

Diseño de la red Híbrida Coaxial-Fibra Óptica (HFC) para brindar servicio de IPTV en la empresa MULTICABLE S.A. de la ciudad de Otavalo

Segundo Fichamba Arellano

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte
Ibarra, Ecuador

fichiseqa@hotmail.es

Resumen—Este documento indica las principales consideraciones para el diseño una red de gran capacidad, empleando la fibra óptica y cable coaxial como medio de transmisión (redes híbridas de fibra óptica y cable coaxial, HFC) para transportar información audiovisual digital a través protocolos globales de comunicación (IPTV) garantizando la operatividad de redes analógicas de televisión por cable, para el caso de estudio se pretende mantener parte de la infraestructura actual de la empresa concesionaria de audio y video bajo modalidad cable físico MULTICABLE S.A. de la ciudad de Otavalo, en función a la determinación de puntos vulnerables y las mejoras técnicas de su sistema actual. Acotando además la viabilidad del proyecto en función a estudios de mercado y financiero. El estudio desarrollado servirá de soporte bibliográfico para futuras investigaciones relacionadas.

Palabras Claves—Redes de televisión por cable, HFC, fibra óptica, cable coaxial, internet, televisión, IPTV.

I. INTRODUCCIÓN

Una red híbrida de fibra óptica y cable coaxial (HFC) es la evolución de redes de televisión por cable tradicionales y analógicas (CATV) hacia redes de banda ancha, comprende principalmente de un cableado combinado de fibra óptica y cable coaxial, comprendiendo la red troncal y red de distribución respectivamente. Este tipo de adecuación permite transportar gran cantidad de datos sobre redes CATV existentes. Su desarrollo permite a operadores de CATV, que además de brindar el servicio de televisión por cable integren otros servicios por el mismo medio, como por ejemplo televisión interactiva (IPTV), videos a la carta (video bajo demanda), Internet de banda ancha.

II. ESTRUCTURA GENERAL DE UN SISTEMA DE TELEVISIÓN POR CABLE.

Tanto una red tradicional de CATV y una red HFC consta básicamente de un centro emisor, red troncal, red de distribución y red de abonado.

El centro emisor o cabecera de la red (headend), se encargan de la recepción, procesamiento y emisión de las señales hacia las redes externas. Para la etapa de recepción, el headend puede tener una antena de radiodifusión para captar la programación normal, varios receptores de canales vía satélite y un estudio de televisión local para la generación de canales de programación propia. En la siguiente etapa, dichas señales son moduladas en diferentes portadoras de audio y video del rango de frecuencias NTSC (Comisión Nacional de Sistema de Televisión).

Todas estas señales se distribuyen a los abonados a través de la red cableada, que puede abarcar muchos miles de usuarios en función al alcance del tendido de cable coaxial, que partiendo desde el centro emisor se expande a través de diversas longitudes individuales troncales (amplificándose cada cierta longitud), en una disposición conocida como topología árbol-rama.

La inserción de fibra óptica como medio de transmisión en redes de CATV se debe a la necesidad de minimizar los inconvenientes de

atenuación y distorsión de la señal a largas distancias, actualmente comprende la red troncal permitiendo evolucionar a redes de banda ancha aprovechando la red coaxial desplegada en la etapa de distribución y acometida.

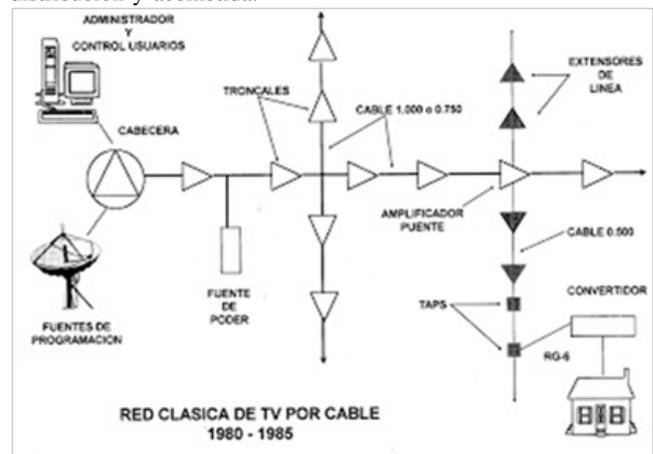


Fig. 1 Sistema típico de distribución coaxial de la red CATV.

III. TELEVISIÓN SOBRE PROTOCOLO INTERNET, IPTV.

La IPTV (Internet Protocol Television), TELCO TV o Televisión de banda ancha es una solución tecnológica frente a contenidos e información de carácter cada vez más de gran capacidad, como por ejemplo la televisión digital en alta definición, contenidos audiovisuales personalizados, servicios integrados (3play) etc.

En el escenario IPTV el operador garantiza una calidad en la señal así como ancho de banda mínimo para ofrecer el servicio sin problemas de cortes, además de una mayor interacción gracias al canal de retorno a través del cual el operador puede comunicarse con el cliente en tiempo real para ofrecer diferentes servicios (por ejemplo, VoD, video bajo demanda). Lo que no se puede omitir, es que este tipo de solución, supone una gran inversión en la infraestructura de red utilizada.

A. Componentes de un sistema IPTV.

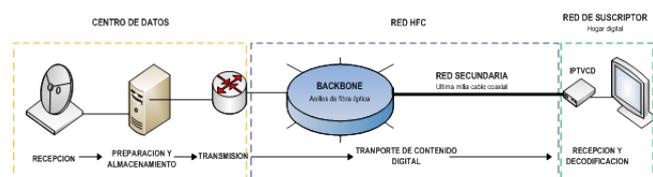


Fig. 2 Diagrama de bloque de un sistema de IPTV extremo a extremo.

También conocida como cabecera IP o súper Headend, consiste un conjunto de equipos diseñados para recibir, reformatear, y preparar el contenido de video para distribuirlo por la red MAN o WAN; también se encarga del monitoreo y supervisión del

funcionamiento de la red cumpliendo con un requerimiento básico de las redes de cable que exigen de la red una fiabilidad muy alta. Otras de las funciones se relacionan con la tarificación y control de los servicios prestado a los abonados.

La arquitectura de red HFC consiste en un backbone de fibra óptica conectada a través de un nodo óptico a la red coaxial. El nodo óptico actúa como una interfaz que conecta las señales ascendentes y descendentes que atraviesan la red de fibra óptica y el cableado coaxial. La porción de la red HFC coaxial utiliza topología de árbol-rama y utilizando derivadores TAP se conectan los suscriptores de televisión por cable HFC.

Los Dispositivos de usuario IPTV (IPTV Customer Device, en inglés) son componentes que se conecta a la red de banda ancha y son los responsables de la decodificación y del procesamiento de un flujo de vídeo basado en IP.

B. Modelo de comunicación IPTV (IPTVCM).

Un modelo de comunicación IPTV está formado por una pila 7 de capas, divididas en capas superiores e inferiores; las capas superiores describen las aplicaciones y los formatos de los archivos que intervienen en un sistema IPTV, mientras que los niveles inferiores abordan el transporte de contenido en tiempo real.

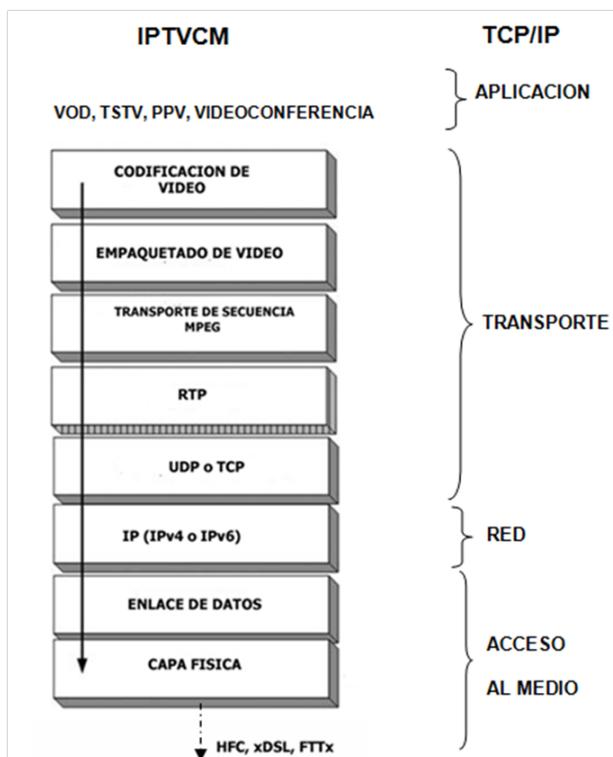


Fig. 3 Modelo de comunicación IPTV.

Capa de codificación de vídeo: Es la etapa inicial, donde la señal original sea analógica o digital se codificada con MPEG obteniendo tramas de audio y video en tiempo real que a su vez contienen los flujos elementales MPEG (ES). Cada flujo elemental tiene información sobre el tipo, la tasa y la ubicación de las tramas en la pantalla.

Capa de empaquetado de video: Las secuencias elementales de audio, datos y vídeo para ser transmitido por la red digital se convierten en un flujo intercalado de paquetes conocidos como flujos elementales empaquetados (PES) cuyo tamaño puede llegar hasta 65 536 bytes por cada paquete.

Capa de construcción de flujos de transporte: Estos paquetes, comúnmente llamados paquetes TS, están formados a partir de un flujo continuo de paquetes PES. Un paquete TS tiene un tamaño fijo de 188 bytes de donde 184 bytes son de carga útil y 4 bytes

de encabezado. Los paquetes de transporte no admiten una mezcla de medios o formatos de contenido.

Capa RTP: El protocolo RTP (Real Time Transport Protocol) representa el núcleo de esta capa y garantiza la transmisión en tiempo real de contenido multimedia a través de una red IP.

Capa de transporte: La capa de transporte IPTV ha sido diseñada para disminuir las complejidades de los procesos de la capa superior en una red IP. Los protocolos en esta capa sirven para la fiabilidad e integridad de los enlaces extremo a extremo. Si los datos de vídeo no se entregaron a la IPTVCD correctamente, la capa de transporte puede iniciar la retransmisión. Entonces, puede informar las capas superiores que pueden tomar las medidas correctivas necesarias. TCP y UDP son los dos protocolos más importantes empleados en esta capa.

Capa IP: Esta capa se utiliza para enviar datos sobre rutas específicas a su destino, el protocolo IP es el más conocido, cuya función es proporcionar la entrega de paquetes a todos los servicios de IPTV. Los tipos de servicios otorgados por sistemas de unidifusión (sistemas donde los paquetes son enviados de la fuente a un solo destino IPTVCD) y sistemas de multidifusión que envían paquetes desde un solo codificador o un servidor de streaming a múltiples IPTVCDs.

Capa de enlace de datos: La capa de enlace de recoge los datos de la capa IP y proporciona el formato adecuado para la entrega en la red física. La tecnología Ethernet es uno de los mecanismos más populares utilizados por los sistemas IPTV.

