



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICO  
PARA QUE OPERADORES DE SERVICIOS MEDIANTE  
CABLE MODEMS OPTEN POR MIGRAR AL ESTÁNDAR  
DOCSIS 3.1”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Previo a la obtención del Título de:

**MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES**

**MIGUEL GERARDO QUIZHPI MEJÍA**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO: 2017**

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme la paciencia, la persistencia y la fortaleza, pues son ellas las que me han permitido finalizar este trabajo, también por guiarme y acercarme a las personas y medios que han hecho posible que logre terminar con éxito esta tesis.

Quiero también agradecer a aquellas personas que compartieron sus conocimientos conmigo para llevar adelante este trabajo. Agradezco de manera especial a mi Director de Tesis al Master Cesar Yépez por su asesoría constante; al M. Sc. Édison Isaías del Rosario por su ayuda y asesoramiento. Gracias también a mis compañeros y amigos por el aporte y ayuda brindados, tanto con información valiosa como con apoyo moral.

A mi familia por la fuerza y el empuje que me proporcionaban, por todo el tiempo, el apoyo y la ayuda brindada. Conocedores de lo importante que es mi desarrollo profesional, me alentaron en todo momento.

Muchas gracias a todos.

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar esta maestría a mis padres y hermanos por su gran ejemplo de superación y por el apoyo brindado en todo este periplo.

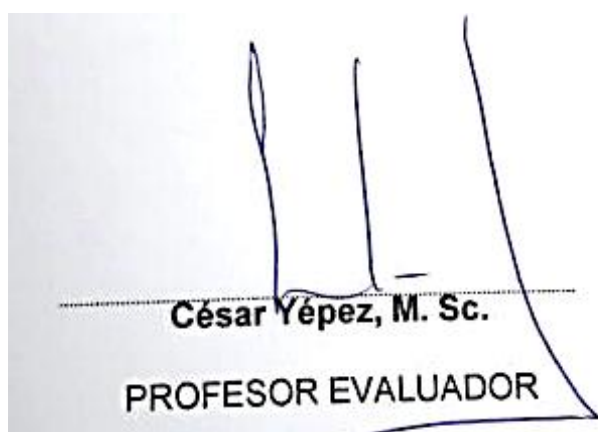
A mis familiares y amigos por apoyarme y darme constantemente palabras de aliento; lo que permitió culminar con éxito esta maestría, que en ciertos momentos se hacía duro, pero ahora finalmente vemos que ya es una realidad.

## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



Sixto García Aguilar, Ph.D.

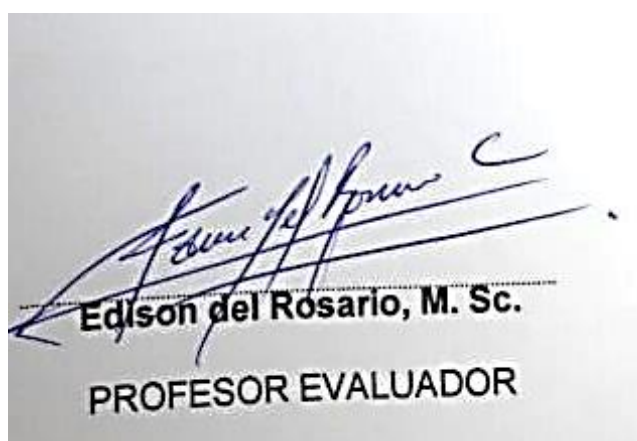
SUBDECANO DE LA FIEC



César Yépez, M. Sc.

PROFESOR EVALUADOR

DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

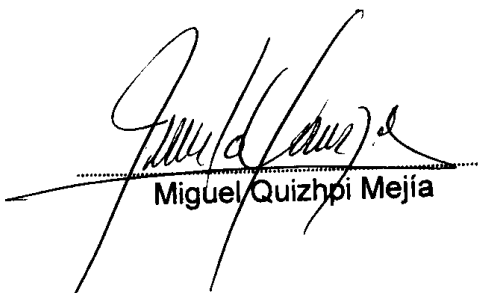


Edison del Rosario, M. Sc.

PROFESOR EVALUADOR

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, me corresponde exclusivamente; y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Miguel Quizhpi Mejía

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como propósito el determinar la factibilidad técnica y económica para la migración desde el estándar DOCSIS versión 3.0 a la nueva versión 3.1. Para ello se ha dividido esta tesis en cinco capítulos.

Hace 10 años, con la aparición de los video-juegos interactivos, videoconferencia, telebanca y acceso a bases de datos, las operadoras de televisión por cable implementaron la versión DOCSIS 3.0 para la provisión de los servicios de Televisión, voz IP e Internet a través de sus redes HFC con una tasa de transmisión de datos en bajada y en subida superiores a los 100 Mbps; sin embargo la demanda de ancho de banda en la transmisión de datos es cada vez mayor debido al incremento del número de usuarios y a la aparición de softwares cada vez más sofisticados, esto hizo que la versión DOCSIS evolucionara a 3.1 la misma que permitiría tener una tasa de transmisión de datos de 10 Gbps en bajada y 1 Gbps en subida, mejoras que cubrirían la demanda de servicios con la calidad y seguridad esperadas por los usuarios.

La presente tesis pretende realizar en primer lugar un estudio técnico de las versiones 3.1, 3.0 y anteriores de DOCSIS, complementando con la de la tecnología FTTH, para luego analizar mediante comparación las ventajas entre ellas. En segundo lugar, un estudio comparativo de los costos que representa implementar las infraestructuras de las versiones 3.1 y 3.0 o anteriores de DOCSIS, para determinar las partes de la infraestructura que requieren ser cambiadas, incrementadas o las que pueden mantenerse en la migración a 3.1; complementando con los costos de implementación de la tecnología FTTH. Finalmente realizará un análisis de los resultados técnicos y económicos para emitir las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA .....	ii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN .....	iii
DECLARACIÓN EXPRESA.....	iv
RESUMEN.....	v
ÍNDICE GENERAL .....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABLAS .....	xv
CAPÍTULO 1.....	1
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.1. Antecedentes del Problema.....	1
1.1.1. Origen de la Red CATV .....	1
1.1.2. Topología de la red HFC.....	4
1.1.3. La televisión, los datos y el equipo CMTS en la red HFC .....	9
1.2. Planteamiento del problema .....	10
1.3. Objetivo general.....	13
1.4. Objetivos específicos.....	13
1.5. Modelo propuesto para la solución del problema .....	14
CAPÍTULO 2.....	15
2. CARACTERÍSTICAS DE LAS VERSIONES DOCSIS .....	15
2.1. Características de la versión 3.0.....	15
2.1.1. Especificaciones de la capa física.....	15
2.1.2. Especificaciones de los protocolos de interface MAC y capa superior.....	22
2.1.3. Especificaciones de la interface radio frecuencia de la señal de bajada.....	31

2.1.4. Especificaciones de la interface cable modem CPE (Customer Premises Equipment). .....	35
2.1.5. Especificaciones de la interface del sistema de soporte de operaciones del cable modem (CM). .....	36
2.1.6. Especificaciones de la interface del sistema de soporte de operaciones del CMTS (OSI). .....	39
2.1.7. Especificaciones de seguridad.....	40
2.1.8. Interface de temporización DOCSIS (DTI). .....	42
2.1.9. Especificaciones de interface física externa de la señal de bajada (DEPI).....	51
2.1.10. Especificaciones de la interface de manejo de los recursos externos (ERMI).....	64
2.2. Características de la versión 3.1.....	72
2.2.1. Especificaciones de la capa física.....	72
2.2.2. Especificaciones de los protocolos de interface MAC y capa superior.....	76
2.2.3. Especificaciones de la interface radio frecuencia de la señal de bajada.....	87
2.2.4. Especificaciones de la interface cable modem CPE (Customer Premises Equipment). .....	87
2.2.5. Especificaciones de la interface del sistema de soporte de operaciones del cable modem (CM). .....	87
2.2.6. Especificaciones de la interface del sistema de soporte de operaciones del CMTS. ....	90
2.2.7. Especificaciones de seguridad.....	90
2.2.8. Interface de temporización DOCSIS. ....	90



2.2.9. Especificaciones de interface física externa de la señal de bajada.....	90
2.2.10. Especificaciones de interface de manejo de los recursos externos.....	90
2.3. Diferencias entre las dos versiones .....	91
2.3.1. Especificaciones de la capa física.....	91
2.3.2. Especificaciones de los protocolos de interface MAC y capa superior.....	92
2.3.3. Especificaciones de la interface radio frecuencia de la señal de bajada.....	92
2.3.4. Especificaciones de la interface cable modem CPE (Customer Premises Equipment). .....	92
2.3.5. Especificaciones de la interface del sistema de soporte de operaciones del cable modem (CM) .....	93
2.3.6. Especificaciones de la interface del sistema de soporte de operaciones del CMTS. ....	93
2.3.7. Especificaciones de seguridad.....	93
2.3.8. Especificaciones de temporización DOCSIS.....	93
2.3.9. Especificaciones de interface física externa de la señal de bajada... ..	94
2.3.10. Especificaciones de interface de manejo de los recursos externos.....	94
CAPÍTULO 3.....	95
3. INFRAESTRUCTURA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL ESTANDAR DOCSIS 3.1 Y FIBRA HASTA EL HOGAR (FTTH). ....	95
3.1. Infraestructura implementada para DOCSIS 3.0 .....	97
3.1.1. Topología de la red .....	97

3.1.2.	Determinación de los equipos instalados .....	103
3.1.3.	Determinación de la inversión realizada .....	104
3.1.4.	Determinación de los servicios y cobertura alcanzada .....	105
3.2.	Infraestructura para implementar DOCSIS 3.1 .....	105
3.2.1.	Topología de la red .....	105
3.2.2.	Determinación de los equipos requeridos .....	105
3.2.3.	Determinación de la inversión requerida .....	107
3.2.4.	Determinación de los servicios y cobertura a alcanzar .....	109
3.3.	Infraestructura para implementar fibra hasta el hogar (FTTH).....	110
3.3.1.	Topología de la red .....	110
3.3.2.	Determinación de los equipos requeridos .....	115
3.3.3.	Determinación de la inversión requerida .....	117
3.3.4.	Determinación de los servicios y cobertura a alcanzar .....	117
3.3.5.	Determinación de las fases programadas para la implementación.....	118
CAPÍTULO 4.....		122
4.	ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LAS DOS VERSIONES DE DOCSIS Y FIBRA HASTA EL HOGAR (FTTH). .....	122
4.1.	Ventajas técnicas.....	122
4.1.1.	Análisis de los servicios a brindarse .....	122
4.1.2.	Análisis de la cobertura a alcanzar .....	138
4.1.3.	Análisis de la vida útil de la infraestructura del cableado .....	138
4.2.	Estudio económico .....	139
4.2.1.	Análisis de la inversión requerida en equipos .....	139
4.2.2.	Análisis de la inversión en infraestructura física.....	140
CAPÍTULO 5.....		141

5. ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD.....	141
5.1. Factibilidad técnica .....	141
5.2. Factibilidad económica .....	143
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	155
BIBLIOGRAFÍA.....	157

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Red CATV completamente coaxial [3] .....	2
Figura 1.2: Red CATV mixta de fibra óptica y cable coaxial [3] .....	2
Figura 1.3: Arquitectura de una red HFC [5] .....	4
Figura 1.4: Ejemplos de cabecera de red HFC [5] .....	5
Figura 1.5: Ejemplos de estructura de red troncal en forma de anillo redundante [5] .....	6
Figura 1.6: Ejemplos de red de distribución [5] .....	7
Figura 1.7: Ejemplo de red de acometida con divisores [5] .....	9
Figura 1.8: Combinación de la señal de televisión por cable con la señal de datos [9] .....	10
Figura 2.1: Anchos de banda Upstream y Downstream DOCSIS 1.0, 1.1 Y 2.0 [10] .....	16
Figura 2.2: Anchos de banda Upstream y Downstream DOCSIS 3.0 [10] ....	16
Figura 2.3: Diagrama de bloques del procesamiento de la señal [10] .....	22
Figura 2.4: Pila de Protocolo DOCSIS [14] .....	23
Figura 2.5: Formato de la trama MAC [15] .....	23
Figura 2.6: Formato de una cabecera MAC [16] .....	24
Figura 2.7: Formato de trama MAC para paquetes de Datos PDU y Datos PDU con Aislamiento [16] .....	25
Figura 2.8: Formato de la cabecera de segmento [16] .....	26
Figura 2.9: Campos del encabezado MAC y del encabezado de mensajes de gestión MAC [16] .....	27
Figura 2.10: Diagrama de bloques de la transmisión por cable [17] .....	30
Figura 2.11: Gráfico de la capa de transporte [18] .....	30
Figura 2.12: Formato de un paquete MPEG [14] .....	32
Figura 2.13: Formato de paquete MPEG donde una trama MAC sigue inmediatamente al Pointer_field [14] .....	34
Figura 2.14: Formato paquete MPEG con una trama MAC precedida por stuff_byte [14] .....	34

Figura 2.15: Formato paquete MPEG mostrando múltiples tramas MAC dentro de un simple paquete [14] .....	34
Figura 2.16: Formato paquete MPEG donde una trama MAC ocupa múltiples paquetes [14] .....	34
Figura 2.17: Pila del protocolo Ethernet de un equipo CM [19].....	35
Figura 2.18: Pila de protocolo de equipo CM End-to-End USB [19] .....	36
Figura 2.19: Arquitectura de un CMTS Modular [21] .....	40
Figura 2.20: Estructura de la Temporización DOCSIS (DTI) [23] .....	44
Figura 2.21: Estructura de Temporización del Protocolo DTI [23] .....	47
Figura 2.22: Estructura de trama DTI [23].....	49
Figura 2.23: Diagrama de intercambio de protocolos entre el Servidor y el Cliente [23].....	51
Figura 2.24: Arquitectura de referencia de un CMTS modular [24].....	52
Figura 2.25: Encapsulado del paquete de datos L2TPv3 con UDP [24] .....	53
Figura 2.26: Encapsulado del paquete de datos L2TPv3 sin UDP [24] .....	54
Figura 2.27: Encabezado y carga (Payload) de la subcapa DOCSIS MPT [24] .....	56
Figura 2.28: Encabezado y Carga (Payload) de la subcapa DEPI PSP [24] .....	57
Figura 2.29: Diagrama de bloques de un EQAM [24] .....	59
Figura 2.30: Modelo de servicios Bonding [24] .....	60
Figura 2.31: Modelo de servicios múltiples [24] .....	60
Figura 2.32: Diagrama de bloques de un EQAM Downstream [24] .....	61
Figura 2.33: Formato de un mensaje MAC SYNC DOCSIS [24] .....	63
Figura 2.34: Interfaces ERMi [25] .....	65
Figura 2.35: Arquitectura de referencia de un M-CMTS [25] .....	66
Figura 2.36: Topología RF [25] .....	67
Figura 2.37: Interface de registro y sus componentes [25] .....	68
Figura 2.38: Interface y componentes de la asignación de recursos [25] .....	69
Figura 2.39: Arquitectura simplificada para partición QAM estática [25].....	70
Figura 2.40: Relación entre el Servidor RTSP y el Cliente RTSP [25].....	72
Figura 2.41: Anchos de banda Upstream y Downstream [26].....	73

Figura 2.42: Anchos de banda Upstream y Downstream extendido (opcional) [26].....	73
Figura 2.43: Campos del encabezado MAC y del encabezado de mensajes de gestión MAC [29] .....	77
Figura 2.44: Trama de un PLC [29] .....	80
Figura 2.45: Bloque de mensaje Timestamp [29] .....	81
Figura 2.46: Bloque de mensaje de administración de energía [29] .....	82
Figura 2.47: Bloque de mensaje de canal de mensaje [29] .....	83
Figura 2.48: Bloque de mensaje Trigger [29].....	84
Figura 2.49: Estructura del Timestamp Extendido [29] .....	85
Figura 2.50: Canales lógicos OFDMA y TDMA [29].....	85
Figura 2.51: Ejemplo de Región de Rango Inicial para un canal OFDMA [29] .....	86
Figura 3.1: Mapa de la Isla Trinitaria .....	96
Figura 3.2: Gráfico del despliegue de la fibra óptica desde la cabecera en la Compañía GIGABITNET S.A. hacia la Mini Cabecera en la Isla Trinitaria. ..	96
Figura 3.3: Diagrama de bloques de la Mini Cabecera.....	97
Figura 3.4: Gráfico de la distribución de la red HFC propuesta .....	98
Figura 3.5: Gráfico de la red primaria y secundaria de la red propuesta .....	99
Figura 3.6: Gráfico de la red de distribución de la red propuesta .....	100
Figura 3.7: Combinación de la señal de televisión con la señal de datos [33] .....	110
Figura 3.8: Diagrama de bloques de la Mini Cabecera.....	111
Figura 3.9: Gráficos del despliegue de la fibra óptica en la Isla Trinitaria ...	111
Figura 3.10: Gráficos del despliegue de la fibra óptica en la Isla Trinitaria (sector norte) .....	112
Figura 3.11: Gráficos del despliegue de la fibra óptica en la Isla Trinitaria (sector sur).....	112
Figura 3.12: Despliegue de cables de fibra óptica que salen de un armario .....	114
Figura 4.1: Incremento del ancho de banda con el avance de las versiones DOCSIS.....	123
Figura 4.2: Ancho de banda que utilizan algunas Operadoras actuales .....	124
Figura 4.3: Velocidad que brinda un canal OFDM [26], [35] .....	128

Figura 4.4: Distribución con canales SC QAM y OFDM [35].....	128
Figura 4.5: Distribución con canales OFDM .....	129
Figura 4.6: Distribución para una planta de 1.000 MHz [35] .....	129
Figura 4.7: Distribución para una planta de 1.200 MHz [35] .....	130
Figura 4.8: Distribución para una planta de 1.794 MHz [35] .....	131
Figura 4.9: Distribución para 42 MHz de ancho de banda [35] .....	132
Figura 4.10: Distribución para 85 MHz de ancho de banda [35] .....	133
Figura 4.11: Distribuciones para 204 MHz de ancho de banda [35] .....	133
Figura 5.1: Calculo del TIR y el VAN para una red HFC con DOCSIS 3.0 .	146
Figura 5.2: Calculo del TIR y el VAN para una red HFC con DOCSIS 3.1 .	149
Figura 5.3: Calculo del TIR y el VAN para una red HFC en que se migra de DOCSIS 3.0 a 3.1 .....	152

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Velocidad de transmisión downstream [12] .....	20
Tabla 2: Velocidad de transmisión upstream [12] .....	20
Tabla 3: F Formato de trama MAC para paquetes de Datos PDU y Datos PDU con Aislamiento [16] .....	25
Tabla 4: Tramas y Encabezados MAC Específicos [16] .....	26
Tabla 5: Campos de la Cabecera de Segmento [16] .....	27
Tabla 6: Tipos de mensajes de gestión MAC [16] .....	29
Tabla 7: Profundidad del Interleaver de Baja Latencia [14] .....	31
Tabla 8: Profundidad del Interleaver de protección de ruido y larga duración [14].....	32
Tabla 9: Formato de cabecera MPEG para datos DOCSIS sobre cable [14]	33
Tabla 10: Requerimientos para las características de gestión de DOCSIS 3.0 [20].....	37
Tabla 11: Comparación de la Capa Física [23].....	45
Tabla 12: Estructura de trama del Servidor DTI [23].....	49
Tabla 13: Estructura de trama del Cliente DTI [23].....	50
Tabla 14: Campos del encabezado de datos L2TPv3 [24] .....	55
Tabla 15: Campos del Encabezado y carga de la subcapa DOCSIS MPT [24] .....	57
Tabla 16: Campos del Encabezado y carga de la subcapa DEPI PSP [24]..	58
Tabla 17: Campos del Formato de un mensaje MAC SYNC DOCSIS [24]...	64
Tabla 18: Velocidad de transmisión downstream [28] .....	75
Tabla 19: Velocidad de transmisión upstream [28] .....	76
Tabla 20: Tipos de mensajes de gestión MAC [29] .....	79
Tabla 21: Descripción de los campos de un Bloque de Mensaje Timestamp [29].....	81
Tabla 22: Descripción de los campos de bloque de mensaje de administración de energía [29].....	82
Tabla 23: Descripción de los campos [29] .....	83



Tabla 24: Descripción de los campos [29] .....	84
Tabla 25: Requerimientos para las características de gestión de DOCSIS 3.1 [29].....	88
Tabla 26: Listado de equipos en una red HFC con DOCSIS 3.0 .....	103
Tabla 27: Inversión en equipos para una red HFC con DOCSIS 3.0.....	104
Tabla 28: Listado de equipos para una red HFC con DOCSIS 3.1 .....	106
Tabla 29: Opción-1 inversión en equipos para implementar DOCSIS 3.1 ..	108
Tabla 30: Opción-2 inversión en los nuevos equipos requeridos para migrar a DOCSIS 3.1 a partir de DOCSIS 3.0 .....	109
Tabla 31: Listado de equipos de una red FTTH.....	116
Tabla 32: Inversión requerida para una red FTTH.....	117
Tabla 33: Inversión requerida en la primera fase (red troncal) .....	118
Tabla 34: Inversión requerida para la segunda fase .....	119
Tabla 35: Inversión requerida para la tercera fase .....	120
Tabla 36: Inversión requerida en la cuarta y última fase .....	120
Tabla 37: Cantidad de abonados provistos con 4 Mbps .....	125
Tabla 38: Cantidad de abonados provistos con 4 Mbps y channel bonding de hasta 24 canales.....	126
Tabla 39: Estimación del crecimiento poblacional en la Isla Trinitaria .....	139
Tabla 40: Comparación de la inversión requerida para las 3 opciones .....	139
Tabla 41: Comparación de las velocidades de las 4 tecnologías .....	142
Tabla 42: Detalle de los planes de servicio y sus costos para una red DOCSIS 3.0 .....	144
Tabla 43: Detalle de los planes de servicio y sus costos para una red DOCSIS 3.1 .....	147
Tabla 44: Detalle de los planes de servicio y sus costos para una red DOCSIS 3.1 .....	150
Tabla 45: Incremento en el valor de los planes .....	154
Tabla 46: Detalle de los planes de servicio y sus costos para una red DOCSIS 3.1 .....	154

# CAPÍTULO 1

## 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En este capítulo damos a conocer el problema existente, los objetivos que se quieren alcanzar y la forma en que se planteará la solución al problema.

### 1.1. Antecedentes del Problema

En esta parte se hace una breve descripción histórica de como aparece las redes CATV hasta llegar al uso del estándar DOCSIS.

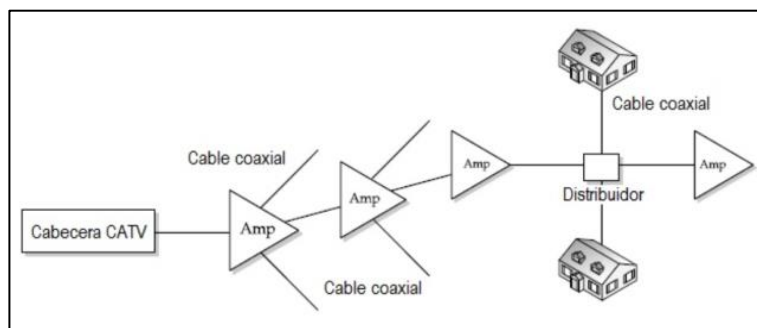
#### 1.1.1. Origen de la Red CATV

En la década de 1940 aparece en Estados Unidos la televisión por cable (CATV) como una forma de proveer imágenes de televisión a los usuarios que se encontraban en áreas que por su topografía quedaban "a la sombra" de las señales de televisión por aire, convirtiéndose esta transmisión por cable coaxial en una prolongación de la transmisión de la señal por aire; esta forma duró hasta aproximadamente la década de 1960, [1] [2].

A partir de 1970 este tipo de servicios tuvo una gran demanda con la aparición de la televisión pagada por cable. Las compañías emisoras de CATV incrementaron la oferta con largometrajes, música, noticias, programas propios o programas internacionales; llevando a las redes de CATV a utilizar la banda de 50 a 450MHz. Una topología de red CATV se observa en la Figura 1.1.

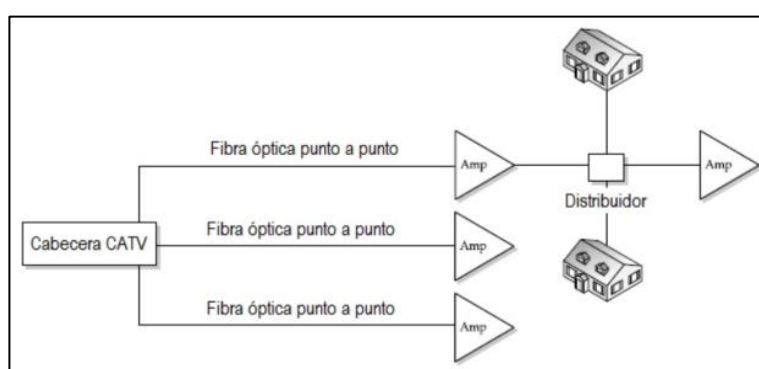
Desde la Cabecera (Lugar en la red, desde donde se proveen los servicios) salía un solo cable que brindaba el servicio a 20.000 clientes aproximadamente, con un alto riesgo, puesto que un daño en el cable

podía dejar sin servicio a todos los clientes. En el trayecto del cable, se usaban amplificadores para evitar la atenuación de la señal.



**Figura 1.1: Red CATV completamente coaxial [3]**

Desde el año 1985 la oferta de programas y servicios por este medio se incrementó aún más con el acceso a banda ancha de internet, audiencias interactivas, etc. Con la demanda de banda ancha y posteriormente al aparecer la televisión digital, se digitalizó parte de la red CATV al utilizar cable de fibra óptica; entonces se tuvo redes en que parte era fibra óptica y otra parte era cable coaxial, a estas redes CATV se las denominó redes HFC (Hybrid Fiber Coaxial). Las redes de CATV incrementaron su ancho de banda para utilizar el rango de frecuencias de 50 a 500 MHz para la televisión analógica y de 500 a 750/850 para la transmisión de servicios de televisión digital, internet y VoIP, [4], ver Figura 1.2.



**Figura 1.2: Red CATV mixta de fibra óptica y cable coaxial [3]**

Las principales ventajas de esta red híbrida eran las siguientes:

- Eliminaba sustancialmente el número de amplificadores entre la cabecera y los residentes.
- La fibra en el backbone ahora requería de conexiones punto a punto con los dispositivos distribuidores.
- La cabecera contaba con varios puertos de fibra óptica cada uno de los cuales sirve a un número menor de usuarios (entre 100 y 500) comparando con los 20.000 con un solo coaxial.
- Fallas en una fibra óptica dejaría sin servicio a una parte de los usuarios, pero no a todos.
- Como menos usuarios son atendidos por cada hilo de fibra óptica, entonces el ancho de banda utilizado es menor, pudiendo ser utilizado esta parte que no se usa, para ofrecer servicios adicionales como internet de banda ancha.

Es debido a que utilizaban menor ancho de banda, que estas redes híbridas permitieron proveer varios servicios adicionales.

Otro aspecto importante de estas redes fue la implementación de la señal de retorno (tráfico ascendente, o de dos vías), desde el cliente hacia el proveedor del servicio, haciendo factible, el internet, la VoIP y el control en la televisión; para lo cual se utilizó el rango de frecuencias de 5 a 42 MHz.

Se puede observar que el ancho de banda de bajada o downstream (la señal viaja de la cabecera hacia el abonado) era mucho mayor (de 50 MHz a 750/800 MHz) que el ancho de banda de subida o upstream (la señal viaja del abonado hacia la cabecera); esto es debido a que estas señales upstream no requieren transmitir mucha información en comparación con la cantidad de información que se transmite en el sentido downstream.

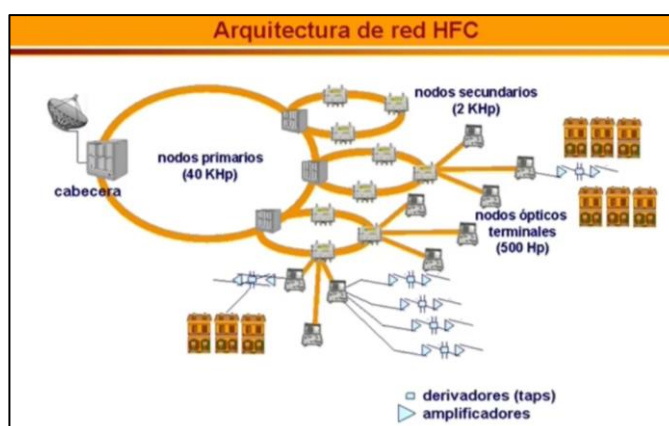
Los anchos de banda antes indicados fueron divididos en canales y es a través de los ellos que viajan las señales sea en sentido downstream o upstream. Esta información se tratará en detalle en el siguiente capítulo.

Por tanto las redes HFC han sido el resultado de la evolución de la televisión por cable (CATV) y la necesidad de transmitir internet y VoIP.

A fin de estandarizar el funcionamiento de la red HFC CableLabs (Cable Television Laboratories), que es un consorcio creado en 1988 sin fines de lucro y compuesto por operadores de cable y sus miembros, creo el Estandar DOCSIS; lo que permitió la provisión de televisión, voz e internet, Como se verá más adelante con el estándar DOCSIS 3.0 y 3.1, los anchos de banda para la señal de bajada y para la de subida, son incrementados a fin de tener un mayor número de canales en cada sentido y con ello obtener mayor velocidad en la transmisión de datos.

### 1.1.2. Topología de la red HFC.

En la Figura 1.3 se muestra una topología de red HFC, en la que se aprecia 4 componentes principales que son: La Cabecera (HeadEnd), la red Troncal, la red de Distribución y la red de Acometida [5].



**Figura 1.3: Arquitectura de una red HFC [5]**

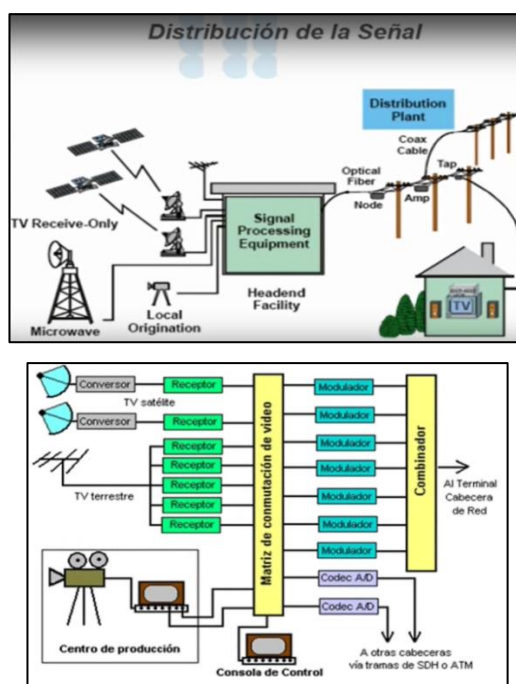
#### ❖ Cabecera o Headend

Es el centro de la red, ver Figura 1.4. Una vez que se determina que servicios proveerá la red HFC, la cabecera es la encargada de:

- Tomar todos los contenidos necesarios y darles el tratamiento requerido para enviarlos por la red. El tratamiento consiste en

recoger, comprimir, multiplexar, modular y transmitir por la red las señales de los servicios ofrecidos.

- Realiza el monitoreo del apropiado funcionamiento tanto de los equipos como de la red misma.
- Tener los Servidores principales que le darán acceso a la red internet.



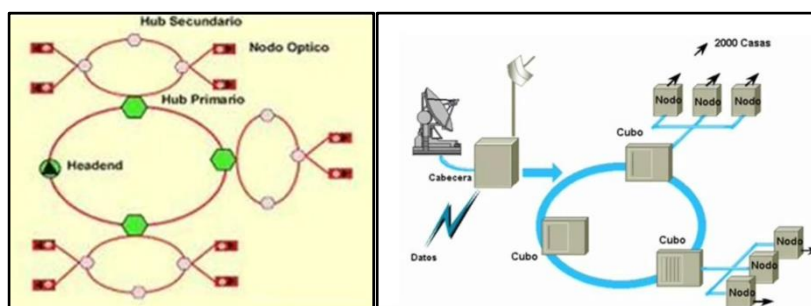
**Figura 1.4: Ejemplos de cabecera de red HFC [5]**

La cabecera está compuesta de paquetes de antenas, receptores satelitales, moduladores, demoduladores, codificadores de audio y de datos, transmisores ópticos, divisores ópticos, receptores ópticos, equipo CMTS (Sistema Terminal de Cable Modem), HUB (Sistema que permite integrar los servicios para que sean transmitidos a la red), entre otros.

#### ❖ Red Troncal

Es la que transporta las señales por medio de fibra óptica, desde la Cabecera hacia las zonas que requieren del servicio, ver Figura 1.5.

Por lo general presenta una estructura en forma de anillo redundante, que une a un conjunto de nodos primarios. Cada nodo primario alimenta a otros nodos denominados secundarios y esta alimentación puede ser mediante enlaces punto a punto o anillos. A partir de estos nodos secundarios la señal viaja a través de cable coaxial hasta los abonados; es en estos nodos secundarios donde la señal óptica se convierte en señal eléctrica para poder viajar a través del cable coaxial, debido a ello estos nodos secundarios toman el nombre de Nodos Terminales. En ocasiones, cuando las redes son grandes, los nodos secundarios alimentan a otros nodos a los que se denomina Nodos Terminales a través de enlaces punto a punto de fibra óptica, y es en estos nodos terminales en donde la señal se convierte a señal eléctrica.



**Figura 1.5: Ejemplos de estructura de red troncal en forma de anillo redundante [5]**

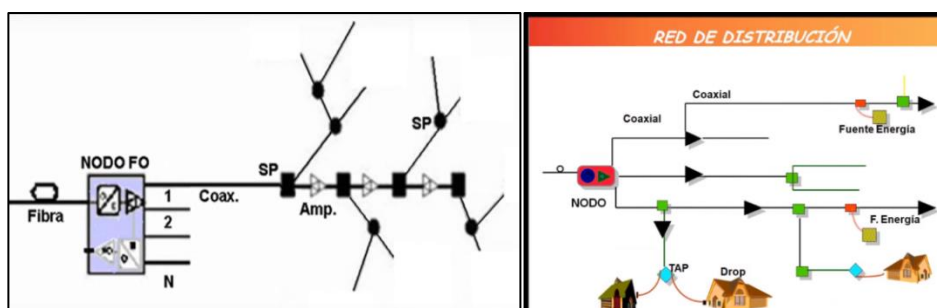
Los equipos que encontramos en una red troncal, [6], [7], son los siguientes:

- Amplificadores, regeneradores, son equipos que permiten recuperar la señal que ha sido atenuada por los diferentes dispositivos.

- Transmisores Ópticos, son equipos que envían la señal de video o datos desde la Cabecera, con la potencia necesaria para que viaje a través de la red troncal y red secundaria.
- Receptores ópticos, es un equipo que se encuentra en cada punto de la red troncal y tiene como finalidad extraer la señal de video y datos que viene desde la Cabecera a través de la fibra óptica.
- TAP, es el nexo de la red de distribución y el abonado, permite bajar la señal del cable coaxial hacia el receptor de televisión o el equipo modem. Hay de 2, 4 u 8 salidas.

#### ❖ Red de Distribución

Está compuesta de una red de cable coaxial que lleva la señal desde el nodo terminal óptico hasta la última derivación, que corresponde a la más cercana al hogar del abonado, como se muestra en la Figura 1.6.



**Figura 1.6: Ejemplos de red de distribución [5]**

Los equipos que encontramos en una red secundaria son los siguientes:

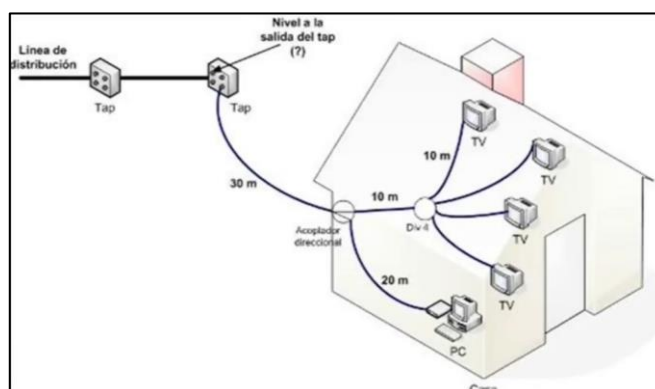
- Nodo Terminal óptico, equipo que recibe la señal a través de la fibra óptica, convierte la señal óptica a señal RF para finalmente enviarla a través del cable coaxial de la red secundaria hacia los abonados.
- Fuente de poder, equipo necesario para alimentar a los amplificadores de RF.



- Amplificador de Radiofrecuencia, (elemento activo), dispositivo que permite compensar las pérdidas en los cables coaxiales de transmisión, pueden introducir ruido y distorsión, [8].
- Power Inserter, es un dispositivo al cual ingresa por un lado la señal y por otro el voltaje de alimentación, este módulo une estas dos señales para ingresarla a través del cable coaxial al módulo amplificador.
- Divisores de RF de dos vías (elemento pasivo), es un dispositivo de RF que divide la señal de entrada. Cuando el divisor es de dos salidas, la señal es dividida en dos partes iguales con una atenuación de 3,5 db; en el caso de 3 o 4 salidas la señal de salida y la atenuación dependen del número de divisores en cascada. Estos divisores son utilizados para hacer arreglos y poder brindar el servicio a un mayor número de abonados.
- Acopladores, son dispositivos que permiten acoplar la señal de entrada dándole una atenuación determinada. Según la atenuación que brindan existen acopladores de 8db, 12db y 16db de atenuación.
- Tap, es el nexo de la red de distribución y el abonado, permite bajar la señal del cable coaxial hacia el receptor de televisión o el equipo modem. Hay de 2, 4 u 8 salidas.
- Cable coaxial RG-11, cable encargado de transportar la señal a partir de la red de secundaria.

#### ❖ Red de Acometida.

Es un cable coaxial flexible, del tipo RG-6 o RG-11, utilizado para llevar la señal desde la red de distribución (última derivación) hasta las casas de los usuarios. La instalación requiere de una conexión a tierra y de un cable coaxial flexible hacia el receptor o televisor del usuario. Cuando el usuario tiene varios receptores, se utiliza un divisor de señales. Ver Figura 1.7.



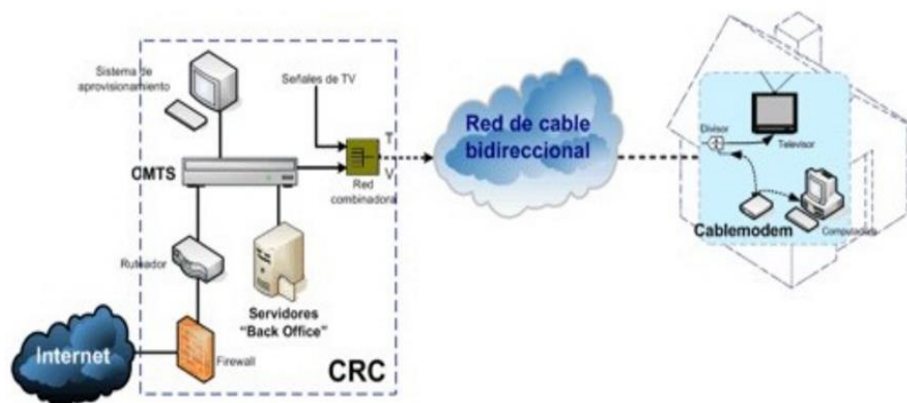
**Figura 1.7: Ejemplo de red de acometida con divisores [5]**

Los elementos son los siguientes:

- Divisores de red de abonado o Splitter (elemento pasivo), dispositivo que reparte la señal de entrada entre 2, 3 o 4 salidas.
- Modem, equipo receptor de la señal de datos en el lado del abonado.
- Decodificador de Tv, equipo que recibe la señal que viene de la cabecera y la decodifica para ser presentada en la pantalla de televisión.

### 1.1.3. La televisión, los datos y el equipo CMTS en la red HFC

Veamos la siguiente Figura 1.8:



**Figura 1.8: Combinación de la señal de televisión por cable con la señal de datos [9]**

En la Figura 1.8 se observa el CRC que viene a ser la cabecera de la red, donde se observa que el equipo CMTS permite tomar la señal de internet de la gran red Internet y procesarla (con el estándar DOCSIS) de tal manera de poder enviarla a través de la red HFC hacia el abonado, además el CMTS contiene los servidores de la red HFC y el sistema de aprovisionamiento. Pero previo a enviar a la red HFC, la señal que sale del CMTS ingresa a un combinador en el que se une a la señal de televisión para conjuntamente viajar hacia cada abonado de la red. Entonces el equipo CMTS no realiza proceso alguno en la señal de televisión la cual es independiente e ingresa a través del combinador a la red.

## 1.2. Planteamiento del problema

En el Ecuador existe muchas empresas proveedoras de televisión pagada, entre ellas tenemos: Cinecable, Cable express, Ecuador Telecom (Claro TV), Grupo TV Cable, Univisa, Geovisión, CNT TV, Gualaceo Tv, Telecable, Servicable, Pasaje Tv, Cabletel, Maxivisión Canal. Varias de estas empresas tienen una infraestructura instalada basada en la red HFC (red híbrida de fibra y cable coaxial) para llegar a sus clientes con el servicio de datos de banda ancha incluido internet

y Telefonía IP. El avance tecnológico, en primera instancia, creó la necesidad de incrementar video, voz y datos en la transmisión; posteriormente los servicios se incrementaron y lograron llevar a los hogares video-juegos interactivos, videoconferencia, telecompra, telebanca y acceso a bases de datos. La demanda de estos servicios es cada vez mayor debido al incremento de los usuarios; lo cual es un desafío para los proveedores en buscar alternativas que permitan mejorar su infraestructura para cubrir la mayor demanda de estos servicios con la calidad y seguridad esperadas por los usuarios.

Las operadoras de televisión por cable (CATV) actualmente poseen su infraestructura basada en el estándar DOCSIS 3.0, que era la versión de DOCSIS hace 10 años; esta fue diseñada para proveer una tasa de transmisión de datos en bajada y en subida superiores a los 100 Mbps, por medio del uso de la técnica de downstream y upstream channel bonding, que consiste en que varios CM comparten los canales sea de subida o de bajada para la transmisión o recepción de datos, en lugar de uno solo como sucedía en la versión anterior. Con esta versión se logró cubrir las necesidades de ancho de banda que, en ese entonces, demandaban las operadoras para la provisión de sus servicios.

Con los avances tecnológicos y nuevos servicios en internet, se incrementó las necesidades de los usuarios y con ello la demanda de un mayor ancho de banda; para satisfacer estas necesidades evoluciona la versión DOCSIS a 3.1. La nueva versión permitiría tener una tasa de transmisión de datos de 10 Gbps en bajada y 1 Gbps en subida; con lo cual los operadores lograrían satisfacer las demandas exigidas por sus clientes.

Para los operadores es una excelente oportunidad de negocio para ampliar servicios y mantener el paso de las nuevas demandas, puesto que les permite seguir explotando la infraestructura de su red HFC y cubrir las demandas actuales de sus clientes. Pero cabe responder ciertas preguntas:

- ¿Es tan cierto esto?
- ¿La implantación de la nueva versión requiere cambios y/o modificaciones en los equipos que ya se tienen instalados?

