



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Propuesta de migración del estándar DOCSIS 2.0 a 3.1 en la red HFC  
para la empresa ECUADORTELECOM S. A. en la ciudad de Machala.**

AUTOR:

Carlos Xavier Yanzapanta Vergara

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

TUTOR:

Romero Rosero, Carlos Bolívar

Guayaquil, Ecuador

13 de Septiembre del 2016



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **Yanzapanta Vergara, Carlos Xavier** como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero En Telecomunicaciones**.

TUTOR

---

Romero Rosero, Carlos Bolívar

DIRECTOR DE CARRERA

---

Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 13 días del mes de Septiembre del año 2016



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Carlos Xavier Yanzapanta Vergara**

**DECLARÓ QUE:**

El trabajo de titulación **“Propuesta de migración del estándar DOCSIS 2.0 a 3.1 en la red HFC para la empresa ECUADORTELECOM S. A. en la ciudad de Machala.”** previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 13 días del mes de Septiembre del año 2016

EL AUTOR

---

**Yanzapanta Vergara, Carlos Xavier**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**AUTORIZACIÓN**

**Yo, Yanzapanta Vergara, Carlos Xavier**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “**Propuesta de migración del estándar DOCSIS 2.0 a 3.1 en la red HFC para la empresa ECUADORTELECOM S. A. en la ciudad de Machala.**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

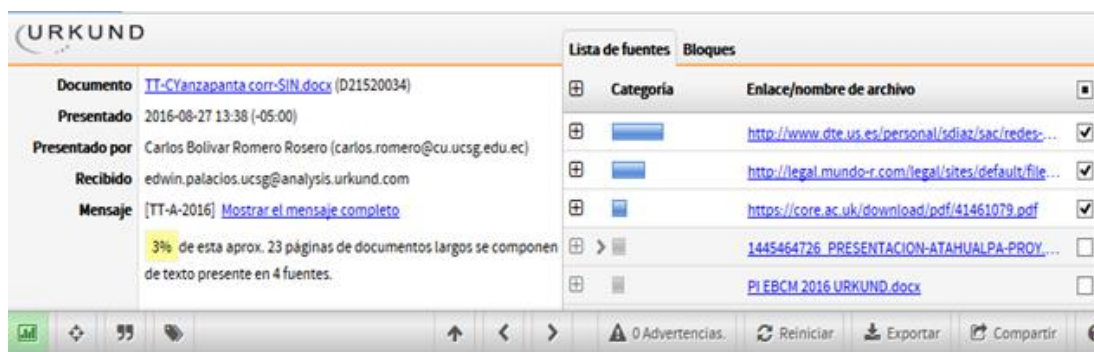
Guayaquil, a los 13 días del mes de Septiembre del año 2016

EL AUTOR

---

**Yanzapanta Vergara, Carlos Xavier**

## REPORTE DE URKUND



The screenshot shows the URKUND interface. On the left, document details are displayed: **Documento**: [TT-CYanzapanta corr-SIN.docx](#) (D21520034); **Presentado**: 2016-08-27 13:38 (-05:00); **Presentado por**: Carlos Bolivar Romero Rosero (carlos.romero@cu.ucsg.edu.ec); **Recibido**: edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com; **Mensaje**: [TT-A-2016] [Mostrar el mensaje completo](#). A summary states: "3% de esta aprox. 23 páginas de documentos largos se componen de texto presente en 4 fuentes." On the right, the **Lista de fuentes** (List of sources) tab is active, showing a table with columns for **Categoría** and **Enlace/nombre de archivo**. The table lists five sources, with the first three checked. The bottom toolbar includes icons for navigation and actions like "0 Advertencias", "Reiniciar", "Exportar", and "Compartir".

Categoría	Enlace/nombre de archivo	
	<a href="http://www.dte.us.es/personal/sdiaz/sac/redes-...">http://www.dte.us.es/personal/sdiaz/sac/redes-...</a>	<input checked="" type="checkbox"/>
	<a href="http://legal.mundo-r.com/legal/sites/default/file...">http://legal.mundo-r.com/legal/sites/default/file...</a>	<input checked="" type="checkbox"/>
	<a href="https://core.ac.uk/download/pdf/41461079.pdf">https://core.ac.uk/download/pdf/41461079.pdf</a>	<input checked="" type="checkbox"/>
	<a href="#">1445464726_PRESENTACION-ATAHUALPA-PROY...</a>	<input type="checkbox"/>
	<a href="#">PI_EBCM_2016_URKUND.docx</a>	<input type="checkbox"/>

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES TEMA: Propuesta de migración del estándar

DOCSIS 2.0 a 3.1 en la red HFC para la empresa PANATEL ECUADOR S. A. en la ciudad de Machala. AUTOR: Carlos Xavier Yanzapanta Vergara Trabajo de Titulación previo a la obtención del grado de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES TUTOR: Carlos Romero, Ing. Guayaquil, Ecuador 28 de Agosto del 2016

INDICE GENERAL CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN 16 1.1 Introducción. 16 1.2 Antecedentes. 16 1.3 Definición Del Problema. 17 1.4 Justificación. 18 1.5 Objetivos. 19 1.5.1 Objetivo General. 19 1.5.2 Objetivos Especificos. 19 1.6 Hipótesis o Idea a Defender. 20 1.7 Metodología De La Investigación. 20 CAPÍTULO 2:

## **DEDICATORIA**

*Quiero dedicar de manera muy especial la culminación de esta etapa de mi vida, a mis queridos padres, que han sabido sobrellevar los buenos y malos momentos, que con mucho esfuerzo y dedicación dieron todo para mi bienestar y mi futuro, construyendo con valores y trabajo mi carácter, me formaron con honestidad y con ímpetu los cuales han sido un pilar muy importante.*

*Quiero dedicar mi logro, a todas las personas que estuvieron a mi lado, que sin esperar nada a cambio compartieron sus esfuerzos, apoyo y alegrías.*

## **EL AUTOR**

**Yanzapanta Vergara, Carlos Xavier**

## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero agradecer a mis padres por depositar su confianza en mí; a mis profesores, por la enseñanza impartida con sus conocimientos; a mis familiares allegados que me motivaban cada día a seguir luchando por alcanzar mis objetivos planteados y a mis compañeros de clases que juntos cursamos historias del día a día que ahora quedaran como anécdotas.*

*En especial a mi novia la cual estuvo presente en cada paso de esta maravillosa experiencia.*

## **EL AUTOR**

**Yanzapanta Vergara, Carlos Xavier**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

**ROMERO ROSERO, CARLOS BOLIVAR**  
TUTOR

---

**HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO**  
COORDINADOR ACADÉMICO

---

**PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO**  
COORDINADOR DE TITULACIÓN



## ÌNDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>16</b>
1.1    Introducción.....	16
1.2    Antecedentes.....	16
1.3    Definición Del Problema.....	17
1.4    Justificación.....	18
1.5    Objetivos.....	19
1.5.1    Objetivo General.....	19
1.5.2    Objetivos Específicos.....	19
1.6    Hipótesis o Idea a Defender.....	20
1.7    Metodología De La Investigación.....	20
<b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>22</b>
2.1    Introducción.....	22
2.2    Reseña Histórica De Las Redes HFC.....	22
2.2.1    Definición de las redes HFC.....	23
2.2.2    Estructura de las Redes HFC.....	24
2.3    Estándar DOCSIS.....	43
2.3.1    Evolución del estándar DOCSIS.....	43
2.3.2    Generalidades del estándar DOCSIS.....	45
2.3.3    DOCSIS 3.1.....	49
<b>CAPÍTULO 3: ESTUDIO ACTUAL DE LA RED HFC DE LA EMPRESA ECUADORTELECOM S.A. EN LA CIUDAD DE MACHALA .....</b>	<b>53</b>
3.1    Introducción.....	53
3.2    Esquema de la red HFC de ECUADORTELECOM S.A.....	53
3.2.1    Head-End.....	56
3.2.2    Red Troncal.....	65
3.2.3    Red De Distribución.....	66

3.2.4	Red De Acometida.....	67
3.3	Propuesta de migración al estándar DOCSIS 3.1.....	68
<b>CAPÍTULO 4: COSTOS DE LA PROPUESTA Y FACTIBILIDAD DEL PROYECTO .....</b>		<b>74</b>
4.1	Presupuesto referencial del proyecto de migración.....	74
4.2	Factibilidad del Proyecto.....	76
<b>CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>78</b>
5.1	Conclusiones.....	78
5.2	Recomendaciones.....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

<b>Figura 2. 1:</b> Esquema básico de una Red Híbrida Fibra Coaxial (a) .....	25
<b>Figura 2. 2:</b> Componentes de una Red Híbrida Fibra - Coaxial (b) .....	25
<b>Figura 2. 3:</b> Esquema de una cabecera o Head – End. ....	27
<b>Figura 2. 4:</b> Esquema de las partes que componen la cabecera de una red HFC.....	28
<b>Figura 2. 5:</b> Gráfico de una antena parabólica utilizada en un Head – End.	29
<b>Figura 2. 6:</b> Esquema del procesamiento de la señal a través de una demodulador.....	30
<b>Figura 2. 7:</b> Divisores o Splitters en un Head-End. ....	31
<b>Figura 2. 8:</b> Sistema de recepción óptica de la Cabecera. (a) .....	31
<b>Figura 2. 9:</b> Sistema de transmisión óptica de la Cabecera. (b).....	32
<b>Figura 2. 10:</b> Equipo CMTS Arris E6000. ....	32
<b>Figura 2. 11:</b> Topología de retorno de un CMTS.....	33
<b>Figura 2. 12:</b> Enlace cabecera nodos primarios.....	34
<b>Figura 2. 13:</b> Enlace cabecera nodos secundarios. ....	34
<b>Figura 2. 14:</b> Cable coaxial 750.....	36
<b>Figura 2. 15:</b> Cable coaxial 500.....	36
<b>Figura 2. 16:</b> Cable de fibra óptica. ....	38
<b>Figura 2. 17:</b> Nodo óptico Motorola. ....	39
<b>Figura 2. 18:</b> Amplificador MB. ....	39
<b>Figura 2. 19:</b> Amplificador BT de Motorola. ....	39
<b>Figura 2. 20:</b> Amplificador MB de Motorola. ....	40
<b>Figura 2. 21:</b> Acoplador de una red HFC. ....	40
<b>Figura 2. 22:</b> TAP de una red HFC.....	41
<b>Figura 2. 23:</b> Esquema de la red de acometida en HFC. ....	41
<b>Figura 2. 24:</b> Esquema de los cable módems. ....	42
<b>Figura 2. 25:</b> Esquema de un decodificador.....	43
<b>Figura 2. 26:</b> Arquitectura del estándar DOCSIS 2.0. ....	45

<b>Figura 2. 27:</b> Transmisión de datos en sentido descendente y ascendente	47
<b>Figura 2. 28:</b> Formato de trama MAC ascendente .....	48
<b>Figura 2. 29:</b> Trama MAC descendente. ....	49
<b>Figura 2. 30:</b> Esquema de las características del estándar DOCSIS 3.1. ....	51
<b>Figura 2. 31:</b> Esquema de la modulación para el estándar DOCSIS 3.1. ...	52
<b>Figura 2. 32:</b> Esquema de la modulación para el estándar DOCSIS 3.1. ...	52

### **CAPÍTULO 3: ESTUDIO ACTUAL DE LA RED HFC DE LA EMPRESA ECUADORTELECOM S.A. EN LA CIUDAD DE MACHALA.**

<b>Figura 3. 1:</b> Esquema de la red HFC en el HUB de Machala. ....	55
<b>Figura 3. 2:</b> Esquema de los equipos que conforman la plataforma de Televisión Digital.....	57
<b>Figura 3. 3:</b> Estructura de un Core de Video. ....	59
<b>Figura 3. 4:</b> Red troncal de la red HFC .....	65
<b>Figura 3. 5:</b> Algoritmo de propuesta de migración a DOCSIS 3.1. ....	70
<b>Figura 3. 6:</b> Diseño de red para propuesta de migración a DOCSIS 3.1.....	73

# ÍNDICE DE TABLAS

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

<b>Tabla 2. 1:</b> Evolución del estándar DOCSIS en función del tiempo.....	44
<b>Tabla 2. 2:</b> Cuadro comparativo de las transmisiones en la capa física. ....	46
<b>Tabla 2. 3:</b> Cuadro comparativo de las transmisiones en la capa física. ....	48

## CAPÍTULO 3: ESTUDIO ACTUAL DE LA RED HFC DE LA EMPRESA ECUADORTELECOM S.A. EN LA CIUDAD DE MACHALA

<b>Tabla 3. 1:</b> Características del CMTS ARRIS E6000.....	63
<b>Tabla 3. 2:</b> Características del CMTS MOTOROLA BSR 6400.....	64
<b>Tabla 3. 3:</b> Calibración de nodos y amplificadores. ....	66
<b>Tabla 3. 4:</b> Clientes por nodo.....	67

## CAPÍTULO 4: COSTOS DE LA PROPUESTA Y FACTIBILIDAD DEL PROYECTO

<b>Tabla 4. 1:</b> Red de Distribución HUB Machala .....	74
<b>Tabla 4. 2:</b> Detalle de los equipos existentes por nodo .....	75
<b>Tabla 4. 3:</b> Presupuesto de red de Distribución HUB Machala.....	75
<b>Tabla 4. 4:</b> Presupuesto de red de Acometidas HUB Machala.....	76
<b>Tabla 4. 5:</b> Presupuesto General de Migración del HUB Machala.....	76

## RESUMEN

En el campo de las telecomunicaciones, el estudio de las diferentes redes que existen sean estas inalámbricas o alámbricas, ayudan a tener una mejor perspectiva del complejo mundo de las telecomunicaciones.

Una de las redes más conocidas a nivel mundial, es la red HFC (Híbrida de Fibra y Coaxial) la cual presenta una tecnología interesante debido a que permite empaquetar tres servicios de consumo masivo, entre los que se mencionan: telefonía fija, internet y televisión. Estas redes funcionan bajo un estándar denominado DOCSIS, que es el que establece la velocidad de transmisión de datos, entre otras características.

La red HFC se compone de cuatro partes (Head-End, red troncal, red de distribución y red de abonados), las cuales cumplen una función específica e importante en la red.

El estándar DOCSIS ha evolucionado a lo largo del tiempo, llegando a haber cinco versiones, las cuales se han desarrollado tomando en cuenta no, únicamente, la capacidad de transmisión sino también la reducción de equipos; generando a su vez una reducción de costos en la implementación y mantenimiento de este tipo de redes.

En el presente trabajo de titulación se presenta la actualización del estándar DOCSIS hasta su versión más reciente 3.1, partiendo desde la estructura de una red HFC ya implementada, la misma que pertenece a la empresa ECUADORTELECOM S. A.

La facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la universidad católica de Santiago de Guayaquil incentiva a sus estudiantes en proyectos de investigación y desarrollo, los cuales sirven como ayuda para que las futuras generaciones puedan adquirir mayores conocimientos acerca de las Redes HFC y el estándar DOCSIS.

## **ABSTRACT**

In the field of telecommunications, the study of different networks that exist are these wireline or wireless, help to get a better perspective of the complex world of telecommunications.

One of the best known worldwide networks is the HFC network (Hybrid Fiber Coax) which presents an interesting technology because it allows package three services of mass consumption, among which are: fixed telephony, internet and TV. These networks operate under a standard called DOCSIS, which is the setting speed data transmission, among other features.

The HFC network consists of four parts (Head-End, backbone, distribution network and subscriber network), which have a specific and important role in the network.

The DOCSIS standard has evolved over time, reaching be five versions, which have been developed taking into account not only the capacity but also transmission reduction equipment; while generating cost reductions in the implementation and maintenance of such networks.

In this paper titling update DOCSIS standard is presented to its latest version 3.1, starting from the structure of an HFC network already in place, it belongs to the company ECUADORTELECOM S. A.

The Faculty of Technical Education for Development of the Catholic University of Santiago de Guayaquil encourages its students in research and development, which serve as an aid for future generations to acquire more knowledge about the HFC Networks and DOCSIS standard.

# **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

## **1.1 Introducción.**

Debido al continuo mejoramiento de la tecnología y a la creación de aplicaciones, la comunicación de datos se ha convertido en una necesidad básica en los hogares, ya no simplemente el uso de la televisión como medio informativo, por lo que los proveedores de servicio han buscado una solución más factible y económica para cubrir necesidades de los usuarios y como resultado de esto aprecio el estándar DOCSIS (Especificación de Interfaz para Servicios de Datos por Cable) que permite estandarizar la infraestructura de un sistema CATV (Televisión por Cable) para soportar el flujo de datos IP a alta velocidad.

El estándar ha evolucionado conforme al creciente avance de la tecnología, logrado englobar 4 versiones, la última, un conjunto de varias características de los estándares anteriores, llega a utilizar de la manera más eficiente de la infraestructura de las redes HFC (Hibrido de Fibra Coaxial), logrando igualar en velocidad a otros medios de la transmisión como las nuevas redes GPON.

En este capítulo se plantea una descripción global de la propuesta a presentar, de la idea que se quiere defender; así como también los antecedentes, las bases justificativas y objetivos a alcanzar durante el desarrollo del proyecto.

## **1.2 Antecedentes.**

El primer estándar internacional aprobado fue el DOCSIS (Especificación de Interfaz para Servicios de Datos por Cable) 1.0 en marzo de 1997 por la UIT, con una velocidad máxima de Downstream de 42 Mbps y para Upstream de 10 Mbps.



El nuevo conjunto de especificaciones conocido como DOCSIS (Especificación de Interfaz para Servicios de Datos por Cable) 1.1 fue creado en abril de 1999 el cual incluye características de Qos (Calidad de servicio), fragmentación, concatenación, supresión, encabezamiento y autenticación, para tratar servicios de voz de manera inmediata y confidencial. Cada vez evolucionando más, se crea la nueva versión DOCSIS (Especificación de Interfaz para Servicios de Datos por Cable) 2.0, manejando una modulación de 64-QAM en capa física en el canal de subida, logrando así llegar a velocidades de transmisión mucho más altas que la versión anterior.

### **1.3 Definición Del Problema.**

Dada la creciente demanda de usuarios que buscan interactuar en las diferentes plataformas de accesos a la comunicación e información de los servicios que prestan las empresas de Telecomunicaciones y su necesidad de mejora de los mismos es que surge la siguiente pregunta:

¿Cómo afecta la falta de actualización de los estándares tecnológicos en las redes HFC (Híbrido de Fibra Coaxial) de la empresa ECUADORTELECOM S.A. en los servicios que ofrece en la ciudad de Machala actualmente?

Para la mayoría de clientes resulta primordial contratar un servicio de telecomunicaciones ya sea para su hogar, su empresa o cualquier otra actividad, sin embargo, una vez adquirido el servicio suele ser mayor el problema que la solución. Esto es, debido a que muchas empresas ofrecen una gama de servicios que no cumplen con las expectativas de sus suscriptores. Es decir, de qué le sirve a un usuario tener una computadora de última generación si su rendimiento se ve limitado por la mala calidad del producto que adquirió, por ejemplo, una conectividad inestable en la red, etc.

