

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:
DISEÑO DE LA MIGRACIÓN DE LA RED DE ÚLTIMA MILLA A
GPON DEL GRUPO TV CABLE DEL NODO 2A-BELLAVISTA**

**AUTOR:
PAÚL ALEJANDRO PÉREZ HERRERA**

**TUTOR:
JOSÉ ANTONIO PAZMIÑO SANDOVAL**

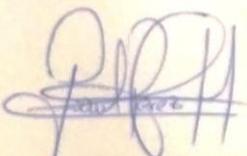
Quito, Marzo de 2017

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Paúl Alejandro Pérez Herrera, con documento de identificación N° 1715679120, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: Diseño de la migración de la red de última milla a GPON del GRUPO TVCABLE del nodo 2A - Bellavista , mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniería 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 autor 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.

Quito, Marzo de 2017

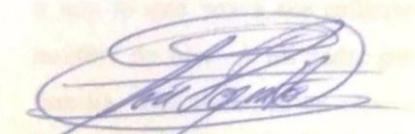


Paúl Alejandro Pérez Herrera
Cédula de identidad: 1715679120

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación Diseño de la migración de la red de última milla a GPON del GRUPO TVCABLE del nodo 2A - Bellavista realizado por Paúl Alejandro Pérez Herrera, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Marzo de 2017



José Antonio Pazmiño Sandoval
Cédula de identidad: 1710321835

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida y ser quien guía mi camino a diario, fortaleciéndome en momentos difíciles y permitirme poder cumplir una meta. A mi esposa por ser la mujer idónea que siempre estuvo a mi lado apoyándome incondicionalmente, mujer hija de Dios que cada día con sus consejos y paciencia me animo a seguir siendo un hombre esforzado y valiente. A mi hijo Zahid el motor de mi vida por el cual me despierto cada mañana y el que me llena de amor y dulzura con sus muestras de cariño y afecto. Mi madre Silvia, por ser una mujer incansable y luchadora, gracias a ti soy lo que soy a ese esfuerzo desinteresado por ver a tu hijo profesional y un hombre de bien. A mi padre por sus consejos y por estar siempre pendiente de mi familia. Mis abuelitas en especial Victoria por ser el eje principal de la familia y enseñarme el valor de la humildad. Mis hermanos, tíos, tías, primos y todos mis familiares que de una u otra forma me apoyaron en los buenos y malos momentos para poder culminar con este trabajo de titulación.

Paúl Alejandro Pérez Herrera

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por ser la institución que me formó para tener un futuro como ingeniero electrónico, me gustaría agradecer de manera especial a mi tutor Ing. José Pazmiño quien con sus conocimientos, sus orientaciones, esfuerzo y dedicación han sido fundamentales para poder concluir este trabajo de fin de carrera.

Paúl Alejandro Pérez Herrera

ÍNDICE DE CONTENIDO

Introducción	1
Capítulo 1	2
Problema de estudio	2
1.1 Formulación del problema	3
1.2 Objetivo General	3
1.3 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Justificación del tema.....	3
1.5 Hipótesis.....	4
1.6 Tipo de investigación	4
1.7 Metodología	4
Capítulo 2.....	5
Marco Teórico.....	5
2.1 Las redes de acceso	5
2.2 Tipos de redes y su clasificación.....	5
2.2.1 Acceso por par de cobre.....	5
2.2.2 Acceso por cable coaxial.....	7
2.2.3 Acceso por fibra óptica	7
2.3 La red HFC (Híbrido Fiber Coaxial).....	10
2.3.1 Características de la red HFC.....	11
2.3.1.1 Cabecera.....	11
2.3.1.2 Red Troncal.....	13
2.3.1.3 Red de distribución	14
2.3.1.4 Red de acometida a los abonados.....	15
2.4 La red GPON.....	15
2.4.1 Arquitectura de una red GPON	16
2.4.2 Soluciones de acceso con fibra óptica (FTTx).....	18
Capítulo 3.....	21
Descripción de la red HFC en el Grupo TV Cable	21
3.1 Reseña del Grupo TV CABLE.....	21
3.2 Descripción de la red actual del Grupo TV Cable	21
3.3 Descripción de la red HFC del Nodo 2A de Bella Vista.....	23
3.3.1 Cabecera.....	23

3.3.1.1 Servicios de Televisión	23
3.3.1.2 Servicios de internet y telefonía.....	27
3.3.1.3 Transmisión y recepción señales de bajada y subida.....	29
3.3.2 Red Troncal.....	31
3.3.3 Red de distribución	31
3.3.4 Red de acometida	34
Capítulo 4.....	35
Diseño de la migración de la red de última milla a GPON del GRUPO TVCABLE del nodo 2A - Bellavista.....	35
1.1 Consideraciones del diseño	35
4.2 Demanda de usuarios y servicios	36
4.2.1 Demanda de usuarios	36
4.2.2 Demanda de servicios	37
4.3 Dimensionamiento de la red.....	40
4.3.1 Cálculo del presupuesto óptico	42
4.3.1.1 Cálculo de la Atenuación total del sistema	43
4.3.1.2 Balance óptico de la red	44
4.4 Dimensionamiento de los equipos	45
4.4.1 OLT	46
4.4.2 ONT	46
4.4.3 Divisor pasivo 1:64	46
4.4.4 Módulos de unión y empalmes	47
4.5 Red Troncal.....	47
4.6 Red de acceso.....	47
Capítulo 5.....	48
Análisis económico de la migración a la red GPON por el Grupo TV Cable	48
5.1 Presupuesto y gastos del proyecto.....	48
5.2 Evaluación financiera.....	52
Conclusiones	55
Recomendaciones.....	56
Referencias Bibliográficas	57
Anexos	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Tecnología ADSL en la última milla de una red de telecomunicaciones.	6
Figura 2.2. Tecnología VDSL en la última milla de una red de telecomunicaciones.	7
Figura 2.3. Estructura básica de una fibra óptica.	8
Figura 2.4. Diagrama en bloque de un sistema de transmisión de fibra óptica.	9
Figura 2.5. Equipos que componen la cabecera de una red HFC.	12
Figura 2.6. Espectro de frecuencia de canales de retorno y forward.	13
Figura 2.7. Esquema básico de una red GPON	16
Figura 2.8. Principales topologías de la red GPON	19
Figura 3.9. Esquema de redes de acceso del Grupo TV CABLE.	22
Figura 3.10. Elementos básicos que intervienen en el servicio de internet y telefonía de la red del grupo TV CABLE en el Nodo 2A de Bellavista.	27
Figura 3.11. Llamada entre usuarios de TV CABLE, nacional e internacional.	28
Figura 3.12. Señal de retorno (upstream).	29
Figura 3.13. Señal de transmisión de bajada (downstream).	30
Figura 3.14. Diagrama en bloques de la red de distribución.	31
Figura 3.15. Mapa de ramales del nodo 2A de Bellavista.	32
Figura 4.16. Esquema del despliegue de la red GPON propuesta	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Porcentaje de penetración de TV CABLE en el sector	37
Tabla 4.2 Demanda de servicios de TV, Telefonía e Internet en el sector	38
Tabla 4.3 Ancho de banda por servicios	38
Tabla 4.4 Plan de servicio sugerido	39
Tabla 4.5 Valores de atenuación de elementos de la ODN.....	44
Tabla 5.6 Inversiones Fijas	48
Tabla 5.7 Inversiones Diferidas	48
Tabla 5.8 Inversión Inicial	49
Tabla 5.9 Gastos Operativos	49
Tabla 5.10 Gastos administrativos	50
Tabla 5.11 Gastos de Ventas.....	52
Tabla 5.12 Otros Gastos.....	51
Tabla 5.13 Total de gastos período 2017-2021	51
Tabla 5.14 Planes Triple Pack.....	52
Tabla 5.15 Ingresos y egresos en el período 2017-2021	54
Tabla 5.16 Tabla confeccionada en EXCEL para el cálculo de VAN, TIR y C/B	55
Tabla 5.17 Período de recuperación de la inversión	54

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se realizó un estudio y diseño de la red de datos de última milla HFC en el sector Bellavista de la ciudad de Quito del Grupo TV CABLE para su migración a tecnología GPON, para lograr este objetivo se realizó un estudio de las especificaciones, características y equipos de la red actual HFC en el nodo 2A del sector objeto de estudio. El principal logro de la investigación consiste en el diseño de la última milla de la red HFC nodo 2A del sector Bellavista con tecnología GPON logrando una propuesta factible económicamente que permite al grupo generar mayores ingresos y aumentar la satisfacción de sus clientes por la mejora en la velocidad de conexión y la calidad de la señal.

El presente proyecto para tener una mejor organización de la información consta de cinco capítulos. En el primero se refleja el planteamiento del problema, después se expone el marco teórico elaborado sobre la información más reciente en tecnologías de redes GPON, en el tercero se analiza la red actual HFC del Grupo TV CABLE, posteriormente con la información suministrada por la empresa se presenta el diseño de la migración de la última milla de la red del nodo 2A del sector Bellavista en la ciudad de Quito a tecnología GPON y por último el análisis financiero de factibilidad de la inversión.

ABSTRACT

In the present work of titling realized a study and design of the last mile data network HFC in Bellavista sector of Quito of the TV CABLE Group for its migration to GPON technology. To achieve this objective, realized a study of the specifications, characteristics and equipment of the current HFC network in node 2A of the sector under study. The main achievement of the research is the design of the last mile of the HFC network node 2A of the Bellavista sector with GPON technology achieving an economically feasible proposal that allows the group to generate higher earnings and increase customer satisfaction by improving the connection speed and signal quality.

The present project to have a better organization of the information consists of five chapters. The first one reflects the approach of the problem, after presenting the theoretical framework elaborated on the most recent information on GPON network technologies, in the third of the current HFC network of the TV CABLE Group, with the information supplied by the company. The design of the migration of the last mile of the network of node 2A of the Bellavista in the city of Quito a technology GPON and finally the financial analysis of the feasibility of the investment.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de titulación se presenta el estudio, análisis y diseño de la migración de la red de última milla a GPON del Grupo TV CABLE del nodo 2A – Bellavista. El presente proyecto va dirigido hacia los clientes actuales y futuros del Grupo TV CABLE ubicados en el sector de Bellavista al nororiente de Quito, que se verán beneficiados por mejores y nuevos servicios donde el costo sea el mismo pero aumente la velocidad de internet y la calidad de la señal de televisión.

Para realizar el estudio, se partió de un análisis de la situación actual de la red del Grupo TV CABLE en el nodo objeto de estudio a través de la descripción de la tecnología implementada en la actualidad. A partir de un estudio de la demanda de servicios y números de clientes en el sector, se realiza el dimensionamiento de la red GPON y se propuso el diseño de la misma para dicho sector. Además se presenta un análisis financiero que permite evaluar la factibilidad de la inversión y el tiempo de recuperación de la misma para la empresa.

Para una mejor comprensión y organización de la información se presentan cinco capítulos. En el primero se refleja el planteamiento del problema, en el segundo se expone el marco teórico elaborado sobre la información más reciente en tecnologías de redes GPON, en el tercero se analiza la situación actual del Grupo TV CABLE, en el cuatro se presenta el diseño de la migración de la última milla de la red del nodo 2A del sector Bellavista en la ciudad de Quito a tecnología GPON y en el quinto se realiza el análisis financiero de factibilidad de la inversión.

CAPÍTULO 1

PROBLEMA DE ESTUDIO

El reto de las empresas que brindan servicios de internet, telefonía y televisión es aumentar la velocidad de conexión y la calidad de la señal que reciben sus usuarios.

El Grupo TV CABLE es en el Ecuador una de las empresas dedicada a estos fines, con una amplia participación en el mercado y que se puede considerar una empresa líder en el ramo. Independientemente de todos sus logros aún existen deficiencias que una vez solucionadas contribuyen a la mejora continua de los servicios que brindan; específicamente la red actual de datos utiliza una tecnología antigua que fue implementada hace aproximadamente 20 años para satisfacer las necesidades del cliente.

En la actualidad se necesitan mayores velocidades de transmisión, pues la red HFC que utiliza el cable coaxial en la última milla ocasiona ruido, perturbaciones e interferencia al transmitir la señal y no brinda una alta velocidad de transferencia de datos para poder ofrecer un mayor ancho de banda en nuevos servicios de entretenimiento que interactúen con el usuario como VoD, IPTV entre otros.

Existen bajas velocidades de conexión de internet y baja calidad del servicio de Televisión Digital de las redes HFC por parte del Grupo TV CABLE, por lo que se hace necesario migrar a redes de más altas prestaciones.

Uno de los sectores que presenta más problemas en la calidad del servicio, es el nodo 2A del sector Bellavista.

En la actualidad, una de las tecnologías que ofrece altas velocidades de transmisión y calidad de la señal es GPON y sería conveniente utilizar esta tecnología si se desea seguir como empresa líder en el mercado de las telecomunicaciones y que el número actual de abonados no se vea disminuido por la competencia. Para ello se debe aumentar los equipos conectados para mejorar la seguridad de la red, ya que actualmente se tiene conexiones piratas que afectan la velocidad de usuarios conectados legalmente. Adicionalmente, se mejoraría la latencia, pérdida de paquetes y se puede llegar a clientes que sobrepasen los 100 metros de distancia para la instalación, que con el cable coaxial no se puede alcanzar.

1.1 Formulación del problema

De lo mencionado anteriormente se deriva como problema de investigación el siguiente:

¿Cómo contribuye la migración de las redes HFC a redes GPON-FTTH en la calidad del servicio de la televisión digital que brinda la red HFC, en la empresa Grupo TV CABLE en el nodo 2A del sector BellaVista?

Para la consecución de la investigación se plantean los objetivos a cumplir.

1.2 Objetivo General

Estudio y diseño de la red de datos de última milla HFC de Grupo TV CABLE que será migrada a tecnología GPON en el sector Bellavista de la ciudad de Quito.

1.3 Objetivos Específicos

- Realizar un estudio de las especificaciones, características y equipos de la red actual HFC en el nodo 2A en la ciudad de Quito para tener datos para realizar el diseño.
- Diseñar la última milla de la red HFC para migrar a tecnología GPON en la empresa Grupo TV CABLE en el nodo 2A para mejorar la velocidad de conexión.
- Analizar la factibilidad técnica de la red diseñada para determinar si es posible la implementación de la misma.
- Realizar un análisis económico para determinar en qué tiempo se recupera la inversión de este diseño por el Grupo TV CABLE.

1.4 Justificación del tema

El tema de la presente investigación es viable y consecuente con las nuevas tecnologías, actualmente el mundo se encuentra en un proceso de cambio, la tecnología va evolucionando dependiendo de las necesidades y la demanda que desarrollan los usuarios. Tomando en consideración el hecho de que el cable de cobre va a ser desplazado por la fibra óptica en los próximos años y que esta última está en su esplendor dentro de Ecuador, resulta conveniente la migración.

Actualmente son limitadas las compañías que trabajan brindando servicio de “Triple-Pack con fibra óptica y ser pionero en la migración le permitirá al Grupo TV CABLE ofrecer a sus usuarios finales un servicio más completo que se diferencie de la competencia. Los usuarios tendrán una mejoría en la calidad del servicio con fibra óptica y las compañías venderán un servicio óptimo.

1.5 Hipótesis

Para analizar los resultados esperados se toma como hipótesis de la investigación la siguiente:

Si se realiza la migración de la red de última milla HFC a la GPON en el nodo 2A del sector Bellavista se mejorará la velocidad de conexión a internet y aumentará la calidad del servicio de televisión digital.

Durante la investigación se comprueba la hipótesis y se demuestra que desde el punto de vista financiero es factible la migración.

1.6 Tipo de investigación

El presente Trabajo de Titulación es una investigación descriptiva, aplicada, con enfoque temático teórico no experimental, ya que se usan conocimientos y bases teóricas para la comparación de datos entre las redes HFC y GPON - FTTH. Además se proponen los procesos para la migración de la red de HFC a GPON - FTTH.

1.7 Metodología

Para la validez y pertinencia del presente Trabajo de Titulación se utilizan los métodos científicos del nivel teórico que permitieron la construcción de un marco teórico, así como tomar los principales conceptos y aportaciones teóricas y prácticas que han sido elaboradas en el área de estudio; los métodos del nivel práctico que permitieron el análisis de documentos para determinar el estado actual de la empresa Grupo TV CABLE y los métodos del nivel estadístico que permitieron los análisis cualitativos y cuantitativos para demostrar la hipótesis y cumplir los objetivos planteados.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se exponen las principales características de las redes de acceso y su clasificación; se hace énfasis en las tecnologías HFC y GPON donde se exponen las ventajas y desventajas del uso de cada una.

2.1 Las redes de acceso

La red de acceso es el nivel de una red de telecomunicaciones que interacciona directamente con los dispositivos de los usuarios finales y los conecta a un proveedor de servicios. Es la encargada de llevar el contenido de la información hasta el usuario y atender las peticiones del mismo por el canal de retorno. Esta juega un papel fundamental desde el punto de vista tecnológico dentro del desarrollo del modelo de redes, ya que los principales avances que se pueden percibir en el área de las telecomunicaciones corresponden a esta parte de la red, pues los usuarios demandan tecnologías de acceso que le permitan acceder a nuevos servicios y prestaciones.

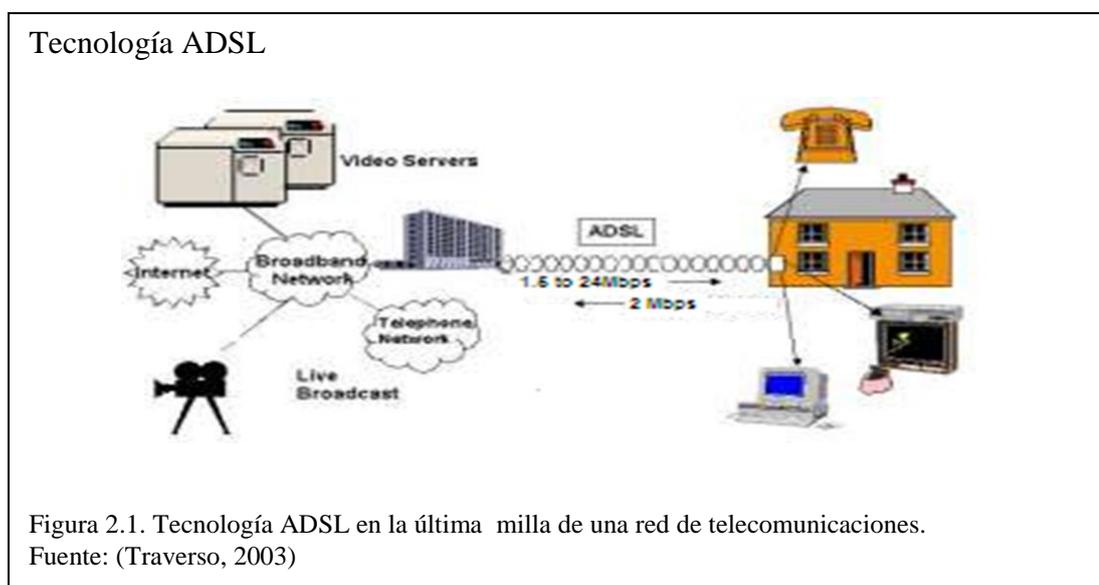
2.2 Tipos de redes y su clasificación

La clasificación de las redes, es según el medio de transmisión que se utilice para la propagación, ya sea un medio físico (cable de cobre, coaxial o fibra óptica) o el espacio radioeléctrico y se dividen en dos grandes grupos: redes alámbricas e inalámbricas; en este trabajo solo se abordan las redes alámbricas, las cuales utilizan como medio de transmisión el cobre o la fibra óptica.