- ¿A cuánto asciende la inversión que es necesario realizar para implementar completamente la nueva versión?
- ¿Técnicamente, la nueva versión logra cubrir las demandas actuales que tienen los clientes de sus operadoras?
- Con la migración, ¿cuántos años podrán explotar las operadoras la nueva versión cubriendo las demandas actuales y futuras?
- ¿La inversión que se realizaría y los beneficios técnicos que se obtendrían hacen rentable y aceptable la migración a la nueva versión?

Todas estas preguntas denotan la necesidad de realizar un estudio técnico y económico, para determinar la factibilidad de migrar a la nueva versión DOCSIS 3.1; estudio que ayudaría a las operadoras de televisión por cable, con infraestructura DOCSIS de versiones anteriores, tomar la decisión de realizar la migración. Entonces surge el tema de la presente tesis, la misma que respondiendo a las preguntas anteriores, logrará determinar si técnicamente cubrirá las altas exigencias de sus clientes y si económicamente será rentable su implementación.

La respuesta a estas preguntas a su vez, permitirá a los operadores responder la siguiente incógnita: ¿Que es más conveniente migrar a la nueva versión de DOCSIS u optar por cambiar definitivamente, su infraestructura, a una nueva tecnología?, como por ejemplo FTTH (Fibra Hasta el Hogar), para esta última opción se analizará un escenario general con fines académicos que consistirá en migrar a FTTH programada por fases.

Fibra hasta el hogar es una tecnología actual que ha sido implementada por algunos proveedores a nivel mundial; consiste en proveer sus servicios mediante cables de fibra óptica y sistemas ópticos que llegan hasta los hogares de los usuarios, de esta manera proveen servicios avanzados como triple play, telefonía, internet de banda ancha y televisión, tanto a los hogares como a los negocios de sus usuarios.

### **1.3. Objetivo general**

La presente tesis pretende realizar un estudio técnico de la versión DOCSIS 3.1 a la par analizar la versión 3.0 y versiones anteriores complementado con la implementación de FTTH, para luego analizar mediante comparación las ventajas técnicas entre ellas.

Adicionalmente se realizará un estudio económico comparativo entre los costos que representó la implementación de la versión 3.0 o anteriores y el costo que representaría la implementación de la nueva infraestructura para la instalación de la versión 3.1 en un escenario con dimensiones equivalentes. Del análisis económico comparativo se determinará las partes de la infraestructura que requieren ser cambiadas, incrementadas y/o las que pueden mantenerse en funcionamiento, permitiendo al final determinar los costos requeridos para migrar de la versión 3.0 o anteriores a la versión 3.1.

Como comparación final se realizará un estudio económico de los costos que representa la implementación de la tecnología FTTH.

Mediante el análisis de los resultados obtenidos se podrá emitir las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

### **1.4. Objetivos específicos**

Los objetivos que se plantean en la presente tesis son los siguientes:

- Determinar las ventajas técnicas de la nueva versión DOCSIS respecto a las anteriores,
- Determinar los costos que representará el migrar desde la versión 3.0 a la 3.1 o a la tecnología FTTH, cambiando solamente las partes que sean requeridas.
- Mediante un análisis de costo beneficio, determinar si es rentable el migrar a la nueva versión de DOCSIS o si se debe cambiar definitivamente la infraestructura a otra tecnología como FTTH.

### **1.5. Modelo propuesto para la solución del problema**

Para la solución del problema planteado, el presente trabajo se dividirá en 4 partes. En la primera parte se analizará las características técnicas de las versiones DOCSIS 3.0 y anteriores, y de la nueva versión DOCSIS 3.1; análisis que permitirá determinar las ventajas y desventajas existentes entre ellas.

En la segunda parte se estudiará la infraestructura necesaria para la implementación de las versiones 3.0 y 3.1 de DOCSIS y también se adicionará el análisis de la tecnología FTTH, puesto que es la tecnología que usan los competidores, con la finalidad de valorar la inversión requerida para la implementación y las capacidades que tienen cada una de las 3 opciones DOCSIS 3.0, DOCSIS 3.1 y FTTH. A fin de tener datos reales se propondrá implementar una infraestructura que permita proporcionar servicios de voz, datos y televisión a la Isla Trinitaria; utilizando para ello las 3 opciones antes indicadas. Esto nos permitirá determinar la inversión requerida y las capacidades técnicas que se logren con cada una ellas, para el análisis técnico y económico posterior.

En la tercera parte se realizará el análisis tanto técnico como económico de las opciones DOCSIS 3.0, DOCSIS 3.1 y FTTH; en esta última se analizará EPON y GPON. Los resultados de este análisis detallarán por un lado las ventajas técnicas que brinda y por lado la inversión tanto en equipos como en infraestructura necesarios para la implementación,

En la cuarta parte se realizará el estudio de factibilidad o viabilidad tanto en forma técnica como económica de implementar la versión DOCSIS 3.1. Para el análisis económico y a fin de determinar el TIR y el VAN se realizará un proyecto con los flujos de caja durante el tiempo de vida útil. Los valores obtenidos de TIR y VAN permitirán decidir si es factible o no el proyecto.

## CAPÍTULO 2

### 2. CARACTERÍSTICAS DE LAS VERSIONES DOCSIS

En el segundo capítulo se hace un estudio minucioso de las características técnicas de las dos versiones, esto es la 3.0 y la 3.1; estudio que al final permitirá determinar cuáles son las ventajas, desventajas y diferencias entre ellas, información importante para el análisis técnico que se realizará en un capítulo posterior.

#### 2.1. Características de la versión 3.0

En esta parte se hace una descripción de las características que presenta la versión 3.0 de DOCSIS.

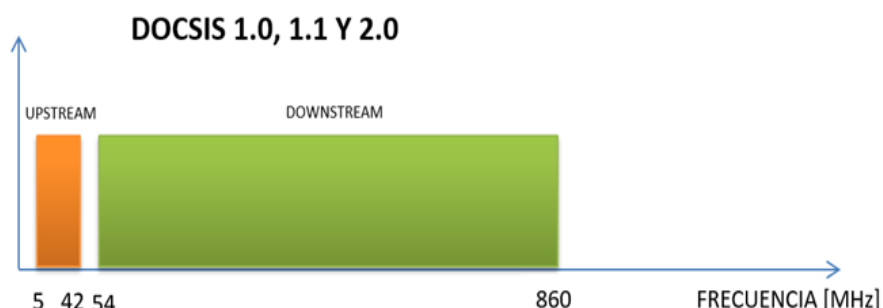
##### 2.1.1. Especificaciones de la capa física

Esta parte trata sobre las especificaciones o características eléctricas que debe reunir un equipo CM (Modem de Cable) y un equipo CMTS (Sistema de terminación de Cable Modem) para que puedan operar entre ellos.

##### ❖ Anchos de banda UPSTREAM y DOWNSTREAM

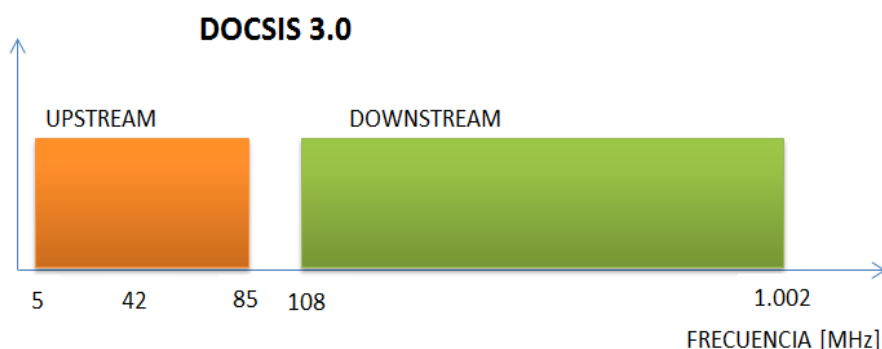
Para las versiones DOCSIS 1.0, 1.1 y 2.0 el ancho de banda asignado para la comunicación UPSTREAM fue de 5 MHz a 42 MHz, mientras que para la comunicación DOWNSTREAM fue de 54 MHz a 860 MHz, ver Figura 2.1, [10].





**Figura 2.1: Anchos de banda Upstream y Downstream DOCSIS 1.0, 1.1 Y 2.0 [10]**

En la versión 3.0 estos anchos de banda tuvieron un incremento; así, en UPSTREAM va de 5 MHz hasta los 85 MHz, y en DOWNSTREAM va desde 108 MHz hasta 1,002 GHz. Este incremento en el ancho de banda permitió tener un mayor número de canales, dando como resultado una mayor velocidad en la transmisión de datos.



**Figura 2.2: Anchos de banda Upstream y Downstream DOCSIS 3.0 [10]**

En la Figura 2.2 se puede observar que, el ancho de banda originalmente asignado a la televisión por cable de 50 MHz a 500 MHz, ha sido recortado en la parte baja; esto representó una reducción en el número de canales para la señal de televisión en bajada. Ello afectó la velocidad de transmisión de la señal CATV.

Es importante indicar que previo a incrementar la banda upstream hasta los 85 MHz, es necesario digitalizar los canales de televisión que se

encuentran en la parte baja de la señal downstream, de esta manera se tendrá disponible estas frecuencias para poder subir la banda upstream hasta los 85 MHz.

La Especificación de la Capa Física del Estandar DOCSIS 3.0, da dos opciones para el ancho de banda UPSTREAM de 5 a 42 MHz y de 5 a 85 MHz, de igual manera da dos opciones para DOWNSTREAM de 54 a 1.002 MHz y de 108 a 1.002 MHz.

#### ❖ **Canales y la característica CHANNEL BONDING**

Como se vio anteriormente los equipos CMTS Y CM en una red HFC se comunican a través de canales de comunicación y cada canal tiene un ancho de banda de 6 MHz, para el caso del estándar DOCSIS de Norteamérica que es el que se estudia en esta tesis (Europa tiene el EURODOCSIS con canales de 8 MHz de ancho de banda). Para ello todo el ancho de banda downstream como upstream es dividido en canales; así por ejemplo para la versión DOCSIS 2.0 que va de 54MHz a 860MHz, ver Figura 2.1, la banda downstream total es de 806MHz, dividiendo para 6MHz nos da aproximadamente 134 canales downstream; y, para upstream tenemos una banda total de 37MHz, dividiendo para 6.4MHz (que es una de las opciones del ancho de banda del canal en upstream) nos da aproximadamente 5 canales. Para la versión 3.0, ver Figura 2.2, tenemos una banda downstream total de 892MHz dando aproximadamente 148 canales downstream, y una banda upstream total de 80MHz, dando aproximadamente 12 canales upstream.

En todas las versiones de DOCSIS el ancho del canal DOWNSTREAM ha sido de 6 MHz. En tanto que en la comunicación UPSTREAM el ancho del canal varió de la siguiente manera, en las versiones 1.0 y 1.1 se disponían de anchos de 400 KHz, 800 KHz, 1.600 KHz y 3.200 KHz, y a partir de la versión 2.0 en adelante aparece un ancho de canal adicional de 6.400 KHz.

En las versiones DOCSIS 1.0, 1.1 y 2.0 se tenía un solo canal para la comunicación entre el CMTS y el CM (uno para el downstream y uno para el upstream), el cual era asignado por el equipo CMTS.

La versión 3.0, introdujo además del incremento del ancho de banda la característica CHANNEL BONDING, mediante la cual un equipo CMTS pudo transmitir las señales Downstream o Upstream a través de varios canales y no a través de uno solo como lo hacía en versiones anteriores; por su puesto el equipo CM también tenía la capacidad de recibir o transmitir las señales de datos a través de varios canales; de esta forma los canales son compartidos por varios equipos CM. El equipo CMTS es quien asigna los canales a los equipos CM y lo hace en forma de grupo. Para el caso de la señal de retorno o upstream a cada equipo CM se le asigna además un slot de tiempo, que representa el periodo de tiempo en que un equipo CM puede transmitir la señal de subida. Todo ello permitió que la velocidad de recepción y transmisión de datos por parte del CM se vea incrementada, [11], [10]

La cantidad de canales que un equipo CM puede sintonizar depende de su diseño, y el número máximo de canales que puede sintonizar es el que define la velocidad máxima de bajada o de subida del equipo CM.

La especificación DOCSIS 3.0 dispone que los equipos CM y CMTS deben ser diseñados para soportar como mínimo 4 canales downstream y 4 canales upstream para la característica Channel Bonding. Debido a ello los CM fueron diseñados para sintonizar 4, 8, 12, 16, y hasta 24 canales en la comunicación downstream y para transmitir en 2, 4, 6, 8 y hasta 12 canales en la comunicación upstream.

#### ❖ Efecto de las modulaciones en DOWNSTREAM

Todas las versiones de DOCSIS para la transmisión en DOWNSTREAM utilizaban canales de 6,0 MHz y modulaciones de tipo 16QAM y 64QAM. Sin embargo, en la versión 3.0 aparece la modulación 256QAM, ver tabla

1, que unida a la característica Channel Bonding, permitió un incremento importante en la velocidad de transmisión de datos, logrando cubrir las demandas que los usuarios tenía respecto al ancho de banda en ese entonces.

#### ❖ **Efecto de las modulaciones en UPSTREAM**

En la tabla 2 se muestra como fue evolucionando los tipos de modulación para la señal UPSTREAM a través de las diferentes versiones de DOCSIS, así tenemos:

- Para las versiones 1.0 y 1.1 las modulaciones disponibles eran QPSK y 16QAM.
- Para la versión 2.0 a más de QPSK y 16QAM, aparece la 8QAM, 32QAM y 64QAM. La de 8 y 32QAM no fueron muy utilizadas debido a que la constelación generaba mucho ruido, lo que afectaba a los datos transmitidos. Las más utilizadas fueron por tanto la de 16QAM Y 64QAM.
- En la versión 3.0 se mantuvo la modulación 64QAM, pero la característica Channel Bonding permitió el incremento en la velocidad de transmisión de datos.

#### ❖ **La velocidad en la transmisión DOWNSTREAM**

Para la transmisión downstream que utiliza un canal de 6MHz la Tabla 1 muestra la velocidad de transmisión de datos en función del tipo de modulación, del número de canales Channel Bonding y de la versión DOCSIS.

VERSIÓN DOCSIS	ANCHO DEL CANAL (MHz)	NÚMERO DE CANALES	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN (Mbps)		
			16QAM	64QAM	256QAM
1.0	6	1	20	30	NO EXISTÍA
1.1	6	1	20	30	NO EXISTÍA
2.0	6	1	20	30	40
3.0	6	4	80	120	160
		8	160	240	320
		12	240	360	480
		16	320	480	640
		24	480	720	960

**Tabla 1: Velocidad de transmisión downstream [12]**

De esta manera se observa el incremento de la velocidad a lo largo de las diferentes versiones, obteniéndose una velocidad aproximada de 1Gbps para la versión 3.0, considerando equipos CM que soporten 24 canales.

#### ❖ La velocidad en la transmisión UPSTREAM

En lo que respecta a la velocidad de transmisión en UPSTREAM, esta ha ido incrementando en la forma que se indica en la Tabla No. 2. [12].

VERSIÓN DOCSIS	ANCHO DEL CANAL (MHz)	NÚMERO DE CANALES	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN (Mbps)		
			QPSK	16 QAM	64 QAM
1.0	1,6	1	2,6	5	NO EXISTÍA
1.1	3,2	1	5	10	NO EXISTÍA
2.0	6,4	1	NO UTILIZADA	20	30
3.0	6,4	2	NO UTILIZADA	40	60
		4	NO UTILIZADA	80	120
		6	NO UTILIZADA	120	180
		8	NO UTILIZADA	160	240
		12	NO UTILIZADA	240	360

**Tabla 2: Velocidad de transmisión upstream [12]**

En esta tabla se detalla el ancho de banda del canal de cada versión, el número de canales con los que se comunicaban los equipos CMTS y CM, y la velocidad de transmisión de datos de acuerdo a la versión y al tipo de modulación que disponían.

### ❖ Tipo de formato de la señal UPSTREAM

Según la especificación DOCSIS 3.0, la capa PMD (Physical Media Dependent) puede utilizar los siguientes formatos para tratar la señal de subida o upstream:

- Formato TDMA (Acceso múltiple por división de tiempo),
- Formato FDMA (Acceso múltiple por división de frecuencia)
- Formato S-CDMA (Acceso múltiple por división de código sincronizado).

La configuración del sistema, para trabajar con cualquiera de estos formatos, se lo hace a través del equipo CMTS mediante mensajes MAC.

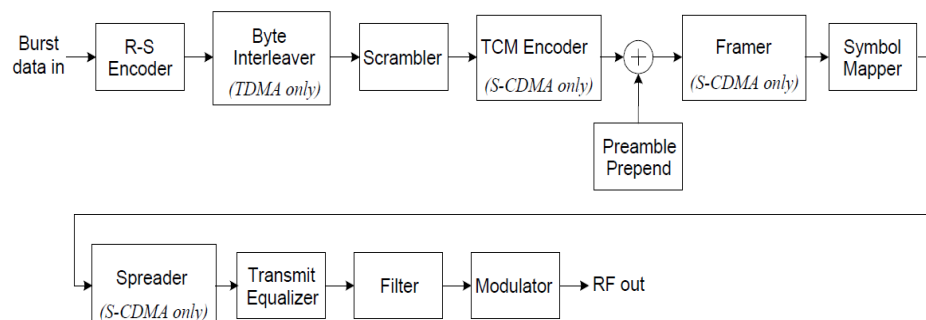
En el formato FDMA, la banda Upstream es dividido en múltiples canales RF. A un equipo CM se le asigna un determinado número de canales RF upstream, por los cuales podrá transmitir cuando lo requiera. Para la versión 3.0, un equipo CM debe soportar al menos 4 canales RF upstream.

En el formato TDMA, la banda Upstream de igual manera es dividido en múltiples canales RF; sin embargo en este formato los canales RF son compartidos por varios equipos CM por medio de la asignación dinámica de un slot de tiempo a cada equipo CM. El equipo CM transmitirá de acuerdo al slot de tiempo asignado.

En el formato S-CDMA, la banda Upstream es dividida en múltiples canales. En este formato múltiples equipos CM pueden transmitir simultáneamente en el mismo canal RF y durante el mismo slot de tiempo, puesto que los datos son separados por diferentes códigos ortogonales; de esta manera pueden ser recibidos y tratados independientemente.

### ❖ Secuencia del procesamiento de la señal en la capa física.

El diagrama de bloques del procesamiento de la señal en la capa física es el que se detalla a en la Figura No. 2.3.



**Figura 2.3: Diagrama de bloques del procesamiento de la señal [10]**

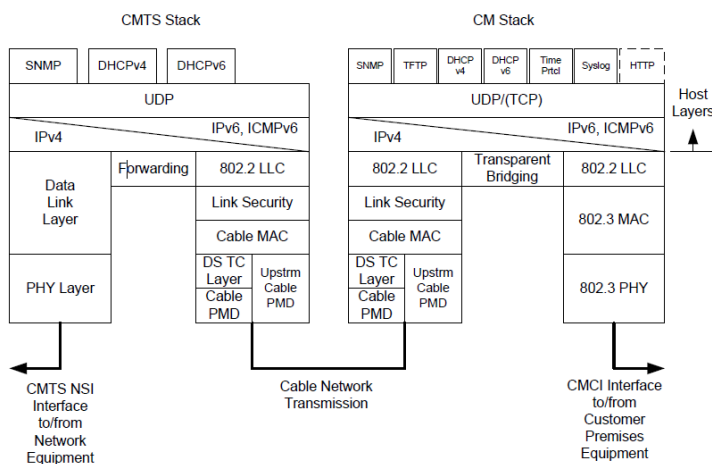
### 2.1.2. Especificaciones de los protocolos de interface MAC y capa superior.

#### ❖ Especificaciones de la interface del lado de la red (NSI).

El Protocolo de Internet (IP) versión 4 y versión 6 son requeridos en la capa de red. De acuerdo a la especificación de la Interface del lado de la red, DOCSIS NSI, varias combinaciones de capas de enlace de datos con capas físicas son requeridos para llevar el tráfico IP [13], a continuación se detalla estas combinaciones:

- ATM sobre STS-3c
- ATM sobre DS3
- FDDI
- 802.3 sobre 10BASE-T
- 802.3 sobre 100BASE-T
- Ethernet sobre 10BASE-T
- Ethernet sobre 100BASE-T

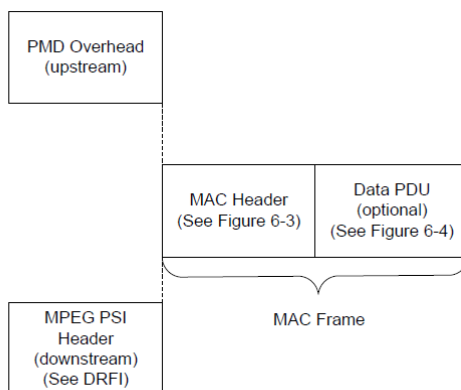
El usuario al momento de seleccionar los equipos debe considerar el cumplir con esta especificación a fin de que la transmisión del datagrama IP sea transparente.



**Figura 2.4: Pila de Protocolo DOCSIS [14]**

### ❖ Formato de la trama MAC

El formato genérico de la trama MAC está especificado en la siguiente gráfica:



**Figura 2.5: Formato de la trama MAC [15]**

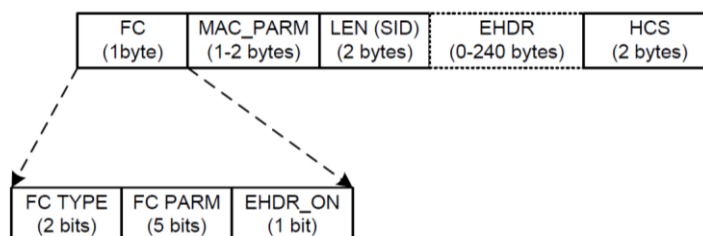
Para la transmisión Upstream la capa MAC va precedida de la cabecera de la subcapa PMD, pero si la transmisión es Downstream, la capa MAC va precedida de la cabecera MPEG de la subcapa Convergencia de Transmisión (TC).



La trama MAC está compuesta de la cabecera MAC que describe el contenido de la trama MAC, y los datos PDU. El tipo de datos PDU es también descrito en la cabecera MAC.

➤ Formato de la cabecera MAC

Tanto el equipo cable modem (CM) como el equipo Cable Modem Transmisión System (CMTS), deben usar una cabecera MAC como la que se indica a continuación:



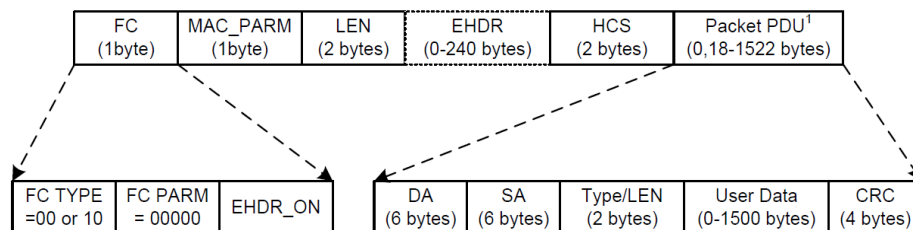
**Figura 2.6: Formato de una cabecera MAC [16]**

➤ Datos PDU

En el campo FC de la cabecera MAC, se especifica el tipo de datos que contendrá el campo Datos PDU, el cual puede ser de 4 clases: un Paquete de Datos PDU, un ATM de Datos PDU, un Paquete de Datos PDU con Aislamiento y una Trama MAC Específica.

➤ Tramas MAC basado en paquetes

Los equipos CM y CMTS deben soportar un Ethernet de longitud variable ISO/IEC 8802-3 tipo Trama MAC Data PDU y un Ethernet de longitud variable ISO/IEC 8802-3 tipo Trama MAC Data PDU con Aislamiento. A continuación se presenta un gráfico explicativo de la Trama MAC basado en paquetes y uno con el uso y tamaño de cada campo de la trama.



**Figura 2.7: Formato de trama MAC para paquetes de Datos PDU y Datos PDU con Aislamiento [16]**

Field	Usage	Size
FC	FC_TYPE = 00; Packet PDU MAC Header FC_TYPE = 10; Isolation Packet PDU MAC Header FC_PARM[4:0] = 00000; other values reserved for future use and ignored EHDR_ON = 0 if there is no extended header, 1 if there is an EHDR	8 bits
MAC_PARM	MAC_PARM = x; MUST be set to zero if there is no EHDR; Otherwise set to length of EHDR	8 bits
LEN	LEN = n+x; length of Packet PDU in bytes + length of EHDR	16 bits
EHDR	Extended MAC Header, if present	x (0-240) bytes
HCS	MAC Header Check Sequence	16 bits
Packet Data Packet PDU:	DA - 48 bit Destination Address SA - 48 bit Source Address Type/Len - 16 bit Ethernet Type or [ISO/IEC 8802-3] Length Field User Data (variable length, 0-1500 bytes) CRC - 32-bit CRC over packet PDU (as defined in Ethernet/[ISO/IEC 8802-3])	n bytes
	Length of Packet PDU or Isolation Packet PDU MAC frame	6 + x + n bytes

**Tabla 3: F Formato de trama MAC para paquetes de Datos PDU y Datos PDU con Aislamiento [16]**

➤ Tramas MAC tipo celda ATM

De acuerdo a la especificación de DOCSIS, está reservado para una futura definición de la Trama MAC de Celda ATM.

➤ Encabezados para tramas MAC específicos.

Hay varios encabezados MAC que son usados para funciones específicas, las cuales son accedidas cambiando el campo FC\_PARM; entre ellas tenemos las que se detallan en el siguiente cuadro:

FC_PARM	TIPO DE ENCABEZADO/TRAMA
00000	Encabezado temporizador
00001	Encabezado de gestión MAC
00010	Trama de solicitud
00011	Trama para fragmentación
00100	Trama de solicitud basada en profundidad QUEUE
11100	Encabezado de concatenación

**Tabla 4: Tramas y Encabezados MAC Específicos [16]**

❖ **Formato de la cabecera de segmento**

El equipo CM usa un encabezado de Segmento cuando requiere transmitir paquetes en modo Canal de Transmisión Múltiple para flujos de servicio. A continuación se presenta el formato del encabezado y una tabla con sus campos.

PFI (1 bit)	R (1 bit)	Pointer Field (14 bits)	Sequence # (13 bits)	SC (3 bits)	Request (2 Bytes)	HCS (2 Bytes)
----------------	--------------	----------------------------	-------------------------	----------------	----------------------	------------------

**Figura 2.8: Formato de la cabecera de segmento [16]**

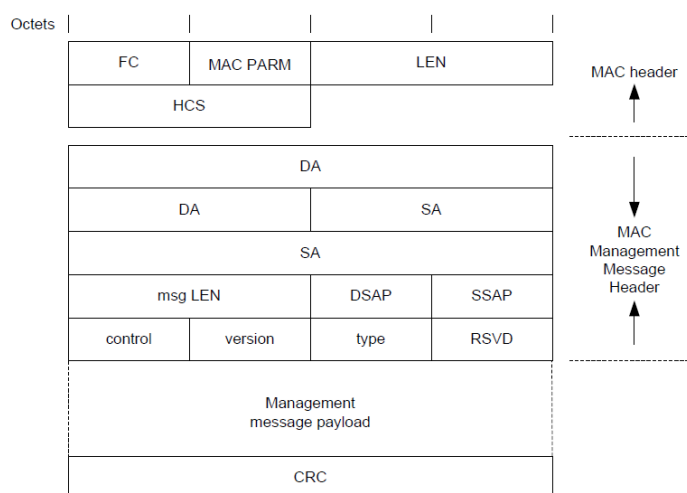
Field	Usage	Size
PFI	Pointer Field Indicator. This bit is set to a one, to indicate that the pointer field is relevant. When cleared to a zero, this bit indicates that there is no DOCSIS MAC frame starting within this segment and the pointer field is ignored.	1 bit
R	Reserved. This field should be set to a zero by the CM.	1 bit
Pointer Field	When the PFI bit is a one, the value in this field is the number of bytes past the end of the segment header that the receiver will skip when looking for a DOCSIS MAC Header. Thus, a value of zero in the pointer field with the PFI set to one would designate a DOCSIS MAC header beginning just after the segment header.	14 bits
Sequence #	Sequence number that increments by 1 for every segment of a particular service flow.	13 bits
SC	SID Cluster ID of the SID Cluster associated with the Request field of the segment header. The valid SID Cluster ID range is 0 to M-1, where M is the number of SID Clusters per Service Flow supported by the CM.	3 bits
Request	The total number of bytes requested in units of N bytes where N is a parameter of the service flow for which the request is being made. See Annex C.2.2.8.12.	2 bytes
HCS	MAC Header Check Sequence. Similar to HCS used on all MAC headers and is calculated over all other fields in the segment header.	2 bytes

**Tabla 5: Campos de la Cabecera de Segmento [16]**

### ❖ Mensajes de gestión MAC

#### ➤ Encabezamiento del mensaje de gestión MAC

Los equipos CM y CMTS encapsulan los mensajes de gestión MAC en las tramas MAC del cable de red. En la gráfica siguiente se muestra los campos del encabezado de la Trama MAC y del encabezado de Mensajes de Gestión MAC.



**Figura 2.9: Campos del encabezado MAC y del encabezado de mensajes de gestión MAC [16]**

En la siguiente tabla se detalla todos los tipos de mensajes de gestión MAC que se pueden generar:

Type Value	Version	Message Name	Message Description
1	1	SYNC	Timing Synchronization
2, 29, or 35	1, 3, or 4	UCD	Upstream Channel Descriptor A UCD for a DOCSIS 3.0 Only channel uses a type of 35 and a version of 4. A UCD for a DOCSIS 2.0/3.0 Only Channel uses a type of 29 and a version of 3. All other UCDs use a type of 2 and a version of 1 (see Section 6.4.3).
3	1	MAP	Upstream Bandwidth Allocation
4	1	RNG-REQ	Ranging Request
5	1	RNG-RSP	Ranging Response
6	1	REG-REQ	Registration Request
7	1	REG-RSP	Registration Response
8	1	UCC-REQ	Upstream Channel Change Request
9	1	UCC-RSP	Upstream Channel Change Response
10	1		Reserved (deprecated)
11	1		Reserved (deprecated) <sup>52</sup>
12	1	BPKM-REQ	Privacy Key Management Request [DOCSIS SECv3.0]
13	1	BPKM-RSP	Privacy Key Management Response [DOCSIS SECv3.0]
14	2	REG-ACK	Registration Acknowledge
15	2	DSA-REQ	Dynamic Service Addition Request
16	2	DSA-RSP	Dynamic Service Addition Response
17	2	DSA-ACK	Dynamic Service Addition Acknowledge
18	2	DSC-REQ	Dynamic Service Change Request
19	2	DSC-RSP	Dynamic Service Change Response
20	2	DSC-ACK	Dynamic Service Change Acknowledge
21	2	DSD-REQ	Dynamic Service Deletion Request
22	2	DSD-RSP	Dynamic Service Deletion Response
23	2	DCC-REQ	Dynamic Channel Change Request
24	2	DCC-RSP	Dynamic Channel Change Response
25	2	DCC-ACK	Dynamic Channel Change Acknowledge
26	2	DCI-REQ	Device Class Identification Request
27	2	DCI-RSP	Device Class Identification Response
28	2	UP-DIS	Upstream Transmitter Disable
29	3		(See entry for UCD above)
30	3	INIT-RNG-REQ	Initial Ranging Request
31	3	TST-REQ	Test Request Message
32	3	DCD	Downstream Channel Descriptor [DOCSIS DSG]

Type Value	Version	Message Name	Message Description
33	4	MDD	MAC Domain Descriptor
34	4	B-INIT-RNG-REQ	Bonded Initial Ranging Request
35	4		(See entry for UCD above)
36	4	DBC-REQ	Dynamic Bonding Change Request
37	4	DBC-RSP	Dynamic Bonding Change Response
38	4	DBC-ACK	Dynamic Bonding Change Acknowledge
39	4	DPV-REQ	DOCSIS Path Verify Request
40	4	DPV-RSP	DOCSIS Path Verify Response
41	4	CM-STATUS	Status Report
42	4	CM-CTRL-REQ	CM Control
43	4	CM-CTRL-RSP	CM Control Response
44	4	REG-REQ-MP	Multipart Registration Request
45	4	REG-RSP-MP	Multipart Registration Response
46	4	EM-REQ	Energy Management Request
47	4	EM-RSP	Energy Management Response
48	4	CM-STATUS-ACK	Status Report Acknowledge
All others			Reserved for future use

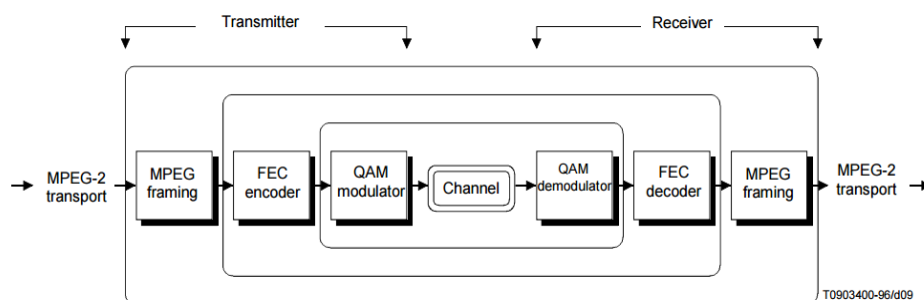
**Tabla 6: Tipos de mensajes de gestión MAC [16]**

❖ **Protocolo para la señal DOWNSTREAM en la capa física.**

Para los protocolos de la señal Downstream, la capa física debe adaptarse a la Recomendación J.83 Anexo B de la norma ITU-T (ITU-T J.83-B) excepto la parte de Interleaver que está normado por el Estándar DOCSIS [14].

La Recomendación antes indicada describe la estructura de trama, la codificación del canal y la modulación del canal para un sistema de distribución de televisión digital de multi-servicio, el cual es específico para un canal de cable. Cubre para 64QAM y para 256QAM [17].

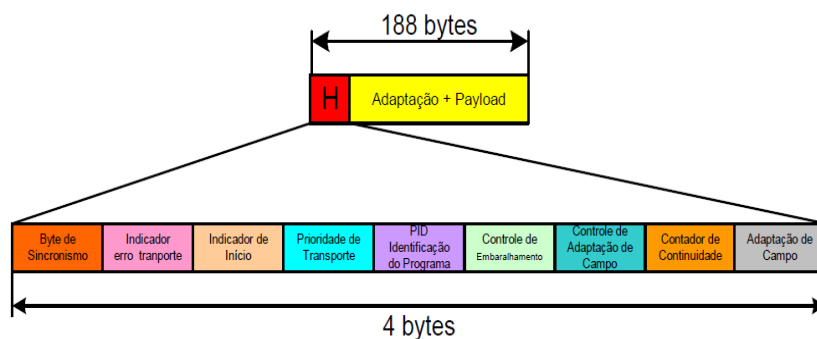
El diagrama de bloques básico del procesamiento de la transmisión es el que se detalla a continuación;



**Figura 2.10: Diagrama de bloques de la transmisión por cable [17]**

➤ Capa de transporte MPEG-2

Esta señal que ingresa está compuesta por datos en formato MPEG-2, la cual está formada de paquetes de datos de 188 bytes; de ellos 1 byte es para sincronización, 3 son para la información de encabezado del paquete de datos y los 184 restantes son para los datos, esto se aprecia en la siguiente Figura 2.11:



**Figura 2.11: Gráfico de la capa de transporte [18]**

➤ Capa de enlace de datos MAC

Esta Recomendación J.83 especifica el procedimiento para esta capa, sin embargo indica también que este procedimiento puede ser reemplazado con uno que sea apropiado al protocolo de transporte.

### 2.1.3. Especificaciones de la interface radio frecuencia de la señal de bajada

En esta parte analizaremos las subcapas que por las que atraviesa la señal de bajada.

#### ❖ Especificaciones de la subcapa Dependiente del Medio Físico (PMD)

La subcapa PMD está relacionada con la señal DOWNSTREAM, como veremos a continuación.

#### ➤ Protocolo DOWNSTREAM

La especificación DOCSIS indica que esta capa debe acoplarse al estándar ITU-T Recomendación J.83 Anexo B, excepto en la profundidad del Interleaver, la cual está dada por la especificación DRFI de Docsis.

En la siguiente tabla se detalla la profundidad del Interleaver que el DOCSIS 3.0 presenta:

Control Word	Interleaver Taps	Interleaver Increment	64-QAM 5.056941 Msym/sec 6 bits per symbol		256-QAM 5.360537 Msym/sec 8 bits per symbol	
			Burst Protection	Latency	Burst Protection	Latency
1001	8	16	5.9 uSec	0.22 mSec	4.1 uSec	0.15 mSec
0111	16	8	12 uSec	0.48 mSec	8.2 uSec	0.33 mSec
0101	32	4	24 uSec	0.98 mSec	16 uSec	0.68 mSec
0011	64	2	47 uSec	2.0 mSec	33 uSec	1.4 mSec
0001	128	1	95 uSec	4.0 mSec	66 uSec	2.8 mSec

**Tabla 7: Profundidad del Interleaver de Baja Latencia [14]**



Control Word	Interleaver Taps	Interleaver Increment	64-QAM 5.056941 Msym/sec 6 bits per symbol		256-QAM 5.360537 Msym/sec 8 bits per symbol	
			Burst Protection	Latency	Burst Protection	Latency
Four Bits	I	J				
0000	128	1	95 uSec	4.0 mSec	66 uSec	2.8 mSec
0010	128	2	190 uSec	8.0 mSec	132 uSec	5.6 mSec
0100	128	3	285 uSec	12 mSec	198 uSec	8.4 mSec
0110	128	4	380 uSec	16 mSec	264 uSec	11 mSec
1000	128	5	475 uSec	20 mSec	330 uSec	14 mSec
1010	128	6	570 uSec	24 mSec	396 uSec	17 mSec
1100	128	7	664 uSec	28 mSec	462 uSec	20 mSec
1110	128	8	759 uSec	32 mSec	528 uSec	22 mSec

**Tabla 8: Profundidad del Interleaver de protección de ruido y larga duración [14]**

La capa de transmisión de convergencia downstream que usan los equipos CMTS está definida como una serie de paquetes de 188 bytes MPEG [ISO 13818]. Estos paquetes están compuestos por 4 bytes para la información de la cabecera y 184 bytes para los datos de información. La cabecera indica el tipo de datos de información el cual puede ser la trama MAC de DOCSIS u otro tipo de información utilizado por el CMTS

#### ❖ Subcapa de Transmisión de Convergencia (TC) DOWNSTREAM

##### ➤ Formato del paquete MPEG

El formato del paquete MPEG llevando información DOCSIS, es el siguiente:

MPEG Header (4 bytes)	pointer_field (1 byte)	DOCSIS Payload (183 or 184 bytes)
--------------------------	---------------------------	--------------------------------------

**Figura 2.12: Formato de un paquete MPEG [14]**

El pointer\_field no está presente en todos los paquetes, y contiene el número de bytes en el paquete que inmediatamente siguen al campo pointer\_field que el CM debe saltar antes de observar por el comienzo de una trama MAC DOCSIS.

➤ Cabecera MPEG para datos DOCSIS sobre cable.

El formato normal de una para la cabecera de un MPEG transport stream está definida en la sección 2,4 del ISO 13818. Sin embargo, para la cabecera MPEG para datos DOCSIS los valores de los campos son los que se detallan a continuación:

Field	Length (bits)	Description
sync_byte	8	0x47; MPEG Packet Sync byte.
transport_error_indicator	1	Indicates that an error has occurred in the reception of the packet. This bit is reset to zero by the sender, and set to one whenever an error occurs in the transmission of the packet.
payload_unit_start_indicator	1	A value of one indicates the presence of a pointer_field as the first byte of the payload (fifth byte of the packet).
transport_priority	1	Reserved; set to zero.
PID	13	DOCSIS Data-Over-Cable well-known PID (0x1FFE).
transport_scrambling_control	2	Reserved, set to '00'.
adaptation_field_control	2	'01'; use of the adaptation_field is not allowed on the DOCSIS PID.
continuity_counter	4	Cyclic counter within this PID.

**Tabla 9: Formato de cabecera MPEG para datos DOCSIS sobre cable [14]**

A pesar de que debe seguirse el formato normal indicado por el ISO 13818, el campo Adaptation\_Field\_Control no es permitido en datos DOCSIS, por ello debe observarse lo que se indica en la tabla anterior.

❖ **Interacción con la subcapa MAC**

Una trama MAC puede comenzar en cualquier sitio del paquete MPEG; una trama MAC puede ocupar todo el paquete MPEG o varias tramas MAC pueden ocupar solo un paquete MPEG.

A continuación se muestran las diferentes situaciones que se pueden ocurrir:

MPEG Header (PUSI = 1)	pointer_field (= 0)	MAC Frame (up to 183 bytes)	stuff_byte(s) (0 or more)
---------------------------	------------------------	--------------------------------	------------------------------

**Figura 2.13: Formato de paquete MPEG donde una trama MAC sigue inmediatamente al Pointer\_field [14]**

MPEG Header (PUSI = 1)	pointer_field (= M)	Tail of MAC Frame #1 (M bytes)	stuff_byte(s) (0 or more)	Start of MAC Frame #2
---------------------------	------------------------	-----------------------------------	------------------------------	-----------------------

**Figura 2.14: Formato paquete MPEG con una trama MAC precedida por stuff\_byte [14]**

MPEG Header (PUSI = 1)	pointer_field (= 0)	MAC Frame #1	MAC Frame #2	stuff_byte(s) (0 or more)	MAC Frame #3
---------------------------	------------------------	--------------	--------------	------------------------------	--------------

**Figura 2.15: Formato paquete MPEG mostrando múltiples tramas MAC dentro de un simple paquete [14]**

MPEG Header (PUSI = 1)	pointer_field (= 0)	stuff_byte(s) (0 or more)	Start of MAC Frame #1 (up to 183 bytes)	
MPEG Header (PUSI = 0)	Continuation of MAC Frame #1 (184 bytes)			
MPEG Header (PUSI = 1)	pointer_field (= M)	Tail of MAC Frame #1 (M bytes)	stuff_byte(s) (0 or more)	Start of MAC Frame #2 (M bytes)

**Figura 2.16: Formato paquete MPEG donde una trama MAC ocupa múltiples paquetes [14]**

#### ❖ Interacción con la capa física

El MPEG packet stream debe ser codificado de acuerdo al ITU-T J.83-B, incluyendo el MPEG-2 transport framing usando una paridad checksum como se describe en el ITU-T J.83-B.

#### 2.1.4. Especificaciones de la interface cable modem CPE (Customer Premises Equipment).

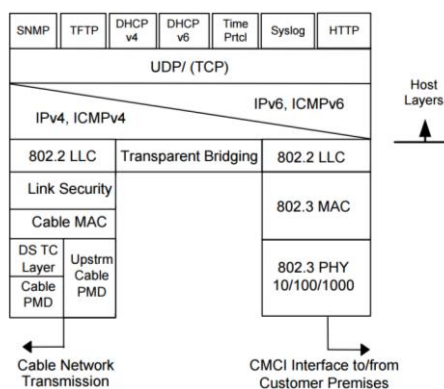
Analizaremos la interface entre el cable modem y los equipos CPE.

