



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN CON  
LA COLECTIVIDAD**

**MAESTRÍA EN GERENCIA DE REDES DE  
TELECOMUNICACIONES  
II PROMOCIÓN**

**TESIS DE GRADO MAESTRÍA DE GERENCIA**

**TEMA: “IMPLEMENTACIÓN DEL BACKBONE WDM Y UN NODO DE ACCESO  
WIFI PARA LA EMPRESA REGIONAL TEL CÍA. LTDA. DE LA CIUDAD DE  
CUENCA”**

**AUTOR: LARREA, PEDRO FABIÁN**

**DIRECTOR: ING. PAÚL DÍAZ**

**SANGOLQUÍ, JULIO DEL 2013**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Ing. Pedro Fabián Larrea Vivar, bajo mi supervisión y cumple con los requerimientos teóricos, técnicos y metodológicos establecidos en la ESPE, por lo que, autorizo su presentación y defensa.

-----  
Ing. Paúl Díaz

**DIRECTOR DE TESIS**

## DECLARACIÓN

Yo, Pedro Fabián Larrea Vivar declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo a la Escuela Politécnica del Ejército, según lo establecido en la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente

-----

Ing. Pedro Larrea Vivar

## **AUTORIZACIÓN**

Yo, Pedro Fabián Larrea Vivar autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, que el título del Proyecto “IMPLEMENTACIÓN DEL BACKBONE WDM Y UN NODO DE ACCESO WIFI PARA LA EMPRESA REGIONALTEL CÍA. LTDA. DE LA CIUDAD DE CUENCA” sea publicado en la biblioteca virtual.

-----

Ing. Pedro Larrea Vivar

## RESUMEN

Para implementar una nueva red, se analizó primero la situación actual de la red, con lo cual se determinó que se podía utilizar parte de la red HFC existente, puesto que la red HFC actual tiene algunas falencias en cuanto a la ubicación de algunos equipos activos.

La tecnología actual involucra o hace converger en una red varios protocolos, de los cuales para el proyecto se ha puesto énfasis en WDM (Wavelength Division Multiplexing) que se basa en el transporte de varios flujos de información, cada uno codificado de una única fibra. De esta manera se logrado incrementar de manera considerable la capacidad de la red de fibra óptica.

WDM reduce costos en la instalación de fibra óptica, por tener una mayor capacidad que otras tecnologías porque puede transportar varias longitudes de onda dentro de una sola fibra, siendo necesario implementar un número menor de fibras para tener un backbone que soporte la nueva red de acceso WiFi.

Con el montaje de un nodo Wifi se ha logrado tener un despliegue rápido, logrando una buena cobertura en el sector implementado, con lo que se puede dar el servicio de internet a todos los clientes actuales de televisión, incluso a los más distantes, consiguiendo además que el área de cobertura aumente.

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto a mi familia y en especial a mis hijos Sebastián, Mateo y Matías, quienes me han alentado a terminar este trabajo, y al prometerles finalizar con éxito este proyecto, a ellos no les podía fallar. A mis padres y hermanos que toda mi vida me han apoyado a culminar mis metas, y a mi compañera y amiga Andrea que me ha motivado a finalizar esta tesis.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Empresa Regionaltel Cia. Ltda., en especial a la Gerente General la Eco. María Fernanda Larrea, y a los trabajadores de la Empresa, quienes me brindaron la colaboración necesaria para el desarrollo de esta tesis.

A mi director Ing. Paúl Díaz por su guía y coordinación para culminar este proyecto. A mis compañeros de aula que durante la maestría supieron brindarme su respaldo y amistad para terminar esta etapa de mi vida, a todos ellos, gracias totales.

## PRÓLOGO

Frente al constante cambio en las telecomunicaciones, la implementación de nuevos servicios en una empresa de telecomunicaciones es prioritario y para ello se debe optimizar las redes actuales.

La empresa Regionaltel al implementar un nuevo servicio en la red, para dar internet a sus abonados, y ser una empresa competitiva, invirtió en el despliegue de nuevos equipos, con los cuales se brinda de internet a sus clientes, garantizando gran confiabilidad, alta calidad de servicio y a un precio competitivo.

La Empresa Regionatel también realizó la ampliación de su red HFC (*Hybrid fiber-coaxial*) para tener una mayor cobertura y aumentar el pool de clientes de televisión por cable; y como solo brindaba el servicio de televisión, fue indispensable desarrollar e implementar los servicios de valor agregado como el caso de internet en la red, para ello se ha utilizado parte de la red actual, y en particular la fibra oscura existente y sobre esta desplegar un backbone con equipos WDM.

Con la utilización de la fibra existente baja costos, mejorar el rendimiento en la red HFC, y con la implementación de una nueva red de acceso WiFi brinda planes de internet y de televisión (Doble Play) permitiendo garantizar el servicio a cada cliente y a la vez mantener su red optimizada.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
Resumen .....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Prólogo.....	vii
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1.1 Descripción del Problema.....	1
1.1.2 Preguntas de Investigación.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	2
<b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>34</b>
2.1 INTRODUCCIÓN.....	34
2.2 REDES HFC.....	34
2.2.1 Estructura de redes HFC.....	5
2.2.1.1 Cabecera (Headend).....	5
2.2.1.2 Red Troncal.....	7
2.2.1.3 Red de distribución.....	7
2.2.1.4 Red de acometida.....	8
2.3 PROTOCOLOS TCP/IP, WDM Y WIFI.....	9
2.3.1 Modelo OSI.....	9
2.3.2 Protocolo Ethernet.....	12
2.3.3 Protocolo TCP/IP.....	13
2.3.4 WDM.....	15
2.3.5 WIFI.....	19

2.4 CABLE MODEM.....	21
2.4.1 DOCSIS.....	21
2.4.1.1 Capa física.....	23
2.4.1.2 Capa MAC.....	24
2.4.2 CMTS.....	25
2.4.3 Cable Modem.....	27
2.5 ANÁLISIS DEL CABLE MODEM VS WIFI CON WDM.....	28
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

### **CAPÍTULO 3**

<b>3. ANÁLISIS Y DISEÑO.....</b>	<b>33</b>
3.1 ESTRUCTURA DE LA RED HFC DE WEBCABLE.....	33
3.1.1 Cabecera (Head End).....	33
3.1.2 Red troncal.....	34
3.1.3 Red de distribución.....	35
3.1.1 Red de acometida.....	36
3.2 ANÁLISIS Y VALORACIÓN DE LA RED ACTUAL.....	36
3.2.1 Cálculo de la Red HFC.....	38
3.2.2 Análisis de la Red HFC.....	41
3.3 DISEÑO DE LA RED IP SOBRE WDM.....	42
3.3.1 Diseño Red Interna.....	42
3.3.2 Diseño Red WDM.....	43
3.3.2.1 Equipos WDM.....	44
3.3.2.2 Cálculo del enlace de fibra óptica.....	45
3.3.3 Diseño Red WiFi.....	48
3.3.3.1 Equipos WiFi.....	48
3.3.3.2 Cálculo de los enlaces inalámbricos.....	50
3.3.3.3 Estimación de la demanda.....	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

### **CAPÍTULO 4**

<b>4. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN.....</b>	<b>60</b>
4.1 IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA.....	60
4.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	67
4.3 EVALUACIÓN DEL SISTEMA.....	71

**CAPÍTULO 5****5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 75**5.1 CONCLUSIONES..... **75**5.2 RECOMENDACIONES..... **76****CAPÍTULO 6****6.1 ANEXOS.....78**GLOSARIO DE TÉRMINOS.....**78**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLAS DEL CAPÍTULO 2:</b>	<b>Pág.</b>
Tabla 2.1: Estándares comunes de la IEEE para WLAN .....	20
Tabla 2.2: Velocidad de las diferentes versiones del estándar DOCSIS	25
Tabla 2.3: Comparación entre DOCSIS y WIFI.....	28
Tabla 2.4: Capacidad de transporte de un CMTS vs WDM.....	38
Tabla 2.5: Equipos que constan en una red HFC y WDM para dar internet a usuarios.....	29
Tabla 2.6: Protocolos de seguridad de DOCSIS vs WiFi.....	29
<b>TABLAS DEL CAPÍTULO 3:</b>	
Tabla 3.1: Datos de fábrica del nodo 1 marca Claupet.....	38
Tabla 3.2: Datos calculados en el nodo 1 .....	40
Tabla 3.3: Lista de amplificadores, y observaciones en la red de distribución.....	42
Tabla 3.4: Listado de equipos WDM.....	44
Tabla 3.5: Atenuación de la fibra monomodo según la longitud de onda	46
Tabla 3.6: Resumen de los cálculos de los enlaces WDM.....	48
Tabla 3.7: Listado de equipos WiFi.....	49
Tabla 3.8: Listado de equipos WiFi.....	55
Tabla 3.9: Cuentas dedicadas de internet por provincia.....	56
<b>TABLAS DEL CAPÍTULO 4:</b>	
Tabla 4.1: Subredes de la red interna.....	60
Tabla 4.2: Distancia de Instalación Promedio (agrupado).....	71
Tabla 4.3: Planes clientes hostpot.....	73

Tabla 4.4: Upload clientes con IP's fijas.....	73
Tabla 4.5: Download clientes con IP's fijas.....	74

**TABLAS DEL CAPÍTULO 5:**

Tabla 5.1: Cambios en la red para mejorar la señal de TV.....	76
---	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURAS DEL CAPÍTULO 2:</b>	<b>Pág.</b>
Figura 2.1: Arquitectura de una red HFC.....	5
Figura 2.2: Cabecera para distribución de TV analógica.....	6
Figura 2.3: Esquema de la red troncal.....	7
Figura 2.4: Esquema de la red de distribución.....	8
Figura 2.5: Esquema de la red de acometida.....	9
Figura 2.6: Capas del Modelo OSI.....	10
Figura 2.7: Protocolos TCP/IP y Capas del Modelo OSI donde actúan	11
Figura 2.8: Protocolos Ethernet y Capas del Modelo OSI donde actúa	12
Figura 2.9: Capas del Modelo TCP/IP.....	14
Figura 2.10: Evolución de los protocolos en la capa de transporte.....	16
Figura 2.11: Transmisión bidireccional sin usar WDM.....	16
Figura 2.12: Transmisión bidireccional con WDM.....	16
Figura 2.13: Equipos de un sistema WDM.....	17
Figura 2.14: Capacidad de las redes inalámbricas.....	20
Figura 2.15: Distribución del espectro en un sistema CATV.....	22
Figura 2.16: Protocolos de comunicación utilizados en el sistema de datos por cable.....	22
Figura 2.17: Tráfico IP a través de un sistema de datos por cable.....	26
Figura 2.18: CMTS implementado en una red HFC.....	26
<b>FIGURAS DEL CAPÍTULO 3:</b>	
Figura 3.1: Headend de la Empresa Regionaltel.....	34
Figura 3.2: Red troncal de la Empresa Regionaltel.....	35
Figura 3.3: Red de distribución de la Empresa Regionaltel.....	35
Figura 3.4: Red de acometida de la Empresa Regionaltel.....	36
Figura 3.5: Detalle del Cálculo de la red de distribución de la	

Empresa Regionaltel.....	37
Figura 3.6: Esquema de la red interna de Regionaltel.....	43
Figura 3.7: Esquema red de WDM de Regionaltel (Nodo WiFi AP 4)....	45
Figura 3.8: Esquema red de Acceso de Regionaltel(Nodo WiFi AP 1)....	50
Figura 3.9: Esquema red de Acceso de Regionaltel Móvil 1 (Nodo WiFi AP 1).....	53
Figura 3.10: Esquema red de Acceso de Regionaltel Móvil 2 (Nodo WiFi AP 1).....	54
Figura 3.11: Esquema total de la red de Acceso de Regionaltel.....	54
Figura 3.12: Cobertura y Penetración de Internet fijo.....	56
Figura 3.13: Porcentaje de clientes que tienen internet.....	57
Figura 3.14: Porcentaje de clientes que contratarían internet.....	58

#### FIGURAS DEL CAPÍTULO 4:

Figura 4.1: Cuadro de ingreso al equipo mikrotik RB750GL.....	61
Figura 4.2: Pantalla principal de configuración del equipo mikrotik RB750GL.....	62
Figura 4.3: Configuración de interfaces en el administrador de ancho de banda.....	62
Figura 4.4: Creación de Cuentas Hostpot.....	63
Figura 4.5: Creación de Cuentas con IP's fijas.....	64
Figura 4.6: Instalación equipo WDM en el Headend.....	65
Figura 4.7: Instalación equipo WDM en el Nodo.....	65
Figura 4.8: Instalación equipo AP WiFi.....	66
Figura 4.9: Instalación equipo CPE WiFi.....	66
Figura 4.10: Tráfico en la interface WAN.....	67
Figura 4.11: Página cautiva para clientes hostpot.....	68
Figura 4.12: Trafico en clientes hostpot.....	68
Figura 4.13: Trafico en clientes con IP fija.....	69
Figura 4.14: Pruebas de funcionamiento del equipo WDM.....	69
Figura 4.15: Pruebas de funcionamiento del equipo WiFi.....	70
Figura 4.16: Nivel de señal del equipo WiFi.....	70
Figura 4.17: Porcentaje de instalaciones mayores a 80 metros	

por sector.....	72
Figura 4.18: Distancias promedio de instalación de clientes en l red.....	72

# **CAPÍTULO 1**

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.1.1 Descripción del Problema**

La Empresa Regionaltel realizó la ampliación de su red HFC (Hybrid fiber-coaxial) para tener una mayor cobertura y aumentar el pool de clientes de televisión por cable; en la actualidad la empresa solo brinda el servicio de televisión, por lo que, es indispensable desarrollar e implementar los servicios de valor agregado como el caso de internet en la red, para ello se han analizado algunas alternativas, para implementar dicho servicio.

Con la implementación del sistema, la Empresa Regionaltel podrá reducir costos, mejorar en su totalidad la red HFC, lo que permitirá ofrecer planes de internet y de televisión (Doble Play) garantizando el servicio a cada cliente y a la vez mantener su red optimizada.

#### **1.1.2 Preguntas de Investigación**

Para tener un despliegue rápido, con gran rendimiento, con sus respectivas seguridades en el acceso y al mismo tiempo con una red segura, evitando la piratería y será accesible para todos los abonados. En la actualidad la exigencia de los clientes es cada día mayor, se requiere que las redes soporten el despliegue de nuevos servicios, razón por la que la empresa requiere

de una red de nueva generación que soporte IP sobre WDM (*Wave length Division Multiplexing*).

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo General**

Realizar la implementación del Backbone WDM y un Nodo de Acceso WiFi para la Empresa Regionaltel Cía. Ltda. de la ciudad de Cuenca, para la implementación del servicio de valor agregado con un alto rendimiento y a un bajo costo.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Realizar el estudio de la situación actual de la red HFC de la empresa Regionaltel.
- Realizar el análisis y diseño de la red IP sobre la red HFC utilizando WDM.
- Implementación de un prototipo del sistema IP sobre WDM.
- Evaluación del desempeño de la red IP sobre WDM.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Frente al constante cambio en las telecomunicaciones, la implementación de nuevos servicios en una empresa de telecomunicaciones es prioritario y para ello se debe optimizar las redes actuales. En un mercado global cada vez más competitivo, los proveedores de servicios de Internet (ISP's) buscan en forma constante las maneras de incrementar sus ofertas de servicios, pero, cuidándose de no malgastar su infraestructura instalada y evitar inversiones innecesarias.

Este modelo que se pretende implementar en la empresa Regionaltel, permitirá dar un buen servicio a sus abonados; a la vez, mantendrá su red operativa incluso en las horas pico y permitirá planificar estrategias para la

mantención y la captación de nuevos clientes, con la incrementación de nuevos planes que se ajustarán a todos los protagonistas del sector económico. La implementación de una red que permita brindar un servicio de valor agregado a un bajo costo y con un alto rendimiento, en seguridad, tiempo de ejecución, mantenimiento y pérdidas mínimas por piratería.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 INTRODUCCIÓN**

Las empresas de telecomunicaciones buscan optimizar sus redes a través de la implementación de nuevas tecnologías para brindar nuevos servicios a sus abonados. Las redes de acceso de banda ancha actualmente han experimentado un incremento en sus prestaciones, al ofrecer todo tipo de servicio.

Las redes HFC fueron diseñadas para dar solución al transporte de señales de video a través de un cable coaxial.

#### **2.2 REDES HFC**

La red HFC (Hybrid Fiber-Coaxial) es la arquitectura más usada y flexible para brindar video, voz datos y servicios interactivos [1], en la figura 2.1 se presenta el esquema básico de una red HFC<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>HFC Su origen se atribuye a Ed Parson de Astoria, Oregón, quien en 1950 transmitió ondas terrestres convencionales por un cable paralelo.

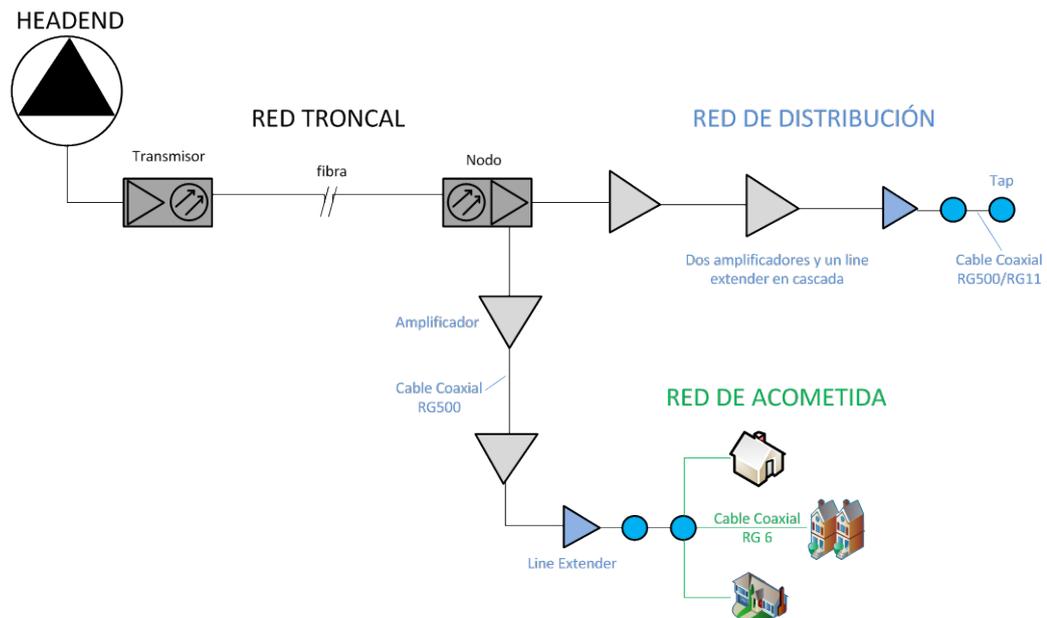


Figura 2.1: Arquitectura de una red HFC.

Realizado por: Investigador.

Este tipo de red reduce las cascadas de amplificadores, incrementando el desempeño sobre todo en el retorno de la señal [2]. En la figura 2.1 se observa como está estructurada una red HFC, la cual se divide en:

- Cabecera (*Headend*)
- Red Troncal
- Red de Distribución
- Red de Acometida

## 2.2.1 Estructura de redes HFC

### 2.2.1.1 Cabecera (Headend)

La estructura de la cabecera (*headend*) de una red HFC, utilizada en la transmisión de TV analógica, se muestra en la figura 2.2; su función es recibir, procesar y luego combinar (multiplexar) las diferentes fuentes de programación, ubicándolas en los canales del espectro del cable utilizando moduladores [4].

La recepción de las señales TVRO (*Television receive-only*) capta canales analógicos y digitales utilizando antenas parabólicas orientadas a diferentes satélites, cada antena posee un alimentador que se ubica en el foco de la antena y en donde se coloca un amplificador de bajo ruido (*Low Noise Block*, *LNB*)<sup>2</sup> el cual se conecta a receptores satelitales.

Para la programación con emisiones terrestres analógicas (Fuera de aire, *OFF-AIR*), se utilizan antenas tipo yagui para captar las señales de canales con frecuencias VHF y UHF, estos canales se enlazan a un demodulador.

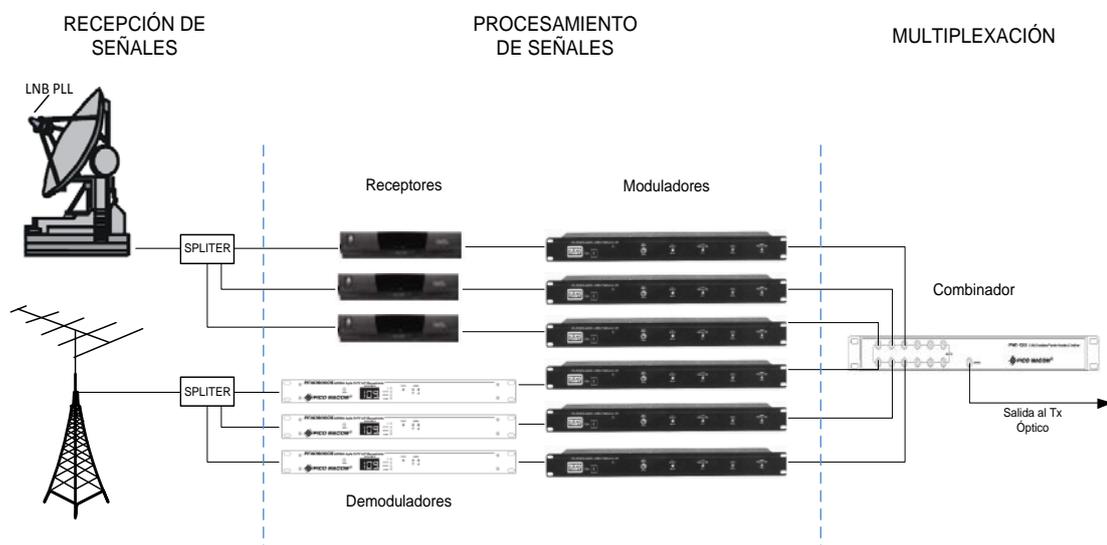


Figura 2.2: Cabecera para distribución de TV analógica.

Realizado por: Investigador.