Capa física: La capa física se refiere a aspectos que coordinan la transmisión de bits digitales en la red física (por ejemplo, DOCSIS, xDSL y wireless). Se encarga de definir las estructuras de red física (topologías), las especificaciones eléctricas y mecánicas para usar el medio de transmisión. En resumen la encapsulación de los datos en un modelo IPTVCM se indica a continuación:

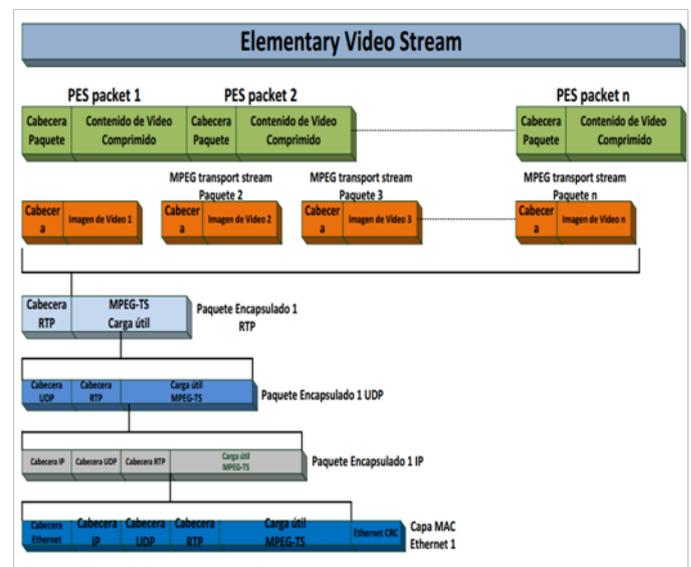


Fig. 4 Encapsulación de datos en un IPTVCM.

C. Servicios IPTV.

Time shift TV o Pausa de TV: Permite al usuario pausar un programa en vivo y repetir las escenas (Replay) que haya elegido, permitiendo retornar a la reproducción en tiempo real que originalmente se estaba disfrutando.

Video on Demand o video bajo demanda (VoD): Es la característica interactiva que le permite al usuario solicitar (alquilar) a su conveniencia programas tales como películas, canales para adultos, series, canales de audio, etc., sin necesidad de que el usuario esté sometido a un horario establecido por el proveedor.

Pay per View o Pague por Ver (PPV): El servicio de PPV consiste en la factibilidad de los suscriptores en contratar un programa en particular, generalmente es utilizada para la recepción en vivo de eventos deportivos o conciertos, lo que implica que todos los usuarios recibirán el mismo flujo de datos al contratar PPV. Tanto la petición del servicio VoD como PPV se la solicita a través de los IPTVCD de cliente.

Aprovechando el ancho de banda disponible se pueden insertar servicios de E-learning (aprendizaje electrónico), personal video recorder (Grabación personal de videos, PVR), guía de programación electrónica (GPE), canales de audio.

D. Protocolos utilizados por IPTV.

Los diferentes protocolos que interviene para una correcta transmisión de video a través de redes de IPTV, la figura siguiente indica los mencionados protocolos.

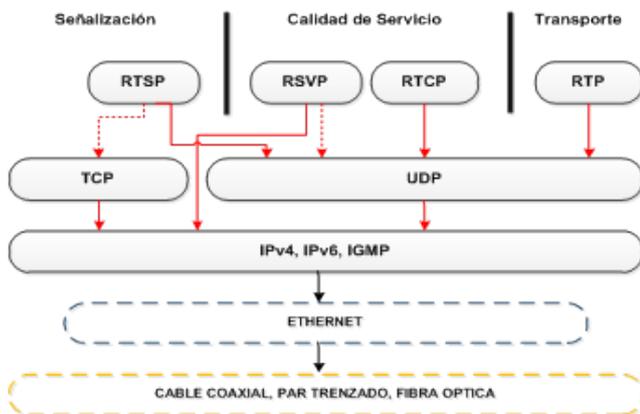


Fig. 5 Pila de protocolos usados en un sistema IPTV.

Protocolo TCP: TCP complementa la capacidad para manejar y tratar con los errores que ocurren durante la transferencia de contenido a través de la red de IP. Paquetes perdidos, desordenados e incluso duplicados son los tres principales tipos de errores que se encuentran en un entorno de IPTV. Para enfrentar estas situaciones, TCP utiliza un sistema de numeración secuencial para permitir que el dispositivo emisor retransmita datos de vídeo que se hayan perdido o dañado. Se implementa el sistema de numeración secuencial en la estructura de paquetes mediante el uso de dos campos de 32 bits. El primer campo contiene el número de secuencia inicial de los datos y el segundo campo contiene el valor del número de secuencia que el servidor de vídeo está esperando recibir desde los IPTVCD.

Protocolo UDP: El protocolo de datagrama de usuario (UDP) es un protocolo no orientado a conexión, lo que significa que una conexión entre el servidor de vídeo y el IPTVCD no necesita establecer la conexión para la transferencia de video a través de la red, por lo que, una red UDP utiliza un enfoque de mejor esfuerzo para obtener datos a su punto de destino. Una de las ventajas de usar UDP es que el establecimiento y la desconexión entre IPTVCDs y centro de datos IPTV se lleva a cabo en un periodo de tiempo muy corto y no hay pausa en la entrega de contenido IPTV.

Apoya la transmisión unidireccional ya que UDP no requiere una vía de retorno permitiendo que empresas otorgar multidifusión de IPTV sus suscriptores. La técnica UDP es bastante fácil de implementar porque no es necesario hacer un seguimiento de los paquetes de video una vez que se envían a la red IP.

Protocolos RTP y RTCP: RTP está en la parte superior de las capas de protocolo IP y UDP, proporciona mecanismos de calidad de servicio (QoS) y es capaz de recuperar de problemas que pasan desapercibidos por UDP.

La arquitectura RTP incluye dos partes estrechamente vinculadas, un elemento de datos y un elemento de control. La parte de datos mantiene las propiedades en tiempo real como sincronización, reconstrucción, supervisión de entrega, seguridad, contenido la identificación y detección de pérdida.

Real-Time Control Protocol (RTCP) es la parte de control del RTP y supervisa la calidad de los servicios IPTV en tiempo real. Trabaja conjuntamente con UDP para proporcionar información feedback (retroalimentación) a los sistemas del centro de datos IPTV sobre la calidad y entrega de datos. La información de retroalimentación indica cuantos paquetes IPTV se perdieron durante el viaje por la red que provocan retrasos en la entrega de los paquetes IPTV.

Protocolos de Red: En una difusión multicast, los paquetes viajan por rutas trazadas por el siguiente protocolo de Gestión de Grupos de Internet (Internet Group Management Protocol, IGMP, la versión actual es la tercera). IGMP es una parte integral del modelo de comunicación IP, que es utilizada por un IPTVCD para unirse o dejar un grupo de multidifusión, es decir, un IPTVCD envía un mensaje indicando que desea unirse a un grupo en particular. El mensaje contiene la dirección IP del destino sea del grupo o del canal de difusión solicitada, y el canal es transmitido al solicitante. La dirección IP del grupo de multidifusión se obtiene normalmente de la Guía Electrónica de Programación del IPTVCD.

Durante la recepción el canal de difusión, el IPTVCD también está configurado para escuchar todo el tráfico en ese grupo de multidifusión, con IGMPv3 en lugar de especificar la dirección IP del grupo solamente, los mensajes IGMPv3 contiene la dirección IP del grupo de multidifusión y la dirección IP de unidifusión de la fuente de contenido.

Protocolo de flujo de datos en tiempo real (RTSP): Es un protocolo de nivel de aplicación que permite a los IPTVCDs establecer y controlar el flujo IPTV. La operación de RTSP es similar a HTTP, en el sentido de que operan en modo request/response (petición/respuesta) cuando se producen las comunicaciones entre dispositivos. Sin embargo el identificador del protocolo es diferente. Así que en lugar de utilizar el identificador http://, RTSP utiliza rtsp:// al comienzo de una dirección URL para localizar un determinado canal de IPTV o IP-VoD.

RTSP presenta un modelo cliente-servidor estableciendo tres conexiones independientes para proporcionar comunicaciones entre el cliente RTSP de un IPTVCD y el servidor IP-VoD.

E. IPTV vía DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification)

La especificación de la interfaz para datos sobre servicio de cable (DOCSIS) originalmente fue diseñado para transportar tráfico de Internet de alta velocidad en redes de área extensa.

Las especificaciones han evolucionado y la última versión de DOCSIS proporciona capacidad suficiente para apoyar la prestación de servicios de IPTV a través de redes HFC. La especificación define los protocolos y formatos de modulación (QAM) utilizados para ofrecer servicios de banda ancha IP sobre una red de televisión por cable.

DOCSIS define los procesos para que el IPTVCD se comuniquen a través de una red HFC por un enlace bidireccional a un dispositivo situado en la cabecera denominado CMTS (sistema de terminación de módem de Cable). La versión actual DOCSIS 3.0 es un estándar importante, que se desglosa en cuatro especificaciones.

CM-SP-PHYv3.0: esta especificación se ocupa de los aspectos de la capa física de la tecnología.

CM-SP-MULPIv3.0: esta especificación incluye los detalles de implementación para el Control de acceso a medios (MAC) y los protocolos de capa superior utilizados en un sistema DOCSIS 3.0.

CM-SP-OSSv3.0: esta especificación define los requisitos para configurar y administrar características en DOCSIS 3.0.

CM-SP-SECv3.0: esta especificación final proporciona los detalles necesarios para garantizar sistemas DOCSIS 3.0 extremo a extremo.

Una de las ventajas más importantes en DOCSIS 3.0 es el channel bonding o vinculación de canales, esta técnica permite aumentar el rendimiento de los datos sobre una red HFC ya que divide múltiples canales más pequeños para crear un canal lógico más grande con capacidades de gran ancho de banda. Además de proporcionar mayor rendimiento en comparación con un solo canal, este mecanismo también reduce los retrasos de congestión asociados con el envío de paquetes en un solo canal. Módems por cable DOCSIS incluyen sintonizadores múltiples, que se utilizan para acceder a los diferentes canales disponibles como parte del grupo de canales asignados para uso.

IV. DESCRIPCIÓN DEL OPERADOR DE AUDIO Y VIDEO POR SUSCRIPCIÓN, MULTICABLE S.A. OTAVALO.

MULTICABLE S.A. Otavalo, es una empresa privada que provee el servicio de televisión por cable a la ciudad de Otavalo, data desde los primeros meses de 1999. Está registrada como concesionario de audio y video por suscripción en la SUPERTEL desde el 25 de Enero de 1999, tal concesión otorgaba los permisos para extender sus redes en la ciudad de Otavalo y sus alrededores.

A. Diagnóstico de la cabecera de red MULTICABLE S.A.

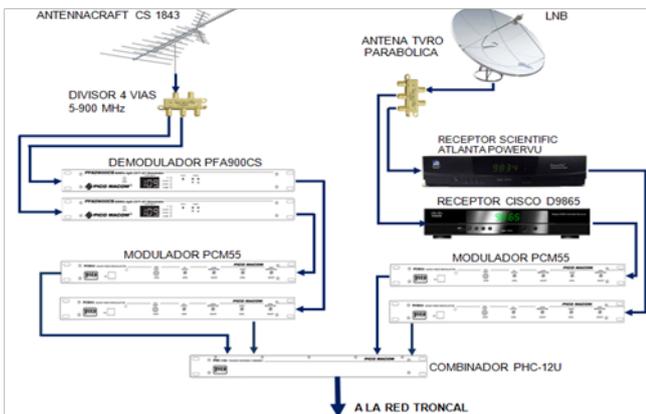


Fig. 6 Equipamiento de recepción, preparación y combinación de MULTICABLE S.A.

La parte de recepción de señal terrestre realiza básicamente la captura de canales nacionales, regionales y/o locales en banda VHF y UHF desde las repetidoras de radiodifusión más cercanas, la ubicación de las antenas de recepción depende además de la geografía del terreno y obstáculos intermedios, como árboles, vallas, edificios, etc.