##### ❖ Interfaces CPE externas

La especificación DOCSIS 3.0 no exige al equipo CM algún tipo específico de interface para comunicarse con los CPE, [19]. Sin embargo vamos a analizar 2 tipos de interface que podría poseer un CM:

##### ➤ Ethernet

Un equipo CM con Interface Ethernet [ISO/IECE 8802-2] o [ISO/IECE 8802-3], tiene la estructura que se muestra a continuación:



**Figura 2.17: Pila del protocolo Ethernet de un equipo CM [19]**

##### ➤ Bus Serial Universal (USB)

Un equipo CM con interface USB tiene la estructura que se muestra en la gráfica siguiente:

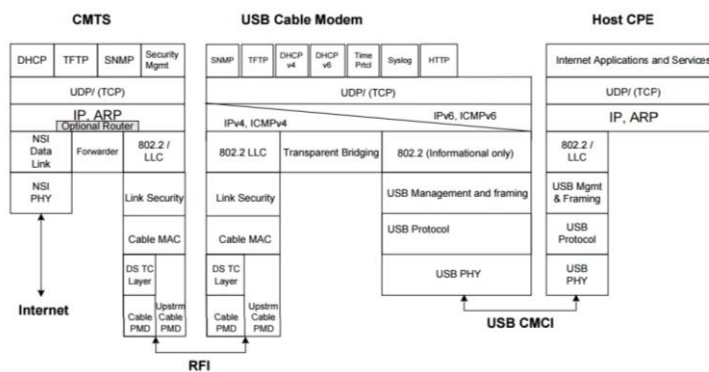


Figura 2.18: Pila de protocolo de equipo CM End-to-End USB [19]

### 2.1.5. Especificaciones de la interface del sistema de soporte de operaciones del cable modem (CM).

La versión DOCSIS 3.0 introdujo características nuevas y mejoras a características que ya tenían versiones anteriores, [20]. En la Tabla 10 se muestra los requerimientos que soportan tanto las nuevas características como las que han sido mejoradas:

Features	Management Functional Area	OSI layer	NE	Description
Multiple Upstream Channels per port	Configuration	PHY	CMTS	Provisioning physical upstream ports that support multiple upstream receivers according to their capabilities.
Plant Topology		PHY, MAC (Data Link)	CMTS	Provisioning flexible arrangements of US/DS channels for channel bonding configuration to reflect HFC plant topology.
Enhanced Diagnostics	Fault	PHY, MAC, Network	CMTS	Detailed log of different conditions associated with the CM registration state and operation that may indicate plant problems affecting service availability.
Enhanced Performance Data Collection	Performance	PHY, MAC, Network	CMTS	IPDR streaming of large statistical data sets such as CMTS CM Status information with less performance impact on the CMTS resources.
Enhanced Signal Quality Monitoring		PHY	CMTS	To gather information on narrow band ingress and distortion affecting the quality of the RF signals.
Usage Based Billing	Accounting	PHY, MAC, Network	CMTS	Update SAMIS to 3.0 specification requirements.
Enhanced Security	Configuration, Fault, Performance, Security	MAC, Network	CM/CMTS	Updates to management models to support The DOCSIS 3.0 security features.
IPv6	Configuration, Fault, Performance	Network	CM/CMTS	Updates to management models to support IPv6 provisioning, CM IP stack management, CMTS and CM IP Filtering requirements.
Channel Bonding	Configuration, Fault, Performance	PHY, MAC	CM/CMTS	Update existing management models and include new events to support DS and US channel bonding.
IP Multicast	Configuration, Fault, Performance	MAC, Network	CM/CMTS	Update existing management modes to support new multicast capabilities such as SSM, IGMP v3, MLD v1 and v2.

**Tabla 10: Requerimientos para las características de gestión de DOCSIS 3.0 [20]**

Estas características fueron categorizadas en 5 tipos, las cuales se detallan a continuación.

➤ **Características de manejo de fallas.**

Los requerimientos que DOCSIS 3.0 incluye para las mejoras en las características de manejo de fallas son:

- Que presente una lista detallada de los eventos que se relacionan con las nuevas características que presenta esta versión.
- Que contenga una nueva herramienta de diagnóstico que permite detectar operaciones no estables del equipo CM, así por ejemplo:

- Los repetidos intentos del equipo CM para registrarse
- Las secuencias de reintento de la sección de mantenimiento.

➤ **Características de manejo de la configuración.**

DOCSIS 3.0 especifica los siguientes requerimientos:

- Que los parámetros de configuración del equipo CM sean actualizados para soportar IPv6, channel bonding, mejor seguridad e IP multicast.
- Que la configuración del CMTS sea actualizada para soportar múltiples canales upstream por puerto, topología de planta HFC, channel bonding, mejor seguridad, IPv6 y multicast IP.
- Que el proceso de aprovisionamiento del CM tenga mejoras en su seguridad, como el proxy TFTP, la configuración del File Learning, la lista de certificados de revocación, entre otros.

➤ **Características del manejo del performance.**

Para recolectar extensos datos, DOCSIS 3.0 se basa en los siguientes mecanismos:

- Información del estado del equipo CM.
- Detalle de las estadísticas en relación a los canales con channel bonding, lo cual ayudaría a planificar y dimensionar la capacidad de la red.
- Un mejorado monitoreo de la calidad de la señal, esto permitirá tener más detalle del estado de la planta.

➤ **Características de manejo de seguridad.**

El manejo de la seguridad está relacionado con la seguridad que se brinde a la información que se transmite y con la seguridad de la red, respecto a la autenticación, autorización y privacidad de los datos.

DOCSIS 3.0 presenta características que fortalecen la confiabilidad de los datos del usuario y la autenticación del equipo CM a través de la actualización del software. Esto permite proteger contra ataques de robos o denegaciones del servicio.

➤ **Características de manejo de cuenta.**

El equipo CMTS soporta la recolección de información útil para la facturación.

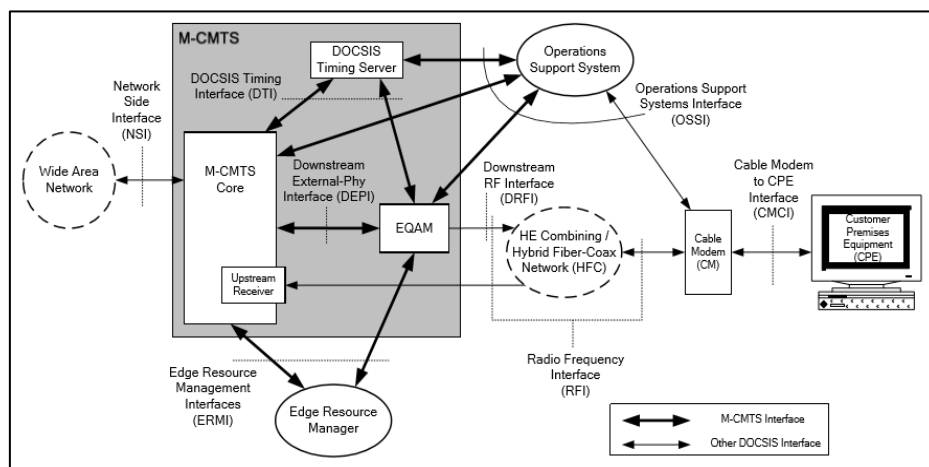
DOCSIS OSSY utiliza el protocolo SNMP (Protocolo de Administración de Red Simple) versión 1, 2c y 3 para definir la información de administración de la red DOCSIS, para dar el soporte a los 5 tipos o áreas funcionales antes descritas.

También usa un modelo orientado a objetos para los requerimientos de captura y análisis de datos en una representación de protocolo independiente.

**2.1.6. Especificaciones de la interface del sistema de soporte de operaciones del CMTS (OSSI).**

Según se indica en la nueva versión del Estandar DOCSIS, [21], la arquitectura CMTS Modular (M-CMTS) separa el CMTS tradicional en 2 partes que son: el componente de la capa física de la señal de bajada que la llama DOCSIS EQAM y la parte correspondiente a las funciones de red IP y MAC DOCSIS, ver Figura 2.19. Esta división del equipo CMTS introdujo 3 nuevos protocolos de interface que son el DOCSIS Timing Interface (DTI), el Downstream External PHY Interface (DEPI) y el Edge Resource Management Interface (ERMI).





**Figura 2.19: Arquitectura de un CMTS Modular [21]**

La parte M-CMTS Core, contiene todas las funciones que tradicionalmente tenía el CMTS incluyendo la trama, la temporización MAC, la clasificación de los paquetes, el manejo del flujo de servicio y la seguridad.

La parte EQAM realiza las funciones de transmisión de la señal RF, que comprende la modulación y la conversión de frecuencia para la transmisión de los datos a través de la red HFC.

La parte DOCSIS Timing Server aparece en esta arquitectura modular, con la finalidad de mantener la referencia de tiempo entre las dos partes, el M-CMTS Core y el EQAM. La interface DOCSIS Timing Interface (DTI) es la que regula y controla la comunicación entre el servidor DTI y los clientes que vienen a ser el M-CMTS y el EQAM.

### 2.1.7. Especificaciones de seguridad.

Esta especificación detalla los servicios de seguridad que se tendrán en las comunicaciones a través de DOCSIS. La finalidad es proveer a los usuarios la seguridad a través de la red y prevenir el acceso no autorizado a la misma. Para ello encripta el flujo de tráfico entre el CM y el CMTS y emplea un protocolo de gestión de autenticación cliente servidor, [22].

El sistema de seguridad está basado en el DOCSIS Baseline Privacy Plus (DOCSIS BPI+).

#### ❖ **Arquitectura del BPI+**

Su arquitectura está compuesta de dos protocolos:

- Un protocolo de encapsulación para encriptar los paquetes de datos a través de la red; y,
- Un protocolo de gestión de claves para proveer seguridad a los datos desde el CMTS hasta el CM.

#### ❖ **Encriptación de los paquetes de datos.**

Se lo realiza a través de un conjunto de servicios extendidos dentro de la subcapa MAC de DOCSIS. La información es puesta en un elemento Extended Header dentro del MAC Extended Header.

Solo se encripta los paquetes de datos, el encabezado de la trama MAC no es encriptada.

#### ❖ **Protocolos de manejo de claves.**

Los equipos CM usan el protocolo Gestión de Clave Privada de Línea base (BPKM) para obtener la autorización y las claves de encriptación del tráfico; y, para las reautorizaciones y refrescamientos posteriores de las claves.

Para ello usa un modelo cliente-servidor, donde el CM es un cliente y el CMTS es el servidor. El protocolo BPKM es transportado como mensajes de gestión MAC DOCSIS.

El CMTS autentica a un cliente CM durante el intercambio inicial de autorización y lo hace a través de la función de Encriptación y Autenticación Temprana (EAE) o durante las operaciones posteriores al registro. Cada CM porta un único certificado digital que lo da el fabricante;

este certificado digital contiene la clave pública, la dirección MAC del CM, la identificación del fabricante y el número de serie del CM. Cuando el CM solicita una clave de autorización al CMTS, presenta su certificado digital, el CMTS lo valida y luego usa la clave pública para encriptar la clave de autorización la cual es enviada al CM.

#### ❖ **Características de seguridad implementadas en DOCSIS 3.0.**

Las especificaciones de DOCSIS 3.0 incluyen las siguientes nuevas características, sobre las versiones anteriores:

- Encriptación del tráfico AES con 128 bits
- Autenticación temprana del equipo CM y encriptación de tráfico (EAE)
- Características mejoradas para proveer seguridad
- Verificación de la dirección IP de la fuente.
- Proxy TFTP y archivo de configuración con característica de autoaprendizaje.
- Algoritmo MMH para CMTS MIC.
- Renovación del Certificado
- Soporte de actualización de los certificados CableLabs CVC Root CA y CableLabs CVC CA, para usos futuros en descarga de software seguro.
- Soporte de encriptación para el nuevo método de mensaje multicast..

#### **2.1.8. Interface de temporización DOCSIS (DTI).**

Originalmente DOCSIS consideraba como un solo componente al núcleo M-CMTS, al EQUAMs y a las funciones de recepción upstream los cuales eran alimentados por un único reloj. Sin embargo en la arquitectura física actual del M-CMTS resulta que estas partes son componentes separados e incluso pueden estar localizados en diferentes lugares, requiriéndose

por tanto de una interface de temporización que permita sincronizar las actividades de estas partes. En base a ello se crea el servidor DTI y los clientes DTI, estos últimos se encuentran en cada una de las partes antes descritas [23].

La interface de temporización DOCSIS define la exactitud y robustez en el transporte del reloj maestro de 10.24MHz, del tiempo DOCSIS (timestamp) de 32-bits y de la hora del día, desde el servidor DTI hacia los clientes DTI a través del cable de red DOCSIS M-CMTS.

#### ❖ **Requerimientos de implementación modular**

Cada una de las partes usa las señales enviadas por el servidor DTI, de la siguiente manera:

El componente NUCLEO M-CMTS:

- Usa el reloj maestro para crear el timestamp
- Usa el timestamp para la generación del MAP

El componente Edge QAM:

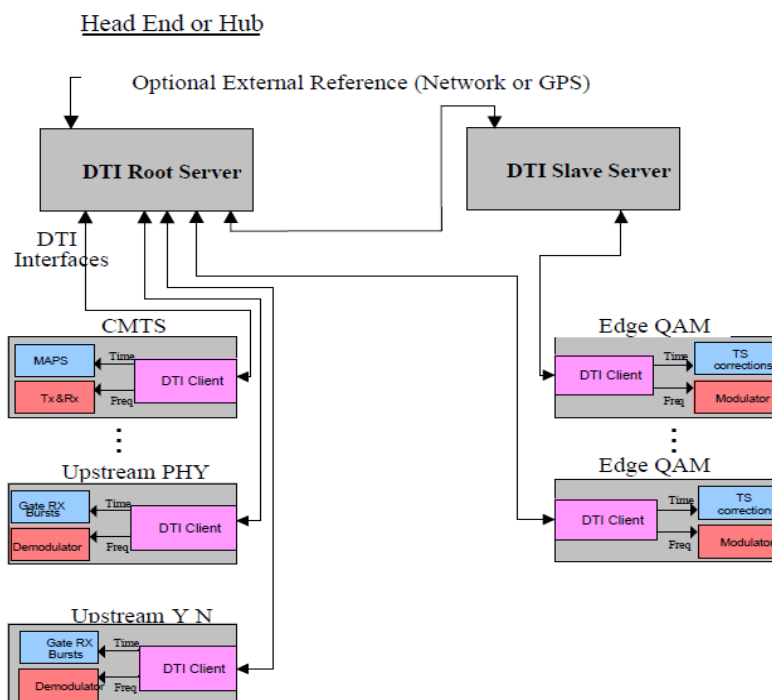
- Usa el reloj maestro para la generación de la rapidez de los símbolos
- Usa el timestamp para insertar o corregir los mensajes SYNC

El componente RECEPTOR UPSTREAM:

- Usa el timestamp y/o la trama S-CDMA y el MAP para determinar cuándo buscar un receiver burst
- Usa un reloj asegurado al reloj maestro para la recepción de símbolos en el modo S-CDMA.

#### ❖ **Estructura**

La estructura que tiene es la siguiente:



**Figura 2.20: Estructura de la Temporización DOCSIS (DTI) [23]**

El servidor DTI establece la referencia para la red de distribución de tiempo, con la cual sincroniza los DTI clientes que están en los 3 componentes a través de una vía punto a punto. Los componentes Edge QAM, M-CMTS y Receptor Upstream pueden tener diferentes usos pero utilizan una función cliente común; con un simple protocolo enviado por el servidor DTI el cliente DTI realiza una sincronización en frecuencia y en tiempo.

Los pasos que se siguen son los siguientes:

- El servidor DTI envía el protocolo de inicio, el cliente DTI lo usa para sincronizar su tiempo y frecuencia.
- El cliente DTI siempre contesta inmediatamente al servidor. El servidor utiliza esta respuesta para autocompensar algún retardo con la finalidad de que el cliente llegue a una sincronización precisa con el servidor. Usando un esquema ping-pong.

- El saludo continuo entre estas dos partes se mantiene y con ello una muy ligera desviación en la sincronización puede ser mantenida.

#### ❖ **Requerimientos de la capa física:**

Considerando que el enlace DTI se parece al enlace Ethernet (802.3) 10BaseT, es conveniente por tanto analizar la disponibilidad y la efectividad del costo del estándar. Debido a ello a continuación se presenta una tabla comparativa de las características de estos dos estándares:

Characteristic	Ethernet 802.3-10BaseT	DOCSIS Timing Interface
Data Rate (Mbps)	10	5.12
Accuracy	Free-running; 100 ppm	Traceable to Master Clock
Transmission mode(s)	Full/half Duplex <sup>(1)</sup>	Ping-Pong <sup>(1)</sup>
Topology	Star <sup>(2)</sup>	Star <sup>(2)</sup>
Maximum Segment Length	100 m	200 m
Media	UTP	UTP
Signaling method	Baseband	Baseband
Modulation	Manchester	Manchester

**Tabla 11: Comparación de la Capa Física [23]**

En la tabla anterior hay que tomar en consideración lo siguiente:

- Los trasreceptores Ethernet 802.3 convencionales utilizan un par de cables separados para la transmisión en las dos direcciones. El DTI utiliza un esquema ping-pong, según el cual por el mismo par de cables se realiza la transmisión en ambas direcciones, lo cual reduce los retardos en la transmisión.
- El Ethernet convencional utiliza una instalación en configuración estrella en el cual el punto común es el Hub o Switch. En el escenario DTI el punto común es el servidor DTI.

## ❖ Protocolo de temporización DOCSIS

### ➤ Entidades de temporización DTI:

El protocolo DTI es aplicado por dos entidades terminales, que son:

- El servidor DTI
- El cliente DTI

Estas dos entidades son parte de la arquitectura M-CMTS.

El servidor DTI debe soportar múltiples clientes DTI.

El servidor DTI debe soportar una interface de administración SNMP (Single Network Management Protocol), direccionamiento IP y conectores RJ45.

El servidor DTI en una construcción simple puede consistir de servidores activos y de respaldo, en una estantería común, o servidores DTI en estanterías subtendidas.

El servidor DTI puede soportar al menos una de las siguientes dos capacidades:

1. Operar como un servidor subtendido
2. Proveer salidas DTI capaces de soportar servidores subtendidos DTI.

A continuación se dan los requerimientos de exactitud que se debe tener en los servidores clientes, parámetros que pueden ser medidos con suficiente exactitud por calibradores de retardo instalados en esos servidores, los cuales proveen suficientes puntos de medición para determinar el retardo.

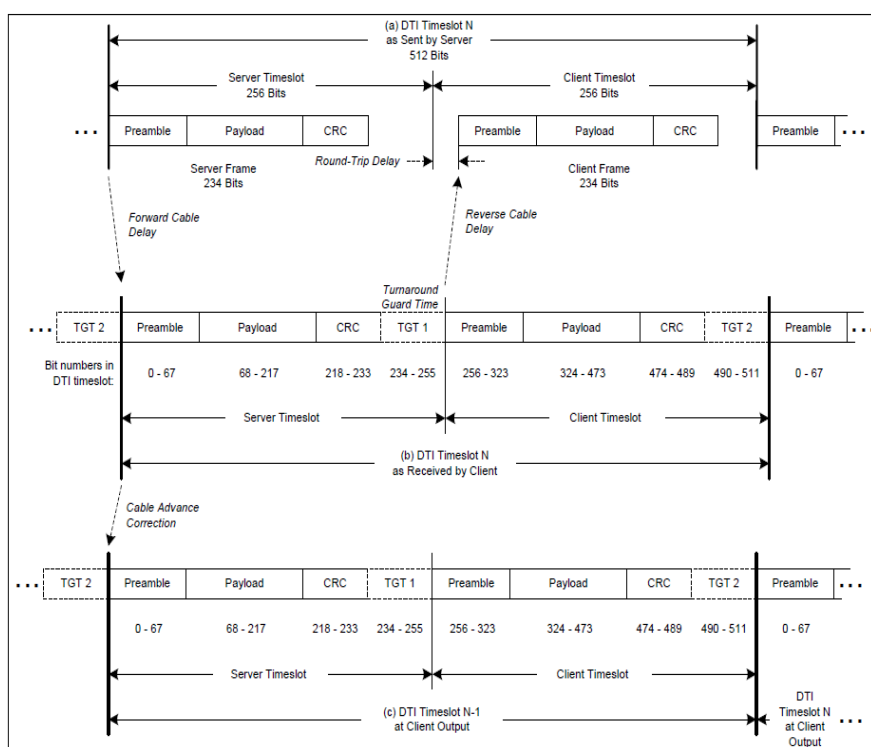
Las salidas de los servidores raíz DTI deben tener una exactitud de 1,25ns.

Las salidas de los servidores subtendidos DTI deben tener una exactitud de 2,5ns

La salida de un servidor DTI que puede soportar un servidor subtendido DTI debe tener una exactitud de 1,25ns.

➤ Estructura del temporizador DTI:

A continuación se da el gráfico de la estructura:



**Figura 2.21: Estructura de Temporización del Protocolo DTI [23]**

En la figura 2.21 se aprecia en la parte (a) el protocolo de temporización DOCSIS enviado por el servidor, en la parte (b) se aprecia el recibido por el cliente luego del retardo que genera el cable, y en la parte (c) se aprecia la señal de salida en el Puerto de prueba del cliente después de la corrección del retardo del cable. El reloj maestro dentro de un DTI tiene 1024 periodos (10,24MHz); un periodo bit está compuesto por dos



periodos de reloj maestro, por tanto un slot de tiempo DTI tiene 512 periodos bit, como se observa en la gráfica anterior.

El slot de tiempo DTI es dividido en dos intervalos iguales, el slot de tiempo del servidor y el slot de tiempo del cliente. Las tramas tanto del Servidor como del Cliente son de 234 bits de longitud, cada uno de ellos seguido de 22 bits de Tiempo de Guarda (TGT); las cuales están al final de las tramas del Servidor y del Cliente y tienen como finalidad permitir al Cliente completar el procesamiento del CRC y realizar el switcheo de recepción a transmisión, en tanto que en el servidor es para proveer el retardo del cable del viaje tanto de ida como de retorno de la señal asegurando con ello que el servidor no transmita hasta que haya terminado de recibir la trama del Cliente; además incluye el tiempo de switcheo de recepción a transmisión.

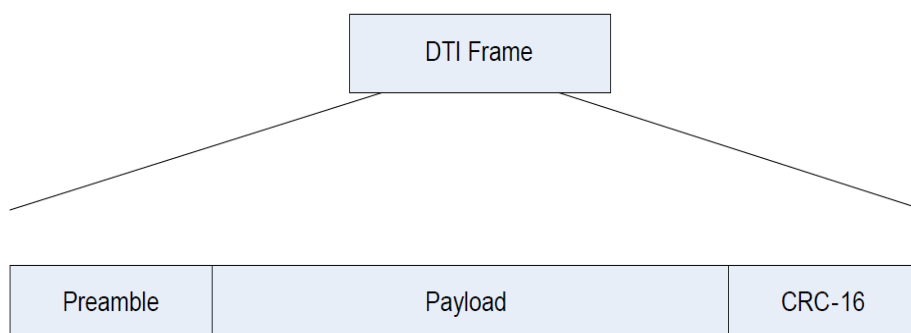
Existen 4 modos para fijar la hora del día en el Servidor:

1. GPS
2. Tiempo puesto por el usuario
3. Tiempo puesto por defecto
4. Tiempo puesto a través de un Protocolo de Red de Temporización (NTP) versión 4 o mayor.

El modo GPS es el que provee un tiempo más exacto.

#### ➤ Requerimientos de estructura de la trama DTI

La estructura de la trama DTI consiste de un Preámbulo, seguido de los datos DTI y finalmente por un CRC de 16 bits como se muestra en la figura siguiente:



**Figura 2.22: Estructura de trama DTI [23]**

La estructura de la trama DTI está compuesta de 234 bits incluyendo el preámbulo y el CRC. El CRC debe ser calculado solamente por los Datos DTI.

La estructura en la dirección Servidor a Cliente opera en la forma que se muestra en la tabla siguiente:

DTI Server Frame Structure			
FIELD	NAME	SIZE (Bits)	DESCRIPTION
1	PREAMBLE	68	Preamble of 0xAAAA AAAA AAAA AAAA 9 prior to Manchester encoding
2	DEVICE TYPE	8	Byte describing type of server.
3	SERVER STATUS FLAGS	8	8 flag bits identifying server status.
4	DOCSIS UPPER TIMESTAMP	22	22 Most Significant Bits of the DTS
5	TIME OF DAY	10	Field supports serial TOD message over multiple frames.
6	CABLE ADVANCE	24	Integer and Fractional Cable Advance
7	PATH TRACEABILITY FIELD	10	Field supports serial Path Traceability Message over multiple frames.
8	RESERVED	68	All bits set to one.
9	CRC16	16	16 bit CRC, which covers all bits except preamble.
	Total Payload Bits	234	

**Tabla 12: Estructura de trama del Servidor DTI [23]**

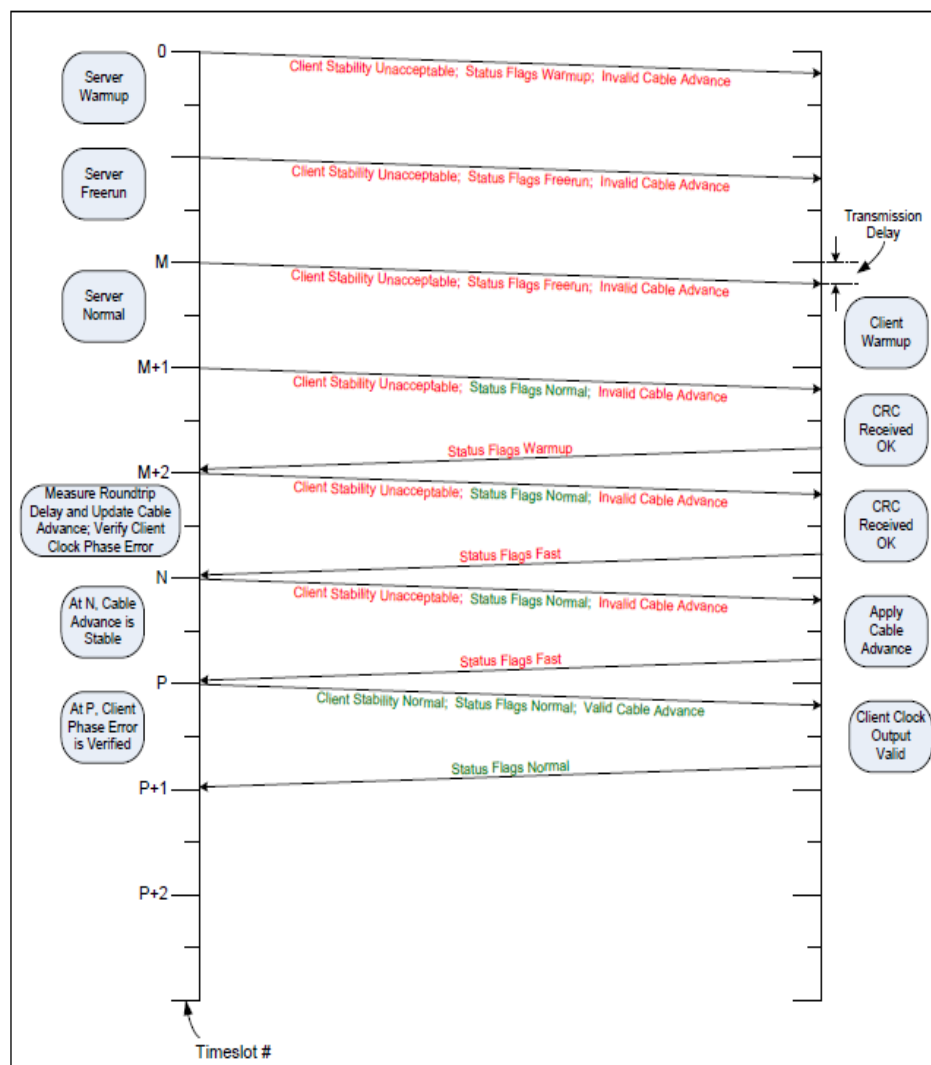
La estructura de la trama en la dirección Cliente a Servidor opera en la forma que se detalla en la siguiente tabla:

DTI CLIENT FRAME STRUCTURE			
Field	Name	Size	Description
1	PREAMBLE	68	Preamble of 0xAAAA AAAA AAAA AAAA 6 prior to Manchester encoding
2	DEVICE TYPE	8	Byte describing type of client
3	CLIENT STATUS FLAGS	8	8 flag bits identifying client status
4	RESERVED	22	Not used; set to one.
5	RESERVED	10	Not used; set to one.
6	CLIENT CLOCK INTEGRATED PHASE	24	16-bit 2-complement value of the local frame clock
7	CLIENT DTI VERSION	10	Client DTI Version Number
8	RESERVED	68	All bits set to one.
9	CRC16	16	16 bit CRC, which covers all bits except preamble.
	Total Payload Bits	234	

**Tabla 13: Estructura de trama del Cliente DTI [23]**

➤ Interacción del protocolo DTI Cliente – Servidor

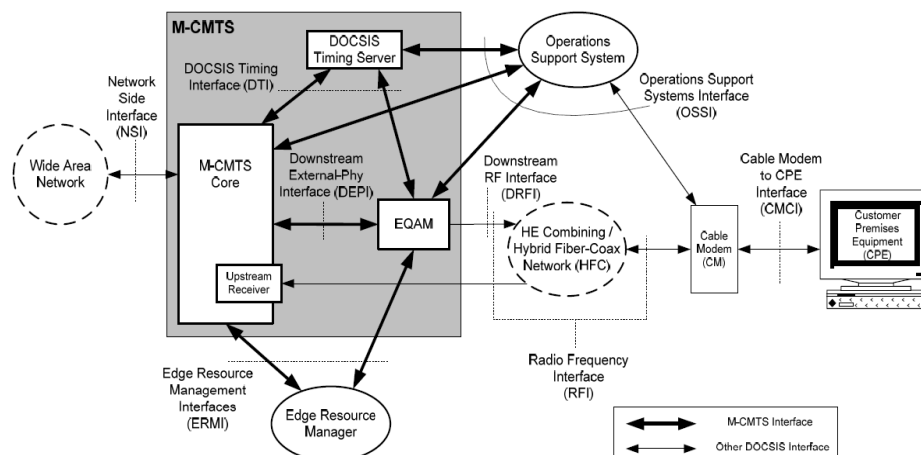
La Figura No. 2.23 muestra un diagrama del intercambio de protocolos entre el Servidor y el Cliente:



**Figura 2.23: Diagrama de intercambio de protocolos entre el Servidor y el Cliente [23]**

### 2.1.9. Especificaciones de interface física externa de la señal de bajada (DEPI).

En la Figura No. 2.24 se muestra la arquitectura modular de un CMTS, en ella se aprecia los diferentes módulos que interactúan y las interfaces que están entre estos módulos.



**Figura 2.24: Arquitectura de referencia de un CMTS modular [24]**

El Edge QAM o EQAM es un componente que tiene una o más entradas Gigabits Ethernet, múltiples moduladores QAM y convertidores a radiofrecuencia a la salida. Cada salida es un Canal QAM.

El M-CMTS core contiene el MAC Downstream y todo lo relacionado con el software de inicialización y operación DOCSIS.

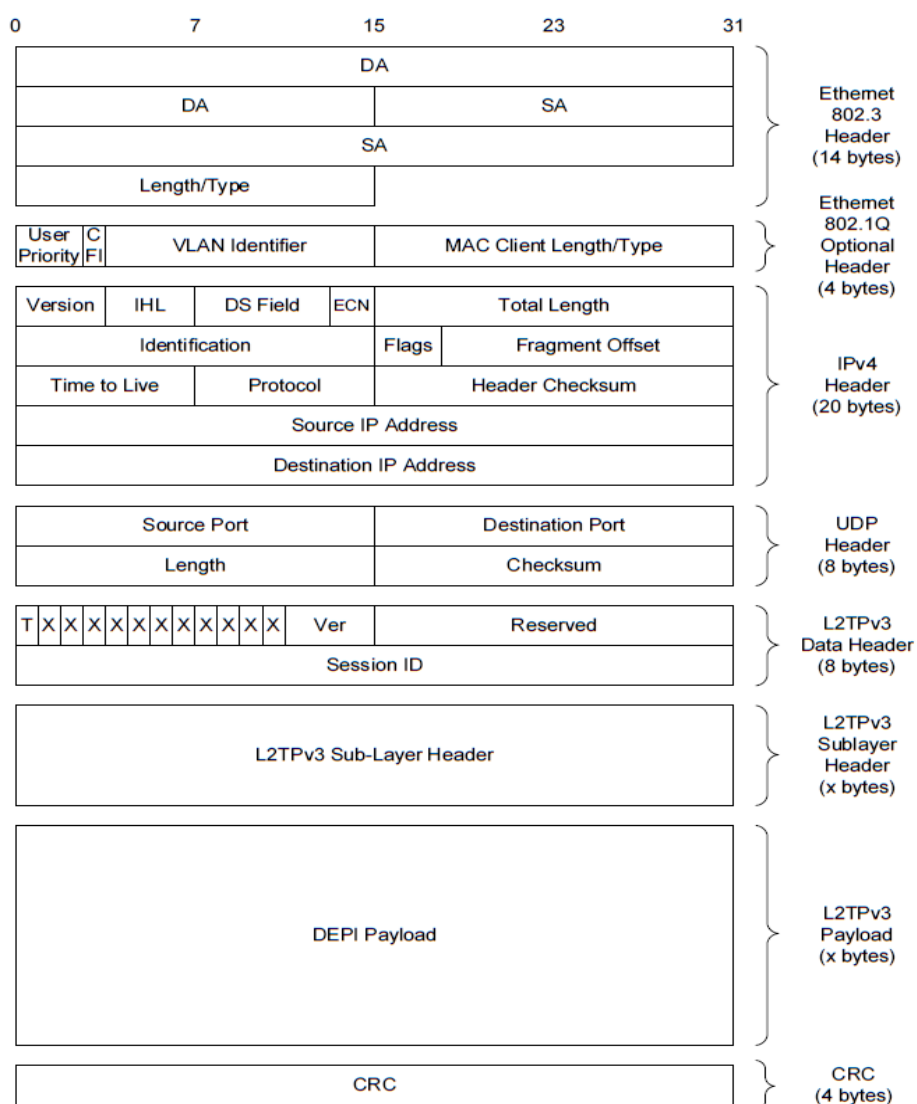
#### ❖ Operación de la Interface Física Externa DOWNSTREAM (DEPI)

La Interface Física Externa Downstream (DEPI) es un Túnel IP que existe entre el MAC DOCSIS en el M-CMTS core y la capa física DOCSIS que existe en el EQAM. La función del DEPI es el tomar sea los paquetes MPEG o las Tramas DOCSIS formateadas y transportarlas a través de la capa de red 2 o 3 y entregarlas al EQAM para la transmisión.

El protocolo base usado para el DEPI es el L2TPv3 (Layer 2 Tunneling Protocolo Versión 3), el cual es un protocolo genérico para generar un pseudo alambre el cual es un mecanismo para transportar en forma transparente un protocolo de capa 2 sobre una red de capa 3. Entre los protocolos soportados por L2TPv3 tenemos ATM, HDLC, Ethernet, Frame Relay, PPP, entre otros.

El protocolo DEPI usa el L2TPv3 sobre IP con o sin encabezado UDP. La carga (payload) del empaquetamiento del protocolo DEPI puede ser de dos tipos: Formato basado en MPEG Transport Stream (D-MPT) o el formato basado en Packed Streaming Protocol (PSP), depende de cuál de ellos está siendo transportado.

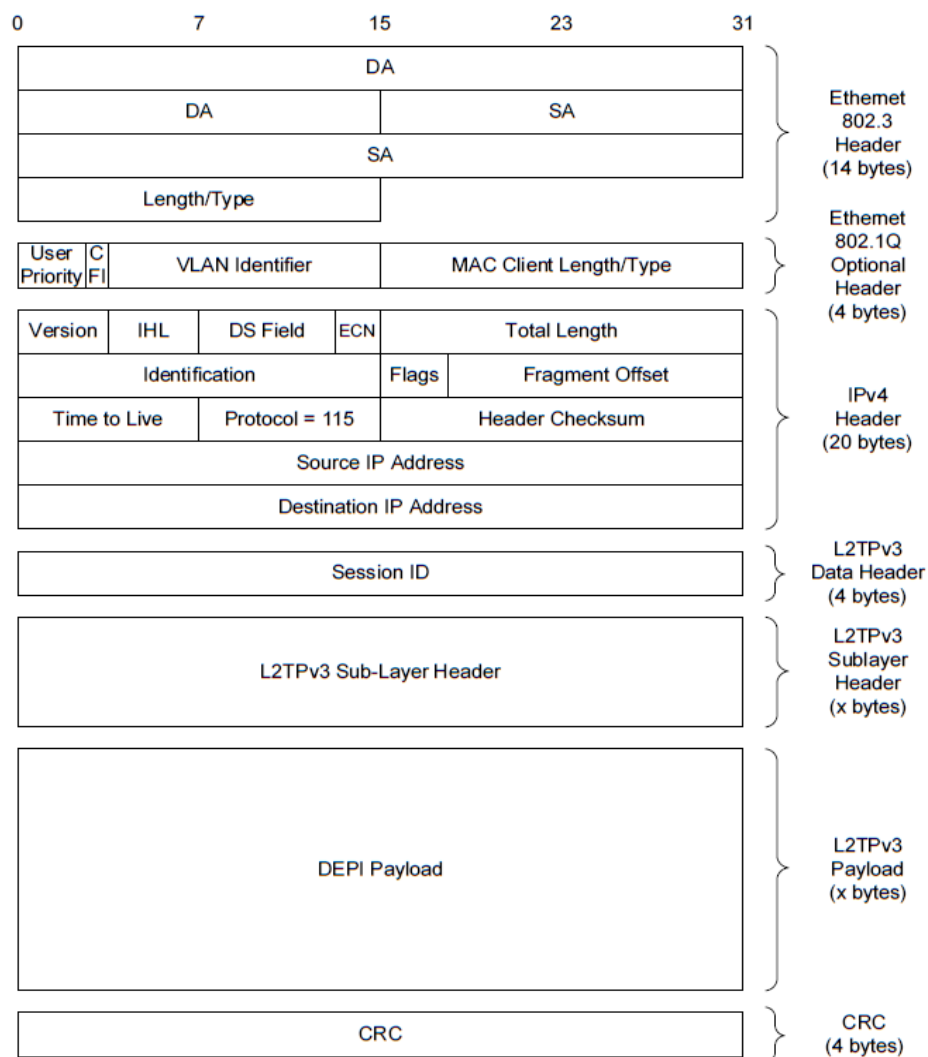
En la siguiente figura se presenta el encapsulado de un datagrama L2TPv3 con encabezado UDP.



**Figura 2.25: Encapsulado del paquete de datos L2TPv3 con UDP**

[24]

En la siguiente figura se presenta el encapsulado de un datagrama L2TPv3 sin encabezado UDP.



**Figura 2.26: Encapsulado del paquete de datos L2TPv3 sin UDP**  
[24]

➤ Encabezado de datos L2TPv3:

Los campos son definidos de la siguiente manera:

CAMPO	DEFINICIÓN
T	Bit de transporte. 1 bit. Se pone a 0 para indicar que es un mensaje de datos.
X	Bits reservados. 11 bits. El M-CMTS core los pone a cero, es gnorado por el EQAM.
Versión	Campo Versión. 4 bits. Puesto a 3.
Reservación	Campo reservado. 16 bits. No es usado. El M-CMTS core los pone a cero, es ignorado por el EQAM.
Sesión ID	Identificador de Sesión. 32 bits. Este valor es negociado por el L2TPv3.

**Tabla 14: Campos del encabezado de datos L2TPv3 [24]**

➤ Encabezado de subcapa DEPI L2TPv3

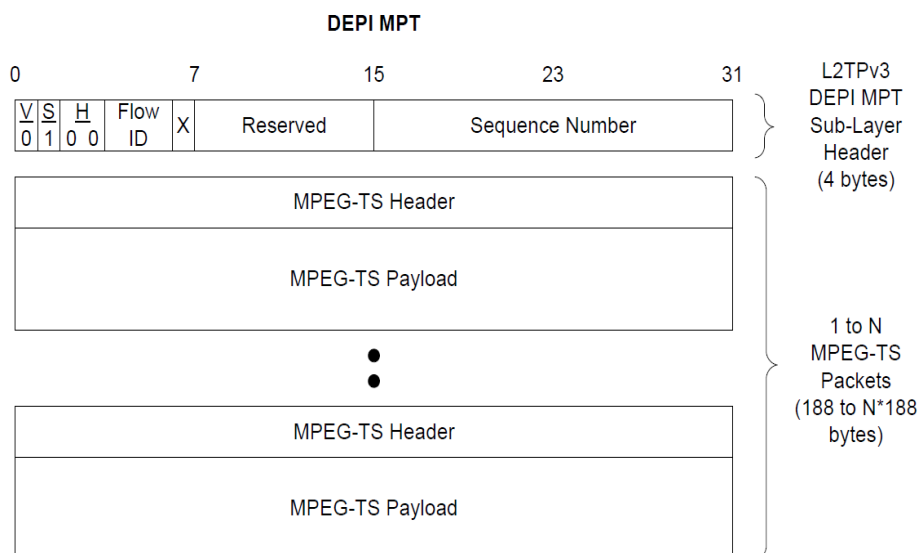
El encabezado de la Subcapa DEPI depende del tipo de paquetes que se transportan: Tipo D-MPT usado para transportar paquetes MPEG y el tipo PSP usado para transportar Tramas DOCSIS.

➤ Carga (PAYLOAD) DEPI

La carga contendrá uno o más segmentos. En el caso del tipo D-MPT cada segmento es un paquete de 188 bytes; en el tipo PSP el segmento contiene una trama DOCSIS completa o una trama DOCSIS parcial.



A continuación se presentan las gráficas de los encabezados de la Subcapa DOCSIS para los dos tipos antes descritos DOCSIS MPT o PSP.