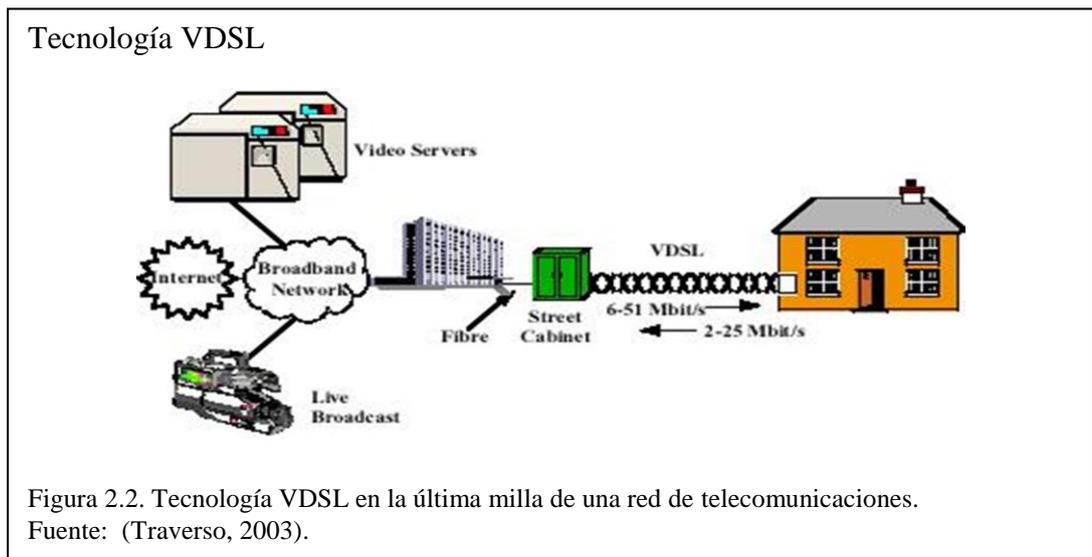
2.2.1 Acceso por par de cobre

El cable de par trenzado sin blindaje (UTP, Unshielded Twisted Pair) o (STP, Shielded Twister Pair) con blindaje, son los tipos más frecuentes de medio de comunicación; están formado por dos conductores, habitualmente de cobre, cada uno con su aislamiento de plástico de color, asignado para su identificación, tanto para diferenciar los hilos específicos de un cable como para indicar qué cables pertenecen a un par dentro de un trenzado multipar. Se conforman en forma de trenza ya que dos conductores en paralelo se comportan como una antena (Valverde, 2011).

Las redes de acceso por par de cobre son usadas tradicionalmente para el servicio telefónico, pero presentan características de propagación que le permiten transportar una mayor cantidad de información; en este aspecto se destaca la tecnología xDSL (Digital Subscriber Line), que puede usar varios pares de cobre para transmisión en sentido ascendente y descendente con igual velocidad, como es el caso de la HDSL (High bit-rate Digital Subscriber Line), alcanzando velocidades de hasta 2,048 Mbps. En el caso de la tecnología ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) y sus derivados ADSL2 y ADSL2+, se pueden alcanzar velocidades de hasta 24 Mbps en canal descendente y 2 Mbps en canal ascendente como se muestra en la figura 2.1.



Esta tecnología suministra el ancho de banda suficiente para numerosas aplicaciones, como acceso rápido a internet utilizando las líneas telefónicas comparado el caso de la tecnología VDSL (Very High bit-rate Digital Subscriber Line) utilizada en redes de acceso por fibra óptica que llegan cerca del usuario y se enlazan finalmente con esta tecnología, manejando velocidades de 6 a 51 Mbps en canal descendente y de 2 a 25 Mbps en el canal ascendente hasta 300 metros de distancia tal como se ve en la figura 2.2 (Traverso, 2003).



2.2.2 Acceso por cable coaxial

Las redes acceso por par de cobre es una tecnología ya conocida, la emisión de señales al exterior es mínima, presenta una mayor tasa de error respecto a otros tipos de cable, así como sus limitaciones para trabajar a distancias elevadas sin regeneración.

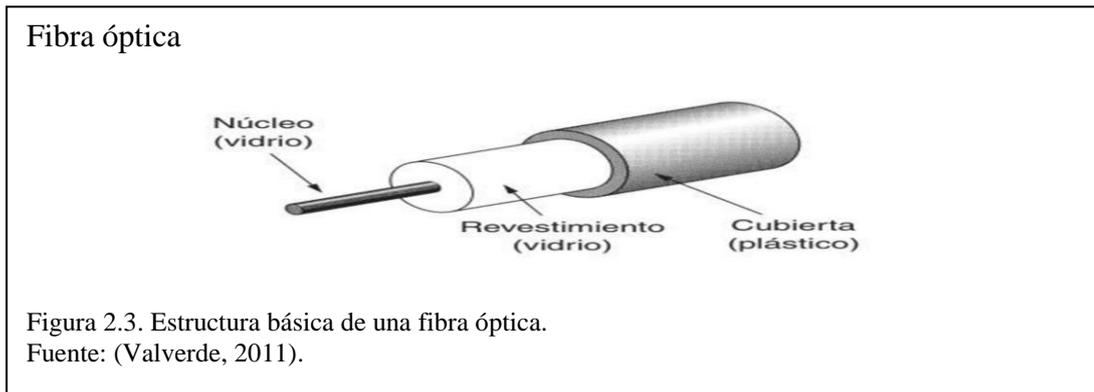
Por esta razón las redes de acceso fueron evolucionando utilizando otros medios de transmisión como el cable coaxial que se compone de un hilo conductor de cobre envuelto por una malla trenzada plana que hace las funciones de tierra y soporta comunicaciones en banda ancha y en banda base, así como varias señales, incluyendo voz, vídeo y datos (Valverde, 2011).

A pesar de ser el cable más utilizado en las redes locales debido a su alta capacidad y resistencia a las interferencias, su mayor defecto es su grosor que limita su utilización en pequeños conductos eléctricos, sin embargo con la aparición de la fibra óptica, el aprovechamiento de su ancho de banda y sus velocidades de transmisión, esta, ha comenzado a desplazar el cable coaxial como medio de acceso.

2.2.3 Acceso por fibra óptica

El medio de transmisión más usado en la actualidad es la fibra óptica por las ventajas que presenta en cuanto a ancho de banda y velocidad de transmisión; está compuesta

por un filamento delgado y flexible básicamente de plástico o vidrio de alto índice de refracción sobre el que se monta una cubierta, manto de plástico o vidrio de menor índice de refracción, cubriendo a esta última una chaqueta o envoltura; adicionalmente se puede encontrar un material de refuerzo rodeando el manto de la fibra, por ejemplo, fibra de aramido, como se observa en la figura 2.3 (Valverde, 2011).

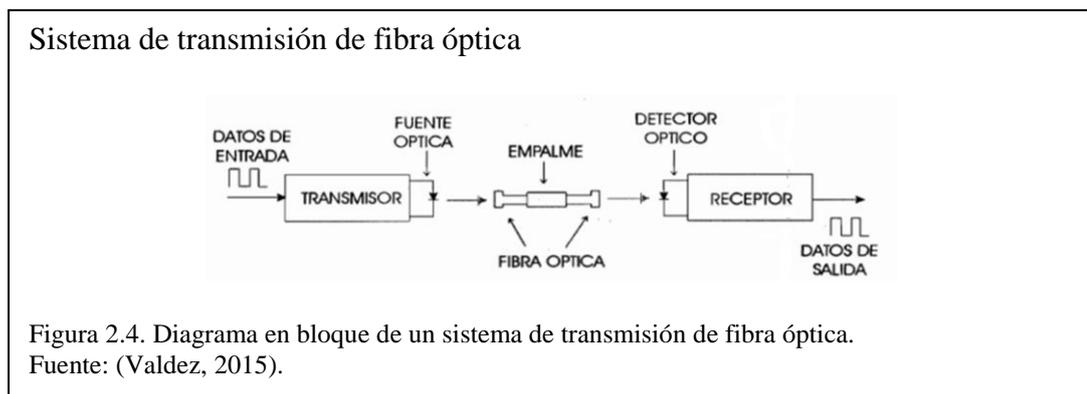


Es un medio de transmisión de datos que está formada por un material dieléctrico generalmente de vidrio (silicio) capaz de guiar una potencia óptica, que viaja a través del núcleo debido a la reflexión que se produce en la cubierta, y es convertida en señal eléctrica en el extremo receptor; por esta razón, su mayor desventaja es su costo de producción superior al resto de otros tipos de cable, debido al empleo de vidrio de alta calidad, y la fragilidad de su manejo en producción, así como la terminación de los cables de fibra óptica que requiere un tratamiento especial para su conectorización y empalmes, que ocasiona un aumento de los costos de instalación. Existen dos tipos básicos de fibra óptica basados en el modo de propagación de luz que son la fibra monomodo y fibra multimodo.

La fibra monomodo presenta un núcleo óptico pequeño (de 9 a 10 micrones de diámetro), por lo que la luz recorre el cable en un solo rayo. Al ser sólo un haz de luz, la señal puede viajar más rápido, más lejos y con menos debilitamiento y se usa en la transmisión de datos a mayores distancias operando a velocidades de hasta los 622 Mbps con un alcance de transmisión de hasta 100 Km.

Para el caso de la fibra multimodo, su núcleo óptico es de mayor diámetro (50 a 125 micrones.) y se transmiten múltiples rayos de luz (varios modos electromagnéticos) distintos al laser y en diferentes ángulos y puede operar con velocidades de 10 Mbps hasta 155 Mbps con un alcance de transmisión de hasta 2,4 Km.

En la figura 2.4 se muestra un diagrama en bloques donde muestran los elementos de un sistema de transmisión de fibra óptica.



En los sistemas de transmisión por fibra óptica, los datos de entrada se originan en un servidor, sistema telefónico u otras fuentes directas en forma de ondas electromagnéticas. El transmisor convierte la información en energía luminosa cuya fuente de luz puede ser un LED o un diodo láser, con señales de longitud de onda entre 850 nanómetros y 1550 nanómetros. La señal lumínica recorre el cable de fibra óptica hasta llegar a los regeneradores que evitan que la señal se degrade y se insertan cada cierta distancia.

La fibra presenta grandes ventajas sobre otros medios, pues al ser tan delgadas y flexibles, múltiples fibras pueden funcionar en un sólo cable haciéndolos menos pesados, fáciles de transportar y acomodarse con mayor libertad; además, proveen gran ancho de banda y velocidad de transmisión superiores a 1 Gbps que permite trabajar con gran rapidez en entornos multimedia, tales como videos y sonidos, presentando inmunidad a la interferencia electromagnética y estática, lo que permite una mejor calidad de recepción de llamadas y canales de televisión; por ejemplo, posee un amplio rango de temperatura de operación ya que la luz no emite calor como la electricidad, tiene baja atenuación debido a la inserción de regeneradores de

señal, brinda alta seguridad ya que la información viaja codificada, es resistente a la corrosión, tiene una larga vida útil y escalabilidad al poder seguir conectando mayor número de usuarios a una misma infraestructura.

2.3 La red HFC (Híbrido Fiber Coaxial)

El cable coaxial prácticamente se encuentra solo en los accesos para proveer el servicio de televisión por cable, pero mediante la adición de componentes electrónicos adecuados también es capaz de soportar lo que se conoce como triple play (teléfono, televisión y acceso a Internet).

Aunque el mejor de los medios físicos, es la fibra óptica, nada impide que se usen combinaciones de tecnologías para llevar el servicio hasta el usuario final y ese es el caso de las redes híbridas de fibra óptica y cable coaxial, conocidas por sus siglas en inglés HFC (Híbrido de Fibra y Coaxial). Se trata de una red que está conformada tanto por fibra óptica como cable coaxial para crear una red de banda ancha, la cual consiste en conectar al usuario final por medio de cable coaxial a un tap, el cual está conectado a un nodo zonal y posteriormente conectar dichos nodos con fibra óptica hasta la cabecera. Esta tecnología en sus inicios se implementó para poder ofrecer los servicios de televisión por cable, y al ver que disponían de ancho de banda, decidieron aprovechar el mismo medio y transportar la señal de internet y en algunos casos la de telefonía (Yague, 2014).

Esta combinación permite el transporte de varios servicios por un único acceso de manera integrada a grandes distancias y con una transmisión bidireccional que permite la interacción del usuario con la red a través del canal de retorno.

El estándar que permite esta variedad de servicios es el DOCSIS (Datos Over Cable Service Interface Specifications) que consiste en un conjunto de protocolos de datos, utilizados para el tratamiento de señales digitales adaptadas a las redes de cables y estandariza la infraestructura, de dicha red inicialmente de televisión por cable, para soportar flujos de datos IP a altas velocidades, definiendo las especificaciones de interfaz entre el cablemodem (CM), equipo terminal del usuario y el CMTS (Cable Modem Termination System) ubicado en la cabecera y encargado de insertar el servicio de internet.

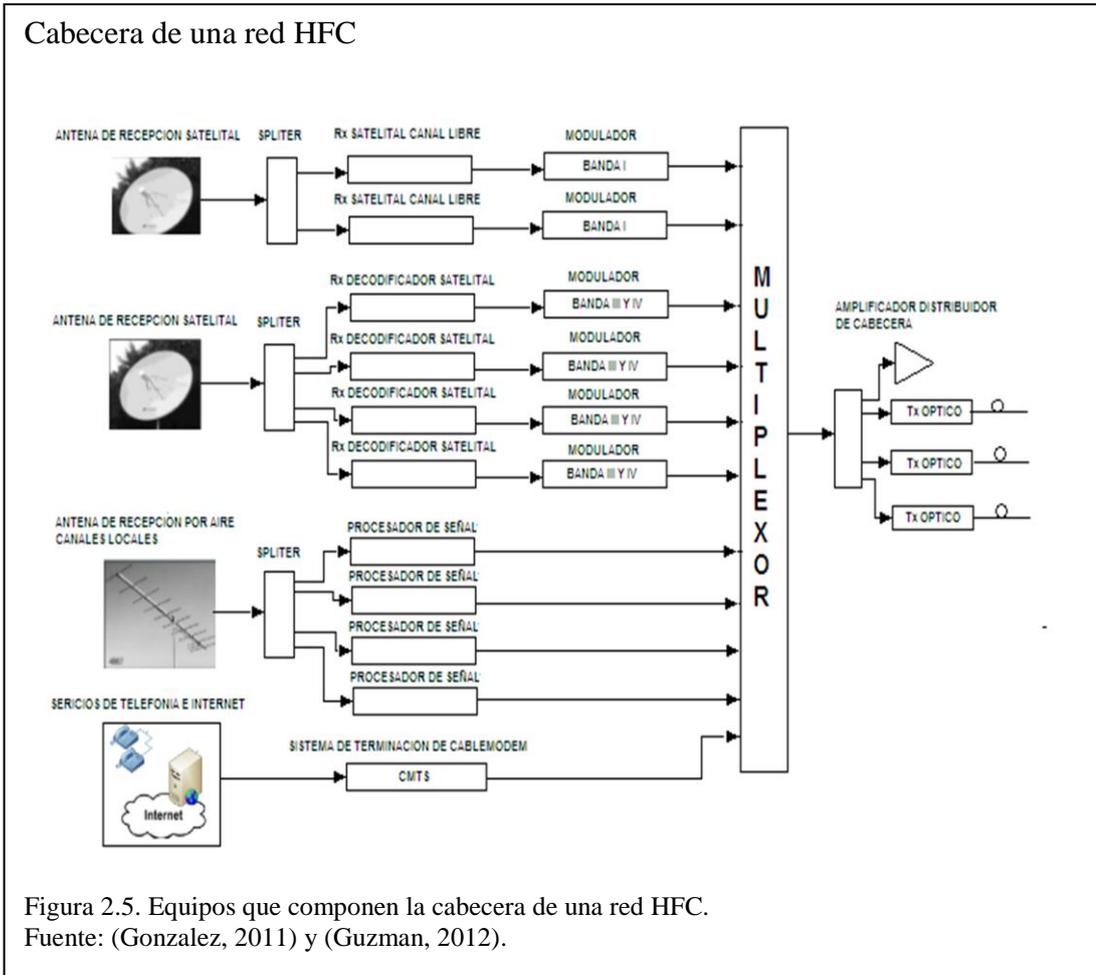
Con el progresivo avance de la tecnología, este estándar ha ido evolucionando hasta su cuarta versión DOCSIS 3.1, que ha permitido aprovechar de manera mucho más eficiente la infraestructura de las redes HFC, permitiendo conectar varios CM, a un mismo CMTS, a velocidades de hasta 100 Mbps.

2.3.1 Características de la red HFC

Las redes HFC se compone básicamente de cuatro partes claramente diferenciadas: la cabecera o headend, la red troncal, la red de distribución, y la red de acometida de los abonados.

2.3.1.1 Cabecera

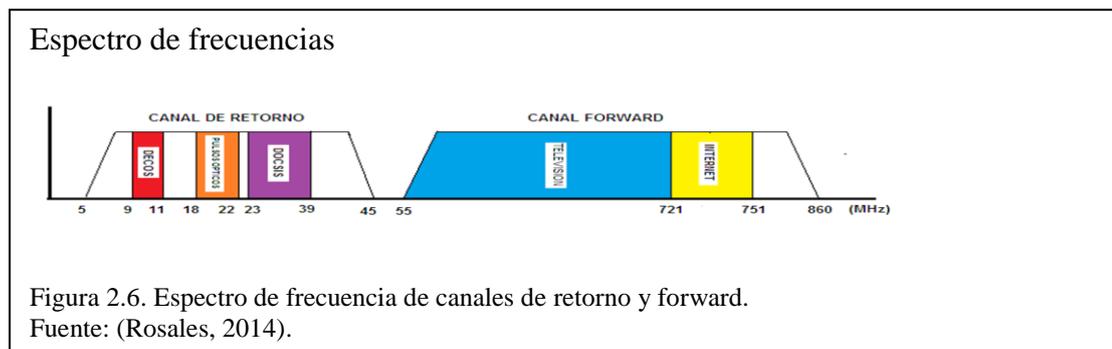
La cabecera es el lugar donde se encuentran los equipos necesarios para la recepción y procesamiento de señales (como codificación, modulación y multiplicación), que posteriormente serán enviadas a través de la red a los usuarios (Guzman, 2012).