## **1.4 Justificación.**

La mayoría de clientes pertenecientes al grupo de empresas de telecomunicaciones buscan obtener servicios de calidad donde puedan realizar diversas actividades en la red de forma eficiente, rápida, segura, y a bajo costo. De igual manera las empresas de telecomunicaciones y otras, buscan hacerse de un puesto en el mercado y de empoderarse del mismo, lo que las lleva a una sola acción: innovar para mejorar la calidad de sus servicios y así poder fidelizar a sus clientes.

Toda mejora continua que se realiza en el sector de las Telecomunicaciones genera un gran impacto social y económico, tanto para las empresas proveedoras de estos servicios así como a los consumidores de dichos productos. Esto es, debido a que las empresas de Telecomunicaciones siempre están actualizándose de acuerdo a los últimos avances tecnológicos del mercado, lo que a su vez les genera grandes costos. Sin embargo, los valores invertidos son asimismo fácilmente recuperables ya que la tecnología se ha propagado de tal manera que cualquier persona, a cualquier edad o nivel socioeconómico, puede acceder a ella desde un dispositivo en decadencia así como de uno de última generación; llegando hasta el punto de desarrollar conductas adictivas.

Una de las principales empresas de telecomunicaciones que operan en el Ecuador es ECUADORTELECOM S.A., la cual presta servicios de triple-pack, es decir, telefonía fija, internet y televisión, dentro de una misma oferta comercial. La infraestructura tecnológica de la empresa está basada en una red de comunicaciones HFC (Híbrido de Fibra Coaxial), la cual opera bajo el estándar DOCSIS 2.0.

Debido a las recurrentes mejoras en el sector de las Telecomunicaciones y las continuas exigencias de los clientes es que, la empresa de telecomunicaciones ECUADORTELECOM S.A. analiza la posibilidad de migrar su infraestructura existente tomando como referencia el nuevo estándar tecnológico DOCSIS 3.1, que se constituye como una

mejora al estándar tecnológico con el cual opera la red. Este plan de migración presenta la oportunidad de mejorar la velocidad de transferencia de datos, aumentar el ancho de banda, mejorar la oferta comercial, reducir equipos de usuario final, etc. en los servicios que presta la empresa en la ciudad de Machala.

De ser ejecutado este plan de migración del estándar tecnológico DOCSIS 2.0 a su versión más reciente 3.1 por parte de ECUADORTELECOM S.A, la empresa estaría siendo más competitiva con respecto a las otras operadoras que ofrecen el mismo servicio.

## **1.5 Objetivos.**

### **1.5.1 Objetivo General.**

Analizar la actualización de estándares tecnológicos en las redes HFC (Híbrido de Fibra Coaxial) de la empresa ECUADORTELECOM S.A., mediante un estudio de campo para diseñar la migración del estándar tecnológico DOCSIS de 2.0 a 3.1 en el HUB de Machala.

### **1.5.2 Objetivos Específicos.**

A continuación, se exponen los siguientes objetivos específicos para el presente trabajo de titulación:

- Describir las bases teóricas del Estándar Tecnológico DOCSIS 3.1.
- Presentar las diferencias que existen entre el sistema DOCSIS 2.0 y su versión más reciente DOCSIS 3.1.
- Diseñar la topología de red que se adecúe a la migración del nuevo sistema.
- Elaborar un presupuesto referencial del costo de la migración del sistema actual al nuevo estándar DOCSIS 3.1. considerando la instalaciones actuales de la empresa ECUADORTELECOM S.A.

## **1.6 Hipótesis o Idea a Defender.**

En el presente trabajo de titulación, se expondrán los que deberá tomar en cuenta ECUADORTELECOM S.A. para ejecutar el plan de migración al Estándar Tecnológico DOCSIS 3.1, el cual le generará a la empresa un coste razonable de inversión en adecuaciones de infraestructura y mejora de procesos, pero a su vez, la convertirá en una compañía más competitiva en el sector de las Telecomunicaciones.

Además, el actualizar las redes HFC (Hibrido de Fibra Coaxial) al sistema actual le permitirá a la empresa brindar servicios de mejor calidad contratados por el usuario final.

## **1.7 Metodología De La Investigación.**

Las investigaciones relacionadas directamente con el estudio, análisis y exposición de los innumerables avances tecnológicos en el mundo de las Telecomunicaciones requieren de un dominio absoluto del tema, donde se tenga un conocimiento muy complejo y elaborado para poder responder a las frecuentes preguntas, tales como: ¿Qué es? ¿Cómo es? ¿Para qué?, etc. que se generan alrededor del mismo.

El diseño de investigación bajo el cual se fundamenta el presente trabajo de titulación es del tipo histórico, documental y analítico. Las razones por las que se han seleccionado estos tipos de investigación, básicamente, son: a) son los más apropiados para describir y resumir sobre hechos pasados que tienen repercusión en la sociedad actual como es el caso de los avances tecnológicos, y b) porque buscan detalladamente las soluciones a los problemas planteados comparando entre las diferentes variables.

Es de suma importancia tener muy claros los conceptos de los tipos de investigación que se van a utilizar y, para ello, se expone a continuación el concepto de cada uno de ellos. La investigación histórica define los sucesos pasados y los relaciona directamente con los hechos actuales, permitiéndole al investigador obtener información de fuentes primarias y

secundarias. Por otro lado, la investigación documental está basada en la clasificación y recopilación de toda la información posible que se pueda obtener acerca del hecho que se está investigando. Por último, se menciona la investigación analítica porque consiste principalmente en comparar las variables o, como es el caso, los diferentes aspectos sobre los cuales se han generado las hipótesis a validar.

En consideración a lo antes expuesto, el presente trabajo de titulado como “Propuesta de migración del estándar DOCSIS 2.0 a 3.1 en la red HFC para la empresa ECUADORTELECOM S. A. en la ciudad de Machala.” se pretende realizar tomando en cuenta los tipos de investigación mencionados anteriormente, ya que el tema a desarrollar requiere de buscar, juntar, comparar, resumir y examinar información; de tal manera que se puedan obtener resultados relevantes, objetivos y prácticos del tema.

## **CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Introducción.**

Las redes de Telecomunicaciones y los numerosos avances tecnológicos han revolucionado el mundo de hoy, creando nuevas formas de acceder a la tecnología con plataformas más flexibles para los usuarios.

En el presente capítulo se pretende exponer toda la fundamentación teórica acerca de las novedosas y bastante empleadas Redes HFC (Híbridas Fibra Coaxial) y el estándar DOCSIS, desde sus orígenes hasta la estructura que se emplea actualmente de los mismos, conceptos, definiciones, gráficos, tablas etc. que permitan una mejor comprensión de la propuesta; orientando dichos conocimientos al desarrollo del tema, con el fin de poder alcanzar los objetivos planteados en el capítulo anterior.

### **2.2 Reseña Histórica De Las Redes HFC.**

A finales de los años 40, surgieron las primeras redes de telecomunicaciones donde se empleaba un medio transmisor como lo es el cable. La idea era la de permitir la entrega de la señal de televisión en pueblos muy pequeños que yacían en los valles de Pennsylvania, Estados Unidos, debido a que por la condición geográfica no había posibilidad alguna de emitir y receptar señal cuya fuente de origen era la estación más cercana, la cual estaba en Philadelphia. (Ruíz, 2013)

El señor John Walson, quien era el dueño de uno de los almacenes de equipos de televisión, tenía serios impedimentos para comercializar dichos aparatos porque las complicaciones en la recepción de la señal eran causadas por el bloqueo de las enormes montañas. Es así que, Walson pensó en una idea que lo llevó a colocar una antena al final sobre un poste en lo alto de una montaña. La señal captada por la antena se transportaba a través de un cable que venía hacia el almacén del Walson, donde finalmente pudo exponer sus televisores, pero ésta vez con imágenes. (Ruíz, 2013)

Las ventas de televisión crecieron enormemente y Walson se hizo responsable de repartir la señal hasta los domicilios de los clientes, con la máxima calidad posible, lo que lo obligó a diseñar bajo su criterio los primeros amplificadores de señal. Es así como se recuerda que fue el nacimiento de *CABle TeleVision*. (Ruíz, 2013)

Tiempo después, Milton J. Shapp puso en práctica los conocimientos del pionero para instalar el servicio en edificios individuales, abriéndose camino en el sector de las telecomunicaciones como el primero en hacer uso de los cables coaxiales. (Ruíz, 2013)

Finalmente, las redes de televisión CATV (CABle TeleVision) se popularizaron y extendieron por todo Estados Unidos. En el año de 1972, la compañía *Service Electric* ofreció el primer servicio de televisión de pago también conocido como "Pay TV", denominado *Home Box Office* o HBO, a través de su sistema de cable. Si bien cuenta la historia, la emisión de HBO con el tiempo llegó a ser espectacular, transformándose en el servicio de cable con mayor difusión y demanda del mercado en ese tiempo. (Ruíz, 2013)

### **2.2.1 Definición de las redes HFC.**

En la actualidad, existen varios tipos de redes que permiten a las empresas de Telecomunicaciones brindar servicios interactivos incorporados, tales como telefonía, datos e internet; los cuales necesitan una gran capacidad de ancho de banda y velocidad de transmisión para su negocio y es por ello que, se hace relevante el uso de la fibra óptica. (Ruíz, 2013)

Los avances tecnológicos han permitido la implementación de nuevos sistemas de transmisión de datos, voz, internet, televisión, etc.; consiguiendo así que las arquitecturas de televisión por cable también hubieran evolucionado de forma natural hasta crear una red interactiva, que ha posibilitado la utilización del ancho de banda del espectro electromagnético

de manera bidireccional, adicionando a esta red la facultad de agregar diversos servicios digitales de todo tipo, en uno solo.

Debido a la arquitectura de las redes HFC (Híbrido Fibra - Coaxial), las cuales están dotadas de alta eficiencia para la transmisión de video, voz y datos, etc., también contribuyen a la reducción de gastos por mantenimiento e infraestructura ya que los elementos que conforman la red HFC (Híbrido Fibra - Coaxial) pueden ser asignados, modificados o controlados de forma remota.

### **2.2.2 Estructura de las Redes HFC.**

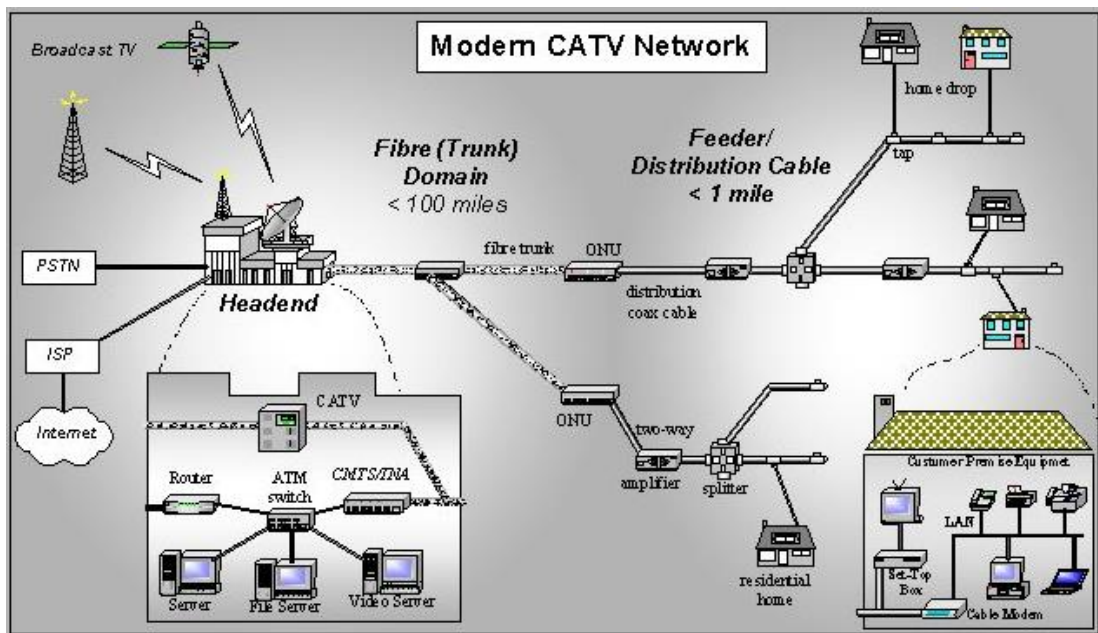
Las redes HFC (Híbrido Fibra - Coaxial) se diseñaron con la finalidad de combinar la velocidad y confiabilidad de la Fibra Óptica con los bajos costos y el ancho de banda del cable Coaxial para la emisión y recepción de datos, voz y video para proveer a los clientes de servicios flexibles, económicos y con mayor fidelidad.

El estándar que se utiliza en el diseño, la implementación, el monitoreo y el mantenimiento de las redes HFC (Híbrido Fibra - Coaxial), el cual permite brindar la diversidad de servicios antes expuestos se conoce como “Estándar DOCSIS”, cuyas siglas en inglés son "Data Over Cable Service Interface Specifications", lo que en español se lee “Especificaciones de interfaz para servicios de datos por cable”. Éste estándar es en sí, un conjunto de protocolos de datos o normas que se emplean para el mantenimiento preventivo y correctivo de las señales digitales acondicionadas a las redes de cable.

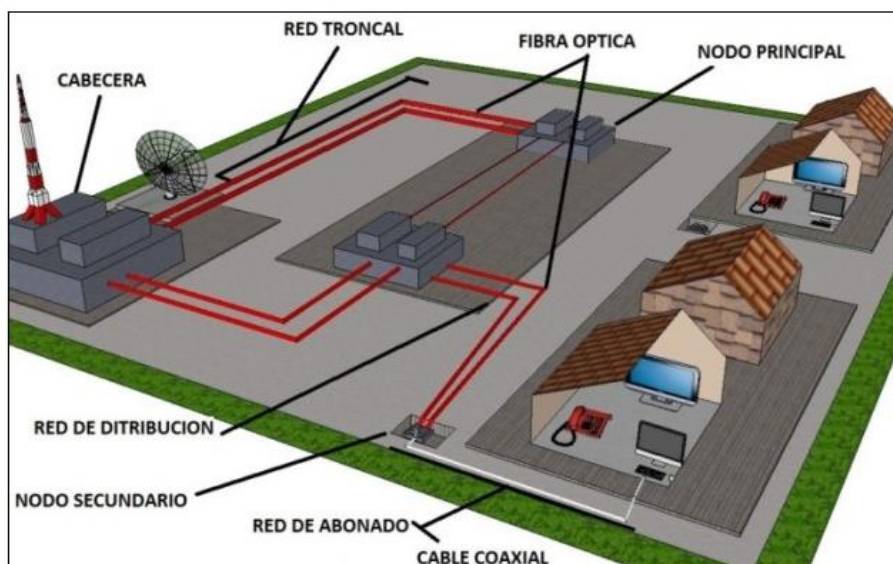
Para continuar, la estructura de una red HFC (Híbrido Fibra - Coaxial) está compuesta por cuatro componentes principales: a) La cabecera (Head - End), b) la red troncal, c) la red de distribución y d) la red de acometida (abonados); donde las dos primeras partes forman la Planta Interna de la red HFC, mientras que los dos restantes corresponden a la Planta Externa.



A continuación, se menciona que la cabecera y la red troncal corresponden al tramo diseñado con Fibra Óptica, mientras que los otros dos componentes redes restantes se implementan con cable Coaxial; como se puede visualizar en las figuras 2.1 (a) y 2.1 (b), las cuales describen la estructura básica de una “Red Híbrida Fibra - Coaxial”.



**Figura 2. 1:** Esquema básico de una Red Híbrida Fibra Coaxial (a)  
**Fuente:** (Castro, 2012)



**Figura 2. 2:** Componentes de una Red Híbrida Fibra - Coaxial (b)  
**Fuente:** (Polania, 2014)

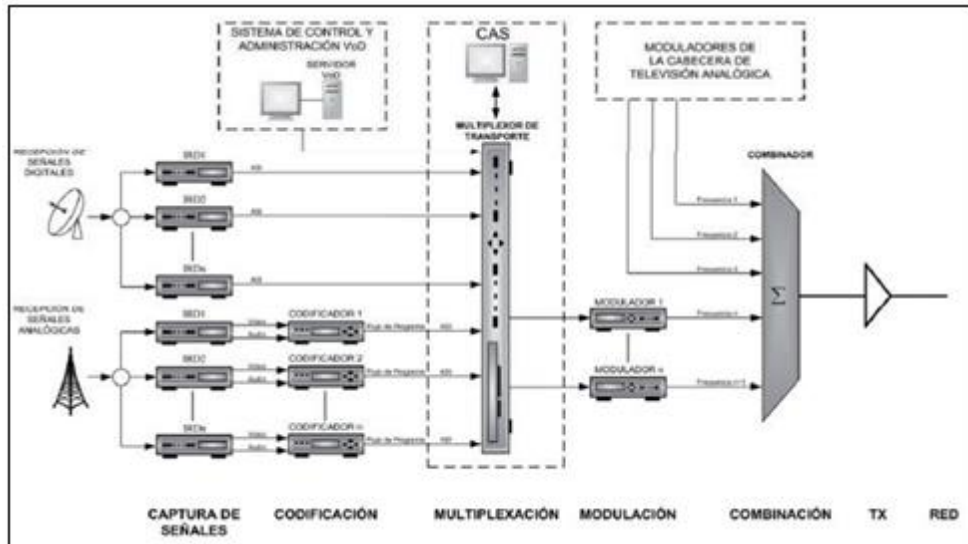
En los siguientes párrafos se procederá con la explicación acerca de cada uno de los componentes de una red HFC (Híbrido Fibra - Coaxial):

**a) La cabecera (HEAD END).**

Es el cerebro desde donde se administra todo el sistema y su complejidad está directamente relacionada con los servicios prestados para los cuales fue diseñada.

La cabecera contiene equipos de procesamiento de señal y equipos de comunicación para descarga y envío de información a toda la red, es por ello que dispone de un conjunto de antenas que reciben la señal de los canales de TV y radio de diferentes sistemas de distribución de señal de televisión por cable (satélite, microondas, etc.), así como de enlaces con otras cabeceras o estudios de televisión y con redes de otro tipo que aportan información susceptible de ser canalizada a los abonados por medio del sistema de cable.

Las redes de CATV (televisión por cable) originalmente fueron diseñadas para la distribución en un único sentido (unidireccional) de señales de TV, por lo que la cabecera era simplemente un nodo que receptaba las señales de TV y las adaptaba a su transmisión por medio del cable. Actualmente, las cabeceras se han renovado considerablemente en complejidad para complacer los nuevos requerimientos de servicios de empaquetados y de envíos y recepción de datos a gran velocidad.