La antena más utilizada es la Yagi-Uda y se compone de un dipolo y una serie de varillas metálicas llamadas pasivos; la varilla más larga funciona como reflector que irradian el campo eléctrico sobre los directores, para que al dipolo le llegue la mayor cantidad posible de señal.

A su vez, se realizan la recepción de señales satelitales a través de antenas parabólicas tipo TVRO (Television Receive Only) receptores solo televisión, al cual se encuentra adjunto un LNB (amplificador de bajo ruido) situado en el foco del "plato" para recoger las señales procedentes de satélites, es muy útil debido a que las frecuencias de transmisión del enlace descendente del satélite son imposibles de distribuir por los cables coaxiales. Por lo que un LNB convierte las señales de la alta frecuencia ya sea en

banda C o Ku a frecuencias de trabajo que admite el receptor digital generalmente de 950 a 2150 MHz (sateliteclasea, 2014: párr. 2).. En la empresa MULTICABLE operan los LNB de marca Pansat PC-9500W.

Un IRD o equipo Receptor/Decodificador Integrado cumple con la función de recibir una señal digital en alguno de los estándares (cable, satélite, terrestre, IPTV), y de comprobar que tenga permiso para ver esta señal de video. En MULTICABLE S.A. se emplean decodificadores D9865 de marca CISCO y decodificadores de marca SCIENTIFIC ATLANTA modelo POWERVU D9835.

Una vez receptado las señales, se las dirige hacia la sección de preparación y tratamiento, donde se adecua y combina el plan de programación a ofertar.

Demoduladores: Se encargan de la recepción de la señal de televisión abierta y su paso a banda base (41-47 MHz en señales NTSC). Permite la mezcla y ecualización de los canales de entrada y de salida. En la cabecera de MULTICABLE S.A. opera un demodulador de canal ágil marca PICO/Macom PFAD-900cs para cada canal nacional captada.

Moduladores: la siguiente fase consiste en el traslado de las señales en banda base hacia el proceso de adecuación de las portadoras de audio y video y convertirlas a radiofrecuencias (RF) para ser asignados en un canal que se adicione a las demás canales del plan de programación de la empresa. Un canal es toda la información audiovisual contenida en un tamaño específico del espectro, sirve para poder colocar y enviar varios canales en una misma línea de transmisión, y después poder recuperarlos por separado sin que ellos se mezclen. En un canal de televisión estándar se maneja un formato de 2 portadoras, con información y modulación diferente en cada una, todo esto contenido en un ancho de banda de 6 MHz según el sistema internacional NTSC.

Combinadores: Las señales RF moduladas se juntan en los combinadores para ser transmitidos por un solo cable, en el caso de MULTICABLE se emplean los combinadores pasivo PICO MACOM PHC-12U.

B. Diagnóstico de la red troncal de MULTICABLE S.A.

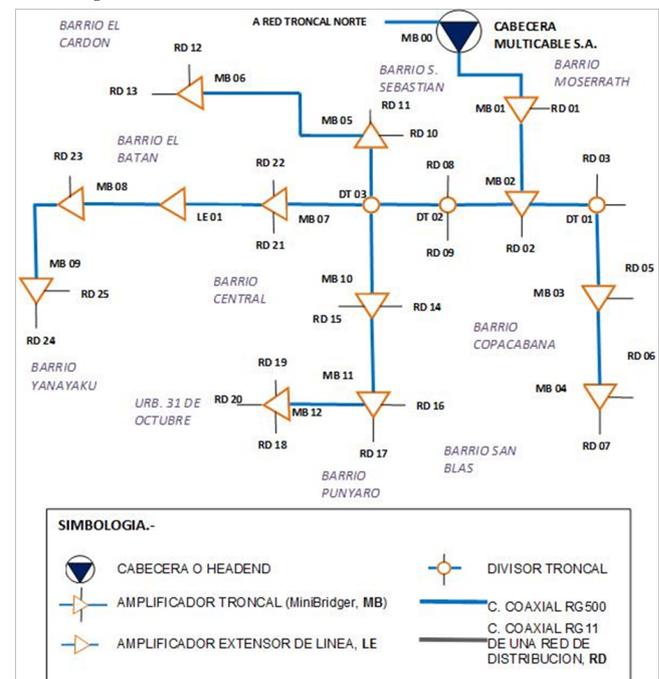


Fig. 7 Esquema de la red troncal desplegada para el sector sur de la ciudad de Otavalo.

La red troncal constituye el cableado de cable coaxial de mayor diámetro, generalmente de $\frac{1}{2}$ pulgada (RG500), cuya función es

transportar la señal RF con mínimas pérdidas hacia redes de distribución. Típicamente son trayectos aéreos de 300 a 500 metros, si se requiere extender el tendido troncal es necesario emplear equipos de amplificación.

Para la red troncal de la empresa MULTICABLE S.A., desde la cabecera de red ubicada en el barrio San Sebastián, parten dos líneas de cables troncales RG500, una de ellas destinada a cubrir el sector sur de la ciudad de Otavalo y la otra al sector norte.

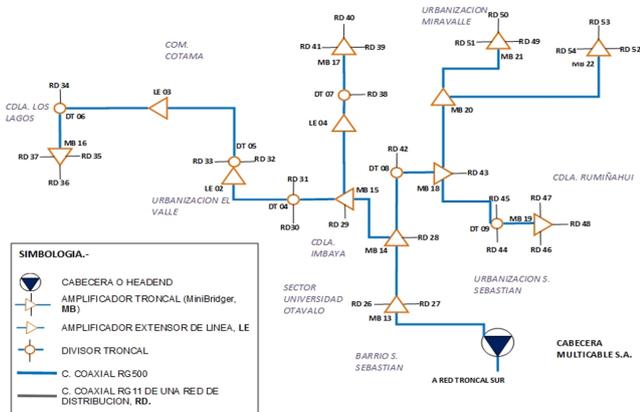


Fig. 8 Esquema de la red troncal desplegada para el sector norte de la ciudad de Otavalo.

Las partes constitutivas de una red troncal de CATV constan de elementos pasivos (cable coaxial, acopladores, divisores) y activos (amplificadores y fuentes de voltaje).

Cable Coaxial: Se define como coaxial al cable que está formado por dos conductores concéntricos; el conductor central, es un cable sólido conocido como núcleo o vivo, el conductor externo se denomina malla o blindaje (shield), el conductor externo forma un cilindro separado del conductor interno por medio de un material dieléctrico, y todo este conjunto protegido por una cubierta.

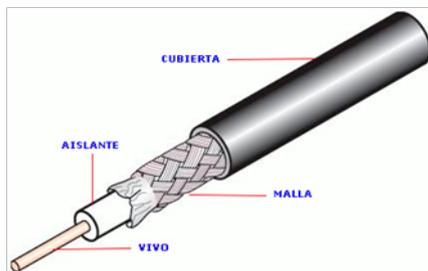


Fig. 9 Partes del cable coaxial.

Acopladores direccionales: Es un dispositivo pasivo direccional que separa la señal RF en una salida directa y salida derivada. Está formado por tres terminales, uno para la entrada de la señal, otro la transporta a la línea troncal y le da continuidad de la red, y el tercero deriva la señal a la red de distribución, y, en función a la cantidad de usuarios la atenuación de la salida pueden variar de 7, 9, 12 y 16 dB, siendo la de mayores valores aquellos que tienen derivaciones más próximas a clientes.

Divisores: En la troncal de MULTICABLE existen splitters que disponen de 2 y 3 salidas, las características más sobresalientes a considerar son la capacidad de ancho de banda (5-1000 MHz), Impedancia de 75 ohms, atenuación típica de 3 dB por cada salida.

Amplificadores de CATV: La red troncal utiliza amplificadores troncales de alta calidad, dispuestos en cascada entre segmentos de cable coaxial cuya función es compensar las pérdidas del cable, tal que el balance final de ganancias y pérdidas sea cero. Poseen un cierto consumo de energía, además de introducir ruido y distorsión. En el caso del cable coaxial RG500 es recomendable amplificar la señal a partir de 500 metros. Físicamente los amplificadores son estructuras impermeables, de fundición de aluminio y vienen provistos de ferretería de montaje, tanto para sujeción en poste o bien para ser suspendido en una rienda de acero portante. La disposición en cascada de amplificadores troncales puede estar constituido por 20 y 30 equipos en redes de gran capacidad y hasta

60 en redes de banda ancha. En MULTICABLE, la totalidad de amplificadores mini-bridger son de tipo MB-750D-H de General Instrument (actualmente esta marca fue adquirida por Motorola) con niveles de salida entre los 37-47 dBmV y la ganancia entre 22 y 27 dBmV.



Fig. 10 Amplificador CATV.

Fuentes de poder: Son aquellos que suministran el voltaje suficiente a los dispositivos activos de la red como son los amplificadores. Las fuentes de alimentación se colocan a intervalos de larga distancia, posterior al sexto amplificador contado a partir de la cabecera de red.

C. Diagnostico de la red de distribución de la empresa MULTICABLE S.A.

La red de distribución es la encargada, como su nombre lo indica, de distribuir las señales RF hasta la red de acometida del suscriptor.

Las redes de distribución de MULTICABLE comprende tramos de diferente longitud de cable coaxial RG11, la mayoría da cobertura a 3 cuadras, pero además existen sectores de mayor extensión, en ese caso se aplican los amplificadores extensores de línea o LINE EXTENDER cada 300 metros.

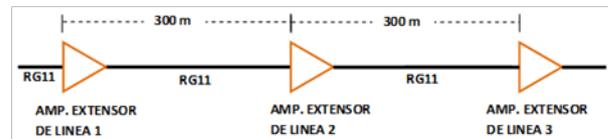


Fig. 11 Extensión de red de distribución en base a cascada de amp. extensores de línea.

La línea de distribución inicia en los elementos repartidores de la red troncal, esto es, desde las salidas de los amplificadores mini-bridger o desde los repartidores troncales (splitters) ubicados en un punto de división del tramo troncal. La empresa MULTICABLE presenta dos configuraciones de distribución: red de secundaria con una única línea de distribución, y red de distribución con múltiples líneas de secundarias, hasta 3 ramificaciones.

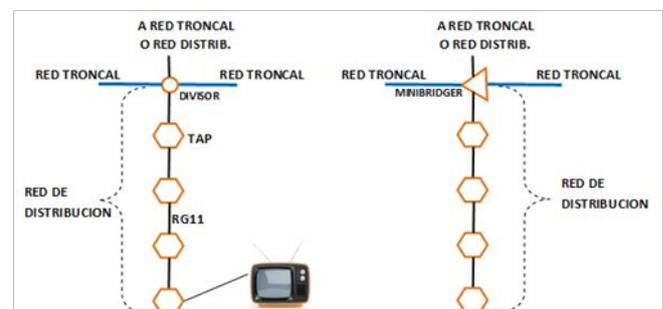


Fig. 12 Puntos de partida de una red de distribución.

En el primer caso la red de distribución recorre un único trayecto (topología bus) de cable coaxial RG11 de un máximo de 300 metros desde un punto divisor de la red troncal, que puede ser una salida del amplificador mini-bridger o una salida de un divisor troncal. En dicha longitud están colocadas (cada de 40 metros, poste a poste) los elementos de derivación a la red de acometida denominado TAP, el cableado tipo bus la se puede observar en el gráfico anterior. El segundo caso, la red de distribución parte desde un equipo divisor, este tipo de cableado presenta varias ramificaciones formando una topología tipo árbol.