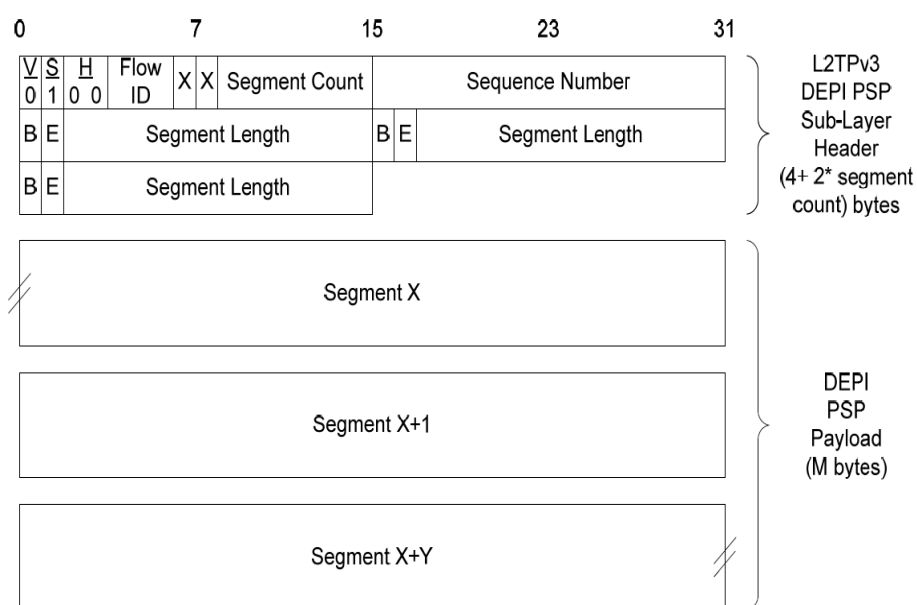


**Figura 2.27: Encabezado y carga (Payload) de la subcapa DOCSIS MPT [24]**

CAMPO	DEFINICIÓN
V	VCCV bit. 1 bit. Puesto a cero. Reservado.
S	Bit de secuencia. 1 bit. Puesto a 1 para indicar que el campo de la secuencia de número es válido. Puesto a cero si no es válida.
H	Bits de cabecera extendida. 2 bits. Puesto a "00" para indicar que el encabezado de la subcapa DEPI se acopla al tipo (sea este D-MPT o PSP).
X	Bit reservado. 1 Bit. Puesto a cero todos en el transmisor, ignorado en el receptor.
Flow ID	Identificador de flujo. 3 bits.

Reservado	Campo reservado. 1Byte. Puestos todos a cero en el transmisor. Ignorado en el receptor.
Seq Num	Número de secuencia. 2 Bytes. El número de secuencia se incrementa en uno por cada paquete enviado, y puede ser usado por el receptor para detectar paquetes perdidos. El valor inicial de la secuencia debe ser random.

**Tabla 15: Campos del Encabezado y carga de la subcapa DOCSIS MPT [24]**



**Figura 2.28: Encabezado y Carga (Payload) de la subcapa DEPI PSP [24]**

CAMPO	DEFINICIÓN
V	VCCV bit. 1 bit. Puesto a cero. Reservado.
S	Bit de secuencia. 1 bit. Puesto a 1 para indicar que el campo de la secuencia de número es válida. Puesto a cero si no es válida.

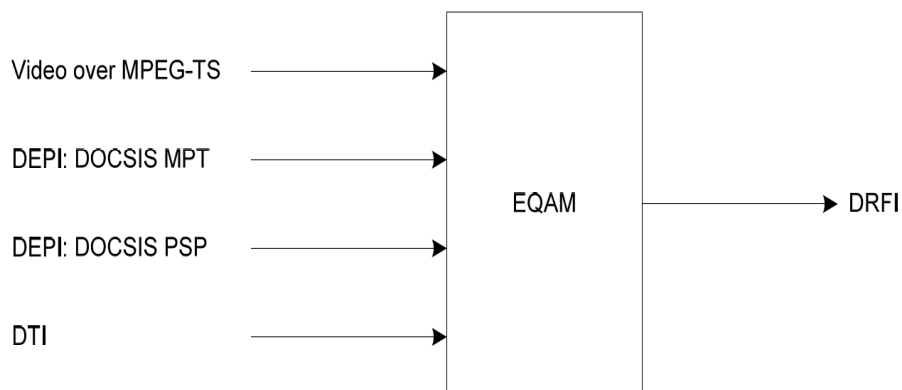
H	Bits de cabecera extendida. 2 bits. Puesto a "00" para indicar que el encabezado de la subcapa DEPI se acopla al tipo (sea este D-MPT o PSP).
X	Bit reservado. 1 Bit. Puesto a cero todos en el transmisor, ignorado en el receptor.
Flow ID	Identificador de flujo. 3 bits.
Segment Count	7 Bits. Indica el número de segmentos que hay en la carga (payload) DEPI PSP y es también el número de 2 bytes de entrada en la Tabla Segmento PSP.
Seq Num	Número de secuencia. 2 Bytes. El número de secuencia se incrementa en uno por cada paquete enviado, y puede ser usado por el receptor para detectar paquetes perdidos. El valor inicial de la secuencia debe ser rondón.
B	Bit de inicio. 1 bit. Puesto a 1 para indicar que la Trama PSP contiene el comienzo de una trama DOCSIS, sino es puesto a cero.
E	Bit de finalización. 1 bit. Puesto a 1 para indicar que la Trama PSP contiene el final de una trama DOCSIS, sino es puesto a cero.
Segment Length	Longitud del segmento DEPI en Bytes. 14 bits.

**Tabla 16: Campos del Encabezado y carga de la subcapa DEPI PSP**

[24]

#### ❖ Operación del módulo EQAM

En la Figura No. 2.29 se muestra un diagrama de bloques de un módulo EQAM con las entradas que es capaz de manejar, esto es tráfico de video MPEG o tráfico DOCSIS. Se utiliza la expresión D-MPT para significar Transporte DOCSIS MPEG.



**Figura 2.29: Diagrama de bloques de un EQAM [24]**

La primera interface que se muestra es el Transporte VoD. El VoD que puede ser SPTS (Single Programa Transport Stream) o MPTS (Multiple Program Transport Stream), es recibido en un formato de paquetes MPEG sobre UDP/IP.

Las otras dos son interfaces DEPI.

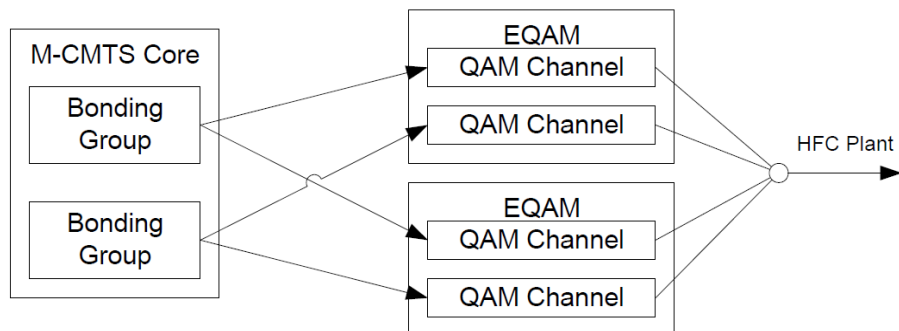
La primera interface DEPI es la D-MPT. Aquí el EQAM debe buscar en la trama D-MPT el mensaje DOCSIS SYN y corregir el valor Timestamp en estos mensajes según el Timestamp obtenido del DTI. Las tramas D-MPT resultantes son copiadas al Canal QAM sin más modificación.

La siguiente interface DOCSIS PSP, transporta datos DOCSIS y MAPs en flujos separados los cuales son puestos en cadenas juntas en un byte uniforme por el M-CMTS. La máquina de reensamblaje remueve este encabezado y recupera las Tramas DOCSIS. El organizador PSP entonces sitúa en orden los MAPs, la cabeza, los datos y los mensajes SYNC. La salida es entonces entregada a la **Capa de Transmisión de Convergencia (TC)** la cual convierte estos resultados a cadenas DOCSIS MPEG.

La última es la Interface DTI, la cual provee una frecuencia común y el Timestamp DOCSIS. La frecuencia es utilizada para sincronizar la

rapidez del símbolo downstream y el timestamp para la corrección del DOCSIS SYNC.

➤ Modelo de servicios BONDING



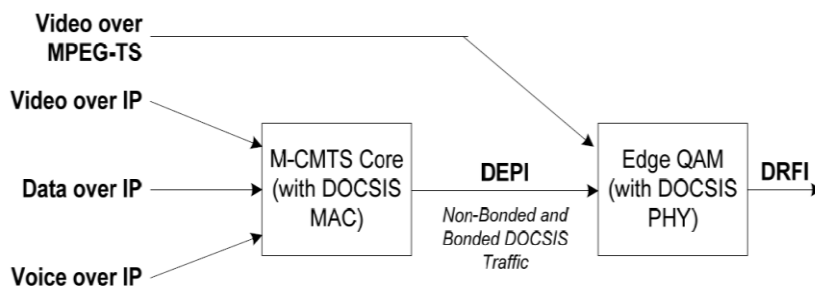
**Figura 2.30: Modelo de servicios Bonding [24]**

En la gráfica se observa como Tramas DOCSIS son direccionadas a través de múltiples portadoras QAM.

Los paquetes del IP Backbone son situadas en una trama DOCSIS y estas son enviadas a uno o varios canales QAM según el grupo bonding. La trama será transportada usando D-MPT o PSP.

Por su parte el EQAM no se entera que se está realizando bonding.

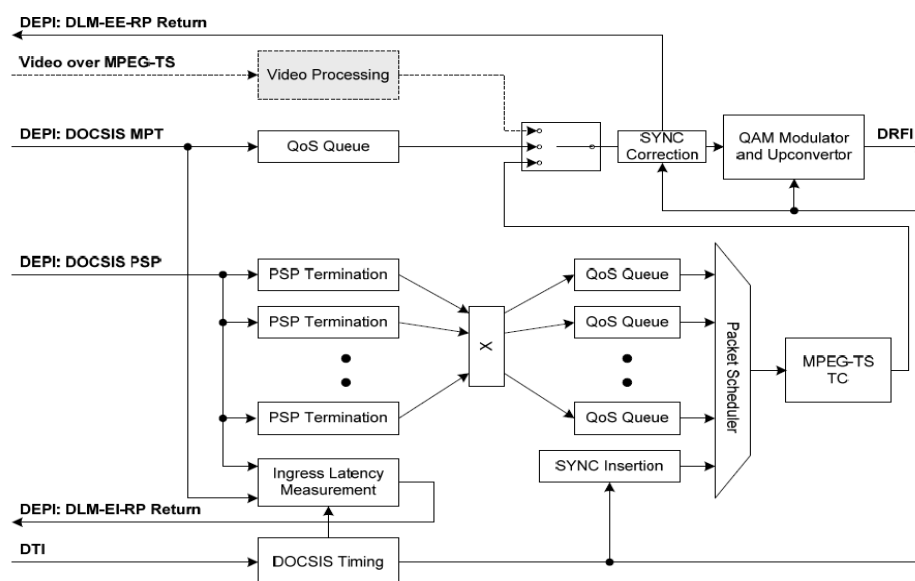
➤ Modelo de servicios múltiples



**Figura 2.31: Modelo de servicios múltiples [24]**

En la gráfica se observa como múltiples aplicaciones pueden ingresar a través del modular CMTS. Tenemos el Video on Demand (VoD) y las aplicaciones HSD (Datos de Alta Velocidad), todos ellos pueden compartir el mismo dispositivo EQAM. Además estas aplicaciones HSD pueden soportar DOCSIS tradicional o multi-channel o bonding DOCSIS. Dentro de estas aplicaciones HSD tenemos las que son basadas en IP, tales como: Video sobre IP, Voz sobre IP, email, juegos, video telefonía, etc.

### ❖ Arquitectura DEPI



**Figura 2.32: Diagrama de bloques de un EQAM Downstream [24]**

Se observa que el tradicional Video sobre MPEG puede ser transportado a través de un canal QAM o varios canales QAM separados.

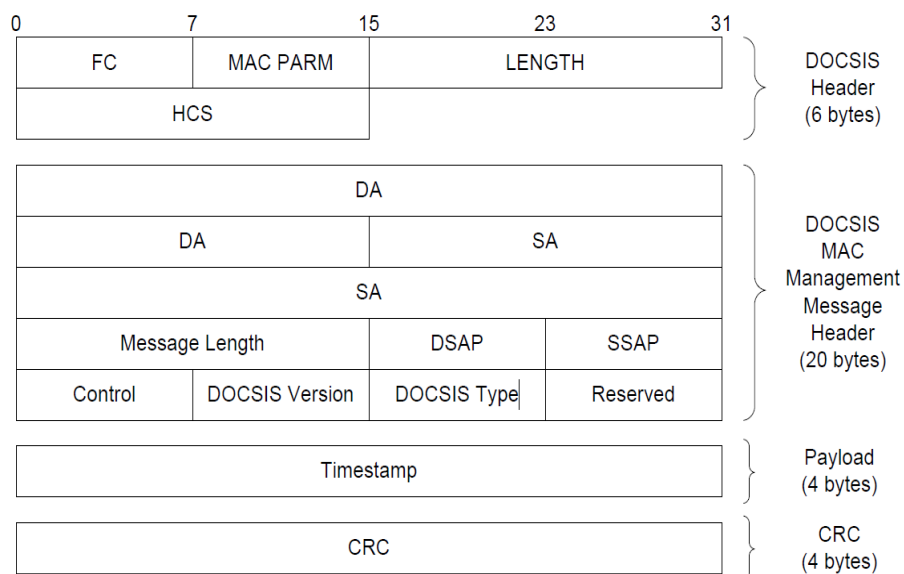
Luego tenemos los datos DOCSIS MPT, que se refiere a todas las tramas DOCSIS que incluye a las tramas basadas en paquetes DOCSIS y tramas basadas en administración MAC; estas, como se dijo anteriormente, pasan directamente hacia el modulador QAM; solamente que se busca por un mensaje DOCSIS SYNC el cual es usado para realizar la corrección SYNC.

Los datos PSP son paquetes que son puestos juntos consecutivamente y fragmentados en límites arbitrarios, con la única finalidad de facilitar la Calidad del Servicio (QoS). En el PSP Termination son extraídas las tramas DOCSIS y puestos en los QoS Queue; luego en el Packet Scheduler estos son tomados según su prioridad e insertados el mensaje DOCSIS SYNC; de aquí son enviados a la máquina **Transmision Convergence** donde son convertidos a DOCSIS MPEG, las mismas que son enviadas finalmente al QAM para su modulación y conversión a radiofrecuencia.

#### ❖ **Formato de mensaje de sincronización.**

El mensaje DOCSIS SYNC es transmitido por el sistema modular M-CMTS a un intervalo periódico para establecer la sincronización con la subcapa MAC en los Cable Módems.

A continuación se presenta el formato del mensaje de sincronización:



**Figura 2.33: Formato de un mensaje MAC SYNC DOCSIS [24]**

CAMPO	DEFINICIÓN
FC, MAC PARM, LEN, HCS	Encabezado de trama MAC común con campo FC-PARM para indicar el encabezado de temporización.
Destination Address (DA)	Puesto a la dirección multicast DOCSIS MAC de 01-e0-2f-00-00-01.
Source Address (SA)	La dirección MAC del M-CMTS core. En el modo PSP el EQAM aprende la apropiada dirección MAC del M-CMTS core via señalización explícita durante la configuración de la sesión L2TPv3.
Msg. Length	Longitud del mensaje MAC desde el DSAP hasta el final de la carga o payload.
DSAP	El destino nulo SAP LLC (00)
SSAP	La fuente nula SAP LLC (00)



Control	Trama de información no numerada (03)
DOCSIS Versión	Poner a 1
DOCSIS Type	Puesto a 1 para indicar un mensaje SYNC
CMTS Timestamp	El estado de cuenta de un incremento del contador binario de 32 bits asegurado al reloj maestro de 10.24 MHz del DTI.

**Tabla 17: Campos del Formato de un mensaje MAC SYNC DOCSIS**

[24]

#### **2.1.10. Especificaciones de la interface de manejo de los recursos externos (ERMI).**

Un EQAM es un dispositivo de tecnología actual que recibe paquetes sea de Video Digital o Datos de una Red IP; las vuelve a empaquetar para luego entregarlas a la red HFC a través de las salidas QAM.

Un Edge Resource Management (ERM) es un administrador de recursos de reciente tecnología que maneja los recursos QAM de los EQAM.

La interface ERMI define mecanismos para que un ERM descubra los recursos EQAM a través de una interface de registro, también define una interface para asignar recursos QAM desde un EQAM a un ERM; y, una interface para asignar recursos QAM desde un ERM a un CMTS core.

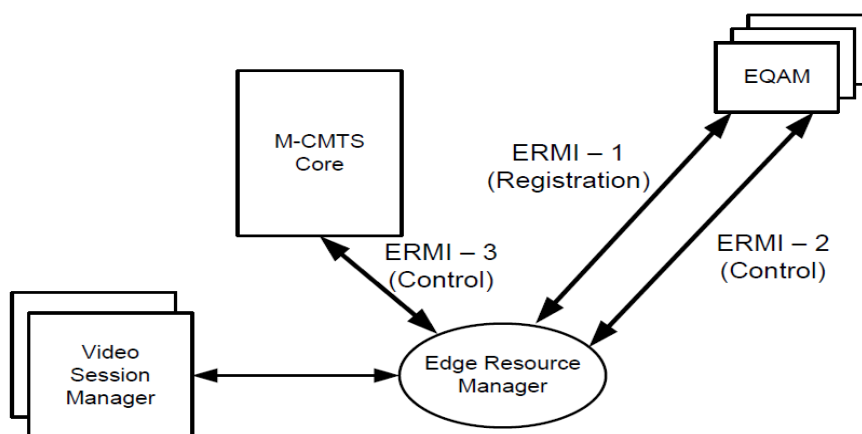
Por tanto esta especificación es usada por el EQAM, M-CMTS y el ERM cuando estamos tratando con un Cable Modem Termination System Modular (M-CMTS).

Se definen 3 interfaces dentro de la interface ERMI:

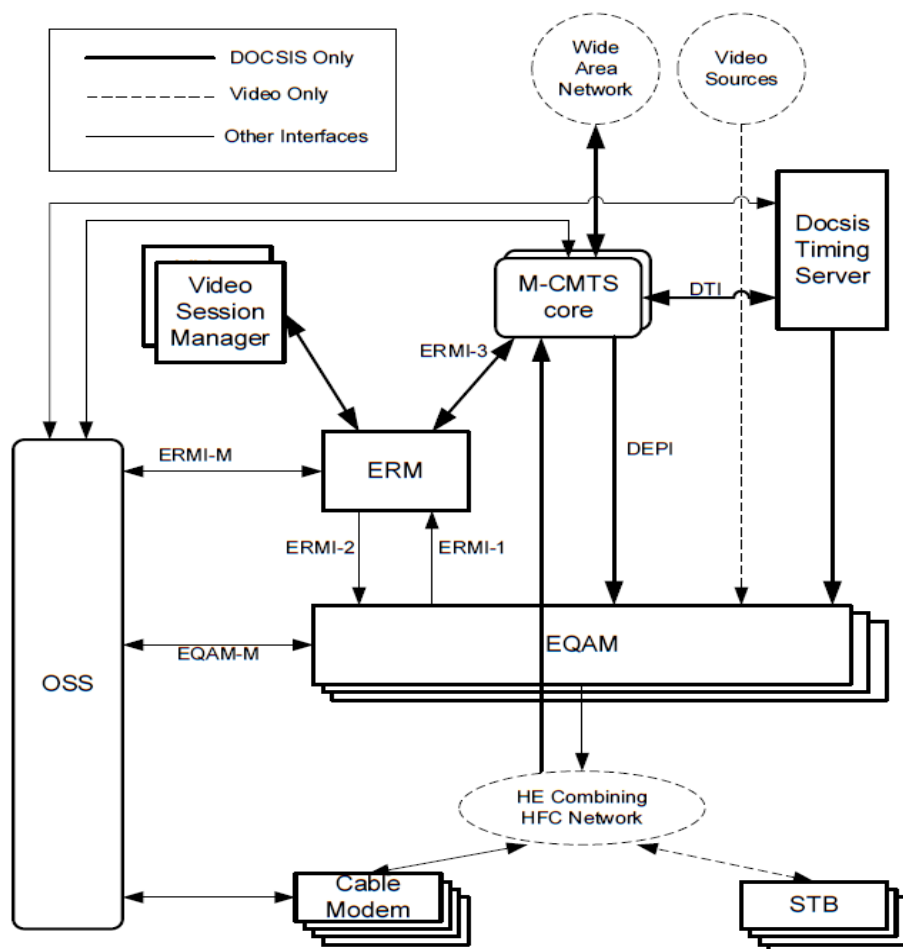
1. ERMI-1: Que es una interface para el registro entre el ERM y el EQAM; permite el registro y la liberación de los recursos EQAM (es decir de los canales QAM) con el ERM.

2. ERM-2: Que es una interface de control entre un EQAM y un ERM; le permite a un ERM solicitar los recursos de los canales QAM desde un EQAM, y a un EQAM proveer los recursos solicitados por un ERM.
3. ERM-3: Que es una interface de control entre un M-CMTS y un ERM; le permite a un M-CMTS core solicitar los recursos de un canal QAM específico desde un ERM, y al ERM responder a la solicitud con la localización del canal QAM que posee los recursos solicitados.

A continuación se presenta gráficas con estas especificaciones dentro de un CMTS modular.



**Figura 2.34: Interfaces ERM [25]**



**Figura 2.35: Arquitectura de referencia de un M-CMTS [25]**

➤ Perfiles EQAM

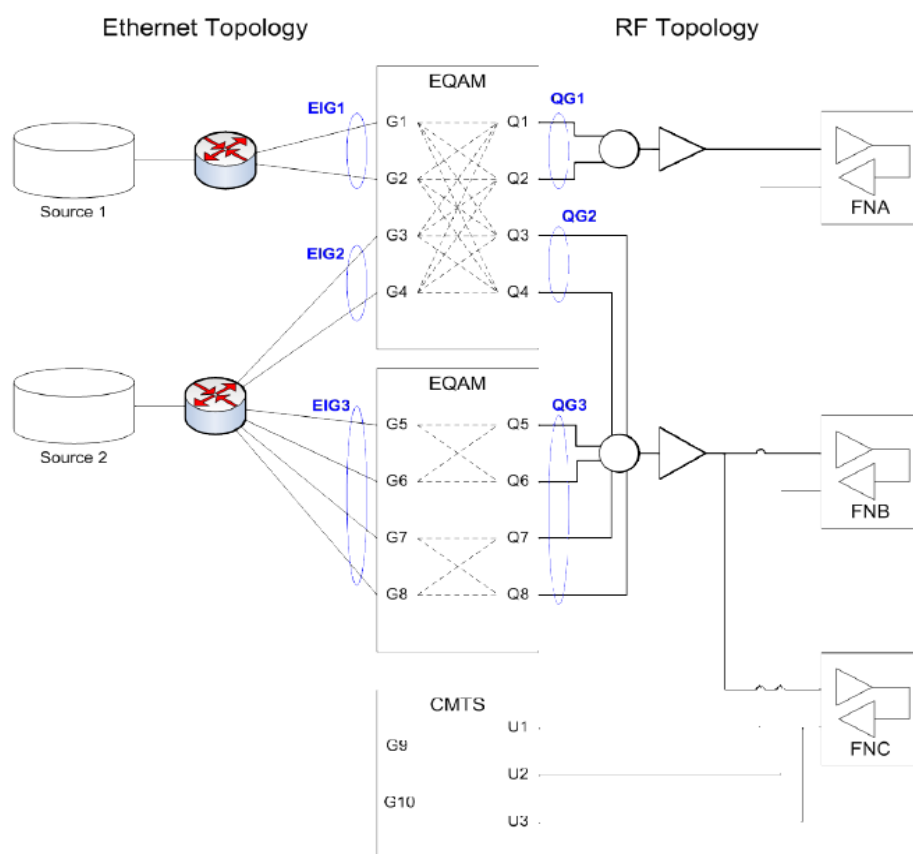
Un EQAM puede presentar uno de los siguientes perfiles:

1. Perfil de Video EQAM, es cuando soporta requerimientos DOCSIS EQAM para entregar video digital, pero no soporta requerimientos DOCSIS M-CMTS EQAM.
2. Perfil M-CMTS EQAM: y,
3. Perfil EQAM Universal, es cuando soporta los requerimientos tanto entregar video digital y M-CMTS EQAM.

### ❖ Arquitectura EDGE

Un EQAM puede ser modelado como un dispositivo que tiene un número de interface de entrada IP y un número de canal de salida QAM. El ERM aprende sobre estas entradas y salidas a través de la interface de registro.

A continuación se presenta una figura que muestra los EQAMs con sus entradas y salidas, en el cual se detalla conceptos de topología de red.



**Figura 2.36: Topología RF [25]**

#### ➤ Interface de registro.

La interface de registro ERMI-1 permite a los EQAMs registrar los recursos de sus canales QAM en el ERM. Además esta interface

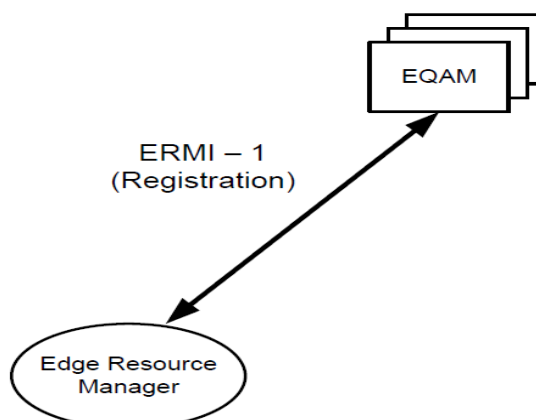
permite al ERM detectar si ocurren fallas en los recursos que el administra.

El ERM es el responsable de la administración de los recursos de los EQAMs, para ello debe tener un inventario de los recursos asociados con los EQAMs, debe de obtener la información de la dirección RF o IP asociada con el EQAM. Por ejemplo cuantos canales tiene un determinado EQAM, las propiedades RF de cada uno de los canales (por ejemplo la portadora de frecuencia), y la dirección RF (esto es la identificación del Transport Stream MPEG-2 (TSID)).

Dentro de las propiedades asociadas con el canal EQAM tenemos:

- TSID
- La configuración y capacidad QAM, y agrupamiento QAM.
- Los nodos de Fibra.
- El total de ancho de banda disponible.

Los componentes de la arquitectura de registro se observan en la siguiente gráfica:

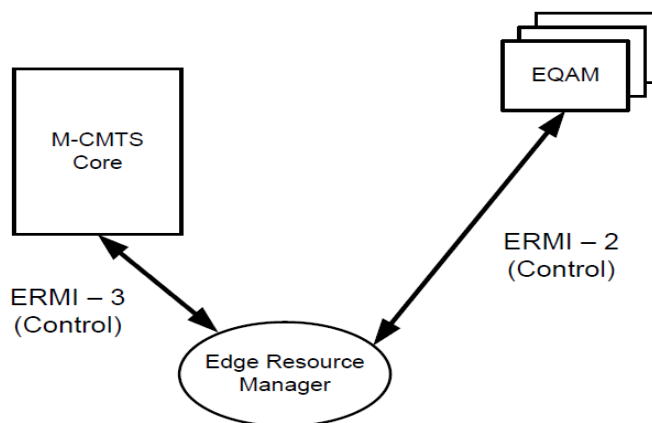


**Figura 2.37: Interface de registro y sus componentes [25]**

Para esta operación de registro se utiliza el protocolo ERRP, el mismo que será tratado en detalle más adelante.

- Señalización de asignación de recursos.

La interface y los componentes de la asignación de recursos se detallan en la gráfica siguiente:



**Figura 2.38: Interface y componentes de la asignación de recursos**  
[25]

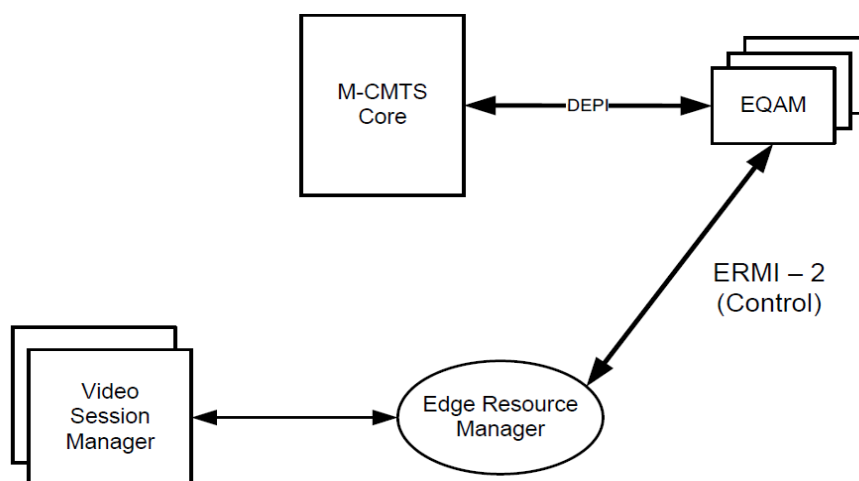
El protocolo utilizado para la asignación de recursos, esto es el ERMI-2 y el ERMI-3, es el RTSP (Real Time Streaming Protocol) [RFC 2326].

- Particionamiento estático.

Con la finalidad de proveer una ruta simple de migración, los recursos de canales QAM pueden ser particionados mediante el uso de configuración estática.

Algunos EQAM pueden controlar canales QAM que son capaces de soportar video y DOCSIS aplicaciones; es posible la provisión estáticamente, algunos canales QAM para servicio de video y el resto para DOCSIS data aplicaciones.

A continuación se muestra la arquitectura simplificada de la compartición de recursos QAM estática.



**Figura 2.39: Arquitectura simplificada para partición QAM estática [25].**

#### ❖ Edge Resource Registration Protocol (ERRP)

Dentro de este protocolo se tienen los siguientes conceptos: ERRP Speaker, ERRP Listener, el ERRP Nodo.

Tanto el EQAM como el ERP tienen su nodo; y su funcionalidad es implementada a través del EQAM o del ERP según sea el caso.

El protocolo ERRP se basa en el antiguo protocolo TRIP [RFC 3219], el cual originalmente fue diseñada para servicios de telefonía, entonces hablamos de TRIP Speakers y TRIP Listeners (en este caso los administradores). Sin embargo este protocolo fue adaptado para formar finalmente el ERRP.

Se comparten 4 tipos de mensajes: OPEN, UPDATE, NOTIFICATION y KEEPALIVE.

El EQAM actúa como Speaker y el ERM como Listener.

OPEN, es un mensaje usado para iniciar una conexión ERRP entre nodos ERRP.

UPDATE, es un mensaje usado por un EQAM para indicar a un ERP de los recursos bajo su control.

KEEPALIVE, es un mensaje que se envía para confirmar que el otro nodo ERRP (con el que se tiene comunicación) está activo.

NOTIFICATION, es un mensaje que se usa para enviar respuestas.

Los nodos ERRP deben:

- Cumplir con el formato y sintaxis de los mensajes.
- Ignorar mensajes incompletos.
- No transmitir mensajes que excedan los 4096 octetos.
- Usar una conexión TCP/IP.
- Escuchar en el puerto TCP 6069.

➤ Provisionamiento y configuración de recursos.

Utilizan el protocolo RTSP [RFC 2326] o el HTTP [RFC 2068] los cuales son protocolos a nivel de aplicación; los mismos que son utilizados para controlar la entrega de datos con propiedades de tiempo real.

El Servidor RTSP debe de:

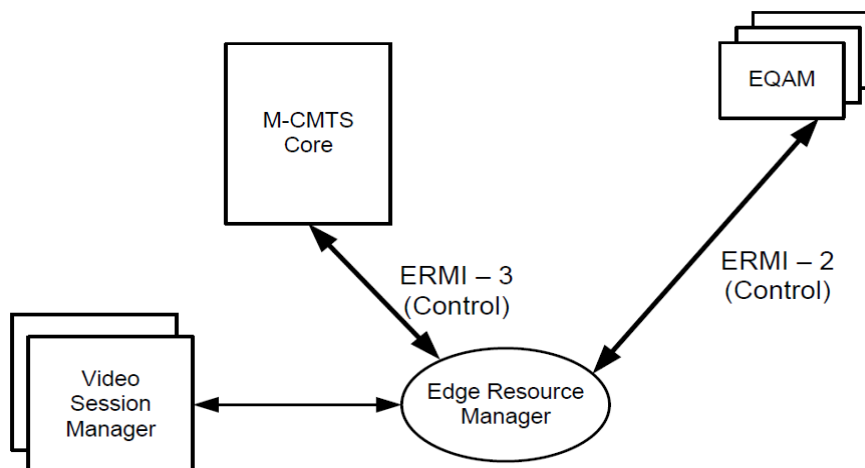
- Usar el protocolo de transporte TCP.
- Escuchar en el puerto TCP 554.
- Enviar la respuesta a cada solicitud (por cada sesión) en el mismo orden en que recibió.

El Cliente RTSP debe de:

- Usar TCP
- Iniciar la conexión TCP y ser persistente.
- Enviar múltiples solicitudes.



A continuación se muestra un gráfico que relaciona el M-CMTS, el EQAM, el ERM y el Administrador de Sesión de Video.



**Figura 2.40: Relación entre el Servidor RTSP y el Cliente RTSP [25].**

El M-CMTS debe de actuar como un RTSP Cliente,

El ERM debe de actuar como un RTSP Cliente o como servidor.

El EQAM debe de actuar como un RTSP Servidor.

Los métodos del protocolo RTSP son los siguientes: SETUP, TEARDOWN, SET\_PARAMETER, GET\_PARAMETER y ANNOUNCE.

## 2.2. Características de la versión 3.1

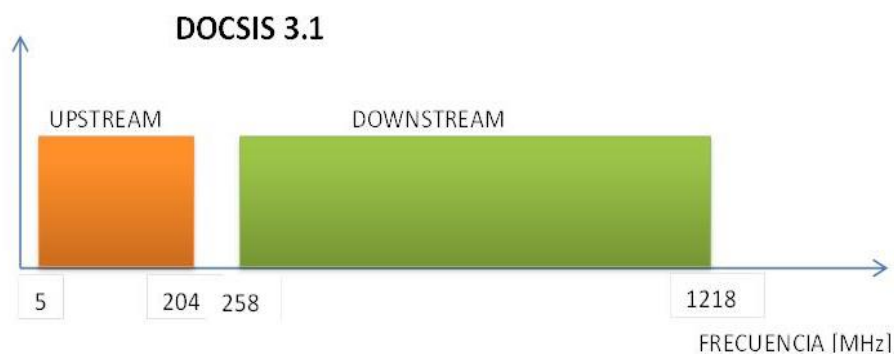
En esta parte analizamos las características principales de la versión 3.1, previo a la comparación con los de la versión 3.0.

### 2.2.1. Especificaciones de la capa física.

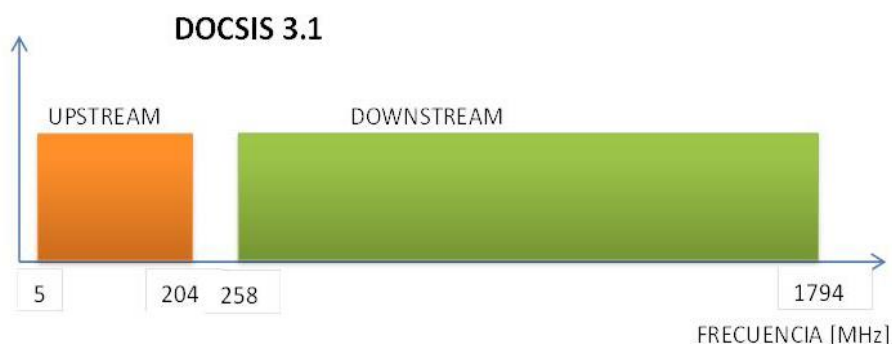
#### ❖ Anchos de banda UPSTREAM y DOWNSTREAM

En la versión DOCSIS 3.1 el ancho de banda para la comunicación UPSTREAM se incrementa aún más yendo desde los 5 MHz hasta los

204 MHz. De igual manera, en la comunicación DOWNSTREAM se incrementa comenzando en los 258 MHz y finalizando en los 1.218 MHz; esta versión de DOCSIS da un incremento adicional opcional hasta los 1.794 MHz, [26], ver Figuras 2.41 y 2.42.



**Figura 2.41: Anchos de banda Upstream y Downstream [26]**



**Figura 2.42: Anchos de banda Upstream y Downstream extendido (opcional) [26]**

Es importante indicar que previo a incrementar la banda upstream hasta los 204 MHz, se debe realizar la digitalización de los canales de televisión que se encuentra en la parte baja de la señal de downstream, de esta manera se tendrá disponible estas frecuencias para poder subir la banda upstream hasta los 204 MHz.

De las Figuras 2.41 y 2.42 se tiene que el ancho total de la banda downstream se incrementa a 960 MHz, y con el incremento opcional a

1.536 MHz; de igual manera el ancho total de banda upstream se incrementa a 199 MHz.

Adicional al incremento del ancho de banda en la versión 3.1, también tenemos un nuevo tipo de modulación que es la OFDM, las cuales unidas a la característica CHANNEL BONDING que apareció con la versión 3.0, ha permitido incrementar aún más la velocidad de transmisión de datos. Este incremento ha sido muy significativo que hace posible la competición con tecnologías actuales, [11].

Otro aspecto importante a considerar y que influye considerablemente en la velocidad de transmisión de datos es que DOCSIS 3.1 para la corrección de errores usa códigos de Comprobación de Paridad de Baja Densidad (LDPC). Son códigos de corrección de errores lineal, que hacen posible la transmisión de mensajes por un canal de comunicaciones ruidoso; y, por la forma de decodificación es sugerido su uso en sistemas de alta tasa de datos, [27].

#### ❖ **Canales y la característica CHANNEL BONDING**

En esta versión para la señal DOWNSTREAM aparece el término Canal OFDM, el cual tiene una anchura que varía desde 24 MHz hasta 192 MHz; y para la señal UPSTREAM aparece el término Canal OFDMA, el cual tiene una anchura que varía desde 6.4 Mhz hasta 96 Mhz.

El incremento en el ancho de banda, el cambio de la modulación a OFDM y la característica CHANNEL BONDING permiten alcanzar las altas velocidades de transmisión requeridas por los usuarios en la actualidad, lo que hace posible que DOCSIS 3.1 pueda competir con otras tecnologías modernas que existen en el mercado.

Paralelamente a ello los CM deben diseñarse para soportar un mínimo de 2 canales OFDM configurables independientemente, cada uno de estos canales con un ancho de banda de hasta 192 MHz en DOWNSTREAM.

Para la señal UPSTREAM, los CM deben ser diseñados para soportar un mínimo de 2 canales OFDMA configurables independientemente, cada uno de estos canales con un ancho de banda de hasta 96MHz, [26].

#### ❖ Efecto de las modulaciones en DOWNSTREAM

En la versión DOCSIS 3.1 la transmisión en DOWNSTREAM alcanza ordenes de modulación de 4096QAM, conocido como modo 4K, y 8192QAM, conocido como modo 8K; modulaciones de orden muy superior al que se tenía en la versión 3.0 (256QAM). En la Tabla 18 se puede apreciar el efecto del orden de modulación en la velocidad de transmisión de datos.

#### ❖ Efecto de las modulaciones en UPSTREAM

En la transmisión en UPSTREAM el orden de modulación que se alcanza en la versión 3.1 es de hasta 2048QAM, conocido como modo 2K y 4096QAM, conocido como modo 4K. Modulaciones que son muy superiores a los 64QAM que se obtenía en la versión 3.0. El efecto en la velocidad de transmisión de datos se puede apreciar en la Tabla 19.

#### ❖ La velocidad en la transmisión DOWNSTREAM

En lo que respecta a la velocidad de transmisión en Downstream, esta se incrementa en la forma que se indica en la Tabla 18.

VERSIÓN DOCSIS	ANCHO DEL CANAL (MHz)	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN POR CANAL (Gbps)	
		4096QAM	8192QAM
3.1	192	1.7	2

Tabla 18: Velocidad de transmisión downstream [28]

En esta tabla se puede apreciar el ancho de banda del canal, los tipos de modulación y la velocidad de transmisión por canal de acuerdo al tipo de modulación.

#### ❖ La velocidad en la transmisión UPSTREAM

En lo que respecta a la velocidad de transmisión en Upstream, esta también se incrementa en la forma que se indica en la Tabla 19.

VERSIÓN DOCSIS	ANCHO DEL CANAL (MHz)	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN POR CANAL (Mbps)
		4096QAM
3.1	96	850

**Tabla 19: Velocidad de transmisión upstream [28]**

En esta tabla se puede apreciar el ancho de banda del canal, el tipo de modulación y la velocidad de transmisión por canal Upstream.

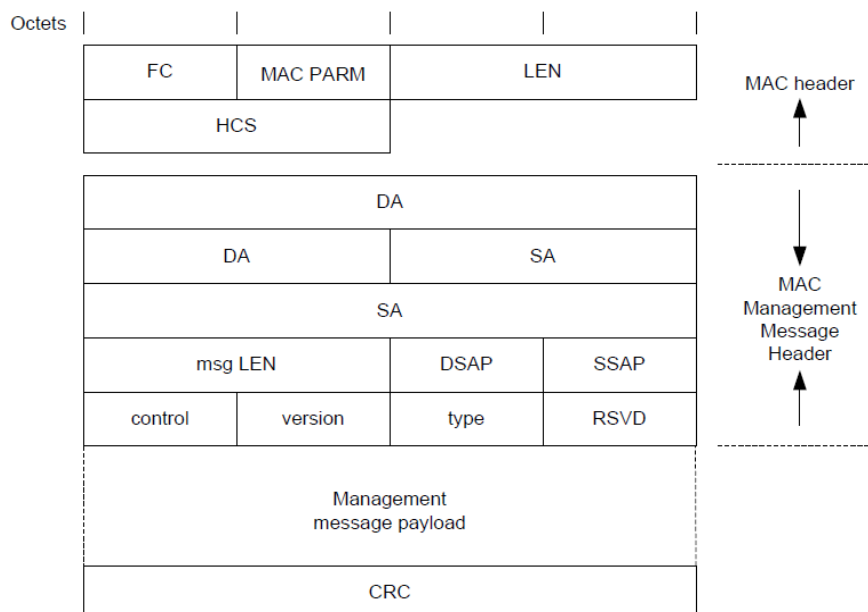
### 2.2.2. Especificaciones de los protocolos de interface MAC y capa superior.

En esta nueva versión de DOCSIS, los mensajes de gestión MAC incluyen los correspondientes al formato OFDM. A continuación se detallan los tipos de mensajes para la versión DOCSIS 3.1

#### ❖ Mensajes de gestión MAC

##### ➤ Encabezamiento del mensaje de gestión MAC

Los equipos CM y CMTS encapsulan los mensajes de gestión MAC en las tramas MAC del cable de red. En la gráfica siguiente se muestra los campos del encabezado de la Trama MAC y del encabezado de Mensajes de Gestión MAC.