Luego de receptadas las señales de todos los canales, se procede a realizar la modulación, para luego pasar a la etapa final que es la multiplexación utilizando un combinador, que es el equipo que alimentará al transmisor óptico [5].

<sup>2</sup>LNBPLL (*Phased Locked Loop*), Es un amplificador de bajo ruido con la característica de Lazo Cerrado por Fases (PLL) el cual tiene una referencia interna muy estable, alta ganancia y se lo utiliza para obtener los canales analógicos y digitales.

### 2.2.1.2 Red Troncal

La red troncal básicamente consta de un transmisor óptico que envía las señales moduladas obtenidas del *headend*, dichas señales se transportan a través de un cable de fibra óptica hasta el nodo receptor, el cual se encarga de convertir los pulsos de luz a una señal de radio frecuencia.

El nodo óptico es el equipo terminal de la red troncal y a la vez es el punto donde empieza la red de distribución.

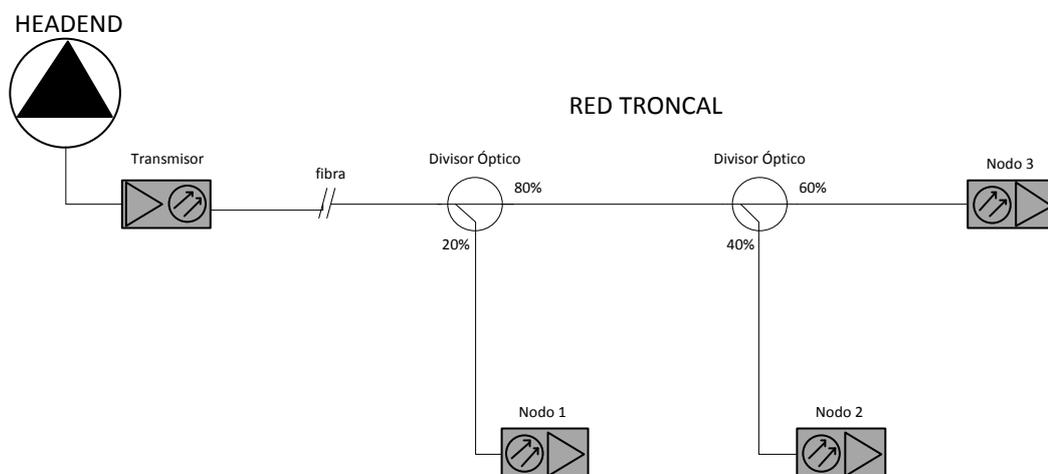


Figura 2.3: Esquema de la red troncal.

Realizado por: Investigador.

La figura 2.3 muestra de forma esquemática un segmento de la red troncal de la empresa Regionaltel, la red tiene en el segmento principal dos divisores ópticos los cuales optimizan los recursos en la red, es decir, con un solo transmisor se puede alimentar a varios receptores dependiendo de la potencia en decibelios del transmisor y la distancia de los nodos a la cabecera.

### 2.2.1.3 Red de distribución

Es la sección de la red que va desde los nodos ópticos hasta la última derivación de la red. La red de distribución está compuesta por amplificadores o por *line extender* según sea el caso, estos se conectan al nodo directamente

en una configuración nodo +1, o también en cascada como se observa en la figura 2.4, en el caso de la empresa Regionaltel se tiene hasta 3 amplificadores en cascada dando una configuración nodo +3 [3].

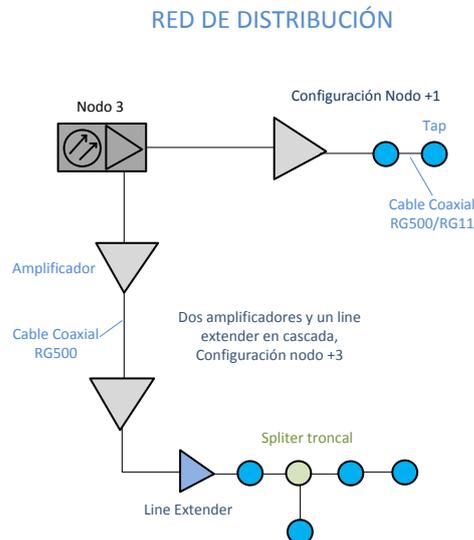


Figura 2.4: Esquema de la red de distribución.

Realizado por: Investigador.

El transporte de las señales se realiza a través de un cable RG 500 o de un cable RG 11. Los amplificadores se conectan a los principales elementos pasivos que son los *TAP's* (*Terminal Access Point*) que derivan una parte de la señal a los terminales donde se conectarán los abonados [4].

#### 2.2.1.4 Red de acometida

Es la parte final de la red HFC, se utiliza para llevar la señal del cable RG6 al 60% desde la toma Tap hasta la vivienda del abonado (figura 2.5), si se requiere conectar más de un televisor se utilizará un divisor (*splitters*), los cuales dividen la señal de entrada de manera uniforme a las dos salidas del divisor pero con una pérdida de 3dB<sup>3</sup> por salida.

<sup>3</sup> dB.- Unidad de medida que expresa la relación de dos niveles de poder en una escala logarítmica.

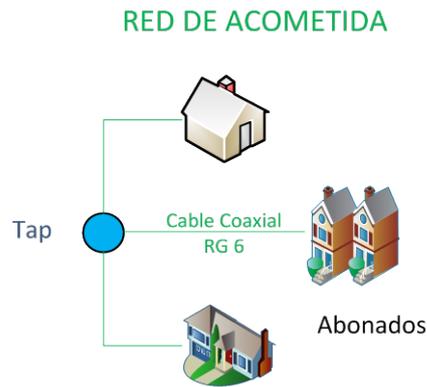


Figura 2.5: Esquema de la red de acometida.

Realizado por: Investigador.

Dependiendo de la distancia de la vivienda del abonado a la red y del nivel de señal en los terminales de los taps será necesario colocar un atenuador en la salida del tap para garantizar que a la entrada del televisor se obtenga 0 dBmV [6].

## 2.3 PROTOCOLOS TCP/IP, WDM Y WIFI

### 2.3.1 Modelo OSI

“El modelo de interconexión de sistemas abiertos fue desarrollado en 1984 por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO). A diferencia del modelo TCP/IP, no especifica la interacción de ningún protocolo en particular, se considera que es el modelo de referencia principal para las comunicaciones entre computadoras.

El modelo OSI incluye todas las funciones o tareas asociadas con las comunicaciones *internetwork*; no sólo las relacionadas con los protocolos TCP/IP. En comparación con el modelo TCP/IP, que sólo tiene cuatro capas, el modelo OSI<sup>4</sup> organiza las tareas en siete grupos más específicos. De esta

---

<sup>4</sup>El modelo de interconexión de sistemas abiertos, también llamado OSI (*Open System Interconnection*) es el modelo de red descriptivo creado por la [Organización Internacional para la Estandarización](#) en el año 1984.

manera una tarea o un grupo de tareas se asignan a cada una de las siete capas OSI” [7].

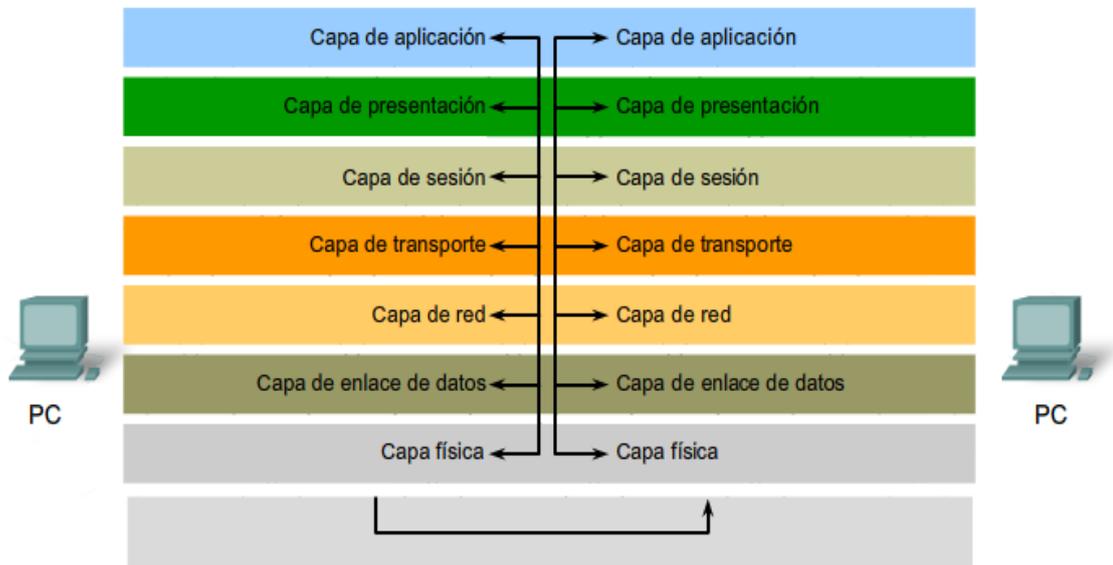


Figura 2.6: Capas del Modelo OSI [7].

Fuente: CCNA Discovery 1, Networking para el hogar y pequeñas empresas, *Cisco Networking Academy*, Capítulo 6.3.3.1, 2007.

La **capa física** define los medios físicos para enviar datos a través de los dispositivos de red, actúa como una interfaz entre los dispositivos y el medio de red. Define las características ópticas, eléctricas y mecánicas.

La **capa de enlace** de datos define los procedimientos para utilizar los enlaces de comunicación. Detecta y corrige errores de transmisión de tramas.

La **capa de red** direcciona los paquetes de acuerdo con las direcciones exclusivas de los dispositivos de red.

La **capa de transporte** administra la entrega de mensajes de extremo a extremo a través de la red. Puede proporcionar una entrega de paquetes confiable y secuencial por medio de mecanismos de control del flujo y recuperación de errores.

La **capa de sesión** administra las sesiones y los diálogos de usuarios. Mantiene enlaces lógicos entre los sistemas.

La **capa de presentación** estandariza los formatos de datos de usuario para que se puedan utilizar entre distintos tipos de sistemas. Codifica y decodifica datos de usuario, encripta y desencripta datos, comprime y descomprime datos.

La **capa de aplicación** define interfaces entre las funciones de comunicación de red y el software de aplicación. Proporciona servicios estandarizados, como la transferencia de archivos entre sistemas [7].

Existen diferencias entre el modelo OSI y el TCP/IP por lo que hay que tomar en cuenta en qué capa trabajan los diferentes protocolos y en base a qué modelo fueron diseñados, por lo tanto se debe considerar lo siguiente:

- TCP como un protocolo de Capa 4 OSI
- IP como un protocolo de Capa 3 OSI
- Ethernet como una tecnología de Capa 2 y Capa 1[8]

La figura 2.7 describe al modelo OSI en la parte izquierda e indica en que capa trabajan ciertos protocolos.

Modelo OSI	Protocolos TCP/IP y Ethernet
7 Aplicación	FTP, TFTP, HTTP, SMTP, DNS, TELNET, SNMP
6 Presentación	Enfoque muy reducido
5 Sesión	
4 Transporte	TCP
3 Red	IP
1 Física	Ethernet

Figura 2.7: Protocolos TCP/IP y Capas del Modelo OSI donde actúan.

Fuente: CCNA 1 Versión 3.1, Conceptos Básicos sobre Networking, *Cisco Networking Academy Program*, Capítulo 2.3.6.

### 2.3.2 Protocolo Ethernet

Ethernet<sup>5</sup> es el protocolo que más se utiliza para las redes locales. Los protocolos de acceso a la red desarrollan dos funciones principales: administración de enlaces de datos y transmisiones de redes físicas.

Los protocolos de administración de enlaces de datos toman los paquetes de IP y los encapsulan en el formato de trama correspondiente para la red local. Estos protocolos asignan las direcciones físicas a las tramas y las preparan para poder transmitirlos por la red.

Los estándares y protocolos para los medios físicos rigen la manera en que los bits se representan en los medios, la manera en que las señales se envían por los medios y la manera en que los hosts receptores interpretan estas señales. Las tarjetas de la interfaz de red implementan los protocolos correspondientes para los medios que se están utilizando [7].

Ethernet opera en dos áreas del modelo OSI, la mitad inferior de la capa de enlace de datos, conocida como subcapa MAC y la capa física [8]. En la figura 2.8 se detalla las capas del modelo OSI en las cuales trabaja el protocolo Ethernet.

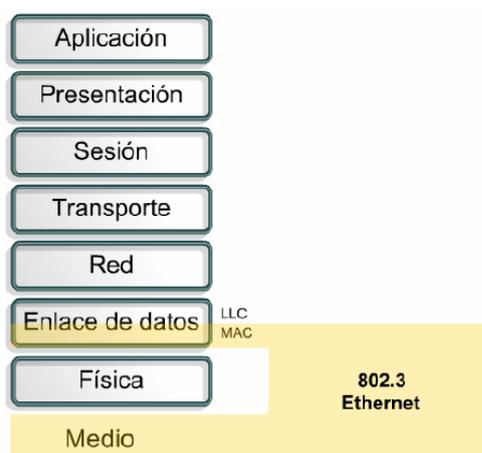


Figura 2.8: Protocolos Ethernet y Capas del Modelo OSI donde actúa.

Fuente: CCNA 1 Versión 3.1, Conceptos Básicos sobre Networking, *Cisco Networking Academy Program*, Capítulo 6.1.3.

<sup>5</sup>Ethernet es la tecnología LAN de uso más frecuente. Un grupo formado por las empresas Digital, Intel y Xerox, conocido como DIX, fue el primero en implementar Ethernet.

En la capa física el protocolo Ethernet se encarga de transportar los *streams* de bits, generar señales y controlar los componentes físicos que transmiten señales a los medios. La Capa 1 de Ethernet tiene un papel clave en la comunicación que se produce entre dispositivos, hay que tomar en cuenta que estas funciones tienen limitaciones. La Capa 2 se ocupa de estas limitaciones.

La subcapa MAC trata los componentes físicos que se utilizarán para comunicar la información y prepara los datos para transmitirlos a través de los medios [8].

### 2.3.3 Protocolo TCP/IP

El estándar histórico y técnico de la Internet es el modelo TCP/IP. El Departamento de Defensa de EE.UU. (DoD) creó el modelo de referencia TCP/IP porque necesitaba diseñar una red que pudiera sobrevivir ante cualquier circunstancia, incluso una guerra nuclear [8].

A diferencia de algunas tecnologías de networking propietarias, el TCP/IP se desarrolló como un estándar abierto. Esto significaba que cualquier persona podía usar el TCP/IP. Esto contribuyó a acelerar el desarrollo de TCP/IP como un estándar.

El modelo TCP/IP tiene las siguientes capas:

- Capa de aplicación
- Capa de transporte
- Capa de Internet
- Capa de acceso a la red



Figura 2.9: Capas del Modelo TCP/IP.

Fuente: CCNA 1 Versión 3.1, Conceptos Básicos sobre Networking, *Cisco Networking Academy Program*, Capítulo 2.3.6.

Aunque algunas de las capas del modelo TCP/IP tienen el mismo nombre que las capas del modelo OSI (figura 2.9), las capas de ambos modelos no se corresponden de manera exacta. Lo más notable es que la capa de aplicación posee funciones diferentes en cada modelo.

Los diseñadores de TCP/IP sintieron que la capa de aplicación debía incluir los detalles de las capas de sesión y presentación OSI. Crearon una capa de aplicación que maneja aspectos de representación, codificación y control de diálogo.

La **capa de aplicación** del modelo TCP/IP combina todos los aspectos relacionados con las aplicaciones en una sola capa, maneja protocolos de alto nivel, aspectos de presentación y control de diálogo.

La **capa de transporte** forma una conexión lógica entre los puntos finales de la red, el host transmisor y el host receptor, proporciona servicios de transporte desde el host origen hacia el host destino.

La **capa de Internet** tiene como propósito seleccionar la mejor ruta para enviar paquetes por la red, también se da la conmutación de los paquetes y en esta capa trabaja el protocolo de internet (IP).

La **capa de acceso de red** es la capa que maneja todos los aspectos que un paquete IP requiere para efectuar un enlace físico real con los medios de la red. Esta capa incluye los detalles de la capa física y de enlace de datos del modelo OSI [8].

#### 2.3.4 WDM

Las tecnología actual involucra o hace converger en una red varios protocolos, de los cuales se pondrá énfasis en la Multiplexación por división en longitud de onda (*Wavelength Division Multiplexing, WDM*) y DWDM (*Dense WDM*) los cuales “se basan en el transporte de varios flujos de información, cada uno codificado de una única fibra. De esta manera se logra incrementar de manera considerable la capacidad de las redes de fibra óptica” [9].

WDM reduce costos en la instalación de fibra óptica, por tener una mayor capacidad de transporte principalmente porque puede transportar varias longitudes de onda dentro de una sola fibra, siendo necesario implementar un número menor de fibras, o se aprovecha la instalada [9].

La figura 2.10 muestra el nivel de protocolos en la capa de transporte, en la cual prevalece las redes IP y WDM.

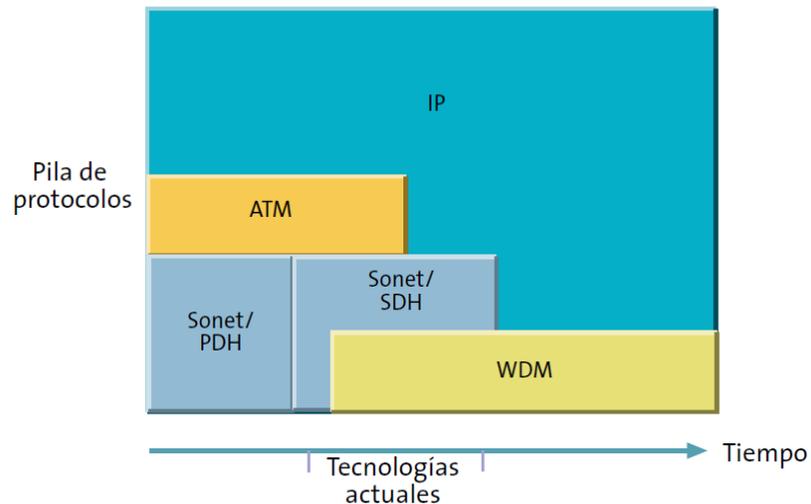


Figura 2.10: Evolución de los protocolos en la capa de transporte.

Fuente: Las Telecomunicaciones de Nueva Generación, capítulo 6, página 126, 2001.

Generalmente para realizar transmisiones bidireccionales por fibra óptica se usaban dos hilos de fibra como se muestra en la figura 2.11 [10].

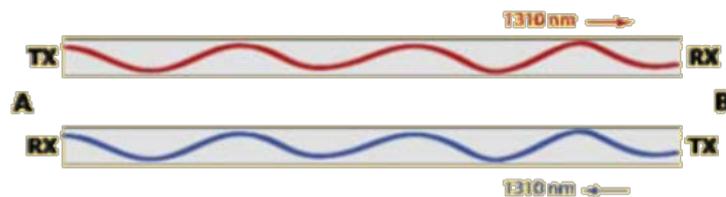


Figura 2.11: Transmisión bidireccional sin usar WDM.

Fuente: Ethernet / Gigabit Ethernet Media Conversión, [www.cxr.anderson-jacobson.com](http://www.cxr.anderson-jacobson.com).

La emisión es de forma simultánea de  $A \Rightarrow B$  y de  $B \Rightarrow A$  y se utiliza la misma longitud de onda. WDM da una solución para transmitir por un solo hilo de fibra como se muestra en la figura 2.12.



Figura 2.12: Transmisión bidireccional con WDM.

Fuente: Ethernet / Gigabit Ethernet Media Conversión, [www.cxr.anderson-jacobson.com](http://www.cxr.anderson-jacobson.com).

Un extremo está transmitiendo en 1310nm y otro en 1550nm, es decir, la Tx del un extremo A es la Rx en el otro. Ambas transmisiones son recibidas sin atenuación.

### 2.3.4.1 Equipos WDM

Un sistema WDM como el de la figura 2.13, se compone de transmisor, receptor, medio de transmisión, y dependiendo del enlace se considera equipos de amplificación; y para el caso de WDM se tiene un Láser, el fotodetector, la fibra óptica y el amplificador óptico respectivamente; además, cuenta con multiplexor y de multiplexor, que son los elementos característicos de este tipo de sistemas [11].

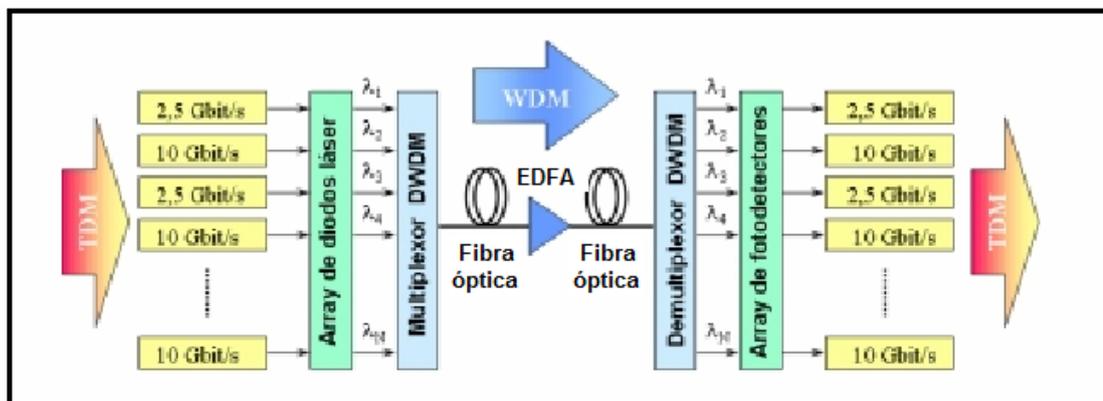


Figura 2.13: Equipos de un sistema WDM.

Fuente: Multiplexación por división de longitud de Onda - WDM Una nueva alternativa para comunicaciones ópticas, Colombia, 2008.

### **Laser**

La fibra óptica tiene cero dispersión, cerca de 1,3  $\mu\text{m}$  de longitud de onda y menor pérdida de longitud de onda de cerca de los 1.55  $\mu\text{m}$ . Así, láseres semiconductores emisores cerca de 1,3  $\mu\text{m}$  y 1,55  $\mu\text{m}$ , son de interés para la aplicación de transmisión por fibra óptica [12].

