

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica



TESIS DE MAESTRÍA

**Procedimiento para la migración en redes Híbridas Fibra
Coaxial al estándar DOCSIS 3.1**

Autor: Ing. Luís Armando Moreno Valiño

Tutor: MSc. David Beltrán Casanova

Santa Clara

2016

"Año 58 de la Revolución"

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica



TESIS DE MAESTRÍA

Procedimiento para la migración en redes Híbridas Fibra Coaxial al estándar DOCSIS 3.1

Autor: Luis Armando Moreno Valiño

armando.moreno@cimex.com.cu

Tutor: MSc. David Beltrán Casanova.

dbeltranc@uclv.edu.cu

Santa Clara

2016

"Año 58 de la Revolución"



Hago constar que el presente trabajo en Opción al Título Estatal de Master en Ciencias fue realizado en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas como parte de la culminación de estudios de Maestría en Telemática, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Autor

Firma del Jefe de Departamento

donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de

Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO

Todos somos muy ignorantes. Lo que ocurre es que no todos ignoramos las mismas cosas.

Albert Einstein

DEDICATORIA

A mis padres que ya no están, a mis hijos y esposa.

AGRADECIMIENTOS

A mi tutor por todo el apoyo brindado para la realización de este trabajo, al claustro de profesores de la FIE y a mi familia.

TAREA TÉCNICA

Estudiar las diferentes formas de lograr el incremento del desempeño de las redes HFC en la actualidad y la factibilidad de realizarle adecuaciones para lograr la implementación de estándares con técnicas novedosas.

RESUMEN

DOCSIS 3.1 es el nuevo estándar de televisión por cable producido por la compañía CableLabs para operar en las redes HFC. Este estándar introduce un mayor ancho de banda, mayores razones de transmisión, modulaciones más elevadas y eficientes. El propósito de este trabajo es migrar hacia DOCSIS 3.1 una red HFC en la cual ya está implementado DOCSIS 3.0. Para ello se realiza una caracterización de este estándar en la redes HFC; mostrando su evolución y los principales logros alcanzados en cada versión. Se hace una caracterización de parámetros como CSO, CTB, XMOD que actúan sobre la parte a coaxial provocando la degradación de la señal en este tipo de redes, también se establecen los valores umbrales que deben tener estos para el cumplimiento de las especificaciones del nuevo estándar. Proponiéndose un procedimiento para efectuar la migración a un estándar superior, se calculan los valores de los parámetros de calidad en una red y se realizan mediciones en puntos determinantes; a partir de estos resultados se plantean las posibles modificaciones que deben realizarse en la red para poder migrar a DOCSIS 3.1.

TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
TAREA TÉCNICA	iv
RESUMEN	v
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1 Evolución del estándar DOCSIS sobre las redes HFC.	6
1.1. Las redes Híbridas Fibra Coaxial HFC.	6
1.1.1 Descripción de los principales parámetros que afectan a la calidad de la señal en redes HFC.	7
1.1.2 Parte óptica de la red.	13
1.1.3 Parte a coaxial de la red HFC.....	16
1.2. Evolución de los estándares DOCSIS.	18
1.2.1 CMTS.....	19
1.2.2 DOCSIS 1.0.	20
1.2.3 DOCSIS 1.1.	21
1.2.4 DOCSIS 2.0.	22
1.2.5 DOCSIS 3.0.	22
1.2.6 DOCSIS 3.1.	24

	vi
1.2.7 Comparación entre las variantes DOCSIS.....	25
1.3. Conclusiones del capítulo.....	27
CAPITULO 2 Principales características del estándar DOCSIS 3.1.....	28
2.1 Visión General del DOCSIS 3.1.....	28
2.1.1 OFDM.....	29
2.2 Transmisión y recepción en el canal de subida	31
2.2.1 Requerimientos del procesamiento de la señal para S-QAM en la subcapa física.....	33
2.2.2 Requerimientos del procesamiento de la señal para OFDM en la subcapa física.....	38
Espectro de los CM en el canal de subida.....	38
Espectro de los CMTS en el canal de subida.....	38
Reglas para los canales en la banda de subida.....	39
Nomenclaturas de OFDMA en subida.....	39
Requerimiento de potencia recibida por el CMTS.....	45
2.3 Transmisión y recepción en el canal de bajada.....	48
2.3.1 Rango de frecuencia y ancho de banda.....	48
Ancho de banda del canal.....	48
2.3.2 Parámetros OFDM.....	49
Perfiles.....	49
2.3.3 Potencia de trabajo.....	50
Requerimiento de potencia de transmisión del CMTS.....	50
Requerimiento de potencia de entrada para la recepción en los CMs.....	51
MER y emisión de espurias.....	52
2.4 Conclusiones del capítulo.....	52
CAPITULO 3 Procedimiento para la implementación de DOCSIS 3.1 en una red HFC y su evaluación.....	54

