

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE
NUEVOS SERVICIOS EN LA RED HFC DE “CATEL”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

ANGEL GUSTAVO GÓMEZ PARRALES

DIRECTOR: ING. EDWIN NIETO

Quito, octubre 2007

DECLARACIÓN

Yo, Angel Gustavo Gómez Parrales, 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 Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Angel Gómez

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Angel Gustavo Gómez Parrales bajo mi supervisión.

Ing. Edwin Nieto
DIRECTOR DE PROYECTO

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a las cuatro personas más importantes en mi vida, mis padres Washington y Laura que no sólo me han dado la vida, sino que me han guiado y cuidado a lo largo de toda mi vida, a ellos les debo todo lo que soy; a mi hermana Laura María quien me ha aguantado y ayudado incondicionalmente y a mi sobrinita Priscila, quien con su ternura y cariño se ha convertido en mi adoración.

Angel

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a todas las personas que de una u otra forma han colaborado conmigo durante todo el proceso para ser ingeniero; en primer lugar, agradezco a Dios por la salud y la vida que me ha dado; de igual manera, agradezco a mi director de tesis, el Ingeniero Edwin Nieto, que con su acertada dirección, hizo posible que mi último paso hacia la ingeniería sea alcanzado; agradezco también a Carlos Jácome quien me abrió las puertas de su empresa; a Daniel Taco, que compartió sin interés alguno sus conocimientos sobre el mundo de la televisión por cable; y de manera especial, agradezco a mi tío Byron Gómez; él abogó por mi, para ser aceptado en CATEL; agradezco también a todos los ingenieros que compartieron sus conocimientos día tras día en las aulas de la Politécnica; y por último, agradezco a mis poli amigos, los años en la universidad fueron los mejores de mi vida gracias a ustedes.

Angel

PRESENTACIÓN

La empresa Cable Televisión “CATEL” actualmente brinda sus servicios en el barrio de Solanda, el mismo que queda ubicado en el sector sur del Distrito Metropolitano de Quito y lo realiza a través de una red híbrida de fibra óptica y de cable coaxial. Con el afán de explotar todas las potencialidades que brinda su red y atraer nuevos clientes, ha pensado en implementar nuevos servicios, dentro de los que se incluye el Internet de banda ancha, la telefonía así como la televisión IP. En base a esto, nace el presente “Estudio de factibilidad para la implementación de nuevos servicios en la red HFC de CATEL”; el mismo, que servirá de base para una futura implementación.

En este estudio de factibilidad, incluye un análisis de los costos que representaría la implementación de los nuevos servicios.

RESUMEN

En el capítulo 1 se analiza la situación actual de la red y de la empresa, sus zonas de cobertura, sus actuales y potenciales clientes; además, se analiza las partes que conforman la red HFC de CATEL. Dentro de cada parte de la red, se analiza los equipos y las funciones que realizan los mismos en la prestación del servicio de televisión por cable.

En el capítulo 2 se estudia el estándar DOCSIS, realizando una breve descripción del mismo, en la que se incluye las frecuencias permitidas por este estándar, los tipos de modulación soportados, los anchos de banda soportados, las tasas de transferencia en el canal ascendente y descendente, así como los beneficios que presenta tanto al operador de cable como al usuario. Además, se realiza una descripción de los servicios a implementar y se analizan los equipos requeridos para la prestación de estos nuevos servicios.

En el capítulo 3 se desarrolla el estudio de factibilidad, utilizando los criterios obtenidos al desarrollar los capítulos 1 y 2. Se empieza analizando las vulnerabilidades que presenta la red y se diseña la solución para las mismas. Dentro de este estudio se encuentra el cálculo de las capacidades requeridas para brindar los servicios de voz IP, Internet de banda ancha y televisión IP. Al final de este capítulo se incluye un análisis de costos de la inversión requerida para la implementación de los servicios antes mencionados considerando diversos fabricantes.

En base a los resultados obtenidos se extraerán en el capítulo 4 las conclusiones de este estudio de factibilidad. De las experiencias adquiridas se extraerán las recomendaciones que puedan orientar futuros trabajos dentro de esta línea.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN	ii
CERTIFICACIÓN	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
PRESENTACIÓN	vi
RESUMEN	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED	2
1.1 INTRODUCCIÓN	2
1.2 RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA	2
1.2.1 MISIÓN DE CATEL.....	3
1.2.2 VISIÓN DE CATEL	3
1.2.3 SERVICIO OFRECIDO.....	3
1.2.4 CLIENTES ACTUALES	4
1.2.5 CLIENTES POTENCIALES	4
1.2.6 SERVICIOS QUE DESEA OFRECER	5
1.3 REDES HFC (Hybrid Fiber Coaxial).....	5
1.4 RED HFC DE CATEL.....	6
1.4.1 CABECERA (Head End).....	7
1.4.1.1 Antenas para Recepción Satelital	8
1.4.1.2 Antenas para Recepción Terrestre.....	9
1.4.1.3 Receptores Satelitales	10
1.4.1.4 Demodulador.....	12
1.4.1.5 Transcoder	12
1.4.1.6 Moduladores.....	13
1.4.1.7 Combinadores	15

1.4.1.8	Transmisor Óptico	16
1.4.1.9	Sistema eléctrico de emergencia	17
1.4.1.10	Resumen de equipos en la Cabecera.....	17
1.4.2	RED PRIMARIA.....	17
1.4.3	NODO ÓPTICO	18
1.4.4	RED DE DISTRIBUCIÓN.....	20
1.4.4.1	Amplificadores de Radio Frecuencia.....	22
1.4.4.2	Toma (Tap).....	24
1.4.5	RED DE ACOMETIDA	25
1.4.5.1	Divisores (Splitters)	27
1.4.5.2	Filtros.....	28
1.5	MAPA COMPLETO DE LA RED HFC DE CATEL	29
2	ESTUDIO DEL ESTÁNDAR DOCSIS 3.0	30
2.1	INTRODUCCIÓN	31
2.2	DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specifications)	31
2.2.1	FRECUENCIAS EMPLEADAS POR DOCSIS	32
2.2.2	TÉCNICAS DE MODULACIÓN PERMITIDAS EN DOCSIS	32
2.2.3	ANCHOS DE BANDA SOPORTADOS POR DOCSIS.....	33
2.2.4	TASA DE TRANSFERENCIA DE LOS CANALES ASCENDENTES Y DESCENDENTES	33
2.2.4.1	Tasa nominal de transferencia de datos.....	34
2.2.5	CHANNEL BONDING (Combinación de canales).....	34
2.2.6	BENEFICIOS DE DOCSIS.....	35
2.2.7	CARACTERÍSTICAS DE PLANTA EXTERNA CON DOCSIS 2.0 y 3.0	37
2.2.8	CALIDAD DE SERVICIO EN DOCSIS (QoS)	39
2.2.9	PRIVACIDAD DE DATOS EN LAS REDES DE CABLE A TRAVÉS DE DOCSIS	40
2.2.10	ENCRIPCIÓN DE PAQUETES DE DATOS	40
2.2.11	PROTOCOLO DE RESOLUCIÓN DE COLISIÓN (CRP).....	41
2.2.12	IMPLEMENTACIÓN DE NUEVOS SERVICIOS SOBRE DOCSIS	42

2.3	TELEFONÍA E INTERNET CON PACKETCABLE Y DOCSIS	42
2.3.1	TELEFONÍA	43
2.3.1.1	Sistema de Terminación Cable Módem (CMTS)	43
2.3.1.2	Adaptador Terminal de Multimedia (MTA)	44
2.3.1.3	Cable Módem (CM)	44
2.3.1.4	Gateway	44
2.3.1.4.1	<i>Controlador de Entrada de Contenido (MGC)</i>	45
2.3.1.4.2	<i>Servidor de Administración de Llamadas (CMS)</i>	45
2.3.1.4.3	<i>Sistemas de Apoyo Operacionales (OSS)</i>	45
2.3.1.4.4	<i>Servidor Medio (SM)</i>	45
2.3.1.5	PSTN.....	46
2.3.2	INTERNET DE BANDA ANCHA	46
2.3.2.1	CMTS	47
2.3.2.2	Cable Módem (CM)	47
2.3.2.2.1	<i>Proceso de inicialización de un Cable Módem</i>	48
2.3.3	TELEVISIÓN IP CON DOCSIS Y OPENCABLE.....	49
2.3.3.1	Capacidad requerida	50
2.3.3.2	Arquitectura para ofrecer televisión IP	50
2.3.3.2.1	Adquisición del contenido	50
2.3.3.2.1.1	<i>Formatos de compresión en televisión IP</i>	51
2.3.3.2.2	<i>Almacenamiento y servidores de video</i>	52
2.3.3.2.3	<i>Distribución de contenido</i>	52
2.3.3.2.4	<i>Set Top Box (STB)</i>	52
2.3.3.2.5	<i>Software</i>	53
3	ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	54
3.1	INTRODUCCIÓN	55
3.2	PUNTOS VULNERABLES DE LA RED DE CATEL.....	55
3.3	INVERSIÓN NECESARIA EN LA RED PRIMARIA.....	57
3.4	CÁLCULO DEL RETRASO DE TRANSMISIÓN EN LA RED HFC DE CATEL S.A.	58
3.5	INFRAESTRUCTURA REQUERIDA EN LA RED.....	60

3.6	CAPACIDAD REQUERIDA PARA EL SERVICIO DE INTERNET	61
3.7	CAPACIDAD REQUERIDA PARA EL SERVICIO DE TELEFONÍA.....	69
3.8	CAPACIDAD REQUERIDA PARA EL SERVICIO DE TELEVISIÓN IP	77
3.9	INVERSIÓN TOTAL.....	77
3.10	COSTO DEL ESTUDIO	79
3.11	RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN	79
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
4.1	CONCLUSIONES	83
4.2	RECOMENDACIONES	85
	BIBLIOGRAFÍA	88
	ANEXO I: MAPA COMPLETO DE LA RED HFC DE CATEL.....	90
	ANEXO II: SISTEMA DE REDUNDANCIA	92
	ANEXO III: TABLAS DE ERLANG	94
	ANEXO IV: EQUIPOS MOTOROLA.....	96
	ANEXO V: INGRESOS Y EGRESOS DEL PROYECTO.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED

Figura 1.1: Zona de cobertura de CATEL S.A.....	4
Figura 1.2: Partes de una red HFC	6
Figura 1.3: Diagrama de bloques de la Cabecera	7
Figura 1.4: Fotografía de las antenas de recepción satelital	8
Figura 1.5: Fotografía de las antenas para recepción terrestre	9
Figura 1.6: Fotografía de un receptor satelital	11
Figura 1.7: Espectro de frecuencias de un canal analógico	11
Figura 1.8: Fotografía de un demodulador	12
Figura 1.9: Fotografía de un transcoder	13
Figura 1.10: Diagrama de bloques de un modulador sintonizable.....	14
Figura 1.11: Fotografía de un combinador de señales	15
Figura 1.12: Fotografía del transmisor óptico	16
Figura 1.13: Conversor óptico a radio frecuencia	19
Figura 1.14: Fotografía de un nodo óptico.....	20
Figura 1.15: Cable coaxial estándar #500 con mensajero.....	21
Figura 1.16: Diagrama de bloques de un amplificador de RF	23
Figura 1.17: Fotografía de un amplificador de RF	24
Figura 1.18: Fotografía de un tap	25
Figura 1.19: Cable coaxial estándar #6	26
Figura 1.20: Fotografía de un splitter	28

CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

Figura 3.1: Infraestructura requerida para los nuevos servicios	60
Figura 3.2: Proyección de clientes del servicio de televisión por cable	66
Figura 3.3: Proyección de la densidad telefónica	72
Figura 3.4: Espectro de frecuencias utilizadas en el canal ascendente	75
Figura 3.5: Espectro de frecuencias utilizadas en el canal descendente	75

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED

Tabla 1.1: Características técnicas de un receptor satelital	10
Tabla 1.2: Características técnicas de un modulador.....	14
Tabla 1.3: Características técnicas de un combinador.....	15
Tabla 1.4: Características técnicas de un transmisor óptico	16
Tabla 1.5: Equipos instalados en el Head End.....	17
Tabla 1.6: Atenuación en fibra óptica monomodo	18
Tabla 1.7: Características técnicas de un receptor óptico.....	19
Tabla 1.8: Características físicas del cable coaxial 500	21
Tabla 1.9: Características eléctricas del cable coaxial 500	21
Tabla 1.10: Atenuación del cable coaxial 500 con respecto a la frecuencia.....	22
Tabla 1.11: Amplificación respecto a la frecuencia	23
Tabla 1.12: Características físicas del cable coaxial 6	26
Tabla 1.13: Características eléctricas del cable coaxial 6	26
Tabla 1.14: Atenuación del cable coaxial 6 con respecto a la frecuencia	27
Tabla 1.15: Características técnicas de un splitter de dos vías.....	28

CAPÍTULO 2: ESTUDIO DEL ESTÁNDAR DOCSIS 3.0

Tabla 2.1: Frecuencias asignadas por DOCSIS.....	32
Tabla 2.2: Técnicas de modulación permitidas por DOCSIS.....	33
Tabla 2.3: Transferencia de datos en el canal de subida	34
Tabla 2.4: Transferencia de datos en el canal de bajada.....	34
Tabla 2.5: Parámetros característicos de subida con DOCSIS	38
Tabla 2.6: Parámetros característicos de bajada con DOCSIS.....	39

CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

Tabla 3.1: Costos de materiales.....	57
Tabla 3.2: Proyección de usuarios del servicio de Internet en Solanda	62

Tabla 3.3: Capacidades necesarias para el servicio de Internet en Solanda	62
Tabla 3.4: Capacidades necesarias con compresión	63
Tabla 3.5: Proyección de usuarios del servicio de Internet al año 2012.....	67
Tabla 3.6: Capacidades necesarias para el servicio de Internet en Solanda	67
Tabla 3.7: Inversión en equipos CISCO	76
Tabla 3.8: Inversión en equipos MOTOROLA	76
Tabla 3.9: Inversión para el acceso satelital a Internet.....	77
Tabla 3.10: Inversión necesaria para implementar el servicio de telefonía e Internet	78
Tabla 3.11: Inversión necesaria para implementar el servicio de Internet.....	78
Tabla 3.12: Costo de este estudio de factibilidad	79
Tabla 3.13: Precios sugeridos para las distintas capacidades de Internet	79
Tabla 3.14: Ingresos y egresos provenientes del servicio de Internet.....	80
Tabla 3.15: Ingresos y egresos en valor presente.....	81
Tabla 3.16: Valor Actual Neto.....	81

CAPÍTULO 1

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED

1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED

1.1 INTRODUCCIÓN

La empresa Cable y Televisión CATEL S.A. que de aquí en adelante se la denominará únicamente CATEL, ha iniciado un proyecto de potencialización de su red; y es por esta razón, que se desarrolla el presente estudio de factibilidad para la implementación de nuevos servicios en la red HFC de la empresa CATEL S.A.; este trabajo servirá de base para una futura implementación; logrando así, potencializar la empresa en beneficio de sus clientes y de sus propietarios.

A continuación se da una visión general de la empresa CATEL S.A.; así como también, de la infraestructura y los equipos que utiliza en la prestación del servicio de televisión por cable.

1.2 RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA

La empresa Cable y Televisión CATEL S.A. fue creada en el año 2001 por el grupo de inversionistas BARAINVER, luego de un estudio de factibilidad realizado por la empresa INVESPRO S.A.; del cual se obtuvo como conclusión, que la mayor parte de los habitantes del sur no cuentan con el servicio de televisión abierta con niveles de calidad elevados y que muy pocos cuentan con el servicio de televisión por cable.

Terminado el estudio de factibilidad, se empezó la construcción de la primera etapa de la red, la cual pretendía abarcar los barrios de Solanda, San Bartolo, El Recreo, Chimbacalle, El Camal y Luluncoto mediante 8 nodos¹ para posteriormente en una segunda etapa expandir la cobertura de la red hasta llegar a cubrir el 80% del sur de Quito.

¹ Nodo, estructura física en la que empieza la red de distribución para una determinada zona

Por diferentes cambios en la situación económica del país y en la estabilidad económica de los socios, no se logró completar ni la primera etapa; con lo cual, los planes de cobertura y el número de hogares cubiertos bajó drásticamente quedando en apenas un nodo de los 18 que se pensaron inicialmente.

Actualmente CATEL tiene sus oficinas en el barrio de Santa Rita, avenida Guanando S25-298 y opera en los barrios de Solanda y Santa Rita al sur de Quito mediante concesión otorgada por el CONSEJO NACIONAL DE RADIODIFUSIÓN Y TELEVISIÓN CONARTEL para la explotación del servicio de televisión por cable y servicios agregados en la ciudad de Quito y los valles aledaños, bajo la resolución No. 2672-CONARTEL.

1.2.1 MISIÓN DE CATEL

“Brindar servicios de televisión por cable a menor costo, con una alta calidad de programación, señal e imagen, con los mejores recursos humanos y técnicos; que lo lleven a posicionarse como unos de los primeros proveedores de televisión por cable dentro del mercado nacional”.

1.2.2 VISIÓN DE CATEL

“Convertirse en una empresa líder y referente del mercado de la televisión pagada, que su señal llegue a todos los sectores socioeconómicos del país, contribuyendo a su desarrollo tecnológico, social, cultural y deportivo”.

1.2.3 SERVICIO OFRECIDO

La empresa CATEL actualmente brinda el servicio de televisión por cable sin codificar, ofreciendo a sus clientes 59 canales dentro de los cuales se encuentran incluidos 9 canales nacionales. El método de acceso hacia el usuario final es a través de cable coaxial.