Muchos de los sistemas de transmisión de fibra óptica en todo el mundo que están en uso o se está desplegando actualmente utilizan los láseres que emiten cerca de 1,3  $\mu\text{m}$  o de 1.55  $\mu\text{m}$  [12].

“Un Láser es esencialmente, un amplificador óptico encerrado en una cavidad, que produce oscilación por realimentación reflectiva. El láser semiconductor utiliza semiconductores como medio de ganancia, mientras que los láseres de fibra usan fibras ópticas dotadas con Erblio (EDFA) como medio de ganancia. Ambos tipos de láseres pueden alcanzar altas potencias de salida de entre 0 y 10 dBm” [11].

### **Fotodetector**

Los fotodiodos son utilizados en los circuitos del receptor, los cuales deben ser fiables, eficientes y deben transformar señales ópticas en señales eléctricas, y serán capaces de recibir los datos transmitidos a través de sistemas de ondas luminosas [12].

El fotodetector es un dispositivo que genera una corriente eléctrica proporcional a la potencia óptica incidente. Los fotodetectores usados típicamente en comunicaciones ópticas son los fotodiodos, los cuales pueden ser fotodiodos PIN (tipo p-tipo intrínseco) o fotodiodos de avalancha (APD).

Actualmente se desarrollan investigaciones en la aplicación del fototransistor para este tipo de elementos [11].

### **Fibra óptica**

Para estos sistemas se usan principalmente las fibras monomodo, de las cuales existen tres tipos y la principal forma de diferenciarlas es por la dispersión cromática. Para una fibra monomodo estándar SMF (*Single-Mode Fiber*), el punto de dispersión cero se encuentra en 1310nm; mientras que para una fibra de dispersión desplazada DSF (*Dispersion Shiftfiber*) la dispersión cero está en 1550nm. Por otro lado, se tiene la fibra desplazada de dispersión no nula NZ-SF (*Non Zero-Dispersion Shift Fiber*), que presenta pequeñas cantidades de dispersión cromática alrededor de 1550nm, permitiendo así reducir algunos efectos no lineales que aumentan en el caso que disminuya la dispersión cromática [11].

### ***Amplificadores Ópticos EDFA***

En un sistema de comunicaciones óptico, las señales ópticas enviadas por el transmisor son atenuadas en su trayecto por el filtro óptico, la fibra óptica, conectores, empalmes y desde luego la distancia; la suma de todas las pérdidas posibilita la detección incorrecta de la señal. Por lo tanto, es necesario garantizar un nivel de potencia aceptable que se consigue mediante la amplificación de la señal. En la actualidad los amplificadores de fibra dotados con Erblio EDFA son elementos muy importantes para las comunicaciones ópticas.

### ***Multiplexor y Demultiplexor***

Los dos elementos más característicos de un sistema WDM son los multiplexores y demultiplexores. Los multiplexores son elementos capaces de unir las diferentes señales que llegan a un determinado punto para transmitir las a través de una única fibra, los demultiplexores las separan; lo anterior permite que todas ellas circulen por un mismo soporte físico (filamento de fibra), donde cada una recorre trayectorias diferentes.

### **2.3.5 WIFI**

Al utilizar la tecnología WiFi (*Wireless Fidelity*), se tendrá algunas ventajas que en la tecnología inalámbrica son evidentes como por ejemplo el abaratamiento y facilidad de implantación de redes LAN (*Local Area Network*), posibilidad de crear espacios con conectividad de manera inmediata, movilidad de usuarios, etc. A toda esta funcionalidad se le suma el bajo coste de los dispositivos necesarios para su puesta en marcha de la red [13].

La WLAN se usa generalmente para ampliar los límites de la red de área local, usan la tecnología RF y cumplen con los estándares IEEE 802.11 (Figura 2.14). Permiten a muchos usuarios conectarse a una red por cable, mediante un dispositivo conocido como punto de acceso (AP). El punto de acceso proporciona una conexión entre los hosts inalámbricos y los hosts en una red Ethernet [7].

WLAN	
Estándar	IEEE802.11 a/b/g/n, HiperLAN, HiperLAN2
Velocidad	De 1 a 540 Mbps
Intervalo	Medio
Aplicaciones	Redes de hogares, pequeñas empresas y grandes empresas

Figura 2.14: Capacidad de las redes inalámbricas.

Fuente: CCNA Discovery 1, Networking para el hogar y pequeñas empresas, *Cisco Networking Academy*, Capítulo 7.1.3, 2007.

El estándar IEEE 802.11 rige el entorno WLAN. Existen cuatro enmiendas al estándar IEEE 802.11 que describen diferentes características para las comunicaciones inalámbricas. Las enmiendas actualmente disponibles son: 802.11a, 802.11b, 802.11g y 802.11n<sup>6</sup>.

Estándar	Fecha de lanzamiento	Frecuencia	Velocidad de datos (máx.)	Rango máximo*
802.11	Julio de 1997	2,4 GHz	2 Mbps	sin definir
802.11a	Octubre de 1999	5 GHz	54 Mbps	50 m
802.11b	Octubre de 1999	2,4 GHz	11 Mbps	100 m
802.11g	Junio de 2003	2,4 GHz	54 Mbps	100 m
**802.11n	Borrador aceptado 1.06 - nov. 2006 Borrador aprobado 2.0 - marzo de 2007	2,4 GHz o 5 GHz	540 Mbps	250 m

Tabla 2.1: Estándares comunes de la IEEE para WLAN 1

Fuente: CCNA Discovery 1, Networking para el hogar y pequeñas empresas, *Cisco Networking Academy*, Capítulo 7.2.1, 2007.

Otra organización, conocida como *Wi-Fi Alliance*, es responsable de probar los dispositivos LAN inalámbricos de distintos fabricantes. El logotipo Wi-Fi en

<sup>6</sup> El estándar 802.11n no está terminado y los valores de alcance (rango máximo) pueden variar.

un dispositivo significa que ese equipo cumple los estándares y debe interoperar con otros dispositivos del mismo estándar [7].

## 2.4 CABLE MODEM

Cable Modem (CM, *cable modem*) es una tecnología que permite transportar datos sobre la red de cable, los cable operadores han debido integrar en sus redes otros servicios, y al tener una gran cantidad de usuarios de televisión y ser estos potenciales usuarios de este servicio, podrían entrar a la red por medio de las ya existentes conexiones de cable coaxial.

Antes de analizar el módem de cable como tal debemos analizar el estándar DOCSIS y el equipo controlador CMTS sistema de terminación de módem de cable (CMTS, *cable modem termination system*).

### 2.4.1 DOCSIS

DOCSIS define la capa física y la MAC del protocolo para la comunicación y la trama de transporte Ethernet entre el CMTS y el CM, DOCSIS define también un aprovisionamiento y la estructura de gestión; al momento existen cuatro versiones publicadas [14]:

- DOCSIS 1.0 (ca. 1996) (ITU-T J.112-B (3/98))
- DOCSIS 1.1 (ca. 1999) (ITU-T J.112-B (3/04))
- DOCSIS 2.0 (ca. 2001) (ITU-T J.122)
- DOCSIS 3.0 (ca. 2006) (ITU-T J.222)

El estándar DOCSIS define el espectro de frecuencias que se utilizará para el envío y recepción de información, en la figura 2.15 se enseña la distribución del espectro en un sistema CATV<sup>7</sup> (Televisión por cable), indica la utilización de la gama de frecuencias utilizadas 70-130 MHz y/o 300-862 MHz para el trayecto *downlink* (sentido descendente) y 5-65 MHz para el trayecto *uplink* de

---

<sup>7</sup>CATV aprovecha las redes de televisión por cable de fibra óptica o cable coaxial para transmitir señales digitales o analógicas, ofrece transferencia de imágenes de televisión a domicilios de abonados.

retorno (sentido ascendente). En el caso de redes pasivas, la gama de frecuencias 5-65 MHz podría utilizarse en forma bidireccional [15].

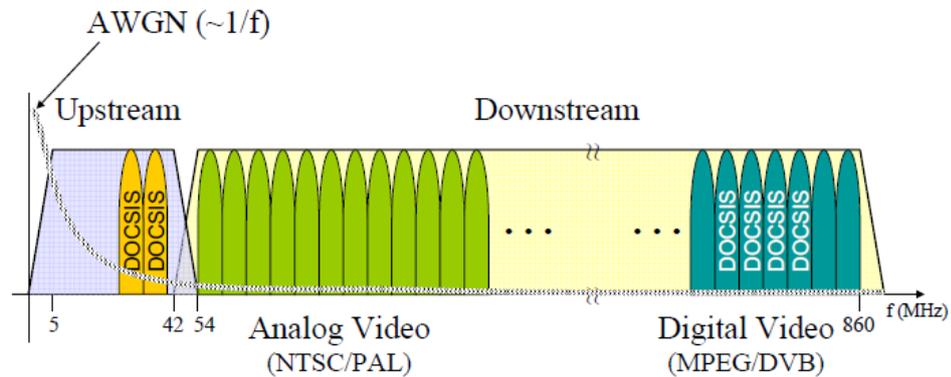


Figura 2.15: Distribución del espectro en un sistema CATV.

Fuente: DOCSIS 3.0, Theroadto 100 Mbps, Cable Labs, [www.cablemodem.com](http://www.cablemodem.com)

El estándar DOCSIS incluye varios protocolos de comunicación y transporte de información como lo describe la figura 2.16:

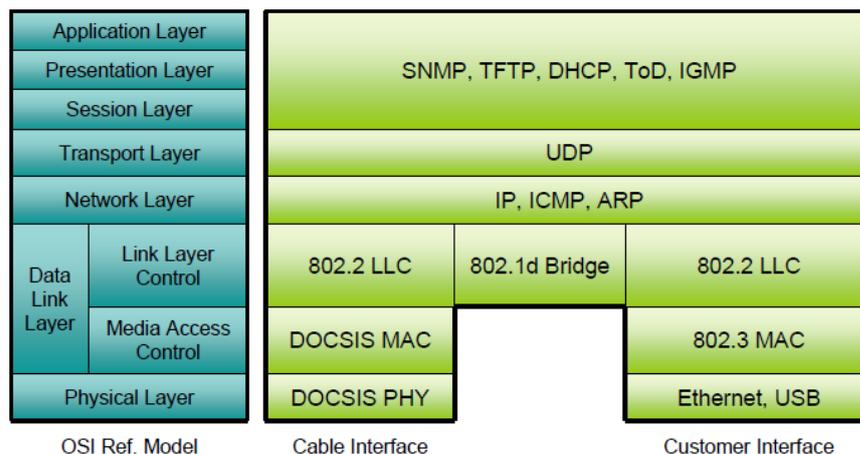


Figura 2.16: Protocolos de comunicación utilizados en el sistema de datos por cable.

Fuente: DOCSIS 3.0, Theroadto 100 Mbps, CableLabs, [www.cablemodem.com](http://www.cablemodem.com)

A la izquierda de la figura se muestra las siete capas del modelo OSI, y a la derecha se detalla los Protocolos de comunicación utilizados en el sistema de datos por cable. Se detallan la capa física en la cual se precisan los parámetros de transmisión físicos (eléctricos), La capa de transporte define todas las estructuras de datos y protocolos de comunicación y la capa de aplicación es el soporte lógico de aplicaciones [16].

### 2.4.1.1 Capa física

La capa física (PHY) consta de dos subcapas:

- La subcapa de convergencia de transmisión (presente sólo en el sentido descendente).
- La subcapa dependiente de los medios físicos (PMD, *physical media dependent*).

#### **Subcapa de convergencia de la transmisión en sentido descendente**

La subcapa de convergencia de la transmisión en sentido descendente sólo existe en ese sentido. Hace posibles servicios adicionales en el tren de bits de la capa física. Estos servicios adicionales podrían incluir, por ejemplo, el vídeo digital.

#### **Subcapa PMD**

La subcapa PMD entraña portadoras RF moduladas digitalmente por la red de cable analógica. En el sentido descendente, la subcapa PMD se basa en la [UIT-T J.83 B], y las principales características son:

- Formatos de modulación 64 y 256 QAM;
- El espectro ocupado de 6 MHz coexiste con todas las demás señales en el sistema de cables.

Las características en el sentido ascendente son:

- CM flexible y programable bajo control del CMTS.
- Agilidad de frecuencia.
- Acceso múltiple por división de tiempo.
- Formatos de modulación QPSK y 16 QAM.
- Soporte de formatos de PDU de trama fija y longitud variable [16].

### 2.4.1.2 Capa MAC

El dominio de subcapa MAC es un conjunto de canales en sentido ascendente y en sentido descendente para los que actúa un solo protocolo de atribución y gestión MAC. Entre sus vinculaciones figuran un CMTS y varios CM. El CMTS debe dar servicio a todos los canales en sentido ascendente y descendente; cada CM PUEDE acceder a uno o más canales en sentido ascendente y descendente.

#### **ID de servicio**

El concepto de ID de servicio es fundamental para la actuación del protocolo MAC. Los ID de servicio permiten la identificación de dispositivos y la gestión de la clase de servicio. Forman parte integrante, en particular, de la atribución de anchura de banda en sentido ascendente.

Un ID de servicio define una correspondencia particular entre un CM y el CMTS. En base a dicha correspondencia es atribuida la anchura de banda al CM por el CMTS y depende de ésta el servicio implementado.

Dentro de un dominio de subcapa MAC, todos los ID de servicio deben ser únicos. El CMTS puede asignar uno o más ID de servicio (SID, *service ID*) a cada CM, la correspondencia con las clases de servicio requeridas por el CM. Dicha correspondencia debe ser negociada entre el CMTS y el CM durante el registro del CM. En una implementación de CM básica, se puede utilizar un solo ID de servicio; por ejemplo, para ofrecer el mejor servicio IP posible [16].

El estándar DOCSIS es el que define las políticas de comunicación entre el CMTS y el CM, en la tabla 2.2 se hace un análisis de las velocidades de bajada y de subida de acuerdo a la versión del estándar:

DOCSIS	Downstream					Upstream				
	Configuración de Canal					Configuración de Canal				
Versión	Número mínimo de canales seleccionables	El número mínimo de canales que el hardware debe ser capaz de soportar	Número seleccionado de canales	Número máximo de Canales	DOCSIS throughput	Número mínimo de canales seleccionables	El número mínimo de canales que el hardware debe ser capaz de soportar	Número seleccionado de canales	Número máximo de Canales	Upstream Throughput
1.x	1	1	1	1	42.88 (38) Mbit/s	1	1	1	1	10.24 (9) Mbit/s
2.0	1	1	1	1	42.88 (38) Mbit/s	1	1	1	1	30.72 (27) Mbit/s
3.0	1	4	$m$	No hay máximo definido	$m \times 42.88$ ( $m \times 38$ ) Mbit/s	1	4	$n$	No hay máximo definido	$n \times 30.72$ ( $n \times 27$ ) Mbit/s

Tabla 2.2: Velocidad de las diferentes versiones del estándar DOCSIS.

Fuente: [sx-de-tx.wikispaces.com/file/view/CMTS+Y+DOCSIS.pps](http://sx-de-tx.wikispaces.com/file/view/CMTS+Y+DOCSIS.pps)

En la columna DOCSIS *throughput* de la tabla 2.2 hace referencia a la velocidad [18] en mega bit por segundo que se obtienen con los diferentes estándares, se muestran dos valores los cuales contienen el máximo ancho de banda que transporta cada estándar DOCSIS.

#### 2.4.2 CMTS

Para proporcionar servicios de datos de alta velocidad en una red HFC se utiliza un Sistema de Terminación de Módem de Cable (CMTS, *cable modem termination system*) que es un equipo que puede ser comparado con un router que actúa como interface entre la red de datos y la red RF (Radio Frecuencia). El CMTS tiene conexiones Ethernet como interfaces RF.

El sistema DOCSIS transporta de forma bidireccional el tráfico del protocolo de Internet (IP) entre la cabecera del sistema de cable y los clientes localizados sobre la red de cable HFC [17]. Esto se muestra de forma simplificada en la figura 2.17:

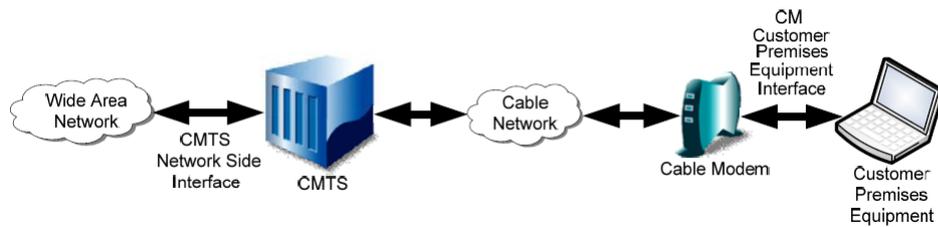


Figura 2.17: Tráfico IP a través de un sistema de datos por cable.

Fuente: MAC and Upper Layer Protocols Interface Specification, CableLabs, página 2,  
<http://www.cablelabs.com/specifications/CM-SP-MULPIv3.0-I18-120329.pdf>

El CMTS tiene múltiples módulos de aplicación para un procesamiento distribuido (alta disponibilidad), trabaja en rangos de frecuencias de 50 a 860 Mhz en *downstream* y 5-42 MHz en *upstream*. En la red se conecta de la siguiente manera (Figura 2.18):

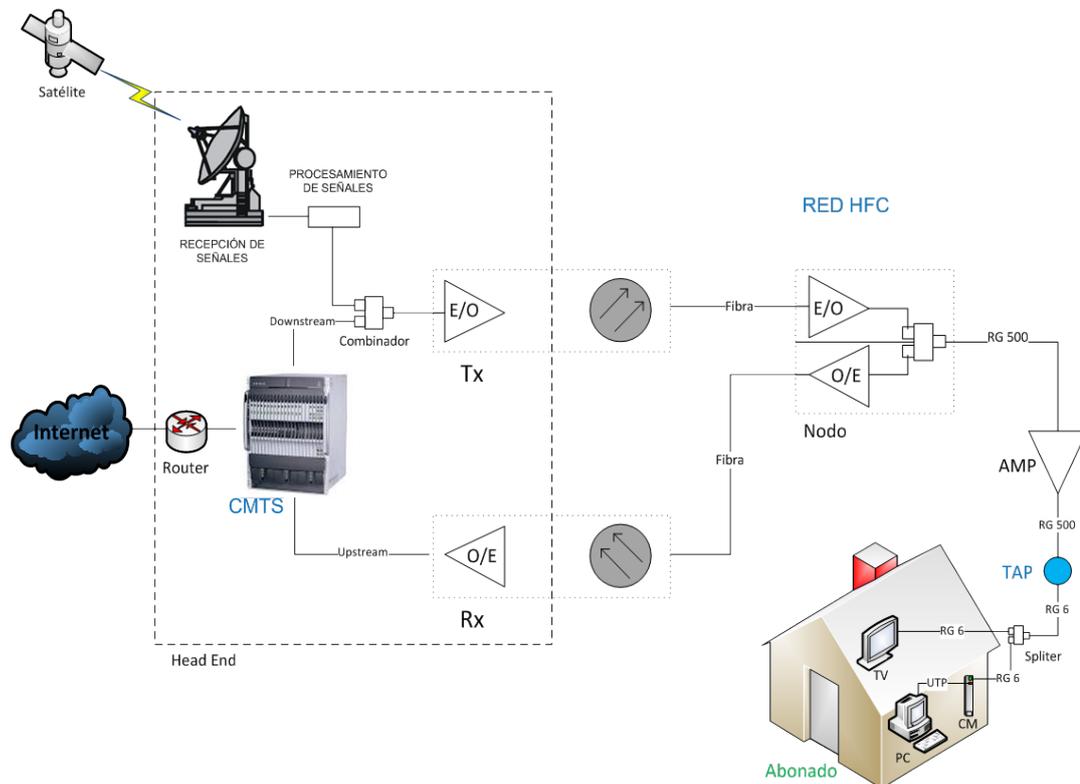


Figura 2.18: CMTS implementado en una red HFC.

Realizado por: El investigador.

EL CMTS para el *downstream* se conecta a un combinador el cual mezcla los datos con el video y los inserta al transmisor óptico el cual transite las dos señales a uno o a varios nodos. Para el *upstream* se necesita un receptor óptico por cada nodo existente en la red HFC. En la figura 2.18 se ejemplifica

la conexión del CMTS en el Head end, y también se detalla las conexiones que se realizan en la casa de un abonado.

### 2.4.3 Cable Modem

Un módem de cable o cable módem (CM) es un tipo especial de módem diseñado para modular la señal de datos sobre una infraestructura de televisión por cable. El término Internet por cable se refiere a la distribución de un servicio de conectividad a Internet sobre esta infraestructura de telecomunicaciones que en este caso se conecta por una red HFC.

El CM es un modem que actúa como interface entre la PC del cliente y la red de RF. Un cable módem se utiliza principalmente para distribuir el acceso a Internet, aprovechando el ancho de banda que se dispone en una red HFC.

En el estándar DOCSIS dentro de la capa de enlace de datos se encuentra la subcapa de control de acceso a los medios MAC la cual controla el acceso de los módems al canal de retorno evitando que varios módems transmitan simultáneamente y se generen colisiones.

Para evitar las colisiones cada CM solicita la asignación de un *time slot* para poder transmitir (*request*). El CMTS asigna ventanas de tiempo para que los CM reserven un espacio para transmitir. Durante este proceso si pueden colisionar varios CM. Periódicamente el CMTS envía mensajes de *broadcast* garantizando a cada CM un *time slot* de acuerdo al tipo de servicio y prioridad (*grant*).

En la figura 2.18 se recrea una conexión de un cable modem en un abonado; esta conexión empieza en la red a la salida de un TAP, en la cual se conecta un cable RG 6 y al otro extremo se instala un splitter el cual divide las señales de video y datos, es decir, la una salida se conecta a la TV y la otra al CM que se conectará a un computador a través de una cable de red directo.

## 2.5 ANÁLISIS DEL CABLE MODEM VS WIFI CON WDM

Al hacer una comparación entre el estándar DOCSIS y el protocolo WI-FI tanto en el downlink como en el uplink las velocidades que se manejan en wifi son superiores al DOCSIS, en la tabla 2.3 se detalla las diferentes velocidades que manejan los diferentes versiones de los estándares.