Como se muestra en la figura 2.5, la cabecera es el centro desde el que se gobierna todo el sistema y su complejidad depende de los servicios que ha de prestar la red, aquí convergen todas las señales provenientes de satélites, analógicas y digitales, difusión de RF (Radio Frecuencia), video en banda base y pregrabado, microondas en AM (Amplitud Modulada) y FM (Frecuencia Modulada), datos y telefonía. Para el servicio de televisión, las señales se acondicionan para su transmisión, pasando por procesos de codificación, multiplexación en frecuencia y modulación para ser transmitidas a través de la red de distribución (Guzman, 2012).

En el caso del servicio de internet y telefonía, se utilizan los CMTS, que habilitan la comunicación de la cabecera con los cablemodems de los abonados y el número de cablemodems que puede soportar cada CMTS, varía entre 4.000 y 150.000 (Rosales, 2014).

La cabecera es también la encargada de monitorizar la red y supervisar su correcto funcionamiento; este proceso se realiza a través del canal de retorno que permite la comunicación bidireccional entre la cabecera y los equipos terminales de los abonados tanto en la vía ascendente (upstream) como descendente (downstream).



El canal de retorno, como se observa en la figura 2.6, ocupa en las redes HFC, el espectro comprendido entre 5 y 45 MHz; por esta subbanda viajan las señales desde el cliente hacia la cabecera y es conocida como frecuencia de subida (upstream) y es utilizada por los equipos como cablemodem (internet), MTA (telefonía) y Decodificadores (televisión), para enviar información a la cabecera (Rosales, 2014). Por la subbanda comprendida entre 55 y 860 MHz, conocida como canal descendente (downstream) o canal de bajada, viajan las señales de la cabecera al cliente como televisión (de 55 a 721 MHz), internet (721 a 751 MHz) y telefonía (751 a 860 MHz) por lo que el ancho de banda en este sentido es mayor.

2.3.1.2 Red Troncal

Es la encargada de repartir la señal compuesta generada por la cabecera a todas las zonas de distribución que abarca la red de cable. El primer paso en la evolución de las redes clásicas de CATV hacia las redes de telecomunicaciones por cable HFC, consistió en sustituir las largas cascadas de amplificadores y el cable coaxial de la red troncal por enlaces punto a punto de fibra óptica.

La red troncal suele presentar una estructura en forma de anillos redundantes de fibra óptica que une a un conjunto de nodos primarios, los cuales alimentan a otros nodos (secundarios) mediante enlaces punto a punto o bien mediante anillos.

Las señales generadas en la cabecera, son impulsadas por un transmisor óptico hasta llegar al divisor de señales ópticas (splitter) donde son ramificadas hacia los diferentes nodos ópticos; en el otro extremo se implementa un receptor óptico que es un dispositivo que recibe las señales ópticas y las convierte a señales eléctricas (RF) para ser distribuidas a los hogares de los abonados a través de una estructura tipo bus de coaxial.

En el sentido de la señal de retorno (upstream), las señales eléctricas provenientes de los abonados a través de la red de distribución, llegan al transmisor óptico de retorno, y son convertidas a señales ópticas para ser transmitidas por la fibra óptica hasta la cabecera pasando por el receptor óptico de retorno.

2.3.1.3 Red de distribución

Es la parte de la red comprendida desde el nodo óptico hasta antes de llegar al domicilio del usuario y la transmisión se realiza a nivel de RF. Está compuesta por una estructura tipo bus de coaxial y equipos activos que necesitan alimentación para su funcionamiento y se encargaran de amplificar la señal, debido a que el cable coaxial tiene perdidas relacionadas con la distancia y la frecuencia de trabajo. Los elementos pasivos, permiten el paso y la distribución, de la energía y la señal de RF hasta el usuario final y no necesitan alimentación para su funcionamiento. Está compuesto por el nodo óptico, las fuentes de poder, los amplificadores de señal y los dispositivos pasivos.

El nodo óptico recibe la señal óptica generada en la cabecera, la convierte a señal eléctrica de radio frecuencia y la procesa para su distribución a través de la red coaxial. En el sentido ascendente, recibe las señales de RF las convierte a señal óptica y las impulsa a la cabecera a través de la red de fibra óptica.

La fuente de poder es el elemento que permite el suministro de energía a todos los equipos activos de la red como amplificadores y nodos ópticos.

Los amplificadores son los elementos activos encargados de compensar las pérdidas de señal ocasionadas por el cable coaxial. En este paso de la red HFC, se utilizan los amplificadores distribuidores de red (Mini Briger) y los extensores de líneas.

Los dispositivos pasivos son los encargados de distribuir la señal al cliente final y no necesitan suministro de alimentación para su funcionamiento (acopladores, divisores y TAP de red).

2.3.1.4 Red de acometida a los abonados

Es el tramo final de la red HFC que interconecta al usuario final con la misma, es decir, es la distribución del servicio desde un elemento pasivo de la red hasta el interior del domicilio. Es una de las tareas esenciales por estética, buena instalación y de ahí depende que al usuario le llegue una buena señal.

La distribución hasta el domicilio depende que existan salidas disponibles en un TAP cercano al predio del usuario; de dicha salida hasta la fachada del domicilio se utiliza cable RG-6 o RG-11 dependiendo de la distancia. En el interior del predio se utiliza únicamente cable RG-6 y dispositivos pasivos como derivadores, splitters y acopladores con las mismas funciones que los de red pero específicos para redes domiciliarias. Para los diferentes servicios, se utilizan decodificadores de televisión, cable modem para la transmisión de datos y conexión a internet y los eMTA (Embedded Multimedia Terminal Adapter), equipo que permite al cliente servicio de internet y telefonía a través de la red HFC (Rosales, 2014).

2.4 La red GPON

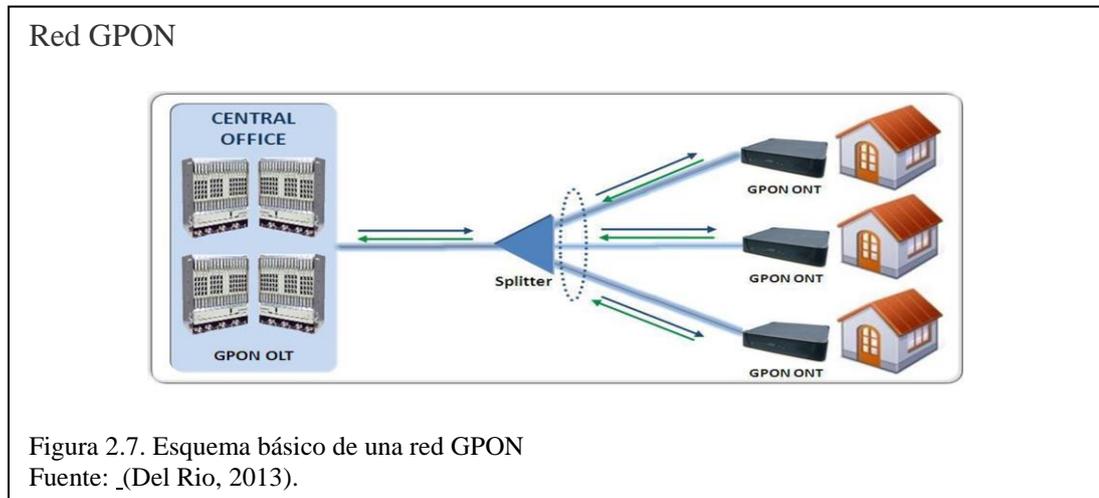
Las redes HFC resuelven los problemas de direccionamiento y ruidos en las redes coaxiales y permiten el acceso a servicios múltiples de televisión, telefonía e internet por un mismo medio físico de transmisión, pero frente a los bajos costos de mantenimiento, rendimiento y altas tasas de transferencias de datos, las redes GPON (Gigabit-capable Passive Optic Network) o Red De Fibra Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit, se imponen como tecnologías de avanzada.

GPON está basado en el estándar ITU-T G-984x, donde los parámetros de la red y requerimientos de protección para su cambio, están regidos por la Recomendación

G-984.1. Las especificaciones de los parámetros de la ODN (Red de Distribución Óptica) como velocidad de transmisión (2,488 Gbps en canal descendente y 1,244 Gbps en canal ascendente) y estructura de la capa física están dispuesta en la Recomendación G-984.2. La capa TC del sistema así como los registros y activación de las ONU/ONT por parte de la OLT se definen en la Recomendación. El principio de trabajo, el formato de mensaje OMCI y dispositivos de gestión OMCI están definidos por la Recomendación G-984.4.

2.4.1 Arquitectura de una red GPON

Las redes GPON utilizan un OLT (Optical Line Terminal), el cual conecta con varios ONT (Optical Network Terminal) usando una red óptica pasiva de distribución (ODN). Al ser una red de tipo punto a multipunto se evita la necesidad de llevar un número elevado de fibras hasta la oficina central o centro de distribución y se evita la utilización de elementos activos para amplificar la señal, siendo los divisores ópticos, los encargados de la ramificación de la red tal como se observa en figura 2.7.



La OLT es un elemento activo de donde parten las fibras ópticas hacia los usuarios a través de varios puertos de línea GPON, cada uno soportando hasta 64 ONT. Su función es agregar tráfico y encaminarlo hacia los clientes para ofrecer todos los servicios (Yague, 2014).

La ODN provee el medio de transmisión óptico para la conexión física entre el ONU y la OLT, a través de elementos ópticos pasivos.

La ONT es el equipo que se instala junto al servicio del cliente y su función es realizar la interface entre la red óptica y los equipos del cliente; está equipado con puertos Ethernet para servicios de datos, puertos E1 o POTS para servicio de telefonía y puertos de RF para servicios de video.

Para la transmisión de datos desde la OLT a las ONU, esta tecnología trabaja con dos longitudes de ondas para evitar colisiones. En la comunicación descendente (downstream) utiliza 1490 nm (nanómetros) y desde la ONU al OLT, comunicación ascendente (upstream), utiliza 1310 nm. Algo importante es que cuenta con la posibilidad de insertar una tercera longitud de onda de 1550 nm, para una conexión de video si existiera un cabezal analógico. Esto es posible porque GPON utiliza multiplexación por división de longitud de onda (WDM, Wavelength Division Multiplexing, por sus siglas en inglés), facilitando la comunicación bidireccional sobre una misma fibra monomodo.

En el sentido descendente, la red trabaja punto-multipunto donde la OLT envía una serie de contenidos que recibe el divisor, y este se encarga de repartirlo a todas las unidades ONT filtrando y enviando solo el contenido dirigido a cada ONU. Por otro lado, cada ONT puede descifrar únicamente el tráfico destinado a ella ya que la información viaja codificada. En este procedimiento se utiliza la multiplexación por división en el tiempo (TDM, Time Division Multiplexing) para enviar la información en diferentes instantes de tiempo.

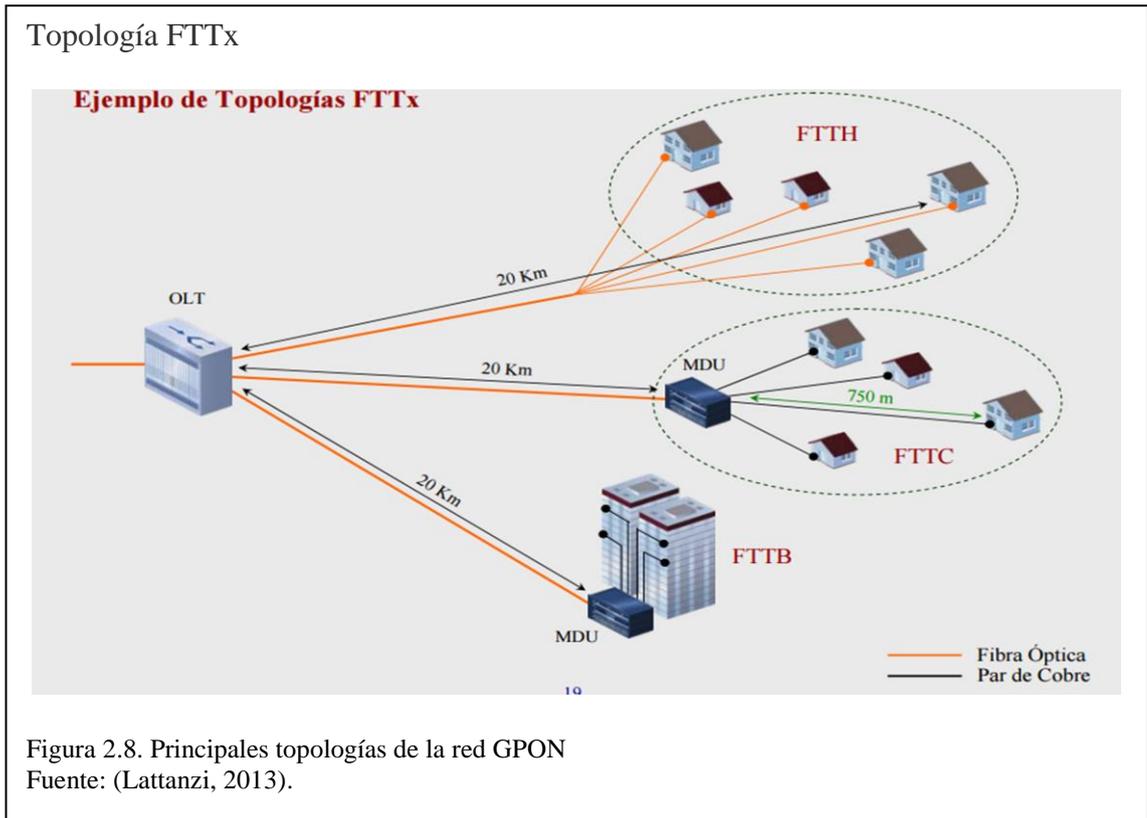
Por el contrario, en el ascendente, se comporta como una red punto a punto donde las diferentes ONT transmiten contenidos a la OLT, por este motivo también es necesario el uso de TDMA (Time Division Multiple Access) para que cada ONU envíe la información en diferentes instantes de tiempo, controlados por la unidad OLT. Al mismo tiempo, todos los usuarios se sincronizan a través de un proceso conocido como ranging y ecualización para que el acceso al medio de la ONT/ONU se produzca en el instante preciso, acorde con la distancia física que le separa de la OLT (Yague, 2014).

El método de encapsulamiento empleado en esta tecnología, es el protocolo GEM (GPON Encapsulation Method), que permite soportar cualquier tipo de servicio como Ethernet, TDMA, ATM aprovechando al máximo el ancho de banda disponible con protocolos de QoS (Quality of Service) y OAM (Operation Administration and Maintenance) que permiten una gestión dinámica del ancho de banda e integrar una red IP de extremo a extremo.

Al ser GPON una tecnología que permite una convergencia total de todos los servicios de telecomunicaciones sobre una única infraestructura de red basada en IP, permiten a los operadores reducir sus costos al usar la misma red para todos sus servicios, ofreciendo a los suscriptores, servicios más potentes como televisión digital de alta definición (HDTV), voz sobre IP (VoIP), internet de banda ancha sin restricciones de distancia y velocidad, juegos en red y video bajo demanda (VoD) con tarifas menores (Gutierrez, 2012).

2.4.2 Soluciones de acceso con fibra óptica (FTTx)

El término FTTx (Fiber To The x) se refiere a las distintas posibilidades de despliegue de fibra óptica que varían de acuerdo al alcance de la fibra y la proximidad al usuario final como una alternativa para alcanzar altas velocidades de transmisión de datos, utilizando la combinación de cables de fibra óptica desde la central de servicios a un punto más cercano a las viviendas de un grupo de abonados, alimentando a las unidades ópticas de red (ONU, Optical Network Units) en los sectores residenciales con la conexión final a través de la red telefónica de cobre, tal como se muestra en la figura 2.8.



Los elementos que determinan esta clasificación son el alcance, referido a la longitud de la fibra óptica, medio de transmisión referido a que se usa solo fibra óptica o se combina con par de cobre trenzado y componentes de red asociado si el equipo terminal es óptico o un concentrador DSL.

Las topologías básicas de FTTx son:

FTTH (home): en FTTH o fibra hasta el hogar, donde la fibra llega hasta el interior o fachada de la misma casa u oficina del abonado y se alcanzan velocidades mayores a 100 Mbps.

FTTB (building): fibra hasta el edificio, la fibra termina antes, típicamente en un punto de distribución intermedio MDU, en el interior o inmediaciones del edificio de los abonados. Desde este punto de distribución intermedio, se accede a los abonados finales del edificio o de las casas mediante la tecnología VDSL2 sobre par de cobre o Gigabit Ethernet sobre par trenzado CAT5 y se conectan hasta 32 abonados por fibra con velocidades de 100 Mbps.

FTTC (Fiber To The Curb): fibra hasta la acera. Se llega con fibra hasta un gabinete cercano al abonado, situado a una distancia de hasta 750 m de éste. La unidad terminal óptica o MDU (Multi Dwelling Units) sirve a varios clientes y se alcanzan velocidades desde 100 Kbps hasta 100 Mbps por suscriptor y se conectan de 10 a 100 abonados por fibra

FTTN (node o neighborhood): En FTTN o fibra hasta el vecindario, la fibra termina más lejos de los abonados que en FTTH y FTTB, típicamente en las inmediaciones del barrio. El desarrollo que se está dando a los FTTN les está permitiendo tener un nodo que puede manejar 400 o 600 clientes u hogares a velocidades de hasta 30 Mbps.

CAPÍTULO 3

DESCRIPCIÓN DE LA RED HFC EN EL GRUPO TV CABLE

En este capítulo se expone una reseña de la empresa TV CABLE, así como el diseño actual de su red de última milla en el nodo 2A del sector Bellavista en la ciudad de Quito.

3.1 Reseña del Grupo TV CABLE

El Grupo TV CABLE se funda en 1986, y en ese mismo año comienza la construcción de sus redes de distribución de televisión por cable; su crecimiento masivo le permitió llegar a todos los sectores urbanos de las principales ciudades del país, con lo más actualizado en tecnología y televisión mundial.