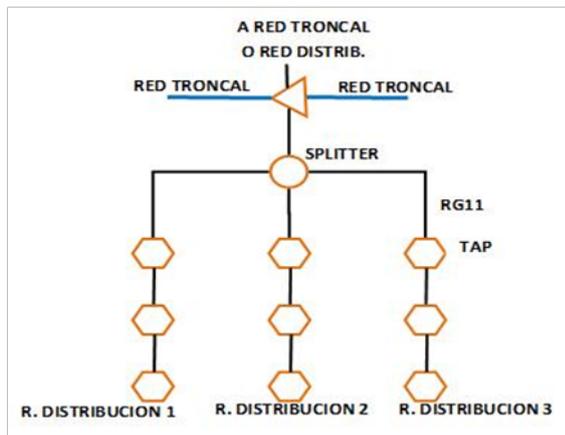


Fig. 13 Ramificación de una red de distribución a través de un splitter.

D. Diagnóstico de la red de acometida de los clientes de la empresa MULTICABLE S.A.

La Red de acometida o abonado, es aquella que parte desde un derivador hasta la entrada coaxial del televisor del cliente, generalmente la red de acometida conforma el cableado con cable coaxial RG6 que inicia en uno de los puertos F del derivador más cercano hasta el televisor del abonado. La distancia máxima que recorre el cable RG6 en Multicable es de 50 metros, mayor longitud no es recomendable, debido a la atenuación que a esa distancia se encuentra a 6 dB.

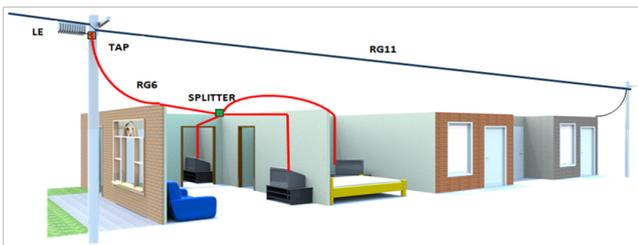


Fig. 14 Instalación domiciliar de CATV en MULTICABLE S.A.

Los cables RG 6 son de 6,9 mm de diámetro, mientras que los cables RG 59 son más delgados, con un diámetro de 6,15 mm. Los cables RG 6 consisten en cobre desnudo, cinta de poliéster de aluminio y cobre con estaño. Los cables RG 59 consisten en plata cubierta de cobre y cobre desnudo. La acometida del cliente no necesariamente puede terminar en un televisor, sino de la misma salida del tap se la puede subdividir para 2, 3, 4, 5 televisores dentro de una misma vivienda. Esta función se encarga los splitters o divisores.

V. CÁLCULO DE LOS ENLACES COAXIALES DE LA RED MULTICABLE S.A.

Atenuación: En redes de CATV la atenuación es la cantidad de pérdida de potencia de la señal debido a la distancia, la atenuación además crece al incrementarse la frecuencia. Varía además, en función de la temperatura (20°C , nominal) y la cantidad de componentes intermedios que se utilizan para repartir y/o unir una sección coaxial. La atenuación total equivale a un tramo de cable coaxial RG500 es:

$$\begin{aligned} A_{RG500} &= \text{longitud total}_{RG500} * \text{dB}/m \\ A_{RG500} &= 350m * 4,77\text{dB}/100m \\ A_{RG500} &= 16,695\text{dB}; \text{atenuación a } 330 \text{ MHz} \end{aligned}$$

$$A_{RG500} = 350m * 1,83\text{dB}/100m = 6,405\text{dB}; \text{atenuación a } 55 \text{ MHz}$$

Como se puede apreciar en los cálculos anteriores, sobre un mismo cable la atenuación varía en función a la frecuencia,

pudiendo tener varios niveles de atenuación siendo las de mayor valor en frecuencias altas, punto muy importante a considerar pues el sistema IPTV ocupa todo el rango de frecuencias disponibles en redes NTSC (5 MHz a 860 MHz, hasta 1000 MHz con DOCSIS 3.0).

Respecto al tramo troncal con mayor inconveniente de atenuación es aquel que conecta los amplificadores LE 03 y MB 16, con un 27.3 dB de atenuación a 510 metros de longitud. Este tramo está ubicado en el sector noroeste de la red troncal y alimenta a las redes de distribución de la ciudadela Los Lagos a pesar de que hay tramos RG500 poco más extensos, este tramo presenta problemas de señal, debido sobre todo a la distancia extensa, el divisor intermedio que atenúa 3.5 dB adicionalmente y al amplificador de poca ganancia (LE 03, ganancia 25.5 dB) de donde desemboca la señal.

Por parte de la red de distribución se presentan algunos inconvenientes de atenuación elevada, así, el tramo de distribución que recorre por la calle Roca casi 4 cuadras (350 metros) en el barrio Central presenta la mayor atenuación 32.55 dB, debido a la distancia y los 5 derivadores intermedios. Si se pretende instalar más cantidad de derivadores u extender la red, es recomendable instalar un amplificador extensor a una distancia de 300 metros a partir del LE05.

Otro tramo coaxial RG11 que presenta problemas de atenuación es aquella que distribuye la señal para el sector norte de la ciudadela Rumiñahui presenta 30.76 dB de atenuación, puesto que la distancia de 340 metros desde la fuente en el amplificador minibridger MB 18 hasta Punto de Terminación sobrepasa los valores recomendados ($\leq 300m$), además se emplea un divisor en el trayecto que a su vez suma la atenuación. En este caso la cantidad de HP (hogares pasados, suscriptores) es de 1 familia y están conectados al TAP de mínima pérdida (11 dB de salida) y la distancia del Tap al cliente no debe sobrepasar más de 20 metros.

Relación Portadora a ruido (C/N): Es la relación o proporción que existe entre la portadora de la señal y el ruido en un ancho de banda determinado. Es una medición que permite conocer qué tan cerca se encuentra el ruido respecto a la señal que se desea transmitir. La C/N se manifiesta en la pantalla del tv como nieve o lluvia.

Para una sección troncal compuesta con una cascada de amplificadores la CNRs al final de los amplificadores involucrados resulta de la siguiente fórmula.

$$CNR_S = -10\log_{10}(10^{-CNR_1/10} + \dots + 10^{-CNR_n/10})$$

Para el CNR de un sólo amplificador se utiliza la siguiente fórmula.

$$CNR = \text{niveldesalidad} - (-59,2 + NF + \text{ganancia})$$

Donde;

Nivel de salida: por ejemplo 44.01 dBmV en el amplificador MB00 de Multicable S.A.

NF: Imagen de ruido del amplificador (NF=11.5 dB según fabricante del amplificador MB 750D-H).

- 59.2: Constante (ruido térmico).

Ganancia del amplificador: especificada por el fabricante (36 dB).

El resultado de la relación del nivel de la portadora de vídeo con respecto al ruido del sistema no debe ser menor a 43 dB según la FCC. A continuación la tabla siguiente resume la CNR de todos los tramos que conforman la red troncal.

TABLA I
NIVELES DE CALIDAD POR CADA TRAMO COAXIAL DE LA RED
TRONCAL MULTICABLE S.A.

Nro	Amplificadores	CNR(dB)	CSO(dB)	CTB(dB)
1	MB00, MB01,MB02, MB03 y MB04	48.18	51.03	52.92
2	MB00, MB01, MB02,MB05 y MB06	48.48	50.47	51.26
3	MB00, MB01, MB02, MB07, LE01,MB08 y MB09	44.23	51.58	52.44
4	MB00, MB01, MB02, MB10,MB11 y MB12	45.05	51.19	52.13
5	MB00, MB13, MB14, MB15, LE02, LE03 y MB16	45.86	50.58	51.06
6	MB00, MB13, MB14, MB15, LE04 y MB 17	45.48	52.97	52.89
7	MB00, MB13, MB14, MB18 y MB19	45.60	54.13	54.56
8	MB00, MB13, MB14, MB18, MB20 y MB21	45.63	51.01	51.78
9	MB00, MB13, MB14, MB18, MB20 y MB22	45.49	51.23	52.63

Distorsión de Componentes de segundo orden (CSO): Las distorsiones compuestas son alteraciones producidas cuando todas las frecuencias pasan a través del amplificador; a más frecuencias presentes en un amplificador, más combinaciones de distorsión se producen. Pueden llegar a ser un factor limitante en sistemas que portan 60 o más canales pues el CSO afecta las imágenes causando líneas diagonales molestas.

Para calcular el CSO al final de la cascada de amplificadores, es primordial conocer el CSO a la salida de cada uno de los amplificadores que la conforman. Para conocer el CSO de un solo amplificador resulta de la siguiente fórmula:

$$CSO = CSO_{ref} - (nivelesalida - niveldereferencia)$$

Donde:

CSO_{ref}: Batidos de Segundo Orden (CSO_{ref}=59 dB según fabricante del amplificador).

Nivel de salida: lectura de nivel de salida en cada amplificador.

Nivel de referencia: dBmV de salida especificado por fabricante (47 dBmV).

Entonces al final de una cascada (tramo troncal), el CSO total equivale a desarrollar la siguiente fórmula:

$$CSO_S = -15 \log_{10}(10^{-CSO_1/15} + \dots + 10^{-CSO_n/15})$$

Donde:

CSO_n: Batidos de Segundo Orden a la salida de cada amplificador.

En la tabla 1 se resume cada valor de CSO por cada tramo troncal, donde demuestra que todos los valores CSO son superiores a 51 dB, cumpliendo así con las especificaciones de rendimiento óptimo establecida por la FCC.

Distorsión de Componentes de tercer orden (CTB): Triple Batido Compuesto (CTB) se le llama a un tipo de distorsión ocasionada por la mezcla no deseada de portadoras en el sistema. A diferencia del CSO, el CTB cae directamente en la posición de la portadora de video de los canales. Los efectos del CTB serán visibles líneas diagonales moviéndose a través de la imagen o como una espuria en forma de arco iris. La fórmula para calcular

el CTB de un solo amplificador es:

$$CTB = CTB_{ref} - 2(nivelesalida - niveldereferencia)$$

El CTBs al final de la cascada de amplificadores, resulta de aplicar la siguiente fórmula:

$$CTB_S = -20 \log_{10}(10^{-CTB_1/20} + \dots + 10^{-CTB_n/20})$$

Donde:

CTB_n: Triple Batido Compuesto a la salida de cada amplificador.

En la tabla 1 están organizadas los resultados del cálculo de CTB para cada tramo troncal, dichos valores cumplen con las especificaciones de performance determinadas por la FCC (CTBs >= 51dB).

En conclusión, el objetivo de la red troncal es suministrar a la entrada de red de distribución no menos de 40 dBmV. Este requerimiento fuerza a los amplificadores en la parte de distribución por lo que se recomienda solo uno o dos amplificadores Extensores de Línea en cascada. Estos amplificadores son separados 300 m dependiendo del número de taps requeridas por la densidad de casas (home passed o HP).

A su vez, el objetivo de la red de distribución es suministrar al menos 0 dBmV pero no más de 10 dBmV al terminal en el receptor de televisión, un valor menor produce imágenes lluviosas y valores mayores sobrecargan el sintonizador del receptor de televisión, resultando en modulación cruzada de los canales (un zumbido en el audio, para pocos canales menos zumbido).