**Figura 2.43: Campos del encabezado MAC y del encabezado de mensajes de gestión MAC [29]**

En la siguiente tabla se detalla todos los tipos de mensajes de gestión MAC que se pueden generar:

Type	Version	A*	Message Name	Message Description
1	1	M	SYNC	Timing Synchronization
2 29 35 51	1 3 4 5	M	UCD	Upstream Channel Descriptor <ul style="list-style-type: none"> <li>A UCD for a DOCSIS 3.1 Only channel (OFDM) uses a type of 51 and a version of 5.</li> <li>A UCD for a DOCSIS 3.0 Only channel uses a type of 35 and a version of 4.</li> <li>A UCD for a DOCSIS 2.0/3.0 Only Channel uses a type of 29 and a version of 3.</li> <li>All other UCDs use a type of 2 and a version of 1.</li> </ul>
3 3	1 5	M	MAP	Upstream Bandwidth Allocation <ul style="list-style-type: none"> <li>A Map of version 1 is understood by DOCSIS 3.1/3.0/2.0/1.1/1.0 equipment.</li> <li>A Map of version 5 is understood by DOCSIS 3.1 equipment only. (If the CAT field is 0x1, this is a P-MAP)</li> </ul>
4 4	1 5	U	RNG-REQ	Ranging Request <ul style="list-style-type: none"> <li>A RNG-REQ for DOCSIS 3.1: When sending a RNG-REQ to a DOCSIS 3.1 CMTS, a DOCSIS 3.1 CM uses a type of 4 and a version of 5.</li> <li>All other RNG-REQs use a type of 4 and a version of 1</li> </ul>
5 5	1 5	U	RNG-RSP	Ranging Response <ul style="list-style-type: none"> <li>A RNG-RSP of version 1 is understood by DOCSIS 3.1/3.0/2.0/1.1/1.0 equipment.</li> <li>A RNG-RSP of version 5 is understood by DOCSIS 3.1 equipment only.</li> </ul>
6	1	U	REG-REQ	Registration Request
7	1	U	REG-RSP	Registration Response
8	1	x		Reserved (deprecated)
9	1	x		Reserved (deprecated)
10	1	x		Reserved (deprecated)
11	1	x		Reserved (deprecated)
12	1	U	BPKM-REQ	Privacy Key Management Request <ul style="list-style-type: none"> <li>[DOCSIS SECv3.0]</li> </ul>
13	1	U	BPKM-RSP	Privacy Key Management Response <ul style="list-style-type: none"> <li>[DOCSIS SECv3.0]</li> </ul>
14	2	U	REG-ACK	Registration Acknowledge
15	2	U	DSA-REQ	Dynamic Service Addition Request
16	2	U	DSA-RSP	Dynamic Service Addition Response
17	2	U	DSA-ACK	Dynamic Service Addition Acknowledge
18	2	U	DSC-REQ	Dynamic Service Change Request
19	2	U	DSC-RSP	Dynamic Service Change Response
20	2	U	DSC-ACK	Dynamic Service Change Acknowledge
21	2	U	DSD-REQ	Dynamic Service Deletion Request
22	2	U	DSD-RSP	Dynamic Service Deletion Response
23	2	U	DCC-REQ	Dynamic Channel Change Request
24	2	U	DCC-RSP	Dynamic Channel Change Response

25	2	U	DCC-ACK	Dynamic Channel Change Acknowledge
26	2	x		Reserved (deprecated)
27	2	x		Reserved (deprecated)
28	2	x		Reserved (deprecated)
29	3	M		(See entry for UCD above)
30	3	U	INIT-RNG-REQ	Initial Ranging Request
31	3	U	TST-REQ	Test Request Message
32	3	M	DCD	Downstream Channel Descriptor
33	4	M	MDD	MAC Domain Descriptor
34	4	U	B-INIT-RNG-REQ	Bonded Initial Ranging Request
34	5			<ul style="list-style-type: none"> <li>A B-INIT-RNG-REQ for DOCSIS 3.1: When sending a B-INIT-RNG-REQ to a DOCSIS 3.1 CMTS, a DOCSIS 3.1 CM uses a type of 34 and a version of 5.</li> <li>All other B-INIT-RNG-REQs use a type of 34 and a version of 3</li> </ul>
35	4	U		(See entry for UCD above)
36	4	U	DBC-REQ	Dynamic Bonding Change Request
37	4	U	DBC-RSP	Dynamic Bonding Change Response
38	4	U	DBC-ACK	Dynamic Bonding Change Acknowledge
39	4	U	DPV-REQ	DOCSIS Path Verify Request
40	4	U	DPV-RSP	DOCSIS Path Verify Response
41	4	U	CM-STATUS	Status Report
42	4	U	CM-CTRL-REQ	CM Control
43	4	U	CM-CTRL-RSP	CM Control Response
44	4	U	REG-REQ-MP	Multipart Registration Request
45	4	U	REG-RSP-MP	Multipart Registration Response
46	4	U	EM-REQ	Energy Management Request
47	4	U	EM-RSP	Energy Management Response
48	4	U	CM-STATUS-ACK	Status Report Acknowledge
--	--	--	O-INIT-RNG-REQ	OFDM Initial Ranging Request
				<ul style="list-style-type: none"> <li>This message does not use the standard MAC Management Message format but uses a condensed version to conserve bandwidth on the OFDMA channel</li> </ul>
49	5	M	OCD	OFDM Channel Descriptor
50	5	M	DPD	Downstream Profile Descriptor
51	5	M		(See entry for UCD above)
52	5	U	OOS-REQ	OFDM Downstream Spectrum Request
53	5	U	OOS-RSP	OFDM Downstream Spectrum Response
54	5	U	OPT-REQ	OFDM Downstream Profile Test Request
55	5	U	OPT-RSP	OFDM Downstream Profile Test Response
56	5	U	OPT-ACK	OFDM Downstream Profile Test Acknowledge
57	5	U	DTP-REQ	DOCSIS Time Protocol Request
58	5	U	DTP-RSP	DOCSIS Time Protocol Response
59	5	U	DTP-ACK	DOCSIS Time Protocol Acknowledge
60	5	U	DTP-INFO	DOCSIS Time Protocol Information
57-255				Reserved for future use
<p>Table Notes: A*: Ethernet Destination MAC Address Type  M = Multicast message  U = Unicast message  x = not used in DOCSIS 3.1</p>				

**Tabla 20: Tipos de mensajes de gestión MAC [29]**



## ❖ Especificación de acceso al medio

### ➤ Canal de enlace de la capa física

El canal de enlace de la capa física (PLC:PHY LINK CHANNEL) es referido al canal OFDM; está localizada en la Capa de Convergencia de la señal Downstream. Es utilizado para cumplir las siguientes tareas:

1. Timestamp
2. Administración de energía
3. Canal de mensaje para poner en línea un nuevo equipo CM
4. Mensaje Trigger para sincronizar un evento entre el CMTS y el CM

El equipo CMTS asigna un único PLC para cada canal OFDM y si hay más de un canal OFDM el equipo CM será direccionado a un PLC primario.

La estructura de un PLC es la siguiente:

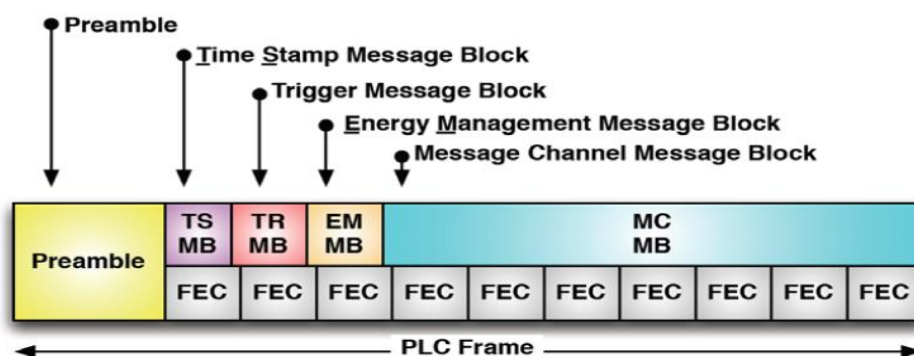
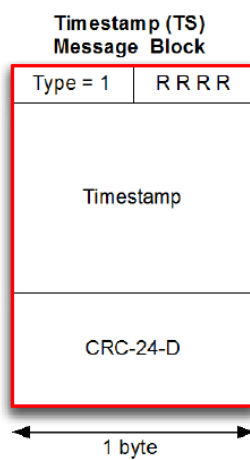


Figura 2.44: Trama de un PLC [29]

➤ Bloque de mensaje TIMESTAMP

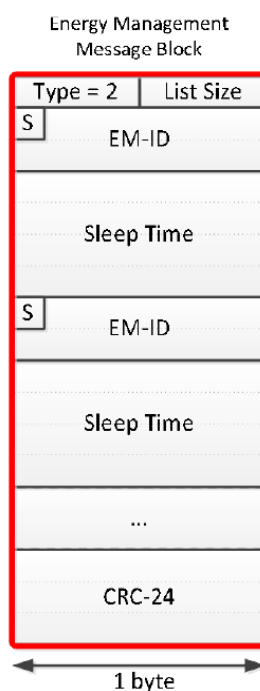


**Figura 2.45: Bloque de mensaje Timestamp [29]**

Field	Size	Value	Description
Type	4 bits	1	Timestamp MB
R	4 bits	0	Reserved
Timestamp	8 bytes		Extended Timestamp
CRC	3 bytes		CRC-24-D CRC field is computed over the entire message block except the CRC field itself, and included in the defined format to allow validation of the integrity Message Block Type and Message Body Size

**Tabla 21: Descripción de los campos de un Bloque de Mensaje Timestamp [29]**

- Bloque de mensaje de administración de energía.



**Figura 2.46: Bloque de mensaje de administración de energía [29]**

Field	Size	Value	Description
Type	4 bits	2	Energy Management MB Type
List Size	4 bits		The number of EMMs in the block. Note that a value of zero signifies a Message Block with 16 EMMs.
S	1 bit	0 – Resume multistate operation 1 – Suspend multistate operation	Suspend Request. This field allows the CMTS to instruct CMs to suspend multi-sub-state DLS operation and remain in DLS-2 sub-state.
EM-ID	15 bits		Energy Management Identifier.
Sleep Time	32 bits		This is the timestamp value reference to the beginning of the preamble for the PLC frame that the CM would wake up and start receiving on the PLC. Note that the 4 byte value in the EMM corresponds to the DOCSIS 3.0 Timestamp, as shown in Figure 7–1.
CRC	3 bytes		CRC-24-D CRC field is computed over the entire message block except the CRC field itself, and included in the defined format to allow validation of the integrity Message Block Type and Message Body Size.

**Tabla 22: Descripción de los campos de bloque de mensaje de administración de energía [29]**

➤ Bloque de mensaje de canal de mensaje

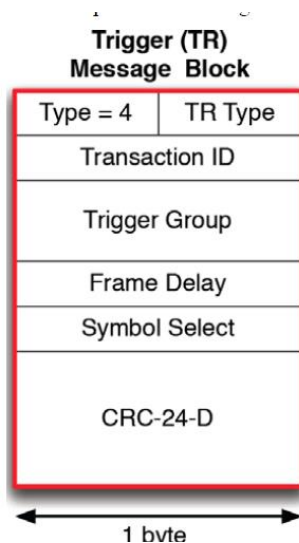


**Figura 2.47: Bloque de mensaje de canal de mensaje [29]**

Field	Size	Value	Description
Type	4 bits	3	Message Channel MB
R	3 bits	0	Reserved
S	1 bit	0	Packet Start Pointer field is not present
		1	Packet Start Pointer field is present
Packet Start Pointer	2 bytes		Byte offset to the start of the first part of a new message. A value of 0x00 indicates the next byte is the beginning of a new packet.
Message Channel	Variable		Contains MMM segment or a 0xFF fill pattern
Note: The minimum length of the MC MB is one byte when the MC MB includes no Message Channel field.			

**Tabla 23: Descripción de los campos [29]**

➤ Bloque de mensaje TRIGGER



**Figura 2.48: Bloque de mensaje Trigger [29]**

Field	Size	Value	Description
Message Block Type	4 bits	4	Trigger MB
Trigger Type	4 bits	1	Identifies type of action to perform
Transaction ID	1 byte		Increments on each TR MB sent
Trigger Group	2 bytes		Group for unicast, multicast and broadcast triggers
Frame Delay	1 byte	2 to 31	How many frames to wait before performing action
Symbol Select	1 byte	0 to 127	Which symbol in PLC frame to perform action upon
CRC	3 bytes		CRC-24-D CRC field is computed over the entire message block except the CRC field itself, and included in the defined format to allow validation of the integrity Message Block Type and Message Body Size.

**Tabla 24: Descripción de los campos [29]**

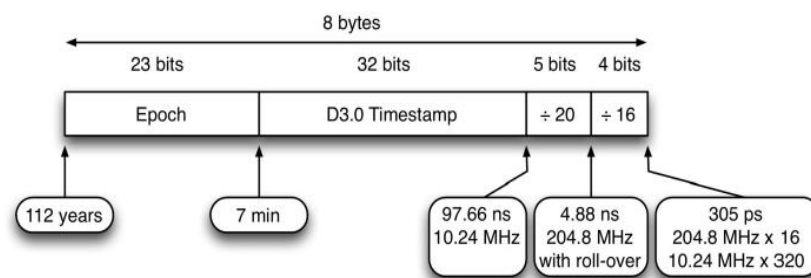
❖ **Operación del protocolo de control de acceso al medio.**

➤ Extendido TIMESTAMP

La versión DOCSIS 3.1 introduce un extendido timestamp de 8 bytes y tiene 2 características adicionales en comparación a la de la versión anterior:

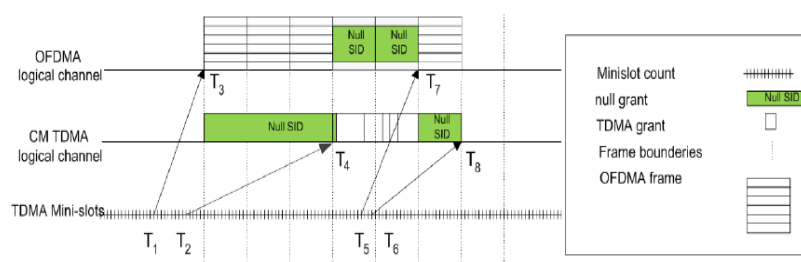
1. El extendido timestamp es ahora un timestamp absoluto más que un timestamp relativo.
2. El extendido timestamp tiene un más alto grado de precisión.

La estructura es la siguiente:



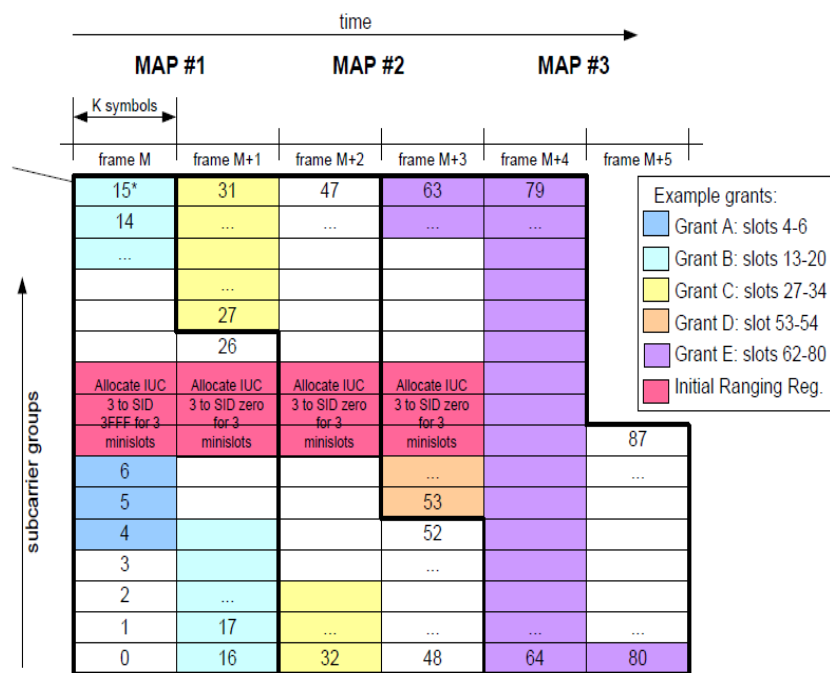
**Figura 2.49: Estructura del Timestamp Extendido [29]**

➤ Combinación del canal lógico OFDMA y TDMA



**Figura 2.50: Canales lógicos OFDMA y TDMA [29]**

➤ Generación del MAP para regiones de rango inicial en canales UPSTREAM OFDMA



\* For illustrative purposes only. In real life, there will be many more slots/frame.

**Figura 2.51: Ejemplo de Región de Rango Inicial para un canal OFDMA [29]**

➤ Perfiles para DOWNSTREAM

La versión DOCSIS 3.1 introduce un concepto llamado Perfiles Downstream para canales OFDM. Un perfil es una lista de órdenes de modulación definidos para cada una de las subportadoras dentro de un canal OFDM. El equipo CMTS puede definir múltiples perfiles para ser usados en un canal OFDM, donde los perfiles difieren en el orden de modulación asignado a cada subportadora. El equipo CMTS puede definir diferentes perfiles para grupos CMs diferentes.

## ❖ DATA FORWARDING

➤ MULTICAST en un canal OFDM DOCSIS 3.1 con perfiles DOWNSTREAM múltiple.

La nueva versión introduce el concepto de Perfiles Downstream múltiple dentro de un canal OFDM dado. Cada perfil tiene su propia ruta lógica separada hacia el equipo CM.

### **2.2.3. Especificaciones de la interface radio frecuencia de la señal de bajada.**

Utiliza la misma especificación para todas las versiones, y fue tratada en la versión DOCSIS 3.0. Su última actualización fue en noviembre de 2013.

### **2.2.4. Especificaciones de la interface cable modem CPE (Customer Premises Equipment).**

Utiliza la especificación de la versión DOCSIS 3.0, la misma que fue tratada en las características de la versión DOCSIS 3.0, numeral 2.1.4. Su última actualización es de julio de 2014.

### **2.2.5. Especificaciones de la interface del sistema de soporte de operaciones del cable modem (CM).**

En la Tabla 25 se muestra los requerimientos que soportan tanto las nuevas características como las que han sido mejoradas:



Features	Management Functional Area	OSI layer	Description
OFDM downstream signals and OFDMA upstream signals	Configuration	PHY	Provisioning physical downstream and upstream interfaces that support OFDM/OFDMA receivers according to their capabilities.
Plant Topology	Configuration	PHY, MAC (Data Link)	Provisioning flexible arrangements of US/DS channels for channel bonding configuration to reflect HFC plant topology.
Enhanced Diagnostics	Fault	PHY, MAC, Network	Expanded metrics for Proactive Network Maintenance (PNM).
Enhanced Performance Data Collection	Performance	PHY, MAC, Network	Collection of large statistical data sets for DOCSIS 3.1 feature sets.
Enhanced Signal Quality Monitoring	Performance	PHY	To gather information on narrow band ingress and distortion affecting the quality of the RF signals.
Light Sleep Mode	Configuration	MAC	Energy efficiency mode for the Cable Modem to minimize power consumption.
Backup Primary Channels	Configuration	MAC	Retrieval of configuration status of backup downstream interfaces
Active Queue Management (AQM)	Configuration	MAC	Configuration of buffer management associated with service flows.

**Tabla 25: Requerimientos para las características de gestión de DOCSIS 3.1 [29]**

Estas características son categorizadas en 5 tipos, las cuales se detallan a continuación.

➤ Características de manejo de fallas.

Los requerimientos que DOCSIS 3.1 incluye para las mejoras en las características de manejo de fallas son:

Una lista extensa de eventos detallados en relación a las nuevas características de DOCSIS 3.1.

Mediciones expandidas para lograr un mantenimiento de la red en forma proactiva.

➤ Características de manejo de la configuración

Los requerimientos que DOCSIS 3.1 incluye son:

La actualización de los parámetros de configuración del CM para soportar interfaces OFDM downstream, interfaces OFDMA upstream, modo de luz para dormir y Gestión Queue Activo.

Recuperación de la información del estado de configuración para interfaces OFDM downstream, interfaces OFDMA upstream, modo de luz para dormir y Gestión Queue Activo.

➤ Características del manejo del performance.

Para recolectar extensos datos, DOCSIS 3.1 se basa en los siguientes mecanismos:

Mejorado monitoreo de la calidad de la señal para más detalle del estado de la planta.

Estadísticas de paquetes QAM caídos.

Estadísticas para las interfaces OFDM y OFDMA, subportadoras, perfiles y contadores de minislots.

Estadísticas de medición para el Mantenimiento de Red Proactivo.

➤ Características del manejo de seguridad.

Al igual que DOCSIS 3.0, en la nueva versión el manejo de la seguridad se refiere a la seguridad de la información y de la seguridad de la red, en lo relacionado a la autenticación, autorización y privacidad de los datos.

El estándar de DOCSIS 3.1 indica que se harán, en un futuro, pequeños cambios en lo que concierne al manejo de seguridad

➤ Características del manejo de cuenta.

Esta no ha cambiado en relación a DOCSIS 3.0.

#### **2.2.6. Especificaciones de la interface del sistema de soporte de operaciones del CMTS.**

Utiliza la misma especificación para todas las versiones, y fue tratada en la versión DOCSIS 3.0. Su última publicación fue el 12 de septiembre del 2008.

#### **2.2.7. Especificaciones de seguridad.**

Las especificaciones de seguridad para esta versión de DOCSIS básicamente no cambian en relación a la versión DOCSIS 3.0.

Esta especificación es actualizada al 10 de septiembre de 2015 como DOCSIS 3.1 e indica que, en lo concerniente a seguridad, trae consigo una nueva infraestructura para el Certificado de Clave Pública, lo cual refuerza la seguridad en la autenticación del CM y asegura las características de Descarga de Software.

#### **2.2.8. Interface de temporización DOCSIS.**

Utiliza la misma especificación para todas las versiones, y fue tratada en la versión DOCSIS 3.0. Su última actualización fue en marzo del 2015.

#### **2.2.9. Especificaciones de interface física externa de la señal de bajada.**

Utiliza la misma especificación para todas las versiones, y fue tratada en la versión DOCSIS 3.0. Su última actualización fue en junio del 2010.

#### **2.2.10. Especificaciones de interface de manejo de los recursos externos.**

Utiliza la misma especificación para todas las versiones, y fue tratada en la versión DOCSIS 3.0. Su última actualización fue en septiembre del 2015.

### **2.3. Diferencias entre las dos versiones**

Realizaremos un análisis de las características detalladas de cada versión para determinar las ventajas y desventajas de cada una de ellas.

#### **2.3.1. Especificaciones de la capa física**

Las diferencias en la capa física entre la versión 3.0 y la 3.1 de DOCSIS son muy significativas y se detallan a continuación:

- En la modulación, aparece el tipo de modulación OFDM con lo cual la nueva versión DOCSIS puede alcanzar ordenes de modulación de 4.096QAM y 8.192QAM, las cuales son muy superiores al 256QAM que presentaba la versión anterior. Esto permitió incrementar la velocidad de transmisión, como veremos más adelante.
- El ancho de banda se incrementa. Así, para DOWNSTREAM va de 1.002 MHz a 1.218 MHz con opción a incrementarse hasta 1.794 MHz; y, en UPSTREAM de 85 MHz a 204MHz. Logrando con ello incrementar el número de canales disponibles para que sean compartidos por varios CM.

Recordemos que en la versión 3.0 se tenía 4, 8, 12, 16 y hasta 24 canales (de 6MHz) que compartían varios CM en downstream, en la nueva versión aparece el canal OFDM que está constituido de hasta 192 MHz de ancho de banda (esto es 32 canales de la versión 3.0).

En cuanto a la señal UPSTREAM, en 3.0 se tenía 2, 4, 6, 8 y hasta 12 canales que competían varias CM, en la nueva versión aparece

el canal OFDMA que tiene un ancho de banda de hasta 96 MHz (correspondientes a 16 canales de la versión 3.0).

Este incremento en la modulación y en el ancho de banda ha permitido incrementar la velocidad de transmisión de datos; así en DOWNSTREAM de 960 Mbps (que se tenía en la versión 3.0 con 24 canales en Channel Bonding) a una velocidad de hasta 1,7 Gbps (con un canal OFDM de 192 MHz), y en UPSTREAM de 360 Mbps (en 3.0 con 12 canales en Channel Bonding) a una velocidad de hasta 850 Mbps (con un canal OFDMA de 96MHz). Ver Tablas 1, 2, 18 y 19.

Este incremento en la velocidad permite a los operadores de cable modem, competir con nuevas tecnologías en la provisión de televisión por cable, voz sobre IP y datos.

### **2.3.2. Especificaciones de los protocolos de interface MAC y capa superior.**

La nueva versión al introducir la técnica OFDM en la capa física para lograr tipos de modulación más avanzados, hizo que los protocolos de la capa MAC y capa superior sufran modificaciones para lograr la operación apropiada de esta nueva técnica.

### **2.3.3. Especificaciones de la interface radio frecuencia de la señal de bajada.**

En lo que respecta a esta especificación no ha habido cambios que hayan sido introducidos con la nueva versión DOCSIS 3.1 en relación a la versión 3.0.

### **2.3.4. Especificaciones de la interface cable modem CPE (Customer Premises Equipment).**

En lo que respecta a esta especificación no ha habido cambios que hayan sido introducidos con la nueva versión DOCSIS 3.1 en relación a la versión 3.0.

#### **2.3.5. Especificaciones de la interface del sistema de soporte de operaciones del cable modem (CM)**

Con la introducción de la técnica OFDM en la capa física, esta especificación a realizado cambios para incorporar esta nueva técnica y ha hecho mejoras para tener datos estadísticos que permitan un mejor control de la operación de la nueva versión de DOCSIS.

#### **2.3.6. Especificaciones de la interface del sistema de soporte de operaciones del CMTS.**

En lo que respecta a esta especificación no ha habido cambios que hayan sido introducidos con la nueva versión DOCSIS 3.1 en relación a la versión 3.0.

#### **2.3.7. Especificaciones de seguridad**

La especificación de seguridad para DOCSIS 3.1 han sido presentada el 10 de septiembre de 2015 y trae consigo una nueva infraestructura para el Certificado de Clave Pública, lo cual refuerza la seguridad en la autenticación del CM y asegura las características de Descarga de Software.

#### **2.3.8. Especificaciones de temporización DOCSIS**

En lo que respecta a esta especificación no ha habido cambios que hayan sido introducidos con la nueva versión DOCSIS 3.1 en relación a la versión 3.0.

**2.3.9. Especificaciones de interface física externa de la señal de bajada**

En lo que respecta a esta especificación no ha habido cambios que hayan sido introducidos con la nueva versión DOCSIS 3.1 en relación a la versión 3.0.

**2.3.10. Especificaciones de interface de manejo de los recursos externos**

En lo que respecta a esta especificación no ha habido cambios que hayan sido introducidos con la nueva versión DOCSIS 3.1 en relación a la versión 3.0.

## CAPÍTULO 3

### **3. INFRAESTRUCTURA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL ESTANDAR DOCSIS 3.1 Y FIBRA HASTA EL HOGAR (FTTH).**

En este capítulo pretendemos conocer la infraestructura que utiliza DOCSIS 3.0 y las que requerirán DOCSIS 3.1 y la tecnología FTTH, para en base a ello determinar los equipos y la inversión requerida para migrar sea a la una o a la otra tecnología.

Cada una de las empresas que proveen televisión por cable, voz e internet tienen una amplia cobertura y por ende una extensa infraestructura con el actual Estandar DOCSIS 3.0.

No vamos a analizar las extensas infraestructuras que las operadoras poseen para brindar los servicios a sus abonados; por el contrario, vamos a enfocarnos en un área específica, proponer diseños de red y determinar las infraestructuras necesarias para implementar las versiones DOCSIS 3.0, 3.1 y la tecnología FTTH, considerando una población de clase económica media. Luego mediante el análisis correspondiente se determinará la opción más adecuada para migrar.

Por el tamaño de su población, por su ubicación y forma geográfica, que facilitarán la visualización de los diseños a proponer, vamos a seleccionar a la Isla Trinitaria como área de estudio, ver Figura 3.1; y, supondremos que la empresa GIGABITNET S.A., empresa ficticia, que se encontraría ubicada en la parte norte de la ciudad (Figura 3.2) a aproximadamente 14 Km de la Isla Trinitaria, proveerá de los servicios de Voz IP, Internet y Televisión a la población del área de estudio.

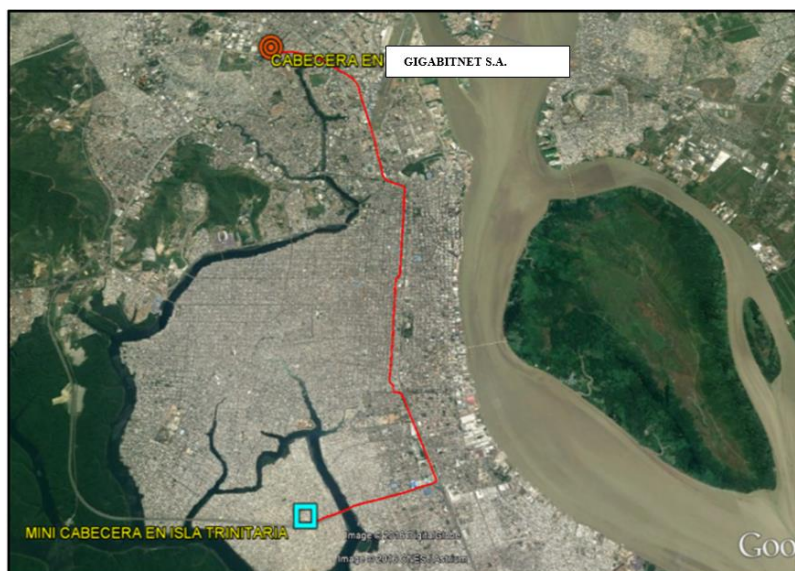
Con el fin de proveer la mejor calidad de la señal, se establecerá una Mini Cabecera o HUB en la Isla Trinitaria, desde donde se desplegará nuestra red para proveer los servicios de internet, televisión y telefonía.

La señal es llevada desde la Cabecera hacia la Mini Cabecera por medio de un tendido subterráneo de fibra óptica a través de las diferentes calles de la ciudad, como se detalla en la Figura 3.2.



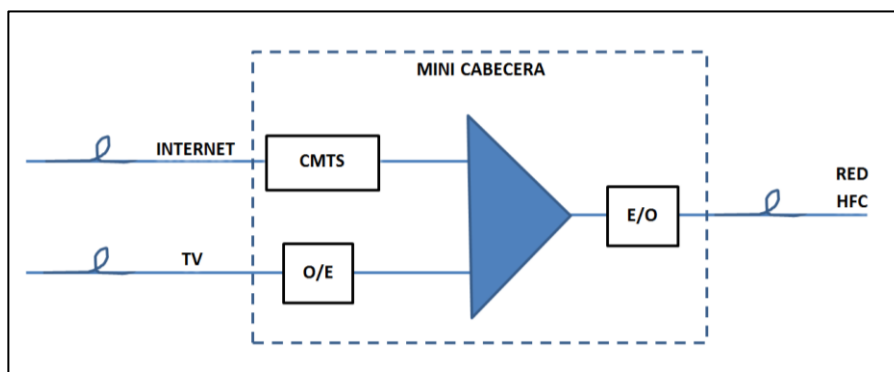


**Figura 3.1: Mapa de la Isla Trinitaria**



**Figura 3.2: Gráfico del despliegue de la fibra óptica desde la cabecera en la Compañía GIGABITNET S.A. hacia la Mini Cabecera en la Isla Trinitaria.**

El diagrama de bloques de la Mini Cabecera o Hub es el que se muestra a continuación:



**Figura 3.3: Diagrama de bloques de la Mini Cabecera**

La distancia entre la Cabecera y la Mini Cabecera siguiendo la ruta indicada es de 14.300 metros. Para determinar la longitud del cable de fibra óptica, hacemos el siguiente cálculo:

$[14.300 \text{ m (distancia)} + 730 \text{ m (reservas de cable)}] \times 1,05 \text{ (factor)} = 15.782 \text{ metros.}$

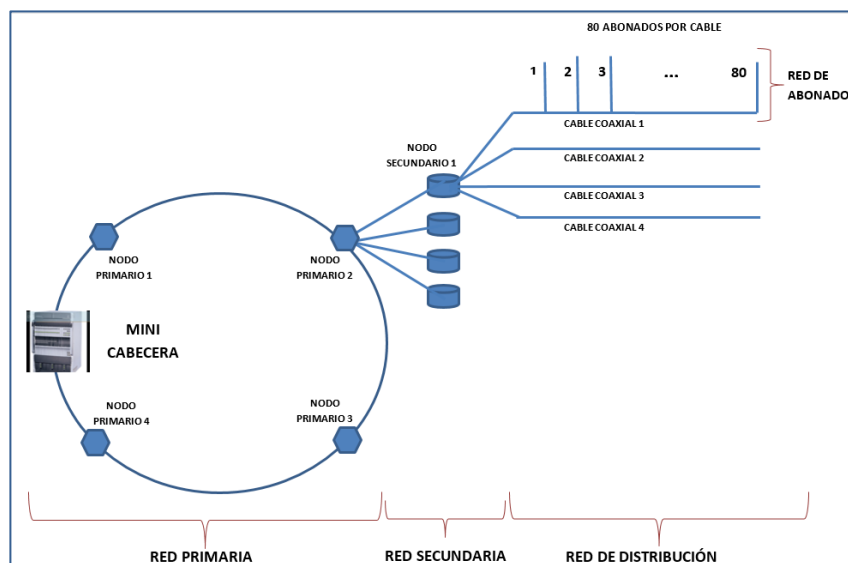
De la Cabecera a la Mini Cabecera vienen dos fibras una para el internet y la otra para la televisión y la voz IP, tal como se indica en la Figura 3.3, adicional se dejarán dos fibras de reserva; por tanto, el cable a usarse será de 6 hilos, que es el cable comercial con el número de hilos más próximo.

### 3.1. Infraestructura implementada para DOCSIS 3.0

Analizaremos algunos parámetros correspondientes a la infraestructura necesaria para implantar DOCSIS 3.0.

#### 3.1.1. Topología de la red

Una vez la señal se encuentra en la Mini Cabecera en la Isla Trinitaria, la red HFC que provee los servicios de Voz, Datos y Televisión a toda la población de esta Isla, está compuesta de 4 nodos primarios, cada uno de los cuales tiene 4 nodos secundarios. De cada nodo secundario salen 4 cables coaxiales para llevar al servicio a los abonados; como se indica en la siguiente figura:



**Figura 3.4: Gráfico de la distribución de la red HFC propuesta**

Para determinar la longitud de los diferentes cables tanto de fibra óptica como coaxial de la red propuesta nos basamos en diseños realizados en google earth, tomando las dimensiones de distancia en metros que esta aplicación nos brinda de los tendidos de cables diseñados. A esta longitud o distancia le sumamos las reservas de cable que por norma se establecen, esto es 20 metros por cada 200 metros de tendido, y a la longitud total obtenida se agregará un 5%, considerando que los cables no son completamente flexibles para tenderse en forma lineal.

La red primaria diseñada en forma de anillo al tener 4 nodos primarios, el cable de fibra a utilizarse debe ser de 4 hilos para tener redundancia. Si consideramos una reserva del 100%, el número de hilos será de 8; por tanto, el cable comercial próximo a utilizarse será de 12 hilos.

Según lo antes dicho para determinar la medida del cable de fibra óptica de la red primaria hacemos el siguiente cálculo:

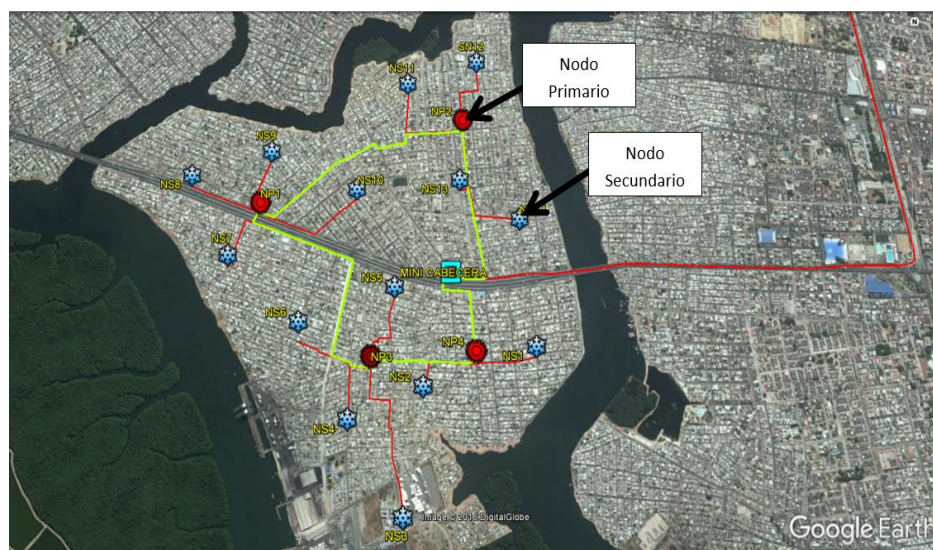
$[5.278 \text{ m (distancia)} + 300 \text{ m (reservas de cable)}] \times 1,05 \text{ (factor)} = 5.856,9$  metros.

La red secundaria tiene forma de estrella, entonces el cable de fibra óptica que va a cada nodo secundario será de 2 hilos, el cable comercial más próximo es de 6 hilos.

Para determinar la longitud del cable de fibra óptica de la red secundaria hacemos el siguiente cálculo:

$[6.940 \text{ m (distancia)} + 420 \text{ m (reservas de cable)}] \times 1,05 \text{ (factor)} = 7.728 \text{ metros.}$

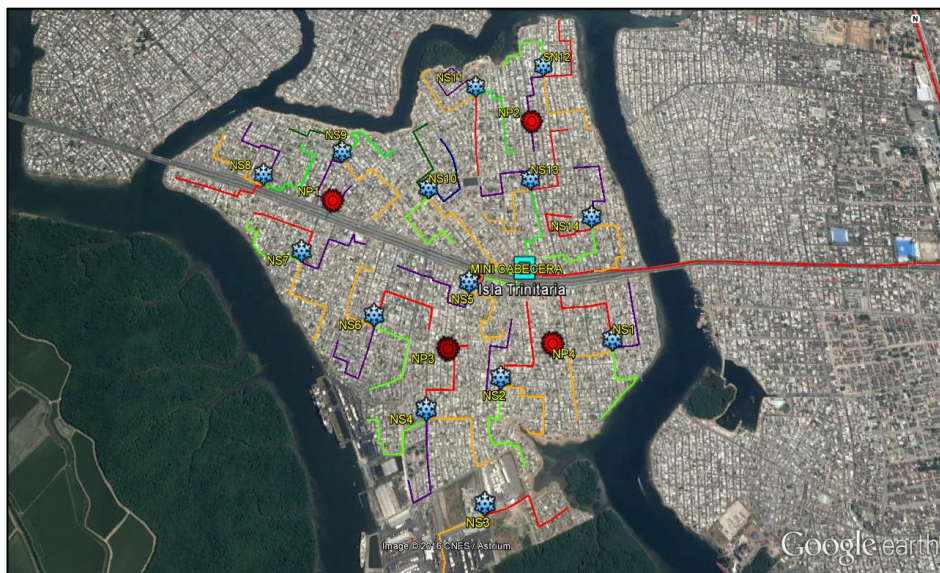
En la Figura 3.5 se aprecia el despliegue de la red HFC en la Isla, compuesta por un total de 4 nodos primarios y 14 nodos secundarios:



**Figura 3.5: Gráfico de la red primaria y secundaria de la red propuesta**

Es en estos nodos secundarios que se transforma la señal de óptica a radio frecuencia (fibra óptica a cable coaxial). Cada nodo secundario tiene 4 salidas de cable coaxial; cada una de las cuales abastece a 80 abonados.

En la Figura 3.6 se muestra el despliegue de los 4 cables coaxiales que salen de cada nodo secundario. El tendido del cable se realizó con el fin de cubrir la mayor cantidad de usuarios con los servicios a brindar.



**Figura 3.6: Gráfico de la red de distribución de la red propuesta**

A lo largo del tendido del cable coaxial se ubican los TAP's que permiten distribuir la señal hacia el abonado.

Para determinar la longitud del cable coaxial # 500, hacemos el siguiente cálculo:

$[33.600 \text{ m (distancia)} + 3.360 \text{ m (reservas de cable)}] \times 1,05 \text{ (factor)} = 38.808 \text{ metros.}$

Para determinar la longitud del cable coaxial # 6 (que va del TAP hacia el abonado), consideramos que la distancia promedio que hay del TAP hacia el abonado es de aproximadamente 70 metros, por tanto la longitud de cable # 6 requerido será la siguiente:

$70 \text{ metros} \times 80 \text{ abonados} \times 4 \text{ coaxiales por nodo} \times 14 \text{ nodos secundarios} = 313.600 \text{ metros.}$

Con el objetivo de diseñar una red que permita proveer los servicios, con la mejor calidad y a la mayor cantidad de usuarios de la Isla, se ha tomado la configuración de Nodo +1, esto es 1 amplificador de RF por nodo, por ser la que mejor se adapta a nuestros requerimientos, de acuerdo al siguiente análisis:

1. La señal RF que sale del nodo secundario hacia el cable coaxial, es de 48 dB.
2. El cable coaxial que se usa es el # 500, que tiene una atenuación de aproximadamente 6 dB por cada 100 m de cable, [30].
3. Se usarán TAP's de 1 a 8, los cuales tienen una atenuación de inserción (a lo largo de la red de distribución) de aproximadamente 1 dB.
4. Se utilizará solo un amplificador de RF por cable coaxial, este amplificador requiere a la entrada una señal de entre 22 y 24 dB y proporciona una salida de 46 dB.
5. Si consideramos que la señal a la salida del nodo secundario tiene 48 dB, después de recorrer 300 metros del cable coaxial la señal se habrá atenuado en  $6\text{dB} \times 3 = 18\text{dB}$ . Debido a ello solo se podrá colocar 5 TAP's de 1 a 8 en estos 300 metros iniciales; para obtener en ese punto una atenuación total de  $18\text{dB} + 5\text{dB}$  (de los TAP's) = 23dB. Como a la salida del nodo secundario se tiene 46 dB  $- 23\text{dB} = 23\text{dB}$ , que es la potencia mínima que debe ingresar a un amplificador de RF, para que pueda ser amplificada.

Entonces a 300 metros se colocará un amplificador que amplifique la señal hasta los 46 dB, para que pueda viajar la señal a lo largo del cable coaxial una longitud de 300 metros adicionales, proveyendo los servicios. Por tanto los tramos de cable coaxial tendrán una longitud total de 600 metros con un amplificador de RF en la mitad de esta longitud, esto es a los 300 metros. En los 600 metros de recorrido del cable coaxial, se instalarán un total de 10 TAP's del tipo 1 a 8, con los cuales se dará el servicio a un total de  $10 \times 8 = 80$  abonados.

6. El número total de abonados a cubrir en la Isla Trinitaria es de 80 abonados X 4 cables coaxiales X 14 nodos secundarios = 4.480 abonados.

La Isla Trinitaria tiene una población de 75.605 personas [31]. Si consideramos 5 personas por familia o abonado, esto nos da un total de 15.120 abonados.

Al cubrir con nuestra red HFC una población de 4.480 abonados; esto representa el 29,6% de la población de la Isla. La participación de mercado de una acreditada empresa proveedora de estos servicios es de aproximadamente el 16%, [32]; se puede afirmar entonces que la red HFC propuesta, abastecerá a la población de la Isla Trinitaria demandante de los servicios.