DOCSIS			WIFI		
Versión	Downstream	Upstream	Versión	Downlink	Uplink
1.x	42.88 (38) Mbit/s	10.24 (9) Mbit/s	802.11	2 Mbit/s	2 Mbit/s
2.0	42.88 (38) Mbit/s	30.72 (27) Mbit/s	802.11a	54 Mbit/s	54 Mbit/s
			802.11b	11 Mbit/s	11 Mbit/s
3.0	$m \times 42.88$ ( $m \times 38$ ) Mbit/s	$n \times 30.72$ ( $n \times 27$ ) Mbit/s	802.11g	54 Mbit/s	54 Mbit/s
			802.11n	540 Mbit/s	540 Mbit/s

Tabla 2.3: Comparación entre DOCSIS y WIFI.

Realizado por: El investigador

El DOCSIS 3.0 puede manejar un ancho de banda superior al WI-Fi, gracias a que el estándar soporta tecnología digital, pero hay que considerar al momento el implementar un CMTS que soporte DOCSIS 3.0 tiene un costo muy elevado.

La capacidad de transporte en los dos tipos de redes difieren notablemente, puesto que con WDM se pueden obtener con los equipos sugeridos para la implementación de este proyecto velocidades de hasta 100 Mbps a una distancia de hasta 20 km de fibra (tabla 2.4).

Capacidad de Transporte	
CMTS 42 Mbps	WDM 100 Mbps

Tabla 2.4: Capacidad de transporte de un CMTS vs WDM.

Realizado por: El investigador.

En cuanto a los equipos que se requieren en para los tipos de red son:

HFC	WDM - WIFI
Manejador de ancho de banda	Manejador de ancho de banda
CMTS	Switch configurable capa 2
Rx ópticos (1 por cada nodo)	Convertidor Óptico a Ethernet con WDM 10/100 (1 por cada AP)
Nodos con retorno	Nodo WIFI
Amplificador 750 con retorno	
Modem de Cable (CM)	CPE cliente

Tabla 2.5: Equipos que constan en una red HFC y WDM para dar internet a usuarios.

Realizado por: El investigador.

En los dos casos se requieren de varios elementos de red para poder dar el servicio de datos a clientes de televisión por cable (tabla 2.5). En el caso de las redes HFC si un cable operador no tiene la red diseñada para activar el retorno se debería tomar en cuenta el costo de preparar la red y el tiempo que este paso lleva, en el caso de Wifi el despliegue es rápido y los equipos de los nodos son accesibles pero el equipo de usuario en promedio cuesta 3 veces más que un cable modem.

Existen diferencias en cuanto a los niveles de seguridad que presenta los diferentes estándares o protocolos que manejan tanto DOCSIS como WIFI, en la tabla 2.6 se hace un análisis de las seguridades de estos estándares:

Seguridad					
DOCSIS	Protocolo	Nivel de seguridad	WI-FI	Protocolo	Nivel de seguridad
versión 1.0	BPI	Bajo	802.11 a / b /g /n	WEP	Bajo
versión 1.1	BPI+	Bajo		WPA	Medio
versión 2.0	SP-BPI+	Medio		WPA 2	Alto
versión 3.0	SEC	Alto			

Tabla 2.6: Protocolos de seguridad de DOCSIS vs WiFi.

Realizado por: El investigador.

Como se puede observar en la actualidad los protocolos de encriptación de las redes inalámbricas son más robustos que los niveles de seguridad que presenta un CM. En la actualidad hasta la versión DOCSIS 2.0 es muy susceptible a la piratería, es decir, es fácil conseguir en el mercado CM

configurados para obtener validaciones clandestinas en el CMTS y de esta manera poder navegar sin tener que pagar.

En el caso de los equipos WI-FI protocolos de encriptación WEP y WPA ya son vulnerables por hackers, por lo que es necesario utilizar sistemas de encriptación más robustos como lo son el WPA2 y el WPAPSK.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “Motorola Document Classification”, Canopy Enterprise Solutions, Rev. 2.0, © Motorola, Inc. 20XX.
- [2] “Introduction to Broadband Networks”, Training Manual, © 2003 by Motorola, Inc.
- [3] Actualizando la Red: El camino hacia el Nodo+0, Cinit, <http://www.cinit.org.mx/articulo.php?idArticulo=84>, Marzo – 2011, consultado en mayo – 2012.
- [4] Álvarez Manuel, Berrocal Julio, *Tecnologías de Banda Ancha y Convergencia de Redes*, primera edición, editorial Graymo S.A., Madrid – 2009.
- [5] “Fundamentos de los sistemas de Cable” Canopy Enterprise Solutions, Rev. 2.0, *Motorola Documents Classification*, Inc. 20XX.
- [6] “Broadband Applicatios & Construction Manual” Drop Cable, CommScope Properties, California - 2007.
- [7] CCNA Discovery 1, Networking para el hogar y pequeñas empresas, *Cisco Networking Academy*, Capítulos 6.1.2, 6.3.3, 7.1.3, 2007.
- [8] CCNA1 Versión 3.1, Conceptos Básicos sobre Networking, *Cisco Networking Academy Program*, Capítulos 2.3, 6.1, 9.1, 2005.
- [9] José Antonio Adell, José Gabeiras, *Las Telecomunicaciones de Nueva Generación*, Edición División de Relaciones Corporativas y Comunicación de Telefónica, primera edición, capítulo 6, páginas 124-126, 2001.
- [10] Ethernet / Gigabit Ethernet Media Conversión, [www.cxr.anderson-jacobson.com](http://www.cxr.anderson-jacobson.com), consultado en mayo – 2012.

- [11] Héctor Bermúdez, Wilmer Jiménez, Multiplexación por división de longitud de Onda - WDM Una nueva alternativa para comunicaciones ópticas, Colombia, 2008.
- [12] Achyut k. Dutta, Niloy K. Dutta, Masahiko Fujiwara, WDM Technologies – Active Optical Components, Edición Ehevier Science (USA), capítulo 1, página 14, capítulo 8, página 319, 2002.
- [13] Rodrigo Castro, Avanzando en la seguridad de las redes WIFI, Boletín de RedIRIS, N° 73, septiembre 2005.
- [14] DOCSIS 3.0, Theroadto 100 Mbps, Greg White, Principal Architect, Cable Labs, 2007, [www.cablemodem.com](http://www.cablemodem.com), consultado en mayo 2012.
- [15] RECOMENDACIÓN UIT–T J.112, Sistemas de transmisión para servicios interactivos de televisión por cable, Anexo A, paginas 13-17, marzo 1998.
- [16] RECOMENDACIÓN UIT–T J.112, Sistemas de transmisión para servicios interactivos de televisión por cable, Anexo B, paginas 91-107, marzo 1998.
- [17] MAC and Upper Layer Protocols Interface Specification, Cable Labs, página 2, <http://www.cablelabs.com/specifications/CM-SP-MULPIv3.0-118-120329.pdf>, marzo 2012, consultado en junio 2012.
- [18] Que es CMTS, página 17, tablas de velocidad, [sx-de-tx.wikispaces.com/file/view/CMTS+Y+DOCSIS.pps](http://sx-de-tx.wikispaces.com/file/view/CMTS+Y+DOCSIS.pps), marzo 2012, consultado en junio 2012.

## CAPÍTULO 3

### 3. ANÁLISIS Y DISEÑO

#### 3.1 ESTRUCTURA DE LA RED HFC DE WEBCABLE.

La red HFC instalada por la Empresa Regionaltel cuyo nombre comercial es Webcable contiene los cuatro segmentos de red principales que forman una red HFC. En este capítulo se analizará los siguientes segmentos de red:

- Cabecera (*Head End*)
- Red Troncal
- Red de Distribución
- Red de Acometida

En todos los casos se indicará ejemplos de cómo se ha instalado la fibra óptica y el cable coaxial; también se mostrarán las conexiones entre los diferentes equipos activos y los vínculos entre los elementos pasivos de la red.

##### 3.1.1 Cabecera (Head End)

La Empresa Regionaltel ha instalado un *headend* analógico, el cual contempla canales locales e internacionales con una programación variada. En la figura 3.1 se indica un esquema de la cabecera.

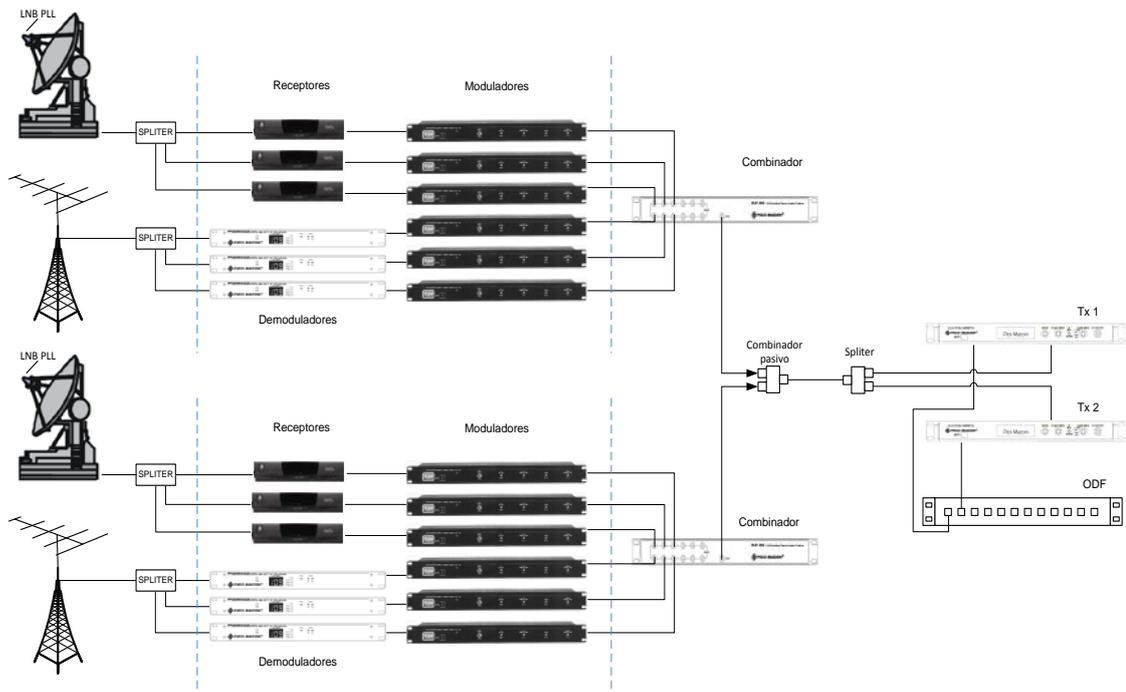


Figura 3.1: Headend de la Empresa Regionaltel.

Realizado por: El investigador.

La cabecera consta de antenas yagi para la recepción de canales locales, y de antenas parabólicas de 3.1 m y de 1.2 m. Para la recepción de canales internacionales libres y codificados. Luego de la recepción de los canales se los modula de acuerdo a una grilla de programación previamente planificada, y por el número de canales se utiliza más de un combinador el cual agrupa hasta 24 canales en una única salida que es conectada a otro combinador pasivo, y finalmente se vuelve a dividir la señal por medio de un *splitter* puesto que por el crecimiento de la red ha sido necesario la instalación de dos transmisores ópticos como se observa en la figura 3.1. Los transmisores se conectan al distribuidor de fibra ODF por sus siglas en inglés a través de dos *patch cord* SC/APC.

### 3.1.2 Red troncal

La red HFC de la Empresa Regionaltel consta de una red troncal de fibra la cual alimenta a 9 nodos ópticos, los mismos que trabajan en la banda de frecuencia de 5 a 750 MHz, por lo que todos tienen retorno (Figura 3.2).

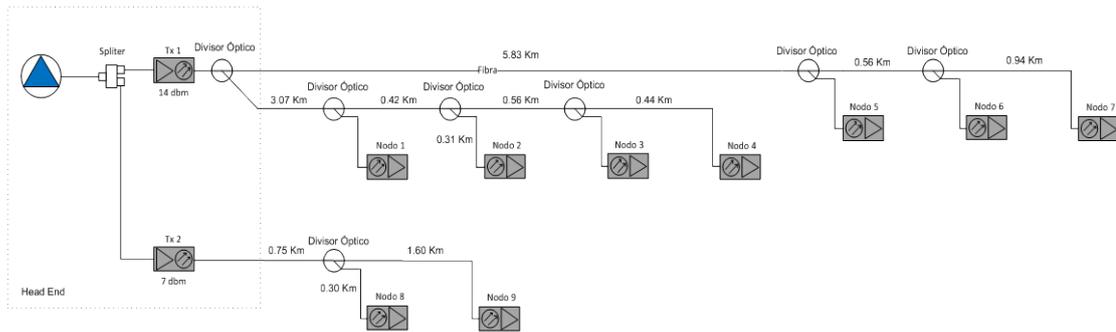


Figura 3.2: Red troncal de la Empresa Regionaltel.

Realizado por: El investigador.

Para analizar la red troncal se la ha dividido en tres sectores, los cuales son: El Valle – Chilcapamba, El Valle - Centro y Monay; para el *forward* desde el *headend* se utilizan dos transmisores ópticos de 14 dBm y 7 dBm, además de utilizar divisores ópticos con valores de acuerdo a la distancia y a la cantidad de nodos en cascada en un tramo de la red. En el capítulo 6 el esquema 1 detalla la red troncal.

### 3.1.3 Red de distribución

La red de distribución principalmente está formada por enlaces con cable coaxial RG 500 que van de los nodos a los amplificadores, y dependiendo del sector se ha instalado amplificadores en cascada para una mayor cobertura. En la figura 3.3 se indica un ejemplo de la red de distribución de la Empresa tomado del nodo 1.

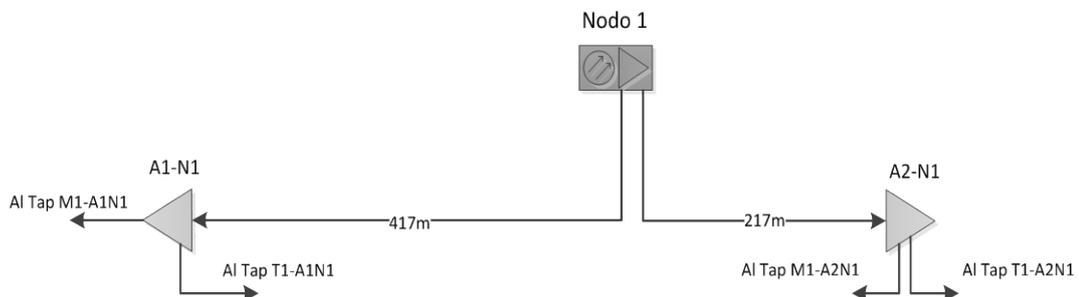


Figura 3.3: Red de distribución de la Empresa Regionaltel.

Realizado por: El investigador.

Se observa en la gráfica que la red de distribución anexa al nodo 1 de la red tiene dos amplificadores los cuales derivan la señal en dos ramales cada uno.

### 3.1.1 Red de acometida

La red de acometida en su mayoría está formada por TAP's con diferentes niveles de atenuación a la salida de los conectores, y también al tener una ciudad con manzanas de diferente forma y tamaño se han instalado splitter's troncales y *directional coupler* para segmentar la red, teniendo una mejor cobertura en el área de influencia de la empresa (Figura 3.4).

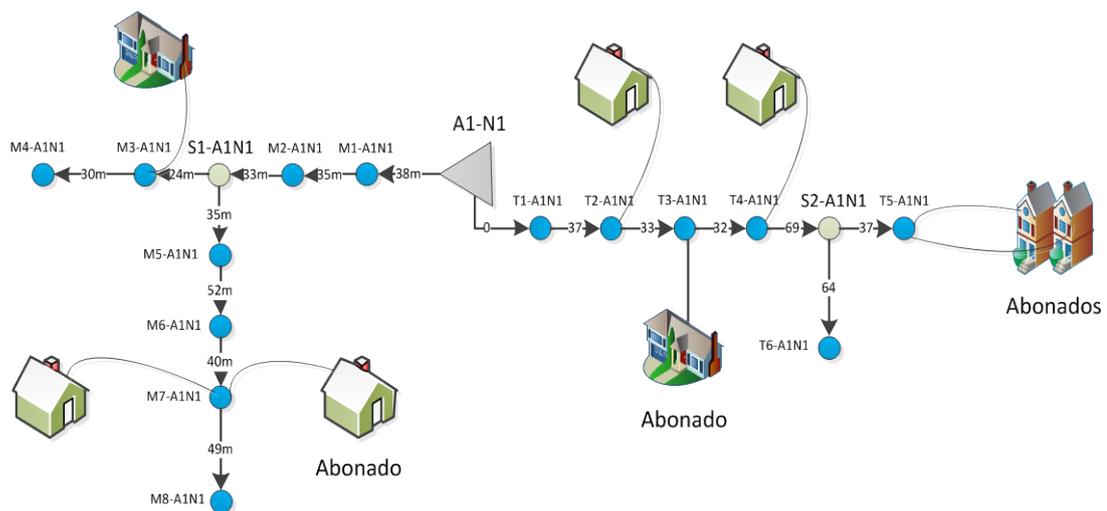


Figura 3.4: Red de acometida de la Empresa Regionaltel.

Realizado por: El investigador.

Se describe en el esquema la red de acometida del amplificador A1-N1 de la red HFC, en los dos ramales se ha tratado de optimizar al máximo la red y como ya se mencionó anteriormente se ha utilizado un splitter troncal (S2-A1N1) y un *directional coupler* (S1-A1N1). La acometida para que va del TAP a la casa del abonado es mediante cable RG 6 al 60%.

## 3.2 ANÁLISIS Y VALORACIÓN DE LA RED ACTUAL.

Para el análisis de la red actual se ha definido enfatizar en la red de distribución ya que es el segmento de red que mayor problema produce si se

quiere activar el retorno en los nodos. Al dividirse la red troncal en tres secciones se analizará un nodo, el cual nos indicará el comportamiento global de la red (Capítulo 6 esquemas 2, 3 y 4). En el sector 1 se analizará el nodo 1 el cual al momento consta de 2 amplificadores marca Claupet que están colocados estratégicamente de acuerdo a un diseño previo.

En la figura 3.5 se observa un esquema de la conexión del nodo 1, el cual tiene una configuración nodo +1. En la parte superior de la figura se observa los datos iniciales para el análisis, en este caso se ha escogido el cable RG 500 y un nodo marca Claupet. En la gráfica se observa una advertencia la cual hace referencia a la distancia entre el nodo y el amplificador. En este caso el diseñador no tomo en cuenta la distancia la cual excede los límites de funcionamiento del nodo y del amplificador puesto que a la entrada del amplificador el nivel de la señal es muy bajo.

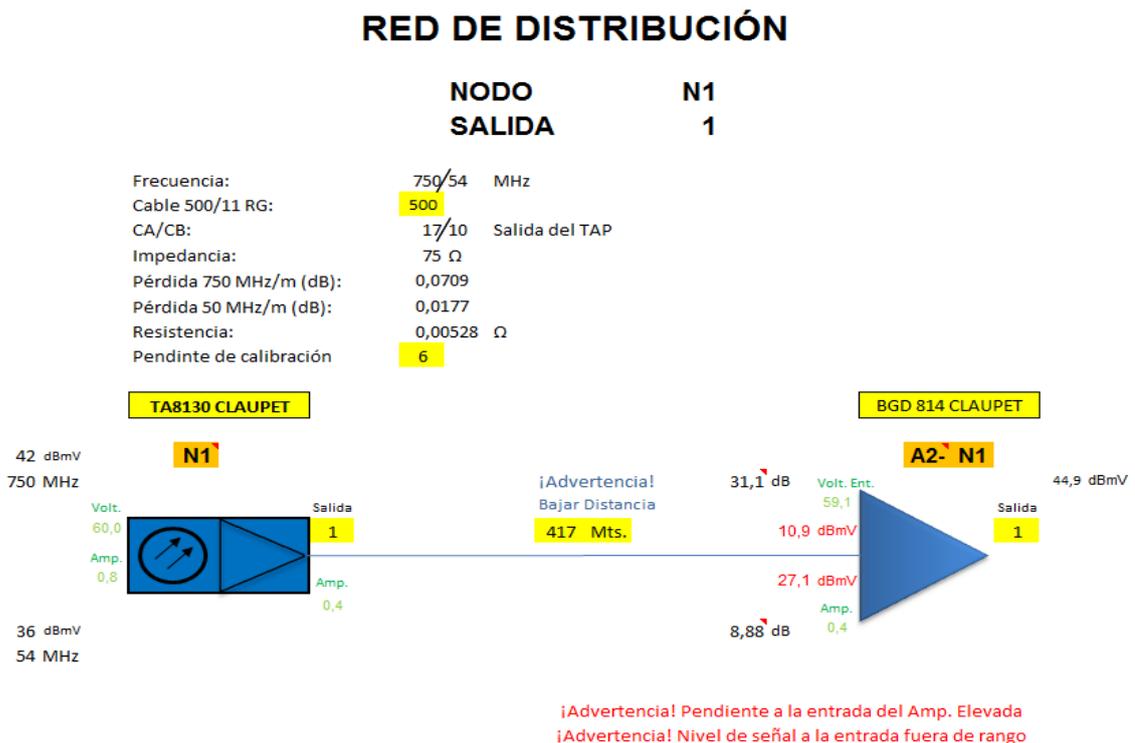


Figura 3.5: Detalle del Cálculo de la red de distribución de la Empresa Regionaltel.

Realizado por: El investigador.

### 3.2.1 Cálculo de la Red HFC

Se realizará el cálculo del nodo N1, por lo que partimos de los datos de fábrica los cuales se describen en la tabla 3.1:

N1					
CN	CTB	CSO	XM	%HUM	HUM
51,0	65,0	60,0	60,0	0,1	-60,0

Tabla 3.1: Datos de fábrica del nodo 1 marca Claupep.

Realizado por: El investigador.