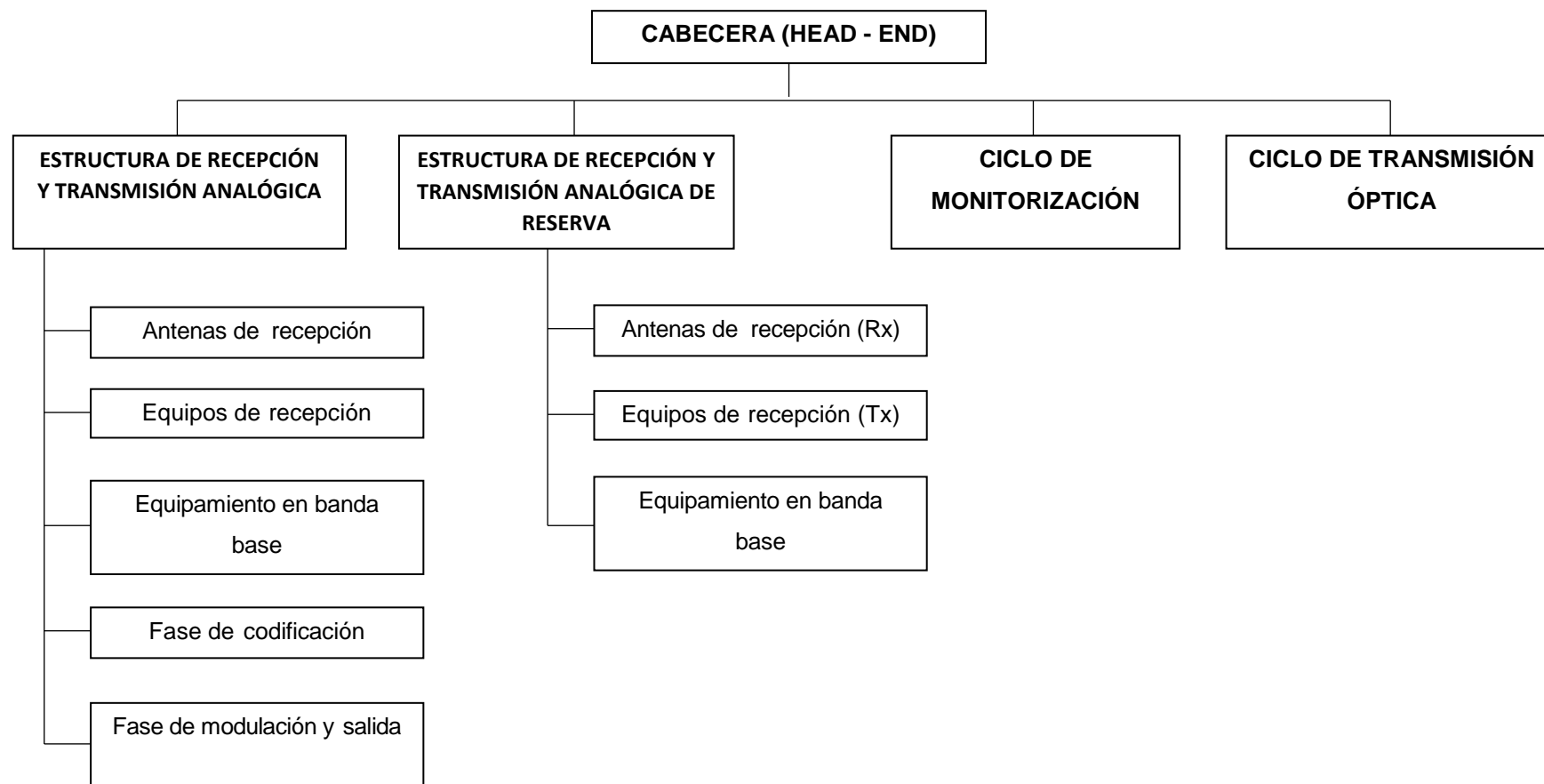


**Figura 2. 3:** Esquema de una cabecera o Head – End.

**Fuente:** (Wikispaces, s.f.)

El Head-End es un conjunto de equipos el cual está compuesto por cuatro fases tales como: Estructura de transmisión óptica, estructura de monitoreo, estructura de recepción, transmisión analógica y de reserva.

En el esquema que se muestra en la figura 2.4, se pueden observar cada uno de los elementos que corresponden a los bloques que conforman la cabecera:

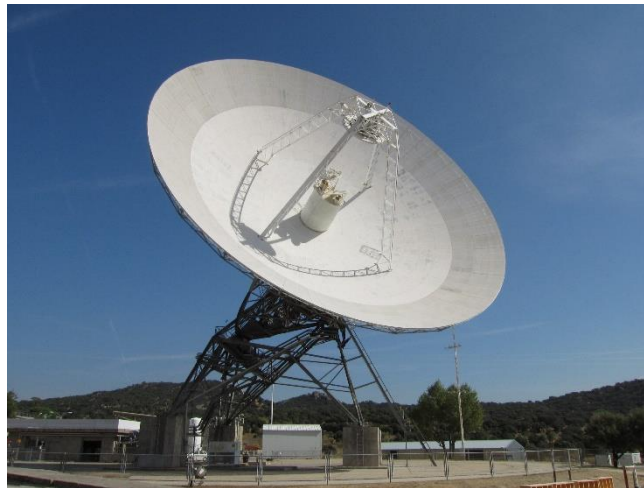


**Figura 2. 4:** Esquema de las partes que componen la cabecera de una red HFC.  
**Elaborado por:** El Autor

- **Sistema de recepción y transmisión analógica.**

Como se muestra en la figura 2.4, este sistema incluye cinco elementos que lo conforman, los cuales se describirán a continuación:

- Antenas de recepción: Para recepción de los canales televisivos se utilizan antenas parabólicas ubicadas estratégicamente para cubrir la señal de CATV (televisión por cable) a nivel universal.

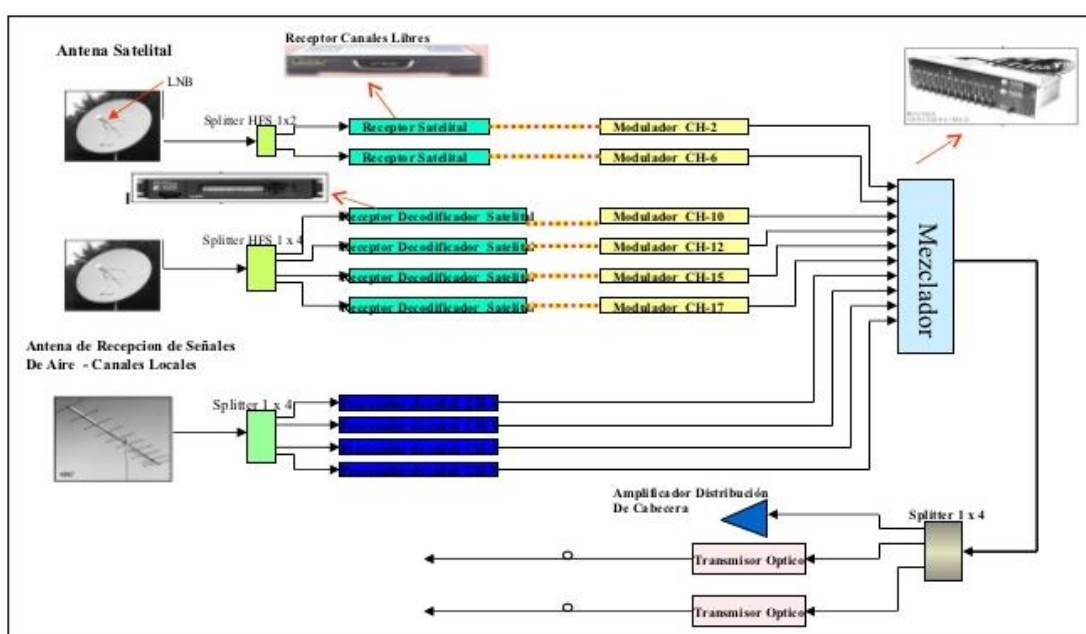


**Figura 2. 5:** Gráfico de una antena parabólica utilizada en un Head – End.  
**Fuente:** (Quispe, 2015)

- Equipos de recepción: Los receptores de satélite tienen un sistema para controlar la señal recibida del satélite mostrando estadísticas de los valores recibidos. También tienen la característica de modo tiempo compartido, donde puedes usar un simple receptor para conmutar más de dos canales. Las señales de salida de los receptores, en banda base, pasan a la matriz de conmutación.
- Equipos en banda base: Contiene a la matriz de conmutación, la cual posee múltiples entradas y salidas, para que cualquiera de los canales enlazados en las entradas pueda direccionarse asimismo a cualquiera de las salidas.
- Generadores: Están encargados de juntar las señales que llegan a sus entradas, permitiendo la formación de un mosaico en la pantalla, que incluye textos y gráficos. La salida del generador

vuelve a la matriz de conmutación para que siga la ruta adecuada hacia la etapa de modulación.

- Etapa de codificación: Se instalan codificadores para los canales pagados. Estos propagan la información que se transmite a los terminales de abonado (*set-top*) para que puedan visualizar los canales que haya contratado el abonado. Las salidas de los decodificadores están moduladas y por ello se conectan a la etapa de modulación y salida.



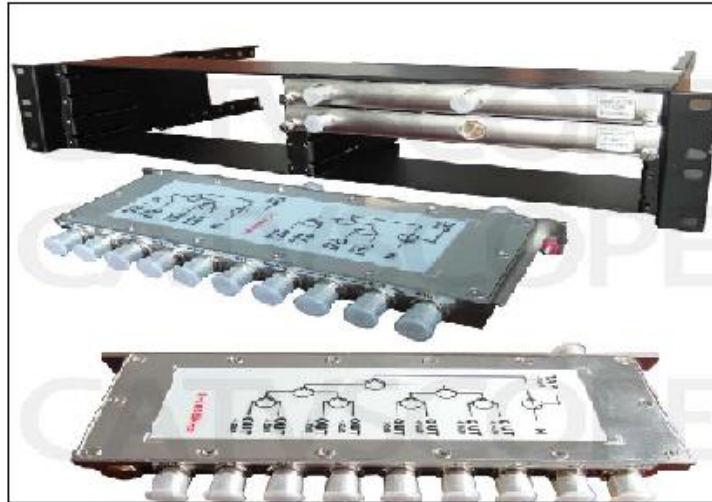
**Figura 2. 6:** Esquema del procesamiento de la señal a través de una demodulador.  
**Fuente:** (Jarvey González Romero, 2011)

- **Sistema de recepción y transmisión analógica de reserva.**

Respecto al sistema de recepción y transmisión analógica de reserva, está compuesto por las antenas de recepción, los equipos de recepción y la etapa de modulación.

- **Sistema de transmisión óptica del camino descendente.**

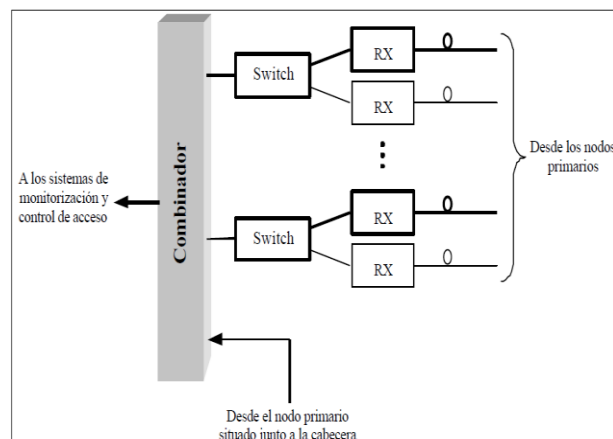
- ✓ *Divisores.* distribuyen la señal de radiofrecuencia desde la cabecera a los diferentes transmisores.



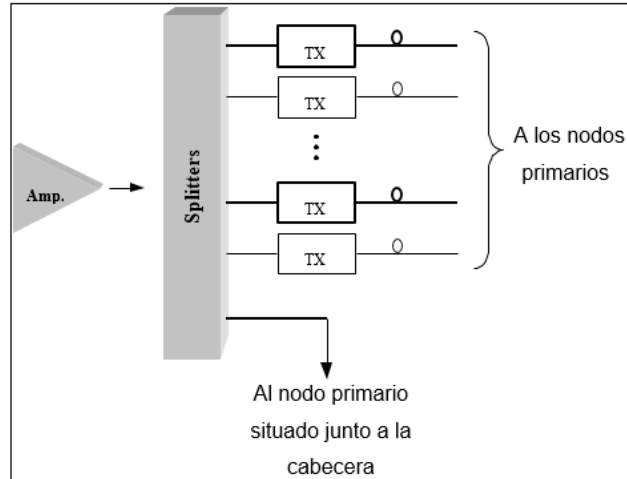
**Figura 2. 7:** Divisores o Splitters en un Head-End.  
**Fuente:** (Hangzhou Scope Technology Co., 2016)

- ✓ *Transmisores ópticos del downstream.* Transmiten la señal desde la red troncal hasta los nodos ópticos.
- **Sistema de recepción óptica del camino ascendente.**
  - ✓ *Combinador.* Esta encargado de unificar las señales recibidas, dando como resultado una única señal, la cual es llevada hacia los sistemas de monitorización y de control de acceso.

A continuación, se presentan a través de las figuras 2.8 (a) y (b) los sistemas de transmisión y recepción óptica de la cabecera, los cuales describen mejor el procesamiento de las señales que realizan los combinadores.



**Figura 2. 8:** Sistema de recepción óptica de la Cabecera. (a)  
**Fuente:** (Ruíz, 2013)



**Figura 2. 9:** Sistema de transmisión óptica de la Cabecera. (b)  
**Fuente:** (Ruíz, 2013)

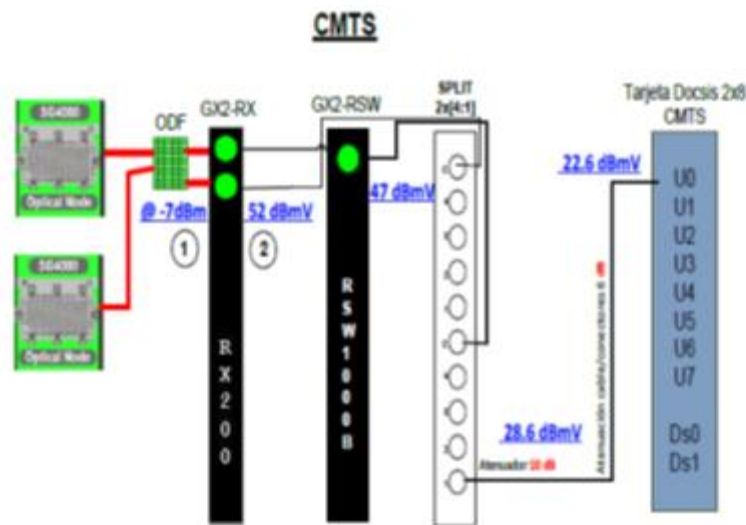
- **CMTS (Cable Modem Termination System).**

Es aquel que permite a los clientes finales obtener los servicios de internet o voz sobre IP (VoIP), el cual está ubicado en la cabecera y se interconecta con el proveedor de servicios de web y los cabledmódems de los clientes finales.



**Figura 2. 10:** Equipo CMTS Arris E6000.  
**Fuente:** (TELECOMMUNICATIONS, s.f.)





**Figura 2. 11:** Topología de retorno de un CMTS.  
**Elaborado por:** El Autor

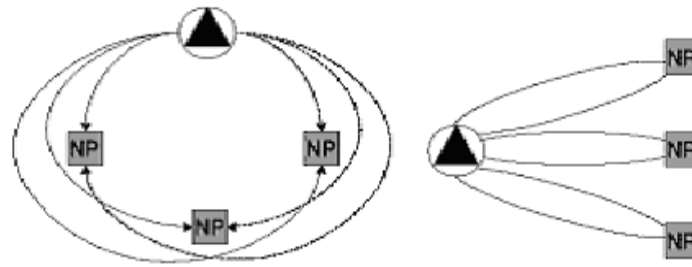
**b) La red troncal.**

Su función es la de distribuir la señal generada en la cabecera hacia la red de distribución, la cual corresponde al sistema de cable.

La red troncal está constituida por la red primaria óptica que junta la cabecera con los nodos primarios. Por otro lado, se diseña con topologías en forma de anillo o estrella mediante enlaces repetitivos; la red troncal secundaria óptica une los nodos primarios y los nodos finales, su nivel de cobertura es menor que en la red troncal principal.

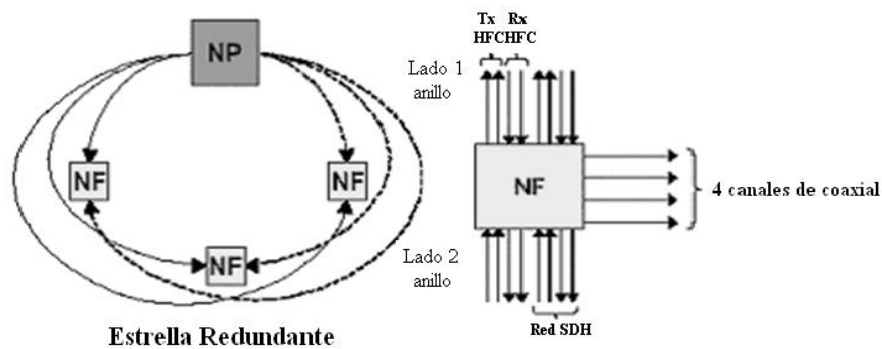
En seguida, se distribuyen las señales por medio de la fibra óptica hasta los conversores ópticos-eléctricos. De esta manera, se pueden identificar dos tipos de enlace:

- **Enlace cabecera-nodos primarios:** Estructura formada por un anillo de fibra óptica.



**Figura 2. 12:** Enlace cabecera nodos primarios.  
**Fuente:** (Lliguichuzhca, 2010)

- **Enlace nodo primario-nodo secundario.** es una red óptica que une los nodos primarios (NP) y los nodos finales (NF). Poseen un nivel de cobertura de unos 500 hogares. Su estructura puede ser o bien una red en estrella o bien un anillo de fibra. Los nodos secundarios constituyen el convertidor óptico-eléctrico, a partir del cual la señal deja de ser de naturaleza óptica y pasa a tener naturaleza eléctrica y, por tanto, a distribuirse con coaxial.



**Figura 2. 13:** Enlace cabecera nodos secundarios.  
**Fuente:** (Lliguichuzhca, 2010)

### c) La red de distribución.

Se constituye como una estructura en modelo bus hecha de cable coaxial, la cual transporta las señales descendentes hasta antes del hogar del abonado. Es decir que, distribuye las señales desde el nodo de fibra óptica hasta los usuarios del servicio, pasándolas por diversos dispositivos como, por ejemplo, los amplificadores.

- **Medios de transmisión**

Los medios de transmisión son material físico que debido a sus propiedades electrónicas, mecánicas, ópticas o de cualquier otro tipo, permiten el transporte de información entre terminales que geográficamente están distantes. En general, los medios de transmisión se utilizan para conectar diferentes dispositivos (nodos).

En el caso de las redes HFC (Híbrido Fibra Coaxial), se necesitan medios de transmisión guiados porque las ondas electromagnéticas se valen de un camino físico para su transporte. También están los medios de transmisión del tipo no guiados, por ejemplo, el aire, el agua, etc. (Estudio de los Medios de Transmisión en Redes Computacionales Mixtas (Alámbrica - Inalámbrica), 2012)

En los medios de transmisión guiados que utilizan los sistemas híbridos para su implementación tenemos:

- **Cable Coaxial**

Es utilizado para distribuir la señal hasta el usuario final, su principal característica es que permite el cruce de las señales de datos que viajan del nodo óptico y el paso de la corriente eléctrica para la alimentación de los equipos activos dentro de la red HFC (Híbrido Fibra Coaxial). Respecto al uso que se le dé al cable coaxial es que se determina el tipo de cable coaxial que se implementará en la red. A continuación, se describen los siguientes tipos de cables coaxiales:

- Cable Coaxial 750: Más comúnmente utilizado para conectar a los cuatro puertos coaxiales que dispone el nodo óptico y repartir la señal hacia el amplificador que se tiene en el ramal, además de realizar la alimentación eléctrica del nodo óptico. Se lo denomina 750 porque tiene un diámetro de 0,750 pulgadas, una impedancia de 75 ohmios y su atenuación es según la temperatura y la frecuencia.