3.1	Principales parámetros a tener en cuenta para la implementación	54
3.1.1	Cambios necesarios en la parte óptica de la red.....	55
	Equipamiento de cabecera.....	55
	Línea de transmisión óptica.....	55
	Nodo óptico.....	56
	CMTS distribuido.....	57
3.2	Parte a coaxial de la red HFC.....	60
3.2.1	Dispositivos pasivos y conectores.....	60
3.2.2	Los cables coaxiales.....	60
3.2.3	Punto de operación de los amplificadores.....	61
3.3	Reacomodo de una red para que sea posible la implementación de DOCSIS 3.1.....	63
3.3.1	Evaluación del estado de la red HFC original.....	63
3.3.2	Cambio de equipamiento necesario.....	64
3.3.3	Penetración de la fibra óptica en la red a coaxial.....	65
3.3.4	Pasos necesarios para la implementación de DOCSIS 3.1 de forma parcial y total.....	66
3.3.5	Caso de estudio que permite evaluar el procedimiento sobre una red HFC real.....	67
3.4	Conclusiones del capítulo.....	72
	Conclusiones.....	73
	Recomendaciones.....	75
	Anexos.....	78
Anexo 1	Características de transmisor óptico	78
Anexo 2	Características de un receptor de canal de retorno de 4 canales.....	79
Anexo 3	Características de un nodo óptico compacto.....	80
Anexo 4	Dispositivos pasivos de coaxial y sus características.....	81
Anexo 5	Hoja de datos de amplificadores de la parte a coaxial de las redes HFC.....	82

Anexo 6 Dispositivos pasivos que soportan la frecuencia de trabajo de DOCSIS 3.1.....	85
Anexo 7. Conectores usados en la parte a coaxial de las redes HFC.	86

INTRODUCCIÓN.

La conexión final hacia los usuarios en las redes de cable para la televisión e Internet en la actualidad representa un cuello de botella que dificulta las transmisiones a altas velocidades. En su mayoría, estas redes están constituidas por fibra óptica y coaxial, ayudándose de amplificadores, convertidores ópticos, elementos pasivos y otros dispositivos que hacen posible el uso de esta tecnología, la cual se denomina red Híbrido de Fibra y Coaxial (*Hybrid Fiber Coaxial*, HFC). A partir del amplio uso que tienen estas redes y por lo eficiente que han llegado a ser se creó en 1997 el estándar denominado Especificación de Interfaz para Servicios de Datos sobre Cable (*Data Over Cable Service Interface Specification*, DOCSIS), con el objetivo de acelerarlas y hacer que cumplan con las expectativas de los consumidores. Además, este estándar especifica entre otros elementos la infraestructura completa de comunicación para conexiones IP, las diferentes capas y transmisiones de datos bidireccionales en la red de cable. DOCSIS ha evolucionado desde su primera versión DOCSIS 1.0 (1997) hasta la más actual DOCSIS 3.1 (2015), dando solución a todas las exigencias que en su momento constituían retos para este tipo de redes.

Cuba no se queda atrás en cuanto a estas tecnologías y hace uso de este tipo de redes para el despliegue de la televisión por cable en algunos lugares con fines específicos. Redes de televisión por cable implementadas en el país soportan el estándar DOCSIS 3.0 que es el penúltimo en su generación, sin embargo, para lograr mayores razones de transmisión y un incremento del ancho de banda se hace necesario la migración hacia su versión más reciente DOCSIS 3.1, pudiendo cumplir con exigencias como el aumento de los usuarios, incremento de la tecnología de telefonía sobre IP, entre otras.

Como el costo de la tecnología de punta siempre ha sido alto, el saber utilizar lo que se tiene y reemplazar solo lo necesario es fundamental para la migración hacia el nuevo estándar con el mínimo de costo.