Se calcula primero la pérdida en el cable y conectores, para esto se obtiene de las características del cable, la atenuación de este a la frecuencia de 54 MHz y 750 MHz, en el caso de Regionaltel las pérdidas del cable RG500 a 54 MHz es de 0.0177 dB/m y 0.0709 dB/m a 750 MHz, se tomará como referencia una pérdida por conector de 0.75 dB y al tener una distancia de 417 m desde el nodo N1 hasta el amplificador A1-N1, se tiene:

Pérdida en el cable a 750 MHz.

$$Per_{cable\ 750} = (Ate_{cable\ 750} * d) + Per_{conectores} \quad (1)$$

$$Per_{cable\ 750} = (0.0709dB/m * 417m) + 1.5dB$$

$$Per_{cable\ 750} = 31.1\ dB$$

Pérdida en el cable a 54 MHz.

$$Per_{cable\ 54} = (Ate_{cable\ 54} * d) + Per_{conectores} \quad (2)$$

$$Per_{cable\ 54} = (0.0177dB/m * 417m) + 1.5dB$$

$$Per_{cable\ 54} = 8.88\ dB$$

Dónde:

$Ate_{cable\ 54}$  Atenuación en el cable a 54Mhz

$d$  Distancia entre el nodo y el amplificador

$Per_{conectores}$  Pérdida por conectores

Con las pérdidas en el cable se puede obtener el nivel de señal a la entrada del amplificador por lo que se tiene:

Nivel de señal a la entrada del amplificador a 750 MHz.

$$Señal_{ent\ 750} = Señal_{salida\ 750} - Per_{cable\ 750} \quad (3)$$

$$Señal_{ent\ 750} = 42dBmV - 31.1dB$$

$$Señal_{ent\ 750} = 10.9\ dBmV$$

Nivel de señal a la entrada del amplificador a 54 MHz.

$$Señal_{ent\ 54} = Señal_{salida\ 54} - Per_{cable\ 54} \quad (4)$$

$$Señal_{ent\ 54} = 36dBmV - 8.88dB$$

$$Señal_{ent\ 54} = 27.1\ dBmV$$

Dónde:

$Señal_{salida\ 54}$  Nivel de señal a la salida del nodo N1 a 54 MHz

$Per_{cable\ 54}$  Pérdida en el cable a 54 MHz.

Con los niveles a la entrada del amplificador se obtiene el TILT que nos da la diferencia entre la señal a 750 Mhz y a 54 Mhz, por lo que se tiene:

$$TILT = Señal_{ent\ 750} - Señal_{ent\ 54} \quad (5)$$

$$Señal_{ent\ 54} = 10.9dBmV - 27.1dB$$

$$Señal_{ent\ 54} = -16.2\ dBmV$$

Para el primer amplificador calculamos el nivel de Portadora/ruido (*carrier to noise* CN) a la salida del amplificador, cuando se conoce la señal de entrada y la figura de ruido NF:

$$CN = Señal_{ent\ 750} - (-59.2 + NF) \quad (6)$$

$$CN = 10.9dBmV - (-59.2 + 7)$$

$$CN = 63.1\ dBmV$$

Al estudiar la etapa de amplificación de la red en una configuración nodo +1 se parte de los datos del fabricante para cada amplificador, para el caso que estamos analizando se tiene:

**A1- N1**

CN	CTB	CSO	XM	%HUM	HUM
63,1	60,0	59,0	66,0	0,10	-60,0

Tabla 3.2: Datos calculados en el nodo 1.

Realizado por: El investigador.

En la tabla 3.2 se detallan las características del amplificador BDG 814 Claupey y también se incluye el valor calculado en la ecuación (6).

Calculamos la pulsación triple compuesta (Composite Triple Beat CTB) “Esta distorsión es causada por la curvatura de tercer orden de la característica de transferencia no-lineal en cada equipo del sistema” [1].

Para sumar relaciones diferentes de pulsaciones triples compuestas [2]:

$$CTB_S = -20 \log_{10} \left( 10^{\frac{-CTB_1}{20}} + 10^{\frac{-CTB_2}{20}} + 10^{\frac{-CTB_n}{20}} \right) \quad (7)$$

$$CTB_S = -20 \log_{10} \left( 10^{\frac{-65}{20}} + 10^{\frac{-60}{20}} \right)$$

$$CTB_S = 56.12 \text{ dB}$$

Obtenemos la distorsión de segundo orden compuesta (Composite Second Order beat CSO) “Es la razón expresada en dB del nivel pico de la señal de RF nivel pico de la señal de interferencia. Esta distorsión es causada por la curvatura de segundo orden de la característica de transferencia no-lineal en cada equipo del sistema” [1].

Para sumar relaciones diferentes de CSO [2]:

$$CSO_S = -15 \log_{10} \left( 10^{\frac{-CSO_1}{15}} + 10^{\frac{-CSO_2}{15}} + 10^{\frac{-CSO_n}{15}} \right) \quad (8)$$

$$CSO_S = -15 \log_{10} \left( 10^{\frac{-60}{15}} + 10^{\frac{-59}{15}} \right)$$

$$CSO_S = 54.97 \text{ dB}$$

La relación modulación cruzada XMOD se da cuando a una portadora sin modular, se observan características de modulación al ser amplificadas; y consiste en medir el nivel de modulación presente en una frecuencia dada y compararlo con el nivel de la portadora [3].

Para obtener relación modulación cruzada XM [2]:

$$XM = -20\log_{10}\left(10^{\frac{-XM_1}{20}} + 10^{\frac{-XM_2}{20}} + 10^{\frac{-XM_n}{20}}\right) \quad (9)$$

$$XM = -20\log_{10}\left(10^{\frac{-60}{20}} + 10^{\frac{-66}{20}}\right)$$

$$XM = 56.47 \text{ dB}$$

En ninguna parte de la red los valores de CTB y CSO deben ser inferiores a 51 dB [1].

### 3.2.2 Análisis de la Red HFC

El nivel de entrada del amplificador A1-N1 a 750 Mhz es muy bajo (ecuación 3), puesto que el amplificador BGD 814 tiene un rango de ganancia de 20 a 34 dB en condiciones ideales, por lo que, un nivel aceptable a la entrada de este amplificador debería ser de 15 a 24 dBmV.

La pendiente al ingreso del amplificador es muy elevada, es decir el nivel de la señal de entrada a 750 Mhz es muy bajo respecto al nivel de entrada a 54Mhz, lo que provoca a la salida un pendiente pequeña, la cual no compensará las pérdidas en el cable, por lo que en este caso **se recomienda acercar el amplificador A1-N1 al nodo N1**. La ecuación (5) calcula la diferencia en el nivel de señal de entrada, la cual al ser negativa da un indicio de alerta, se puede tener hasta una diferencia entre la señal de entrada de 750 Mhz y la de 54 Mhz de 20 dB, en este caso se debería colocar un ecualizador de 22 dB a la entrada del amplificador para tener una pendiente de salida correcta.

En la tabla 3.3 se lista todos los nodos y amplificadores de la red HFC, con sus respectivas marcas, la tabla además indica las distancias de separación entre equipos activos, el tipo de cable y el tipo de conexión. El tipo de conexión troncal es cuando se conecta dos equipos directamente sin TAP's intermedios, y la conexión en distribución es cuando se conecta una amplificador después de uno o varios TAP's.

ÍTEM	Marca Nodo	Marca Amplificador	Amplificador N°	Nodo N°	Distancia (m)	Tipo de Cable	Reubicar Amplificador	Cambiar tipo de cable	Tipo de conexión	Observaciones
1	TA8130 CLAUPET	BGD 814 CLAUPET	A1	N1	417	RG 500	SI	NO	TRONCAL	Acercar el Amplificador al nodo y aumentar un Amplificador
2		BGD 814 CLAUPET	A2		217	RG 500	NO	NO	TRONCAL	OK
3	TA8130 CLAUPET	BGD 814 CLAUPET	A1	N2	362	RG 500	NO	NO	TRONCAL	OK
4	TA8130 CLAUPET	BGD 814 CLAUPET	A1	N3	321	RG 500	NO	NO	TRONCAL	OK
5		BGD 814 CLAUPET	A2		240	RG 500	NO	NO	DISTRIBUCIÓN	Cambiar el Tipo de conexión
6		BGD 814 CLAUPET	A3		351	RG 500	NO	NO	TRONCAL	OK
7		BGD 814 CLAUPET	A4		364	RG 11	SI	SI	DISTRIBUCIÓN	Cambiar el Tipo de conexión
8		BGD 814 CLAUPET	A5		248	RG 11	NO	SI	TRONCAL	OK
9		BGD 814 CLAUPET	A6		208	RG 11	NO	SI	TRONCAL	OK
10	TA8130 CLAUPET	BGD 814 CLAUPET	A1	N4	501	RG 500	SI	NO	TRONCAL	Aumentar un Amplificador entre A1N4 y N4
11		MB 875/SG	A2		361	RG 500	NO	NO	DISTRIBUCIÓN	Cambiar el Tipo de conexión
12		BGD 814 CLAUPET	A3		266	RG 500	NO	NO	TRONCAL	OK
13	TA8130 CLAUPET	BGD 814 CLAUPET	A1	N5	352	RG 500	NO	NO	TRONCAL	OK
14		BGD 814 CLAUPET	A2		417	RG 500	SI	NO	TRONCAL	Acercar el Amplificador al nodo
15		BGD 814 CLAUPET	A3		454	RG 500	SI	NO	TRONCAL	Acercar el Amplificador al nodo
16	TA8130 CLAUPET	BGD 814 CLAUPET	A1	N6	288	RG 500	NO	NO	TRONCAL	OK
17		BGD 814 CLAUPET	A2		268	RG 500	NO	NO	TRONCAL	OK
18	TA8130 CLAUPET	BGD 814 CLAUPET	A1	N7	382	RG 500	NO	NO	TRONCAL	OK
19		BGD 814 CLAUPET	A2		268	RG 11	NO	SI	TRONCAL	OK
20		BGD 814 CLAUPET	A3		271	RG 11	NO	SI	TRONCAL	OK
21	SG 1000	MB 875/SG	A1	N8	177	RG 11	NO	SI	TRONCAL	OK
22		MB 875/SG	A2		200	RG 11	NO	SI	TRONCAL	OK
23	SG 1000	MB 875/SG	A1	N9	401	RG 500	SI	NO	TRONCAL	Acercar el Amplificador al nodo
24		MB 875/SG	A2		389	RG 500	SI	NO	TRONCAL	Acercar el Amplificador al nodo
25		MB 875/SG	A3		380	RG 500	NO	NO	TRONCAL	OK
26		MB 875/SG	A4		378	RG 500	NO	NO	TRONCAL	OK

Tabla 3.3: Lista de amplificadores, y observaciones en la red de distribución.

Realizado por: El investigador.

Al realizar el análisis en toda la red de distribución de la Empresa Regionaltel Cia. Ltda. administra se nota claramente que para instalar un CMTS es necesario hacer un re diseño en algunos sectores de la red.

### 3.3 DISEÑO DE LA RED IP SOBRE WDM.

#### 3.3.1 Diseño Red Interna

Para el manejo del ISP se ha diseñado una red interna que consta de un router para el acceso a internet; tiene un administrador de red y además tres funcionalidades que son: Manejo de ancho de banda, Firewall y servidor NAT (Network Address Translation). Incluye una mejora para el manejo ancho de banda local un servidor WEB Cache que está desarrollado en una plataforma Linux (figura 3.6).

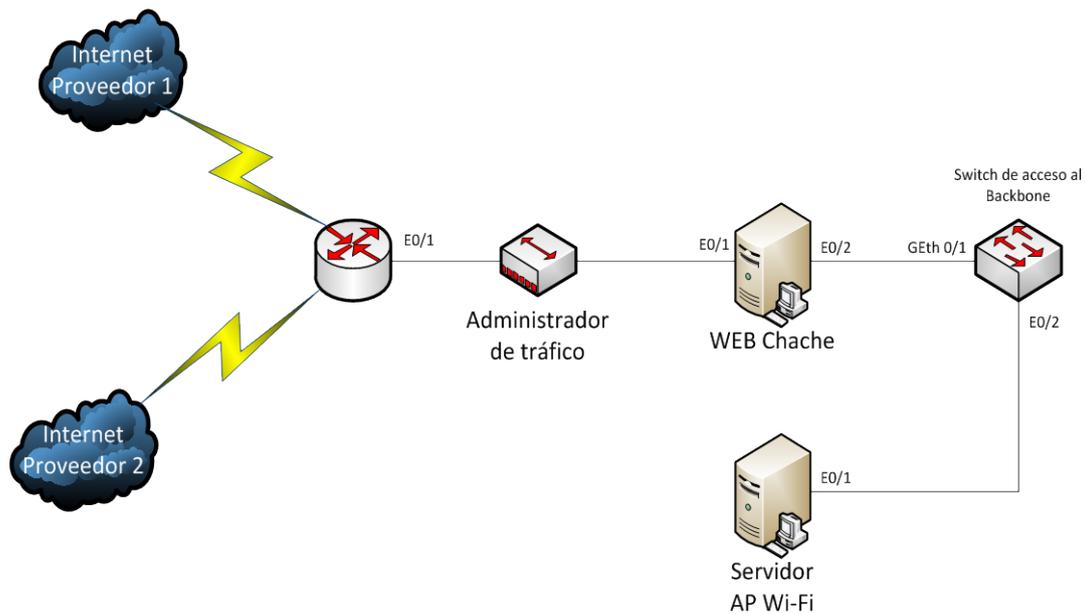


Figura 3.6: Esquema de la red interna de Regionaltel.

Realizado por: El investigador.

La red interna también está diseñada para albergar un servidor para administrar los enlaces inalámbricos, y finalmente se incluye el *switch* que es el lazo de unión entre la red interna y el *backbone* de la red WDM.

### 3.3.2 Diseño Red WDM

Para el diseño de la red de fibra se tomará en cuenta la red existente, que ésta no será modificada de manera parcial ni total. La nueva red WDM funcionará sin problemas sobre la infraestructura existente.

En el diseño se pone énfasis en los lugares en donde actualmente están instalados los nodos ópticos y la altura de los mismos, puesto que los AP WiFi tienen un alcance aproximado de 2 km con línea de vista, por lo tanto la geografía del terreno y la altura de los AP's es muy importante tomarla en cuenta.

### 3.3.2.1 Equipos WDM

En el mercado nacional existen varias marcas de equipos WDM que pueden ser utilizados para implementar la red de acceso que la Empresa Regionaltel requiere, en tal virtud, la tabla 3.4 describe algunos equipos y sus características principales.

Ítem	Equipo	Cantidad	P. Unitario
CTC UNION			
1	RACK ADMINISTRABLE PARA TARJETAS CONVERSIONAS ÓPTICO A ETHERNET DEL TIPO FAST ETHERNET 10/100 Y GIGABIT ETHERNET 10/100/1000, INCLUYE SOFTWARE DE ADMINISTRACIÓN	1	\$ 598,46
2	TARJETA DE ADMINISTRACIÓN SNMP PARA RACK DEL ÍTEM 1	1	\$ 118,65
3	EQUIPO CONVERSION ÓPTICO A ETHERNET 10/100 STAND ALONE, WDM EN VENTANAS DE 1310 nm y 1550 nm, PARA INTEROPERABILIDAD CON RACK DE ÍTEM 1, ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA 110 VAC.	1	\$ 120,68
4	TARJETAS 10/100	1	\$ 151,85
ATOP TECHNOLOGY CO. LTD			
1	AF100 Series Fast Ethernet Converter 10/100 No gestionable.	2	\$ 152,37

Tabla 3.4: Listado de equipos WDM.

Realizado por: El investigador.

En se ha analizado dos tipos de quipos WDM un administrable y otro no administrable, en los dos casos manejan capacidades 10/100 Mbps; en el caso del equipo administrable CTC UNION la ventaja es que trabaja con el protocolo simple de administración de red o SNMP (*Simple Network Management Protocol*), pero tiene un alto costo. El equipo ATOP TECHNOLOGY CO. LTD. No es gestionable y tiene un bajo costo, para el caso de la Empresa Regionaltel al ser una red pequeña solo necesita un equipo que maneje 10/100 Mbps y la gestión se la hace directamente en el AP.

### 3.3.2.2 Cálculo del enlace de fibra óptica

Para utilizar los recursos existentes en el diseño de la red WDM se parte de la fibra óptica instalada en la ciudad de Cuenca por la Empresa Regionaltel. Es muy importante tomar en cuenta la atenuación total en el enlace y en este caso se estudiará el tramo que va desde el *headend* hasta el AP 4 que es el más crítico por ser el más distante de la red (figura 3.7).

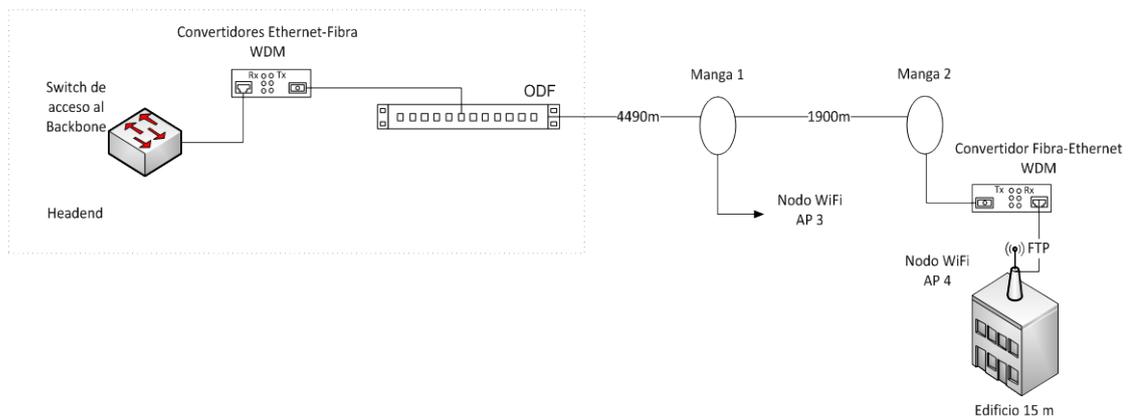


Figura 3.7: Esquema red de WDM de Regionaltel (Nodo WiFi AP 4)..

Realizado por: El investigador.

La distancia total del enlace es igual a la suma de las distancias entre la cabecera y la manga 1 y la longitud de la fibra entre la manga 1 y la manga 2.

$$L = L_1 + L_2 \quad (10)$$

$$L = 4490 + 1900$$

$$L = 6390 \text{ m}$$

Para calcular las pérdidas en trayecto de la fibra se utilizará las dos longitudes de onda ( $\lambda$ ) que son 1310 nm y 1550 nm, por lo que, la atenuación típica por kilómetro a 1310 nm de una fibra monomodo estándar es de 0.4 dB/Km (Tabla 3.5).

Características fibra óptica Monomodo (Recomendaciones ITU-T)		
Tipo de Fibra	Longitud de Onda	Coefficiente de Atenuación Máximo ( $\alpha T$ )
ITU-T G.652.D	1310 nm	0,4 dB/Km
	1550 nm	0,3 dB/Km
	1625 nm	0,4 dB/Km
ITU-T G.655.D	1550 nm	0,36 dB/Km
	1625 nm	0,4 dB/Km

Tabla 3.5: Atenuación de la fibra monomodo según la longitud de onda.

Fuente: Recomendaciones ITU-T G.652.D y ITU-T G.655.D.

La atenuación del cable de fibra óptica será:

$$A = L * \alpha T + Ne * \alpha E + Nc * \alpha C \quad (11)$$

$$A = 6.39 * 0.4 + 4 * 0.10 + 2 * 0.6$$

$$A = 3.80 \text{ dB}$$

Dónde:

L: Distancia del enlace.

$\alpha T$ : Coeficiente de atenuación máxima por kilómetro de fibra.

Ne: Número de empalmes del trayecto.

$\alpha E$ : Atenuación por empalme (0.10 dB).

Nc: Número de conectores.

$\alpha C$ : Atenuación por unión de conectores (0.60 dB)

Se considera también en el diseño una reserva de atenuación (margen del enlace), lo que permite tener una reserva para futuros empalmes por averías, cortes en la red o degradación de la fibra óptica.

El valor de la reserva de la atenuación va desde 0.1 dB/Km hasta los 0.6 dB/Km. El valor que se adopte será tomando en función del sector en donde se instaló la fibra, y de la importancia del enlace.

La atenuación total considerando la reserva de atenuación es:

$$A_T = A + L * \alpha R \quad (12)$$

$$A_T = 3.80 + 6.47 * 0.1$$

$$A_T = 4.44 \text{ dB}$$

Dónde:

A: Atenuación del cable de fibra óptica.

L: Distancia del enlace.

$\alpha R$ : Coeficiente de reserva de atenuación máxima por kilómetro de fibra.

El enlace será proyectado para un margen de potencia igual a la máxima atenuación antes de ser necesario un repetidor. La Empresa Regionaltel utiliza el convertidor modelo AFS100-20 con una potencia de Tx de 0 a -1 dBm y una sensibilidad de -25 dBm para una distancia aproximada de 20 km. El manual del equipo se adjunta en el capítulo 6.

$$P_M = P_{Tx} - P_{Rx} \quad (13)$$

$$P_M = 0 - (-25)$$

$$P_M = 25 \text{ dB}$$

Dónde:

$P_M$ : Margen de potencia en dB (máxima atenuación permisible).

$P_{Tx}$ : Potencia del transmisor en dB.

$P_{Rx}$ : Potencia de recepción en dB (sensibilidad del receptor).

El margen de enlace  $M_E$  en dB será:

$$M_E = P_M - A_T \quad (14)$$

$$M_E = 25 - 4.44$$

$$M_E = 20.55 \text{ dB}$$

El resultado de la ecuación 14 advierte que el enlace para ser afectado debe presentar una falla o atenuación mayor a los 20.55 dB, si se sobrepasa este valor, los convertidores presentaran errores; por lo tanto, el

dimensionamiento de los equipos ópticos es el correcto. El esquema de todos los convertidores de la red WDM se adjunta en el capítulo 6 en el esquema 10.

La tabla 3.6 detalla un resumen de los cálculos realizados en los enlaces de fibra que se requieren para activar el backbone de la red WDM.

Enlace	Distancia L (km)	Atenuación del cable A (dB)	Atenuación Total AT	Margen del Enlace ME	Observaciones
AP1	0,04	-----	-----	-----	Cable FTP
AP2	2,35	2,340	2,575	22,425	
AP3	4,49	3,196	3,645	21,355	
AP4	6,39	3,800	4,440	20,550	

Tabla 3.6: Resumen de los cálculos de los enlaces WDM.

Realizado por: El investigador.