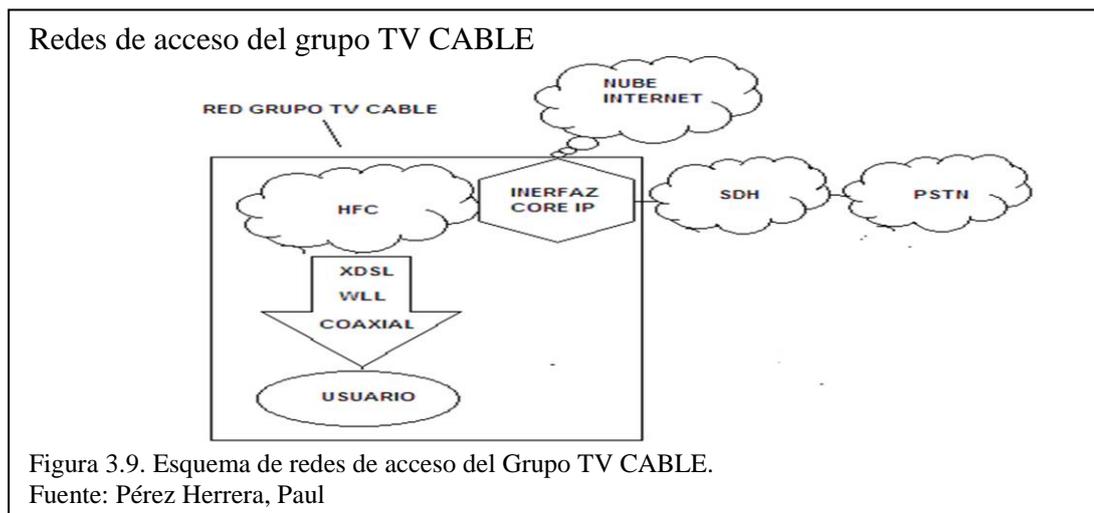
Surge de la fusión de cuatro empresas involucradas en diferentes ramas de las telecomunicaciones:

- TV CABLE en la televisión
- SETEL (Servicios de Telecomunicaciones) en la telefonía
- SATNET (Servicios Agregados y Telecomunicaciones) en internet
- SURATEL (Suramericana de Telecomunicaciones) en la transmisión de datos

En su proceso de expansión y mejora de la calidad del servicio a sus suscriptores, el Grupo TV CABLE desde 1995, comenzó a reemplazar los nodos ópticos unidireccionales por nodos bidireccionales con el objetivo de realizar un adecuado monitoreo de la red y equipos terminales e implementar varios tipos de servicios como televisión por cable con una amplia gama de canales nacionales, internacionales, de audio y canales HD (Hight Definition) y PPV (Pay Per View).

3.2 Descripción de la red actual del Grupo TV Cable

El Grupo TV CABLE cuenta con tres tipos de redes de acceso en la actualidad para brindar sus servicios como son: las redes HFC, las redes con tecnología xDSL y las redes WLL (Wireless Local Loop), esta última, es un enlace de comunicaciones inalámbricas utilizada en la última milla para brindar servicios de telefonía e internet de banda ancha a los usuarios, que no será abordada.



Como se observa en la figura 3.9, la red, cuenta con una red IP administrativa (Core IP), integrada por múltiples elementos que se encargan de establecer, entregar y liberar los servicios solicitados, funcionando como interfaz de conexión con otras redes como SDH y PSTN (Red Telefónica Pública Conmutada) para el servicio telefónico y la nube de internet para el acceso directo a este servicio.

Mediante esta red administrativa IP, la empresa Grupo TV CABLE accede a la nube IP de internet, mediante enlaces que se conectan a routers de borde del tipo Cisco Catalyst 7606, cuya función es enlazar sistemas autónomos con las redes troncales de internet.

Los cables submarinos involucrados en este proceso son el Panamericano (Pan-Am) con una extensión de 14.490 km, una capacidad de 200 Gbps desde EE.UU hasta Chile y el SAM-1 construido en el 2000 con una extensión de 25.000 km y una capacidad inicial de 40 Gbps, el cual llegó a Ecuador en el 2007 y en el 2012 amplió su capacidad a 500 Gbps. El punto de acceso a este cable submarino es Punta Carnero en la provincia de Santa Elena y se accede a través de los proveedores TIWS (Telefónica Internacional) y TINET (CABLE&WIRELESS).

Para conectarse a estas fibras, TV CABLE construyó su propia ruta de fibra óptica desde la cabecera principal en Guayaquil hasta Punta Carnero; en esta cabecera se

encuentran dos router de borde Cisco Catalys 7606 conectado cada uno a un proveedor por ser el principal acceso a la nube de Internet IP.

TV CABLE llega con sus servicios, mediante rutas de fibra óptica, a sectores geográficos que son provistos de los servicios de televisión, internet y telefonía denominados nodos.

El área de estudio en este trabajo es el Nodo 2A de Bellavista, cuya nomenclatura significa que pertenece a la ruta 2 de fibra óptica de Quito y la letra A significa la ubicación del nodo dentro de dicha ruta (TV CABLE).

3.3 Descripción de la red HFC del Nodo 2A de BellaVista

El Grupo TV CABLE tiene un 62% de penetración en los servicios de telecomunicaciones en el sector de Bellavista, según información de la base de datos de esta empresa; a través de su moderna infraestructura de fibra óptica, permite brindar servicios de banda ancha e internet de alta velocidad en el ámbito corporativo, sirviendo a instituciones financieras, agencias de viajes e industrias ubicadas en este sector, así como, a los más de 2000 suscriptores residenciales que se alimentan de este nodo y son el objetivo de estudio del presente trabajo.

La arquitectura de esta red está compuesta por una cabecera (HeadEnd), la red troncal, la red de distribución y la red de acometida.

3.3.1 Cabecera

La cabecera es el área más importante de la red, ya que es donde se originan las señales que el Grupo TV CABLE distribuye a sus suscriptores. En el Nodo 2A de Bellavista, a la altura de la calles Mariano Calvache y Lorenzo Chávez, se encuentra ubicada la cabecera principal del Grupo TV CABLE en Quito.

3.3.1.1 Servicios de Televisión

Actualmente esta empresa brinda el servicio de televisión en modalidades como televisión digital encriptada con alrededor de 200 canales SD entre nacionales e internacionales, 60 canales HD y 50 canales de música y dicha señal de video se genera con el estándar ATSC (Advanced Television System Committee).

El Grupo TV CABLE utiliza básicamente cuatro métodos para la recepción de las señales de televisión en la cabecera, que serán distribuidas a los suscriptores.

1. Recepción por aire de señales abiertas.

Las señales abiertas, son aquellas generadas por una estación local, las cuales no están codificadas y pueden ser recepcionadas por cualquier televisor. En el caso del Grupo TV CABLE, en el exterior de la cabecera ubicada en el 2A de Bellavista, están ubicadas dos antenas direccionales del tipo Yagui UDA para garantizar los óptimos niveles y calidad de las señales que ingresaran a los equipos de procesamiento de video como el procesador heterodino de canales Pico Macom PS600 y el OTR-3500 y sus salidas son conectadas a un combinador de señales cuya salida es entregada a la entrada de los transmisores ópticos para su distribución. De esta forma son recepcionadas las señales de estaciones como Gama TV, TC Canal, Teleamazonas, Ecuavisa y Canal UNO.

2. Recepción directa mediante enlaces de fibra óptica.

Este método de transmisión directa es utilizado para la transmisión de eventos de gran audiencia, deportivos, políticos de gran interés nacional, evitando el riesgo de sufrir alguna interrupción hacia sus suscriptores por problemas en la transmisión y consiste en la instalación de un modulador de señales analógicas en la estación de televisión nacional enlazando la cabecera de la operadora de cable y la estación a través de fibra óptica. En la cabecera del Grupo TV CABLE, se ubica un receptor óptico que se encarga de transformar la señal de luz que viaja a través de la fibra, en señal de radiofrecuencia para que pueda ser inyectada al demodulador (OTD-3000) y obtener las señales de video y audio en banda base; estas señales son trasladadas en frecuencia al pasar por el procesador ágil (OTR-3500) y combinadas para su inyección a los transmisores ópticos.

3. Recepción vía satélite.

Es el método de recepción más utilizado, y en este interviene la estación terrena transmisora que corresponden a los diferentes proveedores de contenidos que son las empresas que generan, producen o distribuyen los canales de televisión; el satélite que es un repetidor de señales de radio ubicado en el espacial y la estación terrena

receptora que está ubicada en la cabecera del Grupo TV CABLE y recibe las señales transmitidas por las estaciones terrenas transmisoras.

En la cabecera del Nodo 2A de Bellavista, la empresa cuenta con cinco antenas receptoras apuntando a cinco satélites diferentes para receptionar las señales de los canales de televisión internacionales que serán transmitidos posteriormente a los suscriptores.

Desde esta cabecera, se utilizan tres infraestructuras de transmisión de la señal de televisión a partir de la recepción vía satélite: transmisión de canales analógicos, canales de definición estándar y canales de alta definición.

- Transmisión de canales analógicos

Para procesar las señales digitales, recibidas a través de las antenas satelitales en la cabecera de este nodo, y transmitir las en una infraestructura analógica, se utiliza un proceso de codificación y modulación.

Las señales de audio y video provenientes de los receptores satelitales pertenecientes al Grupo TV CABLE, son inyectadas a un codificador-aleatorizador (MVP II del fabricante General Instruments), el cual procesa la señal de manera que solo pueda ser interpretada por los decodificadores proporcionados a los usuarios por la empresa. La señal en IF (Frecuencia Intermedia) llega a la entrada del modulador (C8U del fabricante General Instruments), y es trasladada a un rango de frecuencia de RF comprendido entre 50 a 870 MHz, utilizando modulación por amplitud (AM) para la portadora de video y modulación en frecuencia (FM) para el audio. Esta señal modulada se inyecta en un combinador de señales para ser inyectada a los transmisores ópticos.

- Transmisión de canales en definición estándar (SD)

En este proceso la codificación corre a cargo de un equipo EGT (del fabricante ARRIS), que se encarga de digitalizar las señales de audio y video provenientes de los receptores satélites y comprimirlas usando el estándar MPEG-2 para ser transportadas en un flujo hasta el multiplexor. El método utilizado por el Grupo TV CABLE es el de cascadas de codificadores donde cada receptor satelital está asociado a un codificador y sus señales de audio y video llegan a su codificador EGT

respectivo a través de una interfaz ASI, la cual se digitaliza, se comprime y se va conformando un flujo de transporte en formato MPEG-2 que se va realimentando, secuencialmente, en otro codificador hasta llegar a ocho, que es el número máximo que puede tener una cascada.

Las salidas de cada octavo codificador de cada cascada, serán inyectadas a la entrada de un multiplexor TMX-2010 (del fabricante Motorola), de manera que a la salida del mismo, se obtenga un flujo equivalente a la cantidad de canales que se brinda a los suscriptores. El flujo resultante de la multiplexación, es inyectado a un equipo denominado SEM (Smartstream Encryptor Modulator), que encriptará este flujo de transporte, permitiendo solo a sus suscriptores, a través de sus decodificadores, acceder a los paquetes de televisión contratados y la salida de RF de los SEM es conectada a un combinador de señales que se encarga de distribuir todas las señales de televisión generadas en la cabecera, a la red de distribución HFC.

- Transmisión de canales en alta definición (HD)

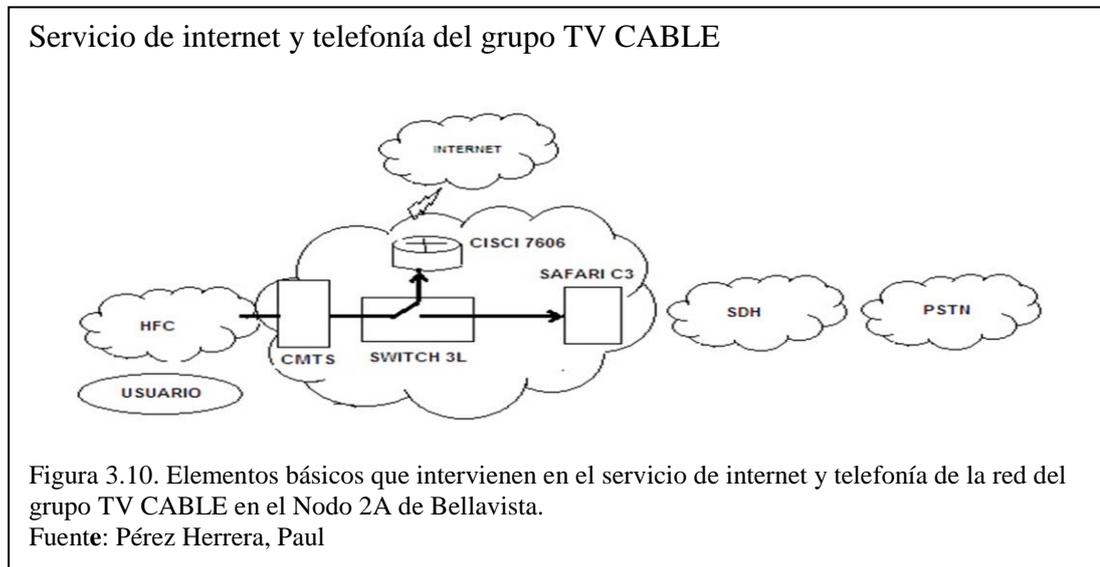
A diferencia de la infraestructura de definición estándar, donde las señales salen del receptor satelital a través de una interfaz ASI, en la infraestructura de alta definición, las señales salen a través de una interfaz Ethernet, por lo que el tráfico es MPEGoIP. Las salidas Ethernet de cada receptor satelital son conectadas a un switch de capa 2 Cisco Catalyst 2960 para concentrar todas las señales de los canales de alta definición y llevarlas desde un mismo puerto Ethernet hasta el equipo SEM para su encriptación, modulación asignación de canales y conversión de frecuencia a una nueva portadora de RF e insertarla en el combinador de señales para su distribución.

4. Señales generadas por el Grupo TV CABLE.

Esta empresa genera su propia programación a través de un canal que informa acerca de las novedades y promociones del grupo; el contenido de este canal se genera a partir de un servidor de archivos cuya información se encuentra en un formato MPEG y a través de un convertidor de formato, es convertida a la norma NTSC (National Television System Committee) para su transmisión.

3.3.1.2 Servicios de internet y telefonía

Los servicios de internet y telefonía se ofrecen a los suscriptores a través del estándar DOCSIS y en la actualidad trabaja sobre el estándar DOCSIS 3.0 alcanzando velocidades de hasta 100 Mbps.



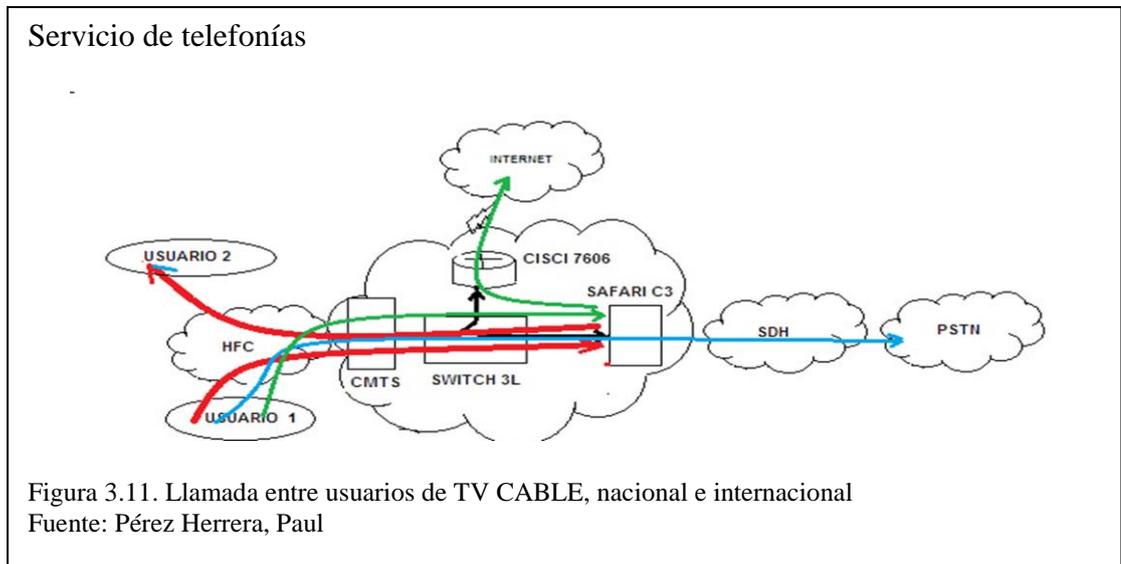
En la figura 3.10 se observan los elementos básicos que intervienen en los servicios de internet y telefonía de la red en el Nodo 2A de Bellavista donde la red administrativa o Core IP, es el núcleo de la red IP y está formada por elementos como CMTS, un conmutador de servicios (Switch 3L), un softswitch Safari C3 y un router de borde Cisco Catalys 7606.

Para brindar el servicio de internet, se accede a la nube IP de internet a través de los proveedores TIWS y TINET, conectándose a las fibras de los cables submarinos que llegan a Punta de Carnero, en la provincia de Santa Elena, por medio de dos routers de bordes Cisco Catalys 7606, ubicados en la cabecera principal de Guayaquil.

La cabecera ubicada en el nodo 2A de Bellavista, se enlaza a la nube IP de internet, a través de dos enlaces de 10 Gbps, uno principal y otro redundante, conectados a los router de bordes 7606 de la cabecera principal ubicada en Guayaquil.

Actualmente se cuenta con un nodo de contenido de Youtube con capacidad de 14 Gbps, un nodo de Netflix con una capacidad de 12 Gbps y un nodo Akamai con una capacidad de 5 Gbps.

Para el caso del servicio de la telefonía, el equipo que se encarga de todo el proceso es el softswitch Safari C3.



Como se observa en la figura 3.11, si un abonado levanta el auricular del teléfono para realizar una llamada a un mismo abonado de la red del grupo TV CABLE (graficado con líneas rojas), el softswitch devolverá el tráfico, que es puramente IP, a través del CMTS, pasando por la red HFC hasta llegar al teléfono del otro usuario. En el caso que la llamada sea aun usuario que se encuentra fuera de la red de TV CABLE pero dentro del país (graficado con línea azul), el softswitch convertirá el tráfico, de IP a TDM (Time Division Multiplexing), que usa la telefonía convencional, y lo dirigirá a través de la red SDH hasta la PSTN que es la red pública nacional. Si la llamada es internacional (graficado con líneas verdes), el softswitch detectara los prefijos correspondientes y dirigirá el tráfico IP, a través de la red administrativa, hasta el router de borde 7606, el cual enrutará los datos hasta la nube IP de internet.