Es necesario un nivel de señal de 10 a 15 dBmV en la derivación, para compensar pérdidas en el cable de acometida. Según la información facilitada por el Sr. Abel Simbaña, técnico de la empresa Multicable S.A. la distancia máxima que recorre un cliente es de 38 m, a mayor longitud se siente en mayor grado los problemas de recepción en los televisores del cliente.

Hay razones adicionales que disminuyen la calidad de la señal y pueden causar imágenes pobres para el abonado, una fuga de señal causada por un conector defectuoso, una pieza de cable dañado o por defecto en el receptor de televisión. Esto puede ocasionarse cuando se instalan divisores de señal en la casa, no autorizados, para alimentar múltiples receptores.

VI. ESTUDIO DE MERCADO.

Una parte importante del diseño es el dimensionamiento en capacidad y cobertura de la red, por lo que, la proyección de la red basado en valores reales sustenta la viabilidad de un proyecto. Como primer paso es la obtención de opinión y nivel de interés de los consumidores hacia un producto a crearse, para ello, la encuesta se usó como método de recolección de opinión respecto a la televisión interactiva que la empresa pretende brindar, donde el cliente puede elegir y disfrutar la programación que prefiera, en cualquier momento y en la comodidad de su hogar. Además de servicios de contenido Premium, video bajo demanda (VoD) o pago por ver (PPV) con la cual el cliente podrá disfrutar de canales para ver lo mejor de los videos, cine mundial, estrenos, series y programación para adultos. Sin interrupciones ni cortes comerciales.

Además, el cuestionario permite obtener información acerca de el nivel de interés de los encuestados sobre servicios adicionales donde el cliente puede armar su plan, seleccionado la cantidad de canales que desea contratar (televisión a la carta) por ultimo y no menos importante, permite conocer interés acerca de servicios de telefonía, internet banda ancha y canales de audio (radio, musicales) sobre una misma conexión.

A. Ejecución de la encuesta.

En función al alcance de la red de Multicable S.A., los encuestados fueron moradores de los barrios que comprenden el sector urbano de la ciudad. El tiempo estimado fue de 10 días laborables para ejecutar la totalidad de 171 encuestas, dicha cantidad se obtuvo del cálculo del tamaño de la muestra conociendo el Tamaño de la Población empleando la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * (1 - p)}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * (1 - p)}$$

De donde,

n: Tamaño de la muestra

N: Tamaño de la población (N= 46 372 otavaleños del sector urbano a 2014)

Za: Nivel de confianza (Za=1.645 nivel de incertidumbre a tolerar mínimo de 90 %)

p: Probabilidad de éxito, o proporción esperada (p= 0.1982 ya que por cada 100 otavaleños se tiene 19.82 televisores)

d: Precisión (d=0,05 para error máximo admisible en términos de proporción de 5 %).

Entonces,

$$n = \frac{46372 * 1,645^2 * 0,1982(1 - 0,1982)}{0,05^2 * (46372 - 1) + 1,645^2 * 0,1982(1 - 0,1982)}$$

$$n = 171, 3738$$

Por lo cual para obtener la información de una cantidad adecuada de muestras es necesario realizar encuestas a 171 otavaleños.

B. Tabulación de resultados de la encuesta.

Encuestados interesados por IPTV=82 %

Encuestados interesados por VoD =66 %

Encuestados interesados por PPV =65 %

Encuestados interesados por Internet=67 %

Encuestados interesados por telefonía=42 %

Personas con servicio de televisión por cable=32 %

Sectores a cubrir: parroquias San Luis, El Jordán, San Pablo, Gonzales Suárez, Eugenio espejo, Iluman y Miguel Egas (Peguche)

VII. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA

De esta manera, el método de proyección de la demanda con resultados más aproximados a la realidad es el Modelo o función de Gompertz (conocido también como "Ajuste de curva en forma de S") que representa la tendencia a crecer a medida que madura el producto, es decir comienzan bajas, aumenta conforme el producto se dé a conocer y finalmente adquiere un nivel fijo cuando alcanza la saturación. La fórmula considera la demanda futura de P suscriptores en T años.

$$P = e^{a - b * c^T}$$

De donde:

P: Proyección al año T,

T: tiempo en años,

e: Constante de Euler (2,7182...),

a, b y c: Parámetros de la función, a=9.2103 (si P_∞=10000 a T_∞=indefinido y c = 0 considerando la saturación del sistema), b=2.1064 (si P₀= 800 a T₀=0 años considerando suscriptores actuales de la empresa Multicable S.A.) y c=0.9454 (si P₁=1365 a T₁=1 considerando el nivel de interesados según población otavaleña proyectada para el 2015).

TABLA II
PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE SERVICIOS EN LOS PRIMEROS 7 AÑOS.

Año	IPTV	PPV)	VoD	Internet	Telefonía
T1	1365	220	216	278	102
T2	2080	406	400	510	191
T3	2900	681	671	846	330
T4	3768	1049	1035	1286	528
T5	4632	1508	1490	1822	791
T6	5451	2045	2022	2432	1122

VIII. DISEÑO DEL SISTEMA HÍBRIDO FIBRA ÓPTICA-COAXIAL (HFC) DE LA EMPRESA MULTICABLE OTAVALO.

A. Cálculo de Capacidad para el servicio de IPTV.

En un esquema digital, la tasa de transferencia requerida depende de las técnicas actuales de compresión de video (MPEG o H.264) y de la calidad de la imagen, por ende: Para transmitir videos en definición estándar (SD resolución de 750x480 pixeles, es de calidad similar a los videos de televisión analógica o de un disco DVD) es necesario una tasa de transferencia de 3 a 6 Mbps para imágenes codificadas con MPEG-2; mientras que en el caso de la compresión de video en definición estándar con MPEG-4 o H.264 se requiere una tasa de transferencia de 1.5 a 3 Mbps. Para un servicio de IPTV la tasa de transferencia se define a 4 Mbps (MPEG-2) y 1.5 Mbps para MPEG-4.

Los videos en alta definición (HD con resolución de 1280x720 pixeles) necesitan transferencias no menores de 15 Mbps con MPEG-2 y de 6 a 9 Mbps con MPEG-4/H.264. En IPTV se define para MPEG-2 una tasa de transferencia de 15 Mbps y 8 Mbps con compresión MPEG-4. Para audio estéreo con MPEG-1 layer 2: 128 Kbps.

En una red CATV para transmitir datos se reserva un canal de televisión para el sentido descendente; el ancho de banda del canal será de 6 MHz. La cual, empleando modulación 256-QAM otorga una tasa máxima total de transferencia de flujos de 42.88 Mbps y una tasa nominal máxima de aproximadamente 38 Mbps para tráfico descendente, y 30.72 Mbps para tráfico ascendente con modulación 64 QAM.

Inicialmente el ancho de banda debe ser capaz de transportar los flujos downstream (descendente) de los 42 canales de televisión que ofrece la empresa MULTICABLE S.A. en la actualidad pero considerando su digitalización, entonces:

$$Capacidad_{video} = cantidad\ streams * tasa\ transferencia$$

$$Capacidad_{video} = 42 * 1,5Mbps$$

$$Capacidad_{video} = 63Mbps$$

Para audio se requiere:

$$Capacidad_{audio} = 42 * 128Kbps = 5,376Mbps$$

Por lo que;

$$Capacidad\ total_{AV} = capacidad\ video + capacidad\ audio$$

$$Capacidad\ total_{AV} = 63Mbps + 5,376Mbps = 68,376Mbps$$

Como ya se ha mencionado, parte de la red HFC mantiene la infraestructura coaxial, por ende, y en función a la estándar DOCSIS, es necesario calcular la capacidad de tráfico considerando en el ancho de banda en el que operan los sistemas coaxiales, por tanto la cantidad de canales digitales a utilizarse son:

$$CantidadCanales_{downstream} = \frac{capacidad\ Total\ Requerida}{Capacidad\ Max\ DOCSIS}$$

$$CantidadCanales_{downstream} = \frac{68,376Mbps}{42,88Mbps} = 1,5946, \text{ para flujos en SD}$$

Por lo tanto, para transmitir 42 videos en definici3n est3ndar se requiere 2 canales de 6 MHz con tecnolog3a DOCSIS, utilizando compresi3n MPEG-4.

En s3ntesis, se requiere de 8 canales digitales para downstream de los 42 flujos de audio/video en alta definici3n con compresi3n MPEG-4. A continuaci3n se resumen la capacidad requerida para downstream de la programaci3n televisiva que actualmente la empresa MULTICABLE S.A. oferta:

TABLA III
REQUERIMIENTOS EN ANCHO DE BANDA PARA IPTV CON DOCSIS 3.0.

Servicio IPTV	Capacidad (Mbps)	Canales DOCSIS)	Compresi3n
42 canales SDTV	173.376 63	5 2	MPEG-2 MPEG-4/H.264
42 canales HDTV	635.376 341.376	15 8	MPEG-2 MPEG-4/H.264

B. C3lculo de capacidad para el servicio de Pague Por Ver.

Seg3n la franquicia IBOPETIME Ecuador que realiza la medici3n de audiencia de televisi3n en el mercado nacional, registra un pico de televidentes (66,98 %) en el horario de 7 a 9 de la noche independientemente del contenido que est3n viendo. Aplicando esa proporci3n, por ejemplo, para el caso de estudio resulta un m3ximo de 148 (66.98 % de 220 clientes estimados para el 2015) conexiones independientes y simultaneas.

TABLA IV
PROYECCI3N DE CAPACIDAD DE SERVICIO PPV, VIDEOS EN DEFINICI3N EST3NDAR.

A3o	Cientes	Flujo SD)	Capacidad Re-querida (Mbps)	Canales DOCSIS
T0	106	71	116	3
T1	220	148	240	6
T2	406	272	443	11
T3	681	456	743	18
T4	1049	703	1144	27
T5	1508	1010	1644	39
T6	2045	1370	2230	53

C. C3lculo de capacidad tr3fico ascendente de solicitudes para PPV o VoD.

El ancho de banda ascendente es un recurso limitado, pues debe ser compartido por todos los usuarios, este ancho de banda suele dividirse en varios canales RF ascendentes, de 1 a 6 MHz cada uno, con capacidad entre 1.6 y 10 Mbps. Con la tecnolog3a DOCSIS se puede obtener tasa de transferencia superiores a 120 Mbps, sobre una combinaci3n de 4 canales de 6.4 MHz. Cada canal admite transferencia hasta de 30.72 Mbps.

TABLA V
PROYECCI3N DE CAPACIDAD PARA CANAL ASCENDENTE.

A3o	Cientes PPV	Flujo Ups-tream)	Capacidad Re-querida (Mbps)	Canales DOCSIS
T0	106	11	0,704	1
T1	220	22	1,41	1
T2	406	41	2,6	1
T3	681	68	4,36	1
T4	1049	105	6,71	1
T5	1508	151	9,65	1
T6	2045	205	13,09	1

D. C3lculo de Capacidad para tr3fico de datos (Internet).

Un 67 % de los encuestados desear3an internet en casa, para lo cual, la digitalizaci3n de los sistemas de la empresa facilitar3 la integraci3n de servicios adicionales.

TABLA VI
PROYECCI3N DE CAPACIDAD PARA TR3FICO DE DATOS (INTERNET).