El AP1 no tiene datos puesto que se encontrará ubicado en la cabecera de la red, por lo que, se conectará directamente al switch de distribución a través de un cable FTP de 40 metros aproximadamente.

### 3.3.3 Diseño Red WiFi

La red de acceso está diseñada en base a la tecnología WiFi la cual nos permite tener velocidades acorde a la demanda actual de los usuarios en Cuenca. Por la cobertura que los nodos WiFi no será necesario implementar en todos los nodos ópticos de la red HFC actual. Se necesitan 4 nodos, los cuales deben estar colocados estratégicamente de acuerdo a un diseño previo de red de acceso.

#### 3.3.3.1 Equipos WiFi

En el mercado nacional existen varias marcas de equipos WiFi que pueden ser utilizados para implementar la red de acceso que la Empresa Regionaltel

requiere, en tal virtud, la tabla 3.7 describe algunos equipos y sus características principales.

ITEM	Equipos	Potencia	Frecuencia	Capacidad	P. Unitario
1	ACCESS POINT AIRMAXUNBIQUITI ROCKET M5	500mW	5.8 GHz	150 Mbps	\$ 174,00
2	ACCESS POINT AIRMAXUNBIQUITINANOSTATION M5	200mW	5.8 GHz	150 Mbps	\$ 89,00
3	Access Point Airmax Ubiquiti Nanostation Loco M2	200mW	2.4 GHz	150 Mbps	\$ 104,00
4	Rocket M2 Ubiquiti Mimo Airmax	600mW	2.4 GHz	150 Mbps	\$ 215,00
5	Access Point Wireless Cpe Mikrotik Sxt 5hnd	400mW	5.8 GHz	200 Mbps	\$ 124,00
6	Access Point Wireless Mikrotik Omnitik U-5hnd	4000mW	5.8 GHz	200 Mbps	\$ 254,00
7	AirMax DUO Dual Radio Base Station Air Live	500mW	5.8 GHz	108 Mbps	\$ 221,00
8	AirMax5N 1T1R Wireless Outdoor CPE Air Live	200mW	5.8 GHz	108 Mbps	\$ 134,00

Tabla 3.7: Listado de equipos WiFi.

Realizado por: El investigador.

Se muestra en la tabla 3.7 la potencia de los equipos tanto del AP como del CPE que es el equipo de usuario. Al comparar los diferentes equipos existentes en el mercado, se puede notar que la marca Ubiquiti de la serie M5 tiene un alto rendimiento en potencia y en capacidad de transporte de información, tiene un software de gestión gratuito para administrar los radios; el precio si se quiere masificar el servicio de internet es el más bajo de todas las marcas estudiadas y la empresa no cobrará por la instalación del servicio de internet como lo hacen los otros proveedores en la ciudad de Cuenca, por tal motivo los gastos de equipos de usuarios deben ser los más bajos posibles. También hay que considerar la frecuencia de transmisión de 5.8 GHz, puesto que en Cuenca la banda de 2.4 GHz es la más utilizada y al momento no se dispone de espectro para masificar el servicio utilizando esa banda.

### 3.3.3.2 Cálculo de los enlaces inalámbricos

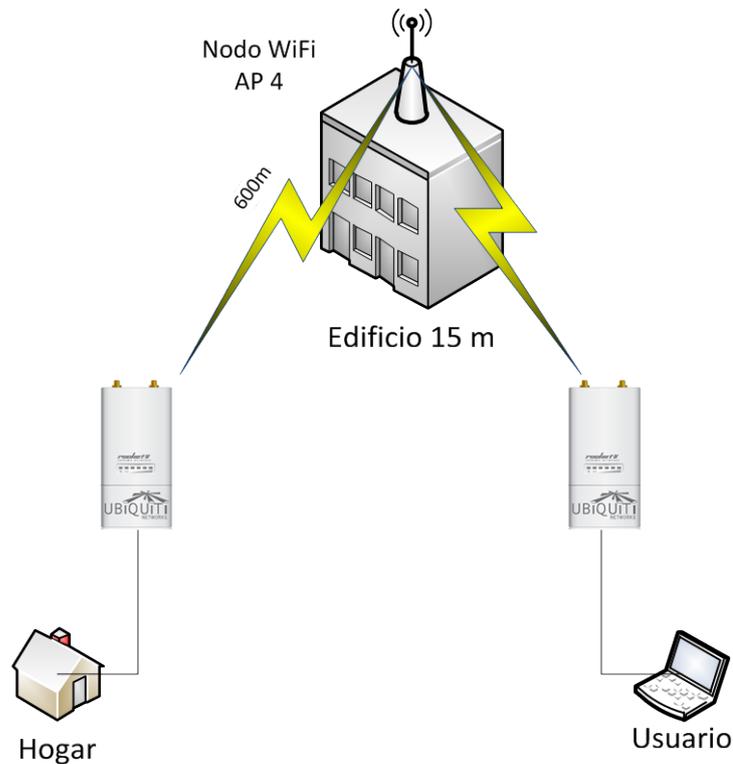


Figura 3.8: Esquema red de Acceso de Regionaltel (Nodo WiFi AP 4).

Realizado por: El investigador.

En la gráfica 3.8 observamos un AP WiFi el cual nos da una cobertura de hasta 2 km con línea de vista; en este caso en particular por las condiciones del terreno tendremos y la altura del edificio tendremos una cobertura aproximada de 600 m. El esquema completo de la red se adjunta en el capítulo 6 en el esquema No. 10.

Para la implementación de la red de acceso se ha considerado instalar un AP WiFi en los lugares estratégicos para tener una cobertura total en el área de cobertura de la red actual. La red principal consta de cuatro elementos: AP Rocket M5 o nodo WiFi y de un equipos Nano Station M5 para los abonados.

### **ACCESS POINT AIRMAX UBIQUITI ROCKET M5 500mW 5.8 GHz**

El nuevo modelo de Access Point de UBIQUITI modelo M5 es un equipo potenciado de alta potencia 500 mWatts que responde al estándar 802.11 a, operando con un ancho de banda de hasta 150Mbps.

Este equipo trabaja en forma transparente con cualquier producto de otras marcas, bajo el estándar 802.11a o TDMA MIMO. Resulta la solución ideal para entornos outdoor debido a su estructura de protección para intemperie.

#### **Especificaciones**

- Procesador Atheros MIPS 24KC 400MHz
- Memoria de 64MB SDRAM y 8MB Flash
- Soporta Power over Ethernet Pasivo
- Dispone de un puerto Ethernet 10/100Mbps
- Enclosure para Outdoor
- Soporta Antenas Airmax Sectoriales y Direccionales
- Incluye PoE
- Ajuste de Velocidad
- Soporta encriptación WPA, WPA2, TKIP, AES, WEP
- Soporta filtrado por MAC
- Soporta diferentes modos de operación: Acces Point, WDS, Cliente
- Temperatura de Operación -40C a 85C
- Humedad 5 a 95%
- Puede establecer conexiones sobre 50km

### **ACCESS POINT AIRMAX UBIQUITI NANO STATION M5 200mW 5.8 GHz**

El nuevo modelo de Access Point de UBIQUITI modelo Nano Station Loco M5 es un equipo potenciado de alta potencia 200 mWatts que responde al estándar 802.11 a, operando con un ancho de banda de hasta 150Mbps.

Este equipo trabaja en forma transparente con cualquier producto de otras marcas, bajo el estándar 802.11a o TDMA MIMO. Resulta la solución ideal para entornos outdoor debido a su estructura de protección para intemperie.

### **Especificaciones**

- Procesador Atheros MIPS 24KC 400MHz
- Memoria de 32MB SDRAM y 8MB Flash
- Soporta Power over Ethernet Pasivo
- Dispone de un puerto Ethernet 10/100Mbps
- Enclosure para Outdoor
- Antena incorporada de 13dBi de ganancia (5.475-5.825GHz)
- Barrido de onda Horizontal: 45°
- Polarización Vertical
- Incluye Kit de Montaje
- Incluye Fuente de Poder / PoE
- Ajuste de Velocidad
- Soporta encriptación WPA, WPA2, TKIP, AES, WEP
- Soporta filtrado por MAC
- Soporta diferentes modos de operación: Acces Point, WDS, Cliente
- Temperatura de Operación -40C a 85C
- Humedad 5 a 95%
- Puede establecer conexiones sobre 15km
- Ajuste de Canales a 10/20/40 MHz

Se ha considerado implementar 4 nodos WiFi para tener una cobertura total dentro del área de concesión que tiene la empresa Regionaltel, se detallará el cálculo en el nodo 4 en el cual se incluye dos puntos móviles para comprobar la cobertura que el AP va a tener en el sector.

El cálculo del enlace se lo realizó con la ayuda del programa Radio Mobile que permite el análisis y simulación del área de cobertura de un sistema de radio frecuencia (RF), ya que este traza el perfil de las posibles trayectorias, y automáticamente construye el perfil de un enlace de radio entre dos puntos conocidos de forma digital, ejecuta los cálculos que permiten automatizar un

enlace en cualquier banda de frecuencia, desde HF hasta SHF. Se observa el efecto de cambiar la ganancia de las antenas, altura de las mismas, atenuación de los cables, etc., calcula las pérdidas en el espacio libre, por obstrucciones, y el área cobertura de una radio base además se puede explotar al google earth los resultados para tener una ubicación más precisa de los puntos de estudio [4].

### Nodo AP 1

El nodo AP 1 está ubicado en el headend, donde construirá una torre no autoportada de 18 metros de altura para cubrir la parroquia Monay de la ciudad de Cuenca.

Se ha realizado el cálculo de las zonas de Fresnel con el programa radio Mobile obteniendo los siguientes resultados.

La figura 3.9 muestra los resultados obtenidos en el programa en donde se puede observar que se tiene cobertura en el punto de estudio Móvil 1.1.

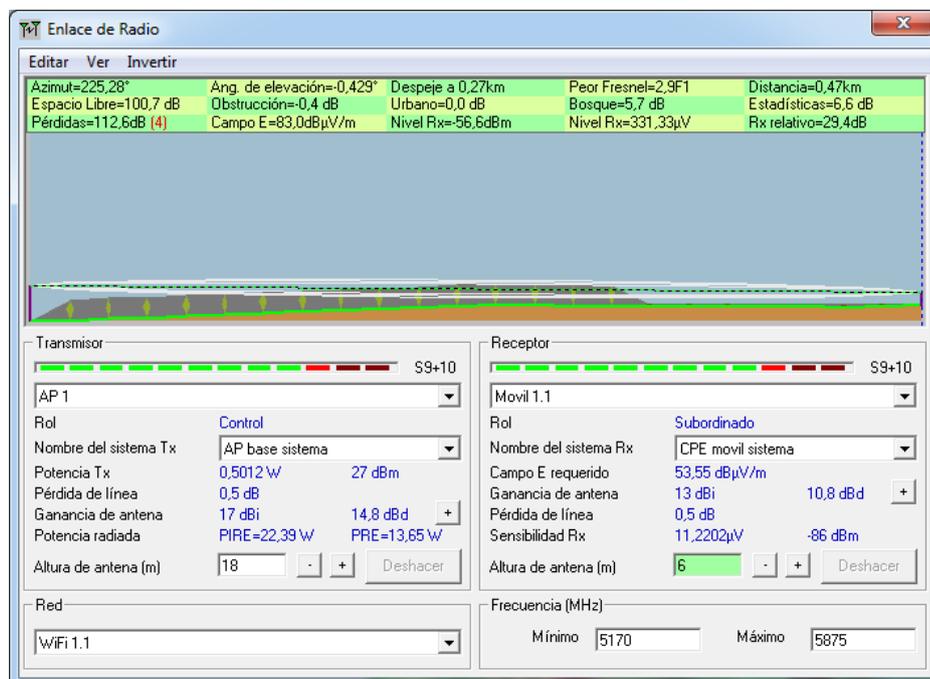


Figura 3.9: Esquema red de Acceso de Regionaltel Móvil 1 (Nodo WiFi AP 1).

Realizado por: El investigador.

La figura 3.10 muestra los resultados obtenidos en el programa en donde se puede observar que se tiene cobertura en el punto de estudio Móvil 9.

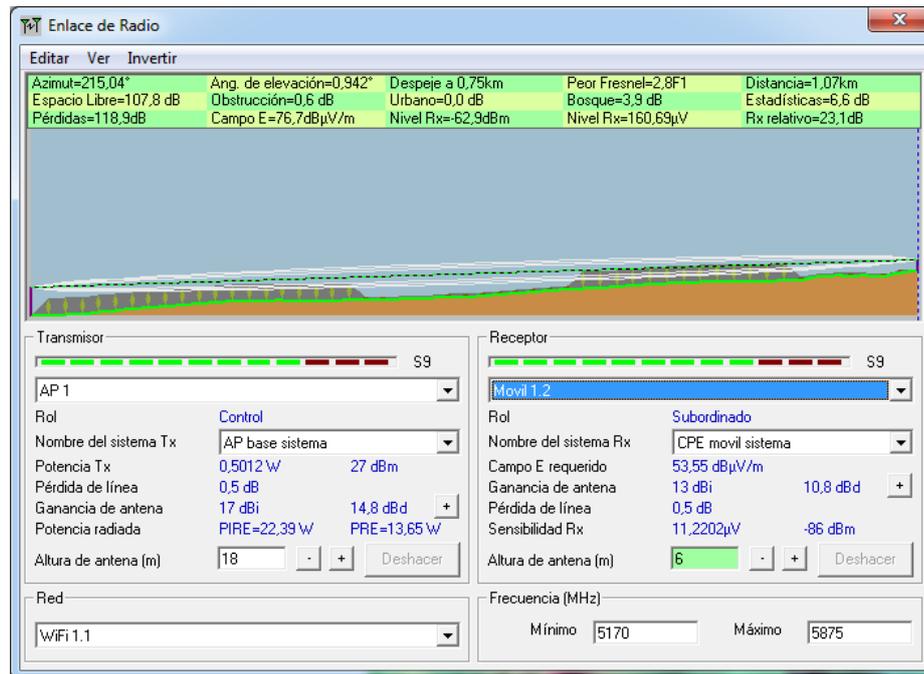


Figura 3.10: Esquema red de Acceso de Regionaltel Móvil 2 (Nodo WiFi AP 1).

Realizado por: El investigador.

La figura 3.11 nos indica los puntos donde se ubicaran los nodos de acceso wifi, además de la ubicación de puntos de estudio móviles para comprobar la cobertura de cada nodo.

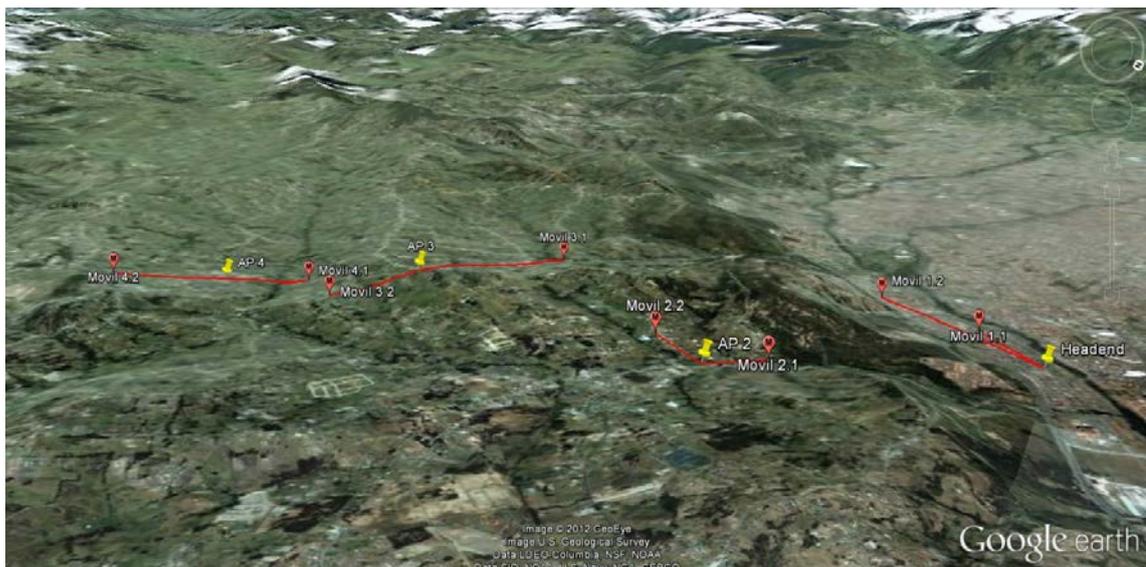


Figura 3.11: Esquema total de la red de Acceso de Regionaltel.

Realizado por: El investigador.

Cada AP tiene dos puntos de estudios para tener un área de cobertura real en las zonas de cobertura. Al ser una zona montañosa se han ubicado estratégicamente cuatro AP's para tener un nivel de señal óptimo en toda la zona.

Enlace	Móvil	Latitud (S)	Longitud (O)	Tipo de Estructura	Altura (m)	Distancia al AP (m)
AP 1		02°54'2,4"	78°58'32,5"	Torre	18	
	Móvil 1,1	02°54'13,2"	78°58'43,3"	Mástil	3	470
	Móvil 1,2	02°54'30,8"	78°58'52,4"	Mástil	3	1070
AP 2		02°54'45,7"	78°58'6,9"	Poste	15	
	Móvil 2,1	02°54'37,7"	78°58'13,3"	Mástil	3	320
	Móvil 2,2	02°54'56,2"	78°58'13,5"	Mástil	3	380
AP 3		02°55'44,0"	78°58'14,7"	Poste	15	
	Móvil 3,1	02°55'27,3"	78°58'37,9"	Mástil	3	880
	Móvil 3,2	02°55'48,6"	78°57'57,2"	Mástil	3	560
AP 4		02°56'14,0"	78°57'57,3"	Edificio	15	
	Móvil 4,1	02°56'0,8"	78°58'04,7"	Mástil	3	470
	Móvil 4,2	02°56'28,0"	78°57'45,3"	Mástil	3	570

Tabla 3.8: Coordenadas de los AP's y Móviles.

Realizado por: El investigador.

En la tabla 3.8 se detalla las ubicaciones de los cuatro AP's que se necesitan para tener una cobertura total en la zona de cobertura, además el tipo de torres, altura de la torre y distancia de los móviles a su respectivo *Acceses Point*.

### 3.3.3.3 Estimación de la demanda

Para hacer una estimación de la demanda se realizó un estudio con fuentes secundarias, entre otras fuentes, se obtuvieron datos de la página de la Supertel, la cual tiene información de todos los proveedores registrados. En la tabla 3.9 está el número total de cuentas de conmutadas y dedicadas en 6 provincias, y para nuestro análisis se incluye las cuentas dedicadas de Internet de ETAPA EP en el Cantón Cuenca, mismas que no constan en las estadísticas de la Supertel.

<b>DATOS DE CUENTAS Y USUARIOS DE INTERNET POR PROVINCIA</b>						
<b>MES:</b>	<b>JUNIO</b>					
<b>AÑO:</b>	<b>2012</b>					
<b>PROVINCIA</b>	<b>Cuentas Conmutadas</b>	<b>Cuentas Dedicadas</b>	<b>Cuentas Totales</b>	<b>Estimado de Usuarios Conmutados</b>	<b>Estimado de Usuarios Dedicados</b>	<b>Estimado de usuarios totales</b>
Azuay	46	57.203	57.249	184	317.781	317.965
Cañar	50	7.754	7.804	200	46.631	46.831
El Oro	99	20.634	20.734	396	135.963	136.363
Loja	135	19.318	19.453	540	118.317	118.857
Morona Santiago	2	4.399	4.401	8	32.536	32.114
Zamora Chinchipe	10	2.868	2.878	40	20.696	20.591
<b>Total Operadoras Fijas</b>	<b>342</b>	<b>112.176</b>	<b>112.519</b>	<b>1.368</b>	<b>671.924</b>	<b>672.721</b>

Tabla 3.9: Cuentas dedicadas de internet por provincia.

Fuente: Supertel.

En la figura 3.12 se describe los detalles de cobertura y penetración de internet fijo con los datos obtenidos de la página de la Supertel:

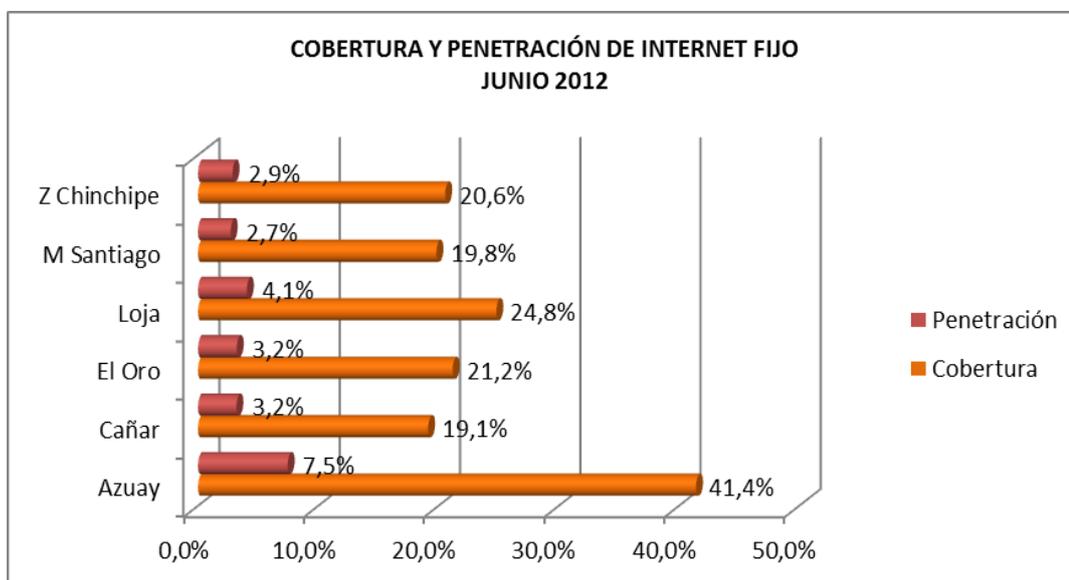


Figura 3.12: Cobertura y Penetración de Internet fijo.

Realizado por: El investigador.

De las provincias analizadas la que mayor penetración de internet tiene es Azuay por la cobertura que posee la empresa ETAPA EP.