DOCSIS 3.1 actúa como un acelerador para las redes de cable, sus mejoras técnicas permiten a los operadores de esta rama perfeccionar significativamente el rendimiento de sus redes en el enlace descendente y ascendente sin tener que realizar costosas modificaciones en la infraestructura de las redes HFC. Al existir un aumento progresivo de la demanda de ancho de banda y mayor Calidad de Servicio (*Quality of Service*, QoS), este estándar puede considerarse como un impulsor para los operadores de cable que afrontan una dura competencia con los proveedores de servicios de redes de Evolución a Largo Plazo (*Long Term Evolution*, LTE), así como los que proveen Internet por Línea de Suscripción Digital (*Digital Subscriber Line*, DSL). En cuanto a economía, el estándar hace un uso del espectro de manera más eficiente; debido al empleo de técnicas de modulación como la Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, OFDM) y la Modulación de Amplitud en Cuadratura (*Quadrature Amplitude Modulation*, QAM) con constelaciones más elevadas como 2048-QAM o 4096-QAM, por lo que se transfiere más bits con el mismo ancho de banda; y ante todo los operadores pueden mantener su infraestructura de última milla prácticamente invariable, alcanzando velocidades de transmisión que eran imposibles lograr con las versiones anteriores. Lo que proporciona un considerable ahorro monetario al poder lograr todo lo anterior con pequeños cambios y sin la necesidad de arrendar más espacio del espectro.

Sin embargo, ningún tipo de red por eficiente que sea deja de estar expuesta al ruido, a las interferencias o a todos los procesos naturales, inherentes de los medios de transmisión utilizados, que afectan en mayor o menor medida la entrega de la señal al usuario final. De todos estos posibles parámetros que dañan la calidad de la transmisión son importantes considerar algunos como la distorsión por Intermodulación de Segundo Orden Compuesto (*Composite Second Order*, CSO), la distorsión por Intermodulación de Tercer Orden Compuesto (*Composite Triple Beat*, CTB), la distorsión por Modulación Cruzada (*Cross Modulation*, XMOD), la distorsión por Modulación de Zumbido (HUM) y las micro-

reflexiones; que según los diferentes estándares deben cumplir con valores umbrales para proveer una buena entrega de la señal. Además al final de la red se deben obtener niveles de señal tales que permitan una adecuada recepción, por lo que el parámetro Razón Portadora a Ruido (*Carrier-to-Noise Ratio*, CNR), también debe estar asegurado en los usuarios finales. Estos parámetros están bien controlados en la red implementada, pero al tener que realizar cambios en la red para poder migrar se hace necesario que los mismos sean corregidos a partir de las especificaciones que trae la nueva versión de DOCSIS.

A nivel internacional se habla de la importancia del estándar DOCSIS 3.1 y las ventajas que introduce a las redes de cable, sin embargo no está muy debatido el hecho de la migración de una red que opera bajo DOCSIS 3.0 hacia DOCSIS 3.1 por lo que en función de esto se plantea el siguiente problema científico: ¿Cómo migrar una red HFC que está implementada con DOCSIS 3.0 a DOCSIS 3.1?

Para dar solución al problema de la investigación, se plantea como **objetivo general:**

- ✓ Proponer un procedimiento para la migración en redes HFC al estándar DOCSIS 3.1.

Para dar cumplimiento al objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Describir el estándar DOCSIS en redes HFC.
- ✓ Caracterizar los parámetros de las redes HFC que influyen en su desempeño y limitan la migración al estándar DOCSIS 3.1.
- ✓ Elaborar un procedimiento para la migración al estándar DOCSIS 3.1.
- ✓ Evaluar el procedimiento propuesto.

Resultados esperados.

Con este proyecto se pretende contribuir al desarrollo de la televisión por cable de una manera eficiente, a través del uso del estándar DOCSIS 3.1 como tecnología de avanzada, con el mínimo de cambios posibles en la red HFC ya existente. Con la migración hacia el nuevo estándar se lograría un mayor aprovechamiento del espectro, logrando un ancho de banda en el canal descendente y ascendente de hasta 192 MHz y 96 MHz respectivamente; y razones de transmisión de 10 Gbps y 2.5 Gbps respectivamente.

Con la culminación de esta investigación se constará con un material que reúna las principales características de los estándares DOCSIS y una guía a modo de procedimiento que permitirá evaluar los parámetros que determinan o limitan en las redes HFC la implementación de la variante más actual del estándar DOCSIS. Pudiendo servir de guía para la etapa de diseño y montaje de las mismas. El análisis de los elementos que degradan el rendimiento de las redes HFC principalmente en la parte a coaxial y los posibles cambios que se pudieran introducir para mejorar los efectos perjudiciales que estos elementos provocan, proporcionarían soluciones económicas para la migración hacia el nuevo estándar.