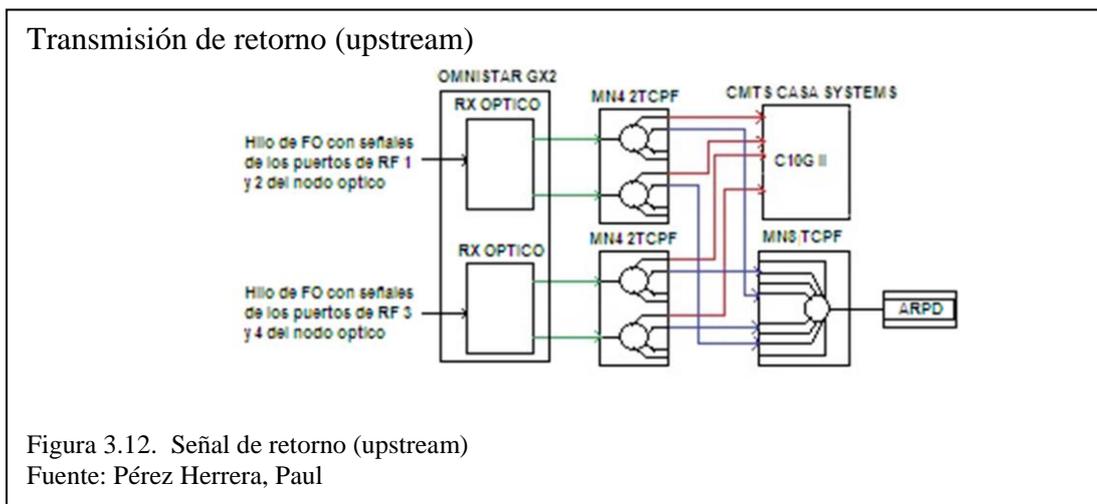
Para brindar estos servicios, la cabecera ubicada en el nodo 2A de Bellavista, está equipada con cuatro CMTS del proveedor Casas System y seis del proveedor ARRYYS con acceso extendido por cable para el canal de bajada y soporte de multidifusión de video IP y agrupación de canales bajo el estándar DOCSIS 3.0. Cada uno de estos elementos, están equipados con 12 ranuras para tarjetas CAM (Cable Access Module) que proveen la conectividad desde y hacia el cliente, a través

de interfaces RF de subida y de bajada. Cada tarjeta cuenta con 8 interfaces de bajada y 16 de subida.

Como el tráfico de bajada (downstream) de un nodo HFC, está asociado a una interfaz RF de bajada en un CMTS y el tráfico de subida (upstream) está asociado a cuatro interfaces de subida en un CMTS, la cabecera del grupo TV CABLE en este nodo, puede soportar 480 nodos ópticos con los CMTS que tiene implementados actualmente.

3.3.1.3 Transmisión y recepción señales de bajada y subida

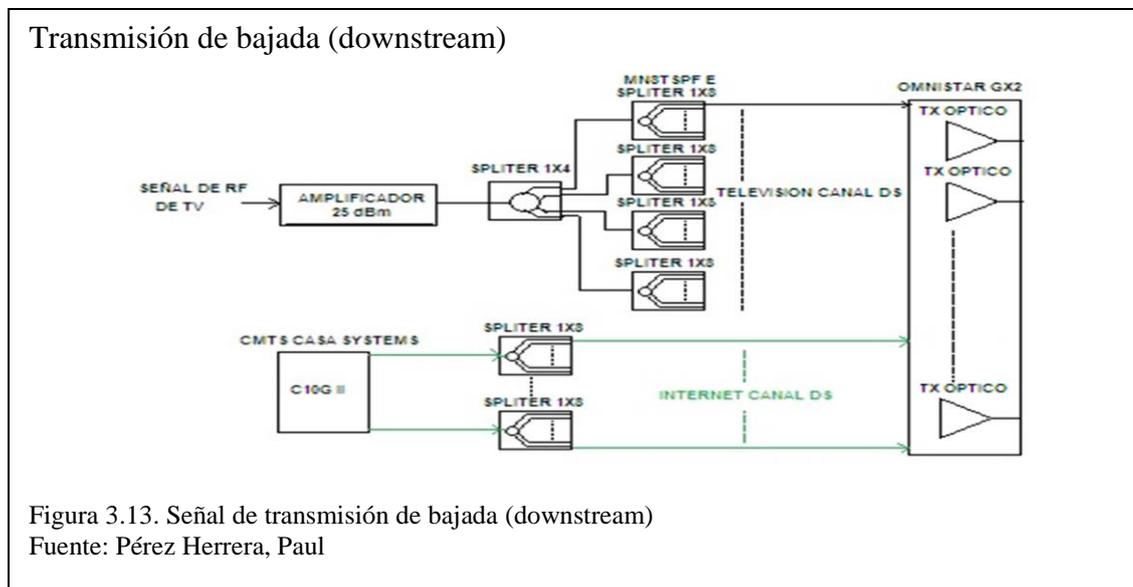
Como se muestra en la figura 3.12, la señal de televisión, generada en la cabecera, llega a un amplificador de RF de 25 dBm de ganancia y se inyecta a un splitter de 4 vías (MN4TSPF), y cada salida de dicho divisor, es inyectada a la entrada de un divisor de 8 salidas (MN8TSPF-E).



Cada salida de estos últimos divisores de 1x8, se conecta a un transmisor óptico independiente, ubicados en la ranuras del chasis Omnistra GX-2 (del fabricante Motorola), para proveer la señal de transmisión de bajada de TV (downstream) hacia los nodos ópticos.

De forma similar, la señal de bajada de internet, proveniente de los puertos de RF de una tarjeta de downstreams de los CMTS, es inyectada a un splitter que se encarga de generar tantas señales como sean necesarias, en dependencia del número de nodos

que se deseen alimentar. Cada salida de este divisor se conecta a un transmisor óptico, de los ensamblados en el Omnistar GX-2, para proveer la señal de transmisión de bajada de internet (downstream) hacia los nodos ópticos.



Como se muestra en la figura 3.13, por cada nodo óptico se obtienen cuatro señales de retorno correspondientes a cada salida de RF de dichos nodos. Las señales de los puertos de RF de salida 1 y 2 de un nodo óptico, se multiplexan y llegan a un receptor óptico, ubicado en el chasis Omnistar GX-2, a través de un hilo de fibra óptica. De igual manera las señales de las salidas de RF 3 y 4, son multiplexadas y llegan al otro receptor óptico a través de otro hilo de fibra óptica independiente.

A la salida de cada receptor óptico, se obtienen dos señales de RF, correspondientes a los ramales que venían multiplexados en cada hilo de fibra óptica; estas, son inyectadas a un combinador doble de cuatro vías, generando dos señales por cada señal de ingreso. Una señal va hacia la tarjeta upstreams de un CMTS y la otra se combina en el MN8 TCPF para obtener las señales de retorno de televisión que son inyectadas a un demodulador ARPD (Advanced Return Path Demodulator), en caso que exista un retorno de datos, como es el caso de los canales PPV, o que se generen datos desde el decodificador a la cabecera. De este modo se concluye que el chasis Omnistar GX-2, ubicado en la cabecera, cuenta con dos receptores ópticos y un transmisor óptico por cada nodo.

3.3.2 Red Troncal

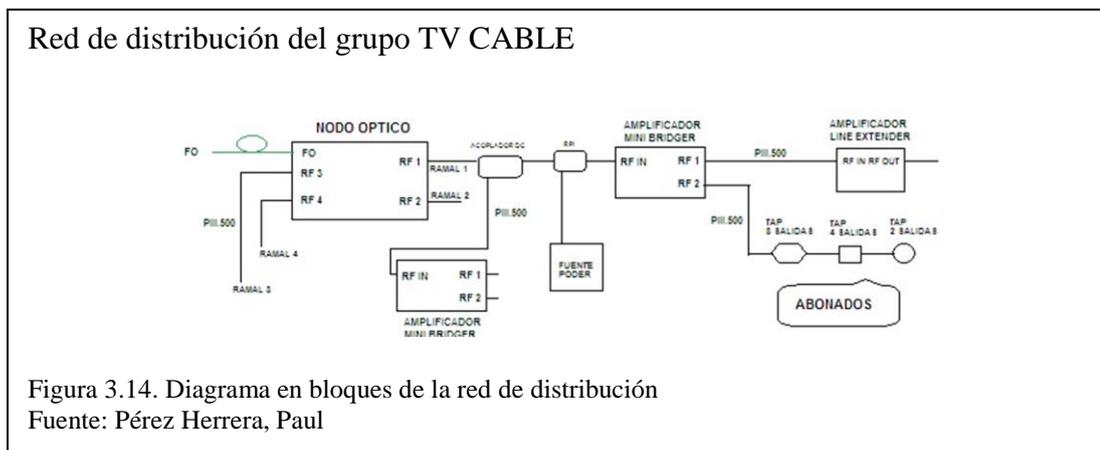
La red troncal asociada a la infraestructura HFC del grupo TV CABLE, está formada básicamente por fibra óptica; comienza en el proceso de transmisión y recepción óptica en el chasis GX-2 y termina en la entrada del nodo óptico. Los transmisores ópticos ensamblados en los chasis GX-2 del grupo TV CABLE en la cabecera del nodo 2A de Bellavista, son de la serie CHP-DFX 9590, CHP-DFX1 9193, CHP-C2 y CHP-MWV5 del fabricante ARRIS, y los receptores ópticos CHP-D2RRX del mismo fabricante.

En el caso de la cabecera del nodo objetivo de estudio en este trabajo, parten cuatro cables de fibra óptica de 128 hilos para alimentar los 139 nodos existentes en la ciudad de Quito. Cada nodo es alimentado con tres hilos de fibra óptica, de los cuales uno se utiliza para la transmisión del canal de bajada downstreams y dos se utilizan para la recepción del canal de retorno en la cabecera.

Para brindar sus servicios, específicamente en el nodo 2A de Bellavista, se utilizan tres hilos de esta fibra monomodo para alimentar el nodo óptico SG4000, del fabricante Motorola, ubicado en la cabecera. A partir de aquí se inicia toda la distribución a través de cable coaxial PIII.500 para cubrir el área de interés.

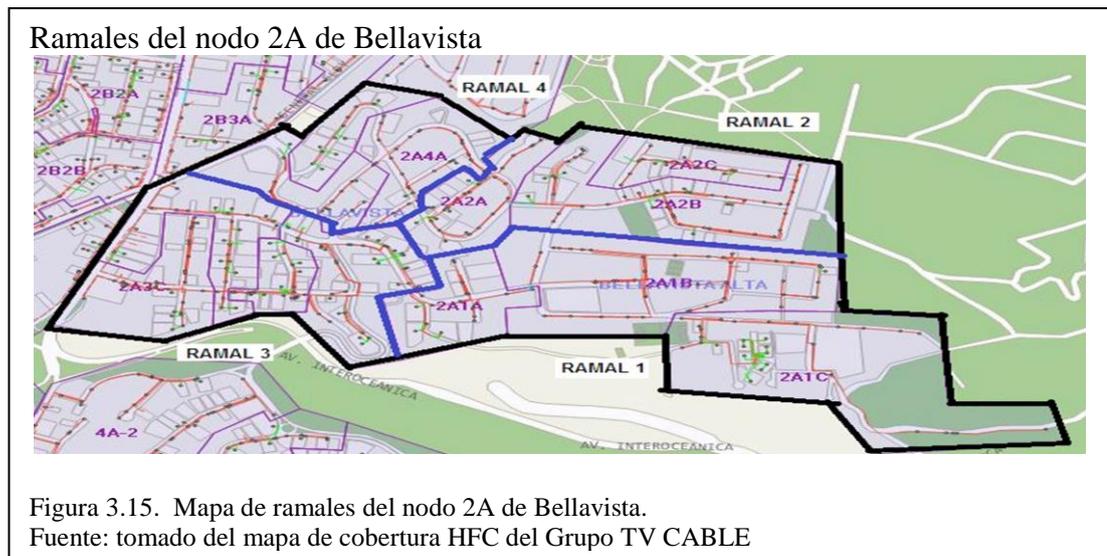
3.3.3 Red de distribución

Este tramo de la red se inicia en el nodo óptico y llega hasta el TAP, que constituye la última derivación de la señal hacia los predios del cliente. Está conformada por una serie de elementos activos y pasivos interconectados mediante cable coaxial PIII.500 en tipología de bus, tal como se muestra en la figura 3.14.



El primer elemento que encontramos en esta parte de la red es el nodo óptico cuya función es lograr la comunicación entre la cabecera y los equipos terminales, instalados en los predios del abonado, convirtiendo las señales ópticas en señales electromagnéticas de radiofrecuencia (RF) y viceversa.

La señal de RF es distribuida a través de los cuatro puertos de salida de RF del nodo óptico, el sector geográfico que es provisto de los servicios de televisión, internet y telefonía a través de uno de los puertos coaxiales del nodo, se le denomina ramal.



Como se observa en la figura 3.15, el sector de Bellavista, está seccionado en cuatro ramales, conectados cada uno a un puerto de salida de RF del nodo óptico SG4000 de Motorola. A la salida de cada puerto de RF se conecta un acoplador DC que posee una entrada y dos salidas de RF. Una de las salidas es directa y mantiene la amplitud de la señal de entrada para darle continuidad a ese ramal. La otra salida es atenuada y se utiliza para bifurcar la señal hacia diferentes zonas del nodo.

Esta sección de la red se distribuye a través de varios kilómetros de cable coaxial por lo que debe ser constantemente amplificada según los requerimientos de señal de cada tramo de la red. Para esto, se utilizan amplificadores de señal para compensar las atenuaciones que sufre la señal a lo largo de su trayecto a través del cable coaxial. Los tipos de amplificadores son:

BLE 100 (Line Extender): Amplifican la señal en un rango de 0-870 MHz, cuenta con una entrada, una salida y una ganancia de 30 dB.

MB 100 (Mini-Bridge): Cuenta con un puerto de RF de entrada y tres de salida, aunque suele utilizarse solo dos de sus salidas con igual nivel de potencia; su ganancia es de 35 dB sobre un nivel de entrada de 13 dB.

MBV3 100 (Mini-Bridge): Cuenta con un puerto de RF de entrada y tres de salida, pero se utilizan las tres salidas con igual nivel de potencia para distribuir la señal; su ganancia es de 35 dB sobre un nivel de entrada de 13 dB.

El grupo TV CABLE, en los ramales de su red, utilizan cascadas de hasta ocho amplificadores máximo para evitar la amplificación del ruido; debido a que la pérdida del cable PIII.500 es de 7,68 dB por cada 100 m a la frecuencia de 865 MHz, la distancia entre amplificadores, no debe exceder los 300m. En el caso del grupo TV CABLE se ubican a 150 m de distancia como norma de la empresa.

Estos elementos activos necesitan alimentación eléctrica para su funcionamiento y para esto se utilizan fuentes de alimentación ALPHA XM2 que se alimentan de los 110 VAC del suministro eléctrico, y entregan a su salida entre 60 y 90 V en una onda semicuadrada. Esta equipa con un módulo transformador para obtener el voltaje de salida, un módulo inversor para que en caso de falla del sistema eléctrico nacional, convertir el voltaje de corriente directa de las baterías en voltaje de corriente alterna y no le falte la alimentación a los elementos activos de la red, con una autonomía de 8 horas; el tercer módulo es el de comunicación que permite el monitoreo de las fallas de la fuente.

Para insertar la alimentación a la red HFC se utiliza el insertor de potencia (RPI), dispositivo pasivo que cuenta con dos puertos que funcionan como entrada o salida en todo el rango de frecuencia de las señales combinadas de voltaje y RF, y dos que se utilizan para insertar el voltaje de alimentación proveniente de la fuente.

El elemento pasivo que sirve de interface entre la sección de distribución de la red y la acometida del cliente es el TAP que cuenta con una entrada y una salida directa de

RF, y varias salidas TAP o atenuadas, que se conectan a la acometida del usuario. Los utilizados por el grupo TV CABLE, son los TAP de 2, 4 y 8 salidas con atenuaciones de 26, 23, 20, 17, 14 y 11 dB de atenuación; en el caso de los TAP de 2 y 4 salidas la atenuación es de 8 dB y los de 2 salidas la atenuación es 4 dB. Existen TAP que poseen solo una entrada, las salidas atenuadas y no cuentan con salida directa y constituyen el último elemento de la red y son denominados TAP terminal.

3.3.4 Red de acometida

Es el último tramo de red desde el TAP hasta los predios del cliente, se utilizan elementos pasivos como TAP, divisores y acopladores específicamente para instalaciones domiciliarias, de menor tamaño y potencia. El cable que se utiliza en esta acometida es el RG-6 y en caso de distancias mayores a 50 m se utiliza el RG-11 de menor pérdida por metros de distancia a la frecuencia de trabajo que el RG-6.

Los elementos principales en esta sección de la red, son los equipos terminales cuya función es brindar, a los usuarios, los servicios de televisión, internet y telefonía. Estos son:

Cable modem: dispone de un puerto de RF de entrada que le permite conectarse a la red de distribución, a través de un cable RG-6. Está equipado con un puerto RJ45 para conectar una computadora y acceder al servicio de internet; el más utilizado es el Motorola SB5100.

Terminal Adaptador de Multimedia (MTA): al igual que el cable modem posee un puerto de RF de entrada que le permite conectarse a la red de distribución, a través de un cable RG-6, cuenta con un puerto RJ45 para acceder al servicio de internet y un puerto RJ11 que le permite conectar un teléfono y acceder al servicio de telefonía; el más utilizado es eMTA ARRIS TM502G.

Decodificador: permite decodificar la señal de televisión que se transmite a través de la red HFC y dispone de un puerto de RF de entrada que le permite conectarse a la red de distribución, a través de un cable RG-6 o RG-11. Puede contar con una salida de RF, audio/video o HDMI para conectarse a distintos modelos de telerreceptores y brindar las señales en banda base, definición estándar o alta definición.

CAPÍTULO 4

DISEÑO DE LA MIGRACIÓN DE LA RED DE ÚLTIMA MILLA A GPON DEL GRUPO TVCABLE DEL NODO 2A - BELLAVISTA

Para hacer frente a las nuevas tecnologías se plantea conservar la red de acceso actual de datos HFC y migrar la última milla a tecnología GPON para poder alcanzar altas velocidades para ofertar más servicios, mejorando la seguridad, la calidad de los servicios y la escalabilidad ya que muchos usuarios desean velocidades de transmisión en el orden de los Gbps lo que permite mejorar los servicios actuales e incrementar nuevos servicios.