La empresa Regionaltel contrata un estudio con la Empresa Propraxis la cual realizó aproximadamente 200 encuestas en el área de cobertura de la red. La figura 3.13 indica el mercado actual en el sector:

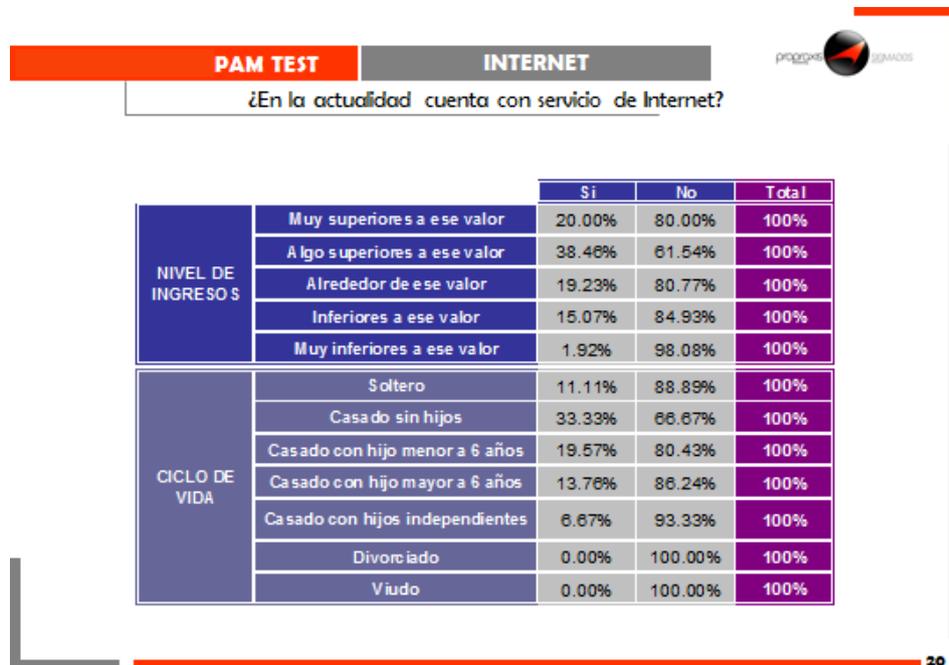


Figura 3.13: Porcentaje de clientes que tienen internet.

Fuente: Estudio de mercado realizado por la Empresa Propraxis.

El nivel de interés en el servicio de internet en la zona de acuerdo al nivel de ingresos de la población del área de muestreo es del 20%, es decir que, dependiendo del costo del servicio existe una probabilidad muy alta de obtener el 20% del mercado en la zona como se observa en la gráfica 3.14.

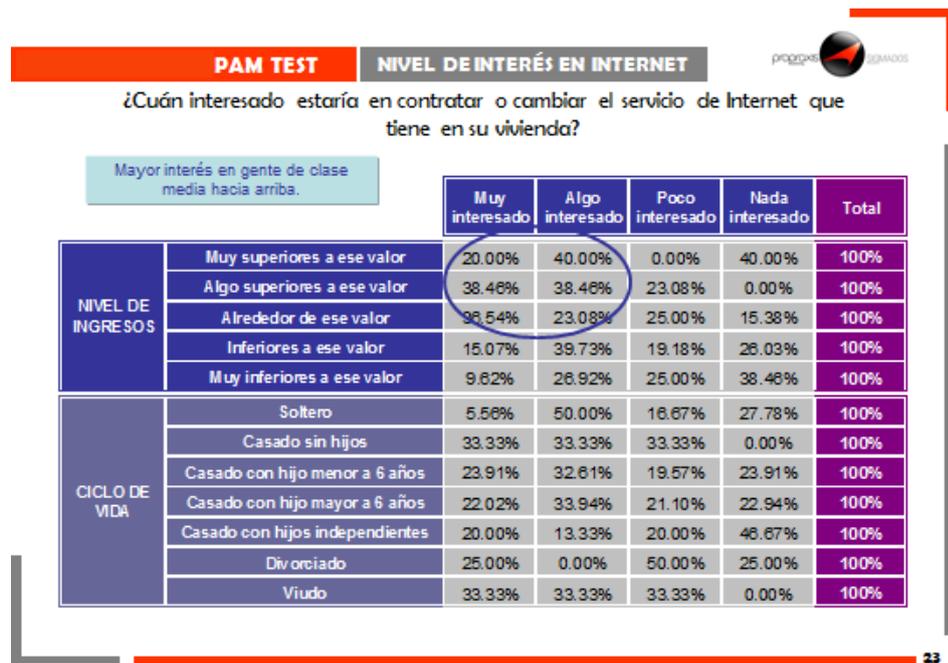


Figura 3.14: Porcentaje de clientes que contratarían internet.

Fuente: Estudio de mercado realizado por la Empresa Propraxis.

También es importante acotar que la mayoría de personas que utilizan internet son las familias de clase media, actualmente es una necesidad contar con el servicio de internet en los hogares [5].

En la zona existen 2500 hogares<sup>8</sup> de los cuales se estima que se podría captar aproximadamente 500 usuarios, que es el 20% de los hogares, en un período de 1 año aproximadamente.

<sup>8</sup> Dato obtenido de los puntos de carga de energía que dispone la Empresa Eléctrica Centrosur en el área de cobertura.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “Fundamentos de los sistemas de Cable” Canopy Enterprise Solutions, Rev. 2.0, *Motorola Documents Classification*, páginas 28-34, Inc. 20XX.
- [2] “CATV Reference Guide” Blonder Tongue, Rev. 2.0, *New York – United States*, páginas 127 - 134, 2001.
- [3] Redes De Banda ancha, Renato González S., páginas 33 – 51, [http://www.inele.ufro.cl/apuntes/Redes\\_de\\_Banda\\_Ancha/Redes\\_Banda\\_Ancha\\_3.pdf](http://www.inele.ufro.cl/apuntes/Redes_de_Banda_Ancha/Redes_Banda_Ancha_3.pdf), consultado en junio – 2012.
- [4] Estudio y diseño de una red inalámbrica (WIMAX), para un operador de comunicación de la ciudad de Guayaquil, Silvana Ruiz, Gustavo Cornejo, Andrés Atiencia, José Escalante, páginas 4 – 6, ESPOL, consultado en junio – 2012.
- [5] Estudio de mercado para la Empresa Regionaltel, Propraxis, páginas 17 – 23, Cuenca - Ecuador, junio – 2011.

## CAPÍTULO 4

### 4. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN

#### 4.1 IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA.

La implementación del prototipo del sistema se la dividió por fases, una primera fase de instalación de equipos de la red interna, una fase para la implementación del backbone WDM y una tercera fase de instalación del AP WiFi en un nodo de la red HFC.

En la implementación de la red interna se realizó una división en subredes para las diferentes redes de la nueva red, para el caso de la empresa Regionaltel la red interna la dividió en cuatro subredes, las cuales se listan en la tabla 4.1:

Interface	DIRECCIÓN IP	MASCARA DE SUB RED
Eth2_WAN	201.2xx.xxx	255.255.255.0
Eth3_LANOUT	176.16.xxx.xxx	255.255.255.0
Eth4_HOSPOT	176.16.xxx.xxx	255.255.255.0
Eth5_LANIN	192.168.xxx.xxx	255.255.255.0

Tabla 4.1: Subredes de la red interna.

Realizado por: El investigador.

Para administrar el equipo controlador de ancho de banda mikrotik se tiene dos opciones, mediante el protocolo http, es decir mediante cualquier explorador de internet se puede conectar al equipo (de preferencia usar el Mozilla Firefox); o con el programa winbox de mikrotik, el cual ha sido

desarrollado en el sistema operativo Linux y se lo descarga gratuitamente de <http://www.mikrotik.com/>.

En este caso utilizaremos el programa winbox, el cual luego para ser ejecutado nos pide introducir tres parámetros que son: Dirección IP, Usuario y contraseña con se observa en la figura 4.1

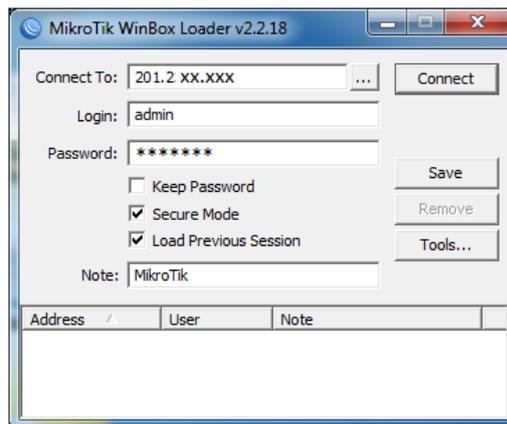


Figura 4.1: Cuadro de ingreso al equipo mikrotik RB750GL.

Realizado por: El investigador.

Luego de lo cual ingresamos al equipo RB750GL para ser administrado remotamente. Luego de autenticar el usuario y contraseña ingresamos al equipo (figura 4.2) y se muestra la pantalla principal del programa, la cual se divide en dos secciones, una a la izquierda que indica las opciones de configuración que tiene el equipo y a la derecha se tiene el detalle o resultado de lo que se quiere configurar, en este caso se ha señalado la pestaña interfaces que nos lista el estado de las interfaces que tiene el equipo.

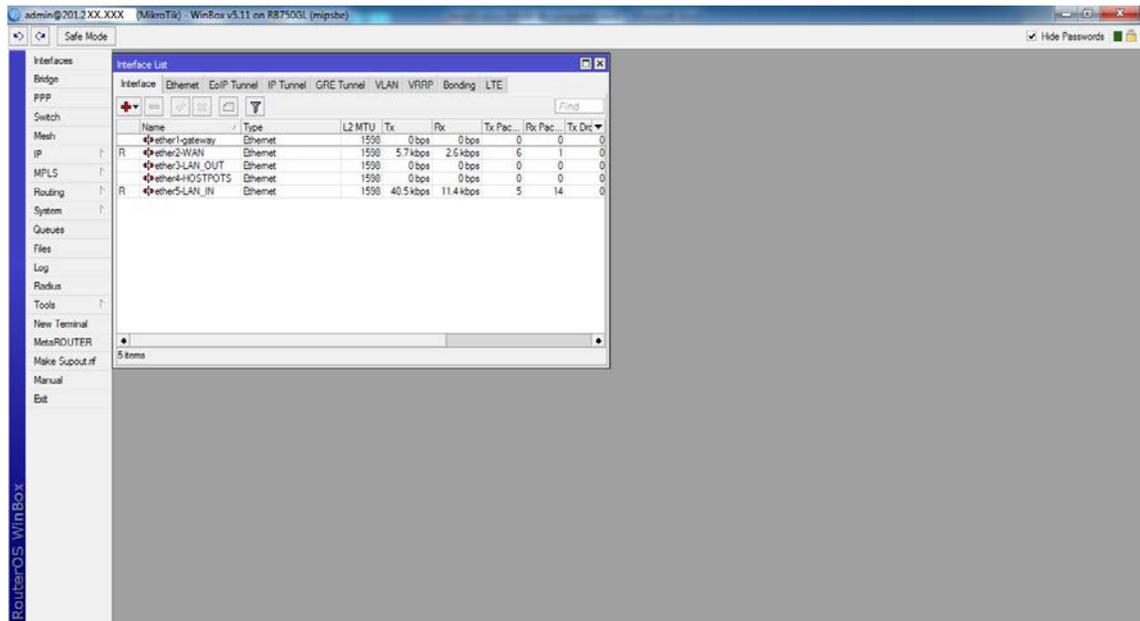


Figura 4.2: Pantalla principal de configuración del equipo mikrotik RB750GL.

Realizado por: El investigador.

Se ingresa a cada una de las interfaces que tiene el administrador de ancho de banda y se configura los nombres de las interfaces a ser utilizadas como se observa en la figura 4.3.

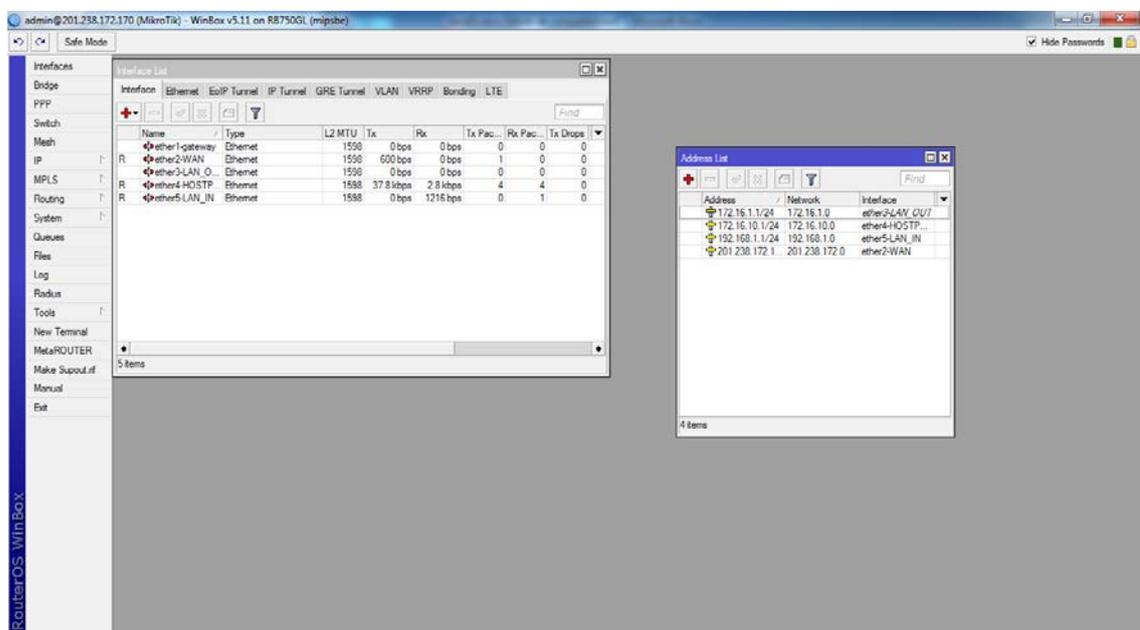
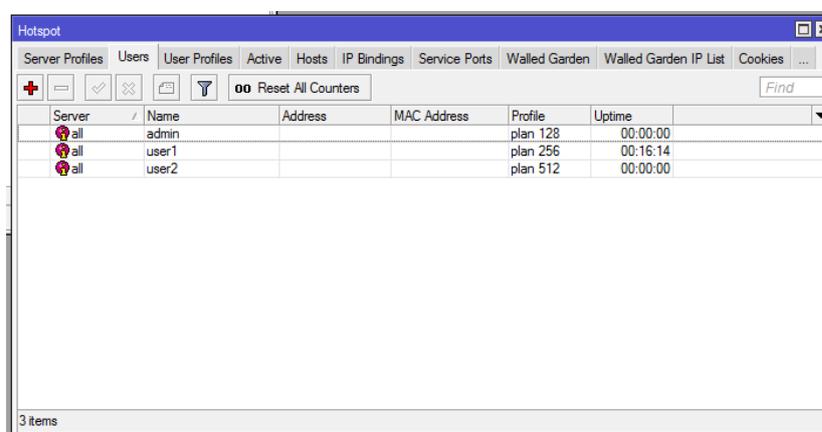


Figura 4.3: Configuración de interfaces en el administrador de ancho de banda.

Realizado por: El investigador.

Luego se ingresa al menú IP, y accedemos a submenú “Access list” y creamos las direcciones IP’s (figura 4.3) de acuerdo a lo establecido en el direccionamiento previo.

Configuramos el acceso por “hostpot” el cual ingresamos al menú IP y luego al submenú hotspot, dicha opción está indicada en la figura 4.4, en la cual ingresamos a la pestaña User Profiles y creamos los perfiles o los anchos de banda para cada plan, para ser utilizados por cada clientes, después ingresamos a la pestaña Users y creamos los usuarios hotspot.



Server	Name	Address	MAC Address	Profile	Uptime
all	admin			plan 128	00:00:00
all	user1			plan 256	00:16:14
all	user2			plan 512	00:00:00

Figura 4.4: Creación de Cuentas Hostpot.

Realizado por: El investigador.

Al crear un cliente hotspot debemos ingresar un nombre de usuario y contraseña y todos los usuarios deben tener asignado un profile, en este caso se han creado tres perfiles como lo indica la figura 4.4.

Para configurar los clientes con IP’s fijas se ingresa al menú Queues como se observa en la parte derecha de la figura 4.5, al ingresar en la pestaña Simple Queues podemos crear usuarios con IP’s fijas Figura 4.5, también podemos definir en esta ventana la velocidad máxima de bajada y de subida, y también se puede ingresar si se desea el tráfico burst límite para cada usuario.

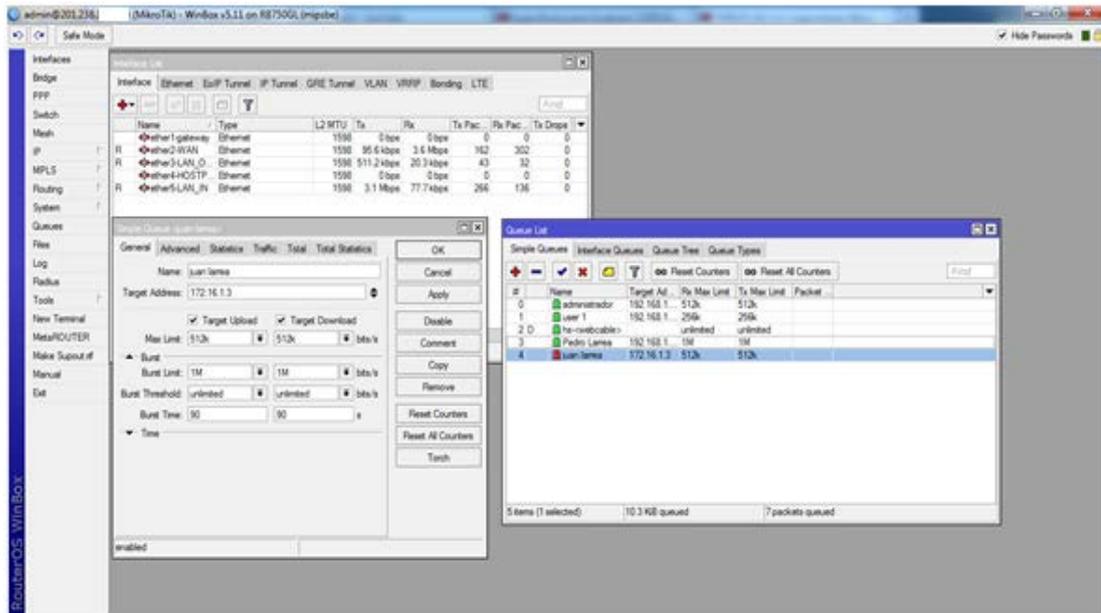


Figura 4.5: Creación de Cuentas con IP's fijas.

Realizado por: El investigador.

En el equipo se pueden configurar multiples parámetros para la administración del tráfico de internet de todos los usuarios, como por ejemplo el equipo dispone de un firewall el cual controla los diferentes protocolos que cursan en la red.

El switch de acceso se configura de acuerdo al direccionamiento de la tabla 4.1, y de acuerdo al esquema de la figura 3.5 este equipo será el nexo entre la red interna y la red de acceso WiFi.

Para la instalación del backbone WDM en el nodo 6 de la red actual, se ha utilizado el hilo de fibra # 8 del distribuidor de fibra óptica ODF (*optical distribution frame*) que se encuentra ubicado en cabecera. En la figura 4.6 se muestra al equipo WDM en el rack del headend y la conexión al switch de acceso cisco 2950.



Figura 4.6: Instalación equipo WDM en el Headend.  
Realizado por: El investigador.

En el otro extremo se coloca el equipo WDM en el interior de la fuente de poder del nodo óptico como se indica en la figura 4.7. La parte óptica se conecta a través de un patch cord SC/APC al conector del nodo óptico; y el puerto Ethernet se conecta con el AP WiFi mediante un cable de red directo FTP.



Figura 4.7: Instalación equipo WDM en el Nodo.  
Realizado por: El investigador.

En la instalación del AP WiFi se lo ha realizado a un mástil de 3 metros de altura en un edificio de cercano al nodo óptico. En la figura 4.8 se indica la antena de 17 dbi sectorial instalada como parte de la red de acceso inalámbrica. En la parte posterior a la antena está instalado el AP con el que

se administra a los enlaces de radios de todos los abonados adheridos a este nodo WiFi.



Figura 4.8: Instalación equipo AP WiFi.

Realizado por: El investigador.

Para los clientes se utiliza dos tipos de herrajería, las cuales se diferencian por el tamaño del soporte vertical cuyas dimensiones son de uno y tres metros, dependiendo de la línea de vista que tenga el CPE con el AP, en el caso que se detalla a continuación se utilizó un soporte de 1 metro (Figura 4.9).



Figura 4.9: Instalación equipo CPE WiFi.

Realizado por: El investigador.

## 4.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.

La interface Eth2\_WAN se realiza una medición de tráfico el cual indica que en tiene una descarga de 3.6 Mbps como se grafica en la figura 4.10, lo cual indica que por el número de clientes no se satura el enlace contratado para el acceso a internet.

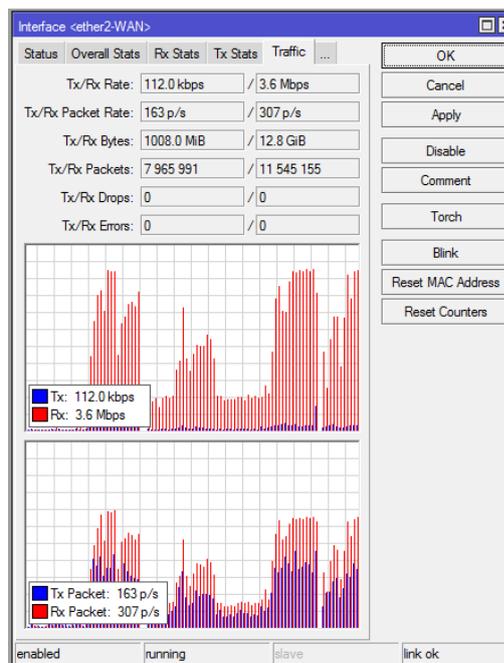


Figura 4.10: Tráfico en la interface WAN.

