GPON del OLT permite un máximo de 64 abonados que se encuentran distribuidos en los 4 splitter de 1x16, cada uno de estos está conectado a una de las cuatro salidas del splitter de 1x4 que son los principales, estos se encuentran conectados mediante fibra óptica monomodo al puerto GPON.

La conexión entre los splitter de 1x4 y 1x16 se realiza utilizando fibra óptica monomodo, siempre se debe tomar en cuenta la escalabilidad de la red.

3.4.5 Diseño de la red Mitad del Mundo y Carcelén Bajo.

Después de considerar la distribución, localización y cantidad de abonados corporativos y masivos enlazados actualmente a los nodos que se encuentran en el sector se determina un punto estratégico para la instalación del OLT.

3.4.5.1 Ubicación de OLT.

El OLT se ubicará donde se encuentra localizado el Nodo Wifi Pomasqui, ya que esto brinda varias ventajas en la realización del proyecto.

- La ventaja fundamental con la que se cuenta, es la línea de vista que se existe entre el Nodo Principal Pomasqui y el Nodo Wifi Pomasqui, cumpliendo de esta manera con el requerimiento técnico de un enlace backup de radio, este enlace será microondas.
- Facilidad vial para llegar al cuarto de equipos de fibra óptica, al lugar se accede por la Av. Manuel Córdova Galarza, se ingresa por la calle Quishar y avanza hasta llegar al nodo, es muy importante ya que en el sector se encuentran instalados el número de postes necesarios para realizar el tendido de fibra óptica.
- PUNTONET S.A. cuenta actualmente con un contrato de 5 años con el propietario del lugar donde se encuentra funcionando el Nodo Wifi Pomasqui.

3.4.5.2 Ruta principal de fibra óptica.

La ruta principal de fibra óptica corresponde al enlace entre el Nodo Wifi Pomasqui donde se encuentra ubicado el OLT y el Nodo Principal Puntonet.

Tabla 5.

Ubicación de los Nodos

| Nodo | Dirección | Coordenadas |
|-------------------------|---|----------------------------------|
| Nodo Principal Puntonet | Av. Amazonas 4545 y Pereira | 00°10'15'' S 78°29'06''W |
| Nodo Wifi Pomasqui | Pomasqui, Quishuar y Casitahua. Cdla. Ciudad Del Árbol | 00°02'52.85''S 78°27'20.33''W |

Nota. Area de Regulación-PUNTONET S.A. Elaborado por: Paulina Argüello

La ruta por la cual se llega al OLT desde el Nodo Puntonet es tomando la Av. Río Amazonas hasta llegar a la intersección con la calle Río Cofanes, atraviesa la Av. 10 de Agosto y toma la calle Papallacta hasta llegar a la intersección con la Av. La Prensa, donde la ruta avanza en sentido sur-norte llega a la calle Bellavista se toma la calle Pedro Muñoz y se llega a la calle Unión y Progreso, se continua hasta la Av. John F. Kennedy se avanza hasta la Av. Mariscal Sucre, continua por la calle Esperanza hasta llegar a la Av. Manuel Córdova Galarza, ingresa por la calle Quishar hasta llegar al Nodo Wifi Pomasqui.

Se debe tener en cuenta que solo se instaló 1 km de esta ruta ya que el resto de la ruta que son 16 km ya se encuentran instalados.

3.4.5.3 Enlace backup.

PUNTONET S.A. mantiene con sus abonados los acuerdos de nivel de servicios, donde estipula que la calidad de servicio será del 99.99% obligando a PUNTONET S.A. el implementar enlaces de backup para brindar el servicio a los abonados asociados al OLT sin importar que la ruta principal se encuentre afectada por algún motivo.

3.4.5.4 Diseño de la red FTTH.

Establecido el enlace principal hacia el OLT, se describe la ampliación de la cobertura de la red en el diseño del proyecto.

La red se extiende principalmente a los lugares de interés, donde se encuentran los abonados corporativos y masivos, la extensión se la realiza con la instalación de splitters ubicados estratégicamente a lo largo del diseño de la red.

La implementación de la red se la realizó mediante diferentes fases diseñadas según el número de abonados a migrar de los nodos Wifi a la nueva red de fibra óptica y el aumento de la demanda.

Ubicación de mangas Troncales



Figura 11 .Ubicación de mangas Troncales. Fuente: NOC-PUNTONET S.A.

Elaborado por: Paulina Argüello

En la figura 11 se detalla la ubicación de las mangas troncales que cubren diferentes sectores del proyecto, de estas mangas se derivaran las mangas de distribución que brindan servicio a los abonados.

Por seguridad en el diseño de la red se deja una reserva de fibra óptica en los sectores con mayor densidad de abonados, tambien se considera posibles daños de la fibra óptica.

Diseño de la red GEAPON-Servicio FTTH

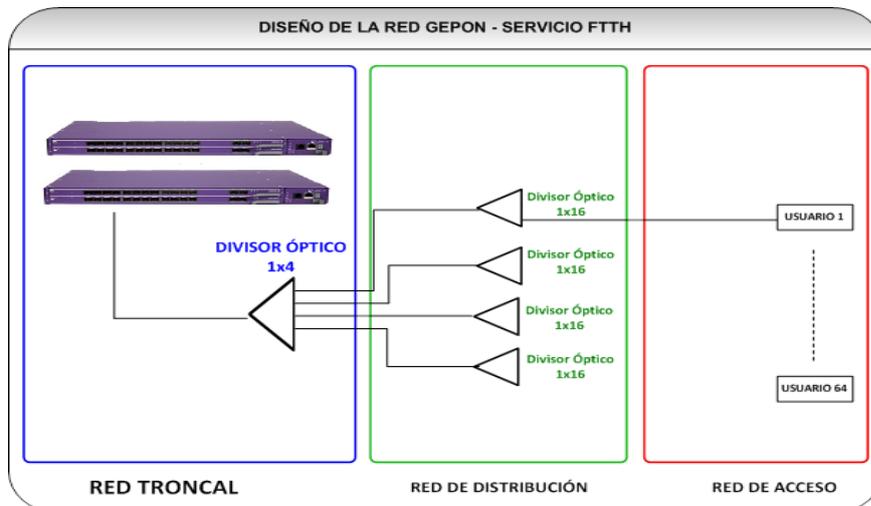


Figura 12. Diseño de la red GEAPON-Servicio FTTH. Fuente: NOC-PUNTONET S.A. Elaborado por: Miguel Soria

En la figura 12 se observa los niveles que se tienen dentro del diseño de la red, de acuerdo a la implementación de las diferentes mangas, se cuenta con lo que es la red troncal, que es la red que se encuentra entre el OLT, las mangas y divisores ópticos de 1x4, a continuación se cuenta con la red de distribución, que corresponde a la red entre las mangas troncales y las mangas de distribución o mangas de 1x16.