1.2.4 CLIENTES ACTUALES

Hasta la fecha la empresa CATEL S.A. tiene aproximadamente 1600 usuarios, distribuidos en los barrios de Solanda y Santa Rita. En la figura 1.1 se presenta la zona de cobertura de CATEL



Figura 1.1: Zona de cobertura de CATEL S.A.

1.2.5 CLIENTES POTENCIALES

Del estudio de factibilidad realizado por INVESPRO S.A., se supo que el mercado potencial en Solanda es de aproximadamente 10000 hogares. La meta de la empresa para el año en curso es de 2000 usuarios¹.

¹ Cifra proporcionada por CATEL S.A.

1.2.6 SERVICIOS QUE DESEA OFRECER

Cable Televisión CATEL S.A. en su afán de posicionarse en el mercado como una empresa líder y referente del mercado, busca ampliar sus servicios, y por disponer de una red de gran capacidad, ha centrado su atención en el servicio de Internet de banda ancha, Voz IP (VoIP), así como también el servicio de televisión interactiva. De esta manera, se pretende potencializar la empresa para luego pensar en una futura ampliación tal como se había pensado inicialmente.

A continuación se describe la red y los equipos con los que cuenta CATEL para la prestación de su servicio; la descripción de los equipos, está centrada a la función que cumple cada uno de ellos dentro de la red, mas no al aspecto técnico de los mismos.

1.3 REDES HFC (Hybrid Fiber Coaxial)

Las redes HFC son aquellas que incorporan tanto fibra óptica como cable coaxial para crear una red de banda ancha. Esta tecnología comienza a implementarse a través de operadores de Televisión por Cable (CATV), que además de brindar éste servicio decidieron transportar por el mismo medio la señal de Internet de banda ancha.

A través del uso de cada una de estas tecnologías, la red es capaz de aprovecharse de los beneficios y minimizar el impacto de las limitaciones inherentes a cada una.

La fibra óptica proporciona la ventaja de cubrir distancias razonablemente largas con un mínimo de amplificación y regeneración de la señal. Sin embargo, debido a la naturaleza de esta tecnología, el costo y tamaño de los multiplexores/demultiplexores ópticos, rara vez se la utiliza para conectar los nodos directamente a los clientes.

El cable coaxial proporciona una capacidad de ancho de banda considerable, a la vez que permite que nuevos usuarios sean insertados en la red sin producir interferencias a los demás usuarios. La limitación de este sistema radica en la necesidad de amplificar la señal al cubrir grandes distancias.

Estas redes pueden utilizarse actualmente no solo para transmitir televisión por cable, sino también datos, telefonía, entre otros servicios corporativos.

1.4 RED HFC DE CATEL

Dentro de la red HFC de CATEL se distinguen los siguientes partes:

- Cabecera
- Red primaria
- Nodo óptico
- Red de distribución
- Red de acometida

La figura 1.2 muestra las partes de una red HFC.

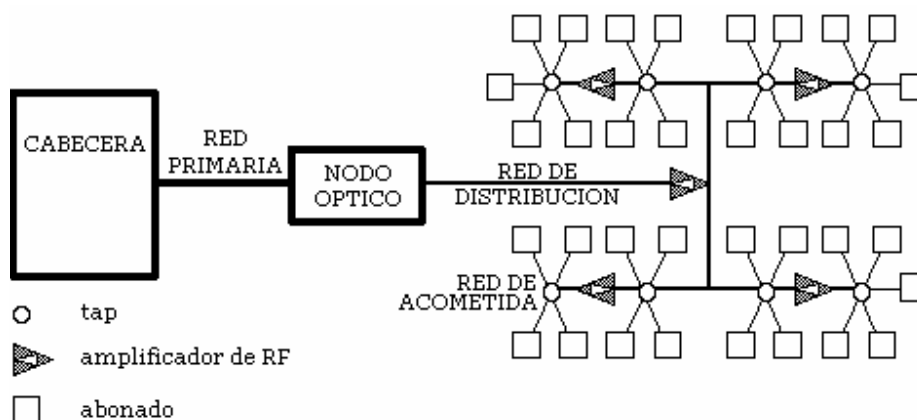


Figura 1.2: Partes de una red HFC

1.4.1 CABECERA (Head End)

La cabecera es el lugar en donde se reciben las señales de televisión provenientes de satélites o de estaciones terrenas a través de diferentes tipos de antenas; una vez recibidas, las señales son procesadas para luego ser distribuidas por la red hacia los usuarios.

En la cabecera, se pueden observar los siguientes equipos:

- Antenas para recepción satelital
- Antenas para recepción terrestre
- Receptores satelitales
- Demodulador
- Transcoder
- Moduladores
- Combinadores
- Transmisor óptico
- Sistema eléctrico de emergencia

En la figura 1.3 se observa el diagrama de bloques de la cabecera de CATEL.

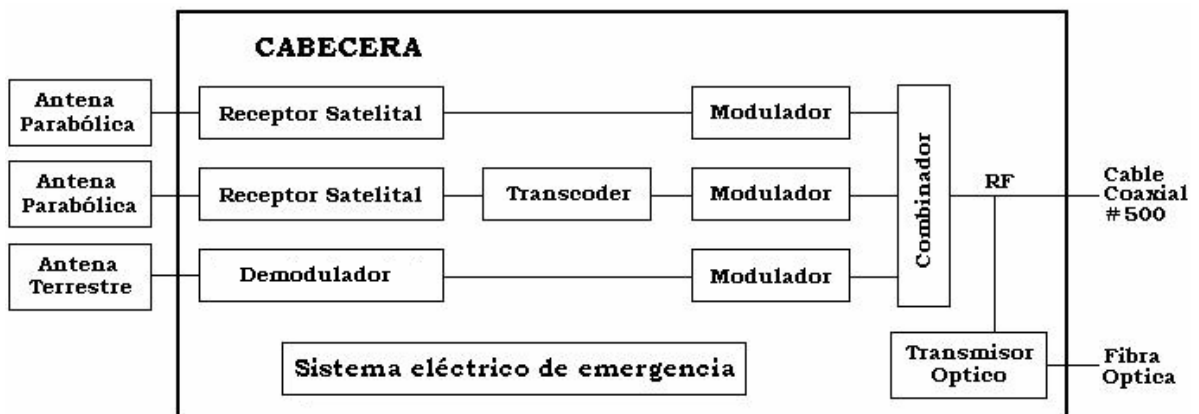


Figura 1.3: Diagrama de bloques de la Cabecera

1.4.1.1 Antenas para Recepción Satelital

CATEL S.A. dispone de 7 antenas parabólicas trabajando en la banda C del espectro electromagnético, la cual está comprendida entre los 4GHz y los 6GHz. La captación de canales internacionales se la realiza en las frecuencias comprendidas entre los 3.7GHz y los 4.2GHz; tanto en polarización vertical como en horizontal; dependiendo del satélite a utilizar. La figura 1.4 muestra una fotografía de las antenas de recepción satelital.



Figura 1.4: Fotografía de las antenas de recepción satelital

CATEL recibe las señales de los siguientes satélites:

- INTELSAT 805
- INTELSAT 806
- INTELSAT 807
- PANAMSAT PAS 3
- PANAMSAT PAS 9
- SATMEX 5
- MVS

Las señales recibidas son enviadas hacia los receptores satelitales.

1.4.1.2 Antenas para Recepción Terrestre

CATEL S.A. cuenta con 5 antenas Yagi-Uda para recepción terrestre instaladas estratégicamente sobre una torre con vientos, para evitar posibles interferencias debido a construcciones altas. La figura 1.5 muestra una fotografía en donde se aprecia la ubicación de las antenas en la torre con vientos.



Figura 1.5: Fotografía de las antenas para recepción terrestre

Las antenas para recepción terrestre captan las señales nacionales, tanto de las repetidoras en el Pichincha como de las del Atacazo.

Las señales de televisión abierta a diferencia de las señales internacionales pasan por un demodulador.

1.4.1.3 Receptores Satelitales

Una vez recibida la señal por el satélite, ésta pasa a los receptores satelitales. Este equipo se encarga de separar los distintos canales provenientes de un mismo satélite; para lo cual, se programa al receptor satelital con los datos del satélite, la frecuencia a sintonizar y del Symbol Rate; en el caso de canales digitales, se debe añadir al receptor satelital la información del código FEC (Forward Error Correction); todos éstos parámetros son proporcionados por los operadores del satélite. Además de lo mencionado, el receptor satelital se encarga de proporcionar la alimentación eléctrica necesaria para el LNB (Bloque de Bajo Ruido por sus siglas en inglés), el cual se encuentra ubicado en el foco de la antena parabólica.

Algunos de los parámetros más relevantes del receptor satelital Motorola DSR 4402X, se presentan en la tabla 1.1

Características técnicas	Valores
Impedancia de entrada	75 Ω
Modulación de entrada	QPSK
Symbol Rate	3.25 – 30 Msps
FEC	1/2, 2/3, 3/4, 4/5, 7/8
Relación S/N en video	57 dB (min)
Relación S/N en audio	85 dB a 1KHz
Tensión al LNB	16 V _{DC}
Impedancia de salida (video)	75 Ω
Impedancia de salida (audio)	600 Ω

Tabla 1.1: Características técnicas de un receptor satelital

La figura 1.6 muestra la fotografía de un receptor satelital Motorola DSR-4402X.



Figura 1.6: Fotografía de un receptor satelital

A la salida del receptor satelital se tiene por separado la señal de audio y la de video, las cuales pasan a un modulador. En la figura 1.7 se observa las frecuencias a las que están moduladas las portadoras de audio y video dentro del ancho de banda de un canal analógico. En caso de ser un canal de servicio pago por ver (PPV), las señales de audio y video pasan por un equipo transcoder antes de entrar a un modulador.

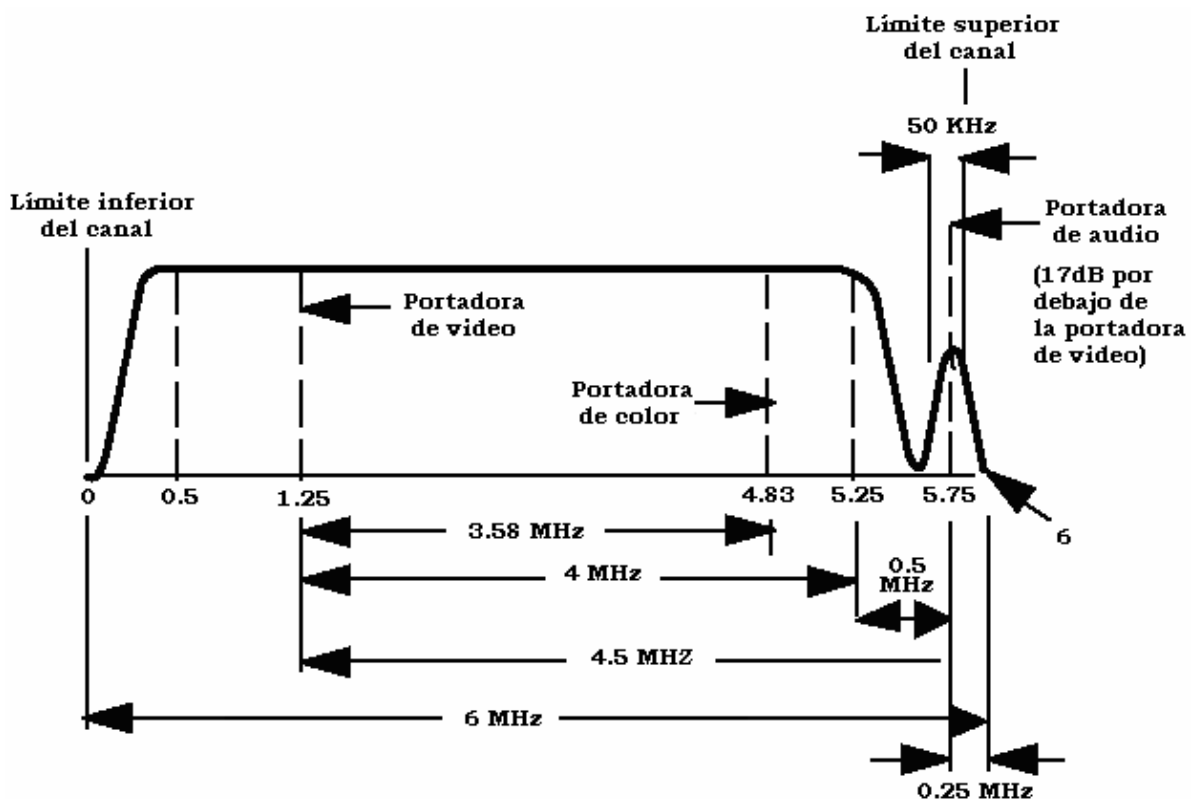


Figura 1.7: Espectro de frecuencias de un canal analógico

1.4.1.4 Demodulador

Las señales captadas por las antenas de recepción terrestre pasan a un equipo demodulador; el cual, cumple las mismas funciones que un receptor satelital, aunque se diferencia de este último en las frecuencias de recepción, ya que capta las señales de televisión ubicadas en la banda VHF (Very High Frequency); es decir, las frecuencias comprendidas entre los 54MHz y los 216MHz¹. En nuestro país, algunos canales se transmiten en 2 frecuencias; y es mediante este equipo, que se discrimina la señal con mejores niveles de recepción. La programación de este equipo es más sencilla, ya que únicamente necesita como parámetros la frecuencia a captar y la frecuencia de salida de la señal. Al igual que los receptores satelitales, se tiene a la salida la señal de audio y la de video por separado. Las impedancias de entrada y salida son iguales a las de un receptor satelital. La figura 1.8 muestra la fotografía un demodulador.



Figura 1.8: Fotografía de un demodulador

Las señales de audio y video a la salida de un procesador de señal, pasan a un modulador.

1.4.1.5 Transcoder

Este equipo se encarga de eliminar la sincronía de la señal de video en determinados canales, con el fin de impedir que los usuarios tengan acceso a canales PPV; para

¹ Se excluye las frecuencias comprendidas entre los 88MHz y los 174MHz, las cuales están destinadas para la transmisión de radio FM y la banda media de VHF.

esto, se modula únicamente la portadora de video a una frecuencia diferente dentro del ancho de banda del canal analógico. En la figura 1.7 se observa las frecuencias a las que están moduladas las portadoras de audio y video dentro del ancho de banda de un canal analógico. Al eliminar la sincronía de la portadora de video se consigue que la imagen no pueda ser vista en el televisor, aunque el audio del canal si puede ser escuchado.

Muchas veces el transcoder es denominado codificador de señal. La recuperación de la señal se la realiza a través de filtros a nivel de la red de acometida.

La figura 1.9 muestra la fotografía de un equipo transcoder para un canal de adultos.



Figura 1.9: Fotografía de un transcoder

1.4.1.6 Moduladores

Una vez que se tiene las señales de audio y video de cada canal internacional y de cada canal nacional, éstas pasan por un equipo modulador; en el cual, son ecualizadas para corregir la diferencia de amplitud en función de la frecuencia provocada por el cable. Ambas señales son moduladas por separado a la frecuencia en la cual van a ser transmitidas; dependiendo del tipo de modulador, esta frecuencia puede ser fija o sintonizable; luego de la etapa de modulación, las señales son filtradas para eliminar los armónicos propios de la modulación; a continuación las

portadoras moduladas de audio y video son amplificadas para garantizar calidad en la señal del canal. Una vez amplificadas pasan por un combinador y vuelven a ser filtradas para evitar cualquier inserción extraña propia del combinador; una vez realizado este proceso, la señal de radio frecuencia es amplificada hasta alcanzar niveles típicos de 55 dBmV y posteriormente sale del modulador. La figura 1.10 muestra el diagrama de bloques de un modulador sintonizable.

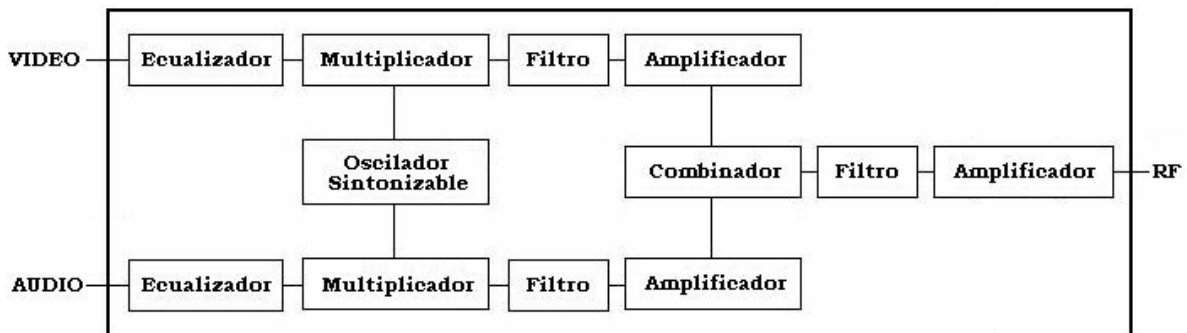


Figura 1.10: Diagrama de bloques de un modulador sintonizable

En la tabla 1.2 se muestran los parámetros más relevantes de un modulador Tele System TS-5050.

Características Técnicas	Valores
Impedancia de entrada de video	75 Ω
Impedancia de entrada de audio	10 K Ω
Relación S/N de video	> 52 dB
Potencia de salida RF	55 dBmV
Impedancia de salida	75 Ω
Relación entre portadoras (video/audio)	-15min/-17max dBc/Hz
Nivel de salida ajustable	30 a 50 dB

Tabla 1.2: Características técnicas de un modulador

Una vez que las señales son moduladas, pasan hacia un combinador de señales.