A3o	Cientes	Planes a ofertar	Capacidad Re-querida (Mbps)	Canales DOCSIS
T0	133	2	10.64	1
T1	278	2.5	28.69	1
T2	510	3.3	67.90	2
T3	846	4.3	145.29	4
T4	1286	5.5	284.90	7
T5	1822	7.1	520.70	13
T6	2432	9.2	896.59	21

E. C3lculo de Capacidad de tr3fico de telefon3a.

La cantidad total de tr3fico telef3nico en una red el cual resulta de la f3rmula:

$$A = n * Erl/abonado$$

De donde;

A es el tr3fico total generando por n abonados.

n es la cantidad de abonados.

Erl/abonado es el tr3fico generado por cada abonado (0.1).

$$A = 49 * 0,1Erl/abonado \quad A = 4,9Erl$$

Es decir que para 49 usuarios ocupan un tr3fico total de 4.9 Erlangs.

Posteriormente, el c3lculo se direcciona en obtener la cantidad de l3neas telef3nicas a usar para 4.9 erls. Para ello se utiliza la herramienta web del c3lculo Erlang B que se encuentra alojada en la pagina <http://www.erlang.com/calculator/erlb/>:

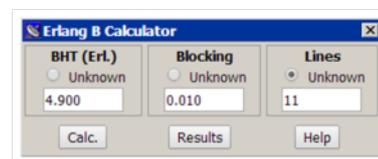


Fig. 15 C3lculo de cantidad de circuitos requeridos para transmitir tr3fico de voz para abonados proyectados para el a3o T0.

Donde:

Pb es la Probabilidad de bloqueo (Pb= 0.01 que equivale a decir 1 llamada bloqueada por 100 llamadas intentadas.).

m es el n3mero de circuitos

A es la cantidad total de tr3fico ofrecido en erlangs.

Seg3n la Uni3n Internacional de telecomunicaciones (ITU), un E1 (2048 Kbps) est3 formado por 30 canales de voz de 64 Kbps cada uno, el n3mero de E1s necesarios son: cantidad de E1=(canales de voz)/30=(11)/30=0.4

TABLA VII
PROYECCIÓN DE TRÁFICO TOTAL DE VOZ (DESCENDENTE Y ASCENDENTE) PARA PRÓXIMOS 7 AÑOS.

Año	Clientes	Tráfico Total(Erl.)	Canales de voz	Cantidad de E1s	Canales Dows-tream/Us
T0	49	4,9	11	0,4	1/1
T1	102	10,2	18	0,6	1/1
T2	191	19,1	29	1,0	1/1
T3	330	33	45	1,5	1/1
T4	528	52,8	67	2,2	1/1
T5	791	79,1	95	3,2	1/1
T6	112	2 112,2	130	4,3	1/1

F. Distribución servicios en el espectro de frecuencia.

Normalmente el canal de televisión por cable ocupa la región de 54-550 MHz en el cual hay una banda de radio FM de 88 a 108 MHz. Cada canal es de 6 MHz de ancho.

La inserción de tecnologías digitales permite operar sobre 550 MHz, a menudo a 860 MHz para datos downstream, con la tecnología DOCSIS 3.0 se puede operar en bandas hasta 1002 MHz. Los canales upstream se introducen en la banda 5-88 MHz.

Para el diseño de la red es necesario ubicar los canales proyectados al 2020, pues como es obvio, para ese lapso se estima mayor demanda por ende mayor capacidad de la red.

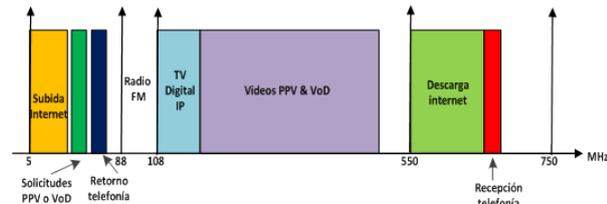


Fig. 16 Distribución de servicios IPTV en espectro NTSC proyectados para la empresa MULTICABLE S.A. para el año 2020.

La figura anterior ofrece una vista resumida del tráfico generado por nuevos servicios ofertados por la empresa hacia el año 2020, pueden con total certeza, ser contenidas y soportadas por una red HFC, pues como se indica en los resultados de los cálculos, los canales digitales pueden aprovechar el rango de frecuencias NTSC que actualmente soportan los amplificadores y demás dispositivos de distribución desplegadas en la red analógica de la empresa MULTICABLE S.A.

G. Elección de la topología.

Como primer punto del diseño de la red HFC está la elección de la topología por desplegar en la empresa MULTICABLE S.A., para el presente estudio se define una topología de anillo, la misma que corresponda a la red troncal de banda ancha comprendido por enlaces de fibra óptica que reemplazarán a las tramos troncales de cable coaxial que no rinden frente a soluciones de IPTV, los enlaces troncales ópticos desembocan en los nodos ópticos que a su vez que alimenten a cada una de las redes de distribución coaxial que al momento se tiene desplegada en la ciudad de Otavalo.

El esquema con enlaces por bucle o anillos troncales es favorable respecto a las demás (topología en estrella, bus, mesh, etc.) ya que que en una topología en anillo es mas viable utilizar dos cables ópticos independientes, tendidos por diferentes rutas, garantizando el transporte del servicio a pesar de que se dañen todas las fibras en uno de los cables (redes de respaldo o backup).

Por su puesto al considerar líneas redundantes por un único se establece un cable óptico con diferentes pares de fibras. En el caso de que alguna fibra se dañe, se procede a la conmutación a otras fibras de reserva disponibles en el cable.

Con todas estas consideraciones, la red hibrida fibra óptica- cable coaxial de Multicable s.a. está diseñada en dos anillos troncales (red de acceso o red primaria) de fibra óptica desplegados por los sectores: oriental y occidental de la ciudad de Otavalo.

El anillo oriental abarca los barrios: Central, Copacabana, La Florida, San Blas, sector de la terminal terrestre y Monserrath; dichos lugares corresponden los sectores que al momento cubren las redes coaxiales de MULTICABLE.

Como resultado del análisis de la demanda, un mercado a considerar son los habitantes de las parroquias de San Pablo, González Suárez y Eugenio Espejo, los mismos que se conectan a la red de acceso del anillo óptico oriental como se indica en la figura.

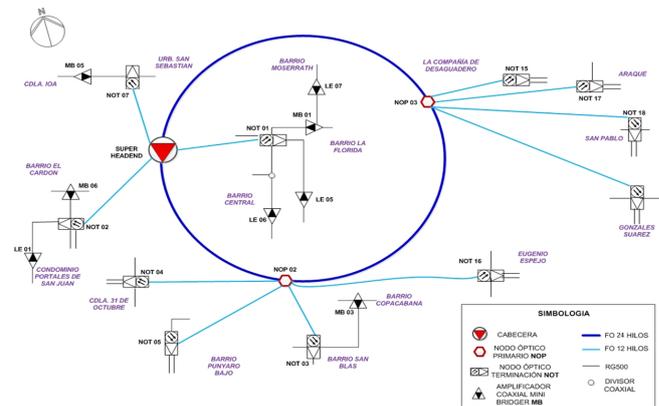


Fig. 17 Red primaria HFC con cobertura al sector sur y este de Otavalo.

En esta topología, el objetivo del diseño HFC es que se conserve la mayoría de las redes de distribución coaxial desplegada actualmente por la empresa, con lo cual, la parte coaxial no tendrá mayores cambios en el tendido o ubicación de los equipos pasivos que reparten la señal a los clientes, además, la ventaja principal de una red HFC es eliminar las cascadas de amplificadores, los mismos que son empleados en su gran mayoría en la red troncal, así pues, con el despliegue de redes ópticas, pocos sectores de la red secundaria emplean amplificadores para llegar a los clientes con lo cual se garantiza que los cambios no afecten en gran medida a las redes secundarias a las cuales los clientes actualmente se conectan.

De igual manera, el otro anillo de fibra óptica considerada en el diseño abarca el sector norte y occidente de la ciudad de Otavalo con extensiones de red hasta la parroquia de Ilumán según estudio de demanda.

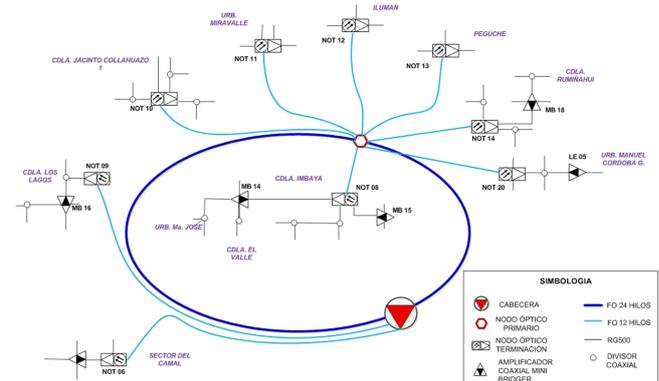


Fig. 18 Red primaria HFC con cobertura al sector norte y oeste de Otavalo.

H. Cálculo de los enlaces ópticos.

El cable óptico elegida para el caso de estudio es de tipo monomodo ADSS, la atenuación de la fibra óptica es de 0.35 dB por cada Km y se considera un factor de dispersión de 1 dB. En estas longitudes se realizan el terminado con la colocación de

conectores tipo SC-APC cuya pérdida será máximo 0.5 dB por cada uno.

Adicionalmente, se consideran las pérdidas por empalmes ópticos (pérdidas de 0.1 dB utilizando técnica de fusión) requeridos en casos de uniones en enlaces ópticos de longitudes superiores a 4 Km (longitud máxima de cada carrete de fibra ADSS) especificados en las tablas anteriores.

Por ejemplo, la atenuación total de los enlaces que conforman anillo de fibra óptica que conecta el transmisor ubicado en la cabecera y el nodo primario NOP01 ubicado en la cdla. Rumiñahui (sector norte de la ciudad) resulta de considerar que la longitud es de 1.31 Km que corresponde al enlace principal CRC-NOP01a, y su enlace de respaldo CRC-NOP01b es de 3.5 Km. Con estos valores, la atenuación resulta de la siguiente fórmula.

$$AT = A_F L + A_e N_e + A_c N_c + M_r$$

Donde,

AT: Atenuación total en dB

AF: Coeficiente de atenuación según hoja técnica del cable (0.35dB/Km según norma EIA/TIA 568 B3).

L: Longitud total del cable desplegado incluido el 5 % de margen de holgura (CRC-NOP01a=1.38 Km).

AE: Atenuación por empalme (0.1 dB con técnica de fusión según norma)

Ne: Cantidad de empalmes utilizados (CRC-NOP01a= 0 empalmes).

Ac: Atenuación por conectores (0.5dB en conectores SC)

Nc: Cantidad de conectores (2, uno en cada extremo del enlace).

Mr: Margen de reparación de 1 o 2 dB de margen, contemplando alguna reparación extra, por cortes, cambios de trayectorias del cableado, etc.

$$AT_{CRC-NOP01a} = 0,35[db/Km] * 1,38[Km] + 0 * 0,1[db] + 0,5[db] * 2 + 1[db] \quad AT_{CRC-NOP01a} = 2,481[db]$$

De igual manera, para el enlace de raspado CRC-NOP01b se tiene:

$$AT_{CRC-NOP01b} = 0,35[db/Km] * 3,68[Km] + 0 * 0,1[db] + 0,5[db] * 2 + 1[db] \quad AT_{CRC-NOP01b} = 3,286[db]$$

Los valores de la atenuación total generada en un enlace óptico permiten a su vez estimar la potencia total de llegada en los receptores ópticos remotos (receptores en NOP01), para ello se emplea la siguiente fórmula:

$$P_{IN(RX)} = P_{OUT(TX)} - AT$$

Donde,

PIN: Potencia de entrada en receptor de nodo primario.