### 3.1.2. Determinación de los equipos instalados

EQUIPOS EN LA RED PRIMARIA Y SECUNDARIA			
RED	EQUIPOS	CANT. TOTAL	
TRONCAL	CMTS	1	
	CONVERTIDOS ÓPTICO A ELECTRICO	1	
	COMBINADOR	1	
	TRANSMISOR ÓPTICO	8	
	NODOS PRINCIPALES	4	
	FIBRA ÓPTICA DE 6 HILOS, QUE VA DEL CMTS - MINI CMTS (m) Considerando que se usan dos fibras ópticas, la una para internet, y la otra para la televisión y telefonía IP; y sus reservas respectivas.	15,782	
	FIBRA ÓPTICA DE 12 HILOS PARA LA RED PRIMARIA (m)	5,857	
	FIBRA ÓPTICA DE 6 HILOS PARA RED SECUNDARIA (m)	7,728	
EQUIPOS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN			
RED	EQUIPOS	CANT. TOTAL	
DISTRIBUCIÓN	NODOS SECUNDARIOS	14	
	FUENTE DE PODER	56	
	AMPLIFICADOR DE RF Considerando 1 amplificador cada 300 metros de cable coaxial.	56	
	POWER INSERTER	56	
	DIVISORES DE RF	0	
	ACOPLADORES	0	
	TAP Considerando que cada ramal de Cable coaxial que sale del nodo secundario provee del servicio a 80 abonados.	560	
	CABLE COAXIAL (m) # 500 Considerando que cada ramal de Cable Coaxial se extiende aproximadamente 600 metros mas reserva de 20 m cada 200 metros.	38,808	
	EQUIPOS EN LA RED DE ABONADO		
	RED	EQUIPOS	CANT. TOTAL
ABONADO	SPLITTER Considerando que cada abonado hace uso de 1 splitter.	4,480	
	MODEM ATA Considerando que solo el 50% de los abonados solicita el servicio de telefonía.	2,240	
	MODEM Considerando que cada abonado hace uso de un equipo modem	2,240	
	DECODIFICADOR TV Considerando que cada abonado usará un decodificado de TV.	4,480	
	CABLE COAXIAL # 6 Considerando que para llegar a un abonado se requiere una longitud promedio de 70 m. No consideramos reservas por la longitud corta del cable hacia el abonado.	313,600	

**Tabla 26: Listado de equipos en una red HFC con DOCSIS 3.0**



## 3.1.3. Determinación de la inversión realizada

EQUIPOS Y COSTOS EN LA RED PRIMARIA Y SECUNDARIA				
RED	EQUIPOS	CANT. TOTAL	DOCSIS 3.0	
			PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
TRONCAL	CMTS	1	\$100,000.00	\$100,000.00
	EDGE QAM	1	\$3,000.00	\$3,000.00
	CONVERTIDOR ÓPTICO A ELECTRICO	1	\$2,000.00	\$2,000.00
	COMBINADOR	1	\$2,000.00	\$2,000.00
	TRANSMISOR ÓPTICO	8	\$3,000.00	\$24,000.00
	NODOS PRINCIPALES	4	\$10,000.00	\$40,000.00
	FIBRA ÓPTICA DE 6 HILOS, QUE VA DEL CMTS - MINI CMTS (m) Considerando que se usan dos fibras ópticas, la una para internet, y la otra para la televisión y telefonía IP; y sus	15,782	\$2.27	\$35,825.14
	FIBRA ÓPTICA DE 12 HILOS PARA LA RED PRIMARIA (m)	5,857	\$2.50	\$14,642.50
FIBRA ÓPTICA DE 6 HILOS PARA RED SECUNDARIA (m)	7,728	\$2.27	\$17,542.56	
			TOTAL	\$239,010.20
EQUIPOS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN				
RED	EQUIPOS	CANT. TOTAL	DOCSIS 3.0	
			PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
DISTRIBUCIÓN	NODOS SECUNDARIOS	14	\$8,000.00	\$112,000.00
	FUENTE DE PODER	56	\$600.00	\$33,600.00
	AMPLIFICADOR DE RF Considerando 1 amplificador cada 300 metros de cable coaxial.	56	\$2,000.00	\$112,000.00
	POWER INSERTER	56	\$400.00	\$22,400.00
	TAP Considerando que cada ramal de Cable coaxial que sale del nodo secundario provee del servicio a 80 abonados.	560	\$180.00	\$100,800.00
	CABLE COAXIAL (m) # 500 Considerando que cada ramal de Cable Coaxial se extiende aproximadamente 600 metros mas reserva de 20 m cada 200 metros.	38,808	\$1.25	\$48,510.00
			TOTAL	\$429,310.00
EQUIPOS EN LA RED DE ABONADO				
RED	EQUIPOS	CANT. TOTAL	DOCSIS 3.0	
			PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
ABONADO	SPLITTER Considerando que cada abonado hace uso de 1 splitter.	4,480	\$3.00	\$13,440.00
	MODEM ATA Considerando que solo el 50% de los abonados solicita el servicio de telefonía.	2,240	\$40.00	\$89,600.00
	MODEM Considerando que cada abonado hace uso de un equipo modem	2,240	\$40.00	\$89,600.00
	DECODIFICADOR TV Considerando que cada abonado usará un decodificado de TV.	4,480	\$120.00	\$537,600.00
	CABLE COAXIAL # 6 Considerando que para llegar a un abonado se requiere una longitud promedio de 70 m. No consideramos reservas por la longitud corta del cable hacia el abonado.	313,600	\$1.25	\$392,000.00
				TOTAL
			SUMA TOTAL	\$1,790,560.20
			INSTALACIÓN 10%	\$179,056.02
			TOTAL	\$1,969,616.22

Tabla 27: Inversión en equipos para una red HFC con DOCSIS 3.0

#### **3.1.4. Determinación de los servicios y cobertura alcanzada**

Los servicios que se pretende brindar son: Internet, televisión y telefonía.

La cobertura que se desea alcanzar es cubrir con los servicios de Voz, Datos y Televisión a la población que habita en la Isla Trinitaria.

### **3.2. Infraestructura para implementar DOCSIS 3.1**

Analizaremos algunos parámetros correspondientes a la infraestructura necesaria para implantar DOCSIS 3.1.

#### **3.2.1. Topología de la red**

La topología de red es la misma que fue propuesta para la versión DOCSIS 3.0 y que se detallan en las Figuras 3.4, 3.5 y 3.6 solo que en esta ocasión los equipos soportan la versión DOCSIS 3.1.

#### **3.2.2. Determinación de los equipos requeridos**

Para el caso que estamos estudiando, en que se desea implementar una red HFC DOCSIS 3.1 en la Isla Trinitaria, se requerirían adquirir todos los equipos y accesorios detallados en el numeral 3.1.3; con la consideración de que ciertos equipos deben soportar la versión 3.1, esto es soportar el nuevo ancho de banda de 1.200 MHz y los nuevos ordenes de modulación. Tomando esta consideración, los equipos requeridos son los siguientes:

EQUIPOS Y COSTOS EN LA RED PRIMARIA Y SECUNDARIA			
RED	EQUIPOS	DESCRIPCIÓN	CANT. TOTAL
TRONCAL	CMTS	HASTA LOS 1200 MHz	1
	EDGE QAM	PARA DOCSIS 3.1	1
	CONVERTIDOR ÓPTICO A ELECTRICO	HASTA LOS 1200 MHz	1
	COMBINADOR		1
	TRANSMISOR ÓPTICO	HASTA LOS 1200 MHz	8
	NODOS PRINCIPALES	HASTA LOS 1200 MHz	4
	FIBRA ÓPTICA DE 6 HILOS, QUE VA DEL CMTS - MINI CMTS (m) Considerando que se usan dos fibras ópticas, la una para internet, y la otra para la televisión y telefonía IP; y sus	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE AÉREO 6 FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO	15,782
	FIBRA ÓPTICA DE 12 HILOS PARA LA RED PRIMARIA (m)	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE AÉREO 12 FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO	5,857
FIBRA ÓPTICA DE 6 HILOS PARA RED SECUNDARIA (m)	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE AÉREO 6 FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO	7,728	
EQUIPOS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN			
RED	EQUIPOS	DESCRIPCIÓN	CANT. TOTAL
DISTRIBUCIÓN	NODOS SECUNDARIOS	HASTA LOS 1200 MHz	14
	FUENTE DE PODER		56
	AMPLIFICADOR DE RF Considerando 1 amplificador cada 300 metros de cable coaxial.	HASTA LOS 1200 MHz	56
	POWER INSERTER		56
	TAP Considerando que cada ramal de Cable coaxial que sale del nodo secundario provee del servicio a 80 abonados.	HASTA LOS 1200 MHz	560
	CABLE COAXIAL (m) # 500 Considerando que cada ramal de Cable Coaxial se extiende aproximadamente 600 metros mas reserva de 20 m cada 200 metros.		38,808
EQUIPOS EN LA RED DE ABONADO			
RED	EQUIPOS	DESCRIPCIÓN	CANT. TOTAL
ABONADO	SPLITTER Considerando que cada abonado hace uso de 1 spliter.	HASTA LOS 1200 MHz	4,480
	MODEM ATA Considerando que solo el 50% de los abonados solicita el servicio de telefonía.	PARA DOCSIS 3.1	2,240
	MODEM Considerando que cada abonado hace uso de un equipo modem	PARA DOCSIS 3.1	2,240
	DECODIFICADOR TV Considerando que cada abonado usará un decodificado de TV.		4,480
	CABLE COAXIAL # 6 Considerando que para llegar a un abonado se requiere una longitud promedio de 70 m. No consideramos reservas por la longitud corta del cable hacia el abonado.		313,600

**Tabla 28: Listado de equipos para una red HFC con DOCSIS 3.1**

El listado de equipos es similar al de la Tabla 26, la diferencia se encuentra en las características que ciertos equipos deben reunir para que se pueda implementar la nueva versión DOCSIS 3.1.

### **3.2.3. Determinación de la inversión requerida**

Para implementar la versión DOCSIS 3.1 se tiene dos opciones, la primera instalar toda la infraestructura para proveer los servicios con la nueva versión, este sería el caso cuando se tiene un área en la que no se tiene ninguna infraestructura instalada con versiones anteriores; y la segunda opción sería cuando en un sector que ya se tiene instalada la versión anterior se desea migrar a la versión 3.1.

Los valores requeridos para las dos opciones antes indicados son los que se detallan a continuación:

EQUIPOS Y COSTOS EN LA RED PRIMARIA Y SECUNDARIA					
RED	EQUIPOS	DESCRIPCIÓN	CANT. TOTAL	DOCSIS 3.1	
				PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
TRONCAL	CMTS	HASTA LOS 1200 MHz	1	\$250,000.00	\$250,000.00
	EDGE QAM	PARA DOCSIS 3.1	1	\$3,500.00	\$3,500.00
	CONVERTIDOR ÓPTICO A ELECTRICO	HASTA LOS 1200 MHz	1	\$2,300.00	\$2,300.00
	COMBINADOR		1	\$2,000.00	\$2,000.00
	TRANSMISOR ÓPTICO	HASTA LOS 1200 MHz	8	\$3,500.00	\$28,000.00
	NODOS PRINCIPALES	HASTA LOS 1200 MHz	4	\$12,000.00	\$48,000.00
	FIBRA ÓPTICA DE 6 HILOS, QUE VA DEL CMTS - MINI CMTS (m) Considerando que se usan dos fibras ópticas, la una para internet, y la otra para la televisión y telefonía IP; y sus	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE AÉREO 6 FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO	15,782	\$2.27	\$35,825.14
	FIBRA ÓPTICA DE 12 HILOS PARA LA RED PRIMARIA (m)	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE AÉREO 12 FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO	5,857	\$2.50	\$14,642.50
FIBRA ÓPTICA DE 6 HILOS PARA RED SECUNDARIA (m)	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE AÉREO 6 FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO	7,728	\$2.27	\$17,542.56	
TOTAL					\$401,810.20
EQUIPOS Y COSTOS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN					
RED	EQUIPOS	DESCRIPCIÓN	CANT. TOTAL	DOCSIS 3.1	
				PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
DISTRIBUCIÓN	NODOS SECUNDARIOS	HASTA LOS 1200 MHz	14	\$9,000.00	\$126,000.00
	FUENTE DE PODER		56	\$600.00	\$33,600.00
	AMPLIFICADOR DE RF Considerando 1 amplificador cada 300 metros de cable coaxial.	HASTA LOS 1200 MHz	56	\$2,500.00	\$140,000.00
	POWER INSERTER		56	\$400.00	\$22,400.00
	TAP Considerando que cada ramal de Cable coaxial que sale del nodo secundario provee del servicio a 80 abonados.	HASTA LOS 1200 MHz	560	\$200.00	\$112,000.00
	CABLE COAXIAL (m) # 500 Considerando que cada ramal de Cable Coaxial se extiende aproximadamente 600 metros mas reserva de 20 m cada 200 metros.		38,808	\$1.25	\$48,510.00
TOTAL					\$482,510.00
EQUIPOS Y COSTOS EN LA RED DE ABONADO					
RED	EQUIPOS	DESCRIPCIÓN	CANT. TOTAL	DOCSIS 3.1	
				PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
ABONADO	SPLITTER Considerando que cada abonado hace uso de 1 splitter.	HASTA LOS 1200 MHz	4,480	\$3.50	\$15,680.00
	MODEM ATA Considerando que solo el 50% de los abonados solicita el servicio de telefonía.	PARA DOCSIS 3.1	2,240	\$55.00	\$123,200.00
	MODEM Considerando que cada abonado hace uso de un equipo modem	PARA DOCSIS 3.1	2,240	\$55.00	\$123,200.00
	DECODIFICADOR TV Considerando que cada abonado usará un decodificado de TV.		4,480	\$120.00	\$537,600.00
	CABLE COAXIAL # 6 Considerando que para llegar a un abonado se requiere una longitud promedio de 70 m. No consideramos reservas por la longitud corta del cable hacia el abonado.		313,600	\$1.25	\$392,000.00
	TOTAL				
				SUMA TOTAL	\$2,076,000.20
				INSTALACIÓN 10%	\$207,600.02
				<b>TOTAL</b>	<b>\$2,283,600.22</b>

**Tabla 29: Opción-1 inversión en equipos para implementar DOCSIS 3.1**

Para la segunda opción, en que se requiere migrar a la nueva versión, se tiene:

EQUIPOS Y COSTOS EN LA RED PRIMARIA Y SECUNDARIA					
RED	EQUIPOS	DESCRIPCIÓN	CANT. TOTAL	DOCSIS 3.1	
				PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
TRONCAL	CMTS	HASTA LOS 1200 MHz	1	\$250,000.00	\$250,000.00
	EDGE QAM	PARA DOCSIS 3.1	1	\$3,500.00	\$3,500.00
	CONVERTIDOR ÓPTICO A ELECTRICO	HASTA LOS 1200 MHz	1	\$2,300.00	\$2,300.00
	TRANSMISOR ÓPTICO	HASTA LOS 1200 MHz	8	\$3,500.00	\$28,000.00
	NODOS PRINCIPALES	HASTA LOS 1200 MHz	4	\$12,000.00	\$48,000.00
			TOTAL		\$331,800.00
EQUIPOS Y COSTOS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN					
RED	EQUIPOS	DESCRIPCIÓN	CANT. TOTAL	DOCSIS 3.1	
				PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
DISTRIBUCIÓN	NODOS SECUNDARIOS	HASTA LOS 1200 MHz	14	\$9,000.00	\$126,000.00
	AMPLIFICADOR DE RF Considerando 1 amplificador cada 300 metros de cable coaxial.	HASTA LOS 1200 MHz	56	\$2,500.00	\$140,000.00
	TAP Considerando que cada ramal de Cable coaxial que sale del nodo secundario provee del servicio a 80 abonados.	HASTA LOS 1200 MHz	560	\$200.00	\$112,000.00
			TOTAL		\$378,000.00
EQUIPOS Y COSTOS EN LA RED DE ABONADO					
RED	EQUIPOS	DESCRIPCIÓN	CANT. TOTAL	DOCSIS 3.1	
				PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
ABONADO	SPLITTER Considerando que cada abonado hace uso de 1 splitter.	HASTA LOS 1200 MHz	4,480	\$3.50	\$15,680.00
	MODEM ATA Considerando que solo el 50% de los abonados solicita el servicio de telefonía.	PARA DOCSIS 3.1	2,240	\$55.00	\$123,200.00
	MODEM Considerando que cada abonado hace uso de un equipo modem	PARA DOCSIS 3.1	2,240	\$55.00	\$123,200.00
			TOTAL		\$262,080.00
				SUMA TOTAL	\$971,880.00
				INSTALACIÓN 10%	\$97,188.00
				TOTAL	\$1,069,068.00

**Tabla 30: Opción-2 inversión en los nuevos equipos requeridos para migrar a DOCSIS 3.1 a partir de DOCSIS 3.0**

Entonces se observa que para migrar a la nueva versión de DOCSIS se requiere invertir 1'069.068,00 USD.

Este valor representa el 54,3% de la inversión total requerida para implementar la versión DOCSIS 3.0 (esto es \$ 1'969.616,22 que se muestra en la Tabla 27).

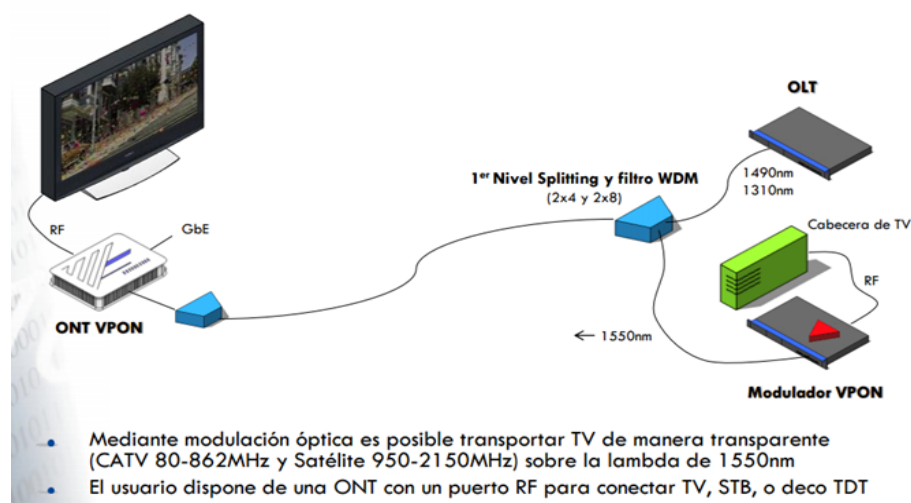
### 3.2.4. Determinación de los servicios y cobertura a alcanzar

Los servicios que se pretende brindar son: Internet, televisión y telefonía.

La cobertura que se desea alcanzar es cubrir a la población que habita en la Isla Trinitaria.

### 3.3. Infraestructura para implementar fibra hasta el hogar (FTTH).

Al igual que para la tecnología DOCSIS en donde el equipo CMTS opera sobre los datos y no sobre la señal de televisión, de igual manera ocurre en esta tecnología con el equipo OLT. Veamos la siguiente figura:

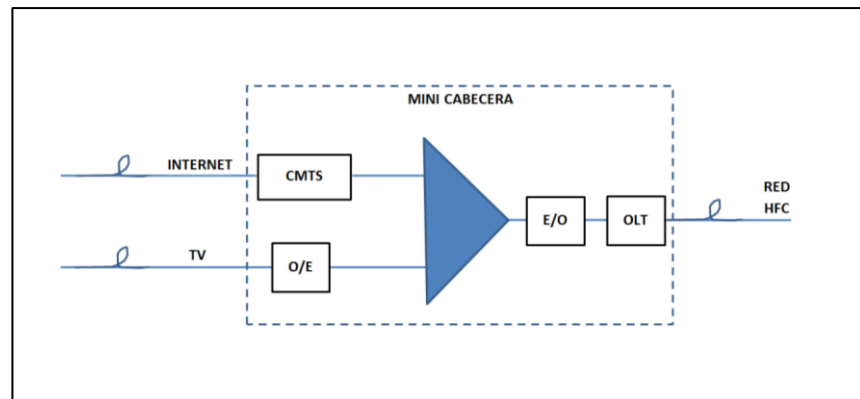


**Figura 3.7: Combinación de la señal de televisión con la señal de datos [33]**

En la Figura 3.7 se observa el equipo OLT que toma la señal de internet de la gran red Internet y la procesa de tal manera de poder enviarla a través de la red FTTH hacia el abonado. Pero previo a enviar a la red HFC, la señal que sale del OLT ingresa a un SPLITTING y filtro WDM en el que se combina con la señal de televisión para conjuntamente viajar hacia cada abonado de la red. Entonces el equipo OLT no realiza proceso alguno en la señal de televisión, la cual es procesada independientemente e ingresa luego a la red a través del combinador.

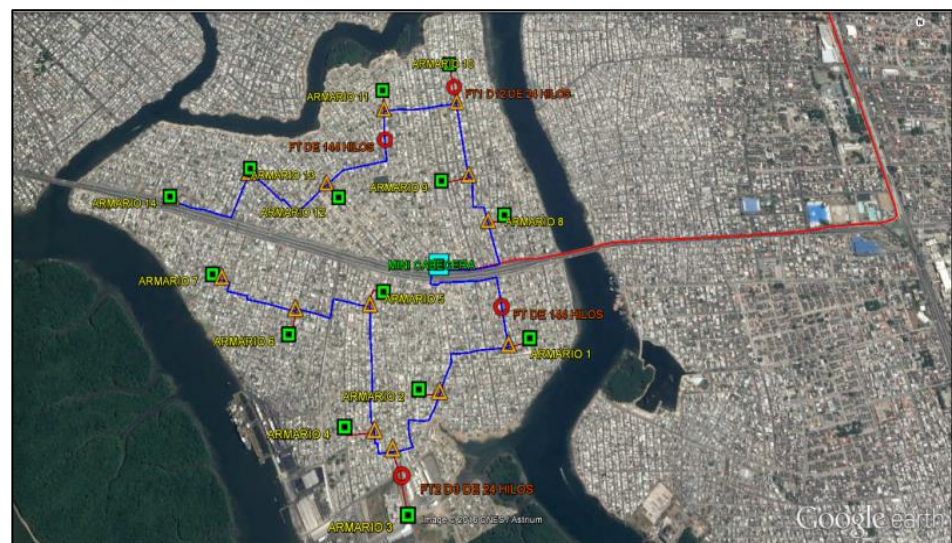
#### 3.3.1. Topología de la red

La Mini Cabecera contendrá los mismos equipos que fueron indicados para la red HFC, agregando tan solo el equipo OLT a la salida de la misma, tal como se detalla en el siguiente diagrama:



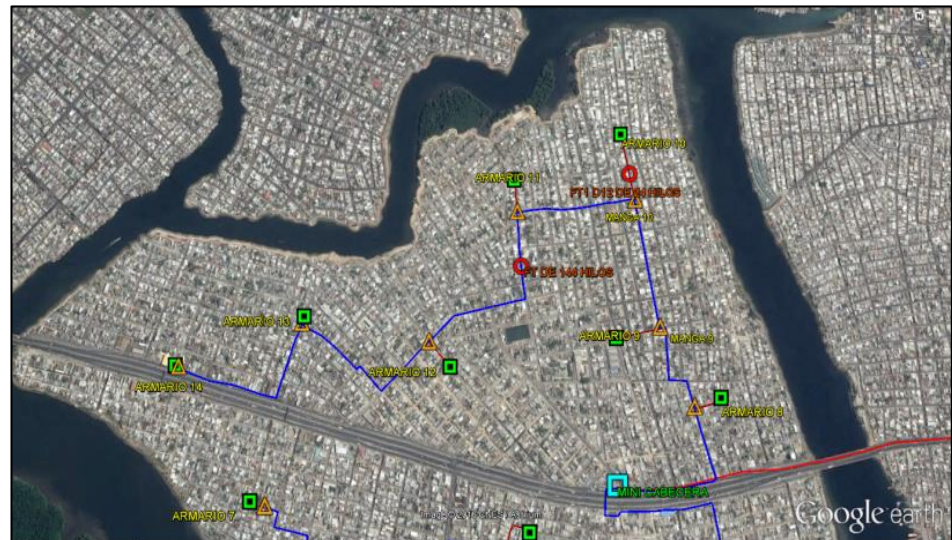
**Figura 3.8: Diagrama de bloques de la Mini Cabecera**

Una vez la señal se encuentra en la Isla trinitaria, la red FTTH que proveerá de los servicios a la población es la que se detalla a continuación:

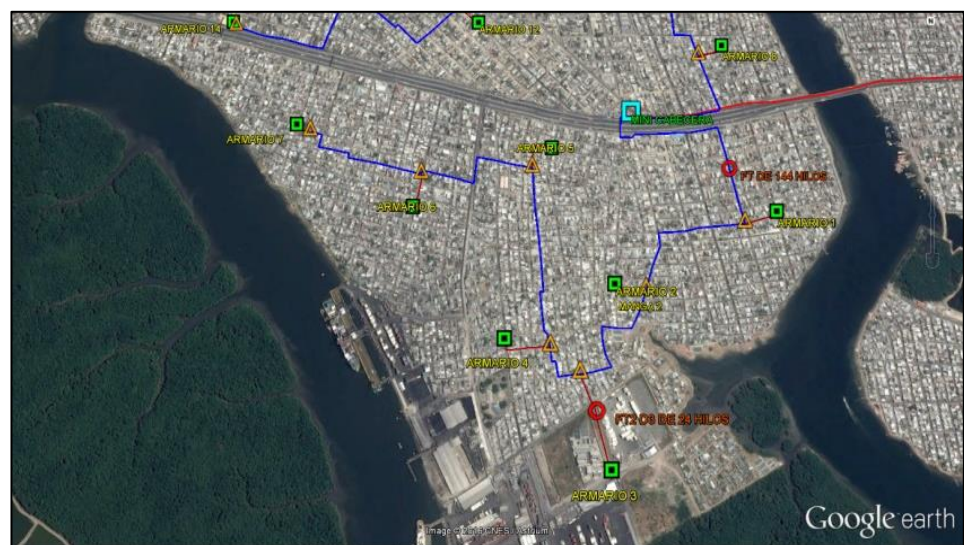


**Figura 3.9: Gráficos del despliegue de la fibra óptica en la Isla Trinitaria**





**Figura 3.10: Gráficos del despliegue de la fibra óptica en la Isla Trinitaria (sector norte)**



**Figura 3.11: Gráficos del despliegue de la fibra óptica en la Isla Trinitaria (sector sur)**

De la Mini Cabecera salen dos Fibras Ópticas Troncales, la una se despliega por la parte sur de la Isla dejando la señal en 7 armarios,

numerados del 1 al 7, y la otra fibra troncal se despliega por la parte norte dejando la señal a los otros 7 armarios, numerados del 8 al 14.

Cada armario tiene una manga, que es donde se realizan las fusiones para las derivaciones de la fibra óptica troncal.

Recordemos que la red HFC cubrió a 4.480 abonados, poseía 14 nodos secundarios, cada uno de los cuales proveía el servicio a 320 abonados a través de 4 cables coaxiales. Tomando como base esa red, hemos diseñado la red FTTH, ubicando los armarios en los lugares que se encontraban los nodos secundarios, por tanto cada armario proveerá del servicio a 320 abonados, para ello de cada armario saldrán 320 fibras ópticas para proveer de los servicios a los 320 abonados del sector. Se ha mantenido la estructura de la red HFC, con la finalidad de realizar una comparación más real entre las dos opciones (HFC y FTTH).

De lo dicho en el párrafo anterior, cada armario poseerá 10 Splitter de 1 a 32, por tanto la fibra óptica que conecta la manga al armario deberá tener 10 hilos. Por otra parte cada cable de fibra óptica troncal abastece a 7 armarios lo que significa que abastecerá a un total de 70 Splitters, por lo que el cable a usarse debe ser de 70 hilos.

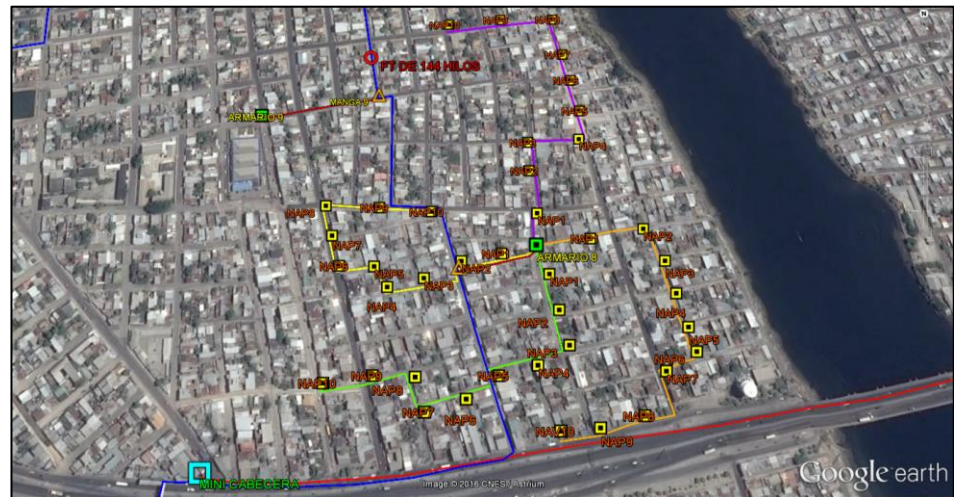
Previendo en el futuro un incremento de población o incremento de usuarios, se dejará una reserva del 100% de hilos en el cable, según ello el cable de fibra óptica troncal será de 140 hilos y el cable que va de la manga al armario será de 20 hilos. De acuerdo al número de hilos de los cables comerciales, las fibras a usarse serán de 144 y 24 hilos respectivamente, tal como se observa en las Figuras 3.10 y 3.11.

Para determinar la longitud del cable de fibra óptica de 24 hilos, hacemos el siguiente cálculo:

$[1.827 \text{ m (distancia)} + 420 \text{ m (reservas de cable)}] \times 1,05 \text{ (factor)} = 2.360 \text{ metros.}$

Para determinar la longitud del cable de fibra óptica de 144 hilos, hacemos el siguiente cálculo:

$[7.340 \text{ m (distancia)} + 405 \text{ m (reservas de cable)}] \times 1,05 \text{ (factor)} = 8.133$  metros.



**Figura 3.12: Despliegue de cables de fibra óptica que salen de un armario**

En la última gráfica se puede observar que del armario salen 4 cables de fibra óptica, cada cable tendrá 80 fibras ópticas, que corresponden a la red de distribución, que son desplegadas de tal manera que provean de la señal a toda el área circundante del armario. Se puede ver que cada cable de fibra óptica a lo largo de su recorrido abastece a 10 NAP's cada una de las cuales provee el servicio a 8 abonados, dando un total de 80 abonados por fibra de distribución, y con ello dando un total de 320 abonados por cada armario.

El cable a usarse para la red de distribución será de 96 hilos, que es el más próximo a los 80.

Para determinar la longitud del cable de fibra óptica de 96 hilos, hacemos el siguiente cálculo:

$[33.600 \text{ m (distancia)} + 1.120 \text{ m (reservas de cable)}] \times 1,05 \text{ (factor)} = 36.456$  metros.

Para determinar la longitud del cable de fibra óptica de 1 hilo (más uno de reserva), que va desde la caja NAP hacia el abonado, consideramos que cada fibra óptica tiene una distancia promedio de 70 metros, por tanto la longitud será:

$70 \text{ metros} \times 80 \text{ abonados} \times 4 \text{ coaxiales por nodo} \times 14 \text{ nodos secundarios} = 313.600 \text{ metros.}$

Aquí no consideramos reservas ni factores de multiplicación, porque la distancia hacia el abonado es relativamente corta.

### **3.3.2. Determinación de los equipos requeridos**

Los equipos requeridos para la red FTTH propuesta se detallan en el cuadro siguiente:

EQUIPOS EN LA RED TRONCAL		
RED	EQUIPOS	CANT. TOTAL
TRONCAL	CMTS	1
	CONVERTIDOS ÓPTICO A ELECTRICO	1
	COMBINADOR	1
	OLT	140
	OSU	140
	ODF PARTE INTERNA	2
	ODF PARTE EXTERNA	2
	ARMARIOS	14
	FIBRA ÓPTICA DE 6 HILOS, QUE VA DE LA CABECERA - MINI CABECERA (m) Considerando que se usan dos fibras ópticas, la una para internet, y la otra para la televisión y telefonía IP, y sus reservas respectivas.	15,782
	FIBRA ÓPTICA DE 144 HILOS (m) Las que llevan la señal a los 14 armarios.	8,133
	FIBRA ÓPTICA DE 24 HILOS (m) Las derivaciones que llevan la señal desde las mangas a los armarios.	2,360
EQUIPOS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN		
RED	EQUIPOS	CANT. TOTAL
DISTRIBUCIÓN	SPLITTER DE 1:32	140
	NAP's	560
	FIBRA ÓPTICA DE 96 HILOS (m) Las que llevan la señal desde el armario a los abonados a través de los TAP's.	36,456
EQUIPOS EN LA RED DE DISPERSIÓN		
RED	EQUIPOS	CANT. TOTAL
ABONADO	ROSETAS ÓPTICAS Considerando que cada abonado hará uso de 1 roseta.	4,480
	ONT Considerando que cada abonado usará un equipo ONT	4,480
	FIBRA ÓPTICA DE 2 HILO HACIA EL ABONADO. Considerando que la distancia al abonado es de un valor promedio de 30 m.	313,600

**Tabla 31: Listado de equipos de una red FTTH**

### 3.3.3. Determinación de la inversión requerida

EQUIPOS EN LA RED TRONCAL					
RED	EQUIPOS	DESCRIPCIÓN	CANT. TOTAL	EPON, GPON	
				PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
TRONCAL	CMTS	C4e™ CMTS	1	\$10,000.00	\$10,000.00
	CONVERTIDOR ÓPTICO A ELECTRICO		1	\$2,000.00	\$2,000.00
	COMBINADOR		1	\$2,000.00	\$2,000.00
	OLT	CHP CORWave® II	140	\$1,500.00	\$210,000.00
	OSU		140	\$200.00	\$28,000.00
	ODF PARTE INTERNA	SUMINISTRO Y COLOCACION DE ODF DE 96 PUERTOS (INCLUYE PIG TAILS SC/APC G 652.D) CON PACHEO LATERAL	2	\$2,189.00	\$4,378.00
	ODF PARTE EXTERNA	SUMINISTRO Y COLOCACION DE ODF DE 96 PUERTOS (INCLUYE PIG TAILS SC/APC G 652.D) CON PACHEO LATERAL	2	\$2,189.00	\$4,378.00
	ARMARIOS	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN ARMARIO FTTH DE 432 PUERTOS	14	\$16,308.00	\$228,312.00
	FIBRA ÓPTICA DE 6 HILOS, QUE VA DE LA CABECERA - MINI CABECERA (m) Considerando que se usan dos fibras ópticas, la una para internet, y la otra para la televisión y telefonía IP, y sus reservas respectivas.	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE AÉREO 6 FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO	15,782	\$2.27	\$35,825.14
	FIBRA ÓPTICA DE 144 HILOS (m) Las que llevan la señal a los 14 armarios.	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE AÉREO ADSS DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO DE 144 HILOS G.652.D	8,133	\$5.06	\$41,152.98
	FIBRA ÓPTICA DE 24 HILOS (m) Las derivaciones que llevan la señal desde las mangas a los armarios.	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE RISER 24 HILOS FIBRAS ÓPTICAS G.657A1	2,360	\$4.87	\$11,493.20
				TOTAL	\$577,539.32
EQUIPOS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN					
RED	EQUIPOS	DESCRIPCIÓN	CANT. TOTAL	EPON, GPON	
				PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
DISTRIBUCIÓN	SPLITTER DE 1:32	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN SPLITTER PLC (1X32) CONECTORIZADO	140	\$789.00	\$110,460.00
	NAP's	SUMINISTRO Y COLOCACION DE CAJA DE DISTRIBUCIÓN AÉREA NAP DE 8 PUERTOS SC/APC CON DERIVACION	560	\$220.10	\$123,256.00
	FIBRA ÓPTICA DE 96 HILOS (m) Las que llevan la señal desde el armario a los abonados a través de los TAP's.	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE AÉREO 96 FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO FIG. 8 G.652 D	36,456	\$4.25	\$154,938.00
				TOTAL	\$388,654.00
EQUIPOS EN LA RED DE DISPERSIÓN					
RED	EQUIPOS	DESCRIPCIÓN	CANT. TOTAL	EPON, GPON	
				PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
ABONADO	ROSETAS ÓPTICAS Considerando que cada abonado hará uso de 1 roseta.		4,480	\$40.00	\$179,200.00
	ONT Considerando que cada abonado usará un equipo ONT		4,480	\$40.00	\$179,200.00
	FIBRA ÓPTICA DE 2 HILO HACIA EL ABONADO. Considerando que la distancia al abonado es de un valor promedio de 30 m.	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE MULTIMODO PARA INTERIORES DE 2 FIBRAS ÓPTICAS OM2	313,600	\$6.37	\$1,997,632.00
				TOTAL	\$2,356,032.00
				SUMA TOTAL	\$3,322,225.32

**Tabla 32: Inversión requerida para una red FTTH**

### 3.3.4. Determinación de los servicios y cobertura a alcanzar

Los servicios que se pretende brindar son: Internet, televisión y telefonía.

La cobertura que se desea alcanzar es cubrir con los servicios antes indicados a la población que habita en la Isla Trinitaria.

### 3.3.5. Determinación de las fases programadas para la implementación

Para la implementación de la tecnología FTTH vamos a tomar en consideración los costos para la implementación, en base a ello detallamos el siguiente cronograma en fases:

#### I FASE: IMPLEMENTACIÓN DE LA RED TRONCAL

De acuerdo al diseño propuesto, existen dos cables de fibra que forman la red troncal, la una cubre el sector norte y la otra el sector sur de la Isla Trinitaria. Veamos los valores a invertir para su implementación:

EQUIPOS EN LA RED TRONCAL					
RED	EQUIPOS	DESCRIPCIÓN	CANT. TOTAL	EPON, GPON	
				PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
	ODF PARTE INTERNA	SUMINISTRO Y COLOCACION DE ODF DE 96 PUERTOS (INCLUYE PIG TAILS SC/APC G 652.D) CON PACHED LATERAL	2	\$2,189.00	\$4,378.00
	ODF PARTE EXTERNA	SUMINISTRO Y COLOCACION DE ODF DE 96 PUERTOS (INCLUYE PIG TAILS SC/APC G 652.D) CON PACHED LATERAL	2	\$2,189.00	\$4,378.00
	ARMARIOS	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN ARMARIO FTTH DE 432 PUERTOS	14	\$16,308.00	\$228,312.00
	FIBRA ÓPTICA DE 6 HILOS, QUE VA DE LA CABECERA - MINI CABECERA (m) Considerando que se usan dos fibras ópticas, la una para internet, y la otra para la televisión y telefonía IP, y sus reservas respectivas.	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE AÉREO 6 FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO	15,782	\$2.27	\$35,825.14
	FIBRA ÓPTICA DE 144 HILOS (m) Las que llevan la señal a los 14 armarios.	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE AÉREO ADSS DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO DE 144 HILOS G.652.D	8,133	\$5.06	\$41,152.98
	FIBRA ÓPTICA DE 24 HILOS (m) Las derivaciones que llevan la señal desde las mangas a los armarios.	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE RISER 24 HILOS FIBRAS ÓPTICAS G.657A1	2,360	\$4.87	\$11,493.20
				TOTAL	\$325,539.32

**Tabla 33: Inversión requerida en la primera fase (red troncal)**

Con el valor aproximado de \$ 326.000,00, se lograría implementar la red troncal que cubriría los dos sectores. Se instalaría el cable troncal, las mangas y los 14 armarios.

Con esta inversión se tendría la infraestructura lista para cubrir con FTTH hasta el hogar a cualesquier abonado que lo requiera, con tan solo invertir las partes necesarias para completar la red secundaria y la de dispersión.

## II FASE: INSTALACIÓN DE LA RED DE DISPERSIÓN (EXCEPTO LA FIBRA HACIA EL ABONADO) Y 50% LA RED SECUNDARIA.

Para la segunda fase se ha considerado una inversión para implementar el 50% de la infraestructura correspondiente a la red de distribución y del 100% de la red de dispersión, a excepción del cable de fibra de 2 hilos que va hacia el abonado, del cual se propone la inversión de tan solo la sexta parte del total, esto es la cantidad para cubrir a 747 abonados (recordemos que 4.480 abonados es el 100% al que se propone dar el servicio en la Isla).

Tomando estas consideraciones, la tabla de los equipos con los valores a invertir es el siguiente:

EQUIPOS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN					
RED	EQUIPOS	DESCRIPCIÓN	CANT. TOTAL	EPON, GPON	
				PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
DISTRIBUCIÓN	SPLITTER DE 1:32	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN SPLITTER PLC (1X32) CONECTORIZADO	70	\$789.00	\$55,230.00
	NAP's	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CAJA DE DISTRIBUCIÓN AÉREA NAP DE 8 PUERTOS SC/APC CON DERIVACIÓN	280	\$220.10	\$61,628.00
	FIBRA ÓPTICA DE 96 HILOS (m) Las que llevan la señal desde el armario a los abonados a través de los TAP's.	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE AÉREO 96 FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO FIG. 8 G.652 D	18,228	\$4.25	\$77,469.00
			TOTAL		\$194,327.00
EQUIPOS EN LA RED DE DISPERSIÓN					
RED	EQUIPOS	DESCRIPCIÓN	CANT. TOTAL	EPON, GPON	
				PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
ABONADO	ROSETAS ÓPTICAS Considerando que cada abonado hará uso de 1 roseta.	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ROSETAS ÓPTICAS	2,240	\$40.00	\$89,600.00
	ONT Considerando que cada abonado usará un equipo ONT	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ROSETAS ÓPTICAS	2,240	\$40.00	\$89,600.00
	FIBRA ÓPTICA DE 2 HILO HACIA EL ABONADO. Considerando que la distancia al abonado es de un valor promedio de 30m.	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE MULTIMODO PARA INTERIORES DE 2 FIBRAS ÓPTICAS OM2	52,267	\$6.37	\$332,940.79
			TOTAL		\$512,140.79
			SUMA TOTAL		\$706,467.79

**Tabla 34: Inversión requerida para la segunda fase**

## III FASE: INSTALACIÓN DEL 50% RESTANTE DE LA RED SECUNDARIA Y UNA PARTE DE LA FIBRA HACIA EL ABONADO DE LA RED DE DISPERSIÓN.

En esta tercera etapa se prevé invertir la misma cantidad que fue invertida en la II Fase, esto es de \$ 706.467,69, con lo cual se completaría la infraestructura correspondiente a la red de distribución, así como parte de la red de dispersión, del cual solo estaría pendiente la adquisición del 67%.



EQUIPOS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN					
RED	EQUIPOS	DESCRIPCIÓN	CANT. TOTAL	EPON, GPON	
				PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
DISTRIBUCIÓN	SPLITTER DE 1:32	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN SPLITTER PLC (1X32) CONECTORIZADO	70	\$789.00	\$55,230.00
	NAP's	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CAJA DE DISTRIBUCIÓN AÉREA NAP DE 8 PUERTOS SC/APC CON DERIVACION	280	\$220.10	\$61,628.00
	FIBRA ÓPTICA DE 96 HILOS (m) Las que llevan la señal desde el armario a los abonados a través de los TAP's.	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE AÉREO 96 FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO FIG. 8 G.652 D	18,228	\$4.25	\$77,469.00
				TOTAL	\$194,327.00
EQUIPOS EN LA RED DE DISPERSIÓN					
RED	EQUIPOS	DESCRIPCIÓN	CANT. TOTAL	EPON, GPON	
				PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
ABONADO	ROSETAS ÓPTICAS Considerando que cada abonado hará uso de 1 roseta.	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ROSETAS ÓPTICAS	2,240	\$40.00	\$89,600.00
	ONT Considerando que cada abonado usará un equipo ONT	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ROSETAS ÓPTICAS	2,240	\$40.00	\$89,600.00
	FIBRA ÓPTICA DE 2 HILO HACIA EL ABONADO. Considerando que la distancia al abonado es de un valor promedio de 30 m.	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE MULTIMODO PARA INTERIORES DE 2 FIBRAS ÓPTICAS OM2	52,267	\$6.37	\$332,940.79
				TOTAL	\$512,140.79
				SUMA TOTAL	\$706,467.79

**Tabla 35: Inversión requerida para la tercera fase**

Con ello podremos brindar el servicio con la tecnología FTTH a 1.494 abonados de la Isla, que representa el 33% del total a cubrir.