1.4.1.7 Combinadores

A la salida de cada modulador se encuentra una señal RF de determinada frecuencia; como todas deben viajar por el mismo canal, se emplean combinadores, los cuales multiplexan en frecuencia las señales que reciben. La tabla 1.3 muestra los parámetros más relevantes de un combinador Tele System TS-5016 de 16 canales.

Características técnicas	Valores
Impedancia de entrada	75 Ω
Frecuencia de trabajo	50 a 750 MHz
Pérdidas de inserción	20 dB
Pérdidas de retorno	12 dB min
Aislamiento entre portadoras	40 dB min

Tabla 1.3: Características técnicas de un combinador

Debido al amplio número de canales que ofrece CATEL, se utiliza combinadores en cascada. La figura 1.11 muestra la fotografía de un combinador de 16 canales.



Figura 1.11: Fotografía de un combinador de señales

Una vez que todas las señales son combinadas en una sola, ésta es derivada y una parte de la señal se distribuye hacia los usuarios más cercanos al Head End mientras que la otra señal pasa al transmisor óptico.

1.4.1.8 Transmisor Óptico

Este equipo se encarga de transformar la señal de radiofrecuencia compuesta por todos los canales a transmitir en pulsos de luz; con la finalidad de transportarla por fibra óptica hasta un punto central del barrio al cual se desea brindar el servicio de televisión por cable. Los parámetros técnicos más relevantes de un transmisor óptico Motorola GX2-EM870 pueden ser apreciados en la tabla 1.4. En la figura 1.12 se aprecia dicho transmisor óptico.

Características técnicas	Valores
Ancho de banda de entrada RF	47-870 MHz
Nivel de entrada RF	25±1 dBmV por canal
Pérdidas de retorno de entrada RF	16 dB min
Respuesta de frecuencia 47-750 MHz	±0.5 dB
Respuesta de frecuencia 50-870 MHz	±0.75 dB
Longitud de onda central	1544 a 1548 nm
Potencia de salida	7 dBm

Tabla 1.4: Características técnicas de un transmisor óptico

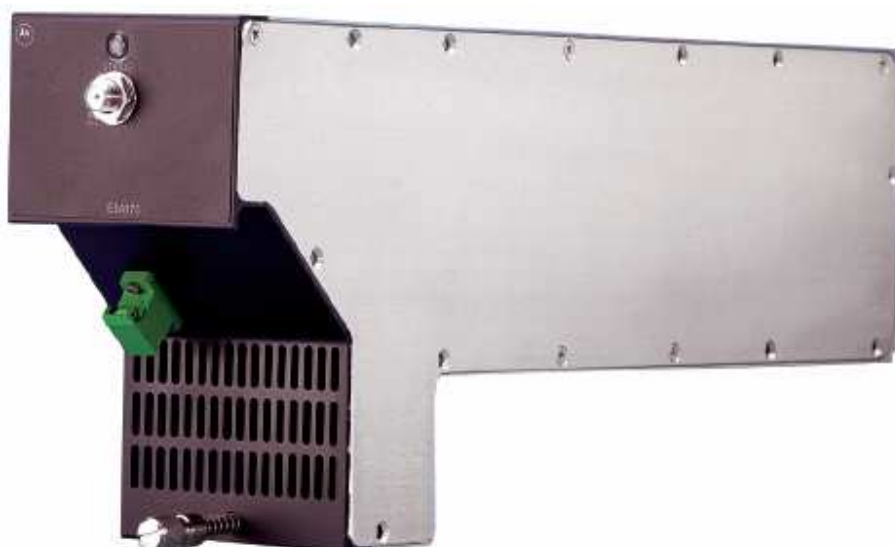


Figura 1.12: Fotografía del transmisor óptico

1.4.1.9 Sistema eléctrico de emergencia

Para los casos en que la energía eléctrica falla, CATEL dispone de un sistema de UPS que brinda un respaldo de 10 minutos; tiempo en el que la planta generadora a diesel entra en funcionamiento. De esta manera se evita que el servicio de televisión por cable sea suspendido a los clientes.

1.4.1.10 Resumen de equipos en la Cabecera

La tabla 1.5 muestra un resumen de los equipos que se encuentran en la cabecera de CATEL S.A.

Dispositivo	Número
Antenas satelitales	7
Antenas terrestres	5
Receptores satelitales	50
Demoduladores	9
Transcoder	1
Moduladores	59
Combinadores	5
Transmisores ópticos	1

Tabla 1.5: Equipos instalados en el Head End

1.4.2 RED PRIMARIA

También conocida como red troncal, está formada por la red de fibra óptica, la cual se dirige desde la cabecera o Head End hacia los distintos nodos ópticos.

La principal ventaja de utilizar fibra óptica en la red primaria es el hecho de transportar la señal una gran distancia sin necesidad de amplificación. En la tabla 1.6 se observa los valores de atenuación para la fibra óptica monomodo.

Longitud de onda	Atenuación máxima para exteriores	Atenuación máxima para interiores
1310 nm	0.5 dB/Km	1.0 dB/Km
1550 nm	0.5 dB/Km	1.0 dB/Km

Tabla 1.6: Atenuación en fibra óptica monomodo

La red primaria de CATEL cuenta con un cable de fibra óptica monomodo, el cual está conformado en su interior por 48 hilos; de los cuales, solamente uno se encuentra conectado, ya que la red de televisión por cable es unidireccional; es decir, únicamente se envían señales desde la cabecera hacia los usuarios y no viceversa. El cable de fibra óptica viaja a través de los postes de la Empresa Eléctrica Quito.

1.4.3 NODO ÓPTICO

Es el equipo en el cual termina la red primaria y comienza la red de distribución. Está constituido por un receptor óptico y un amplificador de radio frecuencia. El receptor óptico se encarga de transformar los pulsos de luz en la señal de radiofrecuencia que contiene los canales de televisión. La conversión es desarrollada por un diodo foto-detector PIN (semiconductor tipo P, semiconductor intrínseco, semiconductor tipo N). La señal que sale del receptor óptico pasa a un amplificador de radio frecuencia, el cual será explicado detalladamente en el parágrafo 1.4.4.1. Este equipo se encuentra instalado en un poste de energía eléctrica; y preferiblemente, debe ser instalado en el centro de la zona a cubrir. La tabla 1.7 muestra los parámetros técnicos más importantes de un receptor óptico.

Características técnicas	Valores
Longitud de onda	1310 nm \pm 20; 1550 nm \pm 20
Potencia de entrada	+3 dBm (max); -7 dBm (min)
Pérdida de retorno óptico	40 dB (min)
Frecuencia pasa banda	50 – 750 MHz
Pérdida de retorno RF	11 dB (min)
Potencia de salida RF	25 dBmV (tipica)

Tabla 1.7: Características técnicas de un receptor óptico

En la figura 1.13 se observa el receptor óptico; mientras que, en la figura 1.14 se observa el nodo óptico.



Figura 1.13: Conversor óptico a radio frecuencia



Figura 1.14: Fotografía de un nodo óptico

1.4.4 RED DE DISTRIBUCIÓN

Está compuesta por una estructura tipo bus de cable coaxial que parte desde el nodo óptico y que lleva las señales provenientes de la cabecera a través del barrio al que se desea dar el servicio hasta la última derivación antes de los hogares de los abonados.

El tipo de cable utilizado para esta parte de la red es cable coaxial estándar #500 con mensajero¹, ya que presenta mejores características de pérdidas debido a la

¹ Cable de acero galvanizado paralelo al cable coaxial para aplicaciones autosportadas.

distancia. En la figura 1.15 se observa el cable coaxial utilizado en la red de distribución; mientras que en las tablas 1.8, 1.9 y 1.10 se presentan las características físicas, eléctricas y de atenuación de este cable respectivamente.

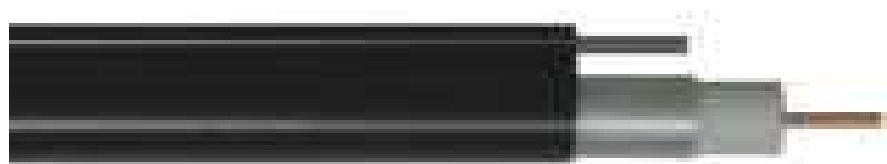


Figura 1.15: Cable coaxial estándar #500 con mensajero

Elementos del cable	Diámetro (mm)
Conductor interno	2.77
Dieléctrico	11.43
Conductor externo	12.70
Chaqueta	14.55

Tabla 1.8: Características físicas del cable coaxial 500

Características	Valores
Impedancia característica	75 Ω
Capacitancia nominal	50 pF/m
Velocidad de propagación	87 %

Tabla 1.9: Características eléctricas del cable coaxial 500

La impedancia característica (Ω) es la relación tensión aplicada sobre la corriente absorbida por un cable de longitud infinita. De esto se desprende que para un cable coaxial de longitud real, conectado a una impedancia exactamente igual a la característica, el valor de la impedancia de la línea permanece igual al de la impedancia característica. Los valores nominales para los cables coaxiales son de 50 Ω , 75 Ω y 93 Ω . En CATV únicamente se utilizan los de 75 Ω .

La capacitancia nominal es el valor de la capacidad eléctrica, medida entre el conductor central y el conductor externo, dividida por la longitud del cable. Varía con el tipo de material aislante y con la geometría del cable.

La velocidad de propagación es la relación expresada en porcentaje entre la velocidad de propagación de la señal en el cable y la velocidad de propagación de la luz. Varía con el tipo de material aislante.

Frecuencia (MHz)	Atenuación (dB/100m)
10	0.7
50	1.6
100	2.0
230	3.6
300	4.2
470	5.3
600	6.0
860	7.4
1000	8.0

Tabla 1.10: Atenuación del cable coaxial 500 con respecto a la frecuencia

En la red de distribución encontramos los siguientes elementos:

- Amplificadores de radio frecuencia
- Tomas (Taps)

1.4.4.1 Amplificadores de Radio Frecuencia

La pérdida de transmisión es la reducción en el nivel de la señal conforme esta avanza a través de los cables de la red. La atenuación presentada por el cable es

función de la frecuencia, lo que provoca que los canales de frecuencias más altas sufran una mayor degradación que los canales de frecuencias más bajas.

Estas características del sistema, atenuación y respuesta en frecuencia, son compensadas en la red con la inclusión de amplificadores. Todos los amplificadores hoy utilizados, se alimentan a través del mismo cable de señal.

En la figura 1.16 se muestra los bloques básicos de un amplificador de radio frecuencia bidireccional, en el que se amplifican en sentido cabecera-usuario las frecuencias comprendidas entre los 50MHz y los 750MHz y en sentido inverso las frecuencias comprendidas entre 5MHz y 30MHz.

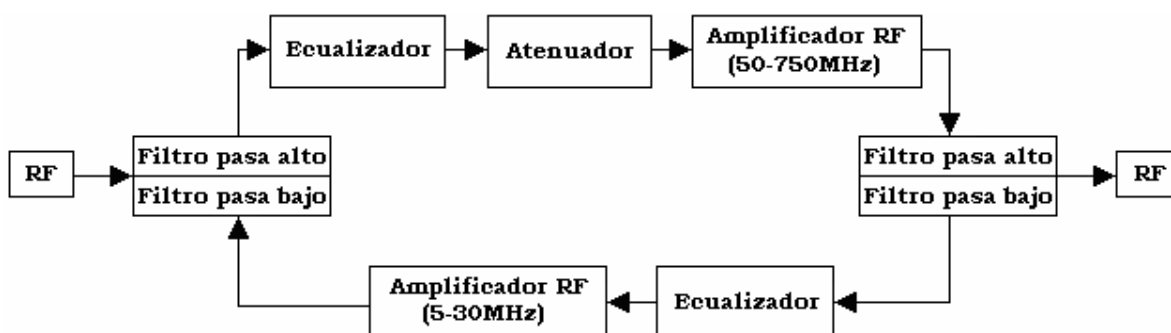


Figura 1.16: Diagrama de bloques de un amplificador de RF

Para considerar que la señal de radio frecuencia debe ser amplificada, ésta se debe encontrar entre los 22dBmV y los 24dVmV. La tabla 1.11 se presenta los niveles de salida para las diversas frecuencias a las que trabajan los amplificadores.

Frecuencia (MHz)	Nivel de salida (dBmV)
870	45
550	44
52	37
40	41

Tabla 1.11: Amplificación respecto a la frecuencia

La figura 1.17 muestra la fotografía de un amplificador de radio frecuencia.

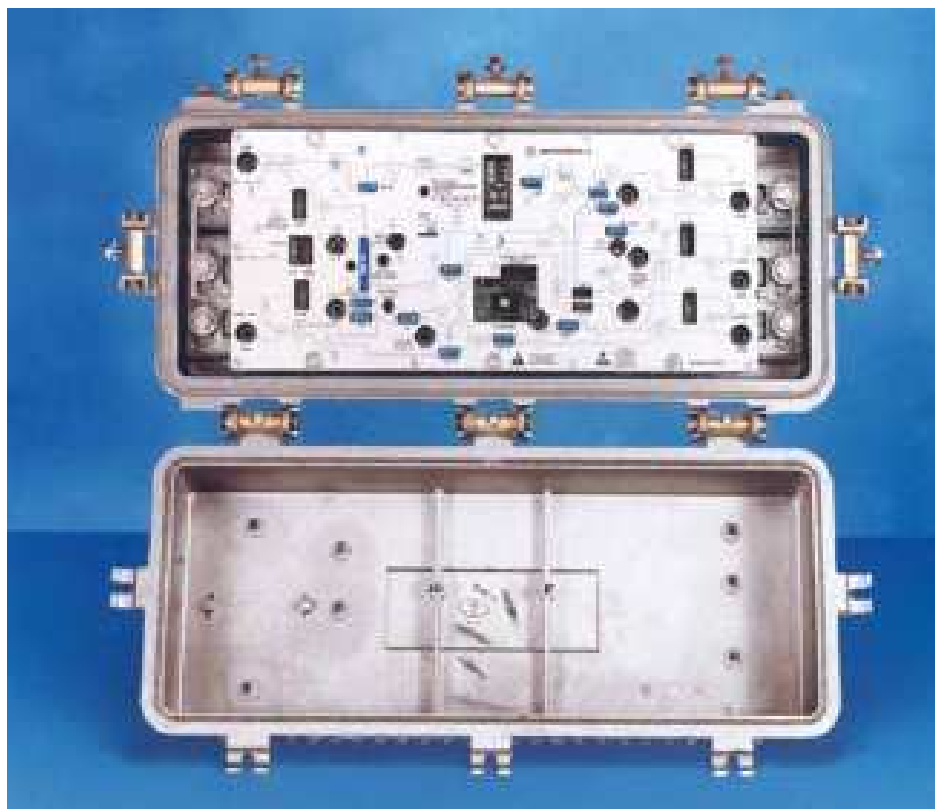


Figura 1.17: Fotografía de un amplificador de RF

1.4.4.2 Toma (Tap)

Este dispositivo permite derivar una parte de la energía de radio frecuencia hacia la red de acometida; los parámetros que más definen a un tap son:

- **Valor en dB de la derivación:** es el valor en dB que la señal de RF se atenúa desde la red de distribución con relación a las salidas derivadas
- **Número de salidas:** es el número de salidas derivadas del tap
- **Valor en dB de la inserción:** es el valor en dB que la señal de RF se atenúa a través de la red de distribución.

La figura 1.18 muestra la fotografía de un tap de 8 salidas, con una atenuación de 12dB hacia las salidas derivadas.



Figura 1.18: Fotografía de un tap

1.4.5 RED DE ACOMETIDA

Es la parte de la red a través de la cual la señal de radio frecuencia llega al televisor desde una de las salidas derivadas del tap.

El tipo de cable utilizado para esta parte de la red es cable coaxial estándar #6, ya que presenta mejores características físicas/mecánicas para su instalación dentro de las casas de los abonados. En la figura 1.19 se observa el cable coaxial utilizado en la red de acometida; mientras que en las tablas 1.12, 1.13 y 1.14 se presentan las características físicas, eléctricas y de atenuación de este cable respectivamente.



Figura 1.19: Cable coaxial estándar #6

Elementos del cable	Diámetro (mm)
Conductor interno	1.02
Dieléctrico	4.57
Conductor externo	4.78
Chaqueta	6.93

Tabla 1.12: Características físicas del cable coaxial 6

Características	Valores
Impedancia	75 Ω
Capacitancia nominal	53 pF/m
Velocidad de propagación	82 %

Tabla 1.13: Características eléctricas del cable coaxial 6

Frecuencia (MHz)	Atenuación (dB/100m)
10	2.0
50	4.5
100	6.3
230	9.6
300	11.0
470	13.9
600	15.7
860	18.9
1000	20.4

Tabla 1.14: Atenuación del cable coaxial 6 con respecto a la frecuencia

En la red de acometida encontramos los siguientes elementos:

- Divisores (Splitters)
- Filtros

1.4.5.1 Divisores (Splitters)

Los divisores o splitters son dispositivos que dividen la energía de RF de la entrada en dos partes iguales; es decir, divide la señal de entrada y la reduce en 3dB; sin embargo, este valor es teórico, ya que normalmente se obtiene valores entre los 3.5 y 4.5dB (por pérdidas adicionales en la conexión), los cuales deben ser considerados al momento de la instalación, para garantizar un buen nivel de señal a la entrada del televisor. La tabla 1.15 muestra las características técnicas de un splitter de 2 vías.