POUT: potencia de salida del transmisor en la cabecera de red (min. 2 dBm según especificaciones del equipo).

AT: Atenuación total del enlace óptico.

Para el presente ejemplo, el enlace primario CRC-NOP01a se tiene un nivel de señal de:

$$P_{IN(NOP01)} = 2[dbm] - 2,481[db] = -0,481[dbm]$$

En el enlace de respaldo CRC-NOP01b, se estima que:

$$P_{IN(NOP01)} = 2[dbm] - 3,286[db] = -1,286[dbm]$$

Si consideramos que un receptor presenta un nivel de sensibilidad de -4 a 2 dBm (ver más especificaciones en el anexo) la potencia de entrada en NOP01 calculada anteriormente, tanto en el enlace principal como en la de respaldo están dentro dicho rango, por lo que el enlace es óptimo según las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU-T.

TABLA VIII
VALORES DE ATENUACIÓN Y NIVELES DE SEÑAL DE LOS ENLACES ÓPTICOS PRINCIPALES Y SECUNDARIOS DE LA RED HFC DE MULTICABLE S.A.

Nro.	Enlace	Att.Total (dB)	Pot. Input (dBm)
1	CRC-NOP01a	2.481	-0.481
2	CRC-NOP01b	3.286	-1.286
3	CRC-NOP02	2.452	-0.452
4	NOP2-NOP03	4.492	-2.492
5	CRC-NOP03	4.217	-2.217
6	CRC-NOT01	2.213	-0.213
7	CRC-NOT02	2.291	-0.291
8	CRC-NOT06	2.486	-0.486
9	CRC-NOT07	2.154	-0.154
10	CRC-NOT09	2.717	-0.717
11	NOP02-NOT03	2.151	-0.151
12	NOP02-NOT04	2.143	-0.143
13	NOP02-NOT05	2.228	-0.228
14	NOP02-NOT16	3.533	-1.533
15	NOP03-NOT15	2.309	-0.309
16	NOP03-NOT17	3.680	-1.680
17	NOP03-NOT18	4.360	-2.360
18	NOP03-NOT20	5.518	-3.518
19	NOP01-NOT08	2.276	-0.276
20	NOP01-NOT10	2.247	-0.247
21	NOP01-NOT11	2.559	-0.559
22	NOP01-NOT12	3.911	-1.911
23	NOP01-NOT13	3.056	-1.056
24	NOP01-NOT14	2.125	-0.125
25	NOP01-NOT20	2.232	-0.232

I. Elección de equipamiento para cabecera de MULTICABLE S.A.

La integración de servicios multimedia, datos y voz en la actual cabecera de red de la empresa MULTICABLE S.A. obliga a la digitalización de los sistemas, a continuación se indica la arquitectura que debe implementarse.

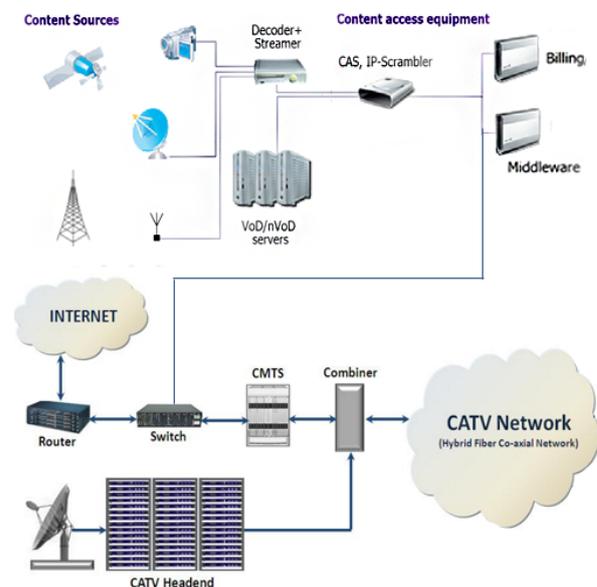


Fig. 19 Disposición de equipos en la cabecera de un sistema IPTV

Al implementar un sistema IPTV en la empresa MULTICABLE S.A. se requiere la adquisición de equipamiento adicional, cuya cantidad requerida y funcionalidad se indican a continuación:

TABLA IX
EQUIPAMIENTO REQUERIDO PARA IMPLEMENTAR CABECERA DE RED HFC DE MULTICABLE S.A.

Equipo	Cant	Función
codificador mpeg2/h.264/sd-hd/4 in/marca picodigital pd1000	11	Se encarga de la digitalización de las señales en compresión MPEG o H.264
multiplexor-scrambler/mpeg/4 in/marca picodigital pmx41	3	Se encarga de multiplexación de las señales procedentes del codificador, entrega flujos IP a su salida
switch gigabit cisco sge 2010 p	1	Se encarga de la conmutación de tráfico IP
modulador qam/marca pico digital	4	Modula la señal en formato adecuado para transmisiones en RF
servidor middleware netup	1	Administra la distribución contenidos en la red
servidor de vod cisco 9300	1	Almacena los contenidos
servidor de tarificación netup billing	1	Generan registros de eventos para la facturación del servicio
cmts cisco ubr10012 ios 12.2/docsis 3.0	1	Combina señales de video, voz, datos y las transporta como señales RF hacia y desde el abonado
softswitch cisco bts10200 rtu-p50	1	Genera y administra tráfico telefónico
router gigabit ethernet mikrotik 1100 ah	1	Servidor de Internet (router de borde)
transmisor óptico pico digital dwdm/1550nm	1	Emisor y receptor de señales ópticas en la red
combinador bidireccional/marca pico digital	1	Añade las señales analógicas de CATV y datos multimedia entregados por CMTS

J. Elección de equipamiento para planta externa MULTICABLE S.A.

Elección del cable óptico: Las distancias de los enlaces que unen los diferentes nodos van desde 800 metros a 9 Km y las velocidades de transmisión requeridos en el sistema HFC, sugieren en uso de fibras monomodo para el diseño del presente proyecto, las cuales deben estar contenidas en cables tipo ADSS (All-Dielectric Self-Supporting Aerial Cable, Cable Dieléctrico autosoportante, Cable Aéreo de Alta Fuerza de Tensión, para vanos Extra Largos hasta 1800 m). Este conjunto representará línea de transmisión en tendido aéreo de la red de acceso del sistema HFC de la empresa MULTICABLE S.A.

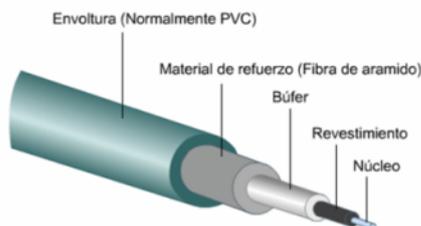


Fig. 20 Composición de un cable óptico.

Se selecciona la tercera ventana de operación (1550 nm) debido a que se tiene baja atenuación en comparación a las otras ventanas ópticas y la dispersión es cercana a cero cumpliendo con la recomendación ITU-T G.655, lo cual es primordial en los enlaces a largas distancias y altas velocidades.

Nodos ópticos: Los nodos ópticos se encargan de realizar la conversión entre la señal óptica y eléctrica para el enlace descendente y viceversa para el enlace de retorno, por lo que necesitan de un transmisor óptico. Los retornos de distintos nodos llegan a la cabecera por distintas vías o multiplexados a distintas longitudes de

onda. Los nodos ópticos considerados para el diseño tienen cuatro salidas troncales de 34 dBmV de ganancia y con un rango de potencia óptica de -3/+2 dBm, que soporte de tráfico bidireccional en las frecuencias especificadas por DOCSIS 3.0 (Forward: 88-750 MHz; Reverse: 5-88 MHz) y operatividad en bandas NTSC, cuatro puertos de salida coaxial de 75 ohm, bidireccionales e independientes y operatividad con la longitud de onda especificada para el tipo de fibra óptica a utilizarse (1550 nm).



Fig. 21 Nodo óptico en una red HFC.

A continuación se resume la totalidad de dispositivos de plante externa para la red HFC de la empresa MULTICABLE S.A. según diseño presentado en el presente caso de estudio.

TABLA X
EQUIPAMIENTO REQUERIDO PARA IMPLEMENTAR RED HFC DE MULTICABLE S.A.

Equipamiento	Cantidad
Nodo Óptico Terminal/ 1 entrada óptica/4 salidas RF/MARCA LINKTEL	20 unidades
Fuente de poder 110VAC-60VAC/MARCA ALPHA	20 unidades
Cable ADSS Fibra óptica monomodo G.655/24 HILOS/MARCA DRAKA	34470 m
cable aéreo ADSS de fibra óptica monomodo G.655/12 HILOS/MARCA DRAKA	6410 m
Manga aérea tipo Lineal	11 unidades
herraje de retención	506 unidades
Herraje tipo b (cónico)	746 unidades
Preformado helicoidal	506 unidades
Suministro y colocación etiqueta de cable para exteriores	300 unidades

K. Sugerencias en la red coaxial de la empresa MULTICABLE S.A.

Reemplazar cables rotos, viejos o corroídos. Evitar el reuso de cable coaxial roto, viejo o deformado.

Ajustar bien los conectores, eliminar conectores mal instalados y colocar las respectivas mangas termo contráctil en las uniones de cable coaxial.

Sellar correctamente los amplificadores y eliminar amplificadores ruidosos, de baja calidad, dañados o corroídos.

Aterrizar las acometidas y corregir tierras mal colocadas.

Sustituir cables de acometida de bajo aislamiento (RG59).

Evitar que el suscriptor instale conectores o divisores adicionales de baja calidad y mal instalados.

Colocar terminadores de 75 Ω en taps, divisores y acopladores direccionales para que no capten e ingresen ruido.

IX. VIABILIDAD FINANCIERA.

A. Inversión inicial.

El diseño propuesto en este trabajo trata, en la mayoría casos, de mantener la gran inversión que conlleva el desplazamiento de la red CATV analógica en los inicios de la empresa, así pues en la cabecera de red, el equipamiento para recepción de señales de

televisión sea terrestre o satelital se mantienen; la digitalización y tratamiento de dichas señales involucra a la adquisición de nuevos equipos. Otra parte del sistema IPTV es la red por donde viajarán las señales y que según el diseño, requiere de varios dispositivos que conformaran la red primaria y secundaria HFC. Además, a nivel de suscriptor también es necesario instalar el equipamiento necesario, que garantice la recepción de video y datos, por ende se necesita de una inversión inicial de:

TABLEA XI
INVERSIÓN INICIAL TOTAL PARA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA IPTV.

Descripción	Total (USD)
Costos por Cabecera IPTV	75 362.60
Costos por Red HFC	153 841.45
Costos por equipamiento suscriptor	40 646.25
Costos por contratar servicios	5 020
TOTAL INVERSIÓN INICIAL=	274 870.30

B. Gastos operativos.

Los egresos anuales para el funcionamiento de la empresa como una portadora multiservicios, tal como se la está planteando en este trabajo, requiere de un desembolso periódico de capital, como pago de servicios contratados (energía eléctrica, internet, televisión), salarios, etc. A continuación se detallan los egresos que se deben considerar para mantener operativo el sistema una vez puesta en marcha.

TABLEA XII
GASTOS OPERATIVOS PARA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA IPTV.