1.1 Consideraciones del diseño

El diseño de esta red es un proceso que culminará, en un futuro, con la instalación y el funcionamiento exitoso de la misma, definiendo el ámbito geográfico del sector, el equipamiento necesario y la red de fibra mediante la cual dicho equipamiento funcionará; además esta red debe ser capaz de interconectarse con los nodos de fibra óptica existentes para garantizar redundancia en el servicio y con las redes por cableado de cobre ya existentes para minimizar los costos. A continuación se enuncian las consideraciones a tomar en cuenta en este diseño.

- El diseño de este trabajo abarca la red física desde la OLT hasta las ONT ubicadas en el predio del usuario excluyendo del mismo la etapa de gestión de servicios.
- Se utilizará la tecnología FTTH para los condominios y hogares de fácil acceso y en el caso de edificios se utilizará la tecnología FTTB aprovechando las redes por par trenzado ya existentes con el fin de minimizar los costos con el uso de MDU.
- Se utilizará la seccionalización del sector ya existente en la base de datos del Grupo TV CABLE para un mejor control de los usuarios existentes.
- La topología será de tipo árbol para garantizar la escalabilidad y proyecciones de usuarios futuros dejando reservas de fibras para estos fines.
- La OLT se instalará en los predios del Headend, ubicado en el nodo 2A del sector de Bellavista, donde se cuenta con suficiente espacio y existen las condiciones técnicas necesarias para su funcionamiento.

- El Grupo TV CABLE cuenta, en su HeadEnd, con un transmisor de video en la longitud de onda de 1550 nm con un multiplexor WDM (EPSO103 del fabricante Huawei), que permitirá combinar las tres longitudes de ondas involucradas en el proceso: 1310 nm para el canal upstream desde la ONT hasta la OLT, 1490 nm para el canal downstreams desde la OLT hasta las ONT y 1550 nm para entregar la señal de video al usuario final a través del canal de bajada. Hay que destacar que a partir de aquí la tecnología a utilizar en el resto del diseño va a ser Huawei.
- Se aprovechará al máximo la ruta de fibra óptica monomodo ya instalada en el sector, por parte del Grupo TV CABLE, del tipo ADSS que cumple con la Recomendación G.652 de UIT utilizando una razón de división de 1:64 garantizando un ancho de banda por usuario de 38,25 Mbps.

4.2 Demanda de usuarios y servicios

Para la proyección de la demanda se hace uso de los datos existentes en el sistema de base de datos del Grupo TV CABLE habilitado para el sector en estudio, analizando la evolución de usuarios desde el año 2014 a la fecha.

4.2.1 Demanda de usuarios

En la tabla 1 se muestran datos tomados del Instituto Nacional de Estadísticas y Censo del 2014 a la fecha, que indican un crecimiento paulatino del nivel poblacional en este sector; paralelo a este crecimiento, se observa un aumento del número de hogares con servicio de TV CABLE y una disminución del número de hogares sin el mismo, lo que se traduce en un aumento del porcentaje de penetración de la empresa en este sector llegando a un 62% en la actualidad y quedando un total de 954 usuarios potenciales que con la migración de la red a GPON pueden optar por los servicios y beneficios de la nueva red convirtiéndose así, en uno de los factores que justificaría la migración de la red actual a GPON.

Tabla 4.1
Porcentaje de penetración de TV CABLE en el sector

Año	INEC	Hogares contados por TV CABLE	Hogares con TV CABLE	Hogares sin TV CABLE	% de Penetración
2014	2326	2326	1125	1201	48
2015	2437	2437	1372	1065	56
2016	2528	2528	1574	954	62,2

4.2.2 Demanda de servicios

Actualmente el Grupo TV CABLE brinda servicio de televisión de hasta 200 canales en definición estándar (SD), que ya es considerado un estándar de baja calidad, y hasta 60 canales en alta definición (HD) fragmentados en paquetes que solo posibilitan la transmisión simultánea de 10 canales en HD, y se debe pagar un valor extra por este paquete. En el caso del servicio, Triple Pack el paquete de internet ofrecido en todos los casos es el básico de 9 Mbps, y el de telefonía, puede variar desde el plan 6.20 Residencial al plan 10 Residencial, no siendo posible aumentar el paquete de internet, esto es debido a la limitación de ancho de banda de la red HFC. Bajo estas condiciones la demanda actual de los servicios en el sector, se muestra en la tabla 4.2.

Tabla 4.2
Demanda de servicios de TV, Telefonía e Internet en el sector

Ramal	Hogares con servicio TV CABLE	Televisión	Internet	Telefonía
2A1	313	273	319	124
2A2	342	291	224	105
2A3	630	588	618	231
2A4	289	185	225	128
Total	1574	1337	1386	588

En la tabla 4.2 se muestran los servicios por ramales en el sector del nodo 2A de Bellavista según datos actualizados julio a 2016 de la empresa Grupo TV CABLE y de esta se derivan los siguientes detalles de los servicios:

- 351 usuarios con Triple Pack
- 986 usuarios con Doble Pack de TV + Internet

- 51 usuarios con Doble Pack de Internet +Telefonía
- 186 usuarios con Telefonía

Según encuestas telefónicas realizadas desde el Call Center de la empresa a los usuarios de este sector, los mismos manifiestan la baja calidad de la señal de Televisión y que para acceder a los pocos canales en HD deben pagar una cuota extra, causa por la cual buscan amparo en otras operadoras de cable como CNT o DIRECTV; aún así el 84 % de los usuarios aboga por este servicio. Para el caso del servicio de internet, lo tienen el 88 % de los clientes en el sector, que prefieren un mayor ancho de banda para la conectividad de este servicio; el servicio de telefonía lo pretenden solo el 37 % de los usuarios y manifiestan que debería incrementarse a más de un servicio telefónico en los paquetes ofertados por la empresa. Estas limitaciones en los servicios anteriores fundamentan una justificación para la migración a red GPON de la actual red del Grupo TV CABLE.

Con la migración a GPON se pueden ofertar un mayor número de canales de alta definición mediante la implementación de la IPTV y video bajo demanda donde la señal de video es transformada por la cabecera en una cadena de datos IP que se transmite sobre el mismo enlace IP como datos para acceso a internet de banda ancha. Además puede aumentarse el ancho de banda para acceso a internet y ofertar hasta tres servicios de telefonía en un paquete a un usuario eliminando las quejas de los clientes presentadas en las encuesta telefónicas.

Por ejemplo, la recomendación G982.2 define que la velocidad del canal de bajada de un puerto PON es 2,448 Gbps, y usando una razón de división de 1:64 como lo define la recomendación G982.1, así se tendría:

$$BW_{usuario} = Velocidad_{Puerto PON} \div Razón de División \quad (4.1)$$

$$BW_{usuario} = 2,448 Gbps \div 64 = 38,25 Mbps \text{ para cada usuario en ese puerto PON}$$

Tabla 4.3
Ancho de banda por servicios

Servicios	AB Upstreams	AB Downstreams
IPTV (1 canal)	100 Kbps	8 Mbps
Internet	1 Mbps	9 Mbps
Telefonía (1 servicio)	100 Kbps	100 Kbps

Teniendo en cuenta el ancho de banda por servicio individual como IPTV con señales en alta definición, internet de alta velocidad y telefonía usando VoIP de la tabla 4.3 y que cada usuario cuenta con un ancho de banda de 38,25 Mbps, es posible sugerir el siguiente plan de servicios:

Tabla 4.4
Plan de servicio sugerido

Servicio	AB Upstreams	AB Downstreams
IPTV (2 canales)	300 Kbps	16 Mbps
Internet	1 Mbps	14 Mbps
Telefonía (3 servicio)	300 Kbps	300 Kbps
AB Total	1,6 Mbps	30,3 Mbps

Tomando en cuenta los datos de la tabla 4.4 y considerando que las señales de televisión, en este caso IPTV, se transmiten de forma simultánea a todos los usuarios por el mismo ancho de banda (broadcast) y no se toma en cuenta para cada cliente individual, se pueden ofertar 60 señales de TV (IPTV) en transmisión simultánea, cada una de 8 Mbps ocupando un ancho de banda de 480 Mbps.

Bajo estas condiciones, el ancho de banda de bajada de la propuesta es menor que el ancho de banda disponible del puerto PON cuando los 64 usuarios utilicen todo el ancho de banda al mismo tiempo:

$$BW_{DS} = [Cantidad_{canales} * BW_{canal}] + [Cantidad_{usuario} * BW_{total}] \quad (4.2)$$

$$BW_{DS} = [60 canales * 8 Mbps] + [64 usuarios * 30,3 Mbps] = 2419,2 Mbps$$

Debe cumplirse que

$$BW_{DS} \leq Velocidad_{puerto PON} \quad (4.3)$$

$$2419,2 Mbps \leq 2448 Mbp$$

Este resultado garantiza que un puerto PON puede soportar 64 usuarios con el plan de servicios que se propuso, el cual ofrece un número mayor de canales en HD, una mayor velocidad de conexión a internet y triplica el servicio de telefonía dándole solución a las limitaciones que planteaban los usuarios en las encuestas telefónicas.

4.3 Dimensionamiento de la red

El sector objeto de estudio en este trabajo, está limitado geográficamente por la Avenida General Eloy Alfaro por el este, por el sur con la Avenida Interoceánica y por el norte y el este con áreas verdes pertenecientes al Parque Metropolitano Bellavista cubriendo un área de 6 km², por lo que nunca se excederá la distancia máxima, de 20 km, entre la OLT y la ONT recomendada en la G.984.1.

Como se expuso en las consideraciones del diseño, se utilizará la sectorización de la red HFC existente en la base de datos del Grupo TVCABLE, donde se encuentran bien definidas las siguientes zonas:

Zona 1: delimitada por el Pasaje Lafayett por el sur, la calle José Carbo por el oeste, la calle Diego Brieda por el norte y por el este con áreas del Parque Metropolitano Bellavista con un total de hogares contados de 618 de los cuales 313 cuentan con el servicio de TV CABLE actualmente.

Zona 2: delimitada por la calle Diego Brieda por el sur, la calle Quiteño Libre por el oeste y por el norte y este con áreas del Parque Metropolitano Bellavista con un total de 651 hogares contados de los cuales 342 cuentan con el servicio de TV CABLE actualmente.

Zona 3: delimitada por la Avenida Interoceánica por el sur, la Avenida General Eloy Alfaro por el oeste, la calle Jose Bosmediano y Quiteño Libre por el este y la calle Fernando Ayarza por el norte con un total de 755 hogares contados de los cuales 630 cuentan con el servicio de TV CABLE actualmente.

Zona 4: delimitada por la calle Fernando Ayarza por el sur, al oeste con la Avenida General Eloy Alfaro, al este con la calle Quiteño Libre y al norte con la calle Federico Páez y áreas del Parque Metropolitano Bellavista con un total de 504 hogares contados de los cuales 289 cuentan con el servicio de TV CABLE actualmente.

Tomando en cuenta que la topología de red propuesta es de tipo árbol, y la razón de división de 1:64 se tendría la siguiente propuesta:

Para la Zona 1 se necesitan 10 hilos de fibra óptica, cada uno conectado a un divisor pasivo o spliter de 1:64, lo cual garantizará una capacidad de 640 abonados finales quedando 22 conexiones libres.

Para la Zona 2 se necesitan 11 hilos de fibra óptica cada uno conectado a un divisor pasivo o spliter de 1:64, lo cual garantizará una capacidad de 704 abonados finales quedando 53 conexiones libres.

Para la Zona 3 se necesitan 16 hilos de fibra óptica cada uno conectado a un divisor pasivo o spliter de 1:64, lo cual garantizará una capacidad de 1024 abonados finales quedando 269 conexiones libres.

Para la Zona 4 se necesitan 8 hilos de fibra óptica cada uno conectado a un divisor pasivo o spliter de 1:64, lo cual garantizará una capacidad de 512 abonados finales quedando 8 conexiones libres.

Considerando el número total de hogares contados según la base de datos del Grupo TV CABLE, se tiene 2528 hogares contados y si se utilizan tarjetas que cuenten con 8 puertos PON cada una a una razón de división de 1:64, se puede concluir que con 5 tarjetas se garantiza una capacidad de 2560 conexiones lo que cubriría el número de usuarios existentes en el sector quedando 32 conexiones libres para futuros usuarios.

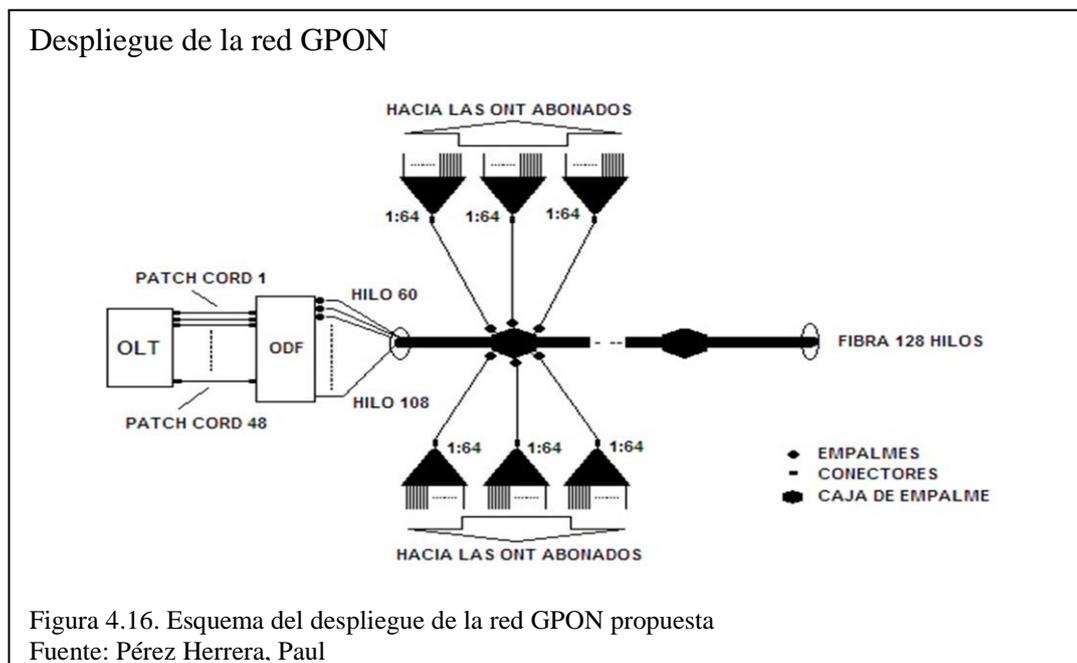


Figura 4.16. Esquema del despliegue de la red GPON propuesta
Fuente: Pérez Herrera, Paul

En la figura 4.16 se muestra un esquema de la propuesta de despliegue de la nueva red GPON para este nodo.

Como se muestra en la figura 4.16 se propone utilizar una OLT con un mínimo de 5 tarjetas, cada una con 8 puertos PON los cuales se conectarán mediante 48 patch cord al ODF de la serie GPX147-GRP-48A ubicado, al igual que la OLT, en la cabecera de este nodo.

A la salida del ODF se empalmarán mediante fusión 48 fibras del cuarto cable de 128 hilos que parte de la cabecera y alimenta los nodos ópticos de la ciudad de Quito. Este cable tiene libre los hilos de fibra del 54 al 126 de los cuales se utilizarán los ubicados en la posición 60 al 108 para confeccionar la red troncal de la nueva red GPON en diseño. Esto se traduce en una disminución de los costos ya que este cable se encuentra tendido por parte de la empresa.

Para la red de acometida se utilizarán las cajas de empalme de 6 fibras ya existentes a lo largo de todo el nodo. De estas partirán los hilos de fibra ópticas que alimentarán los splitter de 1:64 que conectarán los abonados finales. Toda la red de distribución, que partirá de las cajas de empalme, se desplegará de forma aérea utilizando la postiería ya existente y que es utilizada por el Grupo TV CABLE para su red HFC. Como punto de terminación de red, en la vivienda del abonado, se utilizarán rosetas ópticas para asegurar el enlace hasta los equipos de recepción del cliente y proteger la fibra de final de línea.

4.3.1 Cálculo del presupuesto óptico

El balance óptico permitirá determinar si los equipos activos de la red serán capaces de soportar y detectar la potencia de señal transmitida a través de todo el sistema; para ello hay que tener en cuenta un parámetro fundamental para la planificación de un enlace por fibra óptica que es la atenuación total de todo el trayecto, a través de la ODN, sin descartar factores como la vida útil del enlace y envejecimiento de equipos.

La Recomendación G.984.2 define las gamas de atenuación permitida en una ODN dependiendo de la clase de la misma y la fibra óptica que se utilice, así como los

umbrales máximos y mínimos de potencia y sensibilidad de la OLT y ONT respectivamente. En el diseño propuesto se trabajará con fibra óptica que cumpla con la Recomendación G.652 y con ODN de clase C.

Para garantizar la funcionalidad del enlace se trabajará sobre dos premisas fundamentales:

1. Que la atenuación máxima del sistema no exceda la atenuación recomendada para ODN de clase C que es de 30 dB
2. Que la sensibilidad máxima en el receptor de la ONT (-28 dBm según Recomendación G.984.2), sea mayor que la suma de la atenuación máxima del sistema en dBm y la potencia del transmisor de la OLT (+ 7 dBm según Recomendación G.984.2).

Para determinar el balance óptico de toda la red se considerará exclusivamente la potencia que llegará al abonado más cercano a la OLT y al abonado más alejado de la misma, cuyos trayectos de la red contarán con el mismo número de conectores, empalmes, divisores y solo se diferenciarán en la distancia a que estén ubicados de la OLT.

4.3.1.1 Cálculo de la Atenuación total del sistema

Para el cálculo de esta atenuación se tienen en cuenta todas las pérdidas introducidas por los elementos pasivos de la red como conectores, empalmes, divisores y las pérdidas por distancia de la fibra óptica. Este se puede calcular de la siguiente manera:

$$A_T[dB] = [L * A_{fibra}] + [N_c * A_c] + [N_e * A_e] + [N_s * A_s] + [MS] \quad (4.4)$$

Donde:

- L longitud de la fibra óptica
- A_{fibra} atenuación en dB por cada km de la fibra óptica
- N_c número de conectores
- A_c atenuación por conector
- N_e número de empalmes
- A_e atenuación por empalmes
- N_s número de divisores

- A_s atenuación por divisor
 MS margen de seguridad 3 dB

Y teniendo en cuenta los valores de atenuación de la tabla 4.5:

Tabla 4.5
Valores de atenuación de elementos de la ODN

Descripción	Atenuación (dB)
Conectores (Rec. ITU 671)	0,50
Empalmes por fusión (Rec. ITU 671)	0,10
Patch Cord	0,3
Divisor 1:64	20,4
Fibra óptica ADSS (1390 nm)	0,40
Fibra óptica ADSS (1490 nm)	0,30
Margen de seguridad	3

En el escenario de la red física de la figura 4.16, se tiene que para el caso del usuario más lejano, que sería el escenario crítico, ubicado a la altura de la Avenida 6 de Diciembre y la calle Ignacio Bosano a una distancia de 2976 m, la atenuación total del sistema para la longitud de onda de 1390 nm para el sentido ascendente sería de 25,89 dB y para la longitud de onda de 1490 nm en el sentido descendente sería de 25,59 dB.