Para finalizar se tiene la red de acceso, que es la red que se instala para llegar al cliente final desde las mangas de distribución.

3.4.5.5 Planificación.

Como ya se mencionó anteriormente el proyecto está diseñado para ser elaborado por fases, se lo divide por zonas y se realiza de acuerdo a requerimientos propios de la empresa y al crecimiento en la demanda de los abonados, el proyecto está dividido en 10 fases.

3.4.5.5.1 Fase 1 - Red Troncal.

Se realizó la instalación del kilómetro restante de fibra óptica de 48 hilos para completar los 17 km necesarios para la red troncal del proyecto.

3.4.5.5.2 Fase 2 – Cobertura Mitad del Mundo.

- En la segunda fase se realizó la instalación de 239 abonados.
- Se realizó la instalación de 2,5 km de fibra óptica de 6 hilos.
- Se realizó la instalación de 2 de las mangas troncales.
M UIO 1801 y M UIO 1806
- Se realizó la instalación de 8 mangas de distribución.
M UIO 1802, M UIO 1803, M UIO 1804, M UIO 1805.
M UIO 1807, M UIO 1808, M UIO 1809, M UIO 1810.

Georreferenciación de Mangas y Abonados – Fase 2



Figura 13. Georreferenciación de Mangas y Abonados - Fase 2. Fuente: NOC-PUNTONET S.A. Elaborado por: Paulina Argüello.

En la figura 13 se observa la ubicación de las mangas troncales y las mangas de distribución dentro de la red de fibra óptica, se puede detallar la distribución geográfica de los abonados de la fase 2.

3.4.5.5.3 Fase 3 – Cobertura Equinoccio.

- En la tercera fase se realizó la instalación de 102 abonados.
- Se realizó la instalación de 4,5 km de fibra óptica de 6 hilos.
- Se realizó la instalación de 2 de las mangas troncales.

M UIO 1811 y M UIO 1816

- Se realizó la instalación de 8 mangas de distribución.

M UIO 1812, M UIO 1813, M UIO 1814, M UIO 1815.

M UIO 1817, M UIO 1818, M UIO 1819, M UIO 1820.

Georreferenciación de Mangas y Abonados – Fase 3



Figura 14. Georreferenciación de Mangas y Abonados-Fase 3. Fuente: NOC-PUNTONET S.A. Elaborado por: Paulina Argüello.

En la figura 14 se observa la ubicación de las mangas troncales y las mangas de distribución dentro de la red de fibra óptica, se puede observar a su vez la distribución geográfica de los abonados de la fase 3.

3.4.5.5.4 Fase 4 – Cobertura Laguna Azul.

- En la cuarta fase se realizó la instalación de 47 abonados.
- Se realizó la instalación de 2,5 km de fibra óptica de 6 hilos.
- Se realizó la instalación de 2 de las mangas troncales.
M UIO 1821 y M UIO 1826
- Se realizó la instalación de 8 mangas de distribución.
M UIO 1822, M UIO 1823, M UIO 1824, M UIO 1825.
M UIO 1827, M UIO 1828, M UIO 1829, M UIO 1830.

Georreferenciación de Mangas y Abonados – Fase 4



Figura 15. Georreferenciación de Mangas y Abonados – Fase 4. Fuente: NOC-PUNTONET S.A. Elaborado por: Paulina Argüello.

En la figura 15 se observa la ubicación de las mangas troncales y las mangas de distribución dentro de la red de fibra óptica, se puede observar a su vez la distribución geográfica de los abonados de la fase 4.

3.4.5.5.5 Fase 5 – Cobertura La Pampa.

- En la quinta fase se espera realizar la instalación de 78 abonados.
- Se realizará la instalación de 5 km de fibra óptica de 6 hilos.
- Se realizará la instalación de 2 de las mangas troncales.
M UIO 1831 y M UIO 1836
- Se realizará la instalación de 8 mangas de distribución.
M UIO 1832, M UIO 1833, M UIO 1834, M UIO 1835.
M UIO 1837, M UIO 1838, M UIO 1839, M UIO 1840.

Georreferenciación de Mangas y Abonados – Fase 5

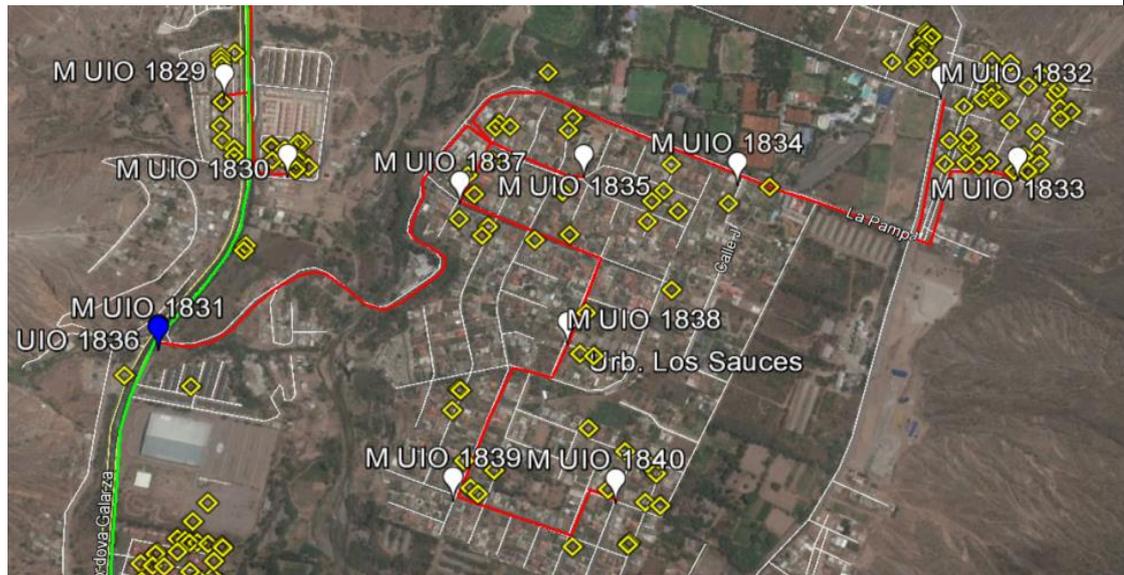


Figura 16. Georreferenciación de Mangas y Abonados-Fase 5. Fuente: NOC-PUNTONET S.A. Elaborado por: Paulina Argüello.

En la figura 16 se observa la ubicación de las mangas troncales y las mangas de distribución dentro de la red de fibra óptica, se puede observar a su vez la distribución geográfica de los abonados de la fase 5.