**Figura 2. 14:** Cable coaxial 75Ω.  
**Fuente:** (Ruíz, 2013)

- Cable Coaxial 500: Ayuda con la conexión del primer amplificador hasta el TAP del usuario, esto se conoce como “Red Express” de la dentro de una arquitectura HFC, la cual realiza la alimentación eléctrica a la red debido a que su conductor central está diseñado de aluminio y cobre.

Siendo así que, en la parte interna de cobre del conductor central se propagan las señales de baja frecuencia como la alimentación eléctrica y por la parte externa del conductor central de aluminio transitan las altas frecuencias.



**Figura 2. 15:** Cable coaxial 500Ω.  
**Fuente:** (Ruíz, 2013)

Finalmente, se lo conoce como 500 ya que su diámetro es de 0,500 pulgadas, una impedancia característica de 75 ohmios y, asimismo, su atenuación se basa en la temperatura y en la frecuencia.

- Cable Coaxial RG6: Sirve para conectarse desde el TAP hasta el equipo final (cliente). Se tiene como norma general el uso de este cable para la red de última milla.
- Cable Coaxial RG11: Sirve para conectarse desde el TAP hasta el equipo del cliente. Las reglas de instalaciones proponen el uso de este cable para redes de edificios o conjuntos residenciales puesto que la señal va a ser distribuida a una mayor cantidad de equipos.

Por último, este cable presenta menor atenuación que el RG6.

- **Cable de fibra óptica.**

Es un medio de transmisión cuya guía de onda transmite la información en forma de haces de luz. En un lado de la fibra se coloca un diodo luminoso y por el lado del receptor se coloca un fotodiodo, el cual es capaz de emitir un pulso eléctrico cuando hay luz. Debido a la capacidad de respuesta de los fotodiodos a la luz que está dada por fracción de nanosegundo, lo que permite velocidades en el rango de los gigabits por segundo.

Está compuesta de hilos de vidrio o silicio fundido muy delgados y su principio físico básico es el de la reflexión. Además, posee medios transparentes con diferente índice de refracción, un núcleo y una capa protectora que lo envuelve.

De acuerdo a las trayectorias que puede tomar un haz de luz en el interior de la fibra se generan los modos de propagación, obteniéndose como resultado dos tipos. Cuando varios haces de luz pueden circular por varios caminos dentro de la fibra se conoce como fibra multimodo; mientras que si únicamente se propaga un haz de luz en línea recta sin rebotar, se trata de una fibra monomodo.

Por otro lado, es importante mencionar algunas de las ventajas que se tiene al utilizar este tipo de cable:

- Velocidad de propagación de la señal de acuerdo a la luz.
- Capacidad de transmisión en el orden de Gbps.
- Sin interferencias electromagnéticas.
- Poca atenuación.
- Mejora el ancho de banda.
- No admite problemas de corto circuito y riesgos de origen eléctrico.
- Diámetro y peso más considerables.

En relación a lo expuesto acerca del cable de fibra óptica, se puede observar la figura 2.16 donde se presenta un conjunto de fibras con revestimiento, el cual ayuda a proteger los hilos.



**Figura 2. 16:** Cable de fibra óptica.  
**Fuente:** (Polania, 2014)

- **Nodo.**

Es uno de los componentes más relevantes en una red HFC, el cual se mantiene activo ya que ya que posibilita la combinación de la fibra óptica con el cable coaxial, haciendo así que la señal pueda ser transportada hasta los otros elementos de la red como son los amplificadores y taps.



**Figura 2. 17:** Nudo óptico Motorola.  
**Fuente:** (Company., 2016)

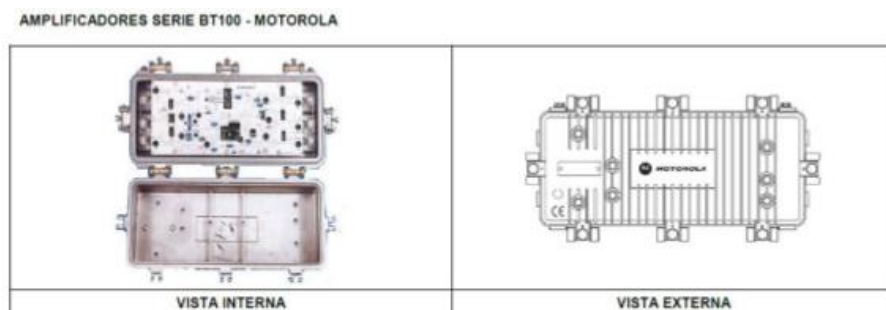
- **Amplificador.**

Es un elemento activo en la red HFC, el cual recupera la señal que debido a las distancias prolongadas o la cantidad de abonados se atenúa, lo que hace necesario regenerar la señal para brindar servicios de calidad.

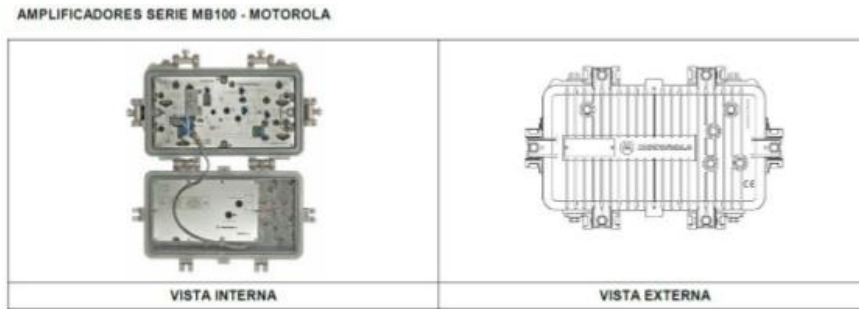
A continuación, se muestran algunas figuras que corresponden a los tipos de amplificadores comúnmente utilizados en las redes HFC.



**Figura 2. 18:** Amplificador MB.  
**Fuente:** (Company., 2016)



**Figura 2. 19:** Amplificador BT de Motorola.  
**Fuente:** (Company., 2016)



**Figura 2. 20:** Amplificador MB de Motorola.  
**Fuente:** (Company., 2016)

- **Divisores.**

También conocidos como splitters, son componentes pasivos en la red que se ayudan a dividir la señal RF en diferentes sentidos.

- **Acopladores.**

Se emplean en caso de que una fracción de la energía principal de radiofrecuencia deba ser direccionada en un sentido diferente en la red.



**Figura 2. 21:** Acoplador de una red HFC.  
**Fuente:** (Multicomstore, 2016)

- **TAP.**

Es el último componente en una red HFC, es un elemento pasivo y su función es distribuir la señal a los clientes. Pueden ser de 2, 4 y hasta 8 puertos.

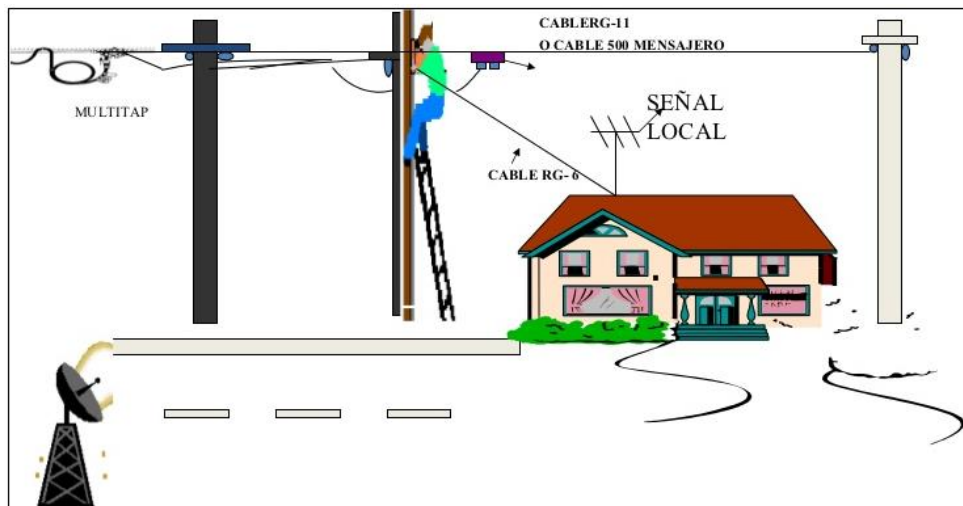




**Figura 2. 22:** TAP de una red HFC.  
**Fuente:** (Multicomstore, 2016)

**d) La red de acometidas.**

También conocida como “Red de abonados” o “Red de última milla”, se constituye por un cable coaxial que se utiliza para llevar la señal desde el cable de distribución hasta la casa del cliente. Como acotación se menciona que, las acometidas necesitan de una conexión al sistema de tierra y de un cable flexible entre la entrada y el receptor (televisión, computador, cable modem, etc.); si hay múltiples receptores en una instalación se utiliza un receptor de señales. (Liguichuzhca, 2010)

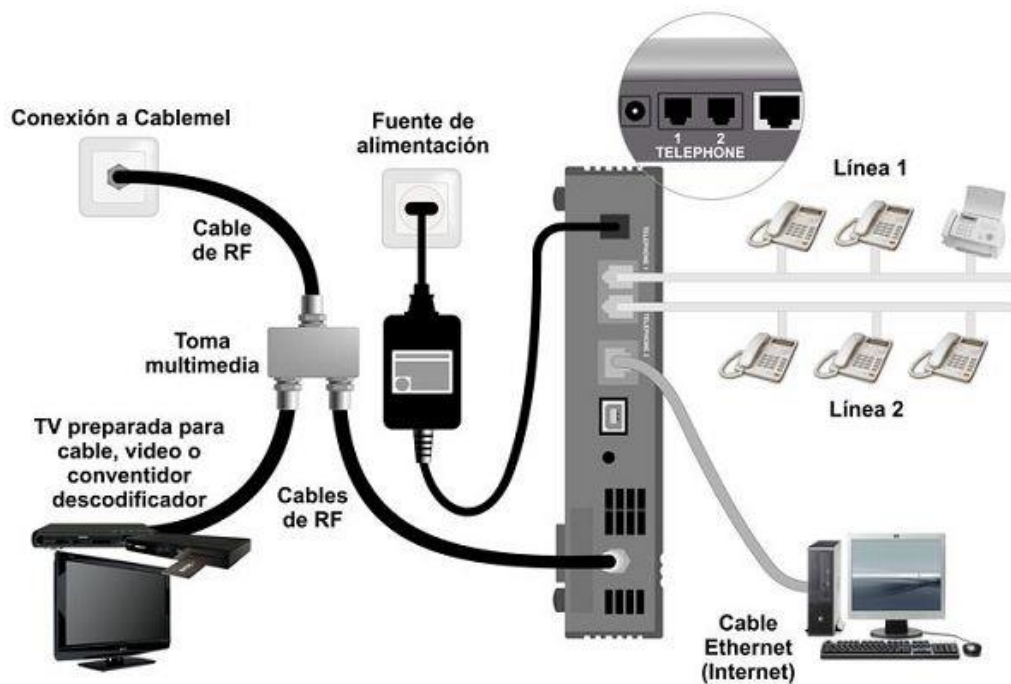


**Figura 2. 23:** Esquema de la red de acometida en HFC.  
**Fuente:** (Jarvey González Romero, 2011)

En la red de acometida también podemos encontrar los siguientes elementos: Divisores o splitters y atenuadores FAN (filtros), además de los equipos terminales para el usuario:

- **Cable módem.**

Es el equipo final (terminal) que posee el abonado en casa, su función se basa en brindar a los usuarios el acceso a los servicios de internet. Una de las características de este elemento es que posee un puerto RF para la conexión del cable coaxial RG6, el cual recoge la señal que proviene de la red de distribución HFC, además de un puerto RJ45 para conectar la PC. (Freire, 2011)



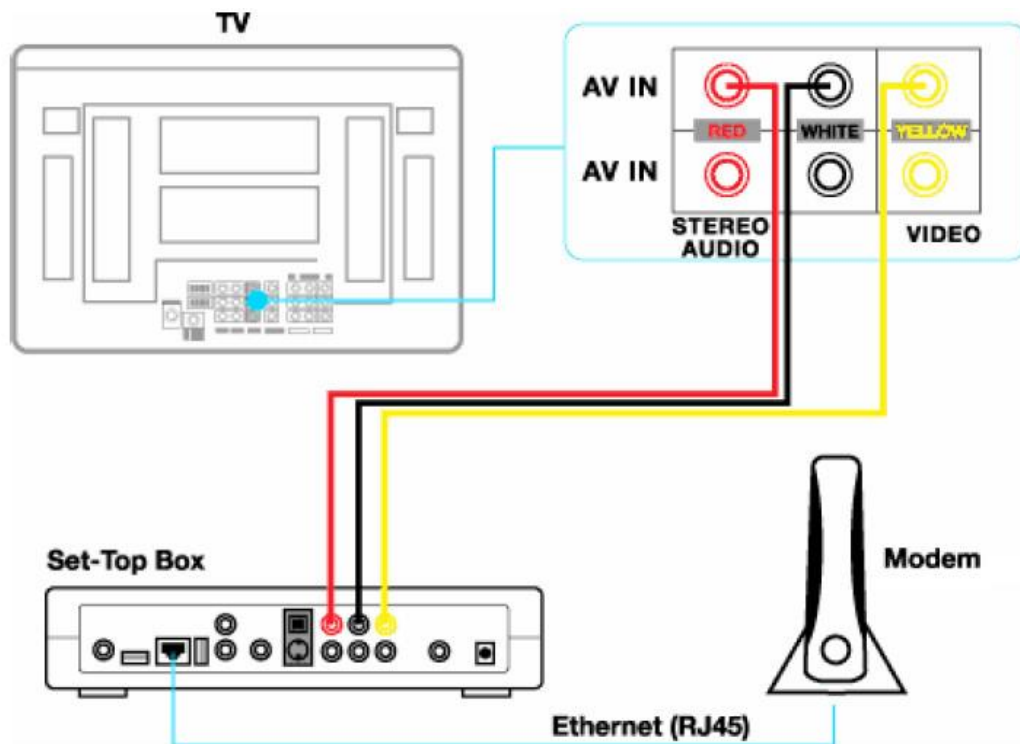
*Figura 2. 24: Esquema de los cable módems.  
Fuente: (Arqhys, 2016)*

- **Multimedia Terminal Adaptor (MTA).**

Este es otro equipo de usuario final a través del cual se brinda acceso al servicio de telefonía a los clientes. (Freire, 2011)

- **Decodificador.**

Equipo terminal de usuario que decodifica la señal de TV que se emite por medio de la red HFC. El decodificador tiene diversos puertos de radiofrecuencia para conexión al cable RG11 y así poder brindar televisión. (Freire, 2011)



*Figura 2. 25: Esquema de un decodificador.  
Fuente: (YbiGames, 2012)*

## 2.3 Estándar DOCSIS

### 2.3.1 Evolución del estándar DOCSIS

En este punto, se tratará de hacer un breve resumen acerca de la evolución del estándar DOCSIS para mejorar la conectividad entre la fibra óptica y el cable coaxial, por lo tanto:

El primer enunciado respecto a DOCSIS fue la versión 1.0, la cual fue publicada en marzo de 1997, y en seguida se presentó la versión más próxima DOCSIS 1.1 en 1999 por el mes de abril.

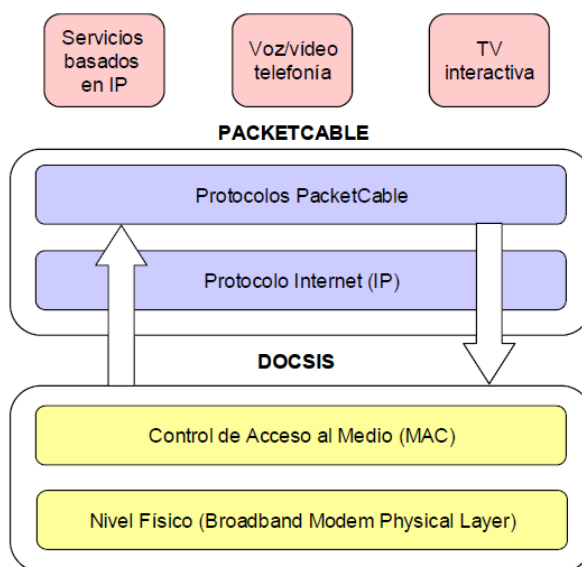
Por consiguiente, en la tabla 2.1 se presentan las características más sobresalientes respecto a la evolución del estándar DOCSIS en función del tiempo:

EVOLUCIÓN DEL ESTÁNDAR DOCSIS			
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES			
DOCSIS 1.0	DOCSIS 1.1	DOCSIS 2.0	DOCSIS 3.0
<p>Servicio de acceso al internet.</p> <p>Compartición del cable coaxial a varios suscriptores en la red.</p> <p>Aceptada únicamente en EEUU.</p> <p>Velocidad de subida de 5 Mbps y de bajada de hasta 38Mbps por canal.</p>	<p>Agrega servicio telefónico.</p> <p>Soporte de servicios con garantías de QoS para problemas de retardo.</p> <p>Existe más de un canal DOCSIS.</p> <p>Velocidad de subida de 10 Mbps y de bajada de hasta 38 Mbps por canal.</p>	<p>Uso de tarifas de datos ascendentemente.</p> <p>Nuevos métodos de modulación: S-CDMA (Acceso Múltiple de División Síncrona del Código) y A-TDMA (Acceso Múltiple de Frecuencia de División Ágil Avanzada del Tiempo).</p> <p>Desarrollo de módems de bajo costo.</p> <p>Soporte de servicios simétricos.</p> <p>Mayor inmunidad frente al ruido y servicios IP multicast.</p> <p>Arquitectura abierta.</p> <p>Compatibilidad con las versiones de DOCSIS 1.0 y 1.1 .</p> <p>Modulación más alta (64QAM) y canales con más ancho (6.4 MHZ).</p> <p>Velocidad de subida de 30.72 Mbps y de bajada de hasta 38 Mbps por canal.</p>	<p>Incremento del ancho de banda por cablemódem hasta 100Mbps simétricos.</p> <p>Inclusión de IPv6.</p> <p>Uso de la encriptación AES</p> <p>Ofrece servicios "Triple Play" sobre IP con mucha flexibilidad.</p> <p>Aumenta la capacidad de transmisión.</p> <p>Mejora el ancho de banda de la red.</p>

**Tabla 2. 1:** Evolución del estándar DOCSIS en función del tiempo.  
**Elaborado por:** El Autor.

En la figura 2.26 se puede apreciar la arquitectura del estándar DOCSIS en su versión 2.0, la cual se considera más significativamente dentro del proceso de actualizaciones del estándar DOCSIS debido a que se hicieron mayores aportes que contribuyeron a la mejora de las redes HFC.

Esta versión incluye los servicios de empaquetados y su configuración haciendo usos de un conjunto de protocolos del modelo de capas OSI, lo cual se revisará en el siguiente punto.