Para el caso del usuario más cercano, que sería el mejor caso, ubicado a la altura de la calle Mariano Calvache y la calle C. Cáceres a una distancia de 400 m, la atenuación total del sistema para el sentido ascendente sería de 24,86 dB y para el descendente sería de 24,82 dB. Estas atenuaciones están por debajo del valor máximo que recomienda la G.984.2 para una ODN de clase C.

4.3.1.2 Balance óptico de la red

Para garantizar que toda la información que se envía desde el transmisor llegue con una tasa de error de bit deseada hasta el receptor, la sensibilidad de este último (ONT), debe ser mayor que la sumatoria de la atenuación total del sistema medida en dBm, y la potencia máxima de transmisión medida en dBm (OLT). Para lograr que todos los parámetros estén en la misma magnitud de medida, en este caso dBm, se convertirá la atenuación total que está dada en dB a dBm, sabiendo que 0 dB equivale a -30 dB.

Para el caso del abonado más lejano la atenuación total sería $-55,89$ dBm para el sentido ascendente y $-55,59$ dBm para el sentido descendente; la potencia máxima de transmisión $+7$ dBm y la sensibilidad del receptor -28 dBm. Por tanto

$$S_{Rx} \geq P_{Tx} + A_T \quad (4.5)$$

$$-28 \text{ dBm} \geq +7 \text{ dBm} - 55,89 \text{ dBm}$$

$$-28 \text{ dBm} \geq -48,89 \text{ dBm} \quad \text{para el sentido ascendente}$$

$$-28 \text{ dBm} \geq -48,59 \text{ dBm} \quad \text{para el sentido descendente}$$

De igual manera para el abonado más cercano la atenuación total sería $-54,86$ dBm para el sentido ascendente y $-54,82$ dBm para el sentido descendente; la potencia máxima de transmisión $+7$ dBm y la sensibilidad del receptor -28 dBm; utilizando la ecuación (5) se cumple que:

$$-28 \text{ dBm} \geq -47,86 \text{ dBm} \quad \text{para el sentido ascendente}$$

$$-28 \text{ dBm} \geq -47,82 \text{ dBm} \quad \text{para el sentido descendente}$$

Los resultados del cálculo de atenuación total del sistema y balance óptico confirman que las pérdidas a lo largo de la ODN no causen problema en el proceso de transmisión y garantiza que en el caso del usuario cercano no existan niveles de saturación y en el más lejano la señal pueda ser reconocida operando la red propuesta dentro del rango establecido.

4.4 Dimensionamiento de los equipos

La ubicación del equipamiento propuesto se realizará en función de los datos existentes en el sistema del Grupo TV CABLE y con la misma seccionalización que la red HFC.

Para este efecto en el Anexo 1 se tiene el plano general y la ubicación de los equipos así como los planos de cada zona; como se indicó anteriormente, el sector se dividió en cuatro zonas donde la OLT está situada en la cabecera o Headend, y de aquí parte la fibra principal derivándose en las cajas de empalmes hasta los divisores de 1:64 y de estos parten los hilos que alimentarán a los abonados finales.

4.4.1 OLT

La OLT propuesta debe ser del fabricante Huawei ya que esta es una marca de punta en los sistemas de transmisión por fibra óptica y ofrece una gama de equipos que permiten la conexión de última milla mediante fibra óptica y cumplen con la Recomendación ITU- T G.984; además debe contar con al menos un puerto con capacidad Gigabit Ethernet que permita la conexión con el nodo más cercano al Headend, que en nuestro caso es el nodo Megamaxi y es parte del anillo principal de la red IP/MPLS que posee el Grupo TV CABLE. Debe ser capaz de transmitir en las ventanas de 1390 nm, 1490 nm y 1550 nm para transmisión de datos, voz y video a distancias de hasta 20 km.

Atendiendo a estas características se propone la SMARTAX MA5603T que es un equipo modular con 6 tarjetas de 8 puertos GPON, cada una con una capacidad para 3072 abonados a una razón de división de 1:64. Esta provista de un puerto 10 Gigabit Ethernet para conectarse con la red IP/MPLS del Grupo TV CABLE. Provee acceso ADSL+, VDSL, POST y soporta servicios triple play.

4.4.2 ONT

En este caso se propone la ONT HG8447 del fabricante Huawei diseñada para aplicaciones FTTH; es un dispositivo plug and play y los servicios de internet e IPTV pueden ser activados solo con un click, además permite diagnósticos remotos por lo que su configuración en el escenario de instalación no es requerida. Presenta altas capacidades VoIP, servicios de internet y video HD provisionada con 4 puertos Ethernet, 4 puertos POST RJ11 para telefonía, 1 puerto de RF para video, 1 puerto USB y wifi.

4.4.3 Divisor pasivo 1:64

Se propone para este diseño el divisor de Huawei SPL9109 que es un diseño modular con un mismo tamaño para diferentes razones de división con coletas de color verde para entrada y amarillo para las salidas que permite una fácil identificación, cumple con el nivel de atenuación requerida para la red y fácil operación y mantenimiento sin necesidad de herramientas. Presenta un alto nivel de protección ya que está diseñado para exteriores.

4.4.4 Módulos de unión y empalmes

Estos módulos garantizan la integridad y seguridad de la red optimizando la conectorización de la fibra; son utilizados en caso que se necesite separar solo algunos hilos de fibra de un cable multifibras utilizando dispositivos para extraer el hilo deseado sin necesidad de cortar todo el cable tendido, se propone el FOSC-400 que cumple con lo requerido.

4.5 Red Troncal

Se utilizará la red de fibra que ya está instalada por el Grupo TV CABLE en el sector, en este caso uno de los cables de 128 hilos que alimentan los nodos de la ciudad de la ciudad de Quito y como se especificó en el dimensionamiento de la red se utilizarán las fibras de la 60 a la 108 que se irán derivando en las cajas de empalmes a lo largo de toda el nodo. Esta fibra es del tipo ADSS que presenta características como inmunidad a interferencias de las redes eléctricas, no son susceptible a la caída de descargas eléctricas por carecer de elementos metálicos y cumple con la recomendación G652. Esta parte de la red no incurre en costos para el diseño ya que está previamente instalada por parte del Grupo TV CABLE.

4.6 Red de acceso

El Grupo TV CABLE en el nodo de estudio cuenta con 9 cajas de empalme, en el recorrido de la red troncal por el área de cobertura. La red de acceso se considerará desde la salida de cada caja de empalmes hasta el abonado final y se tenderá de forma aérea. A partir de aquí se utilizará cable ADSS monomodo que cumpla con recomendación G652, de 12 hilos de fibra que se empalmarán mediante fusión al cable de la red troncal. De los 12 hilos se utilizarán solo los correspondientes al número de divisores ubicados en el área de interés mediante el método de sangrado de fibra para separar los hilo necesarios y llevarlos hasta la entrada de los divisores que estarán fijados mediante herrajes a los postes por donde se ha tendido la fibra.

A la salida de los divisores ópticos de 1:64 se utilizará cable ADSS monomodo que cumpla con la recomendación G652 de 48 hilos y se utilizará el mismo método de sangrado de fibra para separar los hilos correspondientes y llevarlos hasta la roseta óptica en los predios del cliente final. En todo este proceso se utilizaran módulos de unión y empalmes (splice enclosure) para garantizar la seguridad y protección.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA MIGRACIÓN A LA RED GPON POR EL GRUPO TV CABLE

5.1 Presupuesto y gastos del proyecto

Para el análisis económico, y determinar la viabilidad del proyecto se tomaron en cuenta las inversiones fijas y diferidas que aportan el capital que se requiere para el funcionamiento normal del proyecto, los costos de operación y los ingresos que se obtienen de la venta del servicio son:

Tabla 5.6
Inversiones Fijas

DETALLE	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
OLT	1	\$ 2 615,80	\$ 2 615,80
ONT	2528	\$ 212,43	\$ 537023,04
Red Pasiva			\$ 57522,00
Total de activos Fijos			\$ 597 160,84

En la tabla 5.6 se muestran las inversiones fijas para el presente proyecto (cuyos valores del equipamiento se obtuvieron de la página oficial del fabricante Huawei) que tienen una vida útil mayor de un año y que crean las condiciones necesarias para que la empresa, en este caso Grupo TV CABLE, lleve a cabo su principal actividad que es brindar el servicio al abonado final, como la adquisición de la OLT, las ONT y todos los elementos que conforman la red pasiva como divisores, cables de fibra óptica, uniones, empalmes y conectores.

Tabla 5.7
Inversiones Diferidas

ACTIVOS DIFERIDOS	VALOR
Gastos de permisos de funcionamiento	\$ 1.023,00
Gastos de configuración de equipos	\$ 5.613,07
Gastos de Prueba de la red pasiva	\$ 7.681,19
Total	\$ 14317,26

En la tabla 5.7 se muestran las inversiones diferidas, que se obtuvieron por parte de la empresa; para la ejecución del proyecto pero no intervienen en la producción como los permisos de licenciamiento y funcionamiento así como el costo de configuración

de los nuevos equipos adquiridos por el Grupo TV CABLE y las pruebas de funcionamiento y puesta en marcha de toda la red pasiva.

Con los valores obtenidos de las tablas 5.6 y 5.7 se calcula la inversión inicial total para el proyecto como se muestra en la tabla 5.8.

Tabla 5.8
Inversión Inicial

TIPO DE INVERSION	VALOR
Inversiones Fijas	\$ 597 160,84
Inversiones Diferidas	\$ 14 317,26
Inversión Inicial (Total)	\$ 611 478,10

Para determinar los egresos que se realizarán durante los cinco años se considera la inversión inicial y los gastos operativos, administrativos, de ventas y otros gastos que realizará la empresa Grupo TV CABLE en el período señalado.

Tabla 5.9
Gastos Operativos

Período	Salida de Internet	Energía Eléctrica	Mantenimiento de la red
2017	\$ 120 000,00	\$ 3 000,00	\$ 1 523,09
2018	\$ 120 000,00	\$ 3 000,00	\$ 1 523,09
2019	\$ 120 000,00	\$ 3 000,00	\$ 1 523,09
2020	\$ 120 000,00	\$ 3 000,00	\$ 2 523,09
2021	\$ 120 000,00	\$ 3 000,00	\$ 3 023,09
Gastos totales	\$ 600 000,00	\$ 15 000,00	\$ 10 115,45
Total de Gastos Operativos			\$ 625 115,45

En la tabla 5.9 se muestran los gastos operativos como el pago del acceso a internet y energía eléctrica que se obtuvieron de los históricos de la empresa y en el caso del mantenimiento de la red, que se consideran repuestos de equipos, cables y herramientas para los técnicos, se presupuestó teniendo en cuenta que en los tres primeros años se asume un 3 % de falla de la red mensual ya que está recién instalada, en el cuarto año un 4% y el quinto año un 5% de falla mensual debido a la larga vida útil de la fibra óptica y su bajo porcentaje de vulnerabilidad, según datos de mantenimiento proporcionados por la empresa.

Tabla 5.10
Gastos administrativos

Período	Personal de Instalación y mantenimiento	Personal de Monitoreo de la Red	Gastos de Movilidad y mantenimiento de vehículos
2017	\$ 21 168,00	\$ 9 768,74	\$ 4 192,00
2018	\$ 17 472,00	\$ 13 104,00	\$ 3 062,74
2019	\$ 17 472,00	\$ 13 104,00	\$ 3 062,74
2020	\$ 17 472,00	\$ 13 104,00	\$ 3 062,74
2021	\$ 17 472,00	\$ 13 104,00	\$ 3 062,74
Gastos totales	\$ 91 056,00	\$ 62 184,74	\$ 16 442,96
Total de Gastos Administrativos			\$ 169 683,70

En la tabla 5.10 se muestran los gastos administrativos que involucran el personal técnico de instalación, mantenimiento y monitoreo de la red para garantizar la atención y calidad al cliente, para lo cual es vital que este personal cuente con un medio de transporte cuyos gastos se deben tener en cuenta para el presupuesto del proyecto. Para esto se presupuestó, para los primeros seis meses de 2017 donde se ejecutará la instalación de la nueva red, una suma para garantizar una brigada de instalación y montaje compuesto por 7 técnicos y en los seis meses restantes solo se requiere de 2 técnicos para atención al cliente. Para el caso del personal de monitoreo de la red se presupuestó \$ 3216,74 para los primeros 6 meses capacitar a 3 operadores y \$ 6552,00 los seis meses restantes para garantizar su salario en turnos rotativos. En el caso de los gastos de movilidad y mantenimientos de vehículos se garantiza la operación de estos en el período de la instalación y montaje de la red y la movilidad de los técnicos que quedan a cargo en la segunda mitad del primer año. A partir del 2018 se garantizan 4 técnicos para atender el sector y tres operadores para monitorear la red en turnos rotativos.

Tabla 5.11
Gastos de Ventas

Período	Gastos de Marketing y Publicidad
2017	\$ 24 000,00
2018	\$ 12 000,00
2019	\$ 12 000,00
2020	\$ 12 000,00
2021	\$ 12 000,00
Total de Gastos de Ventas	\$ 72 000,00

En la tabla 5.11 se muestran los gastos por concepto de comercialización de los Servicios ofrecidos por la red. Según un sondeo del departamento comercial del Grupo TV CABLE, se estiman valores mensuales aproximados de \$ 2000 en el primer año, que incluyen gasto en publicidad para el nodo 2A del sector Bella Vista y para el resto de los años se estima un gasto de \$ 1.000 mensuales.

Tabla 5.12
Otros Gastos

Período	Gastos de Servicio Básico de Teléfono
2017	\$ 2 400,00
2018	\$ 2 400,00
2019	\$ 2 400,00
2020	\$ 2 400,00
2021	\$ 2 400,00
Total de Otros Gastos	\$ 12 000,00

Además se consideran todos los gastos que benefician al proyecto indirectamente, en este caso es el servicio de teléfono para la persona encargada de dar el soporte a los clientes mediante un call-center con un valor estimado por alquiler del servicio telefónico de \$ 200 mensuales como se muestra en la tabla 5.12, información proporcionada por los históricos de la empresa.

Tabla 5.13
Total de gastos período 2017-2021

GASTOS	VALOR
Gastos Operativos	\$ 625 115,45
Gastos Administrativos	\$ 169 683,70
Gastos de Ventas	\$72 000,00
Otros Gastos	\$12 000,00
Total de Gastos de Inversión Inicial	\$ 878 799,15

El total de gastos para los cinco años se muestra en la tabla 5.13 y para obtener los ingresos del proyecto se toma el caso que exista un crecimiento elevado hasta el 2021, en los cuales se han estimado ventas de paquetes de servicio de acuerdo a la demanda existente en el sector y considerando los Planes Triple Pack, que son el producto estrella del Grupo, y se estima un crecimiento del 20% anual con la oferta de paquetes que se muestran en la tabla 5.14.

Tabla 5.14
Planes Triple Pack

Planes	Precio
ESPECIAL ILIMITADO	\$ 38,70
DIVERSIÓN GARANTIZADA	\$ 40,01
FUSION	\$ 43,11
ENTRETENIMIENTO TOTAL	\$ 54,59
HD	\$ 90,96

5.2 Evaluación financiera

Para determinar si el proyecto es viable o no, se tomaron en cuenta los siguientes indicadores que permiten realizar una evaluación financiera:

VAN (Valor Actual Neto)

TIR (Tasa Interna de Retorno)

PRI (Período de Recuperación de la Inversión)

Todo lo anterior se calcula considerando el caso de ventas y para realizar los cálculos se toman los ingresos y egresos estimados anteriormente. Para esto se tomó el número de hogares contados más un crecimiento estimado del 20% anual de clientes con el plan Diversión Garantizada los doce meses del año. Para el primer año se calcularía de la siguiente manera:

$$\text{Ingreso}_{2017} = [(2528 + 2528 * 0,20) * (40,01)] * 12 \text{ meses} \quad (5.1)$$

$$\text{Ingreso}_{2017} = 121\,320 * 12 = 1\,456\,492,00$$

De esta manera se calculan los ingresos para los restantes cuatro años del proyecto y se muestran en la tabla 5.15.

Tabla 5.15
Ingresos y egresos en el período 2017-2021

Período	Ingresos	Egresos	Fondo de Flujo
2017	\$ 1.456.492,03	\$ 181 101,03	\$ 1 275 391,00
2018	\$ 1.747.790,44	\$ 169 101,03	\$ 1 578 689,41
2019	\$ 2.097.348,53	\$ 169 101,03	\$ 1 928 247,50
2020	\$ 2.516.818,23	\$ 169 101,03	\$ 2 347 717,20
2021	\$ 3.020.181,88	\$ 169 101,03	\$ 2 851 080,85

De acuerdo a dichos resultados se han calculado todos los indicadores, utilizando las siguientes fórmulas:

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^5 \frac{F_n}{(1+i)^n} \quad (5.2)$$

$$TIR = -I_0 + \sum_{n=1}^5 \frac{F_n}{(1+r)^n} \quad (5.3)$$

I_0 -Inversión inicial

F_n -Flujo de caja

n-período de análisis (5 años)

i-tasa de interés (se toma la del Banco Central 5.12%)

r-tasa de retorno

C/B=Total de Ingresos/ Total de Egresos

Los cálculos se realizan utilizando el Microsoft Excel, como muestra en la tabla 5.16.