3.4.5.5.6 Fase 6 – Cobertura Pomasqui.

- En la sexta fase se espera realizar la instalación de 70 abonados.
- Se realizará la instalación de 2 km de fibra óptica de 6 hilos.
- Se realizará la instalación de 2 de las mangas troncales.
M UIO 1841 y M UIO 1846
- Se realizará la instalación de 8 mangas de distribución.
M UIO 1842, M UIO 1843, M UIO 1844, M UIO 1845.
M UIO 1847, M UIO 1848, M UIO 1849, M UIO 1850.

Georreferenciación de Mangas y Abonados – Fase 6



Figura 17. Georreferenciación de Mangas y Abonados-Fase 6. Fuente: NOC-PUNTONET S.A.
Elaborado por: Paulina Argüello.

En la figura 17 se observa la ubicación de las mangas troncales y las mangas de distribución dentro de la red de fibra óptica, se puede observar a su vez la distribución geográfica de los abonados de la fase 6.

3.4.5.5.7 Fase 7 – Cobertura Pusuquí.

- En la séptima fase se espera realizar la instalación de 128 abonados.
- Se realizará la instalación de 2,5 km de fibra óptica de 6 hilos.
- Se realizará la instalación de 2 de las mangas troncales.
M UIO 1851 y M UIO 1856
- Se realizará la instalación de 8 mangas de distribución.
M UIO 1852, M UIO 1853, M UIO 1854, M UIO 1855.
M UIO 1857, M UIO 1858, M UIO 1859, M UIO 1860.

Georreferenciación de Mangas y Abonados – Fase 7



Figura 18. Georreferenciación de Mangas y Abonados-Fase 7. Fuente: NOC-PUNTONET S.A. Elaborado por: Paulina Argüello.

En la figura 18 se observa la ubicación de las mangas troncales y las mangas de distribución dentro de la red de fibra óptica, se puede observar a su vez la distribución geográfica de los abonados de la fase 7.

3.4.5.5.8 Fase 8 – Cobertura Arquitectos.

- En la octava fase se espera realizar la instalación de 71 abonados.
- Se realizará la instalación de 2 km de fibra óptica de 6 hilos.
- Se realizará la instalación de 2 de las mangas troncales.
M UIO 1861 y M UIO 1866
- Se realizará la instalación de 4 mangas de distribución.
M UIO 1862, M UIO 1863, M UIO 1864, M UIO 1865.

En la figura 19 se observa la ubicación de las mangas troncales y las mangas de distribución dentro de la red de fibra óptica, se puede observar a su vez la distribución geográfica de los abonados de la fase 8.

Georreferenciación de Mangas y Abonados – Fase 8



Figura 19. Georreferenciación de Mangas y Abonados -Fase 8. Fuente: NOC-PUNTONET S.A. Elaborado por: Paulina Argüello.

3.4.5.5.9 Fase 9 – Cobertura Carcelén Bajo I.

- En la novena fase se espera realizar la instalación de 155 abonados.
- Se realizará la instalación de 2 km de fibra óptica de 6 hilos.
- Se realizará la instalación de 2 de las mangas troncales.
M UIO 1871 y M UIO 1876
- Se realizará la instalación de 8 mangas de distribución.
M UIO 1872, M UIO 1873, M UIO 1874, M UIO 1875.
M UIO 1877, M UIO 1878, M UIO 1879, M UIO 1880.

En la figura 20 se observa la ubicación de las mangas troncales y las mangas de distribución dentro de la red de fibra óptica, se puede observar a su vez la distribución geográfica de los abonados de la fase 9.

Georreferenciación de Mangas y Abonados – Fase 9



Figura 20. Georreferenciación de Mangas y Abonados – Fase 9. Fuente: NOC-PUNTONET S.A. Elaborado por: Paulina Argüello.

3.4.5.5.10 Fase 10 – Cobertura Carcelén Bajo II.

- En la décima fase se espera realizar la instalación de 408 abonados.
- Se realizará la instalación de 2 km de fibra óptica de 6 hilos.
- Se realizará la instalación de 3 de las mangas troncales.
M UIO 1881, M UIO 1886 y M UIO 1891
- Se realizará la instalación de 12 mangas de distribución.
M UIO 1882, M UIO 1883, M UIO 1884, M UIO 1885.
M UIO 1887, M UIO 1888, M UIO 1889, M UIO 1890.
M UIO 1892, M UIO 1893, M UIO 1894, M UIO 1895.

Georreferenciación de Mangas y Abonados – Fase 10

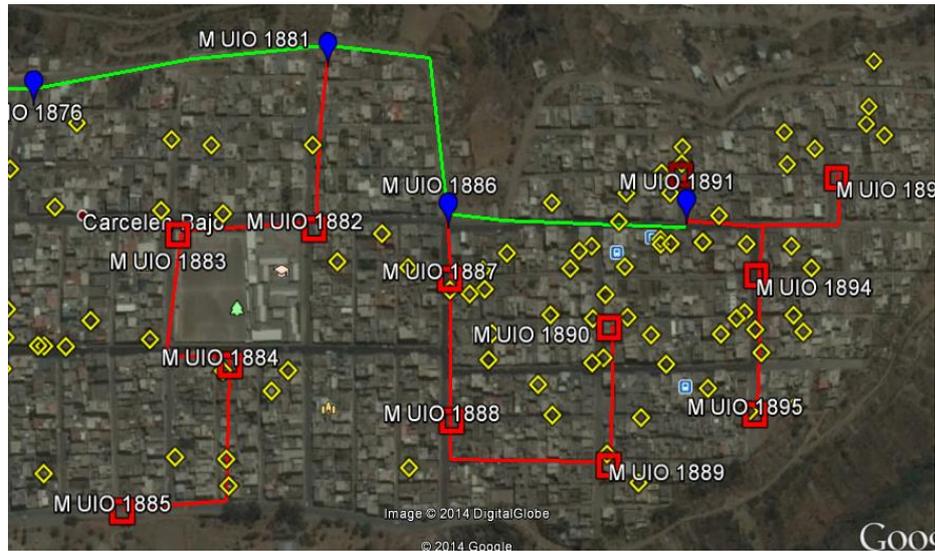


Figura 21. Georreferenciación de Mangas y Abonados –Fase 10. Fuente: NOC-PUNTONET S.A. Elaborado por: Paulina Argüello.

En la figura 21 se observa la ubicación de las mangas troncales y las mangas de distribución dentro de la red de fibra óptica, se puede observar a su vez la distribución geográfica de los abonados de la fase 10.

3.5 Cálculos.

Para una planificación adecuada de la red es necesario tomar en cuenta las atenuaciones a lo largo del diseño, en el cálculo de pérdidas por atenuación se prevé las peores condiciones que pueda presentar el diseño, de esta manera se asegura su funcionamiento en condiciones normales.

En la tabla 6 se muestra el cálculo del presupuesto óptico que son los valores teóricos para el diseño de la red.