**Figura 2. 26:** Arquitectura del estándar DOCSIS 2.0.  
**Fuente:** (Alvarez Campana, 2009)

### 2.3.2 Generalidades del estándar DOCSIS.

El estándar DOCSIS, es el más sobresaliente dentro del ámbito de las redes de cable, razón por la cual es aceptado como estándar por ITU, ETSI y SCTE.

- **Características.**

DOCSIS utiliza el método de acceso TDMA/SCDMA y asegura una diversidad opciones disponibles en las capas 1 y 2 del modelo OSI, la capa física (PHY) y la de control de acceso al medio (MAC).

- **Capa Física (PHY).**

La capa física está encargada del transporte de información entre el módem de cable (CM) del sistema de terminación de Cable-Módems (CMTS) y la cabecera con los correspondientes recorridos a lo largo de la fibra y del coaxial. Se puede enviar y recibir datos simultáneamente al momento de utilizar frecuencias bajas para transmitir la información del CM al CMTS y las frecuencias más altas para enviar los datos del CMTS al CM.

**Tabla 2. 2:** Cuadro comparativo de las transmisiones en la capa física.

	<b>TRANSMISIÓN UPSTREAM</b>	<b>TRANSMISIÓN DOWNSTREAM</b>
<b>Rango de frecuencias</b>	50 – 750 o 860 MHz	5 a 45 MHz
<b>Modulación</b>	64 QAM – 256 QAM	QPSK – 16 QAM
<b>Ancho del Canal</b>	6 MHz	Variable entre 200 KHz y 3.2 MHz
<b>Velocidad bruta</b>	30.34 Mbps – 40.44 Mbps	320 Kbps - 10 Mbps
<b>Transporte</b>	Frames MPEG2 de 188 bytes 1 byte Sync + 3 bytes header + 184 bytes payload	Paquetes Ethernet de 18 – 1518 bytes
<b>Multiplexación</b>	TDM = Time Division Multiplexing	TDMA Time Division Multiple Access Minislots de 16 bytes largo nominal (puede ser mayor)
<b>Corección de Errores</b>	FEC = Foward Error Correction Red Solomon Coding= 16 bytes Total = 188 bytes mpeg2 + 16 bytes FEC = 204 bytes	FEC = Foward Error Correction
<b>Encriptación</b>	DES = Data Encryption Standard	QPSK = 8 a 58 dBmv 16QAM = 5 a 55 dB mv

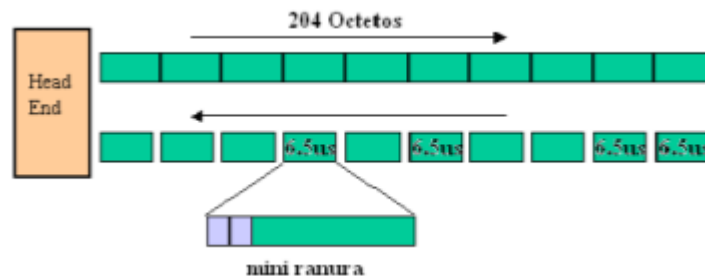
*Elaborado por: El Autor*

- **Capa MAC.**

Cumple la función de controlar el acceso de los módems al canal de retorno evitando que varios módems transmitan simultáneamente y se generen colisiones.

La transmisión ascendente se realiza a una frecuencia diferente a la transmisión en sentido descendente, debido a esto, es posible que el CM utilice un solo cable para transmitir y para recibir simultáneamente. La tarifa de datos ascendente es fijada por el operador del cable y se extiende a partir de 320kbps a 10Mbps.

Este mecanismo llamado Media Access Control (MAC) es una parte muy importante del protocolo. Según lo mencionado, los datos del computador al CM utilizan TCP/IP dentro de un paquete Ethernet. Estos mismos datos se envían al CMTS y viceversa pero dentro de un paquete.



**Figura 2. 27:** Transmisión de datos en sentido descendente y ascendente  
**Fuente:** (Lliguichuzhca, 2010)

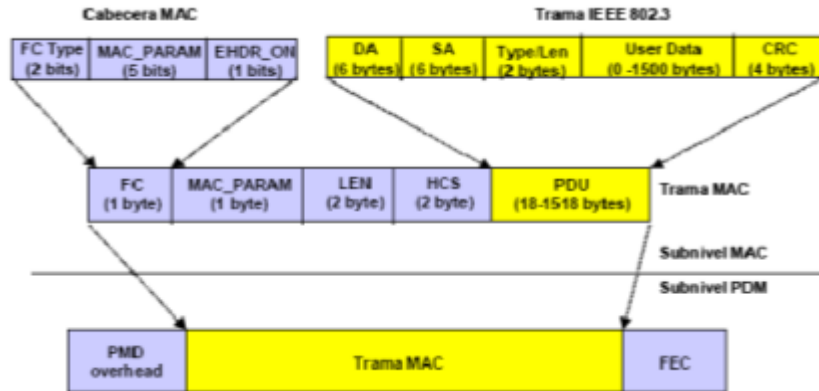
Como se puede ver en la figura 2.27, los datos en sentido descendente se envían en tramas de tamaño fijo; estas tramas se envían continuamente si no hay datos enviados para mantener la sincronización del sistema. Los datos para transmisión ascendente se basan en unidades, las unidades están en términos del tiempo en vez de octetos y cada unidad tiene 6,25 microsegundos de largo; la unidad se conoce como mini-ranura. Para que un CM transmita datos, solicita bastantes paquetes para enviar el número de octetos en una mini-ranura solicitando la orden.

- **Formato de Trama**

A continuación se enuncian los aspectos más importantes respecto al formato de la trama que se utiliza en la Capa De Enlace de Datos:

- Es la unidad básica empleada en la transferencia de datos entre la capa dos y los terminales (CM) de usuario.
- Su estructura es igual para el tráfico en sentido ascendente y descendente.
- Pueden ser de longitud variable.
- Se utilizan para fines administrativos, por ejemplo, la sincronización, petición de ancho de banda, envío de parámetros de operación a terminales (CM) y mensajes de control.

En seguida el CMTS decide qué datos deben ser enviados descendentemente, cuándo dar un permiso y cuantos octetos debe transmitir el CM ya que el CMTS tiene control completo del sistema.



**Figura 2. 28:** Formato de trama MAC ascendente  
Fuente: (Freire, 2011)

En la tabla 2.3 se expone la descripción de cada uno de los campos que conforman la trama MAC:

**Tabla 2. 3:** Cuadro comparativo de las transmisiones en la capa física.

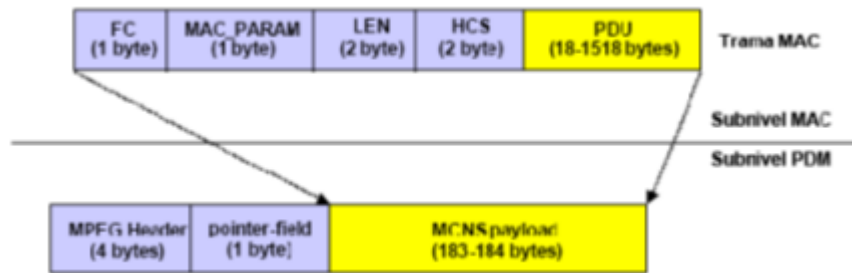
FORMATO DE LA TRAMA EN CAPA MAC			
CAMPOS		DESCRIPCIÓN	TAMAÑO
<b>FC</b>	Control de trama	Tipo de cabecera MAC	8 bits
<b>MAC_PARM</b>	Campo del parámetro	Cuenta las tramas MAC	8 bits
<b>LEN</b>	Longitud de la trama	Suma del número de bytes de la cabecera extendida y el número de bytes siguiente del campo HCS	16 bits
<b>HCS</b>	Secuencia de chequeo de la cabecera	Revisión de errores	16 bits
<b>FC_TYPE</b>		Tipo de control de trama	2 bits
<b>MAC_PARAM</b>	Parámetro de bits	Depende de FC_TYPE	5 bits
<b>EHDR_ON</b>	Estado 1, EHDR está activo	Permite que la cabecera MAC pueda extenderse y sea enteramente operable, permitiendo brindar nuevos servicios	1 bit

*Elaborado por: El Autor*

Antes de presentar las tramas MAC en el medio coaxial estas deben ser procesadas por la subcapa PDM, aquí se les aplicará la modulación y comprobación de errores que corresponda según el sentido de la comunicación. Además, en la subcapa PDM de la comunicación ascendente



se añadirá una cabecera indicando el comienzo y un campo de comprobación de errores FEC al final de la trama MAC.



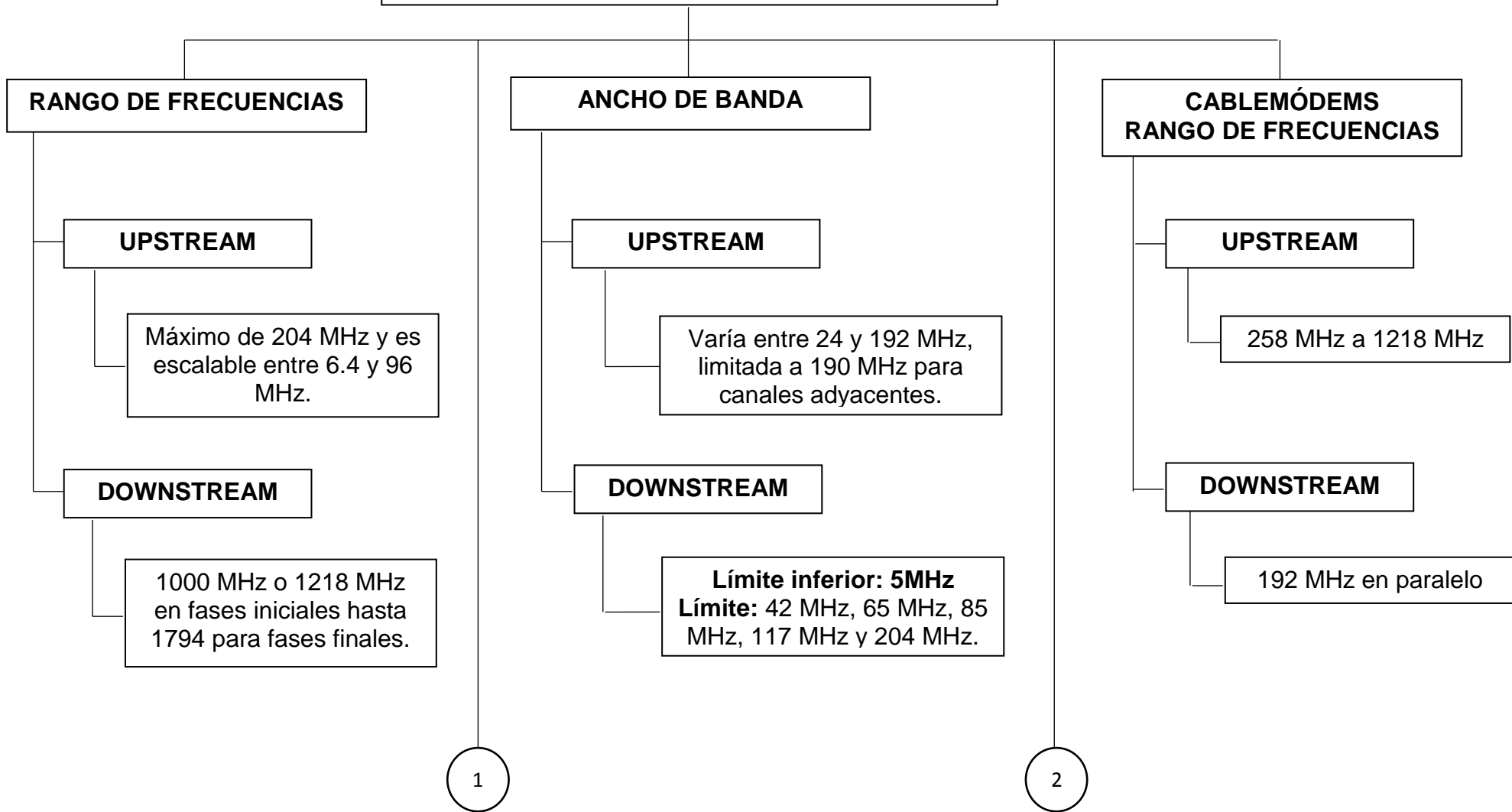
**Figura 2. 29:** Trama MAC descendente.

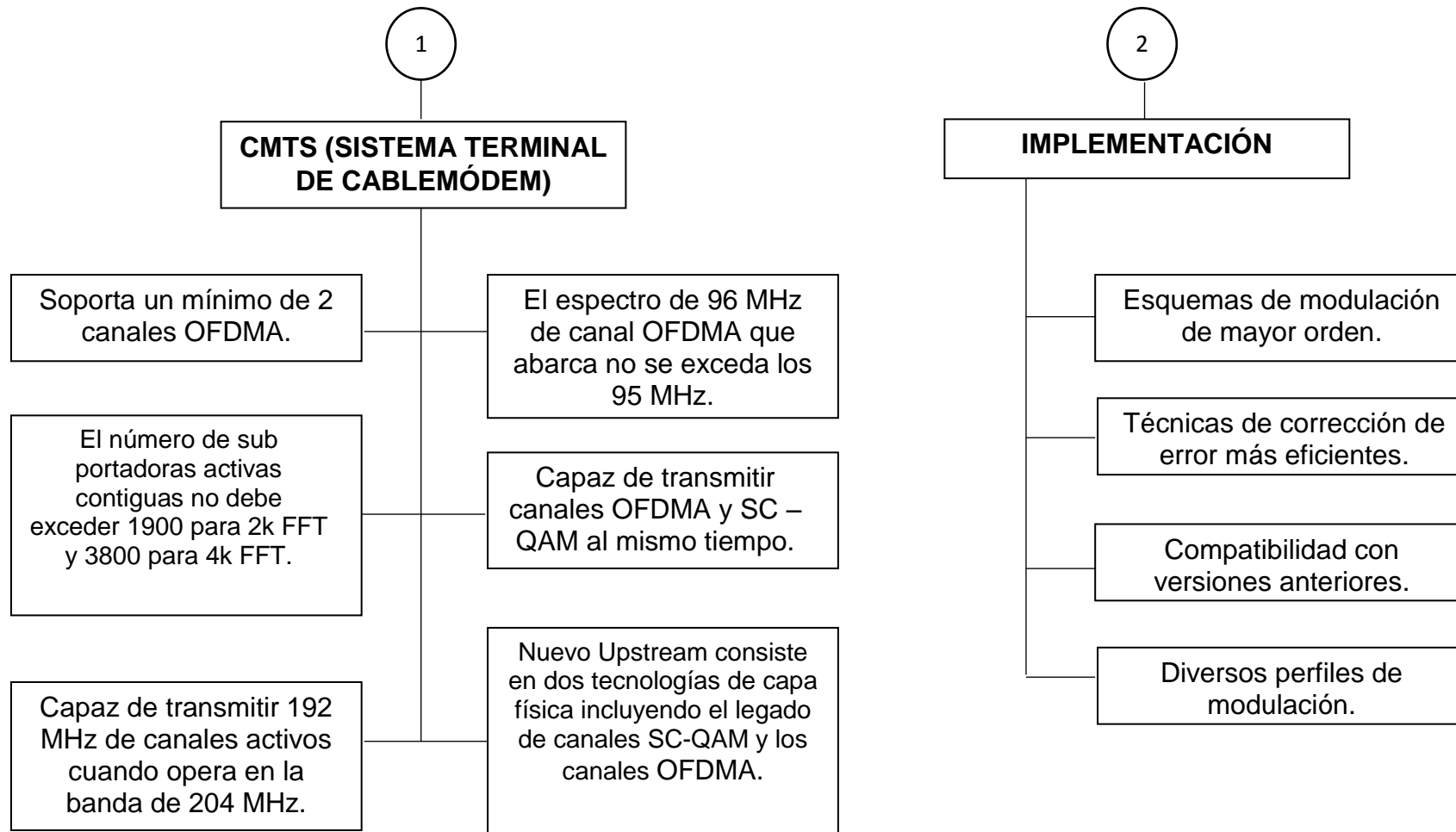
**Fuente:** (Lliguichuzhca, 2010)

### 2.3.3 DOCSIS 3.1

Antes de exponer la propuesta del diseño para la migración de la red HFC de la empresa ECUADORTELECOM S.A. al estándar DOCSIS 3.1, se hace necesario aclarar las condiciones, protocolos y requerimientos sobre los cuales opera el estándar en mención:

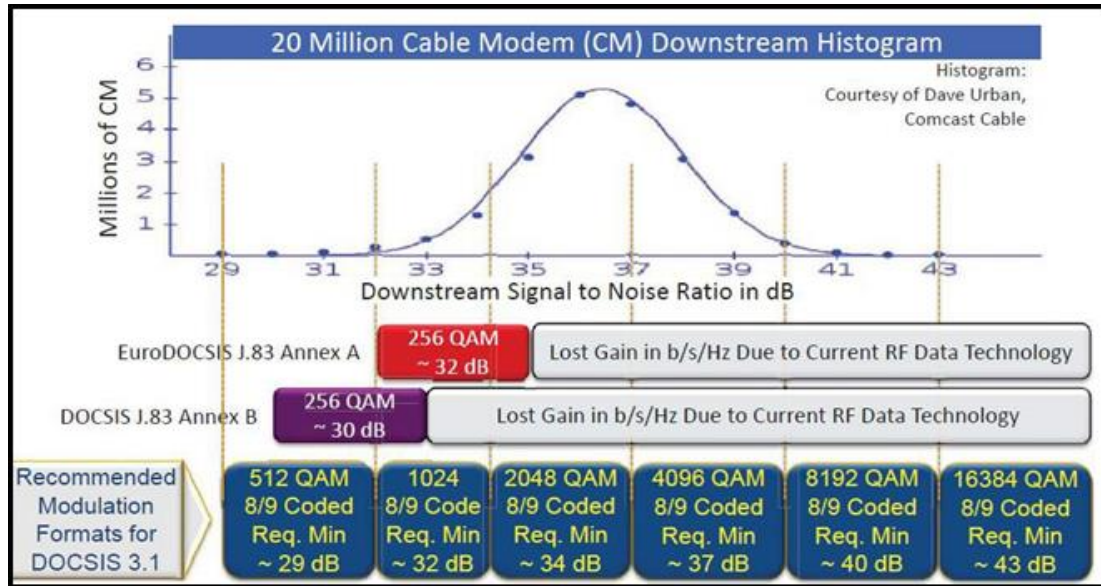
# CARACTERÍSTICAS DEL ESTÁNDAR DOCSIS 3.1



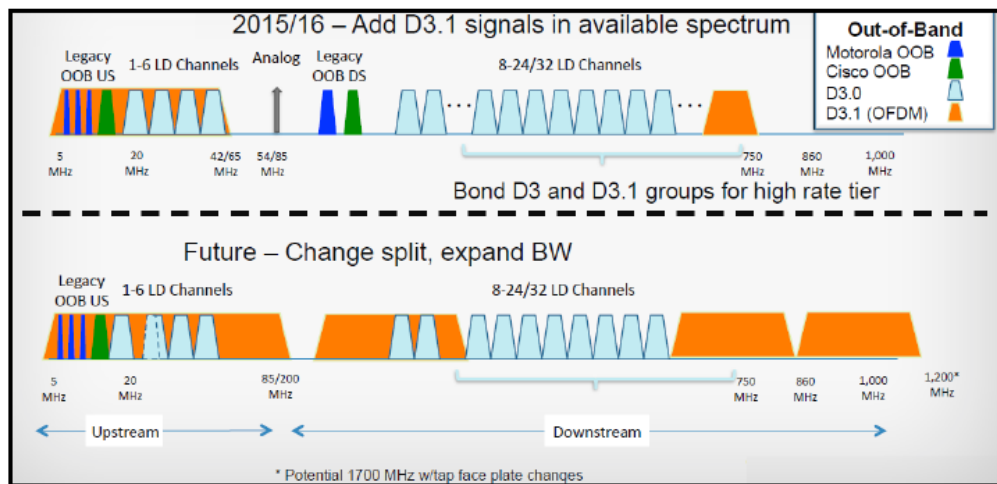


**Figura 2. 30:** Esquema de las características del estándar DOCSIS 3.1.  
*Elaborado por: El Autor*

En las figuras 2.31 y 2.32 se pueden revisar los rangos de modulación sobre los que opera el estándar DOCSIS 3.1, así como los rangos acerca del ancho de banda.