Las pérdidas de inserción son un valor muy importante a la hora de hacer la instalación en el usuario, ya que se debe garantizar en la entrada del televisor niveles de potencia comprendidos entre los 3 dBmV y los 10 dBmV.

Frecuencia (MHz)	Pérdidas de inserción (dB)	Aislamiento (dB)
5 – 47	3.5	26
47 – 230	3.6	35
230 – 470	3.8	30
470 – 860	4.1	30
860 – 1000	4.2	25

Tabla 1.15: Características técnicas de un splitter de dos vías

En la figura 1.20 se muestra la fotografía de un splitter Tele System de 3 vías. Mediante la combinación de splitters de dos vías, se pueden conseguir splitters de tres o cuatro vías.



Figura 1.20: Fotografía de un splitter

1.4.5.2 Filtros

Dentro de la señal que ingresa al televisor del usuario, también se encuentra la señal del canal PPV; para recuperar ésta señal y poderla visualizar, es necesario instalar un equipo diseñado especialmente para que module y filtre la frecuencia del canal PPV y recupere la sincronía de la portadora de video. La acción de este filtro se limita exclusivamente al canal pago por ver y no tiene efecto alguno sobre la frecuencia del resto de canales.

1.5 MAPA COMPLETO DE LA RED HFC DE CATEL

En el Anexo I, al final de este trabajo, se puede observar el mapa completo de la red HFC de CATEL S.A., en el que se aprecia claramente la ubicación de la Cabecera, la red primaria, el nodo óptico, la red de distribución, los amplificadores de radio frecuencia así como los taps con los cuales se ha abastecido al barrio de Solanda.

CAPÍTULO 2

ESTUDIO DEL ESTÁNDAR DOCSIS 3.0

2 ESTUDIO DEL ESTÁNDAR DOCSIS 3.0

2.1 INTRODUCCIÓN

La integración de varios servicios tales como el Internet de banda ancha, el servicio de telefonía IP (VoIP), y la televisión interactiva a través de una red HFC, requiere la utilización de una plataforma integrada y eficiente que permita gestionar dichos servicios de manera fácil y rentable para el operador de TV cable. El estándar DOCSIS permite alcanzar la transparencia en éstas redes mediante una arquitectura bien definida.

A continuación, se describe los aspectos más importantes del estándar así como los equipos necesarios para brindar dichos servicios.

2.2 DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specifications)

DOCSIS, cuyas siglas en español significan “Especificación de Interfaz sobre Servicios de Datos por Cable” es un estándar internacional no comercial desarrollado por CableLabs con la contribución de empresas como ARRIS, BigBand Networks, Broadcom, Cisco, Conexant, Correlant, Intel, Motorola, Netgear, Terayon y Texas Instruments, que define los requisitos de la interfaz de comunicaciones y operaciones para datos sobre un sistema de cable.

El conjunto de especificaciones DOCSIS se conoce como DOCSIS 1.0, aprobado como estándar internacional en marzo de 1997 por la Unión Internacional de Telecomunicaciones. DOCSIS 1.1 surge en abril de 1999 como un nuevo conjunto de especificaciones que incorpora características de Calidad de Servicio (QoS) y autenticación, necesarias para manejar servicios que requieran una entrega de datos en tiempo real y mayor seguridad, como por ejemplo, la telefonía.

En enero del 2002 se publica la versión DOCSIS 2.0, en la cual; se incorpora la modulación 64-QAM en el canal de subida (usuario-cabecera), permitiendo alcanzar velocidades de transferencia más altas con relación a la versión 1.1.

En agosto del 2006 se publica la versión 3.0 del estándar DOCSIS, en la cual se emplean técnicas de “channel bonding” o “combinación de canales” para incrementar de manera significativa las velocidades de subida y bajada; además, esta versión brinda soporte para IPv6.

2.2.1 FRECUENCIAS EMPLEADAS POR DOCSIS

DOCSIS garantiza su adecuado funcionamiento en las redes de cable que adoptan el estándar. Además de ser un estándar de interoperabilidad de cable módem, DOCSIS incluye parámetros que se recomiendan para lograr un mejor desempeño de la red.

Los rangos de frecuencia que utiliza DOCSIS en las redes bidireccionales son los que se muestran en la tabla 2.1

Sentido	Frecuencia (MHz)
Ascendente	5 MHz – 42 MHz
Descendente	88 MHz – 862 MHz

Tabla 2.1: Frecuencias asignadas por DOCSIS

2.2.2 TÉCNICAS DE MODULACIÓN PERMITIDAS EN DOCSIS

La transmisión de información en el sentido cabecera-usuario permite modulaciones de 64-QAM y 256-QAM sobre canales de 6 MHz; en sentido contrario, DOCSIS acepta tres tipos de modulación: QPSK (Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura), 16-QAM (Modulación de Amplitud en Cuadratura) y 64-QAM; aunque la

última, únicamente es soportada por las versiones 2.0 y 3.0 del estándar DOCSIS. En la tabla 2.2 se muestra información correspondiente a las mismas.

El tipo de modulación que se empleará depende de la relación señal a ruido (S/N) existente en el canal.

Modulación	Sentido	Bits/símbolo	S/N mínima
QPSK	Ascendente	2	>21 dB
16-QAM	Ascendente	4	>24 dB
64-QAM	Ascendente y descendente	6	>25 dB
256-QAM	Descendente	8	>33 dB

Tabla 2.2: Técnicas de modulación permitidas por DOCSIS

2.2.3 ANCHOS DE BANDA SOPORTADOS POR DOCSIS

Las primeras versiones de este estándar soportan anchos de banda comprendidos entre los 200 KHz y los 3.2 MHz en el canal de subida, mientras que las versiones 2.0 y 3.0 soportan anchos de banda hasta los 6.4 MHz, siendo compatibles con las versiones anteriores. En cuanto al canal de bajada, todas las versiones de DOCSIS soportan un único ancho de banda de 6 MHz.

La especificación DOCSIS para Europa, denominada EuroDOCSIS soporta en el canal de bajada un ancho de banda de 8 MHz.

2.2.4 TASA DE TRANSFERENCIA DE LOS CANALES ASCENDENTES Y DESCENDENTES

La tabla 2.3 muestra los anchos de banda del canal de subida con sus respectivos valores de transferencia de símbolos y la tasa de transferencia de datos (entre paréntesis se encuentra el valor nominal) respecto al tipo de modulación empleado.

Ancho de banda (MHz)	Tasa de transferencia de datos (Mbps)		
	QPSK	16-QAM	64-QAM
0.2	0.32 (0.3)	0.64 (0.6)	1.28 (1.2)
0.4	0.64 (0.6)	1.28 (1.2)	1.92 (1.7)
0.8	1.28 (1.2)	2.56 (2.3)	3.84 (3.4)
1.6	2.56 (2.3)	5.12 (4.6)	7.68 (6.8)
3.2	5.12 (4.6)	10.24 (9.0)	15.36 (13.5)
6.4	10.24 (9.0)	20.48 (18)	30.72 (27.0)

Tabla 2.3: Transferencia de datos en el canal de subida

En la tabla 2.4 se muestra la tasa de transferencia de datos para el canal de bajada considerando los distintos tipos de modulación admitidos por DOCSIS y EuroDOCSIS.

Ancho de banda (MHz)	Tasa de transferencia de datos (Mbps)	
	64-QAM	256-QAM
6	30.34 (27)	42.88 (38)
8	40.44 (36)	57.20 (51)

Tabla 2.4: Transferencia de datos en el canal de bajada

2.2.4.1 Tasa nominal de transferencia de datos

Es la tasa real de transferencia de datos. Este valor considera los bits utilizados para la detección y corrección de errores durante la transmisión.

2.2.5 CHANNEL BONDING (Combinación de canales)

Esta característica se encuentra presente únicamente en DOCSIS 3.0 y permite utilizar varios canales simultáneamente, tanto en subida como en bajada; permitiendo

alcanzar transferencias de datos superiores a los 120 Mbps en ambos sentidos. La versión 3.0 del estándar DOCSIS es compatible con todas las anteriores.

2.2.6 BENEFICIOS DE DOCSIS

Debido al avance tecnológico sobre la capa física de DOCSIS, éste posee el potencial de causar gran impacto sobre la capacidad de la información transmitida, provocando un efecto mínimo sobre el costo operacional e inversión de capital; además, no requiere de cambios importantes en lo que se refiere a la infraestructura de transporte. Dentro de las ventajas más importantes de DOCSIS se menciona las siguientes:

1.- Capacidad

DOCSIS 3.0 provee una mayor densidad de información (eficiencia espectral) comparando con la versión anterior del estándar DOCSIS, enviando más de 18.75 bits por segundo por hertz (Bps/Hz); debido a la combinación de canales y modulaciones más eficientes. DOCSIS 3.0 al incrementar la capacidad también beneficia a los operadores el omitir o delegar la necesidad de instalar segmentación adicional debido a la extensión de las penetraciones de servicios, evitando de esta manera la necesidad de perfeccionamientos costosos o interrupción del servicio.

2.- Tipo de modulación

DOCSIS 2.0 y 3.0 permiten manejar modulaciones de más alto nivel tales como 16QAM y 64QAM en el caso del canal ascendente y hasta 256QAM en el canal descendente, todo esto gracias a las mejoras introducidas en la red de cable frente a la presencia de ruido e interferencias.

3.- Costo

Dentro de las mayores ventajas de DOCSIS 3.0 para la industria está la reducción de los gastos de ejecución y despliegue de nuevos servicios, ya que la implementación

de éstos se realiza sobre la misma infraestructura de la red de cable en funcionamiento.

Una vez que el operador se asegura de poseer la Sistema de Terminación Cable Módem (CMTS) adecuado que pueda maneja eficazmente los requerimientos de DOCSIS 3.0, la sustitución en la red que está activa es factible permitiendo que se pueda migrar a un software mejorado sin la necesidad de cambios radicales en la misma.

4.- Coexistencia y compatibilidad

La compatibilidad que ofrece DOCSIS 3.0 permite que cuando el operador de cable migra hacia un nuevo equipo condescendiente con DOCSIS, el equipo que ya está instalado en la red continuará operando sin impactos negativos sobre el suministro del servicio. Afortunadamente, las versiones de DOCSIS son compatibles entre si.

5.- Reducción del efecto de ruido

Para la supresión de ruido DOCSIS 2.0 considera como uno de los métodos de dividir en segmentos más pequeños la cobertura de un nodo, sin embargo estos procedimientos resultan muy difíciles de implementar en la red de cable por su costo, en función de esto se analiza otros métodos factibles de realizarse en la red para combatir el ruido.

Las fuentes primarias del ruido y de interferencia experimentadas en una planta de cable se pueden agrupar en las categorías siguientes:

- Ruido de impulso
- Ruido Gaussiano Blanco Aditivo (AWGN)

a).- Ruido de impulso.- Su origen puede ser externo o interno a la red, y provoca aumentos momentáneos en el nivel de entrada (señal más ruido), y afectan principalmente al canal de subida, ya que su densidad espectral de potencia disminuye con la frecuencia.

Para combatir los efectos del ruido impulsivo, DOCSIS 2.0 ha especificado la corrección progresiva de errores (FEC) a través del algoritmo de Reed-Solomon (RS).

b).- Ruido Gaussiano Blanco Aditivo (AWGN).- Uno de los desafíos más grandes para el operador de cable ha sido adaptarse a las condiciones de ruidos en la banda utilizada para la transmisión de subida. El problema principal con el Ruido Gaussiano Blanco Aditivo es que aumenta al recorrer la red, lo cual puede impactar negativamente la transmisión de información.

En estos casos, el estándar DOCSIS utiliza las técnicas de modulación más robustas a cambio de una disminución en la tasa de transferencia de datos.

2.2.7 CARACTERÍSTICAS DE PLANTA EXTERNA CON DOCSIS 2.0 y 3.0

La capa física no requiere cambios del cable en funcionamiento; mas bien, se considera como aspecto fundamental la robustez de transmisión de datos principalmente en el canal ascendente aunque es recomendable que las redes de cable consideren parámetros de RF en los flujos de subida y bajada para un máximo flujo efectivo de datos. Los parámetros característicos de subida y bajada de las recomendaciones correspondientes a DOCSIS 2.0 y 3.0 se indican en la tabla 2.5 y 2.6 respectivamente

Parámetro	Valor
Rango de frecuencia	5 a 42 MHz
Retraso de transmisión del cable módem más distante al CMTS	Menor o igual a 0.8ms (típicamente menor)
Relación de portadora a interferencia (La suma de ruido, distorsión, Modulación cruzada, señales de ingreso discretos y de banda ancha, excluyendo el ruido blanco)	No menor que 25dB
Portadora de zumbido en la modulación	No mayor que -23dBc
Ráfagas de ruido	No mayor a 10us a 1KHz De tasa promedio para la mayoría de los casos
Amplitud de la onda	0.5 dB/MHz
Retraso de grupo	200ns/MHz
Microreflexiones	-10dBc menor o igual a 0.5us -20dBc menor o igual a 1.0us -30dBc mayor a 1.0 us

Tabla 2.5: Parámetros característicos de subida con DOCSIS 2.0

Parámetros	Valor
Retraso de transmisión del cable módem más distante al CMTS más cercano	Menor o igual a 0.8ms
Portadora de ruido en la banda de 6MHz	No menos que 35dB
Amplitud de la onda	3dB/MHz
Retraso de grupo en el espectro ocupado por el CMTS	75 ns/MHz
Microreflexiones	-10dBc menor o igual a 0.5us -15dBc menor o igual a 1.0us -20dBc menor o igual a 1.5us -30dBc mayor a 1.5 us
Portadora de zumbido en la modulación	No mayor que -26dBc
Nivel de portadora de video analógico máximo a la entrada del cable módem	17dBmV
Ruido impulsivo	No más largo que 25 us

Tabla 2.6: Parámetros característicos de bajada con DOCSIS 2.0

2.2.8 CALIDAD DE SERVICIO EN DOCSIS (QoS)

A partir de la especificación DOCSIS 2.0 se introduce la clasificación de los paquetes para brindar calidad de servicio tanto en el canal ascendente como en el descendente.

El principal mecanismo para dar calidad de servicio a la red es la clasificación de los paquetes que atraviesan la interfaz RF, conceptualmente los paquetes entrantes ingresan a un clasificador (de prioridad 0 a 7) que determina a que QoS el paquete está remitido, si el paquete es marcado con el máximo nivel en el clasificador, es enviado como prioritario y es marcado con el identificador SID (identificador del servicio), si el paquete no está marcado por el clasificador entonces se pondrá en un estado de espera.

2.2.9 PRIVACIDAD DE DATOS EN LAS REDES DE CABLE A TRAVÉS DE DOCSIS

DOCSIS 2.0 y 3.0 proporcionan a los usuarios del cable módem privacidad en la entrega y recepción de datos mediante la utilización de la especificación BPI+ (Privacidad de Línea Base), la cual trabaja encriptando el tráfico que fluye entre usuario y la cabecera. Conjuntamente BPI+, facilita a los operadores protección contra robo de servicios.

BPI+ fortalece la protección de los servicios entregados a través de las redes de cable introduciendo la utilización del Certificado Digital X509, el mismo que permite la autenticación de los cable módems a partir de un protocolo de direcciones.

2.2.10 ENCRIPCIÓN DE PAQUETES DE DATOS

El estándar de encriptación utilizado por BPI+ es DES (Estándar de Encriptación de Datos) o a su vez 3DES.

El algoritmo de encriptación DES fue desarrollado por IBM a mediados de los años 70 y elegido como estándar en 1977. Este algoritmo toma bloques de información de 8 bytes a los cuales les aplica 16 ciclos de sustitución y transposición mediante una clave (llave) de 8 bytes; cada byte de la clave tiene un bit de paridad, los cuales son utilizados para la detección de errores. Para la desencriptación de la información se realiza el proceso contrario utilizando la misma clave. Los estándares de encriptación que utilizan la misma clave para el cifrado y descifrado de la información son denominados estándares simétricos.

El estándar de encriptación 3DES realiza tres veces el proceso antes mencionado utilizando tres claves (llaves) diferentes. Existe una variación del estándar 3DES que utiliza únicamente 2 claves para el cifrado de la información. El estándar 3DES también es un estándar simétrico.

2.2.11 PROTOCOLO DE RESOLUCIÓN DE COLISIÓN (CRP)

Las redes de comunicación por cable no pueden utilizar un protocolo tradicional como es el caso de CSMA/CD (Acceso Múltiple por Detección de Portadora y Detección de Colisiones) o Token Ring por debido a la imposibilidad de los cable módems de oírse directamente unos a otros impidiendo la detección de colisiones por parte de los mismos, provocando así el deterioro de la calidad de la red; además, las grandes distancias que pueden llegar a abarcar una red CATV haría sumamente ineficiente un protocolo tipo CSMA/CD.

El protocolo de resolución de colisiones (CRP) está destinado a resolver colisiones desde dos o más estaciones que estén transmitiendo simultáneamente.

Este protocolo se utiliza para la comunicación de subida entre las estaciones y la cabecera, con el fin de usar eficientemente el canal ascendente, el mismo que está dividido en ranuras de tiempos discretos llamadas mini-slots (los cuales tienen una duración de 64 símbolos, o lo que equivale a 128 bits en modulación QPSK y 256 en 16-QAM); el procedimiento que sigue el protocolo es el siguiente:

Primero, una estación envía un pedido de ancho de banda por el canal ascendente a la cabecera, si más de un usuario transmite una petición en el mismo tiempo, dichas peticiones chocan y la cabecera utiliza el protocolo CRP para forzar a las estaciones a transmitir en diversos tiempos.