Tabla 6.

Cálculo del presupuesto óptico en dB

| Elementos | | Cantidad | Atenuación por elemento (dB) | Atenuación (dB) |
|--------------------------------------|--------|----------|------------------------------|-----------------|
| Conectores (acoples) ITU671 = 0.5 dB | | 3 | 0,50 | 1,50 |
| Empalmes de fusión ITU 751 = 0.1 dB | | 6 | 0,10 | 0,60 |
| Empalmes mecánicos ITU 751 = 0.1 dB | | | 0,10 | 0,00 |
| Splitters | 1x2 | | 3,50 | 0,00 |
| | 1x4 | 1 | 7,00 | 7,00 |
| | 1x8 | | 10,50 | 0,00 |
| | 1x16 | 1 | 14,00 | 14,00 |
| | 1x32 | | 17,50 | 0,00 |
| | 1x64 | | 21,00 | 0,00 |
| Fibra | 1310nm | 10 | 0,35 | 3,50 |
| | 1490nm | | 0,30 | 0,00 |
| | 1550nm | | 0,25 | 0,00 |
| Total (dB) | | | | 26,60 |

Nota. Area de NOC-PUNTONET S.A. Elaborado por: Paulina Argüello

Ecuación 1. Cálculo del presupuesto óptico

$$\begin{aligned} & \textit{atenuación por conectores} + \textit{atenuación por fusiones} + \textit{atenuación por splitters} \\ & + \textit{atenuación por ventana de transmisión} = \textit{atenuación teórica} \end{aligned} \quad (1)$$

A continuación se explican los valores detallados en la tabla 6; los valores referenciales con tomados con relación al cliente más lejano.

Se tienen tres conectores desde el nodo al cliente, un conector al ODF y los otros a la entrada y salida del splitter, de acuerdo a la Recomendación ITU 671 se tiene una atenuación por conector de 0,50 dB, se calculan seis fusiones, generalmente son tres, una en el splitter de 1x4 que corresponde a la maga trocal, otra en el splitter de 1x16 que corresponde a la manga de distribución y la última fusión en la roseta del cliente, las otras tres fusiones están previstas para grandes longitudes, no se debe olvidar que estos valores son tomados en el caso más desfavorable en todos los entornos. (Unión Nacional de Telecomunicaciones, 2012)

En la sección correspondientes a splitters se tienen diferentes atenuaciones de acuerdo al tipo de splitter que se utilice, en este caso tenemos dos tipos de splitters, el

splitter de 1x4 que es utilizado para las mangas troncales y el splitter de 1x16 que corresponde a las mangas distribución de la cual salen los abonados, cada una de estas tiene una pérdida de 7 y 14 dB respectivamente.

PUNTONET S.A. utiliza el estándar de la Recomendación ITU-T G.657 para el tendido de la red de acceso y para el tendido de la red de transporte la Recomendación UIT-T G.652 de acuerdo a estos estándares se tienen las pérdidas por kilómetro; el estándar para la red de acceso presenta alta resistencia a la humedad, se utiliza para aplicaciones FTTX y tiene alta resistencia a las curvaturas; presenta tres ventanas de operación o transmisión: a 1310 nm, 1490 nm y 1550 nm, de acuerdo a estas longitudes de onda se tiene la atenuación en fibra por cada kilómetro de fibra, como se observa en la tabla 6 se utiliza una ventana de 1310 nm ya que es la ventana de transmisión donde se presenta mayor atenuación. (Grupo Cofietel, 2011)

La atenuación obtenida según los cálculos para el presupuesto óptico nos muestra un valor de 26,60 dB, los valores recomendados por la ITU están desde los 20 dB hasta los 30 dB, según estos datos podemos decir que el presupuesto óptico calculado es válido y está dentro del rango permitido para el diseño de la red.

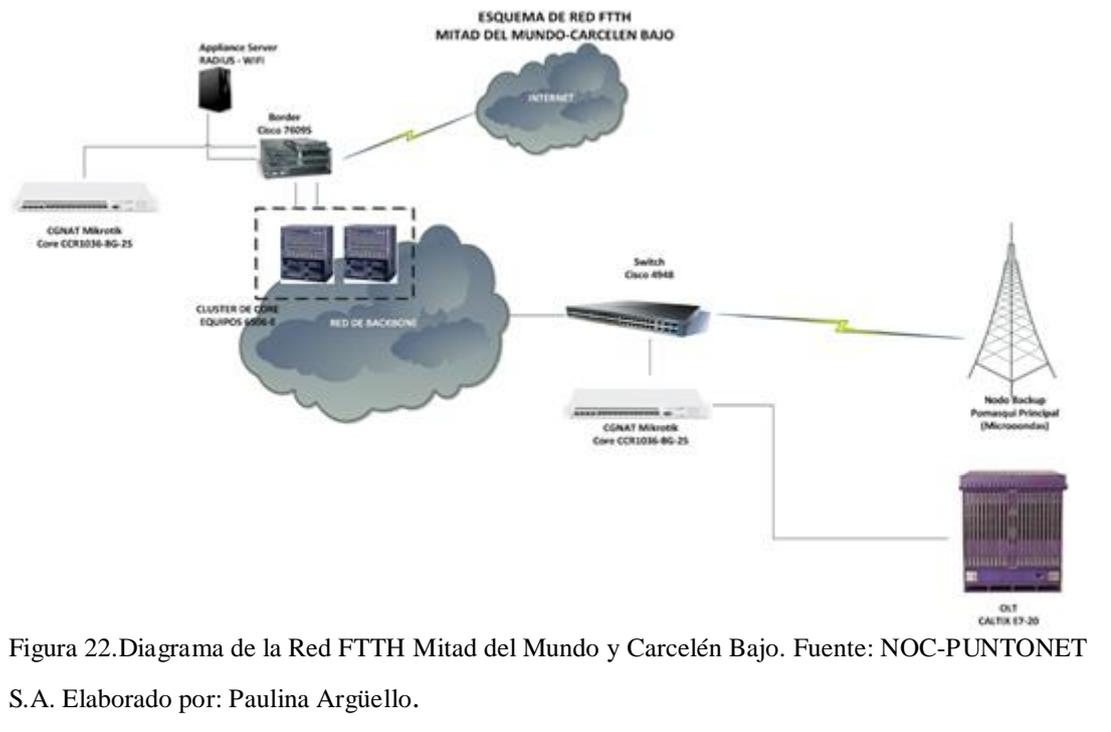
3.6 Diseño de la red.

Una de las parte principales de la red es el Nodo GPON, es el lugar definido para el punto de inicio de la red, a este lugar llegan el enlace principal de fibra óptica y el radio enlace backup, también es el lugar donde se encuentra el OLT que brindara servicio a los sectores comprendidos entre la Mitad del Mundo y Carcelén Bajo.