**Figura 2. 31:** Esquema de la modulación para el estándar DOCSIS 3.1.  
**Fuente:** (Castro, 2012)



**Figura 2. 32:** Esquema de la modulación para el estándar DOCSIS 3.1.  
**Fuente:** (Castro, 2012)

## **CAPÍTULO 3: ESTUDIO ACTUAL DE LA RED HFC DE LA EMPRESA ECUADORTELECOM S.A. EN LA CIUDAD DE MACHALA**

### **3.1 Introducción.**

La empresa ECUADORTELECOM S.A. fue fundada como una sociedad ecuatoriana con la finalidad de proveer una gama de productos tecnológicos de entretenimiento, interactividad y multimedia. Entre los servicios innovadores que ofrece la empresa tenemos el de comunicaciones fijas, conectividad inalámbrica y televisión por cable. Sin embargo, el producto más importante que oferta es el sistema triple play o servicio de empaquetado, el cual brinda en una sola oferta comercial los servicios de telefonía fija, internet y televisión pagada.

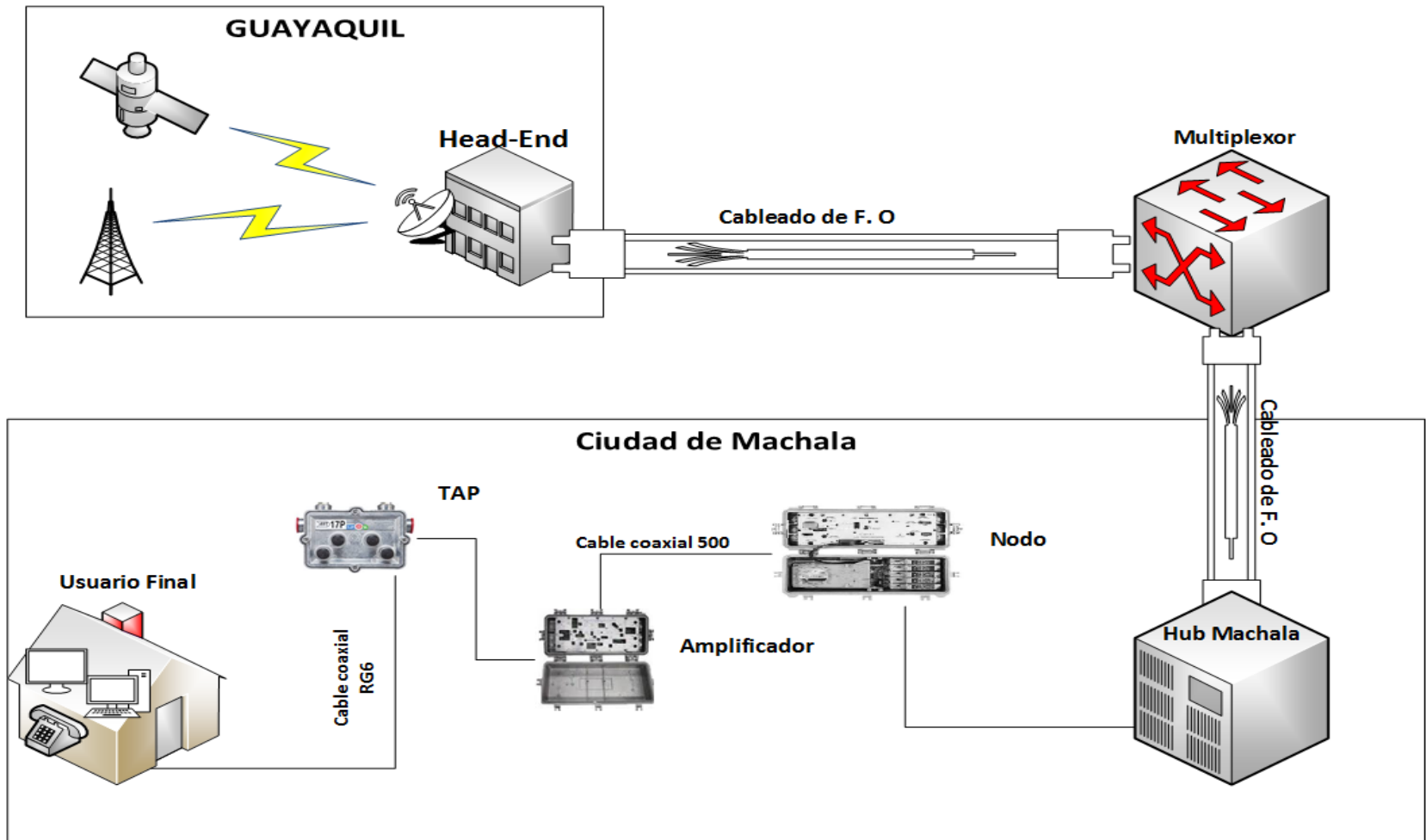
ECUADORTELECOM S.A es una compañía forjada con un código de ética empresarial basado en la inclusión de valores como honestidad, productividad, respeto, responsabilidad social, desarrollo humano y creatividad empresarial. Al mismo tiempo se rige bajo un reglamento de principios de conducta integral, con el objetivo de crear una imagen y cultura corporativa sostenible hacia la sociedad.

Su cultura empresarial es difundida a diario a través de los múltiples canales de información que posee la empresa, como ejemplo para el desarrollo de la sociedad.

### **3.2 Esquema de la red HFC de ECUADORTELECOM S.A.**

La empresa ECUADORTELECOM S.A., prestadora de servicios de empaquetado en el área de Telecomunicaciones, posee una infraestructura basada en las Redes Híbridas de Fibra y Coaxial, las cuales funcionan bajo el estándar DOCSIS 2.0.

El esquema de la red HFC de la empresa ECUADORTELECOM S.A. está compuesto de las siguientes partes: Head-End o cabecera, la red troncal, la red de distribución y la red de acometida.



**Figura 3. 1:** Esquema de la red HFC en el HUB de Machala.  
*Elaborado por: El Autor*

A continuación, se presentará información más detallada acerca de cada uno de los elementos que se pueden visualizar en el esquema antes mostrado como, por ejemplo, ubicación, número de abonados, equipos utilizados, etc.:

### **3.2.1 Head-End.**

El Head-End de ECUADORTELECOM S.A. está situado en la ciudad de Guayaquil, ésta central es columna vertebral de la red HFC y de su correcto funcionamiento dependen los servicios que ofrece la empresa, de entre los cuales se pueden mencionar: telefonía fija, datos y televisión.

Dichos servicios son ofertados en alrededor de cinco ciudades, estas son: GUAYAQUIL, IBARRA, MANTA, QUITO y MACHALA. En relación al presente trabajo de titulación cabe recalcar que está utilizando el HUB de MACHALA como lugar en el cual se origina el problema a solventar, y el cual tiene su Head-End o cabecera en la ciudad de GUAYAQUIL en la dirección antes mencionada.

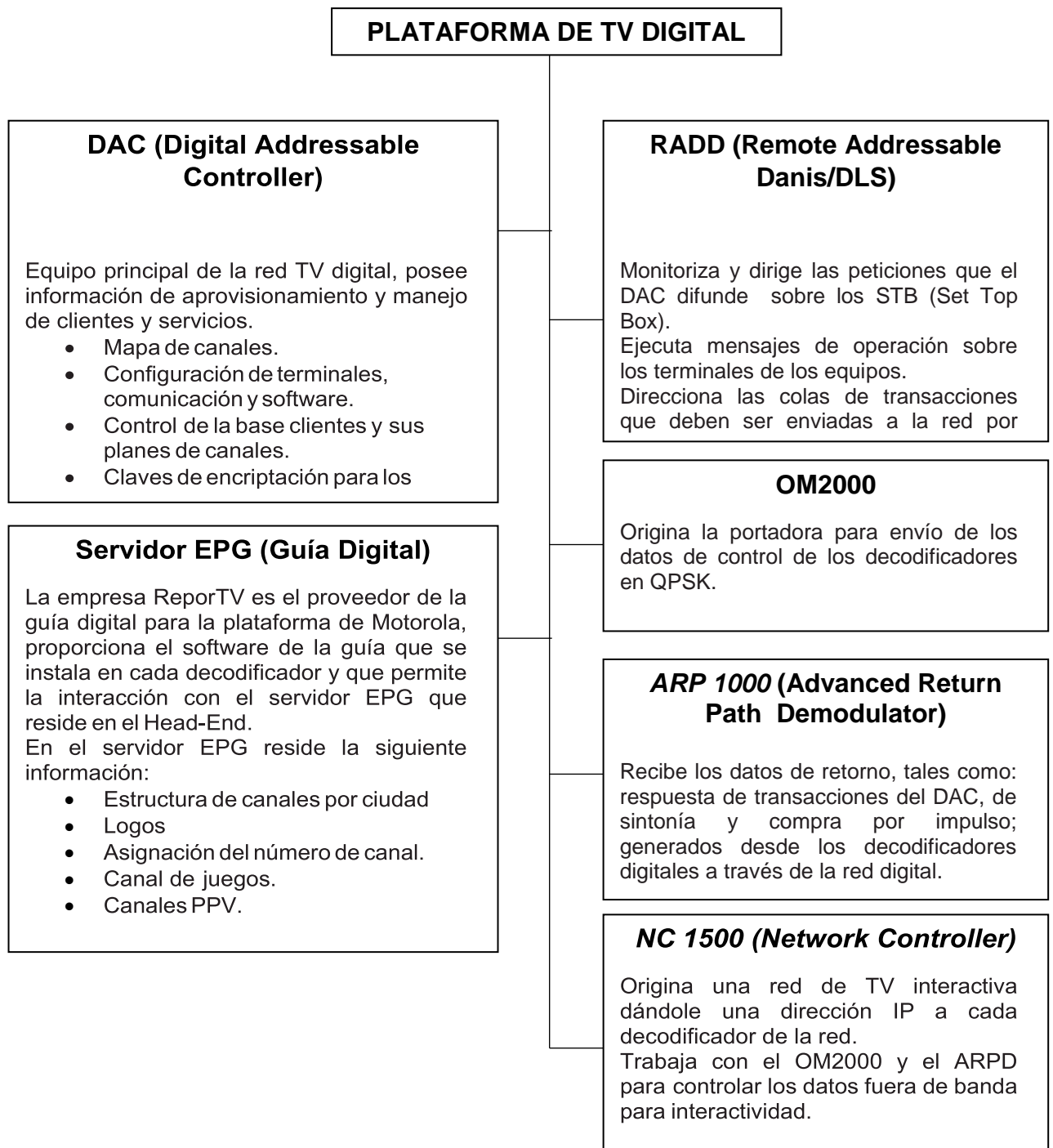
En el Head-End de Guayaquil se encuentran todos los equipos necesarios para la recepción de la señal Downstream y, a su vez, los dispositivos para poder transmitir la señal Upstream a los diferentes HUB's de GUAYAQUIL, MANTA Y MACHALA, mientras que la red HFC montada entre IBARRA y QUITO está administrada por un Head-End ubicado en la ciudad de Quito.

#### **a) Tipo de tecnología en la red HFC de ECUADORTELECOM S.A.**

En la red HFC de ECUADORTELECOM S.A. se utiliza la tecnología Motorola, la cual es empleada en la plataforma de TV Digital. Dicha tecnología permite encriptar con el estándar ATSC (Advanced Television Systems Committee) la señal digital de TV, que posteriormente es propagada por toda la red, con el objetivo de hacerla llegar hasta el usuario final.



La red de la plataforma de Televisión Digital está conformada por un conjunto de equipos, cuyas características serán expuestas en el esquema de la figura 3.2:



**Figura 3. 2:** Esquema de los equipos que conforman la plataforma de Televisión Digital.  
*Elaborado por: El Autor*

**b) Core de TV.**

La empresa ECUADORTELECOM S. A. cuenta con un core (núcleo) de Televisión IP en el Head-End de la ciudad de GUAYAQUIL, el cual permite modificar las señales recibidas desde los distintos medios que las originan, ya sean estos enlaces microondas, satelitales, por cable de fibra óptica, entre otros; a formatos IP, lo que facilita la tarea de transportar la información hacia los diferentes HUB's de GUAYAQUIL, MANTA y MACHALA. Esto da como resultado un ahorro substancial para la empresa, debido a que se evita la instalación de infraestructura para la inclusión de video en los distintos HUB's.

En la siguiente Figura 3.3 se muestra un esquema detallado de todos los dispositivos que conforman el Core de Televisión IP:

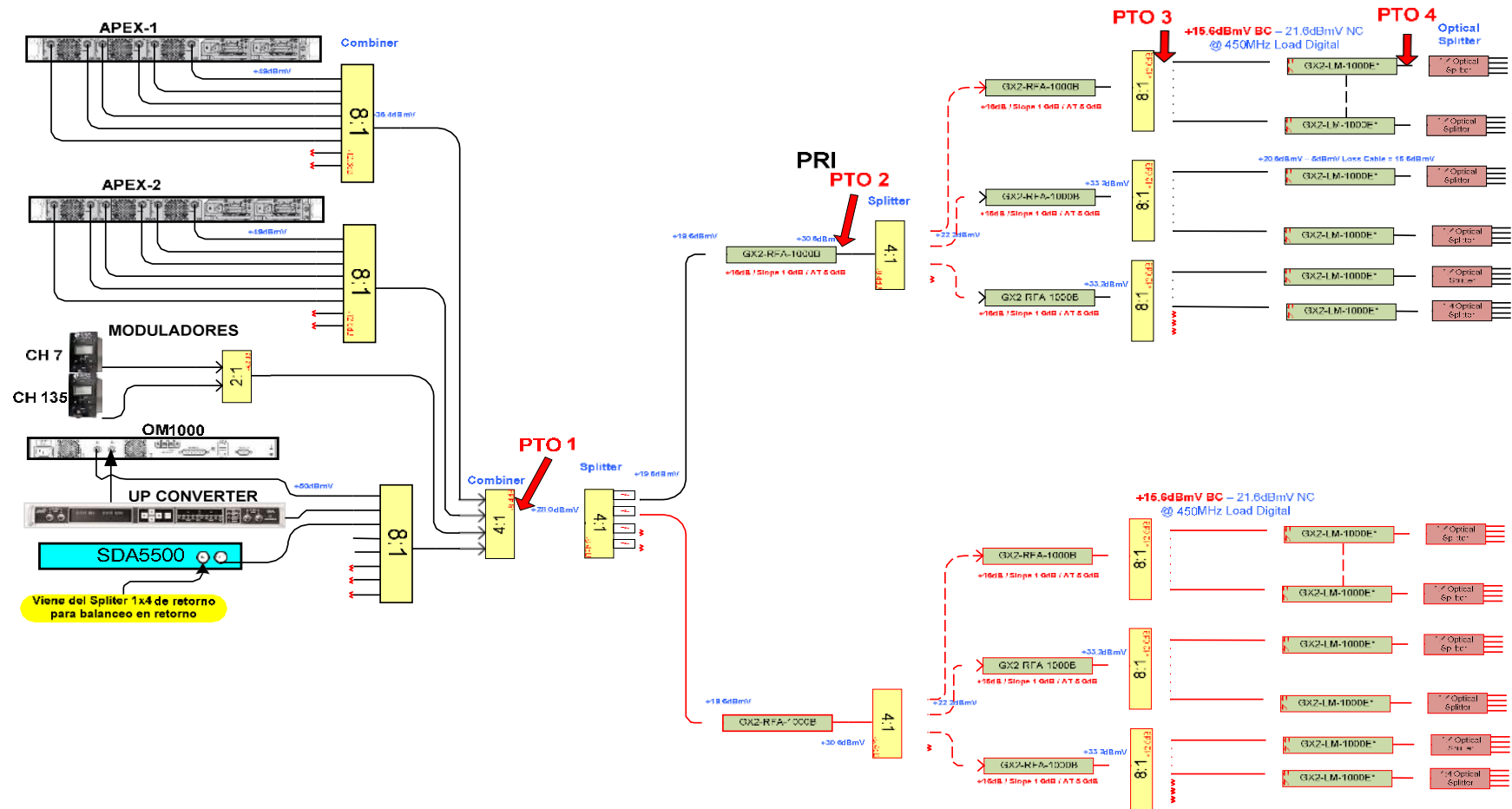


Figura 3. 3: Estructura de un Core de Video.  
Elaborado por: El Autor.

- *APEX 1000 (All-Purpose Edge-QAM):*  
Se encarga de generar para los canales de video portadoras digitales QAM, teniendo en cuenta que 48 portadoras sería el número máximo a producir.
- *MULTIPLEXOR OM 1000:*  
Su función es la de multiplexar señales de video, teniendo como objetivo principal potenciar la capacidad de transmitir datos en un enlace. Es por esto que se pueden insertar comerciales digitales y generar canales de video por streaming.
- *GX2-RFA-1000B:*  
Es un dispositivo que verifica que la señal de televisión se esté junto al del CMTS y para ello convierte el haz de luz óptico en señal eléctrica, la misma que es recibida desde los transmisores de los nodos.

**c) Core de Internet.**

El core (núcleo) de internet de ECUADORTELECOM S. A. tiene una estructura física establecida por un router de borde 7606 y un switch 4510, los cuales se encuentran conectados al proveedor global del servicio de datos, llamado TRANSNEXA; a su vez, por medio de los distintos equipos que yacen en el core se establece la conexión hacia los HUB's.

La función del switch es interconectarse mediante enlaces de diferentes capacidades, de acuerdo al requerimiento de cada HUB.

- *Router 7606:*  
Es un equipo que soporta el empaquetado de los servicios de triple play, sobre la red de Ethernet y fibra óptica. Además cumple con funciones de protocolos IP/MPLS.

- *Switch Core:*  
Brinda enlaces de múltiples opciones de ancho de banda controlados, de acuerdo al pedido de cada HUB.