Realizado por: El investigador.

Para probar los clientes que se van a conectar con el método de hotspot se ha creado el usuario user 1 con la contraseña \*\*\*\*\* en el equipo mikrotik. Los clientes al momento de abrir un explorador les direcciona a la página cautiva del equipo (figura 4.11), en la cual se ingresa el usuario y la contraseña, luego de lo cual se puede navegar en internet sin problemas.

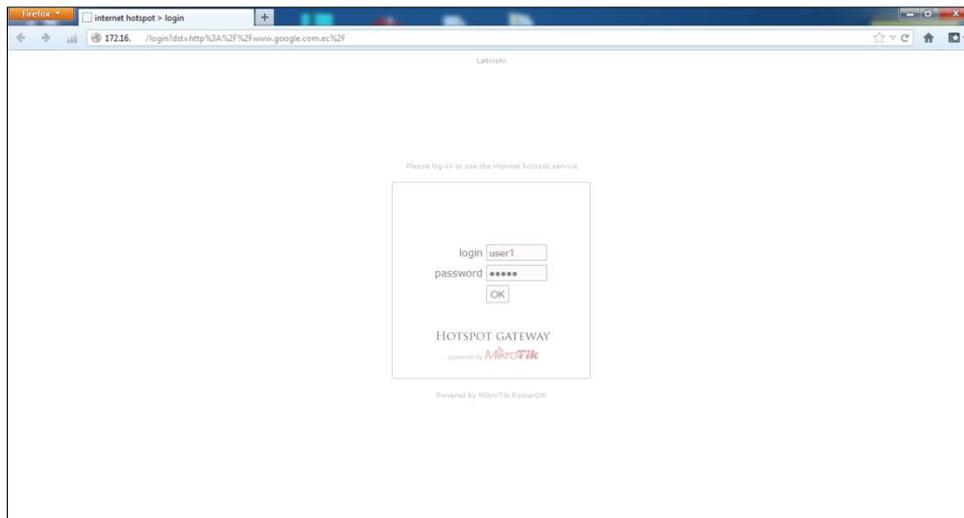


Figura 4.11: Página cautiva para clientes hotspot.

Realizado por: El investigador.

En la ventana hotspot del administrador de ancho de banda se puede monitorear el tráfico que cursa pro cada usuario, al posicionar el curso sobre el cliente y dar doble click se abre otra ventana la cual en la pestaña trafic se puede verificar la velocidad tanto de bajada como de subida (figura 4.12).

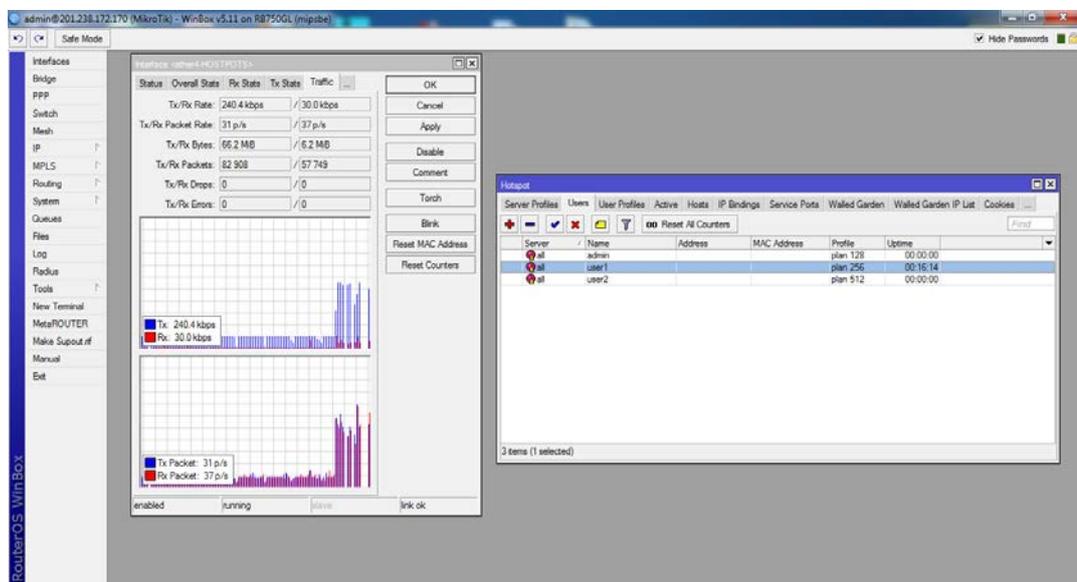


Figura 4.12: Trafico en clientes hotspot.

Realizado por: El investigador.

Para gestionar el tráfico de clientes con IP's fijas ingresamos en el menú Queues, en el cual se lista todos los usuarios creados, seleccionamos con el cursor un cliente y damos doble click, con lo cual se despliega una ventana

con los datos del cliente, escogemos la pestaña tráfico, la cual nos da las gráficas de tráfico de subida y bajada que el cliente genera al navegar en internet (Figura 4.13).

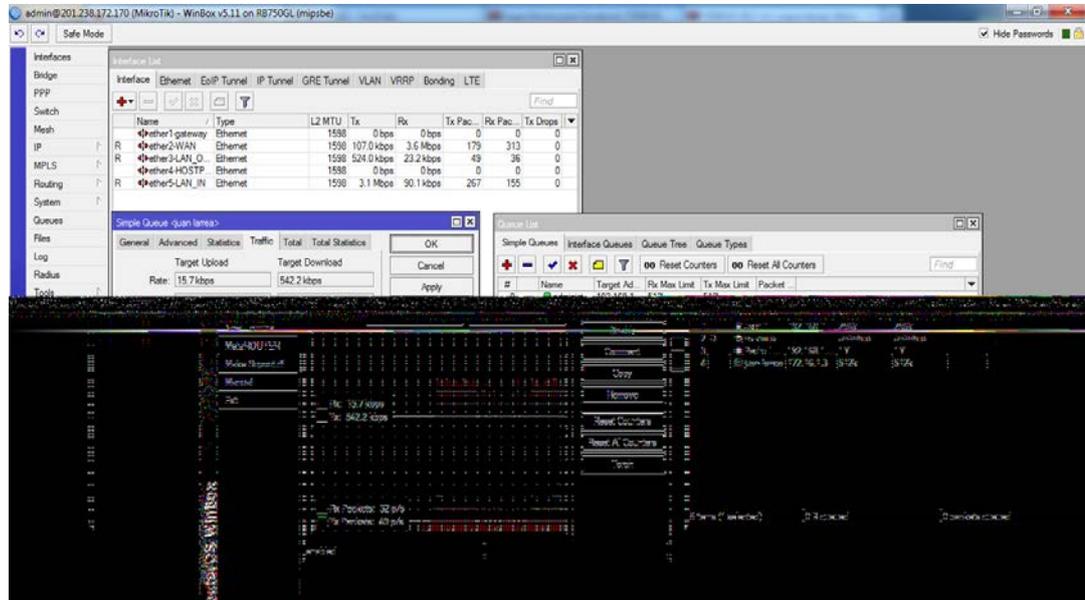


Figura 4.13: Tráfico en clientes con IP fija.

Realizado por: El investigador.

Los equipos WDM al no tener gestión se los puede probar primero de una manera visual, puesto que el equipo posee 6 LED's indicadores de conexión, los cuales indican si está activa la parte de fibra, muestran también si se ha conectado el cable de red a un equipo y tienen un LED que indica si está prendido el equipo WDM.



Figura 4.14: Pruebas de funcionamiento del equipo WDM.

Realizado por: El investigador.

Para las pruebas de funcionamiento del nodo AP es necesario garantizar un nivel mínimo de señal para tener una conectividad permanente entre el usuario y el nodo WiFi, esta conectividad la podemos garantizar con un nivel señal de 76 dBm con un margen de fluctuación de +/- 3 dBm, dentro del software del equipo se puede ver este parámetro en tiempo real luego de ingresar a la pantalla principal de configuración del equipo, nos situamos en la pestaña *Main*, cuadro *Tools*, opción *Align Antenna* de la figura 4.15:

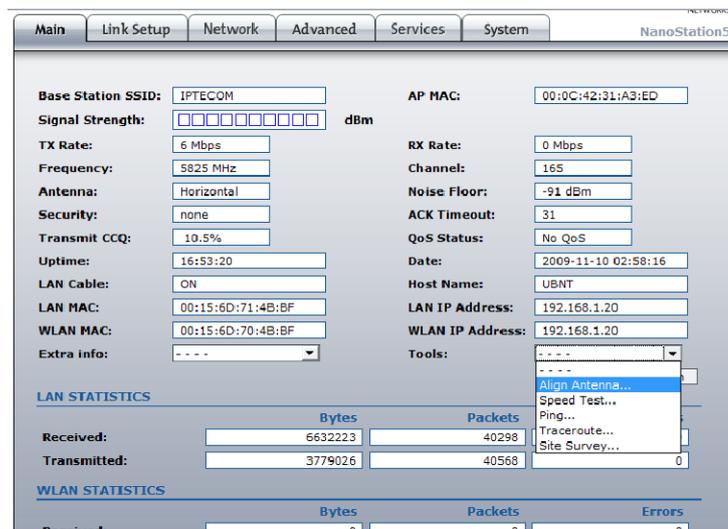


Figura 4.15: Pruebas de funcionamiento del equipo WiFi.

Realizado por: El investigador.

Se despliega una nueva ventana que indica los niveles de la señal en el enlace, figura 4.16:

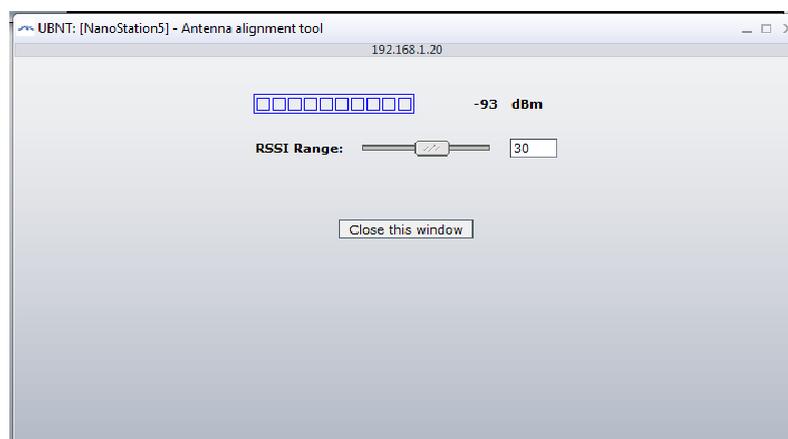


Figura 4.16: Nivel de señal del equipo WiFi.

Realizado por: El investigador.

### 4.3 EVALUACIÓN DEL SISTEMA.

Es importante analizar el número de clientes que están instalados con cables de acometidas superiores a los 80m, puesto que, si se implementara un CMTS en el headend, los clientes con acometidas muy largas no tendrían acceso al servicio de internet; por el contrario con un sistema WiFi se podría acceder a todos los usuarios en la red.

Al utilizar el programa SPSS podemos realizar un análisis estadístico del número de clientes con cables de acometidas menores a 80 metros. Para el análisis se tomó una muestra de 210 clientes (tabla 4.2) en las dos parroquias del área de cobertura:

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	<= 80,00	161	19,5	76,7	76,7
	81,00 - 140,00	29	3,5	13,8	90,5
	141,00 - 200,00	15	1,8	7,1	97,6
	201,00+	5	,6	2,4	100,0
	Total	210	25,4	100,0	

Tabla 4.2: Distancia de Instalación Promedio (agrupado).

Realizado por: El investigador.

De acuerdo al sector se tiene que el porcentaje de abonados instalado con distancias mayores a 80 metros es de 4.5% en la parroquia Monay y del 21.1% en la parroquia el Valle, cuyos resultados se muestran en la figura 4.17:

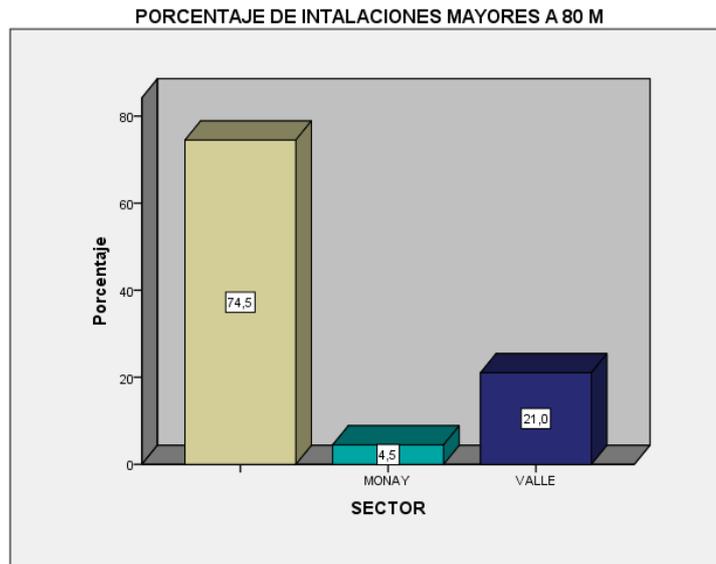


Figura 4.17: Porcentaje de instalaciones mayores a 80 metros por sector.  
Realizado por: El investigador.

Con los datos obtenidos tenemos que en promedio con la implementación de un CMTS vamos a tener casi un 25% de clientes que no van a estar servidos con el servicio de internet por estar instalados lejos de la red de distribución como se ilustra en la figura 4.18.

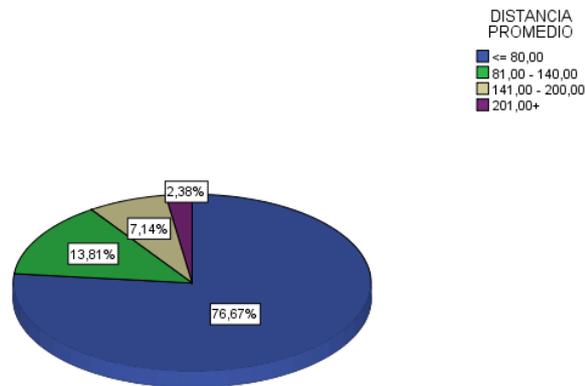


Figura 4.18: Distancias promedio de instalación de clientes en l red.  
Realizado por: El investigador.

En cambio con la tecnología WiFi se tendría una cobertura total en las dos parroquias para dar el servicio de internet.

Para el caso de clientes hostpot, medimos la descarga de datos de los diferentes planes creados en el equipo Mikrotik, tomamos una muestra de 20 usuarios, los cuales tienen tres tipos de planes con una compresión 1 a 1, lo que se resume en la tabla 4.3:

Plan					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	128,00	7	35,0	35,0	35,0
	256,00	7	35,0	35,0	70,0
	512,00	6	30,0	30,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0	

Tabla 4.3: Planes clientes hostpot.

Realizado por: El investigador.

Para el caso de clientes con IP's fijas, medimos la descarga de datos de los diferentes planes creados en el equipo Mikrotik, tomamos una muestra de 20 usuarios, los cuales tienen cinco tipos de planes con una compresión 1 a 1, lo que se resume en la tabla 4.4 y tabla 4.5:

Upload					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	128,00	4	20,0	20,0	20,0
	256,00	4	20,0	20,0	40,0
	512,00	4	20,0	20,0	60,0
	1024,00	4	20,0	20,0	80,0
	2048,00	4	20,0	20,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0	

Tabla 4.4: Upload clientes con IP's fijas.

Realizado por: El investigador

Download					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	128,00	4	20,0	20,0	20,0
	256,00	4	20,0	20,0	40,0
	512,00	4	20,0	20,0	60,0
	1024,00	4	20,0	20,0	80,0
	2048,00	4	20,0	20,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0	

Tabla 4.5: Download clientes con IP's fijas.

Realizado por: El investigador.

## CAPÍTULO 5

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES.

En este proyecto se diseñó una red WDM, para la Empresa Regionaltel Cia. Ltda. de la ciudad de Cuenca. El desarrollo e implementación del sistema en un nodo acceso WiFi permitieron obtener las siguientes conclusiones:

- Al desplegar una red WDM sobre una red HFC se realiza un despliegue rápido de un *backbone* para dar el servicio de internet a los clientes de televisión.
- En redes HFC que no están diseñadas de forma total o parcial para soportar el canal de retorno, la alternativa presentada en este proyecto hace que la inversión no sea alta y el tiempo de despliegue de la red sea relativamente corto.
- Este esquema de red mixto sugerido en el proyecto también se lo debería considerar cuando los clientes de la red tienen un promedio elevado de instalaciones que sobre pasan los 80 metros.
- En esta nueva red se garantiza que no existirá corte del servicio de televisión de los clientes existentes en la red, puesto que se ocupa la red principalmente la fibra oscura de la red HFC.
- Con el equipo Mikrotik se puede dar el servicio de internet a sus clientes de dos formas que son: hotspot e IP fija, en ambos casos el rendimiento

es similar, con lo que se lo puede diferenciar a los dos tipos de clientes cuando la Empresa lo requiera.

- En sectores donde las viviendas se encuentran dispersas, el implementar WiFi sobre una red WDM hiciera que el despliegue sea rápido y con una cobertura muy buena.

## 5.2 RECOMENDACIONES.

En este proyecto al realizar el análisis de la red existente HFC y al realizar el diseño de la nueva red WDM permitió dar las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda a la Empresa Regionaltel que para futuras ampliaciones se tenga en cuenta que la distorsión de segundo orden compuesta (Composite Second Order beat) no sea mayor que 51dB.
- Se recomienda a la Empresa Regionaltel que para futuras ampliaciones se tenga en cuenta que la pulsación triple compuesta (Composite Triple Beat) no sea mayor que 51dB.
- Se recomienda a la empresa Regionaltel que para mejorar la calidad de señal de televisión en la red, realice los cambios indicados en la columna observaciones de la tabla 5.1:

ÍTEM	Marca Nodo	Marca Amplificador	Amplificador N°	Nodo N°	Distancia (m)	Tipo de Cable	Reubicar Amplificador	Cambiar tipo de cable	Tipo de conexión	Observaciones
1	TAB130 CLAUPET	BGD 814 CLAUPET	A1	N1	417	RG 500	SI	NO	TRONCAL	Acercar el Amplificador al nodo y aumentar un Amplificador
2	TAB130 CLAUPET	BGD 814 CLAUPET	A2	N3	240	RG 500	NO	NO	DISTRIBUCIÓN	Cambiar el Tipo de conexión
3	TAB130 CLAUPET	BGD 814 CLAUPET	A4	N3	364	RG 11	SI	SI	DISTRIBUCIÓN	Cambiar el Tipo de conexión
4	TAB130 CLAUPET	BGD 814 CLAUPET	A1	N4	501	RG 500	SI	NO	TRONCAL	Aumentar un Amplificador entre A1N4 y N4
5	TAB130 CLAUPET	MB 875/SG	A2	N4	361	RG 500	NO	NO	DISTRIBUCIÓN	Cambiar el Tipo de conexión
6	TAB130 CLAUPET	BGD 814 CLAUPET	A2	N5	417	RG 500	SI	NO	TRONCAL	Acercar el Amplificador al nodo
7	TAB130 CLAUPET	BGD 814 CLAUPET	A3	N5	454	RG 500	SI	NO	TRONCAL	Acercar el Amplificador al nodo
8	SG 1000	MB 875/SG	A1	N9	401	RG 500	SI	NO	TRONCAL	Acercar el Amplificador al nodo
9	SG 1000	MB 875/SG	A2	N9	389	RG 500	SI	NO	TRONCAL	Acercar el Amplificador al nodo

Tabla 5.1: Cambios en la red para mejorar la señal de TV.

Realizado por: El investigador.

- Al gestionar los AP WiFi de la red de acceso tomar en cuenta que en el sector existen más redes inalámbricas por lo que se hace prioritario

gestionar o monitorear continuamente los enlaces a través de los sistemas de gestión.

- Para una etapa inicial de implementación los equipos WDM no tienen un sistema de gestión, pero a medida que la red tenga un crecimiento mayor se debería implementar equipos WDM que incluyan el protocolo de gestión SNMP.
- El equipo Mikrotik RB750GL de acuerdo al distribuidor en Ecuador, sugiere que el equipo responde bien con un número aproximado de 100 clientes, por lo que, es importante que de acuerdo al crecimiento en el número de clientes se cambie de equipo al RB 450 o a un RB 1100, que son equipos con mayor capacidad de procesamiento.

## CAPÍTULO 6

### 6.1 ANEXOS

#### GLOSARIO DE TÉRMINOS

AP	Acceses Point.
CATV	Televisión por cable ( <i>Cable Television</i> )
CM	Módem de cable ( <i>Cable Modem</i> )
CMTS	Sistema de terminación de módem de cable ( <i>Cable Modem Termination System</i> ).
CPE	Equipo en las instalaciones del cliente ( <i>Customer Premises Equipment</i> ).
CSO	Distorsión de segundo orden compuesta (Composite Second Order beat)
CTB	Pulsación triple compuesta (Composite Triple Beat)
DOCSIS	Especificación de Interfaz para Servicios de Datos sobre Cable ( <i>Data Over Cable Service Interface Specification</i> ).
DWDM	Multiplexación por división en longitud de onda densa ( <i>Dense Wave Length División Multiplexing</i> ) .
HEAD END	Cabecera de la red HFC.
HFC	Híbrido de Fibra y Coaxial ( <i>Hybrid Fiber-Coaxial</i> ).
LNB	Amplificador de bajo ruido ( <i>Low Noise Block</i> ).
NAT	(Network Address Translation)
MAC	Control de acceso a los medios ( <i>Media Access Control</i> )
ODF	Distribuidor de fibra óptico (Optical Distribution Frame)
OSI	Organización Internacional para la Estandarización <i>Open System Interconnection</i> ).
PLL	Lazo cerrado por fases ( <i>Phased Locked Loop</i> ).

---

RF	Radio frecuencia.
SNMP	Protocolo simple de administración de red ( <i>Simple Network Management Protocol</i> ).
TAP	( <i>Terminal Access Point</i> )
TVRO	( <i>Television receive-only</i> ).
WDM	Multiplexación por división de longitud de onda ( <i>Wave Length Division Multiplexing</i> ).

# ESQUEMAS

# PLANOS