No existe una experiencia de la implementación del estándar DOCSIS 3.1 y es necesario tener un estudio de las características que deben tener las redes HFC para garantizar los parámetros necesarios que permitan su correcta implementación logrando con esto el aumento del desempeño de los enlaces.

Aplicabilidad

El futuro de las redes HFC van obligatoriamente hacia la aplicación del DOCSIS 3.1 si se quieren brindar los servicios de última generación que se están desarrollando en la actualidad, debido a esto tener conocimiento de cómo debe diseñarse y montar la planta exterior que soportará estos servicios es fundamental para cualquier especialista que se desempeñe en esta rama.

Métodos y técnicas empleadas

En la investigación se hace uso del método teórico de análisis-síntesis para evaluar el desempeño de los estándares DOCSIS en específico el 3.1 y compararlos con los que le antecedieron y el empleo de métodos prácticos para ilustrar el funcionamiento de estos, debido a lo específico del estándar 3.1 y su actualidad no existe variante de simuladores disponibles por lo que el procedimiento expuesto se evalúa a través de un caso de estudio, real.

El informe de dicha investigación quedará estructurado en Introducción, Capitulo, Conclusiones, Bibliografía y Anexos. En la Introducción se expone la importancia, actualidad y necesidad del tema que se aborda, así como los elementos del diseño teórico.

En el Capítulo I “Evolución del estándar DOCSIS sobre las redes HFC” se establecen los fundamentos teóricos necesarios para abordar la problemática de la investigación. Se describen las generalidades del estándar DOCSIS, su modo de operación y su evolución; destacando los principales elementos de cada una de las versiones, y lo que incorporan en cada paso de avance del estándar, se realiza un estudio de los fenómenos de distorsión que ocurren en la red HFC, las micro-reflexiones y otros aspectos que degradan la calidad de la señal en la red, se establecen las ecuaciones para el cálculo de los mismos.

En el Capítulo II “Principales características del estándar DOCSIS 3.1” se profundiza en estudio del estándar DOCSIS 3.1 debido a su actualidad y su potencialidad en las redes HFC, las características de implementación en la capa física y los tipos de modulaciones y acceso al medio que los hace totalmente diferente en sus prestaciones con respecto a sus predecesores. Se evalúa la factibilidad de implementar redes en DOCSIS 3.1

En el Capítulo III “Procedimiento para la implementación de DOCSIS 3.1 en una red HFC y su evaluación” se muestran los parámetros que deben mantener las redes HFC para la implementación del estándar DOCSIS 3.1. Se confecciona un procedimiento que permita evaluar y migrar a DOCSIS 3.1 una red HFC que trabaje en DOCSIS 3.0. Se evalúa el procedimiento a partir de la caracterización de un caso de estudio, exponiendo los resultados de los cálculos realizados y las mediciones hechas en algunos puntos determinantes de la red. Una vez demostrada la ineficiencia de la red para soportar el estándar DOCSIS 3.1, se proponen modificaciones para lograr la migración así como las posibles estructuras y equipamientos que en estas se pueden utilizar para mantener los parámetros óptimos en el funcionamiento de las mismas.

En la Bibliografía se expone un listado de las referencias bibliográficas consultadas siguiendo la metodología existente para este fin.

CAPITULO 1 Evolución del estándar DOCSIS sobre las redes HFC.

1.1. Las redes Híbridas Fibra Coaxial HFC.

Con el incremento de los servicios sobre las antiguas redes de cable coaxial, la necesidad de cubrir distancias mayores y el constante aumento de clientes, a los operadores de cable se le presentan las siguientes necesidades: el perfeccionamiento de las redes de cable coaxial que trajo como consecuencia la incorporación de las tecnologías asociadas a la fibra óptica dando lugar a las redes Híbridas Fibra Coaxial (HFC), Figura 1.1 [26]. Estas redes han continuado evolucionando en lo que a fibra óptica se refiere y dejando la etapa a coaxial para la parte cada vez más próxima al abonado, debido a la mayoría de los parámetros que afectan el correcto funcionamiento de los servicios se degradan en la parte a coaxial de la red.