#### **d) Core de Telefonía.**

Llámesese al core, núcleo o centro de redes, el lugar establecido para la convergencia y conmutación de las diferentes redes de telefonía, es decir, se realiza la transición de datos para lograr la conectividad de las líneas telefónicas no, únicamente, entre llamadas de la misma operadora sino que también con las otras existentes en el país. En el centro de redes de telefonía encontramos los siguientes equipos:

- *Softswitch Safari C3:*  
Es aquel que añade dispositivos lógicos del modelo PacketCable en un solo chasis e integra un sistema de facturación integral. Este equipo obtiene dentro de su plataforma un sistema de gestión llamado SafariView, debido a esto se puede administrar los servicios, abonados y usuarios de acceso. Uñeta con características muy importantes como:
  - Llamada en espera
  - Llamada en Conferencia
  - Transferencia de llamadas
- *Identificador de Llamadas:*  
El softswich es el encargado de interconectarse con las demás operadoras móviles y fijas además de establecer un enlace directo con las red de telefonía conmutada publica lo cual permite una conectividad directa con el core.

#### **e) Estructura interna de la Red HFC.**

En la estructura interna de la red HFC se encuentra el CMTS (Sistema de terminación de cable módems), el cual cumple la función de proveer a los usuarios finales los servicios de internet y voz IP, este equipo permite conectarse mediante una interfaz Ethernet a la red de internet y por medio


de tarjetas RF (radiofrecuencia) a la red HFC.

ECUADORTELECOM S.A en su planta interna cuenta con dos tipos de CMTS, los cuales son CMTS E6000 y el CMTS BSR 6400.

- CMTS ARRIS E6000

Este equipo tiene la capacidad de ofrecer servicios de datos alta velocidad, televisión IP y telefonía IP, opera con requisitos mínimos de energía y refrigeración, sus dimensiones y peso hacen que sea un dispositivo adecuado para ser utilizado en el Head-End. Una de las características más importantes es su software de mantenimiento en el cual se pueden actualizar los componentes activos que posee.

A continuación, en las tablas 3.1 y 3.2, se describen todas las características referentes a los dispositivos que conforman la planta interna de la red HFC de la empresa ECUADORTELECOM S.A.:

CMTS ARRIS E6000			
	Características Principales	Downstream	Upstream
		Rango de frecuencias	57-999 (DOCSIS 3.0); 90-1002
	Modulación QAM	64, 256 QAM	QPSK, QAM 8, 16 QAM, 32 QAM, 64 QAM
	Ancho de Banda	6 a 8 MHz	0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 6.4 MHz
	opera con ipv6 e IPV4		
	8 RF por tarjeta		
	32 canales por conector RF		
	MPLS L2 y L3 Vpn		
	24 Channel Bonding (Downstream)		
	Four Channel Bonding (Upstream)		
	DOCSIS 3.0 compatibilidad con multidifusión de vídeo IP (a través de control IGMPv3)		

**Tabla 3. 1:** Características del CMTS ARRIS E6000.  
**Elaborado por:** El Autor.

CMTS MOTOROLA BSR 6400		
Características Principales	Downstream	Upstream
Rango de frecuencias	91–870(DOCSIS 3.0)MHz	5 a 65 MHz
Modulacion QAM	64, 256 QAM	QPSK, 16, 32, 64, 128, and 256 QAM
Ancho de Banda	6 a 8 MHz	
opera con IPV4		
Routing Information Protocol (RIP) version 1 and 2		
SNMP v1/v2/v3		
MPLS L2 Vpn		
16-slot, 17 RU, NEBS-compliant chassis		
Telnet with security extensions		
Internet Group Management Protocol (IGMP) version 1, 2, and 3		



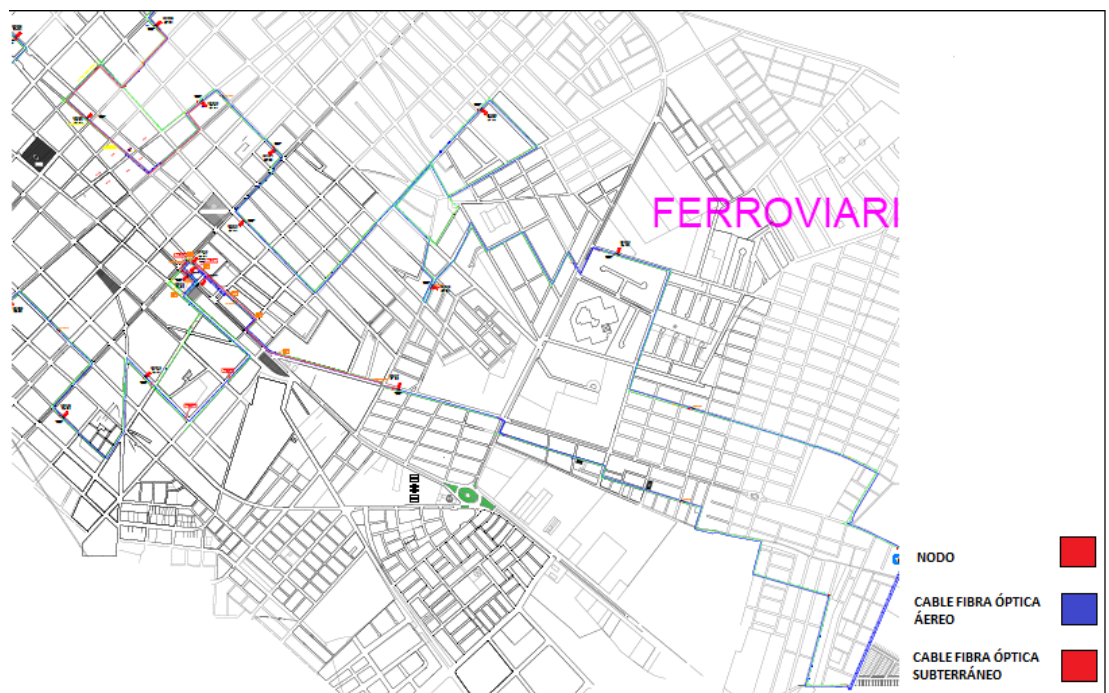
**Tabla 3. 2:** Características del CMTS MOTOROLA BSR 6400.  
**Elaborado por:** El Autor.



### 3.2.2 Red Troncal.

En la red troncal es donde se realiza la conexión híbrida del cable de fibra óptica y el cable coaxial. Es importante recalcar que, el cable de fibra óptica se extiende desde el HUB ubicado en la ciudad de Machala y se distribuye a lo largo de la misma enlazándose a los nodos existentes, para que desde ahí se haga el cambio del medio de transmisión al cable coaxial, el cual se distribuirá hasta llegar al abonado final.

En la gráfica de la figura 3.4 se puede visualizar la distribución del cable de fibra óptica en los alrededores de la ciudad de Machala, habiéndose instalado de forma subterránea o aérea de acuerdo a lo convenido en el diseño de la red:



**Figura 3. 4:** Red troncal de la red HFC  
**Elaborado por:** El Autor.

### 3.2.3 Red De Distribución.

La red de distribución de ECUADORTELECOM S. A. extendida en la ciudad de Machala equivale a una red con topología en forma de cascada, debido a que este tipo de diseños están sujetos a una gran fiabilidad, además, son de fácil y rápido desarrollo. La red de distribución consta de elementos activos (Nodo, Amplificador y Fuente) y pasivos (Divisores, Acopladores y TAP's) que abarcan toda la red, conformada por diecinueve nodos y un promedio de ocho amplificadores por cada nodo.

- *Nodos Ópticos:*

Los nodos ópticos están compuestos por 2 receptores ópticos, los mismos que se conectan por medio de hilos de fibra óptica que llegan desde el HUB. Estos hilos reciben la señal de downstream emitida desde el Head-End. También tiene 2 transmisores ópticos, los cuales emiten la señal de Upstream que es enviada hacia el Head-End. Por último, tiene 4 módulos RF cuya función es la de enviar la señal a través de los cables coaxiales hasta usuarios finales.

- *Amplificadores:*

Los amplificadores que se utilizan en esta red pueden ser de tres tipos, estos son: Mini Bridge (Mb y Mbv3), Broadband Line Extender (BLE), Broadband Trunk Distribution (BTD4 y BTD3).

En la tabla 3.3 se muestra la calibración de los nodos y amplificadores que integran la red HFC del HUB de la ciudad de Machala:

**Tabla 3. 3:** Calibración de nodos y amplificadores.

NIVELES DE CALIBRACION DE NODO Y AMPLIFICADORES				
EQUIPOS	FORWARD		DOCSIS	
	CH 7	CH 135	DW	US
NODOS	41	51	24	33
AMPLIFICADORES	41	51	24	33

**Elaborado por:** El Autor.

### 3.2.4 Red De Acometida.

La red de última milla o red de abonados, también llamada red de acometida, corresponde a la estructura final de la red HFC donde se provee al abonado del servicio realizando la respectiva instalación del mismo.

ECUADORTELECOM S.A. tiene cerca de 2000 abonados, entre residenciales y corporativos, en la ciudad de Machala. De igual forma, se presenta en la tabla 3.4 una estadística aproximada del número de clientes que la empresa tiene por cada nodo:

**Tabla 3. 4:** *Clientes por nodo.*

Clientes por nodo de HUB Machala	
Nodo	Clientes
MACH101	72
MACH102	118
MACH103	102
MACH104	187
MACH105	71
MACH106	94
MACH107	45
MACH108	109
MACH109	96
MACH110	93
MACH111	105
MACH112	82
MACH113	48
MACH114	55
MACH115	57
MACH116	129
MACH117	93
MACH118	16
MACH119	42
Total	1614

**Elaborado por:** *El Autor.*

Finalmente, se recalca que a la casa del cliente se llega con un cable coaxial RG6 y los equipos finales que se entregan a los clientes, permiten a través de un único cablemódem, la instalación del servicio empaquetado; lo que garantiza un servicio con garantías de instalación y mantenimiento.

### **3.3 Propuesta de migración al estándar DOCSIS 3.1.**

Para el presente trabajo de titulación la propuesta de diseño a presentar está basada en las siguientes observaciones:

El primer punto a recalcar es que, la migración de la red HFC de la empresa ECUADORTELECOM S.A. del estándar DOCSIS 2.0 al estándar 3.1 deberá realizarse en forma progresiva, debido a los diversos aspectos estratégicos, económicos y tecnológicos que se deben evaluar. Segundo, el estándar ya implementado debe convivir de manera simultánea y efectiva con el nuevo estándar DOCSIS 3.1 mientras se lleva a cabo el proceso de migración; con el objetivo de no generar molestias a los abonados ni costos a la empresa por fallos técnicos a nivel de red.

Por otro lado, para comenzar el proceso de migración se debe desarrollar con anterioridad un cronograma de actividades, presupuesto de gastos por mano de obra extra que se necesite para los trabajos de migración, entre otros; ya que el proceso de migración debe efectuarse en forma segura y organizada. Otra idea importante a mencionar es que, se deben revisar los equipos existentes con el fin de verificar cuales, de acuerdo a sus especificaciones técnicas y compatibilidad con el nuevo estándar DOCSIS 3.1, estarían o no aptos para el proceso de migración.

En relación a la idea anterior, resulta relevante hacer hincapié en que ECUADORTELECOM S.A. ya cuenta con dos equipos, estos son: el CMTS ARRIS E6000 y el CMTS MOTOROLA BSR 6400, los cuales son compatibles con el estándar al que se desea migrar la red; por lo tanto, hacen admisible el proceso de migración ya que conllevan a una reducción en los costos de inversión.

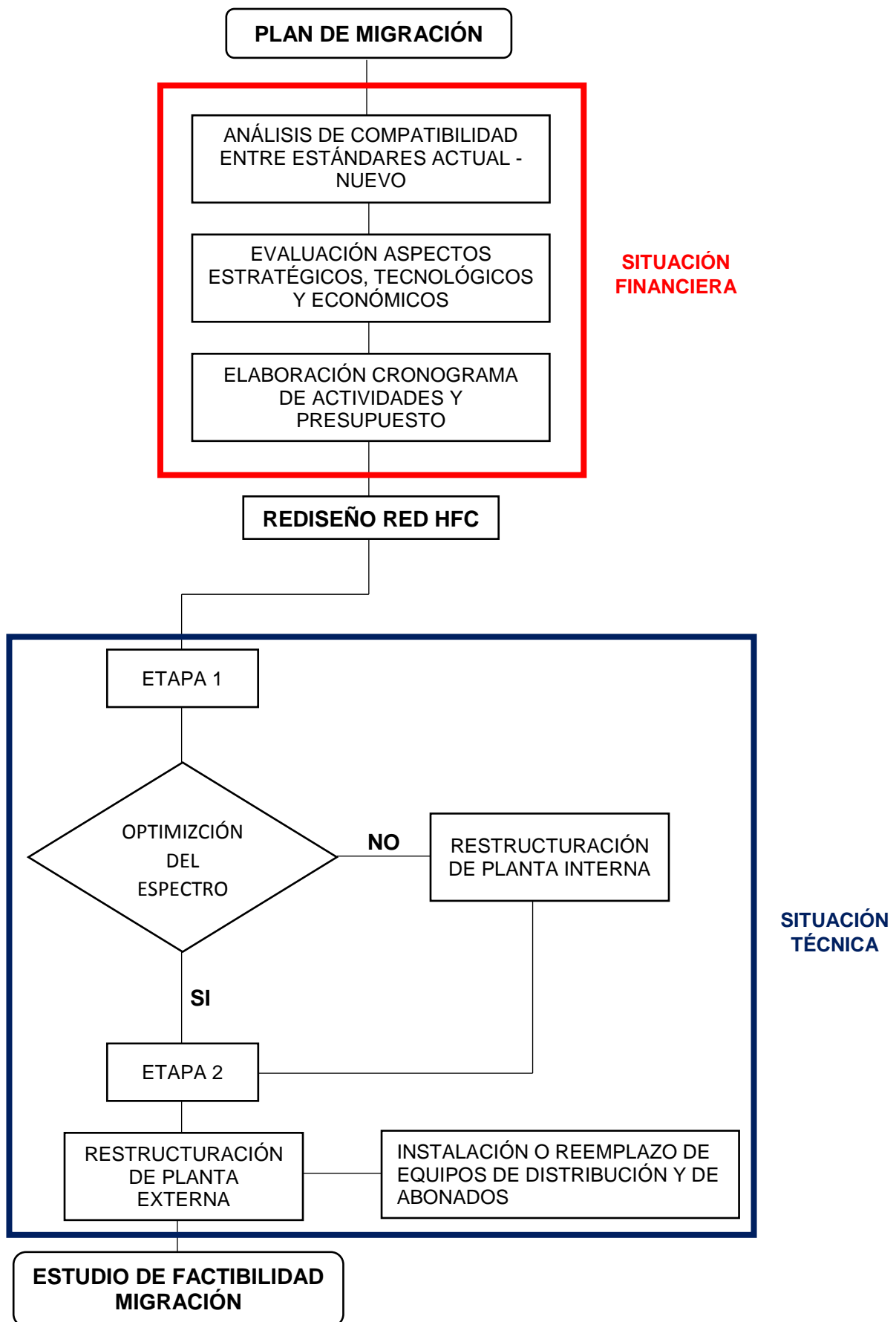
Además, al implementar el estándar DOCSIS 3.1 se tratará de satisfacer la demanda de clientes cuyos reclamos están relacionados al ancho de banda, debido a que con los estándares anteriores no resultaba posible ofrecer un servicio de mejor calidad. Asimismo, DOCSIS 3.1 propone

la optimización del espectro o la ampliación del mismo por medio de un rediseño del espectro para obtener un canal de 192MHz, esto también supone hacer el encendido de ambas portadoras, es decir, downstream y upstream.

De darse el caso, si la mejora que se realiza en el espectro ni el aumento del ancho de banda, no cumplen con la capacidad, rendimiento y operatividad que el estándar DOCSIS 3.1 sugiere, entonces se puede proceder con el rediseño del Head-End, la adición de nuevos equipos al mismo, la segmentación de nodos y la mejora de la red de distribución.

De ser posible el cumplimiento de las especificaciones, los protocolos y los procedimientos del estándar DOCSIS 3.1 es que se hará un estudio de factibilidad para conocer qué tan conveniente resulte para la relación empresa – cliente la propuesta de migración.

Siendo así que, en la siguiente figura se puede observar un algoritmo que resume los pasos a seguir en relación a cada una de las propuestas mencionadas anteriormente:



**Figura 3. 5:** Algoritmo de propuesta de migración a DOCSIS 3.1.  
*Elaborado por:* El Autor.

A continuación, se hará un resumen para explicar de manera más detallada el plan de migración a través del cual se pretende migrar al estándar DOCSIS 3.1, por supuesto, el proceso debe ejecutarse gradualmente para evitar cualquier inconveniente de gestión financiera o técnica que afecte al correcto funcionamiento de la empresa o que genere molestias a los abonados.

El plan de migración que se presenta evalúa el estado de la empresa desde dos puntos de vista diferentes. El primero, hace referencia a su situación financiera, es decir, donde se examinan todos los aspectos comerciales y técnicos que se verán implícitos durante la transición al nuevo estándar. Se trata de que el proceso se desarrolle como una alternativa bastante útil para eliminar en gran parte el porcentaje de insatisfacción de los abonados al momento de adquirir el servicio que se oferta y que, a su vez, resulte ser una inversión positiva para la empresa.

Por otro lado, también se menciona la situación técnica de ECUADORTELECOM S.A. ya que de no poseer una plataforma de red HFC lo bastante aceptable para ejecutar la migración, entonces la empresa tendría que reemplazar la mayor cantidad de equipos en cada una de las distintas partes que conforman la red híbrida de fibra y coaxial, además de hacer cambios a nivel de configuraciones propias de la misma.

Por lo tanto, en caso de que resultara provechoso para la empresa ejecutar la migración es que al momento de bosquejar la nueva red se ha tomado en cuenta la división de este requerimiento en dos etapas: en la primera etapa es imprescindible revisar, analizar, corregir, etc. el uso del espectro ya que se debe asignar una nueva señal de hasta 192 MHz para poder implementar el estándar DOCSIS 3.1.