Tabla 5.16

Calculo del VAN, TIR y C/B

Inversión Inicial	\$878.799,15					
Flujo de Ingresos		Flujo de Egresos		Flujo de Efectivo Neto		
	A		B		A-B	
AÑO	VALOR	AÑO	VALOR	AÑO	VALOR	
1	\$1445.840,00	1	\$181.103,03	1	\$1264.738,97	
2	\$1746.720,00	2	\$169.101,03	2	\$1577.618,97	
3	\$2095.680,00	3	\$169.101,03	3	\$1926.578,97	
4	\$2514.720,00	4	\$169.101,03	4	\$2345.618,97	
5	\$3015.840,00	5	\$169.101,03	5	\$2846.738,97	
FORMULACION DE DATOS						
F1=	\$1264738.97	VAN= \$7549.321,63				
F2=	\$1577618.97					
F3=	\$1926578.97					
F4=	\$2345618.97	TIR= 1,64				
F5=	\$2846738.97					
N=	5	C/B= 12,62				
i=	5.12%					
IO=	878799.15					

Como se observa en la tabla anterior 5.16, el valor del VAN es positivo por lo que el proyecto se considera viable y una inversión segura. De igual forma el TIR es positivo lo que significa que se puede aceptar la inversión.

La relación costo beneficio se obtiene dividiendo el total de ingresos entre el total de egresos y muestra que por cada dólar invertido se recuperan \$12, 62, en los próximos cinco años demostrando la rentabilidad de la inversión.

Tabla 5.17
Período de recuperación de la inversión

Período (Año)	Flujos de caja total (Anual)	Flujos de caja acumulado
0	-\$ 878 799,15	-\$ 878 799,15
1	\$ 1 264 738,97	\$ 385 939,82
2	\$ 1 577 618,97	\$ 1 963 558,79
3	\$ 1 926 578,97	\$ 3 890 137,76
4	\$ 2 345 738,97	\$ 6 235 756,73
5	\$ 2 846 738,97	\$ 9 082 495,70

El período de recuperación de la inversión es el tiempo que se requiere para que los flujos netos de una inversión recuperen su inversión inicial. Como se muestra en la tabla anterior la inversión se recupera antes del primer año, esto debido a que la empresa cuenta con una cartera de clientes ya creada en el sector y solo se tiene que invertir en la última milla que comprende la red de distribución y el equipamiento de los abonados, pues la red troncal se encuentra previamente tendida por el Grupo TV CABLE.

CONCLUSIONES

- Se realizó el estudio de las especificaciones técnicas de la red HFC, con lo cual se obtuvieron los datos para poder realizar el diseño del nodo 2A del sector Bellavista, comprobándose que la tecnología actual, basada en cable coaxial, presenta ruidos e interferencias al transmitir la señal y está limitado en ancho de banda lo que influye directamente en la calidad y velocidad de los servicios.
- Se diseñó la última milla de la red HFC en el nodo 2A del sector Bellavista con tecnología GPON, que sustituye el cable coaxial por fibra óptica desde la OLT hasta el cliente, utilizando tecnología FTTH tipo árbol con 45 splitter de 1:64 para una capacidad total de 2880 clientes con lo cual, se mejoraría la velocidad de transmisión a 14 Mbps y los canales HD a 60 en sentido descendente, obteniendo una mejor velocidad de conexión y reduciendo los costos de mantenimiento de la red actual.
- Se realizó el cálculo de la atenuación total y presupuesto óptico de la red, demostrándose que cumple con los parámetros de una ODN Clase C de acuerdo a lo establecido en la Recomendación UIT G.984.2., y que mientras con el cable coaxial como última milla las velocidades podían alcanzar máximo los 100 Mbps, las velocidades con fibra óptica pueden alcanzar hasta 2.488 Gbps.
- Se realizó el análisis de factibilidad económica obteniéndose un valor de VAN mayor que cero, lo que significa que se recuperará la inversión inicial y al finalizar el quinto año, la diferencia entre la inversión inicial y el VAN calculado se traducirá en un valor de ganancia para la empresa. Para el caso del TIR el valor obtenido significa que el proyecto es rentable recuperándose la inversión antes del primer año; todo esto ya que la empresa cuenta con una cartera de clientes en el sector y solo se tiene que invertir en la última milla que comprende la red de distribución y el equipamiento de los abonados, pues la red troncal se encuentra previamente tendida por el Grupo TV CABLE y es la parte más costosa dentro de la red.

RECOMENDACIONES

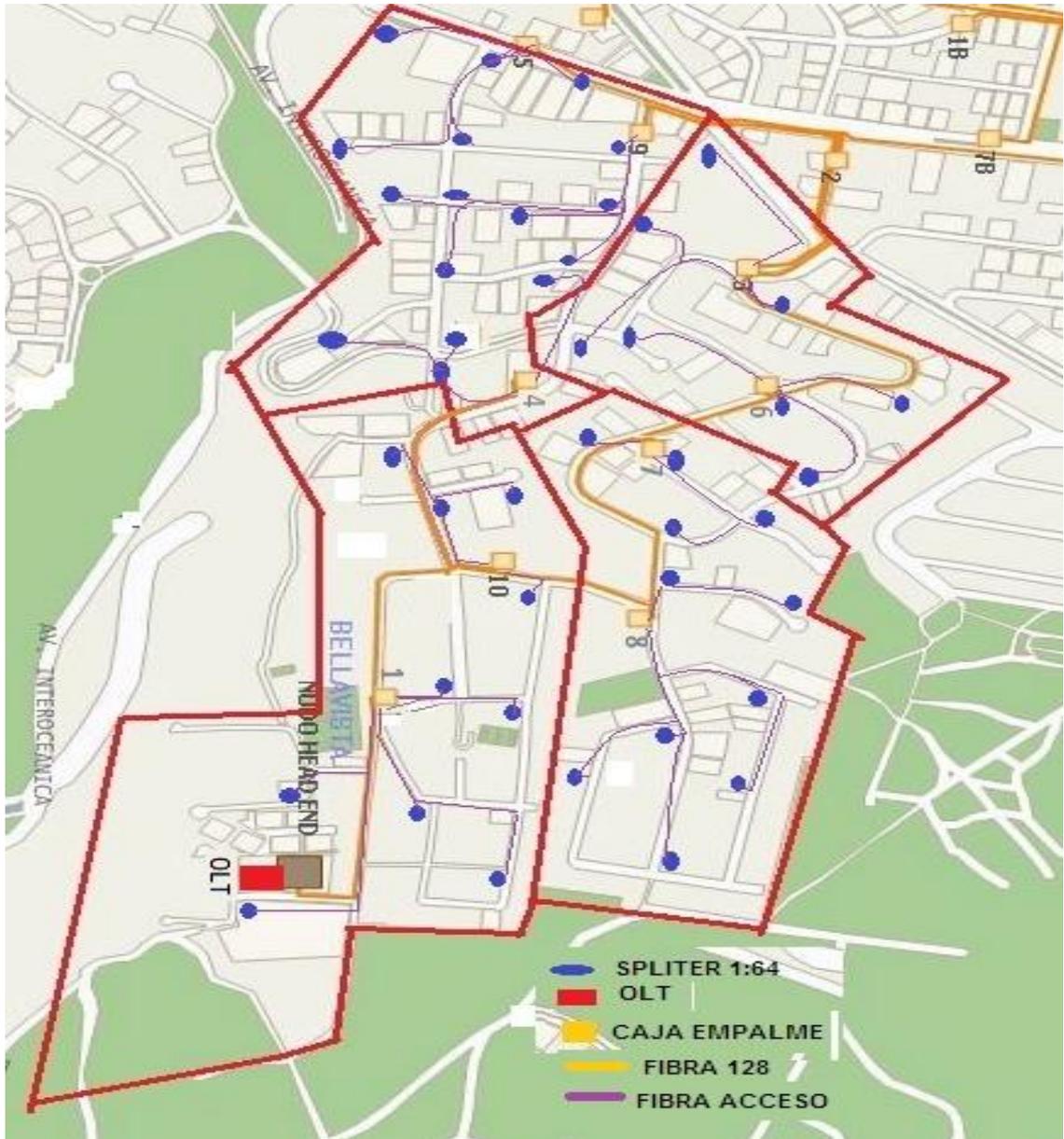
- Se recomienda elaborar un plan de migración de la red HFC a GPON, que garantice que la suspensión del servicio en los clientes sea el menor posible, y no se vea afectado el servicio de datos del cliente y la velocidad de conexión.
- Se recomienda realizar pruebas de velocidad de subida y bajada de información en diferentes horarios del día, una vez implementado el proyecto, con el fin obtener datos estadísticos que confirmen que la velocidad de conexión ha mejorado en comparación al servicio anterior y permita determinar el grado de aceptación a las mejoras realizadas y verificar que estas ya no constituyan insatisfacciones ni quejas del servicio.
- Se recomienda que el diseño elaborado en este trabajo sea propuesto al resto de los nodos dentro de la ciudad de Quito y a nivel nacional, con el fin de contar con una tecnología de última milla que permita brindar otros servicios como IPTV, VOD, mediante la utilización de fibra óptica.
- Se recomienda que el diseño elaborado sea analizado en un período de cinco años ya que todos los valores se presupuestaron y calcularon para este intervalo de tiempo.

REFERENCIAS

- Cevallos R, R. (2012). *Estudio y Diseño de una Red de Última Milla*,. Quito.
- Del Rio, E. (27 de mayo de 2013). *Tartanga*. Recuperado el 20 de Julio de 2016, de Tartanga.
- Gallegos, J. (7 de Octubre de 2014). *Prezi.com*. Recuperado el 14 de Julio de 2016
- Gonzalez, J. (13 de Abril de 2011). *SlideShare*. Recuperado el 2 de Julio de 2016, de SlideShare.
- Gutierrez, J. (2012). *Academia.edu*. Recuperado el 12 de Agosto de 2016, de Academia.edu.
- Guzman, J. A. (18 de Octubre de 2012). *SlideShare*. Recuperado el 22 de Julio de 2016, de SlideShare.
- Lattanzi, M. (4 de Mayo de 2013). *Cicomra*. Recuperado el 12 de Agosto de 2016, de Cicomra.
- Mora, G. (17 de Agosto de 2015). *Prezi.com*. Recuperado el 26 de Junio de 2016, de Prezi.com.
- Pereda, J. M. (2004). *Sistemas y Redes Ópticas de Comunicación*. Pearson Educación.
- Ramiro, C. R. (s.f.). *Estudio y Diseño de una Red de Última Milla*,. Quito.
- Ramos, R. (28 de Marzo de 2012). *Tecnolatino.com*. Recuperado el 28 de Junio de 2016, de Tecnolatino.com.
- Rosales, M. A. (13 de Febrero de 2014). *Monografias.com*. Recuperado el 22 de Julio de 2016, de Monografias.com.
- Stallings, W. (2002). *Comunicaciones y redes de computadoras, 6ta Edición*. Madrid: Prentice Hall .
- Traverso, D. (23 de Mayo de 2003). *Monografias.com*. Recuperado el 3 de Agosto de 2016, de Monografias.com.
- Valdez, M. (28 de Septiembre de 2015). *Pandanacha*. Recuperado el 24 de Junio de 2016, de Pandanacha.
- Valverde, J. (1 de Mayo de 2011). *Sites.google.com*. Recuperado el 20 de Julio de 2016, de Sites.google.com.
- Yague, A. G. (TelNet Redes Inteligentes de mayo de 2014). Obtenido de CCapitalia.

Anexo 1

Plano general del sector y ubicación de los equipos



Zonas	Hogares contados	Cantidad de splitter 1:64	Capacidad total de usuarios
1	618	10	640
2	651	11	704
3	755	16	1024
4	504	8	512
TOTAL	2528	45	2880

Anexo 2

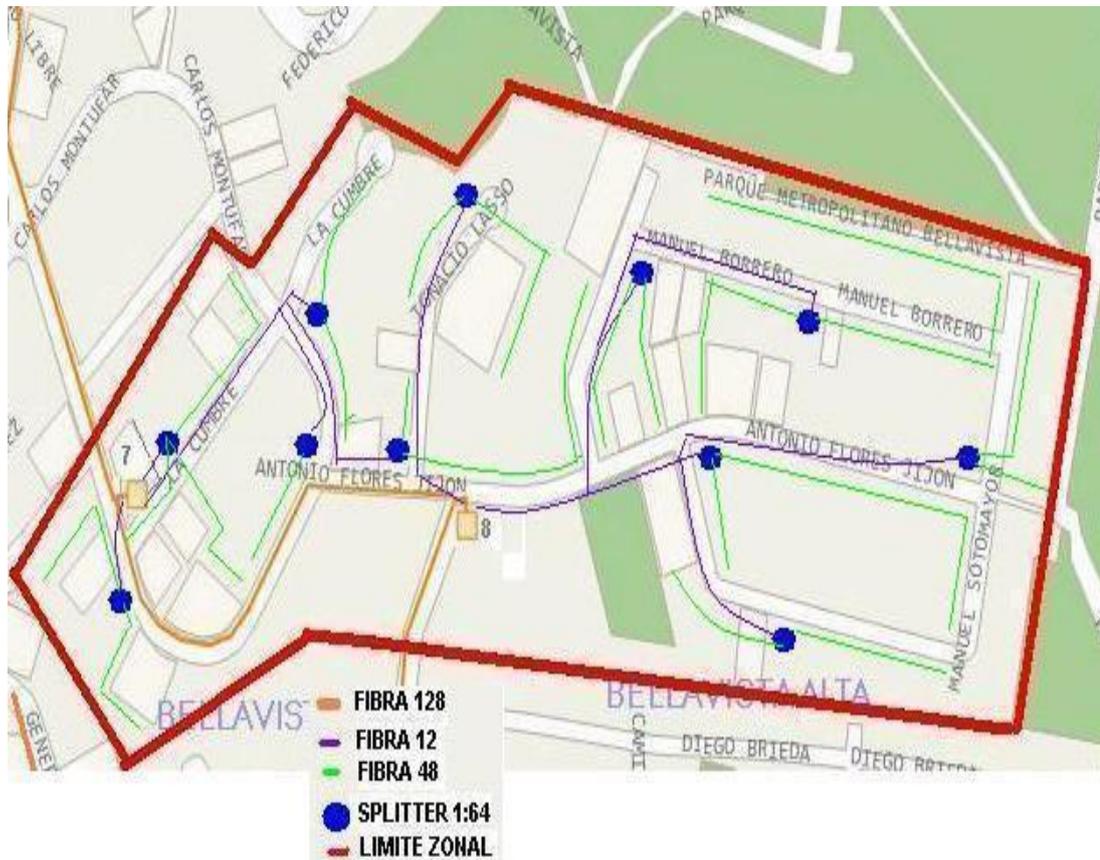
Plano de ubicación de los equipos Zona 1



CAJA DE EMPALME	NUMERO DE SPLITER 1:64	CAPACIDAD TOTAL DE USUARIOS	USUARIOS CON TV CABLE	USUARIOS POTENCIALES
1	6	384	370	14
10	4	256	248	8
TOTAL	10	640	618	22

Anexo 3

Plano de ubicación de los equipos Zona 2



CAJA DE EMPALME	NUMERO DE SPLITER 1:64	CAPACIDAD TOTAL DE USUARIOS	USUARIOS CON TV CABLE	USUARIOS POTENCIALES
7	5	320	298	22
8	6	384	353	31
TOTAL	11	704	651	53

Anexo 4

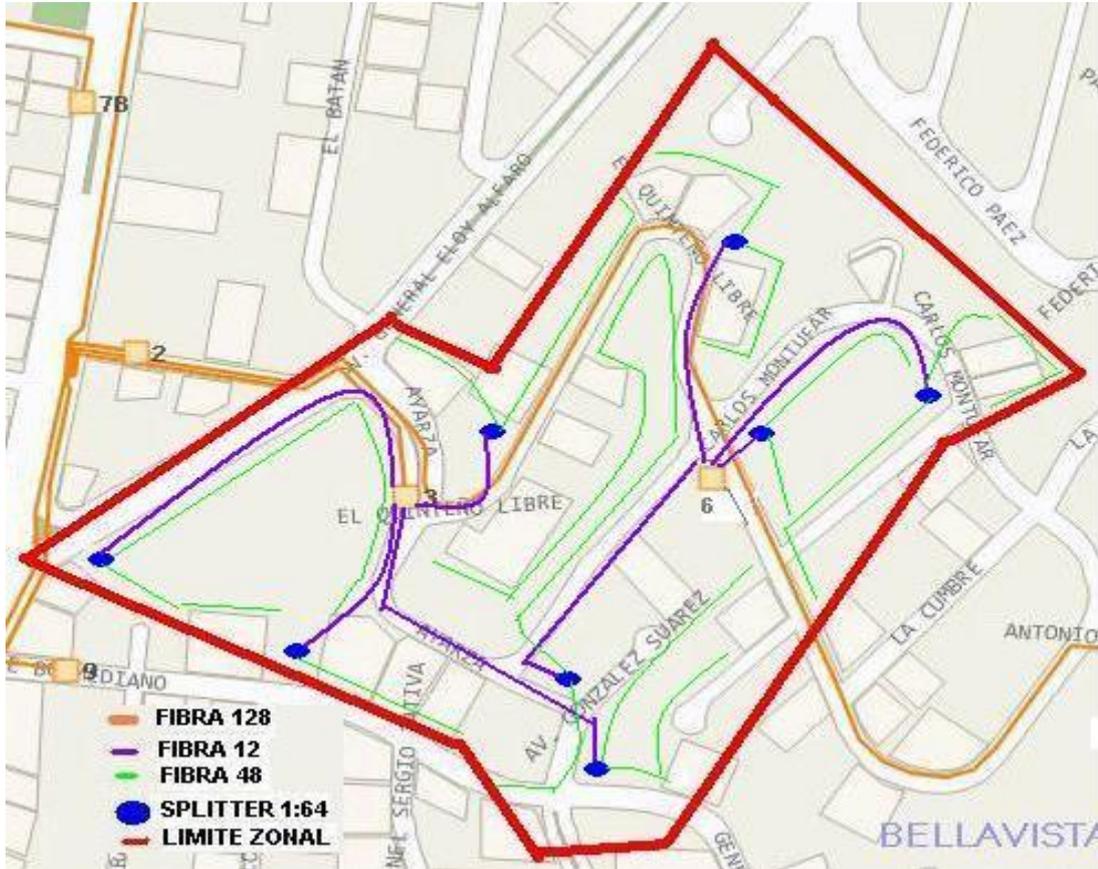
Plano de ubicación de los equipos Zona 3



CAJA DE EMPALME	NUMERO DE SPLITER 1:64	CAPACIDAD TOTAL DE USUARIOS	USUARIOS CON TV CABLE	USUARIOS POTENCIALES
4	5	320	231	89
5	5	320	242	78
9	6	384	282	102
TOTAL	16	1024	755	269

Anexo 5

Plano de ubicación de los equipos Zona 4



CAJA DE EMPALME	NUMERO DE SPLITTER 1:64	CAPACIDAD TOTAL DE USUARIOS	USUARIOS CON TV CABLE	USUARIOS POTENCIALES
3	4	256	253	3
6	4	256	251	5
TOTAL	8	512	504	8