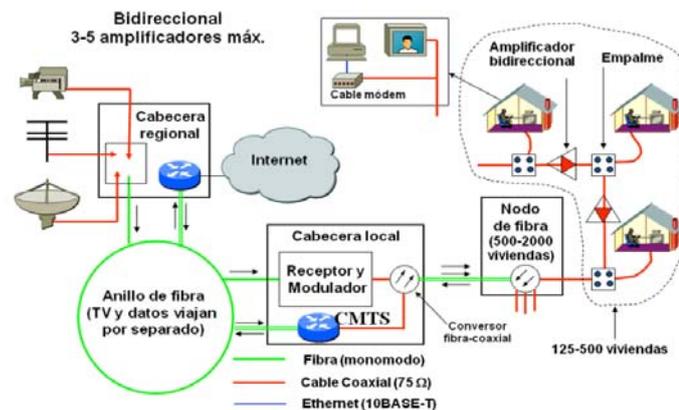


Figura 1.1. Estructura de la red HFC [26]

En cuanto a transmisión de datos bidireccionales se refiere, la parte a coaxial es la de mayor incidencia teniendo un peso fundamental los elementos activos de la misma, influyendo en ello el punto de operación de los amplificadores, tanto del canal de bajada como de subida y la cantidad de amplificadores que se coloquen en cascada; la distribución de los dispositivos

pasivos, el tipo de conector utilizado y el tipo de coaxial. Su influencia crece en la medida que se requiere alcanzar mayores velocidades en la red y por ende la utilización de modulaciones muchos más complejas.

Estos problemas que se incrementan con la implementación de nuevos mecanismos de transmisión de datos han provocado que la parte a coaxial de las redes HFC se haga más pequeña cada día y la cantidad de abonados que se dan servicio de estas sea menor.

Entre los principales parámetros que debe tenerse en cuenta en el momento del diseño y montaje de las redes HFC se tienen los siguientes: [23]

- Impedancia.
- Banda de frecuencias recibida.
- Banda de frecuencias de retorno.
- Relación portadora a ruido (C/N).
- Distorsión de 2° Orden Compuesto (CSO).
- Distorsión por batido triple compuesto (CTB).
- Modulación cruzada (XM).
- Rechazo zumbido de red (C/H).
- Aislamiento entre tomas de usuario (dB).
- Micro reflexiones.

1.1.1 Descripción de los principales parámetros que afectan a la calidad de la señal en redes HFC.

Fundamentalmente en los elementos activos tanto de la parte a coaxial como óptica ocurren diferentes eventos que deterioran la señal aunque también los pasivos influyen directamente en algunas de las distorsiones e intermodulaciones a las cuales se hará referencia medida que se analicen las diferentes partes de las redes HFC.

Distorsión por Intermodulación de Segundo Orden Compuesto (CSO).

Se define intermodulación de segundo orden compuesto (CSO) como la relación en decibelios de la potencia pico de la portadora de video de la señal de distorsión total en ± 0.75 MHz o ± 1.25 MHz en relación con la frecuencia de la portadora de video [24]. Es decir la ubicación de las portadoras de video son tales que cualquier batido de dos de ellas o sus armónicos caerá dentro

de otro canal a una distancia con respecto a la portadora de video de este canal de ± 0.75 MHz o ± 1.25 MHz. Este parámetro se puede medir mediante un analizador de espectro. Los fabricantes de equipos de banda ancha especifican el desempeño de CSO en sus amplificadores a un nivel de salida específico.

Es importante destacar que a mayor cantidad de canales, mayor es la cantidad de batidos posibles y cuanto mayor sean, mayor será la degradación de la señal. Por lo que de acuerdo al número de canales, existirá un canal que será el más afectado en CSO.

En una cascada de amplificadores el CSO también se degrada. Para una cascada de amplificadores idénticos, todos con el mismo nivel de salida y pendiente, el rendimiento al final de la cascada se puede calcular con facilidad como se expresa en la ecuación.

$$CSO_{final} = CSO_{AMP} - 10 \log(N)$$

N: cantidad de amplificadores.

Cuando se calcula el desempeño al final de la línea para una cascada de amplificadores con características diferentes, o amplificadores idénticos con niveles de salida y pendientes diferentes, se requiere un cálculo más complejo.

$$CSO_{final} = -10 \log \left(10^{-CSO_1/10} + \dots + 10^{-CSO_m/10} \right)$$

Donde CSO_1 , CSO_m son las cifras de rendimiento de segundo orden compuesto para los amplificadores separados en la cascada. Se supone que el CSO se expresa en números positivos. Una conclusión muy importante es que cada dB que se aumente en el nivel de salida de los amplificadores implica 1dB de empeoramiento del CSO.