El lugar seleccionado es el Nodo Wifi Pomasqui, ya pose infraestructura a nivel de armarios y racks para el montaje de los equipos.

Se deberá realizar un redimensionamiento ya que se colocarán los equipos para la red de fibra óptica, es importante contar con un respaldo de baterías, es vital contar con un UPS que pueda mantener al nodo con energía por lo menos cuatro horas hasta que el soporte técnico puedan llegar con un generador o realizar las respectivas reparaciones en caso de un grave problema en el servicio eléctrico.

Diagrama de la Red FTTH Mitad del Mundo y Carcelén Bajo



En la figura 22 se muestra el diagrama de la red FTTH de la Mitad del Mundo Carcelén Bajo, el OLT Caltix E7-20, este equipo está conectado al MKT CCR 1036 configurado como servidor PPoE permitiendo la conexión al usuario final, este equipo a su vez está conectado al Switch Catalyst 4948 que es el equipo que se enlaza con la red interna de PUNTONET S.A., no se debe olvidar que esta red cuenta con un backup inalámbrico, de microondas.

Infraestructura Cliente Final

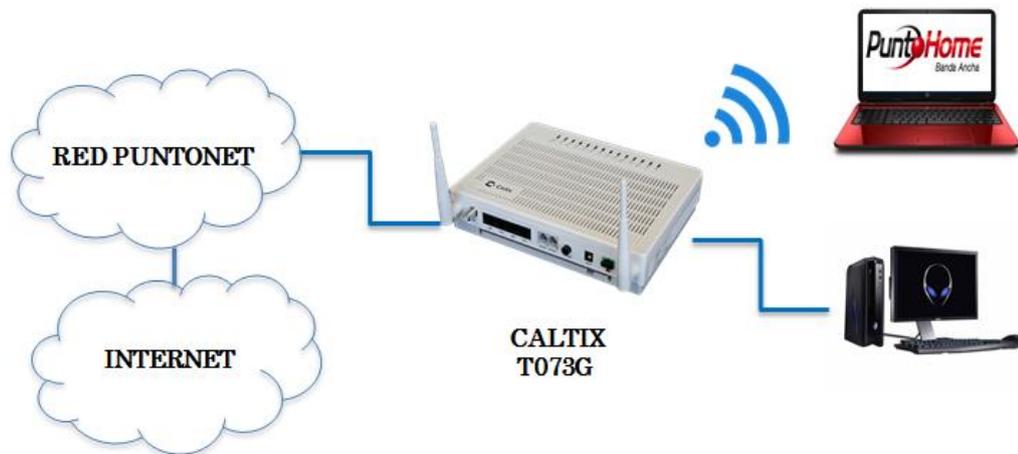


Figura 23. Infraestructura Cliente Final. Fuente: NOC-PUNTONET S.A. Elaborado por: Paulina Argüello.

En la figura 23 se muestra la infraestructura de la red hacia el cliente final; se realiza la instalación de un ONU 3804 como CPE para la conexión de la red, este equipo también funciona como un router inalámbrico, permite configurarlo como PPOE cliente que permita la autenticación hacia el servidor Radius.

3.6.1 Concentrador VLAN – MPLS.

El nodo de la red debe tener el equipo concentrador con la capacidad de integrarse al dominio MPLS de la red PUNTONET S.A. y desemboque en esta mediante protocolos de enrutamiento OSPF, para el enlace principal y de respaldo, también debe soportar encapsulamiento dot1Q, para el empleo de VLAN's y puertos con capacidad Gigabit par los respectivos enlaces de Backhaul Principal, Backup y al OLT mediante un enlace troncal de fibra; también se requieren los protocolos EIGRP y propios de Cisco, para el concentrador se consideran el MKT CCR 1036 y el Switch Catalyst 4948-10GE.

Debido a la capacidad de agregación de servicios el diseño, se lo realiza con el MKT CCR 1036, su capacidad nos permite considerar crecimiento futuro en la red, la capacidad MPLS del equipo permite su integración a la red de PUNTONET S.A., permite habilitar el backup automático, al utilizar este equipo nos permite

configurarlo como servidor PPOE permitiendo la conexión al usuario final, autenticarlo mediante la conexión al Radius.

Catalyst 4948-10GE ofrece gran rendimiento y fiabilidad en la implementación de conmutación de capa 2 y capa 3, su software ofrece QoS de los servicios por puerto, permite asignar VLAN privada entre otras opciones.

3.6.2 OLT.

El OLT es el corazón de la red, por lo que es necesario que cumpla con todos los requerimientos de la red.

PUNTONET S.A. actualmente trabaja con equipos marca Calix que permite adaptar varios módulos, el OLT Calix E7-2 GPON 8 en su primera línea cuenta con 8 puertos PON, 4 puertos SFP GE y 2 Puertos SPF GE (GE/10GE), como se mencionó anteriormente cada puerto PON soporta 64 ONU's , lo que esta plataforma puede soportar por línea 512 abonados, por ambas líneas se tienen 1024 abonados.

Como se indica en la tabla 4, se puede observar que el número de abonados a migrar de los nodos Wifi a la nueva red de fibra óptica se encuentra dentro de la capacidad brindada por solo un OLT, para el cumplimiento de los requerimientos del diseño se considera el uso de dos OLT's, así, de esta manera se garantiza el número de abonados y estaría cubierta la escalabilidad de la red a 5 años a futuro

3.6.3 Conectores SFP (Enlace Principal).

Para realizar las conexiones para el enlace principal de fibra óptica hacia los nodos se utiliza los módulos Cisco 100BASE-ZS SFP, estos conectores con fibra monomodo Gigabit tienen un alcance de hasta 70 km.

3.6.4 Equipos de Enlace Backup.

Para realizar el enlace backup se utilizaran equipos Rocket M5 Titanium de la marca Ubiquiti ya que estos operan en banda libre, estos equipos tienen antenas tipo plato, diseñadas específicamente para enlaces punto a punto, logra capacidades de hasta 150 Mbps, su ancho de banda es de 40 MHz y trabaja en 64QAM; la antena es una RD-5G-30 y tiene una ganancia de 30 dBi.

3.6.5 Respaldo Eléctrico y Rack.

El respaldo de energía es muy importante ya que si se produce algún daño en la red eléctrica el nodo no puede quedar sin energía, como se mencionó anteriormente el nodo debe tener un respaldo que por lo menos alimente de energía por un plazo de cuatro horas hasta la llegada del equipo técnico, con un generador de energía, se debe comprobar la potencia que consume el nodo para seleccionar el equipo adecuado.

Tabla 7.