Concepto	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Depreciac.	0	13721	13721	13721	13721	13721	13721
e. eléctrica- p.externa	480	480	480	480	480	480	480
e. eléctrica- cabecera	360	360	360	360	360	360	360
equipos suscriptor	40650	31837	43261	53897	62217	67934	70639
Sueldo centralista	9600	9995	10405	10833	11278	11742	12224
Sueldo técnicos	8160	8495	8845	9208	9586	9981	10391
Proveedor TV	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000
Proveedor Internet	14963	40343	95479	204311	400640	732234	1260821
Proveedor telefonía	2700	2700	2700	5400	8100	10800	13500

C. Cálculo de ingresos.

Los ingresos provienen en su totalidad por venta de servicios de IPTV, Internet y telefonía, y es lo permitirá hacer un comparación con la inversión para determinar la rentabilidad del proyecto, en ese sentido en la actualidad MULTICABLE S.A. provee un único plan de CATV y las demás empresas de telecomunicación en la localidad (tanto de CATV e Internet) también siguen este lineamiento, por tanto es difícil considerar un precio por paquetes de servicios ya que en el medio local no hay alguna referencia de un tarifa por cobrar a los suscriptores por servicios integrados. Entonces, los planes que podrían ofertar MULTICABLE S.A. como Operador Multiservicios MSO y los ingresos son:

TABLEA XIII
PLANES RESIDENCIALES REFERENCIALES PARA SERVICIOS 3 PLAY DE LA EMPRESA MSO MULTICABLE.

Plan	Descripción	PVP (USD)	Suscripción (USD)
Plan básico	42 Canales SDTV, telefonía fija 600 min. e internet banda ancha 2/0.5 Mbps	40	75
Plan especial	Canales HDTV, canales de audio, telefonía 1000 min. e internet banda ancha 5/1 Mbps	100	75

Con estas consideraciones, los ingresos estimados para los primeros 7 años una vez puesta en operación el sistema son.

TABLEA XIV
INGRESO POR PLANES RESIDENCIALES REFERENCIALES PARA SERVICIOS 3 PLAY DE LA EMPRESA MSO MULTICABLE.

Plan	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
básico	63840	133440	244800	406080	617280	874560	1167360
especial	15600	33360	61200	101520	154320	218640	291840
VoD	12480	25920	48000	80520	124200	178800	242640
PPV	12720	26400	48720	81720	125880	180960	245400
Suscrip.	9975	10875	17400	25200	33000	40200	45750

D. Flujo Efectivo Neto.

El flujo neto de efectivo es un término de contabilidad que describe los movimientos de efectivo (ingresos y gastos) en un periodo determinado, es decir, se refiere al estado de cuenta que refleja la cantidad de efectivo que se conserva después de los gastos.

TABLEA XV
FLUJO DE EFECTIVO ESTIMADA PARA UN PERIODO DE 7 AÑOS

Año	Egresos	Ingresos.)	Flujo de caja
T0	100912,75	114615	13702,25
T1	131930,53	229995	98064,47
T2	199249,96	420120	220870,04
T3	322209,78	695040	372830,22
T4	530383,08	1054680	524296,92
T5	871251,85	1493160	621908,15
T6	1406135,66	1992990	586854,34

E. Valor actual Neto (VAN).

El VAN es un indicador financiero que mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, se obtiene alguna ganancia; si el resultado es positivo, el proyecto es viable.

El VAN se basa en el hecho de que el valor del dinero cambia con el paso del tiempo para ello emplea una tasa de descuento (i), que suele considerar la inflación o el costo de un préstamo, en Ecuador se establece para el 2013 una tasa referencial del 11.1 % para el segmento productivo de las Pequeñas y Medianas Empresas, PYMES.

Aplicando la función VNA de Excel (ver Fig. 22) el resultado es un valor positivo de US. 1 144 025.38 para el Valor Actual Neto, entonces para un periodo de 7 años la inversión en este proyecto es rentable.

F. Tasa Interna de Retorno (TIR).

El segundo indicador que ayuda a determinar si un proyecto es viable o no es la Tasa Interna de Retorno, éste determina cuál es la tasa de descuento que hace que el VAN de un proyecto sea

igual a cero. La TIR se expresa como un porcentaje (por ejemplo, TIR=30 %).

AÑO	EGRESOS	INGRESOS	FLUJO DE CAJA
T0	100912,75	114615	13702,25
T1	131930,53	229995	98064,47
T2	199249,96	420120	220870,04
T3	322209,78	695040	372830,22
T4	530383,08	1054680	524296,92
T5	871251,85	1493160	621908,15
T6	1406135,66	1992990	586854,34

Fig. 22 Cálculo de VAN y TIR en una hoja de Microsoft Excel.

En el caso de estudio la TIR calculada es del 59 %, y la Tasa de Descuento es del 11.5 %, por ende la Tasa Interna de Retorno es mucho más alto que la Tasa de Descuento lo que determina que el proyecto es viable financieramente.

X. MARCO REGULATORIO.

En cuanto a las reglamentaciones en el campo de las telecomunicaciones, el ente regulador del Ecuador es la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), siendo ésta una institución creada recientemente, opera desde el 18 de febrero del 2015 con la vigencia la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, aprobada en febrero por la Asamblea Nacional. A partir de entonces, se procedió a la fusión de la Superintendencia de Telecomunicaciones (Supertel), la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (Senatel) y el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (Conatel), con el objetivo de conformar la nueva Agencia de Regulación de las Telecomunicaciones, institución que integrará las funciones de administración, regulación y control de las telecomunicaciones y el espectro radioeléctrico.

Respecto al tema de estudio, la Ley Orgánica de Telecomunicaciones vigente ubica a los cable operadores dentro de las redes públicas de telecomunicaciones y define a la televisión pagada como "el servicio que presta a través de los sistemas de audio y video por suscripción los cuales transmiten y eventualmente reciben señales de imagen, sonido, multimedia y datos, destinados exclusivamente a un público particular de suscriptores".

En ese sentido, está claramente descrito en uno de los objetivos de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones "Promover y fomentar la convergencia de redes, servicios y equipos". Además dicha Ley sugiere que "Los operadores de redes públicas de telecomunicaciones deberán cumplir con los planes técnicos fundamentales, normas técnicas y reglamentos específicos relacionados con la implementación de la red y su operación, a fin de garantizar su interoperabilidad con las otras redes públicas de telecomunicaciones".

Respecto a la parte técnica, la recomendación de la ARCOTEL para la digitalización de sistemas de televisión por cable como parte de la revolución digital que promueve el gobierno nacional; sus consideraciones se las encuentra en la resolución RTV -CONATEL-2013 vigente desde el 19 de marzo de 2013 en la cual se encuentra detallada "LA NORMA TÉCNICA PARA EL SERVICIO DIGITAL DE AUDIO Y VIDEO POR SUSCRIPCIÓN BAJO LA MODALIDAD DE CABLE FÍSICO" cuyo fin es establecer las regulaciones técnicas básicas para la explotación del Servicio Digital de Audio y Video por Suscripción en los cable operadores.

XI. CONCLUSIÓN

Una red de televisión por cable tradicional aún bajo esquemas analógicos, tienen total operatividad en la actualidad, sin dejar de lado la gran inversión que debió suponer el montaje de una red en cobre, la migración a sistemas híbridos HFC permite la permanencia y sobre todo la capacidad de competitividad en un mercado que cada vez mas exige soluciones integrales en telecomunicaciones,

mayor gama de contenido y, en los últimos tiempos, mayor interacción con sus sistemas. El desarrollo del estándar DOCSIS otorga una gran oportunidad a redes de CATV para que transporten gran cantidad de tráfico tanto descendente como ascendente sobre sistemas de televisión que operan en Bandas NTSC con la cual operan tanto dispositivos activos como pasivos de una red coaxial. El aumento de tráfico en estas redes conlleva a la necesidad de planificar redes troncales de banda ancha empleando la fibra óptica como medio de transmisión, con la cual, a su vez permite eliminar los problemas de atenuación y distorsión de las señales que afectaban a las redes coaxiales en mayores distancias. Con el esquema HFC las señales originales que parten de la cabecera de red llegan a los hogares de los suscriptores con alta calidad, pues ya no deben viajar por largas cascadas de amplificadores coaxiales. Estas prestaciones facilitan el desarrollo de nuevos servicios, como es el caso de IPTV, Internet, telefonía a través de una misma conexión (servicio 3play) influyendo en la evolución de sistemas de CATV a verdaderas operadoras multiservicios, MSO.

Respecto al objetivo del trabajo de grado, el estudio demostró la viabilidad del proyecto en base a un completo estudio de mercado, proyección de la demanda y estudio financiero, las cuales estiman rentabilidad a partir del tercer año una vez puesta en marcha el sistema. Por otra parte, el diseño indica los puntos exactos por donde será tendido los enlaces ópticos, la ubicación de los nodos ópticos, los mismos que resultaron de una exhaustiva recopilación de información, mediciones en la red, cálculo de señales, dimensionamiento de la red en capacidad y cobertura, detección de puntos vulnerables, planteamiento de recomendaciones para mejoras en el cableado de la empresa Multicable S.A. al cual va dirigida este estudio.

RECONOCIMIENTOS

Un agradecimiento especial al Sr. Abel Simbaña, jefe Técnico de la empresa Multicable S.A., por todos sus consejos y guías en las investigaciones y prácticas en la red; así como al Ec. Patricio Lema, por su confianza en realizar el trabajo de grado en su distinguida empresa. Al Ing. Jaime Michilena, un gracias sincero por su guía académica para llevar adelante el estudio.

REFERENCIAS

- [1] W. Ciciora, D. Large, M. Adams and P. J. Farmer, *Modern Cable Television Technology*, 2da ed. Estados Unidos de América: Newnes, 2004.
- [2] M. Long, *The Digital Satellite TV Handbook*, Oxford, Reino Unido: Elsevier, 2003.
- [3] R. Freeman, *Fundamentals of Telecommunications*, 2da ed. New York: John G. Proakis., 2012.
- [4] ANTEC, *750 MHz Mini-Bridger INSTALLATION AND OPERATION MANUAL*, 1ra ed. Estados Unidos: ANTEC, 2008.
- [5] H. Packard, *Cable Television System Measurements Handbook*, California, Estados Unidos de América: Fountain Grove Parkway.
- [6] G. O'driscoll, *Next generation iptv services and technologies*, New Jersey: John Wiley and Sons, Inc., 2008.
- [7] B. Forouzan, *Transmisión de Datos y Redes de Comunicación*, 2da ed. Madrid, España: Mc.Graw-Hill, 2010.
- [8] H. Helt, *UNDERSTANDING IPTV*, 2da ed. Estados Unidos de América: AUERBACH PUBLICATIONS, 2010.
- [9] W. Simpson, *Video Over IP IPTV, Internet Video, H.264, P2P, Web TV, and Streaming: A Complete Guide to Understanding the Technology*, 2da ed. Burlington, Estados Unidos de América: Focal Press, 2008.
- [10] A. Tanenbaum, *Redes de Computadoras*, 5ta ed. Ciudad de México: Pearson., 2012.



Segundo Leonardo Fichamba Arellano Realizó sus estudios de secundaria en el Instituto Tecnológico Otavalo de la ciudad que lleva el mismo nombre logrando bachillerato en Ciencias especialidad Físico Matemático, los estudios universitarios los realizó en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte en la carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación. Adicionalmente se preparó en comunicaciones inalámbricas con certificaciones Mikrotik y en networking CISCO.