#### IV FASE: INSTALACIÓN DE LA FIBRA HACIA EL ABONADO FALTANTE, PARA CUBRIR EL 100% DE LA POBLACIÓN PLANTEADA.

En esta fase se propone adquirir el material faltante para completar la red de dispersión y lograr cubrir a los 4.480 abonados.

EQUIPOS EN LA RED DE DISPERSIÓN					
RED	EQUIPOS	DESCRIPCIÓN	CANT. TOTAL	EPON, GPON	
				PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
	FIBRA ÓPTICA DE 2 HILO HACIA EL ABONADO. Considerando que la distancia al abonado es de un valor promedio de 30 m.	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE MULTIMODO PARA INTERIORES DE 2 FIBRAS ÓPTICAS OM2	209,068	\$6.37	\$1,331,763.16
				TOTAL	\$1,331,763.16

**Tabla 36: Inversión requerida en la cuarta y última fase**

Las fases propuestas han sido establecidas de tal manera que la inversión sea la más conveniente y que desde la primera fase se pueda proveer el servicio FTTH, en caso de que haya abonados que requieran

del servicio, para la segunda fase ya se provee del servicio con la nueva tecnología al 16,5% de la población, en la tercera fase se cubriría al 33% y en la cuarta ya se termina cubriendo al 100% de abonados previstos a cubrir con los servicios de televisión, telefonía e internet con la tecnología FTTH.

Dependiendo del presupuesto disponible estas fases podrían ser completadas cada semestre o en forma anual.

## **CAPÍTULO 4**

### **4. ANALISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LAS DOS VERSIONES DE DOCSIS Y FIBRA HASTA EL HOGAR (FTTH).**

Con la información recolectada hasta esta parte y los datos obtenidos en la implementación propuesta en el capítulo anterior, en este capítulo realizamos el análisis tanto técnico como económico de las opciones DOCSIS 3.0, DOCSIS 3.1 y FTTH; en esta última se analiza EPON y GPON. Los resultados de este análisis permitirán observar claramente las ventajas y desventajas de cada opción estudiada.

#### **4.1. Ventajas técnicas**

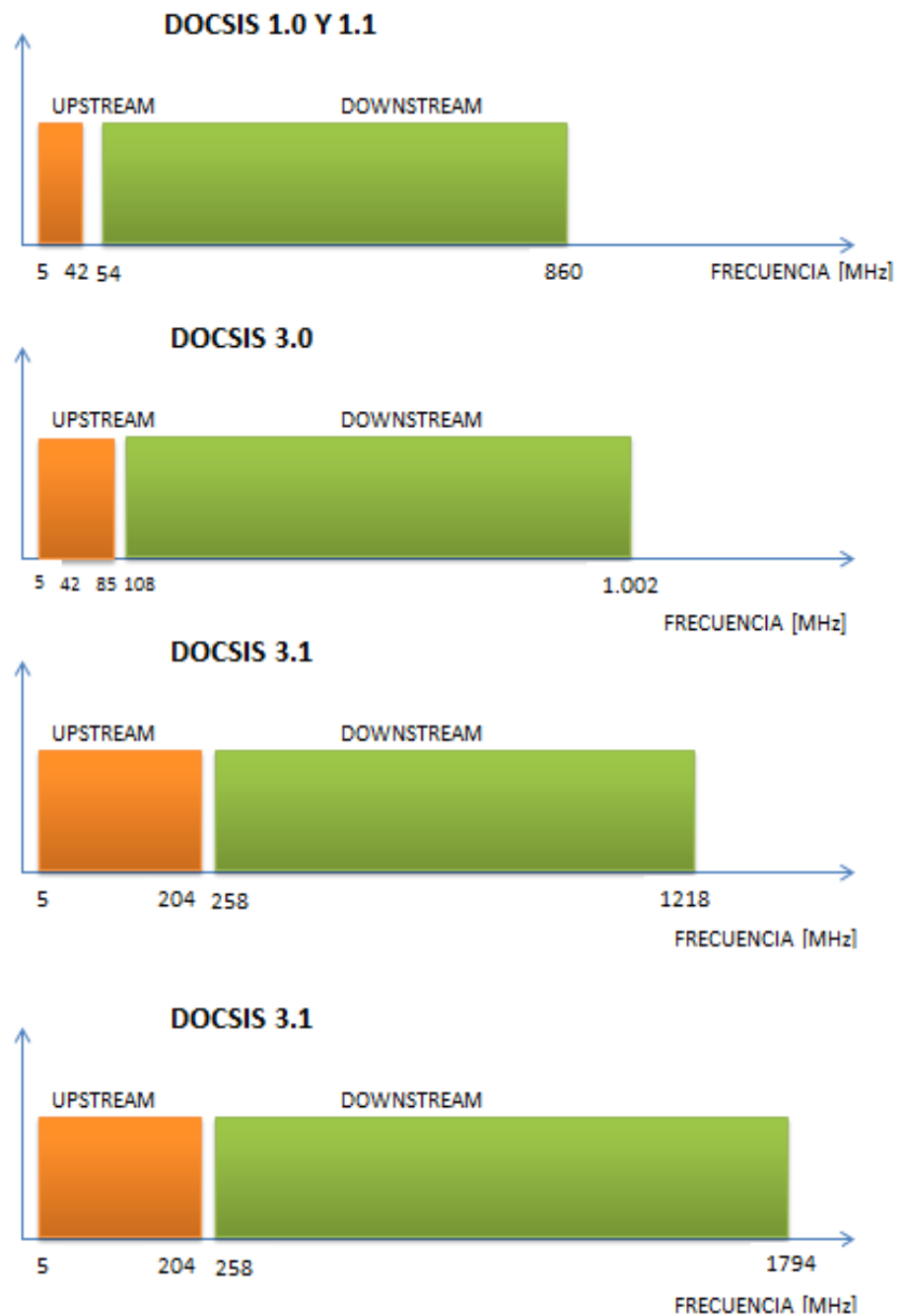
Se analizará los servicios a brindarse en cada versión de DOCSIS y la cobertura a alcanzar.

##### **4.1.1. Análisis de los servicios a brindarse**

Las compañías proveedoras de televisión por cable con la infraestructura que poseen y mediante el Estandar DOCSIS 3.0, están brindando en la actualidad los servicios de televisión, telefonía y datos. La demanda prioritaria que se observa en los abonados exigentes, es el de una mayor velocidad en la transmisión de los datos tanto en la señal de bajada como en la de subida.

En esta parte se analizará las características técnicas de la versión DOCSIS 3.1 y de la tecnología FTTH, para determinar cuantitativa las ventajas que ofrece cada una de ellas en comparación con la versión actual de DOCSIS y determinar la mejor opción para migrar.

Veamos en gráficos como ha ido incrementando el ancho de banda conforme ha avanzado DOCSIS en sus versiones:

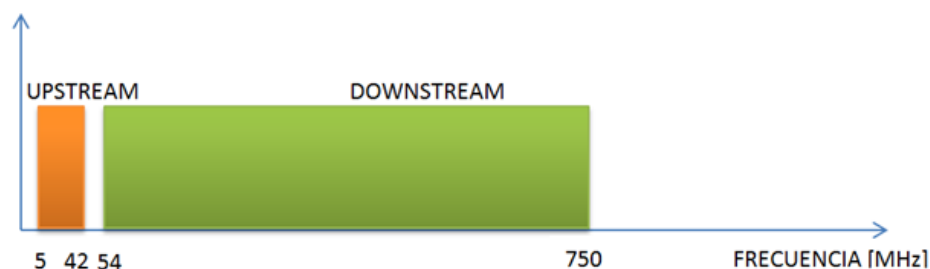


**Figura 4.1: Incremento del ancho de banda con el avance de las versiones DOCSIS**

### ❖ Análisis de la tecnología DOCSIS versión 3.0.

Recordemos que la red HFC nace de la red CATV, que poseían las operadoras para brindar el servicio de televisión por cable. Inicialmente utilizaban un ancho de banda de 450 MHz para transmitir su programación, con la aparición de la televisión digital, el internet y la voz sobre IP, el ancho de banda se incrementó y comprendía el rango desde los 50MHz hasta los 750/850MHz.

En la actualidad existen operadoras que proveen televisión analógica, televisión digital, internet y voz sobre IP, con el estándar DOCSIS 3.0, para lo cual utilizan el ancho de banda de 5 a 45 MHz para la señal de subida y de 54 a 750MHz para la señal de bajada, ver Figura 4.2.



**Figura 4.2: Ancho de banda que utilizan algunas Operadoras actuales**

Como el ancho del canal de la señal de bajada en el estándar DOCSIS 3.0 es de 6MHz, con el ancho de banda downstream de la Figura 4.2 (696 MHz) logran tener 116 canales de bajada. De estos 116 canales, 100 lo utilizan para brindar la televisión analógica y digital (desde los 54MHz hasta los 654MHz), en tanto que los 16 canales restantes (desde los 654MHz hasta los 750MHz) son utilizados para brindar el servicio de internet usando channel bonding de 4, 8 o 16 canales; es decir, podría ser un solo channel bonding de 16 canales, 2 de 8 canales, 4 de 4 canales

o una combinación de ellos, según los equipos CMTS y CM que posea la operadora en su red.

Con este ancho de banda las operadoras brindan a sus clientes una velocidad de hasta 4 Mbps. En la Tabla 37 se detalla el número máximo de abonados a los cuales pueden brindar los servicios, asegurando la velocidad de transmisión de 4Mbps, con channel bonding de 4, 8 o 16 canales.

Para el cálculo se ha empleado una tasa de reutilización del ancho de banda de 8 a 1, [34]. Como no todos los usuarios utilizan el internet al mismo tiempo, la tasa de reutilización empleada significa que de cada 8 abonados a los que se provee de internet, solo 1 está haciendo uso del mismo.

CANALES PARA CHANNEL BONDING	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN (Mbps)	TASA DE REUTILIZACIÓN	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN CONSIDERANDO LA TASA DE REUTILIZACIÓN (Mbps)	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN A BRINDAR POR USUARIO (Mbps)	MÁXIMO NÚMERO DE ABONADOS A BRINDAR EL SERVICIO
4	160	8	1280	4	320
8	320	8	2560	4	640
16	640	8	5120	4	1280

**Tabla 37: Cantidad de abonados provistos con 4 Mbps**

En la tabla anterior se puede observar por ejemplo, que si la operadora está empleando un channel bonding de 8 canales, tendrá una velocidad de transmisión de datos de 320Mbps, este valor se multiplica por 8 que es la tasa de reutilización considerada, dando una velocidad de 2.560 Mbps; si se pretende garantizar a los abonados con una velocidad máxima de 4 Mbps, al dividir los 2.560 Mbps para 4 Mbps se tiene 640 que sería el número máximo de abonados a los cuales se puede brindar los servicios con un channel bonding de 8 y garantizando a cada abonado una velocidad de recepción de datos de 4Mbps.

La Tabla 37 también nos indica que una operadora con DOSCSIS 3.0, con un ancho de banda como el de la Figura 4.2 y destinando 100 canales

para la transmisión de televisión, obtendrá de su equipo CMTS una velocidad máxima de 640 Mbps si utiliza un channel bonding de 16 canales; si se utiliza channel bonding de menor número de canales, la velocidad disminuirá. Esta es la situación de algunas operadoras que actualmente están brindando los 3 servicios.

Pero la versión 3.0 permite manejar mayor ancho de banda, ver Figura 2.2; es decir las operadoras pueden extenderse hasta los 1.002MHz. Este nuevo rango (de 108 MHz hasta los 1.002 MHz) nos da un total de 894MHz o 149 canales. Si los 101 primeros canales son utilizados para la televisión analógica y digital, tendrían los 48 canales restantes disponibles para la transmisión de internet; con los cuales podrían obtener 2 channel bonding de 24 canales, 3 de 16 canales, 6 de 8 canales o una combinación de ellos.

En la Tabla 38 se aprecia los valores de velocidad que lograrían y el número de abonados que alcanzarían a cubrir.

CANALES PARA CHANNEL BONDING	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN (Mbps)	TASA DE REUTILIZACIÓN	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN CONSIDERANDO LA TASA DE REUTILIZACIÓN (Mbps)	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN A BRINDAR POR USUARIO (Mbps)	MÁXIMO NÚMERO DE ABONADOS A BRINDAR EL SERVICIO
4	160	8	1280	4	320
8	320	8	2560	4	640
16	640	8	5120	4	1280
24	960	8	7680	4	1920

**Tabla 38: Cantidad de abonados provistos con 4 Mbps y channel bonding de hasta 24 canales**

Entonces con el incremento del ancho de banda a 1.002 MHz, lograrían tener 2 channel bonding de 24 canales cada uno con 960 Mbps y cobertura a 1.920 abonados; lo que les permitiría dar una cobertura total de hasta 3.840 abonados, garantizándoles 4 Mbps de velocidad. Esta cobertura se lograría sea cual fuere la combinación de channel bonding que se use, esto es 3 de 16 canales, 6 de 8 canales, etc.

Esta velocidad de 960 Mbps aplicada a nuestra área de estudio, tomada a la Isla Trinitaria en el capítulo anterior, nos permitiría incrementar la

velocidad a cada abonado, tal como se demuestra a continuación en que se consideró además la tasa de reutilización de 8 a 1:

$$960\text{Mbps} / 1.280 \text{ abonados atendidos en la red} = 0,75 \text{ Mbps} * 8 = 6 \text{ Mbps.}$$

Hemos dividido para 1.280, porque cada nodo primario está conectado a la mini cabecera recibiendo la velocidad de 960 Mbps; y, recordemos que cada nodo primario transmite la señal a 1.280 abonados (a través de 4 nodos secundarios, cada uno de ellos con 4 cables coaxiales que cubren a 80 abonados por cable).

Para la señal upstream con el ancho de banda de la Figura 4.2 las operadoras tienen 1 channel bonding de 4 canales de 6,4 MHz, obteniendo una velocidad de transmisión de 120Mbps, ver Tabla 2. Aplicando esta velocidad a nuestra área de estudio con una tasa de reutilización del canal de 8 a 1 tenemos:

$$120 \text{ Mbps} / 1.280 \text{ abonados} = 93,7 \text{ Kbps} * 8 = 0,75 \text{ Mbps}$$

Si las operadoras incrementan el ancho de banda upstream hasta 85 MHz que indica la Figura 2.2, lograrían 1 channel bonding de 12 canales con una velocidad de transmisión de 360 Mbps (Tabla 2). Aplicando a nuestra área de estudio tenemos:

$$360 \text{ Mbps} / 1.280 \text{ abonados} = 281 \text{ Kbps} * 8 = 2,25 \text{ Mbps.}$$

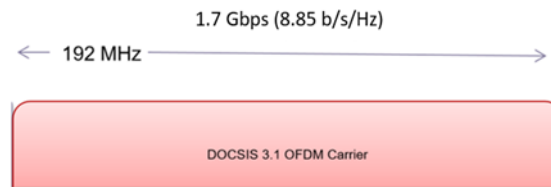
### ❖ Análisis de la tecnología DOCSIS versión 3.1

Del análisis de las características de las versiones DOCSIS realizada en el capítulo 3 se observó que la versión 3.1 incorpora dos características importantes, la una es el incremento del ancho de banda hasta los 1.218 MHz (Figura 4.1) y la otra es el nuevo tipo de modulación llamado OFDM.

En cuanto a la señal de bajada o DOWNSTREAM, en esta versión desaparece el canal de 6 MHz y aparece el Canal OFDM que tiene un ancho de banda de hasta 192 MHz. En la Figura 4.3 se muestra un canal OFDM de 192 MHz con un orden de modulación de 4.096QAM, las dos



características juntas permiten obtener una velocidad de transmisión de datos de 8,85 b/s/Hz (bits por segundo por Hz); resultando en los 192 MHz una velocidad total de aproximadamente 1,7 Gbps, [26], [35].

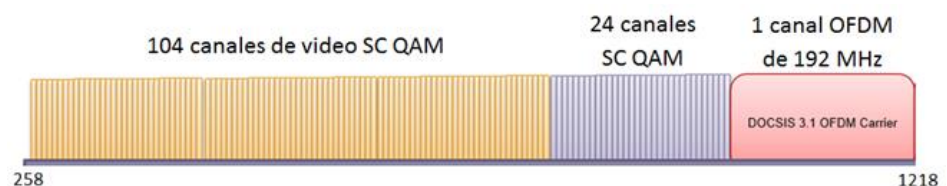


**Figura 4.3: Velocidad que brinda un canal OFDM [26], [35]**

De acuerdo a la especificación DOCSIS 3.1, los equipos CMTS y CM deben ser diseñados para soportar como mínimo dos canales OFDM y configurables en la red en forma independiente, [26].

#### 4.1.1..1. Distribución del ancho de banda de 258 MHz a 1.218 MHz.

Como el ancho de banda en esta versión va de 258 MHz hasta los 1.218 MHz, ver Figura 2.41, esto nos da un ancho de banda total disponible de 960 MHz que podría ser distribuido en dos formas, ver Figuras 4.4 y 4.5.

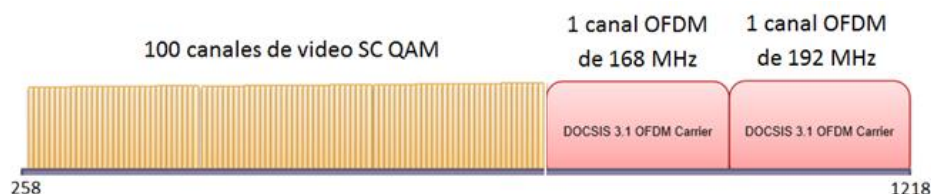


**Figura 4.4: Distribución con canales SC QAM y OFDM [35]**

Recordemos que DOCSIS 3.1 es compatible con versiones anteriores por ello en la Figura 4.4 los 960 MHz son distribuidos en 104 canales para video SC QAM, 1 Channel Bonding de 24 canales SC QAM para la transmisión de datos en formato DOCSIS 3.0 y 1 canal OFDM de 192 MHz para la transmisión de datos en formato DOCSIS 3.1.

Con esta distribución se obtendría una velocidad de 960 Mbps para los datos en formato DOCSIS 3.0 y de 1,7 Gbps para los datos en formato

DOCSIS 3.1, velocidades que podrían proveer las operadoras al realizar esta distribución.



**Figura 4.5: Distribución con canales OFDM**

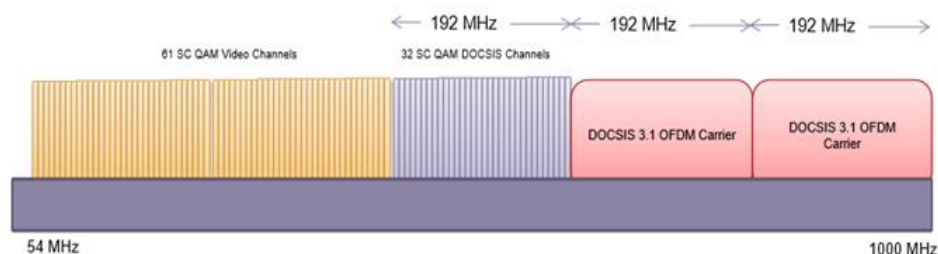
En la Figura 4.5 los 960 MHz son distribuidos en 100 canales para video SC QAM y en dos canales OFDM el uno de 168 MHz y el otro de 192 MHz para la transmisión de datos en formato DOCSIS 3.1.

Con esta distribución se obtendría una velocidad de 1,5 Gbps para el canal OFDM de 168 MHz y de 1,7 Gbps para el canal OFDM de 192 MHz. Con los cuales la operadora podrá brindar una velocidad total de 3,2 Gbps para la transmisión de datos en formato DOCSIS 3.1.

Por su lado la transmisión de los 100 canales de video SC QAM tendría una velocidad de 4 Gbps, pues se considera que cada canal tiene una velocidad de transmisión de 40 Mbps.

➤ Otras distribuciones según los anchos de banda.

Las Figuras 4.6 y 4.7 muestran dos distribuciones del ancho de banda que permiten maximizar el potencial de la señal DOWNSTREAM con la versión DOCSIS 3.1

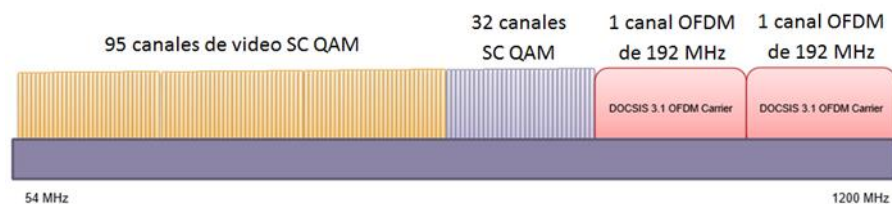


**Figura 4.6: Distribución para una planta de 1.000 MHz [35]**

La Figura 4.6 muestra la capacidad máxima que se puede obtener con una planta de 1 GHz de ancho de banda, destinando para downstream la banda desde 54 MHz hasta los 1.000 MHz. En esta distribución tenemos 946 MHz disponibles que son distribuidos en 61 canales para video SC QAM, 1 channel bonding de 32 canales SC QAM y 2 canales OFDM de 192 MHz cada uno.

Esta distribución nos da una velocidad de 2,4 Gbps para la transmisión del video SC QAM; una velocidad de 1,2 Gbps para la transmisión de datos en formato DOCSIS 3.0 (aproximadamente 40 Mbps cada canal) y una velocidad total de 3,4 Gbps para la transmisión de datos en formato DOCSIS 3.1.

Si no se requiriera transmitir datos DOCSIS 3.0 se podría incrementar a 93 los canales para video SC QAM.



**Figura 4.7: Distribución para una planta de 1.200 MHz [35]**

La Figura 4.7 muestra la capacidad máxima que se puede obtener con una planta de 1,2 GHz de ancho de banda. En esta distribución tenemos 1.146 MHz disponibles que son distribuidos en 95 canales de video SC QAM, 1 channel bonding de 32 canales SC QAM y 2 canales OFDM de 192 MHz cada uno.

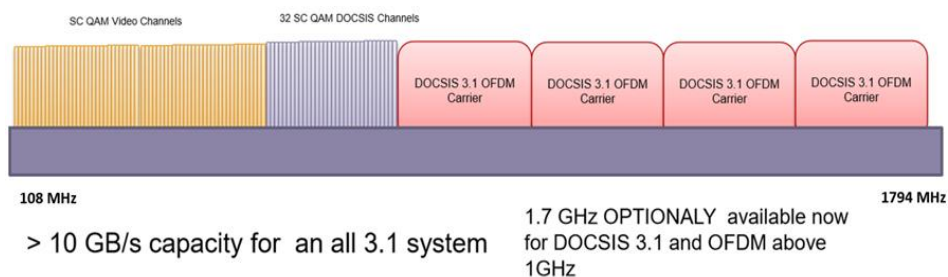
Esta configuración nos da una velocidad de 3,8 Gbps para la transmisión del video SC QAM; una velocidad de 1,2 Gbps para la transmisión de datos en formato DOCSIS 3.0 y una velocidad total de 3,4 Gbps para la transmisión de datos en formato DOCSIS 3.1.

En esta Figura 4.7 si queremos optimizar aún más la capacidad de la planta de 1,2 GHz, se lograría reduciendo a 63 el número de canales

destinados a la transmisión de video SC QAM, es decir 378 MHz, dejando disponible 768 MHz para 4 canales OFDM a utilizarse en la transmisión de datos en formato DOCSIS 3.1; con lo cual se lograría una velocidad total de aproximadamente 6,8 Gbps.

Recordemos que estamos considerando un orden de modulación de 4.096QAM para los cálculos de la velocidad de transmisión; sin embargo, DOCSIS 3.1 también presenta como opción la modulación de orden 8.192QAM que produciría una velocidad mayor de transmisión de datos, superando fácilmente los 7 Gbps en la configuración que permite tener 4 canales OFDM.

La Figura 4.8 muestra la capacidad máxima que se puede obtener con una planta de 1,7 GHz de ancho de banda, que DOCSIS lo presenta como una extensión opcional del ancho de banda.



**Figura 4.8: Distribución para una planta de 1.794 MHz [35]**

En esta distribución tenemos 1.592 MHz disponibles que son distribuidos en 1 channel bonding de 32 canales SC QAM, 4 canales OFDM de 192 MHz cada uno y el resto del ancho de banda para la transmisión de video SC QAM.

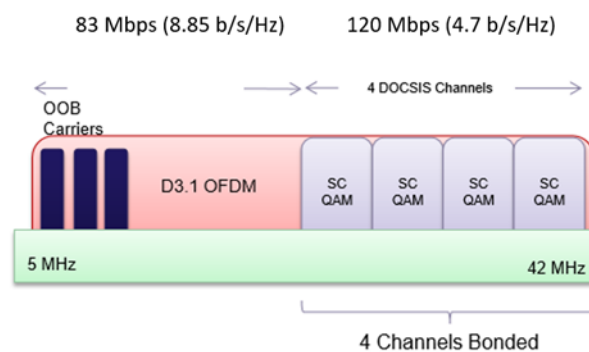
Esta configuración nos da una velocidad de 1,2 Gbps para la transmisión de datos en formato DOCSIS 3.0 y una velocidad total de 6,8 Gbps para la transmisión de datos en formato DOCSIS 3.1.

Si reducimos a 73 el número de canales de video SC QAM y el resto del ancho de banda lo utilizamos para transmitir datos en formato DOCSIS

3.1 se tendría 6 canales OFDM de 192 MHz; con esta configuración se obtendría una velocidad de transmisión de datos superior a los 10 Gbps.

En lo que respecta a la señal de subida o UPSTREAM, en esta versión desaparece el canal de 6,4 MHz y aparece el canal OFDMA con un ancho de banda de hasta 96 MHz; en cuanto al orden de modulación puede alcanzar los 4.096QAM, que permite obtener una velocidad de 8,85 b/s/Hz.

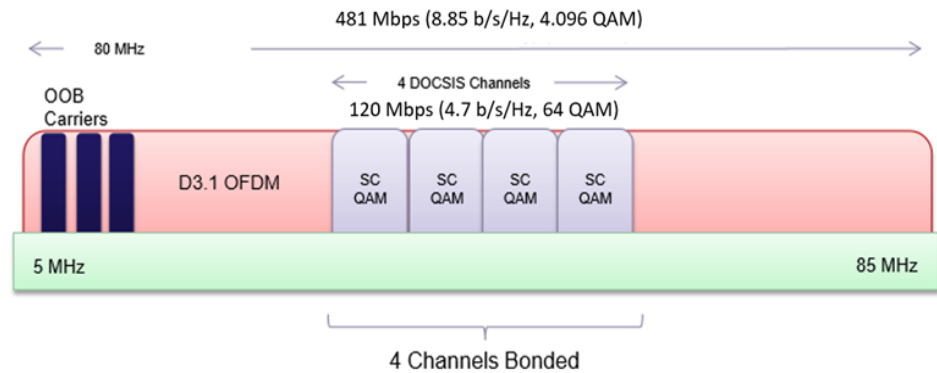
Para obtener la máxima velocidad de transmisión de datos, se pueden realizar las siguientes distribuciones:



**Figura 4.9: Distribución para 42 MHz de ancho de banda [35]**

En la Figura 4.9 se observa 1 Channel Bonding de 4 canales SC-QAM de 6,4 MHz cada uno el cual da aproximadamente 120 Mbps para los datos en formato DOCSIS 3.0, y 1 canal OFDMA de aproximadamente 9,4 MHz que brindaría 83 Mbps para los datos en formato DOCSIS 3.1bps.

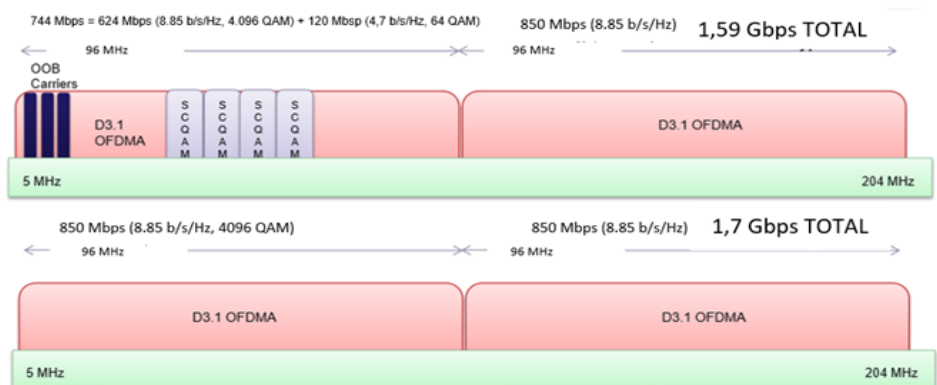
Si no se requiriera transmitir datos en formato DOCSIS 3.0, se tendría todo el ancho de banda disponible para datos DOCSIS 3.1, obteniendo una velocidad aproximada de 310 Mbps.



**Figura 4.10: Distribución para 85 MHz de ancho de banda [35]**

En la Figura 4.10 se observa 1 Channel Bonding de 4 canales SC-QAM de 6,4 MHz cada uno, el cual brinda aproximadamente 123 Mbps; y con los 54,4 MHz restantes se tiene 1 canal OFDMA, que brindaría 481 Mbps. Si no fuese requerido transmitir datos DOCSIS 3.0, se obtendría una velocidad aproximada de 708 Mbps para datos DOCSIS 3.1.

Si incrementamos el ancho de banda hasta los 204 MHz, podemos tener las distribuciones y velocidades que se muestran en la Figura 4.11. En la parte superior de esta gráfica se tiene 1 canal OFDMA completo y un segundo canal OFDMA compartido con 4 canales SC QAM, dando una velocidad total de 1,5 Gbps. En tanto que en la parte baja de la Figura 4.11 se observa 2 canales OFDMA completos, los cuales brindan una velocidad total upstream de 1,6 Gbps.



**Figura 4.11: Distribuciones para 204 MHz de ancho de banda [35]**

Podemos decir entonces que la versión DOCSIS 3.1 permitiría, considerando aquellas distribuciones del ancho de banda de la planta que optimizan su capacidad, alcanzar las siguientes velocidades downstream de transmisión de datos:

- De 1,7 Gbps al usar un solo canal OFDM de 192 MHz.
- De 3,4 Gbps al disponer de 2 canales OFDM en una planta de 1.000 MHz.
- De 6,8 Gbps al disponer de 4 canales OFDM en una planta de 1.200 MHz.
- De 10,2 Gbps al disponer de 6 canales OFDM en una planta de 1.794 MHz.

De igual manera permitiría alcanzar las siguientes velocidades upstream:

- De 310 Mbps al usar la banda de 5 a 42 MHz.
- De 708 Mbps al usar la banda de 5 a 108 MHz.
- De 850 Mbps con un canal OFDMA al usar la banda de 5 a 204 MHz, compartiendo el resto de la banda con canales DOCSIS 3.0.
- De 1,7 Gbps con dos canales OFDMA al usar la banda de 5 a 204 MHz.

Vamos a determinar la velocidad de transmisión de datos que cada abonado recibiría en nuestra área de estudio, tomada a la Isla Trinitaria en el capítulo anterior.

Considerare tres opciones con las que se podría brindar los servicios a la Isla; la primera, con una velocidad de 1,7 Gbps que brindaría un canal OFDM de 192 MHz, la segunda con una velocidad de 6,8 Gbps que brindaría una planta de 1,2 GHz y la tercera con una velocidad de 10,2 Gbps que brindaría una planta de 1,794 Gbps; además consideramos una tasa de reutilización del ancho de banda de 8 a 1. La velocidad que cada abonado podría obtener sería de:

1,7 Gbps / 1.280 abonados atendidos en la red = 1,33 Mbps \* 8 = 10,63 Mbps

6,8 Gbps / 1.280 abonados atendidos en la red = 5,31 Mbps \* 8 = 42,48 Mbps

10,2 Gbps / 1.280 abonados atendidos en la red = 7,97 Mbps \* 8 = 63,75 Mbps

Si algún abonado en la Isla Trinitaria deseara más velocidad de la que puede brindarse con cualquiera de las 3 opciones de velocidad downstream antes indicadas, simplemente tendría que disminuir el número de abonados que cubre la opción empleada. Para ello se requerirá cubrir la Isla con un mayor número de nodos primarios y/o secundarios, de esta manera cada nodo secundario cubrirá un número menor de abonados (menor a 1.280 abonados).

Para determinar la velocidad de la señal de subida o upstream en nuestra área de estudio, tomaremos 3 opciones de velocidad de las vistas anteriormente: 310 Mbps (banda de 5 a 42 MHz), 708 Mbps (banda de 5 a 85 MHz) y 1,7 Gbps (banda de 5 a 204 MHz); consideraremos además una tasa de reutilización del ancho de banda de 8 a 1.

310 Mbps / 1.280 abonados atendidos en la red = 242 Kbps \* 8 = 1,94 Mbps.

708 Mbps / 1.280 abonados atendidos en la red = 553 Kbps \* 8 = 4,43 Mbps.

1,7 Gbps / 1.280 abonados atendidos en la red = 1,33 Mbps \* 8 = 10,63 Mbps.

#### ❖ **Análisis de la tecnología EPON (ETHERNET PON)**

Para el análisis, debemos recordar que el equipo OLT procesa la señal de internet la cual es posteriormente combinada con la señal de televisión, ver el capítulo 3 numeral 3.3.1.



- La velocidad de transmisión de datos que permite es simétrica, y es de 1,25 Gbps; es decir, que tanto la velocidad de subida como la de bajada tendrán esta velocidad. Esto quiere decir que por cada puerto de la tarjeta OLT, los datos tienen esta velocidad de transmisión. Como el splitter máximo que permite es de 1:32, esto implica que cada abonado tendrá una velocidad de 39 Mbps (1.250 Mbps / 32 ramales); velocidad muy considerable para recibir los servicios de Voz IP e Internet. Si consideramos además la tasa de reutilización del ancho de banda, cada abonado obtendría la siguiente velocidad:
  - $1.250 \text{ Mbps} / 32 \text{ ramales (o abonados)} = 39 \text{ Mbps} * 8 = 312 \text{ Mbps}$
- Si algún abonado solicita mayor velocidad que los 39Mbps, el proveedor solo tiene que disminuir el número de abonados en esa red PON; esto es, dependiendo de la velocidad que quiere alcanzar debe reducir el número de abonados a cubrir por una determinada red PON, por ejemplo, reduciendo de 32 a 30 abonados, la velocidad se incrementa a 41,7Mbps (1.250 Mbps / 30 ramales).
- Otra opción para proveer con mayor velocidad a un abonado exigente es mediante una conexión punto a punto, esto es con una única fibra óptica que vaya directo desde el OLT hacia el ONT del abonado, sin pasar por ningún splitter. De esta manera el abonado recibiría la velocidad de 1,25Gbps, que podría distribuirlo por ejemplo a su edificio de oficinas.

#### ❖ Análisis de la tecnología GPON (GIGABIT PON)

Para el análisis, debemos recordar que el equipo OLT procesa la señal de internet la cual es posteriormente combinada con la señal de televisión, ver el capítulo 3 numeral 3.3.1.

La velocidad de transmisión de datos que permite es asimétrica y simétrica, y esta puede ser de las siguientes combinaciones:

- 155 Mbps (Upstream), 1,244 Gbps (Downstream).
- 622 Mbps (Upstream), 1,244 Gbps (Downstream).
- 1,244 Gbps (Upstream), 1,244 Gbps (Downstream).
- 155 Mbps (Upstream), 2,488 Gbps (Downstream).
- 622 Mbps (Upstream), 2,488 Gbps (Downstream).
- 1,244 Gbps (Upstream), 2,488 Gbps (Downstream).
- 2,488 Gbps (Upstream), 2,488 Gbps (Downstream).

Dependiendo de la tarjeta OLT, del equipo ONT y de la tarjeta receptora en el equipo OLT, se logrará tener cualesquiera de las combinaciones antes indicadas.

Supongamos que la tarjeta OLT permite una velocidad de 2,488 Gbps en bajada y que se utilizarán splitters de 1:64, que es el número máximo que permite esta tecnología, cada abonado recibirá una velocidad de 38,9Mbps; velocidad suficiente para recibir los servicios de Voz IP e Internet. Si consideramos además la tasa de reutilización del ancho de banda, cada abonado obtendría la siguiente velocidad:

- $2.488 \text{ Mbps} / 64 \text{ ramales (o abonados)} = 38,9 \text{ Mbps} * 8 = 311 \text{ Mbps}$

Si algún abonado solicita mayor velocidad que los 38,9 Mbps, el proveedor solo tiene que disminuir el número de abonados en esa red PON; esto es, dependiendo de la velocidad que quiere alcanzar debe reducir el número de abonados a cubrir por una determinada red PON, por ejemplo, reduciendo de 64 a 60 abonados, la velocidad se incrementa a 41,5Mbps (2.488 Mbps / 60 ramales).

También hay la opción de conexión punto a punto, esto es con una única fibra óptica que vaya directo desde el OLT hacia el ONT del abonado, sin

pasar por ningún splitter. De esta manera el abonado recibiría la velocidad de 2,488 Gbps, que podría distribuirlo por ejemplo a su edificio de oficinas.

#### **4.1.2. Análisis de la cobertura a alcanzar**

El diseño de red propuesto, para la implementación de las tecnologías DOCSIS y FTTH, cubre un área de aproximadamente 4,75 Km<sup>2</sup> que comprende la Isla Trinitaria, y da cobertura a una población de 4.480 abonados, con servicios de internet y voz sobre IP, con la opción de brindar servicio de televisión al combinar estas señales a través de un SPLITTING y filtro WDM.

#### **4.1.3. Análisis de la vida útil de la infraestructura del cableado**

Los equipos y el cableado tienen una vida útil que va de 25 a 30 años, sin embargo, estos son renovados antes de este tiempo debido a que la tecnología cambia en forma acelerada y nuevos modelos con nuevas opciones, ventajas y prestaciones aparecen en el mercado, los cuales permiten brindar nuevos servicios.

Para analizar la vigencia que tendrían a mediano y largo plazo, las 3 opciones de tecnología estudiadas, vamos a analizar dos aspectos en detalle.

##### **❖ Crecimiento poblacional de la zona.**

Según los datos encontrados, [36], la población de Guayaquil crece en un porcentaje del 1,08% anual. Considerando este porcentaje, la población de la Isla Trinitaria crecería anualmente según la tabla siguiente:

TASA DE CRECIMIENTO					1.08%					
<b>AÑO 0</b>	<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>	<b>AÑO 4</b>	<b>AÑO 5</b>	<b>AÑO 6</b>	<b>AÑO 7</b>	<b>AÑO 8</b>	<b>AÑO 9</b>	<b>AÑO 10</b>
75,605	76,422	77,247	78,081	78,924	79,777	80,638	81,509	82,390	83,279	84,179

**Tabla 39: Estimación del crecimiento poblacional en la Isla Trinitaria**

De acuerdo a este cuadro la población en esta Isla se incrementaría a 84.179 personas, que representaría:

$$84.179 / 5 \text{ personas por familia} = 16.836 \text{ familias.}$$

El tener una red para abastecer a 4.480 abonados, representa tener una cobertura del 26,6% de la población. Este porcentaje de cobertura sigue siendo mayor al porcentaje de participación de mercado que tienen las operadoras de televisión por cable, internet y telefonía en la actualidad, el cual es de aproximadamente el 16%. Lo cual quiere decir no se tendría inconvenientes en cuanto a cobertura por incremento poblacional.

## 4.2. Estudio económico

Se analizará básicamente la inversión requerida en equipos y en infraestructura para la implementación de esta versión.

### 4.2.1. Análisis de la inversión requerida en equipos

Para realizar un análisis de la inversión requerida en equipos para las 3 tecnologías en estudio, debemos observar los valores requeridos para su implementación, los mismos que se detallan en las Tablas 26, 28 y 32; los mismos que se resumen en el siguiente cuadro:

CUADRO COMPARATIVO DE INVERSIÓN		
TECNOLOGÍA	INVERSIÓN PARA IMPLEMENTACIÓN	INVERSIÓN SOLO PARA MIGRAR
DOCSIS 3.0	\$ 1,969,616.22	
DOCSIS 3.1	\$ 2,283,600.22	\$ 1,069,068.00
GPON	\$ 3,322,225.32	

**Tabla 40: Comparación de la inversión requerida para las 3 opciones**

Analizando el cuadro anterior se obtienen las siguientes observaciones:

1. La tecnología GPON es la más costosa
2. La tecnología FTTH tiene un costo superior, en un 45%, al valor requerido para implementar la tecnología DOCSIS 3.1.
3. La inversión para la implementación desde cero de la tecnología DOCSIS 3.1 es 1,16 veces superior a la requerida para DOCSIS 3.0, debido a que ciertos equipos son de tecnología diferente para soportar las funcionalidades que le permiten alcanzar las altas velocidades de transmisión de datos que brinda la nueva versión.
4. En caso de que se requiera migrar de DOCSIS 3.0 hacia DOCSIS 3.1, la inversión a realizar es relativamente baja (menor al 50% del valor total a invertir para implementar DOCSIS 3.1 desde cero), considerando las enormes ventajas que se obtienen.

#### **4.2.2. Análisis de la inversión en infraestructura física**

En cuanto a la inversión en infraestructura, de acuerdo al diseño propuesto en esta tesis, podemos decir lo siguiente:

- a) Que las 3 tecnologías requieren de la misma infraestructura para implementar la Mini Cabecera.
- b) La tecnología GPON requiere de 14 sitios, donde van a ir instalados los armarios con los splitters.
- c) La tecnología DOCSIS utiliza los postes para instalar los nodos ópticos y los amplificadores de RF.
- d) El cableado, para las 3 tecnologías sería aéreo en toda la Isla Trinitaria, por lo que no demandaría de infraestructura adicional.

## CAPÍTULO 5

### 5. ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD.

Con la información obtenida en el capítulo anterior, en este capítulo realizaremos el análisis de la factibilidad tanto técnica como económica de implementar la versión DOCSIS 3.1. Para el análisis económico y a fin de determinar el TIR y el VAN se realiza un proyecto con los flujos de caja durante el tiempo de vida útil del proyecto. Los valores obtenidos de TIR y VAN permitieron decidir si es factible o no, desde el punto de vista económico.

#### 5.1. Factibilidad técnica

Como hemos visto la característica más demandante de parte de los usuarios es la velocidad de transmisión de datos. Esto se debe a que, con el avance tecnológico que se está experimentando a nivel mundial, la cantidad de información que se maneja en la transmisión y recepción de datos entre usuarios de la red internet ha evidenciado un incremento vertiginoso.