Si las estaciones transmiten peticiones exitosamente, la cabecera reconoce su transmisión y reserva ancho de banda en el canal ascendente para las estaciones; la cabecera informa a la estación, usando un mensaje de concesión, cuando utilizar el canal y el usuario envía datos sin el conflicto de tiempo especificado.

2.2.12 IMPLEMENTACIÓN DE NUEVOS SERVICIOS SOBRE DOCSIS

Dentro de los avances tecnológicos que ha desarrollado CableLabs aprobados por la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT para el mejoramiento e implementación de nuevos servicios y aplicaciones sobre redes HFC, destacan los proyectos PacketCable, OpenCable y CableHome, los cuales están orientados a proponer una serie de especificaciones dirigidas a la interoperatividad digital.

- **PacketCable** define las bases para la prestación de nuevos servicios de banda ancha basados en IP; tales como Internet, telefonía, videoconferencia y servicios multimedia.
- **OpenCable** actúa sobre los set top boxes o decodificadores para la televisión interactiva
- **CableHome** se refiere a redes en el hogar.

2.3 TELEFONÍA E INTERNET CON PACKETCABLE Y DOCSIS

PacketCable representa una solución implementada sobre DOCSIS 1.1 que utiliza el protocolo de Internet para ofrecer una arquitectura multimedia eficiente. La integración de PacketCable y DOCSIS permite que los operadores de las redes de cable ofrezcan a sus suscriptores servicios de datos, voz y aplicaciones multimedia de manera sencilla y confiable a través de una arquitectura de banda ancha con calidad de servicio de extremo a extremo

La parte fundamental de la plataforma PacketCable abarca los requerimientos y especificaciones de la infraestructura de voz sobre IP (VoIP). Por este motivo, el proyecto se encuentra dividido en dos segmentos, donde el primero de ellos denominado PacketCable 1.X, corresponde a esta modalidad de transmisión de voz. El segundo segmento denominado PacketCable 2.X, incluye los requerimientos

adicionales para extender la infraestructura de VoIP hacia una plataforma integral de servicios multimedia.

Cabe señalar que la calidad de llamada que PacketCable ofrece es similar a la calidad de una llamada que se realiza a través de la red telefónica convencional.

2.3.1 TELEFONÍA

Dentro de los elementos que forman parte de la arquitectura de PacketCable para brindar el servicio de telefonía se encuentran los siguientes:

- Sistema de Terminación Cable Módem (CMTS)
- Adaptador Terminal de Multimedia (MTA)
- Cable Módem (CM)
- Gateway
- Red de Telefonía Pública Conmutada (PSTN)

2.3.1.1 Sistema de Terminación Cable Módem (CMTS)

Es un equipo que se encuentra en la cabecera de la red HFC y es el responsable del acceso a los servicios de datos de alta velocidad, así como también a los recursos de la red, los cuales serán reservados únicamente cuando exista una petición de servicio.

El CMTS determina las políticas y mensajes para que se produzcan los eventos dentro de la red.

2.3.1.2 Adaptador Terminal de Multimedia (MTA)

Es un adaptador que permite convertir la voz en paquetes IP. El algoritmo de codificación/decodificación que se emplea de manera obligatoria corresponde al estándar G.711; y se encuentra dentro del cable módem.

2.3.1.3 Cable Módem (CM)

Un cable módem es un tipo especial de módem diseñado para modular la señal de datos sobre una infraestructura de televisión por cable.

El cable módem en este caso realiza las funciones de un servidor de dirección de llamadas, manteniendo y manejando el estado de la llamada para los servicios de VoIP, éste a su vez está constituido por un agente de llamada (CA) y un agente de control (GC).

El agente de llamada maneja el estado de la llamada y controla el MTA, el agente de control, verifica la calidad de servicio QoS, admisión, control y comunicación con el CMTS para obtener el acceso a los recursos de la red.

2.3.1.4 Gateway

Los gateways son dispositivos que se encargan de interconectar dos redes diferentes; en este caso, las redes PSTN y la red HFC del operador de cable. Cumplen las funciones de señalización, control, interfaz con la red PSTN, conversión IP a una numeración telefónica para los abonados suscritos.

Los softswitchs son gateways con mayor jerarquía dentro del despliegue de telefonía; su importancia radica, en que desempeña funciones que los asemejan a una central telefónica IP realizando transferencias de llamadas, llamadas en espera, facturación,

detección de fallas, coordina la asignación de recursos con el CMTS que a su vez controla los eventos del cliente a través del cable módem entre otros.

Las siguientes funcionalidades permiten que un softswitch se asemeje a una central telefónica IP:

2.3.1.4.1 Controlador de Entrada de Contenido (MGC)

La utilidad de este dispositivo consiste en dirigir las llamadas que se hacen, no dentro de la red de cable, sino hacia la red de telefonía pública. También se encarga de manejar mensajes de señalización de la red PSTN, constituyéndose en el elemento de control.

2.3.1.4.2 Servidor de Administración de Llamadas (CMS)

Es un servidor que actúa como una agenda telefónica para la red IP permitiendo la coordinación entre la plataforma IP y la red HFC. Toma las decisiones de señalamiento y ruteo, iniciadas o terminadas en el MTA.

2.3.1.4.3 Sistemas de Apoyo Operacionales (OSS)

Los sistemas de apoyo operacionales contienen una variedad de servidores, dentro de los que se destacan TFTP, DNS, SNMP, DHCP, etc.

2.3.1.4.4 Servidor Medio (SM)

El servidor medio informa sobre el estado de la llamada, información que recibe de los cable módems, además realiza las tareas de mejorar el rendimiento del audio.

2.3.1.5 PSTN

Es el circuito de red telefónica pública conmutada.

Dentro de la implementación y funcionalidad global del servicio de telefonía, se requiere necesariamente analizar tres campos que determinan enteramente que la prestación de este servicio cubra todas las expectativas de los clientes finales, dentro de éstas tenemos las siguientes:

1. **Tarifación:** A diferencia del servicio de televisión por cable, la telefonía debe ser facturada de acuerdo al uso que el usuario le da al servicio.
2. **Fiabilidad:** La fiabilidad del servicio telefónico, esta ligada a la fiabilidad de las redes HFC; de aquí la importancia de sistemas redundantes.
3. **Alimentación:** El operador del servicio, debe tener sistemas de alimentación independientes, para garantizar que el servicio telefónico se encuentre presente en ausencia del sistema de energía eléctrica.

2.3.2 INTERNET DE BANDA ANCHA

Los dispositivos más importantes que se manejan dentro del acceso a Internet, son el Sistema de Terminación de Cable Módem (CMTS) y el cable módem (CM); entre los cuales existe una coordinación y sincronización permanente que permite que la prestación del servicio sea un éxito.

Para proporcionar el servicio de Internet de banda ancha, la compañía conecta su cabecera a Internet mediante enlaces de datos de alta capacidad de un proveedor de servicios de red (ISP).

2.3.2.1 CMTS

El CMTS habilita la comunicación con los cable módems de los abonados. Dependiendo del CMTS, el número de cable módems que puede manejar varía entre 4.000 y 150.000 o incluso más.

Para entender lo que es un CMTS se puede pensar en un router con conexiones Ethernet en un extremo y conexiones RF en el otro. La interfaz RF transporta las señales hacia y desde el cable módem del abonado.

De hecho, la mayoría de CMTS tienen tanto conexiones Ethernet como interfaces RF. De esta forma, el tráfico que llega de Internet puede ser enrutado mediante la interfaz Ethernet a través del CMTS y después a las interfaces RF que están conectadas a la red HFC de la compañía de cable. El tráfico viaja por la red HFC para acabar en el cable módem del domicilio del abonado. Obviamente, el tráfico que sale del domicilio del abonado pasará por el cable módem y saldrá a Internet siguiendo el camino contrario.

Un CMTS típico, permite al ordenador del abonado obtener una dirección IP mediante un servidor DHCP. Además, le asigna un gateway, servidores DNS, etc.

El CMTS también puede incorporar un filtrado básico como protección contra usuarios no autorizados y ciertos ataques. Se suele utilizar la regulación de tráfico para restringir las velocidades de transferencia de los usuarios finales. Un CMTS puede actuar como bridge o router.

2.3.2.2 Cable Módem (CM)

Los cable módems se utilizan principalmente para distribuir el acceso a Internet de banda ancha, aprovechando el ancho de banda que no se utiliza en la red de TV por cable.

2.3.2.2.1 Proceso de inicialización de un Cable Módem

“Después de haberse encendido el cable módem, éste comienza a buscar, en el espectro downstream de RF, una portadora modulada en forma digital (64 ó 256-QAM) que contenga información específica del cable módem. Una vez que se ha sincronizado con la portadora adecuada, el cable módem busca, entre los datos que se envían desde la central, un mensaje conocido como Descriptor de Canal Upstream (UCD, por sus siglas en inglés) que le indica la frecuencia a la que deberá transmitir. El cable módem comienza a transmitir en la frecuencia upstream asignada, incrementando gradualmente su potencia hasta que sea escuchado por el CMTS. Es en este punto donde inicia la transmisión bidireccional entre el cable módem y la central de datos. Después de iniciada esta transmisión, terminan de ajustarse los niveles de operación de la frecuencia upstream del cable módem y se establece la sincronía necesaria para evitar colisiones de datos con otros cable módems.

Lo que sigue en el proceso de inicialización es establecer la conectividad con el protocolo de Internet. Para ello, el cable módem envía al CMTS una solicitud de protocolo de configuración de huésped dinámico (DHCP, por sus siglas en inglés) para obtener una dirección de IP y otros parámetros adicionales, necesarios para establecer la conexión por medio de este protocolo. Inmediatamente después, el cable módem solicita al servidor de hora del día (TOD, por sus siglas en inglés), la fecha y hora exacta, que se utilizará para almacenar los eventos de acceso del suscriptor.

Resta todavía la configuración propia del cable módem, la cual se lleva a cabo después de las solicitudes DHCP y TOD. El CMTS descarga al cable módem ciertos parámetros de operación vía el protocolo simple de transferencia de archivos (TFTP). Terminada esta descarga, el cable módem realiza un proceso de registro y, en el caso de utilizar la especificación DOCSIS de Privacidad de Línea Base (BP, por sus siglas en inglés) en la red, el cable módem deberá adquirir la información necesaria de la central y seguir los procedimientos para inicializar el servicio. BP es una

especificación de DOCSIS 1.0 que permite el encriptado de los datos transmitidos a través de la red de acceso. El encriptado que utiliza BP sólo se lleva a cabo para la transmisión sobre la red, ya que la información es desencriptada al momento de llegar al cable módem o al CMTS. DOCSIS 1.1 integra a esta interfase de seguridad, especificaciones adicionales conocidas como Interfase Adicional de Privacidad de Línea Base (BPI+, por sus siglas en inglés), las cuales, entre otras cosas, definen un certificado digital para cada cable módem, que hace posible su autenticación por parte del CMTS.

Asumiendo que el proceso de inicialización se ha desarrollado satisfactoriamente, el cable módem está listo para utilizar la red como cualquier otro dispositivo Ethernet.”
[1]

Es importante señalar que todos los eventos que ocurren durante el proceso de inicialización del cable módem son transparentes al usuario.

2.3.3 TELEVISIÓN IP CON DOCSIS Y OPENCABLE

La televisión IP (también conocida como IPTV) es la denominación común para la transmisión de las señales de video mediante el protocolo IP a través de una conexión de banda ancha mucho más rápida que las existentes en la actualidad.

La diferencia entre la televisión actual e IPTV radica en que los canales de televisión ya no transmitirán la misma programación para todos los usuarios, sino que la programación únicamente llegará al usuario cuando éste lo solicite; es decir, IPTV permite la personalización de contenidos para cada usuario.

Otra de las virtudes de la televisión IP radica en que el suscriptor del servicio podrá manipular la programación no sólo para almacenarla y verla cuando lo desee; sino que además, podrá hacer pausa, adelantarla o regresarla o saltar a otra parte del

programa; es decir, podrá manipular la programación como si fuera la reproducción de un CD.

CableLabs y la plataforma OpenCable brinda las especificaciones para garantizar la compatibilidad de los Set Top Box de diversos fabricantes.

2.3.3.1 Capacidad requerida

La capacidad estimada para servicios de televisión IP se asume en 1.5 Mbps por cada canal de definición estándar (SDTV) y 8 Mbps por cada canal de alta definición (HDTV). Si consideramos que en cada casa se encuentran en promedio tres televisiones, tenemos que el ancho de banda mínimo será de 4.5 Mbps (considerando canales de definición estándar).

2.3.3.2 Arquitectura para ofrecer televisión IP

Dentro de la arquitectura necesaria para la distribución del servicio de televisión IP se debe considerar los siguientes módulos:

- Adquisición del contenido
- Almacenamiento y servidores de video
- Distribución de contenido
- Set Top Box (STB)
- Software

2.3.3.2.1 Adquisición del contenido

El contenido se puede obtener a través de Internet, de algún proveedor de contenidos o de un distribuidor de señales de televisión; para el caso de señales de televisión analógica, se utiliza codificadores que permiten que el flujo de video pueda ser transportado por IP. La elección del codificador (comúnmente denominado codec)

es de suma importancia porque determina la calidad del video y audio final, la tasa de transferencia de bits necesaria para la transmisión, la robustez ante la pérdida de datos, el tipo de algoritmo de compresión, el retraso por transmisión entre otros factores.

2.3.3.2.1.1 Formatos de compresión en televisión IP

Dentro de los formatos de compresión de video empleados para televisión IP se encuentran los siguientes:

- **H.261.-** Fue el primer estándar de compresión de video digital. Fue la base para los formatos posteriores.
- **MPEG-1.-** Logra calidad similar al formato VHS. Es compatible con todos los computadores y casi todos los DVD.
- **MPEG-2.-** Es el usado en los DVD y permite imagen a pantalla completa con buena calidad.
- **H.263.-** Permite bajas tasas de transmisión con una calidad aceptable. Es usado especialmente en videoconferencia y videotelefonía.
- **MPEG-4 parte 2.-** Ofrece una calidad mejorada con respecto a MPEG-2 y la primera versión de H.263
- **MPEG-4 parte 10.-** Es el más usado actualmente por una gran variedad de aplicaciones; siendo adoptado por productos como el Play Station Portátil, la gama de reproductores Nero Digital, la próxima versión de Mac OS X v10.4, entre otros.
- **WMV.-** se utiliza tanto para video de poca calidad a través de Internet con conexiones lentas así como para video de alta definición. Puede considerarse una mejora del MPEG-4.
- Otros codecs conocidos desarrollados por diversas empresas orientadas a la manipulación de video son el RealVideo, Sorenson 3, Cinepak, VID, DivX y Ogg Theora.

2.3.3.2.2 Almacenamiento y servidores de video

Los servidores realizan diversas funciones, entre ellas el almacenamiento y respaldo de contenido, la administración del video bajo demanda, también proporciona información para la facturación del servicio.

Esta etapa está totalmente basada en plataformas de servidores IP son sistemas operativos tipo Linux y Windows, capaces de entregar múltiples flujos de video de manera simultánea.

2.3.3.2.3 Distribución de contenido

Es importante notar que a diferencia de un sistema de televisión por cable, en los sistemas IPTV no se hace combinación de señales porque el contenido se envía de manera independiente a cada suscriptor, a través de flujos individuales de video.

Actualmente se usan protocolos estándares como Gigabit Ethernet para transportar el contenido a través de la red del proveedor de servicio.

2.3.3.2.4 Set Top Box (STB)

Es el equipo receptor o caja decodificadora encargado de la recepción de decodificación de la señal digital de televisión IP, para luego ser mostrada en un televisor convencional analógico.

Algunos Set Top Box cuentan con disco duro, lo que permite almacenar la programación recibida para observarla tantas veces como se desee.

2.3.3.2.5 *Software*

El software es el responsable de presentar algunas funcionalidades del servicio al usuario final, de modo gráfico y amigable, como la guía de programación interactiva que corre en el Set Top Box del usuario.

CAPÍTULO 3

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

3 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

3.1 INTRODUCCIÓN

Una vez conocida la infraestructura de red con la que cuenta CATEL S.A., se procede al análisis de los puntos más vulnerables de la red y se desarrollará la solución para dicha vulnerabilidad; de igual manera, una vez conocida la tecnología y los tipos de equipos necesarios para brindar los nuevos servicios, se procede al cálculo de las capacidades necesarias para el servicio de telefonía así como para el servicio de Internet de banda ancha; con esto, se procede a elegir los equipos que satisfagan estas capacidades y se presenta los valores económicos de los mismos.

3.2 PUNTOS VULNERABLES DE LA RED DE CATEL

Dado que el servicio de televisión por cable es unidireccional; es decir, que solo existe envío de información desde la cabecera hacia el usuario, la empresa CATEL tiene conectado un único hilo de fibra óptica; sin embargo, los servicios de telefonía e Internet requieren comunicación bidireccional (en ambos sentidos); razón por la cual, es necesario que se conecte un segundo hilo de fibra óptica, el cual será destinado para la comunicación en sentido ascendente (usuario-cabecera). Como se explicó en el apartado 1.4.2, CATEL ya tiene instalado el segundo hilo haciendo falta únicamente fusionar los conectores a cada extremo de la fibra.