Potencia Máxima de equipos en el Nodo

| Equipos | Potencia Vatios (W) |
|----------------------------------|----------------------------|
| MKT CCR-1036 | 69 |
| Cisco Catalyst 4948-10GE | 200 |
| OLT Calix E7-20 | 200 |
| OLT Calix E7-2 (2 equipos) | 44 |
| Radio Rocket M5 Titanium | 8 |
| Potencia Total Aproximada | 521 |

Nota. Datasheet equipos. Elaborado por: Paulina Argüello

En la tabla 7 se detalla la potencia de los equipos utilizados.

La potencia máxima aproximada calculada es de 521 W, PUNTONET S.A., en todos sus nodos utiliza un APS como respaldo, dependiendo del nodo y los requerimiento se selecciona la capacidad, en este caso ya que el nodo es híbrido y tiene gran cantidad de equipos la opción más adecuada es utilizar un APS de 750 W, este equipo permite realizar arreglos de baterías para brindar el suministro de energía requerida por los equipos del Nodo Pomasqui, brinda un reserva de potencia máxima de 1500 W durante 1 hora en casos extremos, es resistente a ambientes externos.

3.6.6 Suministros.

3.6.6.1 Fosc 350.

Son mangas selladas con tecnología de gel facilitando la operación de reapertura y cerrado al momento de realizar cualquier trabajo de mantenimiento.

Son mangas para el empalme de los hilos de fibra óptica de la red en la planta externa, la seguridad de cierre de las mangas permite su uso en ambientes aéreos, subterráneos tienen la capacidad de albergar 96 empalmes de los hilos.

3.6.6.2 Fosc 450.

Es equivalente que la Fosc 350, estas mangas tienen un sellado por gel comprimido, poseen una sola terminal y está diseñada para soportar cualquier ambiente, en su interior cuenta con bandejas para los empalmes, estas bandejas son de bisagra facilitando el manejo, acceso y control de los empalmes y almacenamiento de reserva.

3.6.6.3 Fibra Monomodo G.652, Prysmian.

Esta fibra óptica monomodo es apta para trabajar en la gama de longitud de onda de 1310 nm hasta 1550 nm, también se puede utilizar para 1625 nm para la transmisión de múltiples canales sobre largas distancias; cumple con las características indicadas en la normativa ITU-T G.652.

3.6.6.4 Splitters.

Se tiene dos modelos de splitters, el P-grande y S-grande, estos poseen características compatibles, estos son splitters 2xN, son divisores de onda de luz, son utilizados en redes PON, se caracterizan por su tamaño pequeño, muy importantes en el enlace de fibra óptica.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE COSTOS

4.1 Costos de implementación y equipos.

En la tabla 8, se detallan los gastos de instalación y materiales correspondientes al tendido de la red de fibra óptica del proyecto.

Tabla 8.

Costos de implementación y materiales

| Detalle | Material | Cantidad | Costos Unitarios (USD\$) | Costo Total (USD\$) |
|----------------------|--------------------------|-----------------|---------------------------------|----------------------------|
| Instalación | Fibra óptica de 48 hilos | 1000 | 0,15 | 150,00 |
| Instalación | Fibra óptica de 6 hilos | 25000 | 0,15 | 3750,00 |
| Material | Fibra óptica de 48 hilos | 1000 | 1,78 | 1780,00 |
| Material | Fibra óptica de 6 hilos | 25000 | 0,42 | 10500,00 |
| Material | Manga FOSC 350 | 19 | 135,00 | 2565,00 |
| Material | Manga TYCO OFDT24 | 76 | 134,40 | 10214,40 |
| Material | Splitter óptico de 1x4 | 19 | 18,00 | 342,00 |
| Material | Splitter óptico de 1x16 | 76 | 36,00 | 2736,00 |
| Material | Herrajes tipo C | 500 | 3,60 | 1800,00 |
| Material | Pinza tensor | 1000 | 1,00 | 1000,00 |
| Material | Amarras | 1000 | 0,04 | 40,00 |
| Material | Etiquetas acrilicas | 500 | 0,85 | 425,00 |
| Total (USD\$) | | | | 35302,40 |

Nota. NOC. Elaborado por: Paulina Argüello

En la tabla 9 se detallan los gastos por los equipos correspondientes a la instalación en el Nodo Pomasqui.

Tabla 9.

Costos materiales en el Nodo Pomasqui

| Material | Costo (USD\$) |
|--|----------------------|
| Shelter Macronodo | 1250,00 |
| Baterías secas selladas de 110 A, 12 V | 240,00 |
| Kit de instalación energía respaldo (6 baterías, UPS, protector, gabinete) | 3850,00 |
| Kit de protección a tierra (pararrayos, electrodo, cable, G-check, guía chispas, fusiones exotérmicas) | 2500,00 |
| Cable AWG para conexión de baterías (4 m promedio) | 3,46 |
| Borneras para acometida de baterías | 1,63 |
| Breakers 20 A | 3,82 |
| Cajas de intemperie para breaker | 23,13 |
| Cable sucre para acometida eléctrica #12 AWG | 1,67 |
| APSS de 750 Watts | 250,00 |
| Enlaces de microonda de 108 Mbps (equipo) | 5200,00 |
| Cable LMR400 /RG-8 para MO | 3,30 |
| Regularización enlaces de MO (enlace backup) | 165,00 |
| Switch Catalyst 4948-10GE | 1190,00 |
| OLT Calix E7-2, 8 puertos | 7678,47 |
| MKT CCR-1036 | 950,00 |
| Total (USD\$) | 23310,48 |

Nota. NOC. Elaborado por: Paulina Argüello

4.2 Costos operacionales.

PUNTONET S.A. al ser una empresa proveedora de servicios de telecomunicaciones tiene derecho y está autorizada a extender sus redes tanto físicas como inalámbricas a nivel nacional, a su vez PUNTONET S.A. al ser proveedora de servicios tiene la obligación de reportar cualquier tipo de modificación en sus redes tanto de acceso como de transporte a la ARCOTEL.

4.2.1 Costos arrendamiento de postes Empresa Eléctrica Quito (EEQ).

Mediante la utilización del ArcGis, se puede determinar la cantidad de postes utilizados en el diseño, al cruzar la información de la capa de red de fibra óptica desplegada sobre la capa de postes de la EEQ se obtiene un total de 885 postes. PUNTONET S.A. al firmar el contrato de arrendamiento de postes con la EEQ se

compromete a cancelar anualmente el valor de USD\$ 10,30 más IVA por poste, conforme al contrato por este proyecto se debe cancelar el valor de USD\$ 9115,50 más IVA, este valor será añadido al valor total por concepto de arrendamiento de los postes.

4.2.2 Costos por ampliación de la red de transporte.

PUNTONET S.A. tiene la obligación de registrar cualquier modificación a sus redes, el registro de la red física de transporte y la integración de nuevos nodos generan un costo de USD\$ 200,00 que es cancelado mensualmente, este valor no varía por la cantidad de red de fibra óptica o número de nodos añadidos a la red de la empresa.