Hace 10 años, la red HFC con DOCSIS 3.0 permitía a los operadores de televisión por cable cubrir las demandas de sus usuarios con mucha holgura, pero con el tiempo esa holgura ha ido disminuyendo precisamente porque los usuarios cada vez han requerido manejar mayor cantidad de información a través de la red internet, lo cual no es otra cosa sino una demanda de mayor velocidad de transmisión de datos. Paralelamente a ello, han aparecido nuevas tecnologías como la FTTH que se presentan como mejores opciones, con excelentes características para la bajada y subida de información en la red de datos.

Al estándar DOCSIS con la nueva versión 3.1, que aprovecha nuevos avances tecnológicos como la modulación OFDM y la ampliación de su ancho de banda, le ha permitido alcanzar mayores velocidades y estar a la par con la competencia.

Esto se puede evidenciar en la Tabla 41, la cual es un resumen del análisis realizado en el capítulo anterior a las versiones 3.0 y 3.1 de DOCSIS y a GPON y EPON de FTTH.

TABLA DE COMPARACIÓN DE VELOCIDADES ENTRE TECNOLOGÍAS ESTUDIADAS							
TECNOLOGÍA		DOCSIS				FTTH	
		VERSIÓN 3.0	VERSIÓN 3.1			EPON	GPON
			CANAL OFDM/OFDMA	PLANTA DE 1,2 GHz	PLANTA DE 1,7GHz		
DATOS GENERALES	MÁXIMA VELOCIDAD DE BAJADA (Mbps)	960	1700	6800	10200	1250	2488
	MÁXIMA VELOCIDAD DE SUBIDA (Mbps)	360	850	1700	1700	1250	2488
	ES SIMETRICA ?	NO	NO			SI	SIMETRICA Y ASIMETRICA
	MÁXIMO NÚMERO DE ABONADOS	CUALQUIERA	CUALQUIERA			32	64
CONSIDERANDO QUE LA RED SOLO CUBRE A 32 ABONADOS	MÁXIMA VELOCIDAD DE BAJADA (Mbps)	30.00	53.13	212.50	318.75	36.76	73.18
	MÁXIMA VELOCIDAD DE SUBIDA (Mbps)	11.25	26.56	53.13	53.13	36.76	73.18
	MÁXIMA VELOCIDAD DE BAJADA CONSIDERANDO TASA 8 A 1 (Mbps)	240.00	425.00	1700.00	2550.00	294.12	585.41
	MÁXIMA VELOCIDAD DE SUBIDA CONSIDERANDO TASA 8 A 1 (Mbps)	90.00	212.50	425.00	425.00	294.12	585.41
CONSIDERANDO QUE LA RED SOLO CUBRE A 64 ABONADOS	MÁXIMA VELOCIDAD DE BAJADA (Mbps)	15.00	26.56	106.25	159.38	19.53	38.88
	MÁXIMA VELOCIDAD DE SUBIDA (Mbps)	5.63	13.28	26.56	26.56	19.53	38.88
	MÁXIMA VELOCIDAD DE BAJADA CONSIDERANDO TASA 8 A 1 (Mbps)	120.00	212.50	850.00	1275.00	156.25	311.00
	MÁXIMA VELOCIDAD DE SUBIDA CONSIDERANDO TASA 8 A 1 (Mbps)	45.00	106.25	212.50	212.50	156.25	311.00

**Tabla 41: Comparación de las velocidades de las 4 tecnologías**

En la Tabla 41 se aprecia la diferencia en la velocidad de transmisión de datos que ofrece cada tecnología. Sin duda DOCSIS 3.1 presenta la mejor alternativa con una velocidad máxima downstream de 6,8 Gbps y 10,2 Gbps para las plantas de 1,2 GHz y 1,794 GHz respectivamente; ambas plantas tienen una velocidad máxima upstream de 1,7 Mbps, esto debido a que DOCSIS no es simétrica, es decir, la velocidad downstream y upstream no tiene el mismo valor.

En el diseño propuesto en el capítulo anterior de esta tesis (la Isla Trinitaria) vimos que, considerando la tasa de reutilización de 8 a 1, se podría proveer a 1.280 abonados con velocidades de 10,63 Mbps, 42,48 Mbps y 63.75 Mbps en downstream y de 1,94 Mbps, 4,43 Mbps y 10,63 Mbps en upstream.

La segunda alternativa la presenta GPON con una velocidad de 2,48 Gbps aunque está limitado a cubrir hasta 64 abonados. Debido a ello y considerando que es una tecnología que puede ser simétrica, puede proveer hasta 38,88 Mbps tanto en bajada como en subida. Si aplicamos la tasa de reutilización de 8 a 1, se puede obtener una velocidad de hasta 311 Mbps en forma simétrica.

Como tercera opción tenemos EPON con una velocidad de 1,25 Gbps, pero está limitado a cubrir hasta 32 abonados, brindando a cada uno una velocidad de 36,76 Mbps; considerando la tasa de reutilización se obtendría 294,12 Mbps.

A fin de observar de mejor manera la diferencia, en la Tabla 41 se muestra las velocidades que obtendrían los abonados si cada tecnología cubre solo 34 abonados o 64 abonados. La versión DOCSIS 3.1 presenta la mejor velocidad.

Habíamos indicado que la red GPON a través de una red punto a punto, puede suministrar a un abonado toda la velocidad que provee un OLT, esto es los 2,44 Gbps; de igual manera DOCSIS 3.1 podría suministrar directamente a un abonado la velocidad que brinda un puerto del equipo CMTS.

De esta manera podemos observar que desde el punto de vista técnico DOCSIS 3.1 con la opción normal de una planta de 1,2 GHz, la velocidad máxima que se obtendría en downstream sería más del doble del que brinda la tecnología GPON de FTTH; en tanto que, la velocidad máxima en upstream sería menor, llegando tan solo al 68% de la velocidad que se obtendría con GPON. Sin embargo, este porcentaje o 1,7 Gbps, es una velocidad bastante alta que cubriría con holgura las demandas futuras. Por tanto, podemos decir que la migración a DOCSIS 3.1 es factible, al cubrir las expectativas que serían demandadas por los abonados en la siguiente década.

## **5.2. Factibilidad económica**

Para determinar la factibilidad económica vamos a analizar la implementación de tres proyectos en nuestra área de estudio, el primero la implementación de DOCSIS 3.0, el segundo la implementación de DOCSIS 3.1 y el tercer proyecto



la migración de la versión 3.0 a 3.1 de DOCSIS. Cada uno de ellos con un tiempo de vida útil de 10 años.

En primer lugar, analizaremos la matriz de flujo de fondos del proyecto de implementación de una red HFC con el sistema DOCSIS versión 3.0 en la Isla Trinitaria. Para ello haremos las siguientes consideraciones:

1. El valor a invertirse es de \$ 1'969.616,22, de acuerdo a lo determinado en el capítulo 3, numeral 3.1.3.
2. La población a la que se proveerá el servicio es 4.480 abonados
3. Este proyecto tiene como objetivo proveer del servicio de televisión, telefonía IP e internet.
4. Para proveer los servicios antes indicados, se tienen 3 planes tal como se detalla en la tabla siguiente:

PLAN	VALOR SIN IMPUESTOS	DETALLE DEL PLAN
ESENCIAL LIMITADO	33.19	Plan tv familiar (60 canales de video y 50 de audio), Internet básico (hasta 4Mbps), telefono residencial (no incluye minutos)
ENTRETENIMIENTO TOTAL	44.96	Plan tv Premiun (105 canales de video y 50 de audio), Internet básico (hasta 4Mbps) y Plan telefono 10 residencial (650 minutos locales fijos otras operadoras)
HD	72.28	Plan tv super premium (150 canales de tv, 50 de audio), plan tv paquete básico HD (55 canales HD), Internet básico (hasta 4Mbps) y plan telefono de 6.20 residencial (150 minutos locales fijos a otras operadoras)

**Tabla 42: Detalle de los planes de servicio y sus costos para una red DOCSIS 3.0**

5. El pago a los proveedores se considera en 1'350.000,00 por los programas de televisión, la telefonía y por el internet.
6. El mantenimiento anual requerido para el funcionamiento adecuado de la red, se ha considerado un valor que corresponde al 7% de la inversión inicial, para el primer año; para los años sucesivos este valor se incrementará en un 5%.

7. Se considera personal calificado para los mantenimientos y reparaciones que se requieran. Considerando 3 Ingenieros con un sueldo mensual de \$ 1.200,00 y 3 tecnólogos ayudantes con un sueldo mensual de \$ 600,00. Estos valores se incrementarán el 5% cada año.
8. Ya existe en la Empresa GIGABITNET S.A. personal administrativo y se considera que no se requiere personal adicional, por lo que no se tomará en cuenta estos gastos en el proyecto.
9. Se considera que, como parte de la adquisición de los equipos, la empresa brindará la capacitación necesaria al personal técnico que realizará el mantenimiento.
10. Para fines de estudio, se tomará como tiempo de vida útil del proyecto 10 años; y, al final del proyecto se tomará como valor residual \$ 300.000,00 que el mercado estaría dispuesto a pagar por los equipos, accesorios y demás partes adquiridos.
11. Se considera un valor de impuesto a la renta del 25%, y un valor de renta del capital del 15%.

La matriz se presenta a continuación:

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>DOCSIS 3.0</b>											
USUARIOS	4,480.00										
<b>PLANES DE VENTA</b>	<b>COSTO</b>	<b>USUARIOS</b>									
PLAN 1: ESENCIAL LIMITADO	33.19	1568	35% de los usuarios								
PLAN 2: ENTRETENIMIENTO TOTAL	44.96	2240	50% de los usuarios								
PLAN 3: HD	72.28	672	15% de los usuarios								
INVERSION	\$1,969,616.22										
INGRESOS		\$2,415,893.76	\$2,415,893.76	\$2,415,893.76	\$2,415,893.76	\$2,415,893.76	\$2,415,893.76	\$2,415,893.76	\$2,415,893.76	\$2,415,893.76	\$2,415,893.76
PAGO A PROVEEDORES		\$1,350,000.00	\$1,417,500.00	\$1,488,375.00	\$1,562,793.75	\$1,640,933.44	\$1,722,980.11	\$1,809,129.11	\$1,899,585.57	\$1,994,564.85	\$2,094,293.09
MANTEN ANUAL (COSTO VAR)		\$137,873.14	\$144,766.79	\$152,005.13	\$159,605.39	\$167,585.66	\$175,964.94	\$184,763.19	\$194,001.35	\$203,701.41	\$213,886.49
PERSON CALIF (COSTOVAR)		\$64,800.00	\$68,040.00	\$71,442.00	\$75,014.10	\$78,764.81	\$82,703.05	\$86,838.20	\$91,180.11	\$95,739.11	\$100,526.07
DEPRECIACION		\$196,961.62	\$196,961.62	\$196,961.62	\$196,961.62	\$196,961.62	\$196,961.62	\$196,961.62	\$196,961.62	\$196,961.62	\$196,961.62
<b>FLUJO ANTES DE IMPUESTO</b>		<b>\$666,259.00</b>	<b>\$588,625.35</b>	<b>\$507,110.01</b>	<b>\$421,518.90</b>	<b>\$331,648.24</b>	<b>\$237,284.04</b>	<b>\$138,201.64</b>	<b>\$34,165.11</b>	<b>-\$75,073.24</b>	<b>-\$189,773.51</b>
IMPUESTO A LA RENTA		\$166,564.75	\$147,156.34	\$126,777.50	\$105,379.72	\$82,912.06	\$59,321.01	\$34,550.41	\$8,541.28	-\$18,768.31	-\$47,443.38
<b>FLUJO DESPUES DE IMP</b>		<b>\$499,694.25</b>	<b>\$441,469.01</b>	<b>\$380,332.50</b>	<b>\$316,139.17</b>	<b>\$248,736.18</b>	<b>\$177,963.03</b>	<b>\$103,651.23</b>	<b>\$25,623.83</b>	<b>-\$56,304.93</b>	<b>-\$142,330.13</b>
SUMA DE DEPRECIACION		\$196,961.62	\$196,961.62	\$196,961.62	\$196,961.62	\$196,961.62	\$196,961.62	\$196,961.62	\$196,961.62	\$196,961.62	\$196,961.62
VALOR RESIDUAL											\$225,000.00
<b>FLUJO NETO</b>	<b>-\$1,969,616.22</b>	<b>\$696,655.87</b>	<b>\$638,430.63</b>	<b>\$577,294.13</b>	<b>\$513,100.80</b>	<b>\$445,697.80</b>	<b>\$374,924.65</b>	<b>\$300,612.85</b>	<b>\$222,585.46</b>	<b>\$140,656.69</b>	<b>\$279,631.49</b>
<b>COSTO DEL VALOR RESIDUAL</b>											
VALOR DE VENTA	\$300,000.00										
VALOR DE LIBROS	\$0.00										
<b>DIFERENCIA</b>	<b>\$300,000.00</b>										
IMP A LA RENTA	\$75,000.00										
<b>DIFERENCIA</b>	<b>\$225,000.00</b>										
SUMO VALOR EN LIBRO	\$0.00										
<b>VALOR RESIDUAL</b>	<b>\$225,000.00</b>										

Figura 5.1: Calculo del TIR y el VAN para una red HFC con DOCSIS 3.0

Los valores obtenidos para el VAN y el TIR del proyecto propuesto son \$ 470,424.06 y 23% respectivamente. Estos valores nos indican que el proyecto es rentable con una tasa de retorno de la inversión del 23%, recuperando la inversión aproximadamente a inicios del cuarto año del proyecto.

En segundo lugar, analizaremos la matriz de flujo de fondos del Proyecto de Implementación de una Red HFC con la versión DOCSIS 3.1, en la Isla Trinitaria. Para ello haremos las siguientes consideraciones:

1. El valor a invertirse es de \$ 2'283.600,22, de acuerdo a lo determinado en el capítulo 3, numeral 3.2.3.
2. La población a la que se proveerá el servicio es 4.480 abonados
3. Este proyecto tiene como objetivo proveer del servicio de televisión, telefonía IP e internet, de acuerdo a las nuevas demandas de los usuarios.
4. Para proveer los servicios antes indicados, se tienen 3 planes tal como se detalla en la tabla siguiente:

PLAN	VALOR SIN IMPUESTOS	DETALLE DEL PLAN
ESENCIAL LIMITADO	33.19	Plan tv familiar (60 canales de video y 50 de audio), Internet básico (hasta 4Mbps), telefono residencial (no incluye minutos)
ENTRETENIMIENTO TOTAL	44.96	Plan tv Premiun (105 canales de video y 50 de audio), Internet básico (hasta 4Mbps) y Plan telefono 10 residencial (650 minutos locales fijos otras operadoras)
HD	72.28	Plan tv super premium (150 canales de tv, 50 de audio), plan tv paquete básico HD (55 canales HD), Internet básico (hasta 4Mbps) y plan telefono de 6.20 residencial (150 minutos locales fijos a otras operadoras)

**Tabla 43: Detalle de los planes de servicio y sus costos para una red DOCSIS 3.1**

5. El pago a los proveedores se considera en 1'470.000,00 por los programas de televisión, la telefonía y por el internet. Este valor es mayor al que se consideró para DOCSIS 3.0 debido al mayor ancho de banda requerido para poder proveer las nuevas velocidades a los abonados.

6. El mantenimiento anual requerido para el funcionamiento adecuado de la red, se ha considerado un valor que corresponde al 7% de la inversión inicial, para el primer año; para los años sucesivos este valor se incrementará en un 5%.
7. Se considera personal calificado para los mantenimientos y reparaciones que se requieran. Considerando 3 Ingenieros con un sueldo mensual de \$ 1.200,00 y 3 tecnólogos ayudantes con un sueldo mensual de \$ 600,00. Estos valores se incrementarán el 5% cada año.
8. Ya existe en la Empresa GIGABITNET S.A. personal administrativo y se considera que no se requiere personal adicional, por lo que no se tomará en cuenta estos gastos en el proyecto.
9. Se considera que, como parte de la adquisición de los equipos, la empresa brindará la capacitación necesaria al personal técnico que realizará el mantenimiento.
10. Para objetos de estudio se tomará como tiempo de vida útil del proyecto 10 años; y, al final del proyecto se tomará como valor residual \$ 350.000,00 que el mercado estaría dispuesto a pagar por los equipos, accesorios y demás partes adquiridos.
11. Se considera un valor de impuesto a la renta del 25%, y un valor de renta del capital del 15%.

La matriz se detalla a continuación:

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>DOCSIS 3.1</b>											
USUARIOS	4,480.00										
<b>PLANES DE VENTA</b>	<b>COSTO</b>	<b>USUARIOS</b>									
PLAN 1: ESENCIAL LIMITADO	33.19	1568	35% de los usuarios								
PLAN 2: ENTRETENIMIENTO TOTAL	44.96	2240	50% de los usuarios								
PLAN 3: HD	72.28	672	15% de los usuarios								
INVERSION	\$2,283,600.22										
INGRESOS		\$2,415,893.76	\$2,415,893.76	\$2,415,893.76	\$2,415,893.76	\$2,415,893.76	\$2,415,893.76	\$2,415,893.76	\$2,415,893.76	\$2,415,893.76	\$2,415,893.76
PAGO A PROVEEDORES		\$1,470,000.00	\$1,543,500.00	\$1,620,675.00	\$1,701,708.75	\$1,786,794.19	\$1,876,133.90	\$1,969,940.59	\$2,068,437.62	\$2,171,859.50	\$2,280,452.48
MANTEN ANUAL (COSTO VAR)		\$159,852.02	\$167,844.62	\$176,236.85	\$185,048.69	\$194,301.12	\$204,016.18	\$214,216.99	\$224,927.84	\$236,174.23	\$247,982.94
PERSON CALIF (COSTOVAR)		\$64,800.00	\$68,040.00	\$71,442.00	\$75,014.10	\$78,764.81	\$82,703.05	\$86,838.20	\$91,180.11	\$95,739.11	\$100,526.07
DEPRECIACION		\$228,360.02	\$228,360.02	\$228,360.02	\$228,360.02	\$228,360.02	\$228,360.02	\$228,360.02	\$228,360.02	\$228,360.02	\$228,360.02
<b>FLUJO ANTES DE IMPUESTO</b>		<b>\$492,881.72</b>	<b>\$408,149.12</b>	<b>\$319,179.89</b>	<b>\$225,762.20</b>	<b>\$127,673.62</b>	<b>\$24,680.62</b>	<b>-\$83,462.04</b>	<b>-\$197,011.83</b>	<b>-\$316,239.11</b>	<b>-\$441,427.75</b>
IMPUESTO A LA RENTA		\$123,220.43	\$102,037.28	\$79,794.97	\$56,440.55	\$31,918.41	\$6,170.15	-\$20,865.51	-\$49,252.96	-\$79,059.78	-\$110,356.94
<b>FLUJO DESPUES DE IMP</b>		<b>\$369,661.29</b>	<b>\$306,111.84</b>	<b>\$239,384.92</b>	<b>\$169,321.65</b>	<b>\$95,755.22</b>	<b>\$18,510.46</b>	<b>-\$62,596.53</b>	<b>-\$147,758.87</b>	<b>-\$237,179.33</b>	<b>-\$331,070.81</b>
SUMA DE DEPRECIACION		\$228,360.02	\$228,360.02	\$228,360.02	\$228,360.02	\$228,360.02	\$228,360.02	\$228,360.02	\$228,360.02	\$228,360.02	\$228,360.02
DESECHO											\$262,500.00
<b>FLUJO NETO</b>	<b>-\$2,283,600.22</b>	<b>\$598,021.31</b>	<b>\$534,471.86</b>	<b>\$467,744.94</b>	<b>\$397,681.67</b>	<b>\$324,115.24</b>	<b>\$246,870.48</b>	<b>\$165,763.49</b>	<b>\$80,601.15</b>	<b>-\$8,819.31</b>	<b>\$159,789.21</b>
<b>COSTO DEL VALOR RESIDUAL</b>											
VALOR DE VENTA	\$350,000.00										
VALOR DE LIBROS	\$0.00										
<b>DIFERENCIA</b>	<b>\$350,000.00</b>										
IMP A LA RENTA	\$87,500.00										
<b>DIFERENCIA</b>	<b>\$262,500.00</b>										
SUMO VALOR EN LIBRO	\$0.00										
<b>VALOR RESIDUAL</b>	<b>\$262,500.00</b>										

**Figura 5.2: Calculo del TIR y el VAN para una red HFC con DOCSIS 3.1**

La Figura 5.2 muestra los valores obtenidos para el VAN y el TIR del proyecto propuesto, que son \$ -430,991.27 y 8% respectivamente. El valor negativo del VAN indica que el proyecto no se justifica para el sector de estudio.

En tercer lugar, analizaremos la matriz de flujo de fondos para el Proyecto en que decidimos migrar de la versión 3.0 a la versión 3.1 de DOCSIS 3.1. Para ello haremos las siguientes consideraciones:

1. El valor a invertirse es de \$ 1'069.068,00, de acuerdo a lo determinado en el capítulo 3, numeral 3.2.3.
2. El valor residual que deja la red en versión 3.0 es de \$ 400.000,00.
3. La población a la que se proveerá el servicio es 4.480 abonados
4. Este proyecto tiene como objetivo proveer del servicio de televisión, telefonía IP e internet, de acuerdo a las nuevas demandas de los usuarios.
5. Para proveer los servicios antes indicados, se tienen 3 planes tal como se detalla en la tabla siguiente:

PLAN	VALOR SIN IMPUESTOS	DETALLE DEL PLAN
ESENCIAL LIMITADO	33.19	Plan tv familiar (60 canales de video y 50 de audio), Internet básico (hasta 4Mbps), telefono residencial (no incluye minutos)
ENTRETENIMIENTO TOTAL	44.96	Plan tv Premiun (105 canales de video y 50 de audio), Internet básico (hasta 4Mbps) y Plan telefono 10 residencial (650 minutos locales fijos otras operadoras)
HD	72.28	Plan tv super premium (150 canales de tv, 50 de audio), plan tv paquete básico HD (55 canales HD), Internet básico (hasta 4Mbps) y plan telefono de 6.20 residencial (150 minutos locales fijos a otras operadoras)

**Tabla 44: Detalle de los planes de servicio y sus costos para una red DOCSIS 3.1**

6. El pago a los proveedores se considera en 1'470.000,00 por los programas de televisión, la telefonía y por el internet. Este valor es mayor al que se consideró para DOCSIS 3.0 debido al mayor ancho de banda requerido para poder proveer las nuevas velocidades a los abonados, por mejoras en los planes de internet, pero manteniendo el mismo precio de venta.

7. El mantenimiento anual requerido para el funcionamiento adecuado de la red, para el primer año se ha considerado en un valor que corresponde al 12% de la inversión inicial más el valor residual de la red en versión 3.0. Para los años sucesivos este valor se incrementará en un 5%.
8. Se considera personal calificado para los mantenimientos y reparaciones que se requieran. Considerando 3 Ingenieros con un sueldo mensual de \$ 1.200,00 y 3 tecnólogos ayudantes con un sueldo mensual de \$ 600,00. Estos valores se incrementarán el 5% cada año.
9. Ya existe en la Empresa GIGABITNET S.A. personal administrativo y se considera que no se requiere personal adicional, por lo que no se tomará en cuenta estos gastos en el proyecto.
10. Se considera que, como parte de la adquisición de los equipos, la empresa brindará la capacitación necesaria al personal técnico que realizará el mantenimiento.
11. Para objetos de estudio se tomará como tiempo de vida útil del proyecto 10 años; y, al final del proyecto se tomará como valor residual \$ 350.000,00 que el mercado estaría dispuesto a pagar por los equipos, accesorios y demás partes adquiridos.
12. Se considera un valor de impuesto a la renta del 25%, y un valor de renta del capital del 15%.

La matriz se detalla a continuación:



AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>MIGRACIÓN DE 3.0 A 3.1 DE DOCSIS</b>											
USUARIOS	4,480.00										
<b>PLANES DE VENTA</b>	<b>COSTO</b>	<b>USUARIOS</b>									
PLAN 1: ESENCIAL LIMITADO	33.19	1568	35% de los usuarios								
PLAN 2: ENTRETENIMIENTO TOTAL	44.96	2240	50% de los usuarios								
PLAN 3: HD	72.28	672	15% de los usuarios								
VALOR RESIDUAL EQUIPOS VER. 3.0	\$400,000.00										
INVERSION	\$1,069,068.00										
INGRESOS		\$2,415,893.76	\$2,415,893.76	\$2,415,893.76	\$2,415,893.76	\$2,415,893.76	\$2,415,893.76	\$2,415,893.76	\$2,415,893.76	\$2,415,893.76	\$2,415,893.76
PAGO A PROVEEDORES		\$1,470,000.00	\$1,543,500.00	\$1,620,675.00	\$1,701,708.75	\$1,786,794.19	\$1,876,133.90	\$1,969,940.59	\$2,068,437.62	\$2,171,859.50	\$2,280,452.48
MANTEN ANUAL (COSTO VAR)		\$176,288.16	\$185,102.57	\$194,357.70	\$204,075.58	\$214,279.36	\$224,993.33	\$236,242.99	\$248,055.14	\$260,457.90	\$273,480.80
PERSON CALIF (COSTOVAR)		\$64,800.00	\$68,040.00	\$71,442.00	\$75,014.10	\$78,764.81	\$82,703.05	\$86,838.20	\$91,180.11	\$95,739.11	\$100,526.07
DEPRECIACION		\$146,906.80	\$146,906.80	\$146,906.80	\$146,906.80	\$146,906.80	\$146,906.80	\$146,906.80	\$146,906.80	\$146,906.80	\$146,906.80
<b>FLUJO ANTES DE IMPUESTO</b>		<b>\$557,898.80</b>	<b>\$472,344.39</b>	<b>\$382,512.26</b>	<b>\$288,188.53</b>	<b>\$189,148.61</b>	<b>\$85,156.69</b>	<b>-\$24,034.82</b>	<b>-\$138,685.91</b>	<b>-\$259,069.56</b>	<b>-\$385,472.38</b>
IMPUESTO A LA RENTA		\$139,474.70	\$118,086.10	\$95,628.07	\$72,047.13	\$47,287.15	\$21,289.17	-\$6,008.71	-\$34,671.48	-\$64,767.39	-\$96,368.10
<b>FLUJO DESPUES DE IMP</b>		<b>\$418,424.10</b>	<b>\$354,258.29</b>	<b>\$286,884.20</b>	<b>\$216,141.40</b>	<b>\$141,861.46</b>	<b>\$63,867.52</b>	<b>-\$18,026.12</b>	<b>-\$104,014.43</b>	<b>-\$194,302.17</b>	<b>-\$289,104.29</b>
SUMA DE DEPRECIACION		\$146,906.80	\$146,906.80	\$146,906.80	\$146,906.80	\$146,906.80	\$146,906.80	\$146,906.80	\$146,906.80	\$146,906.80	\$146,906.80
DESECHO											\$225.00
<b>FLUJO NETO</b>	<b>-\$1,469,068.00</b>	<b>\$565,330.90</b>	<b>\$501,165.09</b>	<b>\$433,791.00</b>	<b>\$363,048.20</b>	<b>\$288,768.26</b>	<b>\$210,774.32</b>	<b>\$128,880.68</b>	<b>\$42,892.37</b>	<b>-\$47,395.37</b>	<b>-\$141,972.49</b>
<b>COSTO DEL VALOR RESIDUAL</b>											
VALOR DE VENTA	\$300.00			<b>VAN</b>	<b>\$142,874.38</b>						
VALOR DE LIBROS	\$0.00										
<b>DIFERENCIA</b>	<b>\$300.00</b>			<b>TIR</b>	<b>19%</b>						
IMP A LA RENTA	\$75.00										
<b>DIFERENCIA</b>	<b>\$225.00</b>										
SUMO VALOR EN LIBRO	\$0.00										
<b>VALOR RESIDUAL</b>	<b>\$225.00</b>										

Figura 5.3: Calculo del TIR y el VAN para una red HFC en que se migra de DOCSIS 3.0 a 3.1

La Figura 5.3 muestra los valores obtenidos para el VAN y el TIR del proyecto propuesto, que son \$ 142,874.38 y 19% respectivamente. Estos valores nos indican que el proyecto es también rentable con una tasa de retorno de la inversión del 19%, recuperando la inversión aproximadamente a inicios del tercer año del proyecto; aunque en los años noveno y décimo los flujos netos son negativos.

De los tres proyectos estudiados y bajo las condiciones presentadas que mantienen los precios y la demanda de servicios, los valores obtenidos para el TIR y el VAN demuestran lo siguiente:

- El proyecto de implementación de DOCSIS 3.0, es rentable.
- El proyecto de implementación completa de DOCSIS 3.1 no se justifica para el sector de estudio, al no presentar gran demanda por nuevos servicios de valor agregado, tanto en ancho de banda de internet, servicios de transmisión de datos o televisión digital que permitan incrementar los ingresos significativamente para cubrir las inversiones adicionales.
- El proyecto de migración de la versión 3.0 a la 3.1 de DOCSIS, también es rentable, aunque en menor valor que el de la implementación de DOCSIS 3.0; además, en los años noveno y décimo los flujos netos son negativos.

Se observa que el proyecto de implementación completa de DOCSIS 3.1 no se justifica al obtenerse un VAN negativo, debido a que los precios de los planes de servicio son los mismos que los de una plataforma DOCSIS 3.0. Lo cual implica que al implementar DOCSIS 3.1 en un área nueva los precios deben incrementarse para que sea rentable. Cálculos realizados demostraron que con el incremento que se muestra en la Tabla 45 el proyecto se vuelve rentable y los clientes recibirían los servicios detallados en la Tabla 46.

El proyecto para migrar de la versión 3.0 a 3.1 de DOCSIS es factible; sin embargo la rentabilidad es menor al que se obtiene de implementar DOCSIS 3.0 y adicional los dos últimos años se obtiene flujo neto negativo; es debido justamente a que se mantienen los precios de los planes de los servicios. En este

caso la compañía GIGABITNET S.A. es la que absorberá la diferencia en la rentabilidad y tendrá flujos netos negativos en los dos últimos años.

PLAN	PRECIO DEL PLAN PARA DOCSIS 3.0		PRECIO DEL PLAN PARA DOCSIS 3.1		DIFERENCIA EN LOS PRECIOS (\$)
	PRECIO DEL PLAN (\$)	VELOCIDAD (Mbps)	PRECIO DEL PLAN (\$)	VELOCIDAD (Mbps)	
ESENCIAL LIMITADO	33.19	4	36.19	42	3
ENTRETENIMIENTO TOTAL	44.96	4	50.96	42	6
HD	72.28	4	78.28	42	6

**Tabla 45: Incremento en el valor de los planes**

PLAN	VALOR SIN IMPUESTOS	DETALLE DEL PLAN
ESENCIAL LIMITADO	36.19	Plan tv familiar (60 canales de video y 50 de audio), <b>Internet hasta 42 Mbps</b> , telefono residencial (no incluye minutos)
ENTRETENIMIENTO TOTAL	50.96	Plan tv Premiun (105 canales de video y 50 de audio), <b>Plan tv paquete básico (55 canales HD)</b> , <b>Internet hasta 42 Mbps</b> y Plan telefono 10 residencial (650 minutos locales fijos otras operadoras)
HD	78.28	Plan tv super premium (150 canales de tv, 50 de audio), plan tv paquete básico HD (55 canales HD), <b>Paquete básico UHD (10 canales UHD)</b> , <b>Internet hasta 42 Mbps</b> y plan telefono de 6.20 residencial (150 minutos locales fijos a otras operadoras)

**Tabla 46: Detalle de los planes de servicio y sus costos para una red DOCSIS 3.1**

Por ello los operadores de televisión por cable deberían optar por proceder a la migración focalizando hacia áreas, sectores o clientes que estén dispuestos a pagar un valor adicional por los servicios, considerando los enormes beneficios en velocidad de transmisión de datos que obtendrían. Esto convertirá al proyecto de migración a DOCSIS 3.1 en mucho más rentable y con un VAN de mayor valor.

De esta manera vemos que los valores obtenidos de TIR y VAN de los proyectos analizados y la comparación con la implementación de la tecnología FTTH, permiten determinar que la implementación o migración a la versión DOCSIS 3.1 es factible desde el punto de vista económico.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La comparación de las características técnicas entre las tecnologías DOCSIS3.0, DOCSIS 3.1, GPON y EPON permitió determinar que DOCSIS 3.1 es la mejor alternativa y por tanto factible técnicamente, al proveer la más alta velocidad de transmisión de datos.

Los valores de TIR y VAN obtenidos para el proyecto de migración de la versión 3.0 a la 3.1 de DOCSIS permitió determinar que su implementación es factible económicamente, al ser un proyecto rentable y recuperable su inversión en aproximadamente 3 años; a pesar de que los precios de los servicios se mantienen en los valores correspondientes a la versión 3.0.

La migración focalizada en áreas, sectores o personas que estén dispuestos a pagar un valor adicional por los servicios, considerando los enormes beneficios en velocidad de transmisión de datos que obtendrían, permitirá al proyecto de migración a DOCSIS 3.1 ser mucho más rentable y con un VAN de mayor valor.

El digitalizar previamente los canales de video que se transmiten en la parte baja de la banda downstream, permitirá disponer de estas frecuencias para incrementar la banda upstream hasta los 204 MHz.

Debido al ruido e interferencias que genera la instalación de amplificadores en cascada, se consideró en el diseño de red propuesto la implementación de una red HFC N+1 a fin de garantizar la calidad en el servicio que brinda DOCSIS 3.1.

Se recomienda que los Operadores de Televisión por Cable procedan con la migración a DOCSIS 3.1 puesto que les permitirá mejorar la capacidad de sus redes para brindar los servicios de televisión por cable, telefonía IP e internet, con las altas exigencias que demandarán sus usuarios en el corto y mediano plazo.

Se recomienda que la migración a DOCSIS 3.1 la realicen focalizando a zonas donde la demanda de ancho de banda de internet y televisión digital (HD) sea mayor, puesto que permitirá obtener nuevos ingresos por la ampliación de los servicios, debido a los

enormes beneficios en velocidad de transmisión de datos que obtendrían los usuarios.

La migración a DOCSIS 3.1 puede realizarse en pasos, según se vio en el capítulo 4, los pasos podrían ser primero con una planta de 1 GHz, posteriormente con una planta de 1,2 GHz y por último con la planta de 1,7 GHz.

Cada vez que se decida realizar un incremento en el ancho de banda upstream se debe previamente digitalizar los canales de video que se transmiten en la parte baja de la banda downstream a fin de liberar estas frecuencias para su utilización como banda upstream.

Se recomienda que las operadoras mantengan en observancia tanto los avances tecnológicos en el estándar DOCSIS posterior a la versión 3.1, como las mejoras en las otras tecnologías estudiadas o la aparición de sistemas nuevos, para determinar la más rentable que logrará satisfacer las futuras demandas que tendrían los abonados; y de esta manera, prever una transición oportuna y económica.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. d. E. -. M. d. Educación, «Media Televisión,» 2008. [En línea]. Available: <http://recursos.cnice.mec.es/media/television/bloque1/pag7.html>. [Último acceso: 23 diciembre 2015].
- [2] M. Muñoz, «Televisión CATV,» 11 septiembre 2011. [En línea]. Available: <http://tecnicoperu8k.blogspot.com/2011/09/historia-sistema-de-videocable-catv.html>. [Último acceso: 23 diciembre 2015].
- [3] UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA, «REDES Y SERVICIOS TELEMATICOS,» [En línea]. Available: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208017/ContLin2/leccin\\_11\\_redes\\_de\\_televisin\\_por\\_cable\\_catv.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208017/ContLin2/leccin_11_redes_de_televisin_por_cable_catv.html). [Último acceso: Junio 2016].
- [4] 150431SENAHFC, «REDES HFC,» marzo 2012. [En línea]. Available: <http://redes150432.blogspot.com/>. [Último acceso: 23 diciembre 2015].
- [5] A. G. C. López, «Redes HFC,» 21 Diciembre 2012. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=2t4gTVaRj0s>. [Último acceso: 26 Junio 2016].
- [6] Ciencia y Tecnología, «Curso básico CATV-Capítulo 05,» 28 Abril 2012. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=NHlBXGZ9PnY>. [Último acceso: 01 Julio 2016].
- [7] X. Ortiz, «Redes HFC,» 27 Marzo 2012. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=OOS8WckwTVI>. [Último acceso: 02 Julio 2016].
- [8] F. Ruiz, «JLX750 AMPLIFIER www.eltigre-catv.com,» 11 Diciembre 2007. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=99LRVcbQiMo>. [Último acceso: 02 Julio 2016].
- [9] O. C. C. y. C. A. VALDÉS, «CMTS Y DOCSIS,» 2016. [En línea]. Available: <https://sx-de-tx.wikispaces.com/CMTS+y+DOCSIS>. [Último acceso: OCTUBRE 2016].
- [10] CABLELABS, «Physical Layer Specification,» de *Physical Layer Specification*, Louisville, 2015, p. 184.
- [11] «CISCO DOCSIS 3.0 AVANZADO,» 16 Diciembre 2013. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=fO1ai1GUkWc>.
- [12] J. Higerá, «Exposición protocolos DOCSIS- Comunicaciones digitales,» 19 Mayo 2014. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=WvMMYvCzOAU>. [Último acceso: 18 Octubre 2015].
- [13] S. LIPOFF, *CMTS- NETWORK SIDE INTERFASE*, 1996.
- [14] CABLELABS, «Downstream RF Interface Specification,» de *Estandar DOCSIS*, 2013, p. 83.

- [15] DOCSIS, «MAC Frame formats,» de *MAC and Upper Layer Protocols Interface Specification*, 2015, p. 789.
- [16] D. CABLELABS, «MAC Header Format,» de *MAC and Upper Layer Protocols Interface Specification* , 2015, p. 796.
- [17] I. T. UNIT, *Recomendación ITU-T J.83-B*, Switzerland, 2007.
- [18] D. C. N. M. Marins, *TV DIGITAL*, Rio de Janeiro - Brasil, 2013.
- [19] CABLELABS, *Cable Modem to Customer Premise Equipment Interface Especification*, 2014.
- [20] DOCSISCABLELABS, *Operations Support System Interface Specification*, 2015 AGOSTO .
- [21] CABLELABS, *M-CMTS Operations Support System Interface Specification*, 2008.
- [22] S. CABLELABS, *Data-Over-Cable Service Interface Specifications DOCSIS 3.0*, 2013.
- [23] CABLELABS, *DOCSIS TIMING INTERFACE SPECIFICATION*, 2015.
- [24] CABLELABS, *Downstream External PHY Interface Specification*, 2010.
- [25] CABLELABS, *Edge Resource Manager Interface Specification*, 2014 MAYO.
- [26] *Data-Over-Cable Service Interface Specifications DOCSIS® 3.1, Physical Layer Specification*, Louisville: Cable Television Laboratories, Inc. 2013-2015 , 2015.
- [27] J. K. Wolf, «AN INTRODUCTION TO ERROR CORRECTING CODES,» 2010. [En línea]. Available: <http://circuit.ucsd.edu/~yhk/ece154c-spr15/ErrorCorrectionIII.pdf>. [Último acceso: 2016].
- [28] R. J. Flask, «DOCSIS 3.1 and the path to 1GB/s and beyond,» Abril 2015. [En línea]. Available: [https://www.commttechshow.com/east/wp-content/uploads/JDSU\\_DOCSIS\\_Evolution\\_Paving\\_the\\_Way\\_for\\_1GBs\\_and\\_Beyond.pdf](https://www.commttechshow.com/east/wp-content/uploads/JDSU_DOCSIS_Evolution_Paving_the_Way_for_1GBs_and_Beyond.pdf). [Último acceso: septiembre 2016].
- [29] CABLELABS DOCSIS 3.1, *MAC and Upper Layer Protocols Interface Specification DOCSIS 3.1*, 2015 SEPTIEMBRE.
- [30] C. S. I. y. J. S. Illescas, *Estudio previo para la implementación del sistema triple play en una red HFC de la empresa Servicable*, Cuenca, Azuay, 2010.
- [31] Centro de Estudios e Investigaciones Estadísticas ICM-ESPOL, «Grupo de Sectores Municipales de Guayaquil,» [En línea]. Available: [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/14779/43/2\\_SECTORES%20MUNICIPALES.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/14779/43/2_SECTORES%20MUNICIPALES.pdf). [Último acceso: 27 julio 2016].
- [32] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, «Telefonía fija audio-video por suscripción y radio tv,» marzo 2015. [En línea]. Available: [http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/BOLETIN-AVS\\_RTV\\_TF\\_FINAL\\_.pdf](http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/BOLETIN-AVS_RTV_TF_FINAL_.pdf). [Último acceso: julio 2016].
- [33] A. G. Yagüe, «GPON y GPON Doctor,» Mayo 2014. [En línea]. Available: <http://www.ccapitalia.net/descarga/docs/2012-gpon-introduccion-conceptos.pdf>. [Último acceso: Octubre 2016].
- [34] J. D. T. ALVEAR, *TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO*, Cuenca, 2011.

- [35] R. J. Flask, «DOCSIS 3.1 and the path to 1GB/s and beyond,» abril 2015. [En línea]. Available: [https://www.commtechshow.com/east/wp-content/uploads/JDSU\\_DOCSIS\\_Evolution\\_Paving\\_the\\_Way\\_for\\_1GBs\\_and\\_Beyond.pdf](https://www.commtechshow.com/east/wp-content/uploads/JDSU_DOCSIS_Evolution_Paving_the_Way_for_1GBs_and_Beyond.pdf). [Último acceso: octubre 2016].
- [36] Instituto Nacional de Estadísticas y Sensores, «Resultados del censo 2010,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/guayas.pdf>. [Último acceso: 27 Julio 2016].
- [37] TWOWAY, «TWOWAY DISEÑO DE REDES HFC FTTH,» [En línea]. Available: [http://www.twoway.com.ar/preguntas\\_frecuentes\\_de\\_redes.html](http://www.twoway.com.ar/preguntas_frecuentes_de_redes.html). [Último acceso: Junio 2016].
- [38] Ximenita170711, «Redes HFC,» 27 Marzo 2012. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=OOS8WckwTVI>. [Último acceso: 02 Julio 2016].
- [39] ARRIS, «DOCSIS 3.1 TRANSITION SERVICES,» 2016. [En línea]. Available: [http://www.arris.com/globalassets/resources/data-sheets/global-services\\_d-3-1-transition-services\\_ds\\_29757-x.2.pdf](http://www.arris.com/globalassets/resources/data-sheets/global-services_d-3-1-transition-services_ds_29757-x.2.pdf). [Último acceso: Agosto 2016].
- [40] S. Hoernig, «On-net and Off-net Pricing on Asymmetric Telecommunications Networks,» Universidade Nova de Lisboa, Lisbon, 2005.
- [41] T. Valletti, «Obligations that can be imposed on operators with significant market power under the new regulatory framework for electronic communications,» [En línea]. Available: [http://edz.bib.uni-mannheim.de/daten/edz-bo/gdi/03/mobile%2520\\_valletti\\_final.pdf](http://edz.bib.uni-mannheim.de/daten/edz-bo/gdi/03/mobile%2520_valletti_final.pdf). [Último acceso: 22 12 2015].
- [42] CABLELABS, M-CMTS Operations Support System Interface Specification, 2008.