Una vez analizado el problema de la comunicación bidireccional, se debe considerar que la red aún presenta vulnerabilidades a nivel de la red primaria, ya que cuenta con un único par de fibra óptica; razón por la cual, se constituye en el punto más crítico y vulnerable de la red, puesto que un corte o cualquier daño que se produzca sobre el mismo afectaría a toda la red, suspendiendo el servicio a todos los usuarios; es por esta razón, que es indispensable la instalación de un sistema de redundancia para la red primaria; el cual, debe ser instalado por un camino diferente al ya existente.

Otro punto débil en la red HFC de CATEL S.A., es el hecho de que la señal de televisión por cable viaja sin codificación hasta el usuario final; y es por esta razón, que cualquier persona con conocimientos básicos sobre electrónica puede derivar la señal a nivel de la red de acometida mediante un splitter; sin que CATEL S.A. pueda evitarlo ni detectarlo. La inclusión de splitters por el mismo usuario o por personas ajenas es recién detectable cuando el usuario se queja debido a la mala calidad de señal que llega a su televisor.

La solución a este inconveniente sería enviar la señal de televisión codificada desde la Cabecera y decodificarla antes de ingresar al televisor (proceso utilizado por la empresa TV Cable); mas sin embargo, la empresa CATEL S.A. no tiene entre sus planes la codificación de la señal por cuanto las pérdidas no superan el 3% de los ingresos¹ y no justifican la inversión necesaria para prevenirlas.

Siguiendo el mismo procedimiento anterior, la señal compuesta por los datos de Internet, voz y televisión puede ser derivada hacia otro usuario sin que éste haya contratado los servicios. Este inconveniente queda solucionado para los servicios sobre IP gracias al estándar DOCSIS, ya que provee de autenticación a los cable módems a través de un protocolo de direcciones mediante el Certificado Digital X509; así como también encriptación de los datos mediante DES o 3DES; sin embargo, no se puede evitar que la señal de televisión por cable sea observada por terceros.

Como todas las redes de planta externa, las redes de distribución y acometida de CATEL S.A. no se encuentran exentas de daños, sean éstos producidos por el hombre o por la naturaleza. Para solucionar estos inconvenientes, CATEL dispone en sus bodegas de los equipos, material y herramientas necesarios para solucionar estos inconvenientes, además de contar con personal capacitado para dichas tareas.

¹ Información proporcionada por CATEL S.A., Departamento técnico.

3.3 INVERSIÓN NECESARIA EN LA RED PRIMARIA

Del análisis de las vulnerabilidades que presenta la red HFC de CATEL S.A., se determinó la necesidad de conectar un segundo hilo de fibra óptica para el sentido usuario-cabecera, así como la instalación de un sistema de redundancia para la red primaria.

Dentro de esta inversión es necesario agregar un receptor óptico en la Cabecera, el cual será el encargado de recibir los pulsos de luz y transformarlos en la señal de radio frecuencia que contiene los datos provenientes de los servicios de telefonía e Internet de banda ancha proveniente de los usuarios. Físicamente este equipo es muy similar al transmisor óptico instalado en la cabecera (figura 1.12).

En la tabla 3.1 se observa el costo de los materiales necesarios para la conexión de un segundo hilo de fibra óptica y para la instalación del sistema de fibra óptica redundante.

Cantidad	Material	Precio individual	Precio total
6	Conectores	3.38	20.28
1	Receptor óptico	850.00	850.00
1730 m	Fibra óptica	1.30	5980.00 ¹
TOTAL			6850.28

Tabla 3.1: Costos de materiales

Los precios indicados en la tabla 3.1 son precios de venta al público incluidos impuestos² en Ecuador.

¹ Precio referencial de una bobina de 4600 metros de cable conformado por 12 hilos de fibra óptica monomodo.

² Valores proporcionados por CATEL S.A., departamento de contabilidad.

La trayectoria planteada para el sistema de redundancia es completamente diferente a la trayectoria de la fibra óptica ya instalada por lo que no se cruzan en ninguna parte del trayecto. La trayectoria planteada para el sistema de redundancia se muestra en el Anexo II.

3.4 CÁLCULO DEL RETRASO DE TRANSMISIÓN EN LA RED HFC DE CATEL S.A.

En las tablas 2.5 y 2.6 se observa que el retraso que debe existir entre el cable módem más distante y el CMTS debe ser igual o menor a 0.8 ms. Para determinar el retraso existente a través de un tramo de la red, se debe dividir la distancia correspondiente a dicho tramo entre la velocidad de propagación del mismo. La velocidad de transmisión dependerá del medio que se utilice. La velocidad de propagación de los cables coaxiales utilizados en la red de distribución y acometida, se encuentran en las tablas 1.9 y 1.13 respectivamente.

La ecuación utilizada para determinar el retraso de transmisión es:

$$t = \frac{d}{v}$$

Para calcular el retraso de transmisión a nivel de la red primaria, se considera la distancia recorrida por el sistema de redundancia de fibra óptica; debido a que esta distancia es mayor que la que recorre la fibra óptica instalada actualmente. El retraso de transmisión al recorrer la red primaria es:

$$d = 1730 \text{ m}$$

$$v = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$t = 5.76 \mu\text{s}$$

Para calcular el retraso de transmisión al recorrer la red de distribución, se considera que la velocidad de propagación a través del cable coaxial # 500 es del 87% de la velocidad de la luz en el vacío (ver tabla 1.9). Con esta consideración, se tiene que el retraso de transmisión al recorrer la red de distribución es de:

$$d = 2500 \text{ m}$$

$$v = 0.87 \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})$$

$$t = 9.6 \mu\text{s}$$

Para calcular el retraso de transmisión al recorrer la red de acometida, se considera que la velocidad de propagación a través del cable coaxial # 6 es del 82% de la velocidad de la luz en el vacío (ver tabla 1.13). Con esta consideración, se tiene que el retraso al recorrer la red de acometida es de:

$$d = 100 \text{ m}$$

$$v = 0.82 \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})$$

$$t = 0.4 \mu\text{s}$$

El retraso de transmisión total es igual a la suma de los retrasos parciales en cada tramo de la red, por lo que el retraso de transmisión total es:

$$t = 5.76 \mu\text{s} + 9.6 \mu\text{s} + 0.4 \mu\text{s}$$

$$t = 15.76 \mu\text{s}$$

Se puede observar que el retraso existente entre el Cable Módem más lejano y el CMTS se encuentra dentro de los 800 μs permitidos por el estándar DOCSIS.

3.5 INFRAESTRUCTURA REQUERIDA EN LA RED

En la figura 3.1 se observa la infraestructura requerida tanto en la cabecera como en el lado del usuario para brindar los nuevos servicios basados en el protocolo IP. En la cabecera se puede observar que el CMTS permite el acceso de los usuarios hacia la red de Internet y hacia los servidores de video en el caso del servicio de televisión IP; además, el CMTS enruta el tráfico telefónico hacia el Softswitch, el cual sirve de interface entre la red HFC y la red telefónica tradicional. En el lado del usuario, se debe instalar un Cable Módem; a través del cual, pasará la información desde y hacia Internet. Este Cable Módem debe incorporar un Adaptador Terminal de Multimedia (MTA) para permitir el tráfico de voz realizando la conversión análogo-digital para el caso de una llamada realizada y la conversión digital-análogo para el caso de una llamada recibida; de igual manera, el cliente debe tener instalado un Set Top Box, el cual transformará la información digital en analógica proveniente desde los servidores de video ubicados en la cabecera hacia su televisor.

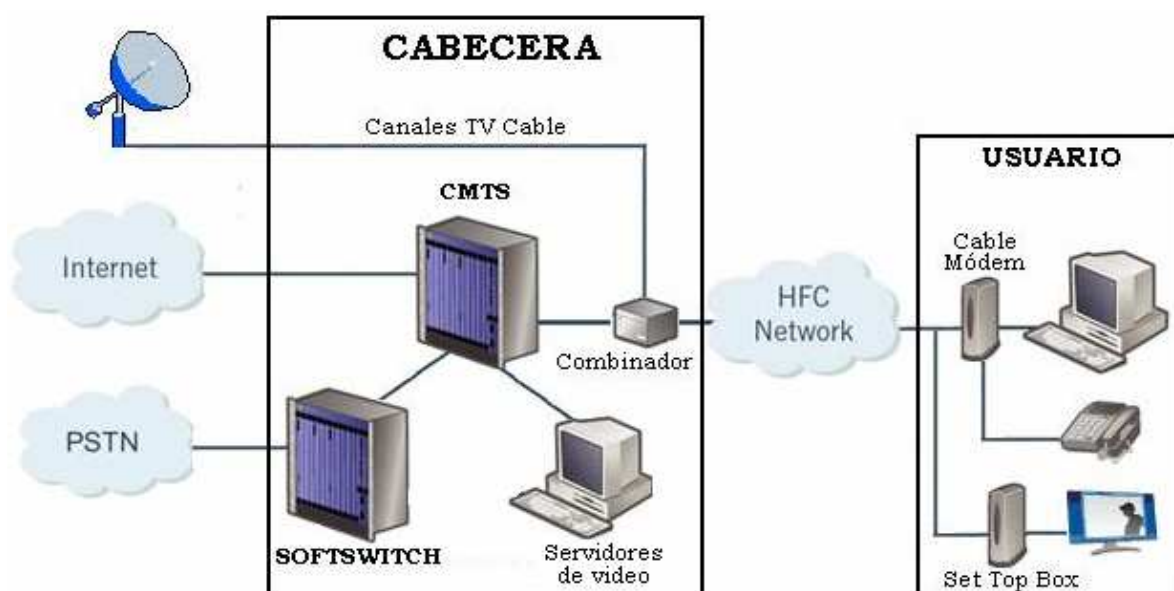


Figura 3.1: Infraestructura requerida para los nuevos servicios en la red de CATEL

3.6 CAPACIDAD REQUERIDA PARA EL SERVICIO DE INTERNET

Es necesario realizar el cálculo de la capacidad requerida en la red para brindar el servicio de Internet; de este cálculo, se determinará el número de equipos que satisfacen los requerimientos del sistema. Para desarrollar el cálculo, se considerará que la penetración del servicio de Internet en el Ecuador es del 13.27%, de los cuales, el 75.2% corresponde a usuarios Dial-up mientras que el 24.8% son usuarios con conexiones dedicadas¹. Con esta información, y considerando los clientes proyectados para este año de la empresa CATEL S.A. se tiene que:

$$\# \text{ de usuarios de Internet} = 2000 \times 0.1327$$

$$\# \text{ de usuarios de Internet} = 266$$

$$\# \text{ usuarios Dial-up} = 266 \times 0.752$$

$$\# \text{ usuarios Dial-up} = 200$$

$$\# \text{ usuarios dedicados} = 266 \times 0.248$$

$$\# \text{ usuarios dedicados} = 66$$

Para el cálculo de la capacidad se considera que los usuarios Dial-up contratan la velocidad más baja ofrecida por el operador (64 / 32 Mbps); mientras que del resto de usuarios, un 70% contrata enlaces de 128 / 64 Mbps, un 25% contrata enlaces de 256 / 128 Mbps y el 5% restante contrata enlaces de 512 / 256 Mbps.

El servicio de Internet de banda ancha se caracteriza por ser asimétrico; es decir, que la tasa de transferencia de datos descendente (cabecera-usuario) es mayor que la tasa de transferencia en sentido contrario. El primer valor de la velocidad contratada corresponde al canal descendente, mientras que el segundo valor corresponde al canal ascendente.

¹ Información publicada por la Superintendencia de Telecomunicaciones en la página www.supertel.gov.ec

En la tabla 3.2 se observa la clasificación de los usuarios según la velocidad contratada así como el número estimado de usuarios dentro de cada clase.

Clase de usuario	Velocidad contratada	Usuarios
A	64/32 Kbps	200
B	128/64 Kbps	46
C	256/128 Kbps	17
D	512/256 Kbps	3

Tabla 3.2: Proyección de usuarios del servicio de Internet en Solanda

Para calcular la capacidad necesaria para cada clase de usuario, multiplicamos la velocidad contratada por el número de usuarios que han contratado dicha velocidad. En la tabla 3.3 se muestra la capacidad requerida por cada clase de usuario tanto en el canal de bajada como en el de subida.

Clase de usuario	Velocidad contratada (Kbps)	Capacidad total (Kbps)
A	64 / 32	12800 / 6400
B	128 / 64	5888 / 2944
C	256 / 128	4352 / 2176
D	512 / 256	1536 / 768

Tabla 3.3: Capacidades necesarias para el servicio de Internet en Solanda

Dado que el servicio de Internet no es ocupado durante todo el tiempo por los usuarios, se empleará compresión 8 a 1 en los usuarios pertenecientes a las clases A y B; mientras que, para los usuarios que pertenecen a las clases C y D se empleará compresión 4 a 1 debido a que éstas velocidades son contratadas por usuarios que revenden el servicio de Internet a través de Café-Nets.

En la tabla 3.4 se observa la capacidad requerida al utilizar compresión.

Clase de usuario	Capacidad total sin compresión (Kbps)	Capacidad total con compresión (Kbps)
A	12800 / 6400	1600 / 800
B	5888 / 2944	736 / 368
C	4352 / 2176	1088 / 544
D	1536 / 768	384 / 192

Tabla 3.4: Capacidades necesarias con compresión

La capacidad total necesaria para brindar el servicio de Internet es igual a la suma de las capacidades individuales.

$$\text{Capacidad total} = 3.81 / 1.91 \text{ Mbps}$$

Para hallar el número de canales de 6 MHz necesarios; se debe hallar la relación entre la capacidad total requerida para el servicio de Internet y la velocidad de transferencia de datos permitidas por DOCSIS, tanto en el canal descendente como en el ascendente.

Para el tráfico descendente se tiene:

$$\# \text{ canales} = \frac{3.81 \text{ Mbps}}{42.88 \text{ Mbps}}$$

$$\# \text{ canales} = 0.09 \text{ canales}$$

$$\# \text{ canales} = 1 \text{ canal}$$

Para el tráfico ascendente se tiene:

$$\# \text{ canales} = \frac{1.91 \text{ Mbps}}{30.72 \text{ Mbps}}$$

$$\# \text{ canales} = 0.06 \text{ canales}$$

$$\# \text{ canales} = 1 \text{ canal}$$

Al igual que con el servicio de telefonía, se debe garantizar que el servicio de Internet soporte eventuales crecimientos del número de usuarios; razón por la cual, se repite este cálculo considerando la proyección del número de usuarios del servicio de televisión por cable para el año 2012 utilizando el Método de Gompertz (se ha optado por proyectar el crecimiento de usuarios y no la penetración del servicio de Internet debido a la linealidad de los datos).

La ecuación de Gompertz es:

$$P = e^{(a - b \times r^T)} \quad (1)$$

Donde: P es la proyección al año T

T es el tiempo en años a partir de un origen determinado

a, b, r son parámetros de la ecuación. ($r < 1$)

El número de clientes de CATEL en el año 2006 (año 0) fue 1600.

El número de clientes estimado por CATEL para el año 2007 (año 1) es 2000¹.

¹ Información proporcionada por CATEL S.A.

Considerando una saturación del mercado con 5000 clientes a $T = \infty$ se tiene:

$$5000 = e^{(a-bx^{\infty})}$$

$$5000 = e^a$$

$$a = 8.5172$$

Considerando los clientes en el año 2006 ($T = 0$) se tiene:

$$1600 = e^{(8.5172-bx^0)}$$

$$1600 = e^{(8.5172-b)}$$

$$b = 1.1394$$

Considerando los clientes proyectados al año 2007 ($T = 1$) se tiene:

$$2000 = e^{(8.5172-1.1394x^1)}$$

$$r = 0.8042$$

Por lo tanto, la ecuación del crecimiento de la densidad telefónica es:

$$P = e^{(8.5172-1.1394 \times 0.8042^T)}$$

La figura 3.2 muestra la proyección del número de clientes del servicio de televisión por cable de la empresa CATEL. El año 1 en la gráfica corresponde al año 2006.

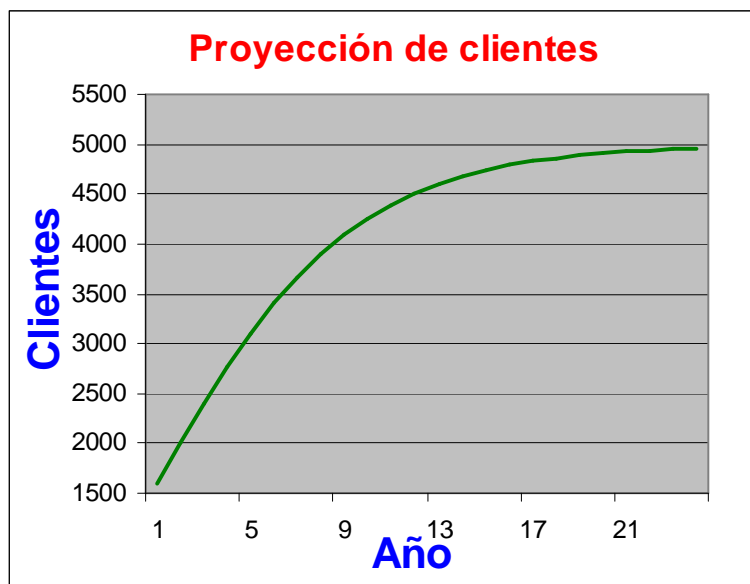


Figura 3.2: Proyección de clientes del servicio de televisión por cable de CATEL

El número de clientes para el año 2012 ($T = 6$) será:

$$P = e^{(8.5172 - 1.1394 \times 0.8042^6)}$$

$$P = 3674$$

Manteniendo las consideraciones de cálculo iniciales; es decir, una penetración del servicio de Internet del 13.27%, de los cuales, el 75.2% corresponde a usuarios Dial-up mientras que el 24.8% son usuarios con conexiones dedicadas¹, se procede a calcular el número de usuarios del servicio de Internet para el año 2012.

$$\# \text{ de usuarios de Internet} = 3674 \times 0.1327$$

$$\# \text{ de usuarios de Internet} = 488$$

$$\# \text{ usuarios Dial-up} = 488 \times 0.752$$

$$\# \text{ usuarios Dial-up} = 367$$

¹ Información publicada por la Superintendencia de Telecomunicaciones en la página www.supertel.gov.ec

usuarios dedicados = 488×0.248

usuarios dedicados = 121

Para el cálculo de la capacidad se considera que los usuarios Dial-up contratan la velocidad más baja ofrecida por el operador (64 / 32 Mbps); mientras que del resto de usuarios, un 70% contrata enlaces de 128 / 64 Mbps, un 25% contrata enlaces de 256 / 128 Mbps y el 5% restante contrata enlaces de 512 / 256 Mbps.