4.2.3 Costos por arrendamiento de lugar de ubicación del nodo.

El sitio donde se encuentra localizado el nodo de PUNTONET S.A., que se utiliza para el diseño de la red es un lugar que cuenta con un contrato de 5 años entre los propietarios del lugar y PUNTONET S.A., en el cual la empresa se compromete a pagar por la renta de la casa un valor determinado acordado entre las partes.

4.2.4 Costos por explotación de frecuencias.

Para este diseño se cuenta con enlaces de radio como backup de la red de fibra óptica, estos enlaces cuentan como modificación de la red inalámbrica de PUNTONET S.A., al registrar la modificación de la red se genera un valor por concepto de explotación de radio frecuencia independientemente de ser bandas libres, se debe realizar un pago mensual por el uso de la frecuencia utilizada para el backup del enlace.

Este valor se encuentra indicado y explicado en el Reglamento de Derechos de Concesión y Tarifas de Uso de Frecuencias de Espectro Radioeléctrico. (ARCOTEL, 2003)

A continuación se realiza el cálculo de costo mensual por el enlace.

Ecuación 2. Cálculo de Costos para Enlaces Punto-Punto (Microondas en 15 Ghz)
(ARCOTEL, 2003)

$$T(\text{USD}\$) = K_a * \alpha_3 * \beta_3 * A * (D)^2 \quad (2)$$

Donde:

$T(\text{USD}\$)$ = Tarifa mensual en dólares americanos, por frecuencia asignada

K_a = Factor de ajuste por inflación

α_3 = Coeficiente de valoración del espectro del Servicio Fijo para enlaces punto-punto

β_3 = Coeficiente de corrección para el Sistema Fijo, enlace punto-punto

A = Ancho de banda de frecuencia en MHz

D = Distancia en kilómetros entre las estaciones fijas

Tabla 10.

Costo Mensual por Uso de Frecuencia

| Frecuencia de Tx | | Frecuencia de Rx | |
|--|------------|--------------------------------------|------------|
| Datos Necesarios | Valores: | Datos Necesarios | Valores: |
| Ka | 1,0269000 | Ka | 1,0269000 |
| α_3 | 0,0215917 | α_3 | 0,0215917 |
| β_3 | 1,0000000 | β_3 | 1,0000000 |
| A | 28,0000000 | A | 28,0000000 |
| Distancia entre nodos (km): | 1,77 | Distancia Aplicable (km): | 9 |
| Tarifa mensual frecuencia Tx: | | 50,29 | |
| Tarifa mensual frecuencia Rx: | | 50,29 | |
| Costo Enlace (USD\$): | | 100,57 | |

Nota. Reglamento de Derechos de Concesión y Tarifas de Uso de Frecuencias de Espectro Radioeléctrico. Elaborado por: Paulina Argüello.

4.2.5 Indicadores de evaluación económica.

Estos indicadores tienen como propósito establecer la factibilidad del proyecto, para esto es necesario calcular el VAN (Valor Actual Neto), TIR (Tasa interna de Retorno) y el PRC (Periodo de Recuperación del Capital).

A continuación en la tabla 11 se indican los valores totales del proyecto.

Tabla 11.

Valores totales del proyecto

| Inversión | | Flujo de Caja Mensual | |
|----------------------------------|------------------|------------------------------|--------|
| Implementación y materiales | 35302,40 | Pago por servicio (USD\$) | 18480 |
| Materiales en el Nodo | 23310,48 | Flujo de Caja Anual | |
| Arrendamiento de postes (1 año) | 10209,36 | | |
| Pago Red de Transporte (1 año) | 2400,00 | Pago por servicio (USD\$) | 221760 |
| Arrendamiento casa (1 año) | 2400,00 | | |
| Costo por instalación | 135360,00 | | |
| Pago Frecuencias (1 año) | 1206,84 | | |
| TotalUSD\$) | 210189,08 | | |

Nota. Paulina Argüello.

4.2.5.1 Valor Actual Neto.

Permite determinar si un proyecto es rentable o no, para esto el VAN establece lo siguiente:

- $VAN > 0$, el proyecto es rentable
- $VAN = 0$, no hay ganancia ni perdida
- $VAN < 0$, el proyecto no es rentable

Para el cálculo del VAN se utiliza la ecuación 5. (Velayos, 2014)

Ecuación 3. Cálculo del VAN

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Vt}{(1+k)^t} - Io \quad (3)$$

Donde:

Vt : flujos de caja de cada periodo

Io : inversión inicial

n : número de periodos considerados

k : interés

Para calcular el VAN, se considera una inversión inicial de USD\$ 210186,08, en un periodo de un año, un flujo de caja de USD\$ 221769 con una tasa de descuento del 20% utilizado por la empresa.

$$VAN = -210.186,08 + \frac{221.760}{1 + 0,21}$$

$$VAN = \$ 26.916,35$$

Este valor indica que el proyecto es rentable.

4.2.5.2 Tasa Interna de Retorno.

Este valor es la tasa de rentabilidad de un proyecto producto de una inversión, este valor se expresa en porcentaje.

Para el cálculo del TIR se utiliza la ecuación 4.

Ecuación 4. Cálculo del TIR (Velayos, 2014)

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+TIR)^t} - I = 0 \quad (4)$$

Dónde:

VAN: es el valor actúan neto igual a cero

Ft: es el flujo de efectivo en el periodo

n número de periodos

I: inversión inicial

Para el cálculo del TIR se considera una inversión inicial de USD\$ 210186,08 en un periodo de un año y un flujo de caja de USD\$ 221760

$$I * TIR = -I + Ft$$

$$TIR = \frac{-210186,08 + 221760}{210186,08}$$

$$TIR = 0,055$$

$$TIR = 5,51\%$$

Este resultado indica que el proyecto es rentable y genera ganancias.

4.2.5.3 Periodo de Recuperación del Capital.

Este valor nos indica el tiempo que se tarda en recuperar la inversión, mientras menor sea el plazo mejor será la inversión; el valor se calcula con la ecuación 7.

Ecuación 5. Cálculo del PRC (Fernandez de Navarrete, Llorente y Pérez, 2009)

$$PCR = \frac{\text{Inversión}}{\text{Flujo de Efectivo}} \quad (5)$$

Para realizar este cálculo se considera una inversión de USD\$ 210186,08 y un flujo efectivo mensual de USD\$ 18480

$$PCR = \frac{210186,08}{18480}$$

$$PCR = 11.3$$

$$PCR = 11 \text{ meses}$$

Como resultado se obtiene que el periodo de recuperación sea de 11 meses, indica que es una buena inversión y el proyecto es rentable.