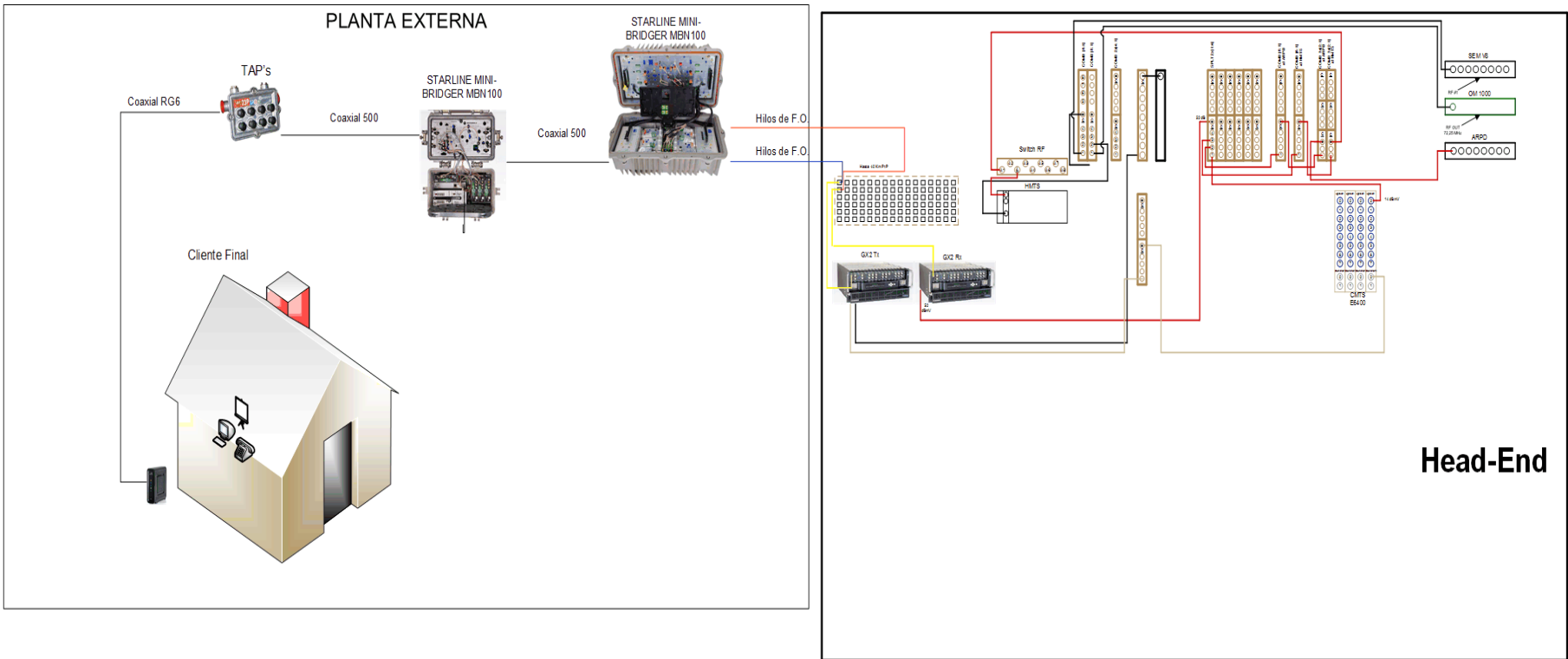
Una vez resuelto el problema de la optimización del espectro es que se da inicio a la segunda etapa, donde se deberá reemplazar los equipos existentes que no tienen compatibilidad con el nuevo estándar e, incluso, hacer la instalación de nuevos dispositivos en la red de distribución y de

acometida. En este caso, nos referimos únicamente a una reestructuración de la planta externa ya que ECUADORTELECOM S.A. tiene en su arquitectura de Head-End y red troncal el equipamiento necesario para la migración. Esto reduce en gran parte los costos de la propuesta.

Lo último a realizar es el estudio de factibilidad, por medio del cual se determinará la fiabilidad que brinda la ejecución de la migración de la red y el tiempo necesario para poder llevarla a cabo.

En la siguiente figura se puede observar el diseño desde la cabecera hasta la red de planta externa con todos los equipos que soportan el estándar DOCSIS 3.1.





**Figura 3. 6:** Diseño de red para propuesta de migración a DOCSIS 3.1.  
**Elaborado por:** El Autor.

## CAPÍTULO 4: COSTOS DE LA PROPUESTA Y FACTIBILIDAD DEL PROYECTO

### 4.1 Presupuesto referencial del proyecto de migración.

En el siguiente tema se tratarán los costos referenciales del mercado para la implementación necesaria en la infraestructura requerida de la red HFC, siendo estas la red de distribución y red terminal o de acometidas, para que a su vez se pueda obtener el nuevo estándar DOCSIS 3.1 funcional.

Teniendo en cuenta que los equipos que se encuentran en el Head-End y en la red troncal no deben ser cambiados ya que resisten la tecnología propuesta.

En la tabla 4.1 se detallan los equipos de la red de distribución existentes en el HUB de Machala, los cuales se toman como referencia para elaborar el presupuesto de los equipos que se requiere reemplazar.

**Tabla 4. 1:** Red de Distribución HUB Machala

Red De Distribución HUB Machala elementos Activos	
Equipos	Cantidad
NODO	19
Mini Bridge (Mb)	15
Mini Bridge (Mbv3)	32
Broadband Trunk Distribution (BTD 4 salidas)	80

*Elaborado por: El Autor.*

Por otra parte, también se presenta la información de los equipos que están sujetos a cada nodo para tener un mayor control al momento de realizar el cambio.

**Tabla 4. 2:** Detalle de los equipos existentes por nodo

Detalle de los amplificadores existentes por nodo			
Nodo	Mini Bridge (Mb)	Mini Bridge (Mbv3)	Broadband Trunk Distribution (BTD 4 salidas)
H01001	1	3	4
H01002	1	2	5
H01003		2	4
H01004		1	6
H01005	1	2	5
H01006			7
H01007			5
H01008	1		6
H01009			7
H01010	1	2	5
H01011		3	5
H01012		4	3
H01013		1	5
H01014		2	3
H01015			4
H01016			8
H01017	3	2	4
H01018	4	6	2
H01019	3	4	5

**Elaborado por:** El Autor.

En la siguiente tabla se muestra un presupuesto general, tomando como referencias costos promedios del mercado, de los equipos que se necesitan reemplazar para el correcto funcionamiento de DOCSIS 3.1

**Tabla 4. 3:** Presupuesto de red de Distribución HUB Machala

Presupuesto de red de Distribución HUB Machala			
Equipos	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
NODO NC4000S2	19	\$ 1995	\$ 37,905
STARLINE MINI-BRIDGER MBN100 NODE	15	\$ 651	\$ 9,765
Starline Mbv3 Amplifier	32	\$ 755	\$ 24,160
Starline BT100 Amplifier	80	\$ 875	\$ 70,000
TOTAL			\$ 141,830

**Elaborado por:** El Autor.

En cuanto a la red de acometidas, se considera que se debe realizar un cambio en los equipos de los clientes para que el soporte del nuevo estándar, teniendo en cuenta el número de abonados que tiene la red y un stock del 25% como reserva de equipos en caso de algún desperfecto.

En la siguiente tabla se hace referencia al costo promedio del mercado, en el cual se realizara el cambio de los equipos terminales.

**Tabla 4. 4:** Presupuesto de red de Acometidas HUB Machala

Presupuesto de red de Acometidas HUB Machala				
Equipos	Cantidad Abonados	Stock de reserva	Valor Unitario	Valor Total
Touchstone CM8200	1614	403	\$ 200	\$ 403,400

*Elaborado por: El Autor.*

En la siguiente tabla se detalla el presupuesto general y gastos varios a producirse en la migración.

**Tabla 4. 5:** Presupuesto General de Migración del HUB Machala

Presupuesto General de Migracion	
Detalle	Valor Total
Costo de red de Distribucion	\$ 141,830
Costo de red de Acometidas	\$ 403,400
Gastos Varios	\$ 25,000
TOTAL	\$ 570,230

*Elaborado por: El Autor.*

## 4.2 Factibilidad del Proyecto.

En el estudio se establece la factibilidad del proyecto técnica y económicamente.

También se establecieron directrices que ayudaron a tomar una mejor decisión del mismo, teniendo una visión general de lo que se va a realizar.

Entre la limitación que se obtiene en este proyecto es el factor económico, debido a que se debe tener que cambiar toda la planta externa (Red Distribución y Acometidas) por no contar con equipos que soporten esta nueva tecnología.

La operatividad de los clientes en cuanto en rendimiento es el objetivo principal de esta propuesta, sabiendo que la compartición que ofrece la

empresa es de 8 a 1, por lo tanto, se busca mejorar con este estándar la velocidad de transmisión que llegaría al usuario final.

Al implementar este cambio en la red incluso se podría llegar a considerar por parte del proveedor mejorar la compartición para evitar la sobresaturación del espectro reasignado, al obtener este nuevo sistema se puede mejorar los servicios contratado tale como (televisión 2K, 4K, HD-IP).

Debido a todas las razones expuestas en la viabilidad técnica y económica del proyecto, se considera apta la propuesta de migración a realizarse en el campo.

## **CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **5.1 Conclusiones.**

En consideración a la información obtenida para realizar el presente proyecto de titulación respecto a la propuesta de migrar la red HFC del HUB de Machala de la empresa ECUADORTELECOM S.A. al nuevo estándar DOCSIS 3.1, se pueden anotar las siguientes conclusiones:

Primero, la propuesta de titulación se ha realizado con el objetivo de mostrar las mejoras que trae consigo el poder implementar redes HFC con la última versión del estándar DOCSIS, ya que supone una mejor conectividad para los usuarios. Para esto, se ha realizado una completa investigación acerca de las características de nuevo estándar DOCSIS 3.1 en cuanto a optimización del espectro, ancho de banda, modulación de frecuencias, compatibilidad de equipos, etc. para mostrar con bases sólidas los fundamentos teóricos que harán posible la practicidad del mismo.

Segundo, se hace importante mencionar que una de las ventajas más sobresalientes de la nueva versión DOCSIS 3.1 es la optimización del espectro lo que genera un 50% más de eficiencia en la red, ya que debido a la técnica de multiplexación por división ortogonal de frecuencias permite asignar una portadora de hasta 192 MHz que como consecuencia genera un mayor ancho de banda, permitiendo obtener canales de descarga de hasta 10 Gbps y de subida de hasta 1 Gbps, por supuesto, las velocidades asignadas a los clientes dependerá exclusivamente del proveedor. Además, otra alternativa es que la versión DOCSIS 3.1 es un estándar compatible con las versiones anteriores, lo que hace más soportable para la red ya instalada el correcto funcionamiento de la misma mientras se realiza el proceso de la migración.

Tercero, cabe recalcar que para esta propuesta de migración de la red HFC en el HUB de Machala no se ha cambiado la topología de la red ya que la misma fue diseñada bajo el principio de la segmentación de nodos. La red

HFC instalada por la empresa ECUADORTELECOM S.A. cumple con los requerimientos para la migración al estándar DOCSIS 3.1 en su cabecera y red troncal puesto que posee equipos de última generación que hacen aún más factible la propuesta. Sin embargo, si se debe realizar una renovación de infraestructura en la red de distribución y red de acometida, reemplazando algunos equipos que no son los más adecuados para el proceso.

Para concluir, se determina que la propuesta hecha respecto a este tema resulta viable para la empresa ECUADORTELECOM S.A. tomando como referencia que no deberá incurrir en gastos a nivel general de la red, sino que únicamente debe hacer modificaciones en su planta externa

## **5.2 Recomendaciones.**

Durante el desarrollo de la presente propuesta de tesis se ha podido observar ciertos aspectos que se deberán tomar en cuenta para la ejecución del proyecto. Por consiguiente, se escriben las siguientes recomendaciones:

Primero, ejecutar trabajos de mantenimiento preventivos basados en la detección del ruido y SNR, a pesar de ser una red nueva, con el fin de evitar problemas de gestión técnica mayores y para que la red HFC tenga mayor tiempo de vida útil.

Segundo, se debe considerar el funcionamiento de ambos estándares durante el proceso de la migración, de tal manera que se cambie gradualmente y no afecte el servicio a los usuarios.

Finalmente, es básico ejecutar el cambio de equipos de última milla a los abonados antes de ejecutar la migración, para evitar inconsistencias técnicas generadas por la incompatibilidad de los dispositivos y el estándar nuevo al que se está migrando.

## GLOSARIO

### A

**AES:** Estándar de encriptación avanzado.

**AT-DMA:** Acceso múltiple de frecuencia de división ágil avanzada en el tiempo.

**ATSC:** Comité de sistemas de televisión avanzada.

### C

**CATV:** Televisión por cable.

**CDMA:** Acceso múltiple de división síncrona del código.

**CM:** Módem de cable.

**CMTS:** Sistema de terminación de cablemódems.

### D

**DAC:** Controlador digital de direccionamiento.

**DES:** Estándar de encriptación de datos.

**DOCSIS:** Especificación de Interfaz para Servicios de Datos por Cable.

### E

**ETSI:** Instituto europeo de Normas de telecomunicaciones.

### F

**FEC:** Corrección de error avanzado.



## **G**

**GPON:** Red óptica pasiva con capacidad de gigabit.

## **H**

**HBO:** *Taquilla hogareña.*

**HFC:** Red híbrida de fibra y coaxial.

**HUB:** Concentrador.

## **I**

**IP:** Protocolo de internet.

**IPV6:** Protocolo de internet versión 6.

## **M**

**MAC:** Control de acceso al medio.

**MTA:** Adaptador terminal multimedia.

## **N**

**NC:** Controlador de red.

**NF:** Nodos finales.

**NP:** Nodos primarios.

## **O**

**OSI:** Interconexión de sistemas abiertos.

## **P**

**PDM:** Administrador de dispositivos de proceso.

## **R**

**RF:** Radiofrecuencia.

## **Q**

**QOS:** Calidad de servicio.

## **S**

**SCTE:** Sociedad de ingenieros de telecomunicaciones de cable.

## **U**

**UIT:** Unión Internacional de Telecomunicaciones.

.

## Bibliografía

- Alvarez Campana, M. (2009). *Tecnologías de Banda Ancha y Convergencia de Redes*. En M. Alvarez Campana, J. Berrocal Colmenarejo, F. González Vidal, R. Pérez Leal, I. Román Martínez, & E. Vásquez Gallo, *Tecnologías de Banda Ancha y Convergencia de Redes* (pág. 285). España - Madrid: Graymo, S. A.
- Arqhys. (15 de Enero de 2016). *Arqhys Architecture*. Obtenido de <http://www.arqhys.com/contenidos/instalacion-cables-modem.html>
- Castro, M. M. (26 de Noviembre de 2012). *Proyecto Final Sena*. Obtenido de Proyecredessena: <http://proyecredessena.blogspot.com/2012/11/redes-hfc.htm>
- Company., N. I. (2 de Junio de 2016). *NCS Industries An Advantage Technologies Company*. Obtenido de [http://www.ncsind.com/products\\_details.aspx?mid=2&cid=29&sid=55&pid=115](http://www.ncsind.com/products_details.aspx?mid=2&cid=29&sid=55&pid=115)
- Ecuadortelecom S.A. (2013). *Ecuadortelecom S.A.* Obtenido de Claro Ecuador: [http://www.claro.com.ec/portal/connect/ec/claro-2013-ecuador/pc/personas/institucional/institucional/as\\_01/lb\\_02/](http://www.claro.com.ec/portal/connect/ec/claro-2013-ecuador/pc/personas/institucional/institucional/as_01/lb_02/)
- Estudio de los Medios de Transmisión en Redes Computacionales Mixtas (Alámbrica - Inalámbrica)*. (Noviembre de 2012). Obtenido de Universidad Técnica del Norte Web Site: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1112/1/04%20ISC%20004%20Tesis%20Final.pdf>
- Freire, A. G. (Noviembre de 2011). *Diseño de la Cabecera (Head End) de una empresa de CATV para proveer TV de alta definición (HDTV) en las ciudades de Quito y Guayaquil utilizando una arquitectura redundante*. Obtenido de Escuela Politécnica Nacional Web Site: <https://bitdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4363/1/cd-3960.pdf>
- Hangzhou Scope Technology Co., L. (15 de Febrero de 2016). *Tienda Online Alibaba*. Obtenido de [https://www.alibaba.com/product-detail/Head-end-distribution-combiner-system-8\\_60131821416.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Head-end-distribution-combiner-system-8_60131821416.html)

- Jarvey González Romero, I. (13 de Abril de 2011). *Antenas y líneas de transmisión en redes HFC*. Obtenido de SlideShare: <http://es.slideshare.net/jarvey4/redes-hfc>
- Llguichuzhca, C. S. (2010). *"Estudio previo para la implementación del sistema triple play en una red HFC de la empresa Servicable"*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1050/ups-ct002039.pdf>
- Multicomstore. (17 de Marzo de 2016). *Multicomstore*. Obtenido de <http://multicomstore.com/>
- Polania, J. F. (Octubre de 2014). *Jmarcar*. Obtenido de [https://lh5.googleusercontent.com/-q9hUXSLTYFs/U5EMKbTW5HI/AAAAAAAAAFU/c571rhZE\\_Wg/Red+HFC.jpg](https://lh5.googleusercontent.com/-q9hUXSLTYFs/U5EMKbTW5HI/AAAAAAAAAFU/c571rhZE_Wg/Red+HFC.jpg)
- Quispe, N. C. (27 de Noviembre de 2015). *TELECOMUNICACIONES*. Obtenido de <http://nijixc.blogspot.com/>
- Ruíz, S. D. (2013). *Sistemas Avanzados De Comunicaciones Redes de Cable*. (S. D. Ruíz, Editor) Recuperado el 12 de Agosto de 2016, de Universidad de Sevilla Dpto. Tecnología Electrónica Web Site: <http://www.dte.us.es/personal/sdiaz/sac/redes-cable.pdf>
- TELECOMMUNICATIONS, S.-T. (s.f.). *SAT-TRAKT TELECOMMUNICATIONS*. Obtenido de <http://sattrakt.com/products/cable-internet/cmts/arris-E6000-CMTS>
- Wikispaces. (s.f.). *Distribución*. Obtenido de afcohfc: <https://afcohfc.wikispaces.com/DISTRIBUCION>
- YbiGames. (9 de Octubre de 2012). *Youbioit*. Obtenido de <http://www.youbioit.com/es/article/shared-information/12401/decodificador-de-television-digital-terrestre>

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE TITULACIÓN			
<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Propuesta de migración del estándar DOCSIS 2.0 a 3.1 en la red HFC para la empresa ECUADORTELECOM S. A. en la ciudad de Machala.		
<b>AUTOR</b>	Yanzapanta Vergara, Carlos Xavier		
<b>TUTOR</b>	M.Sc Carlos Bolívar Romero Rosero		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería en Telecomunicaciones		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero en Telecomunicaciones		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	13 de Septiembre del 2016	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	84
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Telecomunicaciones, Redes		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Redes HFC, DOCSIS 3.1,		
<p><b>RESUMEN/ABSTRACT</b> (150 – 250 palabras): En el campo de las telecomunicaciones, el estudio de las diferentes redes que existen sean estas inalámbricas o alámbricas, ayudan a tener una mejor perspectiva del complejo mundo de las telecomunicaciones. Una de las redes más conocidas a nivel mundial, es la red HFC (Híbrida de Fibra y Coaxial) la cual presenta una tecnología interesante debido a que permite empaquetar tres servicios de consumo masivo, entre los que se mencionan: telefonía fija, internet y televisión. Estas redes funcionan bajo un estándar denominado DOCSIS, que es el que establece la velocidad de transmisión de datos, entre otras características. La red HFC se compone de cuatro partes (Head-End, red troncal, red de distribución y red de abonados), las cuales cumplen una función específica e importante en la red. El estándar DOCSIS ha evolucionado a lo largo del tiempo, llegando a haber cinco versiones, las cuales se han desarrollado tomando en cuenta no, únicamente, la capacidad de transmisión sino también la reducción de equipos; generando a su vez una reducción de costos en la implementación y mantenimiento de este tipo de redes.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR:</b>	<b>Teléfono:</b> +593992320252	E-mail: Carlos_xavier19@hotmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):</b>	<b>Nombre:</b> Palacios Meléndez Edwin Fernando		
	<b>Teléfono:</b> +593-9-68366762		
	<b>E-mail:</b> Edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Yanzapanta Vergara, Carlos Xavier**, con C.C: # 1206022962 autor del trabajo de titulación: **“Propuesta de migración del estándar DOCSIS 2.0 a 3.1 en la red HFC para la empresa ECUADORTELECOM S. A. en la ciudad de Machala”**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 13 de Septiembre del 2016

---

Yanzapanta Vergara, Carlos Xavier

C.C: 1206022962