En la tabla 3.5 se observa la clasificación de los usuarios según la velocidad contratada así como el número estimado de usuarios dentro de cada clase.

Clase de usuario	Velocidad contratada	Usuarios
A	64/32 Kbps	367
B	128/64 Kbps	85
C	256/128 Kbps	30
D	512/256 Kbps	6

Tabla 3.5: Proyección de usuarios del servicio de Internet al año 2012 en Solanda

En la tabla 3.6 se muestra las capacidades necesarias con compresión y sin compresión tanto en el canal de bajada como en el de subida para cada clase de usuario.

Clase de usuario	Capacidad total sin compresión (Kbps)	Capacidad total con compresión (Kbps)
A	23488 / 11744	2936 / 1468
B	10880 / 5440	1360 / 6800
C	7680 / 3840	1920 / 960
D	3072 / 1536	768 / 384

Tabla 3.6: Capacidades necesarias para el servicio de Internet en Solanda

La capacidad total necesaria es:

$$\text{Capacidad total} = 6.98 / 3.49 \text{ Mbps}$$

Para hallar el número de canales de 6 MHz necesarios en sentido descendente es:

$$\# \text{ canales} = \frac{6.98 \text{ Mbps}}{42.88 \text{ Mbps}}$$

$$\# \text{ canales} = 0.16 \text{ canales}$$

$$\# \text{ canales} = 1 \text{ canal}$$

En sentido ascendente se tiene:

$$\# \text{ canales} = \frac{3.49 \text{ Mbps}}{30.72 \text{ Mbps}}$$

$$\# \text{ canales} = 0.11 \text{ canales}$$

$$\# \text{ canales} = 1 \text{ canal}$$

3.7 CAPACIDAD REQUERIDA PARA EL SERVICIO DE TELEFONÍA

De igual manera, se realiza el cálculo de la capacidad requerida para brindar el servicio de telefonía. Para desarrollar el cálculo de la capacidad requerida en la red, se considerará los 10000 hogares existentes en el barrio de Solanda así como la penetración actual del servicio telefónico de Andinatel S.A., la cual es del 16.98%¹.

El número de usuarios del servicio telefónico sería:

$$\# \text{ usuarios} = 10000 \times 0.1698$$

$$\# \text{ usuarios} = 1698$$

La intensidad de tráfico es la relación entre el tiempo que permanece ocupada una línea telefónica con respecto a un tiempo de observación. Se mide en Erlangs. Algunos valores típicos para tráfico telefónico son:

- Abonado residencial: 0.01 a 0.04 Erl.
- Abonado profesional (1 sola línea): 0.03 a 0.10 Erl.
- Abonado profesional (varias líneas): 0.10 a 0.60 Erl.
- Abonado promedio: 0.06 Erl. [2]

Para hallar el tráfico generado por todos los usuarios del servicio, multiplicamos el tráfico promedio por el número total de abonados.

$$A = n * \frac{\text{Erl}}{\text{abonado}}$$

¹ Información publicada por la Superintendencia de Telecomunicaciones en la página www.supertel.gov.ec

$$A = 1698 \text{ abonados} * 0.06 \frac{\text{Erl}}{\text{abonado}}$$

$$A = 101.88 \text{ Erl}$$

En un sistema en el que cuando todos los equipos están ocupados, y una llamada entrante o saliente no es aceptada, siendo por lo tanto rechazada, hablamos de una llamada perdida.

Si consideramos una probabilidad de pérdida del 1%, el número de canales necesarios es de:

$$N = 119 \text{ canales}^1$$

Los códecs G.711 presentes en el MTA (Adaptador Terminal de Medios) codifican la señal de voz a 64 Kbps. Un E1 representa 30 canales de voz de 64 Kbps.

$$\# E1 = \frac{119 \text{ canales}}{30 \text{ canales / E1}}$$

$$\# E1 = 3.97 E1$$

$$\# E1 = 4 E1$$

Para determinar el número de canales de 6 MHz que necesitamos, se debe hallar la relación entre la velocidad de los E1 necesarios y la velocidad permitida por DOCSIS en el canal de subida, por cuanto es en éste donde la velocidad es menor y se podría requerir un mayor número de canales.

¹ Obtenido de “Extracto de la Tabla de la Fórmula de Pérdida Erlang de la UIT”, Anexo III

$$\# \text{ canales} = \frac{4 \text{ E1}}{30.72 \text{ Mbps}}$$

$$\# \text{ canales} = \frac{4 * 2.048 \text{ Mbps}}{30.72 \text{ Mbps}}$$

$$\# \text{ canales} = 0.27 \text{ canales}$$

$$\# \text{ canales} = 1 \text{ canal}$$

Se ha tomado como referencia la velocidad en el canal de subida permitida por la versión DOCSIS 2.0; ya que en el mercado, todavía no existen equipos que soporten la última versión de este estándar.

Para garantizar que el servicio telefónico no colapse y soporte eventuales crecimientos del número de usuarios, se repite este cálculo considerando una proyección de la densidad telefónica para el año 2012. Al igual que con el servicio de Internet, se utiliza la Ecuación de Gompertz (ecuación 1) junto con la densidad telefónica de los años 2006 y 2007¹.

La ecuación de Gompertz es:

$$P = e^{(a - b \times r^T)}$$

La densidad telefónica de Andinatel en el año 2006 (año 0) fue del 16.72%.

La densidad telefónica de Andinatel en el año 2007 (año 1) es del 16.98%

¹ Información publicada por la Superintendencia de Telecomunicaciones en la página www.supertel.gov.ec

Considerando una densidad telefónica del 100% a $T = \infty$ se tiene que:

$$a = 4.6052$$

Considerando la densidad telefónica en el año 2006 ($T = 0$) se tiene que:

$$b = 1.7886$$

Considerando la densidad telefónica en el año 2007 ($T = 1$) se tiene:

$$r = 0.9914$$

Por lo tanto, la ecuación del crecimiento de la densidad telefónica es:

$$P = e^{(4.6052 - 1.7886 \times 0.9914^T)}$$

La figura 3.3 muestra la proyección de la densidad telefónica. El año 1 en la gráfica corresponde al año 2006.

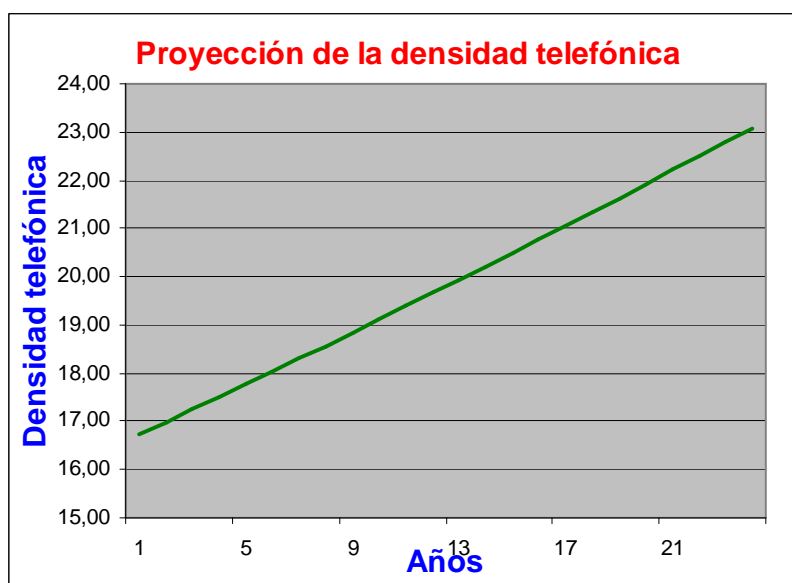


Figura 3.3: Proyección de la densidad telefónica

La densidad telefónica al año 2012 ($T = 6$) será:

$$P = e^{(4.6052 - 1.7886 \times 0.9914^6)}$$

$$P = 18.31$$

Por lo tanto, el número de usuarios del servicio telefónico proyectados para el año 2012 sería:

$$\# \text{ usuarios} = 10000 \times 0.1831$$

$$\# \text{ usuarios} = 1831$$

El tráfico total sería:

$$A = n * \frac{\text{Erl}}{\text{abonado}}$$

$$A = 1831 \text{ abonados} * 0.06 \frac{\text{Erl}}{\text{abonado}}$$

$$A = 109.86 \text{ Erl}$$

Considerando una probabilidad de pérdida del 1%, el número de canales necesarios es de:

$$N = 128 \text{ canales}^1$$

¹ Obtenido de “Extracto de la Tabla de la Fórmula de Pérdida Erlang de la UIT”, Anexo III

El número de E1 requeridos es:

$$\# E1 = \frac{128 \text{ canales}}{30 \text{ canales / E1}}$$

$$\# E1 = 4.27 E1$$

$$\# E1 = 5 E1$$

Determinando el número de canales de 6 Mhz se tiene que:

$$\# \text{ canales} = \frac{5 E1}{30.72 \text{ Mbps}}$$

$$\# \text{ canales} = \frac{5 * 2.048 \text{ Mbps}}{30.72 \text{ Mbps}}$$

$$\# \text{ canales} = 0.33 \text{ canales}$$

$$\# \text{ canales} = 1 \text{ canal}$$

En las figuras 3.4 y 3.5 se observa la distribución en el espectro de frecuencias para los canales ascendentes y descendentes considerando la prestación de los servicios de Internet y telefonía IP.

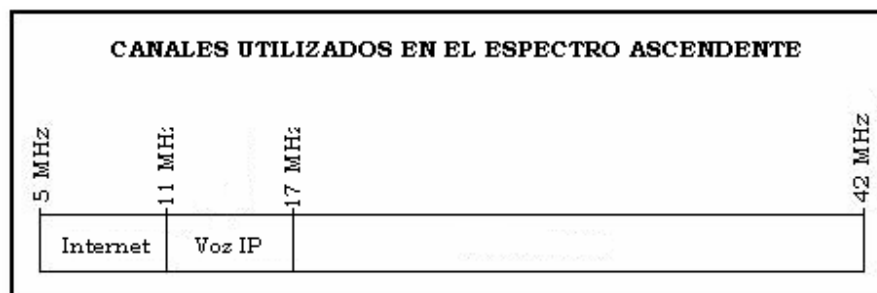


Figura 3.4: Espectro de frecuencias utilizadas en el canal ascendente

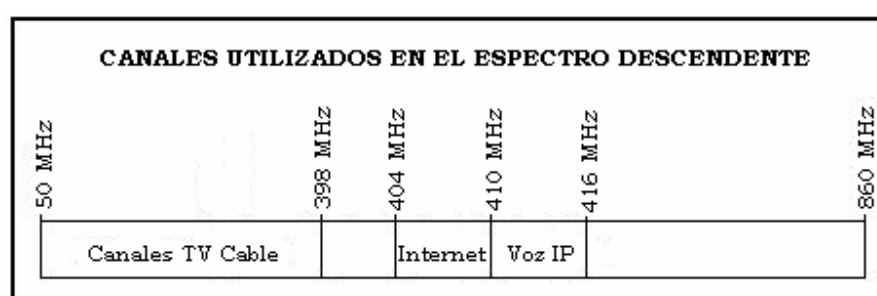


Figura 3.5: Espectro de frecuencias utilizadas en el canal descendente

Conocidas las capacidades necesarias para la implementación de los nuevos servicios, procedemos a la elección de los equipos que satisfagan nuestros requerimientos.

En la tabla 3.7 se observa la inversión requerida para adquirir los equipos necesarios para brindar el servicio de telefonía e Internet de banda ancha, considerando los 1750 usuarios (proyección de los usuarios del servicio de telefonía para el año 2009), con equipos de marca CISCO:

El valor de los equipos de la tabla 3.7 corresponde a precios internacionales, los cuales fueron tomados de la base de datos de la empresa "UNIPLEX S.A.", a este valor debe sumársele un porcentaje correspondiente a nacionalización, el cual oscila entre un 20% y 30%.

Cantidad	Equipo	Modelo	Valor unitario	Valor total
1	CMTS	SP-RR-UBR7246v4	9233	9233
1750	E/MTA	DPC2203 ¹	50	87500
1	Softswitch	BTS10200-RTU-P50	9000	9000
TOTAL				105733

Tabla 3.7: Inversión en equipos CISCO

En la tabla 3.8 se observa la misma inversión con equipos marca MOTOROLA:

Cantidad	Equipo	Modelo	Valor unitario	Valor total
1	CMTS	BSR2000	7500	7500
1750	E/MTA	SBV5120	35	61250
1	Softswitch	SAFARI C3 ²	8640	8640
TOTAL				77390

Tabla 3.8: Inversión en equipos MOTOROLA

Los valores mostrados en la tabla 3.8 pertenecen a la empresa TVCINC Colombia, y ya incluyen IVA³. A este valor debe sumársele el porcentaje correspondiente a nacionalización, el cual oscila entre un 20% y el 30%.

El acceso a Internet de la empresa CATEL S.A se realizará a través de enlaces satelitales. En la tabla 3.9 se observa la inversión requerida para el acceso satelital a Internet⁴.

¹ Este producto es fabricado por Scientific Atlanta, empresa que pertenece a CISCO

² Este equipo no pertenece a la marca MOTOROLA

³ El IVA en Colombia es del 16%

⁴ Los precios fueron dados por la empresa ViaSatelital Internet Networks

Acceso a Internet	Valor
Instalación de equipos	4800
Arriendo mensual del servicio	1500
TOTAL	6300

Tabla 3.9: Inversión para el acceso satelital a Internet

3.8 CAPACIDAD REQUERIDA PARA BRINDAR EL SERVICIO DE TELEVISIÓN IP

La capacidad requerida para cada canal de definición estándar (SDTV) es de 1.5Mbps; mientras que, para cada canal de alta definición (HDTV) es de 8Mbps. Se debe aclarar que un canal es un flujo de video que proporciona el servicio de televisión IP para cada televisor.

El número de usuarios que accederían a este servicio no ha sido determinado; debido a que, los costos de contratar un servicio con tasas de transferencia de datos tan elevadas hace pensar que no existe en la actualidad clientes potenciales para este servicio.

3.9 INVERSIÓN TOTAL

La cotización de los equipos Motorola resulta más atractiva para la implementación de los servicios de telefonía e Internet de banda ancha. En la tabla 3.10 se observa los valores de la inversión considerando la implementación de ambos servicios.

Inversión	Valor
Materiales de fibra óptica	6850.28
Instalación sistema de redundancia	1800.00
Equipos Motorola	77390.00
Acceso a Internet	6300.00
Servidor de antivirus	1000.00
TOTAL	93340.28

Tabla 3.10: Inversión necesaria para implementar el servicio de telefonía e Internet

El servicio de telefonía IP, presenta ventajas únicamente cuando dos usuarios dentro de redes IP desean comunicarse. Si un usuario dentro de una red IP desea comunicarse con un usuario de la red telefónica tradicional, debe sumar en su factura un rubro adicional por interconexión; presentando de esta manera, una desventaja para los usuarios de este servicio; por esta razón, se calcula la inversión requerida para brindar únicamente el servicio de Internet de banda ancha; en el que se ha considerado la compra inicial de 350 Cable Módems así como el Sistema de Terminación Cable Módem (CMTS) de la marca Motorola. Esta inversión se muestra en la tabla 3.11.

Inversión	Valor
Materiales de fibra óptica	6850.28
Instalación sistema de redundancia	1800.00
Equipos Motorola	19750.00 ¹
Acceso a Internet	6300.00
Servidor de antivirus	1000.00
TOTAL	35700.28

Tabla 3.11: Inversión necesaria para implementar el servicio de Internet

¹Precio de 350 Cable Módems y el Sistema de Terminación Cable Módem

3.10 COSTO DEL ESTUDIO

El costo de realizar este estudio de factibilidad se muestra en la tabla 3.12.

Tareas realizadas	Duración	Valor Hora	Valor Total
Recopilación de información	60 horas	\$ 12	\$ 720
Tratamiento de la información	100 horas	\$ 12	\$ 1200
Documentación	80 horas	\$ 12	\$ 960
TOTAL			\$ 2880

Tabla 3.12: Costo de este estudio de factibilidad

3.11 RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

Para determinar el tiempo que le tomará a CATEL S.A. recuperar la inversión inicial, se utilizará el método del Valor Actual Neto (VAN), que consiste en traer al valor presente los ingresos y egresos provenientes de la prestación del servicio de Internet.

Para determinar los ingresos se multiplica el número de usuarios proyectado año a año dentro de cada categoría por el valor de la capacidad contratada. Para determinar los egresos se ha considerado únicamente el valor del enlace a Internet satelital. En la tabla 3.13 se muestra los precios sugeridos para las distintas capacidades a ofrecer.