CONCLUSIONES

Al finalizar el diseño y la implementación hasta la fase 5 de la red FTTH para el sector de la Mitad del Mundo y Carcelén Bajo, se concluye:

- Debido a la demanda del servicio y la necesidad de migrar la tecnología de acceso de los abonados de los nodos Wifi, se decidió que el diseño de ampliación de la red sea en base a redes FTTH con tecnología GPON, las ventajas que presenta este diseño de red son: gran ancho de banda, menos degeneración de la señal, permite tener una mayor zona de cobertura de la red, permite que la red sea escalable y su resistencia a interferencias electromagnéticas en comparación con los enlaces de radio que se utiliza actualmente en el sector.
- Con los enlaces de radio los abonados tienen anchos de banda de: mínimo 3 Mbps y máximo 5 Mbps con una compartición de 6:1, al usar enlaces de fibra óptica el ancho de banda mínimo para los abonados es de 3 Mbps y máximo de 30 Mbps, con estos enlaces no se tiene compartición, de esta manera se incrementan los anchos de banda en un 600% cubriendo la demanda de los usuarios de PUNTONET S.A.
- El análisis económico del proyecto mediante el VAN, el TIR y el PCR demuestran que es una inversión rentable y que genera una ganancia ya que se obtiene un VAN de USD\$ 26916,35; un TIR de 5,51% y un PCR de 11 meses que indica que la inversión del proyecto genera ganancias y es rentable.
- Se logra diseñar e implementar la red FTTH para el sector de la Mitad del Mundo y Carcelén Bajo, justificando el uso de tecnología GPON y cumpliendo con los requerimientos de la empresa, con el diseño se logra establecer zonas de cobertura y determinar una cantidad de abonados para la ampliación de la red, se elabora un documento detallando las características y funcionamiento de la red FTTH, se detallan los elementos principales para la implementación de la red.

RECOMENDACIONES

- En cuanto a los empalmes realizados a lo largo del tendido de la red, se debe tener mucho cuidado el momento de realizar las fusiones de fibra óptica ya que si la fusión no es realizada correctamente, esto causará mal funcionamiento en la red.
- Con el fin de no incumplir con los parámetros para la instalación de redes físicas, se debe considerar la Norma técnica para el despliegue y tendido de redes físicas aéreas de servicios de telecomunicaciones, servicios de audio y video por suscripción (modalidad cable físico) y redes privadas expedida por la ARCOTEL. (ARCOTEL, 2015)
- La información recopilada sobre los abonados debe ser exacta, clara y precisa, el trazado de la ruta debe contar con toda la información vial con el fin de identificar la ruta de cada abonado y si fuera el caso facilitar el traslado del abonado cuando cambie de domicilio.

REFERENCIAS

- Ablan, N., & Cano, M. (30 de enero de 2014). *neutron.ing.ucv.ve*. Obtenido de neutron.ing.ucv.ve/eiefile/Rafael%20Rodriguez/Trabajos2_398/TDMA.doc
- ARCOTEL. (2003). *Reglamento de Derechos de Concesión y Tarifas de Uso de Frecuencias de Espectro Radioeléctrico*. Obtenido de http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/reglamento_derechos_concesion_y_tarifas_espectro_radioelect6.pdf
- ARCOTEL. (octubre 2015). Norma técnica para el despliegue y tendido de redes físicas aéreas de servicios de telecomunicaciones, servicios de audio y video por suscripción (modalidad cable físico) y redes privadas. Obtenido de <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/09/Proyecto-Norma-Tecnica-para-el-Despliegue-y-Tendido-de-Redes.pdf>
- Barahona, L. (julio de 2010). *Scrib*. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/34376247/REDES-PON-Redes-Opticas-Pasivas#scribd>
- Cevallos, R., Montalvo, R., & Vinueva, M. (noviembre de 2010). *Estudio y Diseño de una red de última milla. Utilizando tecnología G-PON, para el sector del Nuevo Aeropuerto de Quito*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/3708>
- EXFO. (2014). Obtenido de <http://www.exfo.com/glossary/fiber-to-the-node-fttn>
- EXFO Electro-Optical Engineering Inc. (diciembre de 2012). *FTTH PON Guide: Testing Passive Optical Networks*. Obtenido de http://www.acronet.at/acronet/images/Downloads/EXFO_Reference-Guide_FTTH-PON.pdf
- Fernandez de Navarrete, F., Llorente, A., & Pérez, E. (2009). *Economía de la Empresa 2º de Bachillerato*. Editex.
- FTTH Council Europe. (18 de febrero de 2014). *FTTH Handbook*. (Eileen Connolly Bull, Editor) Obtenido de http://www.ftthcouncil.eu/documents/Publications/FTTH-Handbook_2014-V6.0.pdf
- García Yagüe, A. (mayo de 2014). *GPON y GPON Doctor*. Obtenido de <http://www.ccapitalia.net/descarga/docs/2012-gpon-introduccion-conceptos.pdf>

- Grupo Cofietel. (2 de septiembre de 2011). Obtenido de <http://www.c3comunicaciones.es/tipos-de-fibra-optica-actualizados/>
- Guzmán, H., & Ayala, F. (16 de marzo de 2011). *Scrib*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/haroldguz/gpon-7278692>
- Martinez, T. (28 de Febrero de 2013). *Telequismo*. Obtenido de <http://www.telequismo.com/2013/02/gpon-operador.html>
- Millán, R. J. (2007). GPON (Goigabit Passive Optical Network). Obtenido de <http://www.ramonmillan.com/tutoriales/gpon.php>
- Restrepo, J. (2007). *Análisi de los procesos básicos de un sistema de comunicación*,. Medellín: Universidad de Medellín.
- Santa Cruz, O. (22 diciembre del 2015). *Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional de Cordova*. Recuperado el 22 de 12 de 2015, de <http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/ElectronicaAplicadaIII/PlantelExterior/IntroduFO2.pdf>
- Teleco. (2015). Obtenido de http://www.teleco.com.br/tutorialsolfo1/pagina_4.asp
- TELECO. (2016). *Redes Ópticas Pasivas II*. Obtenido de http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialropassiva2/pagina_3.asp
- Tepan, A. (19 de enero de 2015). *scrib*. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/253064732/Red-Gpon-pdf#scribd>
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (enero de 2015). *ITU, Recomendación T-REC-G.983.1*. Obtenido de <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.983.1-200501-I/es>
- Unión Nacional de Telecomunicaciones. (febrero de 2012). *ITU, Recomendación T-REC-G.671*. Obtenido de <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.671/es>
- Velayos Morales, V. (15 de Junio de 2014). *Economipedia*. Obtenido de <http://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno.html>
- Velayos Morales, V. (15 de Junio de 2014). *Economipedia*. Obtenido de <http://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>
- Wikitel*. (2 de junio de 2008).