Velocidad contratada	Precio sugerido
64 / 32 Kbps	\$ 14.90
128 / 64 Kbps	\$ 24.90
256 / 128 Kbps	\$ 39.90
512 / 256 Kbps	\$ 59.90

Tabla 3.13: Precios sugeridos para las distintas capacidades de Internet

En la tabla 3.14 se observa los ingresos y egresos proyectados para los primeros cinco años. Los egresos mostrados en el año 0 corresponden a la inversión inicial del proyecto.

Tiempo	Ingresos	Egresos
Año 0		\$ 38580.28
Año 1	\$ 59800.80	\$ 18000.00
Año 2	\$ 71618.40	\$ 27000.00
Año 3	\$ 83078.40	\$ 27000.00
Año 4	\$ 95848.80	\$ 36000.00
Año 5	\$ 101817.60	\$ 36000.00

Tabla 3.14: Ingresos y egresos provenientes del servicio de Internet

Para traer los ingresos y egresos mostrados en la tabla 3.14 al valor presente, se aplica la siguiente fórmula:

$$VP = \frac{VF}{(1+i)^n}$$

Donde: VP es el valor presente

VF es el valor futuro

i es la tasa activa referencial (i = 15%)

n es el tiempo en años

En la tabla 3.15 se observa los ingresos y egresos traídos al valor presente.

Tiempo	Ingresos	Egresos
Año 0		\$ 38580.28
Año 1	\$ 52000.70	\$ 15652.17
Año 2	\$ 54153.80	\$ 20415.88
Año 3	\$ 54625.40	\$ 17752.94
Año 4	\$ 54801.86	\$ 20583.12
Año 5	\$ 50621.34	\$ 17898.36

Tabla 3.15: Ingresos y egresos en valor presente

Para determinar el tiempo en recuperar la inversión se considera que los ingresos son positivos, mientras que todos los egresos (incluida la inversión inicial) son negativos. Cuando el Valor Actual Neto (VAN) se vuelva positivo, se determina el tiempo en años en recuperar la inversión inicial. En la tabla 3.16 se observa los valores del VAN año a año.

Tiempo	Ingresos	Egresos	VAN
Año 0 (inversión inicial)		- 38580.28	- 38580.28
Año 1	52000.70	- 15652.17	- 2231.76
Año 2	54153.80	- 20415.88	31506.16
Año 3	54625.40	- 17752.94	68378.62
Año 4	54801.86	- 20583.12	102597.37
Año 5	50621.34	- 17898.36	135320.35

Tabla 3.16: Valor Actual Neto

De la tabla 3.16 se puede observar que la inversión inicial será recuperada en el transcurso del segundo año de prestación del servicio de Internet.

En el Anexo V se ha detallado el cálculo de los ingresos y egresos utilizados en este párrafo para determinar el tiempo de recuperación de la inversión inicial.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos durante la elaboración de este estudio de factibilidad se puede concluir que:

El análisis de la situación actual de la red de CATEL S.A. constituye el punto de partida para el presente estudio de factibilidad, ya que permite conocer la infraestructura, los equipos presentes y los parámetros de funcionamiento de la misma. Con estos antecedentes, se analiza los puntos más vulnerables de la red y se desarrolla las soluciones para dichas vulnerabilidades. De este estudio, se puede analizar en primera instancia, los equipos requeridos para la implementación de los nuevos servicios.

Las redes híbridas formadas por fibra óptica y cable coaxial, se han convertido en una solución eficiente no sólo para la prestación del servicio de televisión por cable sino para la prestación de varios servicios adicionales como Internet de banda ancha, telefonía IP e incluso televisión IP. Las redes HFC aprovechan los beneficios ofrecidos por cada tecnología y minimizan el impacto de las limitaciones inherentes a cada una.

La importancia de utilizar un estándar internacional no comercial radica en la interoperabilidad existente entre los productos de varios fabricantes; debido a esto, el operador de cable no está sujeto a una sola marca, sino que tiene la libertad de elegir los equipos que más se adapten a sus necesidades; a este hecho se suma, que al tratarse de un estándar no comercial los fabricantes no trasladan a sus equipos el costo por desarrollar el estándar, haciendo que los precios sean más convenientes para el operador.

El estudio del estándar DOCSIS permite tener un criterio de evaluación adicional de la situación actual de la red así como de los equipos que se necesitan para la implementación de los nuevos servicios.

Dadas las características de los nuevos servicios a implementarse sobre la red HFC de CATEL S.A., es de suma importancia garantizar la confidencialidad e integridad de los datos provenientes desde y hacia los usuarios que han contratado los servicios. Para garantizar la privacidad de los datos, es indispensable encriptar la información, y autenticar al usuario del servicio. Con estas medidas, evitamos que personas sin autorización espíen, copien o manipulen la información que atraviesa la red, en perjuicio tanto del usuario como de la empresa.

Si bien es cierto el estándar DOCSIS especifica varias características bastante optimistas, tales como las velocidades de transmisión que se puede tener (mayores a 120 Mbps en ambos sentidos según la versión 3.0) o la capacidad de usuarios que se puede manejar, se debe tener en cuenta aspectos que hacen que dichas características se vean limitadas y no se cumpla estrictamente lo que la teoría define.

El cálculo de las capacidades requeridas debe ser realizado no solo para los valores esperados; sino también, debe ser realizado considerando una proyección a futuro. Con este sobredimensionamiento se garantiza que la red y el servicio no colapsarán ante un comportamiento inusual por parte de los usuarios; además, también permite un crecimiento en el número de usuarios sin necesidad de realizar modificaciones o ajustes sobre la red o sobre los equipos instalados.

En lo que respecta a la elección de los equipos necesarios para la prestación de los nuevos servicios, ésta se debe realizar en función a los valores obtenidos del cálculo de capacidades, de la información provista por el estudio del estándar así como del valor económico de tales equipos.

Es importante señalar además que la transmisión de voz IP así como los datos provenientes desde Internet no interfieren con los canales del servicio de televisión por cable, ya que viajan a través de canales de ancho de banda modulados a diferentes frecuencias. De igual manera, el tráfico entrante así como el tráfico saliente no interfieren entre si, ya que viajan modulados a distintas frecuencias.

Aunque la versión 3.0 del estándar DOCSIS ya ha sido publicada, existen muy pocos equipos que la soportan. La mayoría de equipos soportan la versión 2.0 siendo éstos los más utilizados por los operadores de cable que ya brindan los servicios de telefonía IP e Internet de banda ancha. Si en el futuro se desea migrar hacia un equipo que soporte la versión más actualizada del estándar, basta solo con reemplazarlo, puesto que cada versión del estándar DOCSIS es compatible con sus predecesoras.

El servicio de televisión IP no presenta mayores inconvenientes tecnológicos para ser ofertado hacia los usuarios. El problema real con este servicio sería el costo extremadamente alto para el usuario por la capacidad requerida para el servicio.

Finalmente, la facilidad de brindar nuevos y mejores servicios a través de la misma red, ha desatado el interés de varios operadores de cable que ven a través de estos servicios la oportunidad atraer nuevos clientes y de afianzarse en el mercado como empresas líderes en el sector del entretenimiento y las telecomunicaciones.

4.2 RECOMENDACIONES

De las experiencias adquiridas durante la elaboración de este estudio de factibilidad se puede recomendar lo siguiente:

Realizar la implementación del servicio de Internet de banda ancha, al haberse demostrado que no requiere de una gran inversión económica y que es factible

desde el punto de vista tecnológico. Esta recomendación no aplica para el servicio de telefonía IP.

Capacitar al personal de ventas sobre las ventajas y potencialidades de los servicios basados en IP; para que a su vez, éstos transmitan a los futuros usuarios sus conocimientos y conseguir un mayor número de clientes en beneficio de la empresa.

Al considerar que los usuarios del servicio telefónico en Solanda llevan años con la operadora fija Andinatel, se recomienda realizar promociones en el lanzamiento del servicio telefónico para que los usuarios se cambien de operadora. En cuanto al servicio de Internet de banda ancha no existe un operador que domine el mercado; pero de igual manera, se recomienda realizar promociones u ofertar el servicio a precios más bajos que las otras operadoras.

Se recomienda realizar supervisiones constantes del estado de la red, debido a que una falla en la misma, puede causar la suspensión de varios usuarios a la vez; para lo cual, debe contar con personal técnico altamente calificado para garantizar un buen servicio al cliente.

Se recomienda a CATEL S.A. realizar un estudio de ingeniería previo a la implementación de los nuevos servicios. Este estudio debe contener un análisis pormenorizado del estado en el que se encuentra la red de distribución a lo largo de todo su trayecto, así como de los equipos instalados en la misma.

De igual manera se recomienda realizar un estudio directo de mercado, en base a encuestas dentro de Solanda, para determinar de manera más exacta el número potencial de clientes para los servicios mencionados durante este estudio de factibilidad; de igual manera, se recomienda realizar un estudio de recuperación de inversión de mayor profundidad, en el que se considere variables tales como los gastos administrativos, gastos generales, papelería, contratación de mayor personal, impuestos, etc.

Se recomienda realizar para posteriores proyectos de titulación diseños de nuevos nodos en el Distrito Metropolitano de Quito a través de tecnologías inalámbricas en los que se incluyan los servicios mencionados en el presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

En el desarrollo de este proyecto de titulación, se recurrió a la siguiente bibliografía y a los siguientes links en Internet:

- Trabajo “Diagnóstico Empresarial”; Miriam Aulestia; Universidad Politécnica Salesiana
- Trabajo “Sistema de Televisión por Cable”; Ing. R. G. Bosco
- en.wikipedia.org
- www.cablemodem.com/specifications/specifications30.html
- www.packetcable.com/specifications/specifications15.html
- www.opencable.com/specifications/ocap.html
- www.cinit.org.mx
- www.cisco.com/en/US/netsol/ns522/networking_solutions_market_segment_solution.html
- distributor.livas.lv/Analog_CATV_HeadEnd.shtml
- www.tvlatinamerica.com/products.aspx
- www.cable-telindustries.com/products.htm
- Manual de construcción y aplicaciones de banda ancha; CommScope
- Folleto de cableado estructurado; Ing. Fernando Carrera; Escuela Politécnica Nacional
- Folleto de comunicación digital; Ing. Pablo Hidalgo; Escuela Politécnica Nacional

Las referencias citadas son las siguientes:

- [1] www.cinit.org.mx/articulo.php?idArticulo=4
- [2] Manual de telefonía; Ing. Pablo Hidalgo; Escuela Politécnica Nacional

ANEXO I

MAPA COMPLETO DE LA RED HFC DE CATEL

El mapa correspondiente al Anexo I fue desarrollado en AUTOCAD 2007.

[Para ver el mapa haga click aquí](#)

ANEXO II

SISTEMA DE REDUNDANCIA

El mapa correspondiente al Anexo II fue desarrollado en AUTOCAD 2007

[Para ver el mapa haga click aquí](#)

ANEXO III

TABLAS DE ERLANG

[Para ver el Anexo III haga click aquí](#)

ANEXO IV

EQUIPOS MOTOROLA

Para ver los pdf de los equipos MOTOROLA haga click en el equipo correspondiente:

[CMTS](#)

[Cable módem CM](#)

[Softswitch](#)

ANEXO V

INGRESOS Y EGRESOS DEL PROYECTO

AÑO 1

INGRESO MENSUAL:

Velocidad contratada	Precio	Clientes ¹	Ingreso mensual
64 / 32 Kbps	\$ 14.90	200	\$ 2980.00
128 / 64 Kbps	\$ 24.90	46	\$ 1145.40
256 / 128 Kbps	\$ 39.90	17	\$ 678.30
512 / 256 Kbps	\$ 59.90	3	\$ 179.70
TOTAL		266	\$ 4983.40

INGRESO ANUAL = \$ 59800.80

EGRESO MENSUAL:

Velocidad contratada	Clientes	Capacidad sin Compresión (Kbps)	Capacidad con Compresión (Kbps)
64 / 32 Kbps	200	12800 / 6400	1600 / 800
128 / 64 Kbps	46	5888 / 2944	736 / 368
256 / 128 Kbps	17	4352 / 2176	1088 / 544
512 / 256 Kbps	3	1536 / 768	384 / 192
TOTAL			3808 / 1904

Costo mensual de arrendar 4 Mbps = \$ 1500

EGRESO ANUAL = \$ 18000

¹ El número de clientes ha sido determinado utilizando la ecuación de Gompertz $P = e^{\left(5.5172 - 1.1394 \times 0.8042^T\right)}$ tal como se indicó en el parágrafo 3.6

AÑO 2

INGRESO MENSUAL:

Velocidad contratada	Precio	Clientes ¹	Ingreso mensual
64 / 32 Kbps	\$ 14.90	239	\$ 3561.10
128 / 64 Kbps	\$ 24.90	55	\$ 1369.50
256 / 128 Kbps	\$ 39.90	20	\$ 798.00
512 / 256 Kbps	\$ 59.90	4	\$ 239.60
TOTAL		318	\$ 5968.20

INGRESO ANUAL = \$ 71618.40

EGRESO MENSUAL:

Velocidad contratada	Clientes	Capacidad sin Compresión (Kbps)	Capacidad con Compresión (Kbps)
64 / 32 Kbps	239	15296 / 7648	1912 / 956
128 / 64 Kbps	55	7040 / 3520	880 / 440
256 / 128 Kbps	20	5120 / 2560	1280 / 640
512 / 256 Kbps	4	2048 / 1024	512 / 256
TOTAL			4584 / 2292

Costo mensual de arrendar 6 Mbps = \$ 2250

EGRESO ANUAL = \$ 27000

¹ El número de clientes ha sido determinado utilizando la ecuación de Gompertz $P = e^{\left(5.5172 - 1.1394 \times 0.8042^T\right)}$ tal como se indicó en el párrafo 3.6

AÑO 3

INGRESO MENSUAL:

Velocidad contratada	Precio	Clientes ¹	Ingreso mensual
64 / 32 Kbps	\$ 14.90	276	\$ 4112.40
128 / 64 Kbps	\$ 24.90	64	\$ 1593.60
256 / 128 Kbps	\$ 39.90	23	\$ 917.70
512 / 256 Kbps	\$ 59.90	5	\$ 299.50
TOTAL		368	\$ 6923.20

INGRESO ANUAL = \$ 83078.40

EGRESO MENSUAL:

Velocidad contratada	Clientes	Capacidad sin Compresión (Kbps)	Capacidad con Compresión (Kbps)
64 / 32 Kbps	276	17664 / 8832	2208 / 1104
128 / 64 Kbps	64	8192 / 4096	1024 / 512
256 / 128 Kbps	23	5888 / 2944	1472 / 736
512 / 256 Kbps	5	2560 / 1280	640 / 320
TOTAL		5344 / 2672	

Costo mensual de arrendar 6 Mbps = \$ 2250

EGRESO ANUAL = \$ 27000

¹ El número de clientes ha sido determinado utilizando la ecuación de Gompertz $P = e^{\left(5.5172 - 1.1394 \times 0.8042^T\right)}$ tal como se indicó en el párrafo 3.6

AÑO 4

INGRESO MENSUAL:

Velocidad contratada	Precio	Clientes ¹	Ingreso mensual
64 / 32 Kbps	\$ 14.90	320	\$ 4768.00
128 / 64 Kbps	\$ 24.90	74	\$ 1842.60
256 / 128 Kbps	\$ 39.90	27	\$ 1077.30
512 / 256 Kbps	\$ 59.90	5	\$ 299.50
TOTAL		426	\$ 7987.40

INGRESO ANUAL = \$ 95848.80

EGRESO MENSUAL:

Velocidad contratada	Clientes	Capacidad sin Compresión (Kbps)	Capacidad con Compresión (Kbps)
64 / 32 Kbps	320	20480 / 10240	2560 / 1280
128 / 64 Kbps	74	9472 / 4736	1184 / 592
256 / 128 Kbps	27	6912 / 3456	1728 / 864
512 / 256 Kbps	5	2560 / 1280	640 / 320
TOTAL			6112 / 3056

Costo mensual de arrendar 8 Mbps = \$ 3000

EGRESO ANUAL = \$ 36000

¹ El número de clientes ha sido determinado utilizando la ecuación de Gompertz $P = e^{\left(5.5172 - 1.1394 \times 0.8042^T\right)}$ tal como se indicó en el parágrafo 3.6

AÑO 5

INGRESO MENSUAL:

Velocidad contratada	Precio	Clientes ¹	Ingreso mensual
64 / 32 Kbps	\$ 14.90	340	\$ 5066.00
128 / 64 Kbps	\$ 24.90	78	\$ 1942.20
256 / 128 Kbps	\$ 39.90	28	\$ 1117.20
512 / 256 Kbps	\$ 59.90	6	\$ 359.40
TOTAL		452	\$ 8484.80

INGRESO ANUAL = \$ 101817.60

EGRESO MENSUAL:

Velocidad contratada	Clientes	Capacidad sin Compresión (Kbps)	Capacidad con Compresión (Kbps)
64 / 32 Kbps	340	21760 / 10880	2720 / 1360
128 / 64 Kbps	78	9984 / 4992	1248 / 624
256 / 128 Kbps	28	7168 / 3584	1792 / 896
512 / 256 Kbps	6	3072 / 1536	768 / 384
TOTAL			6528 / 3264

Costo mensual de arrendar 8 Mbps = \$ 3000

EGRESO ANUAL = \$ 36000

¹ El número de clientes ha sido determinado utilizando la ecuación de Gompertz $P = e^{\left(5.5172 - 1.1394 \times 0.8042^T\right)}$ tal como se indicó en el parágrafo 3.6