Distorsión por Intermodulación de Tercer Orden Compuesto (CTB).

Se define intermodulación de tercer orden compuesto como la relación en decibeles de la potencia pico de la portadora de video de la señal de distorsión total que yace en la frecuencia de la portadora de video [24]. Es decir, es el batido entre tres portadoras, o una armónica y una portadora, que cae sobre la portadora de un canal. Este suele ser el factor de distorsión limitante en el comportamiento de sistemas multicanales. El efecto sobre la señal del usuario es la aparición de rayas delgadas horizontales.

Los componentes de la distorsión de ‘batido triple’ resultan de armónicos e interacciones de la forma: $3f_1$, $f_1 \pm f_2 \pm f_3$, $2f_1 + f_2$, $2f_1 - f_2$, donde f_1 , f_2 y f_3 son las frecuencias de tres señales de entrada.

Evidentemente ante una cascada de amplificadores el valor del CTB se hace más crítico al final de la misma. Si se trata de una cascada donde todos los amplificadores presentan el mismo nivel de salida y la misma pendiente entonces el valor del CTB al final de la línea se puede obtener a partir de la expresión.

$$CTB_{final} = CTB_{AMP} - 20 \log(N)$$

N: cantidad de amplificadores.

Por el contrario si se está en presencia de una cascada donde los amplificadores difieren en sus características operativas, entregando valores diferentes en sus niveles de salida o con pendientes desiguales; la expresión delimita la forma de obtener el valor del CTB al final de la línea. Siendo CTB_1 el valor del primer amplificador en la cascada y m la cantidad de estos elementos presentes en la misma.

$$CTB_{final} = -20 \log \left(10^{-CTB_1/20} + \dots + 10^{-CTB_m/20} \right)$$

Como aspectos muy importantes cabe señalar que cada dB que se aumente en el nivel de salida de los amplificadores implica 2 dB de empeoramiento del CTB además cuanto mayor sea la cantidad de canales o número de portadoras presentes en la red, el CTB empeorará.

Distorsión de Intermodulación por Modulación Cruzada (XMOD).

Se define la modulación cruzada (XMOD) como la relación de la amplitud pico a pico de la modulación en la portadora de prueba, causada por las señales de otras portadoras, con el nivel pico de la portadora [24]. Es decir, es el resultado de la modulación de una señal por intermedio de otras. Es un batido similar al CTB, es también una distorsión de tercer orden; pero para menor cantidad de canales.

Como toda interferencia por intermodulación esta se hace más crítica a lo largo de una cascada de amplificadores, teniendo el mismo comportamiento que el CTB. Para amplificadores con las mismas características se define su valor a partir de la expresión.

$$XMOD_{final} = XMOD_{AMP} - 20 \log(N)$$

Y para amplificadores que difieren en cuanto a sus niveles de señal y pendiente se calcula a través de la expresión.

$$XMOD_{final} = -20 \log \left(10^{-XM_1/20} + \dots + 10^{-XM_m/20} \right)$$

Como elementos importantes se destacan que cada dB que se aumente en el nivel de salida de los amplificadores implica 2 dB de empeoramiento de la XMOD. Además, cuanto mayor sea la cantidad de canales o número de portadoras presentes en la red, la XMOD empeorará.

Distorsión por Modulación de Zumbido (HUM).

Se define la modulación de zumbido como la relación, en decibeles, de la potencia pico de la portadora de video y el pico de bandas laterales de modulación no deseada a 50 Hz ó 60 Hz y armónicos, dependiendo de la frecuencia de línea; con respecto a la frecuencia de la portadora de video [24]. Esta forma de distorsión es el resultado de la modulación no deseada de una portadora de video en particular por parte de componentes de sistema de alimentación.

Un nivel elevado para la medida a 60 Hz indica problemas con las conexiones a tierra o la existencia de corrientes neutras parásitas y un nivel elevado de la medida a 120 Hz indica que hay un mal filtrado del rectificador de onda completa en la fuente de alimentación de algún amplificador.

En la práctica, se mide la modulación de zumbido como la profundidad porcentual de modulación de una portadora de video, mediante un osciloscopio, y luego convirtiéndola a decibeles. Para convertir la modulación porcentual en decibels se utiliza la siguiente expresión:

Modulación de Hum en dB= 20*log (M/100).

Donde M es la profundidad de modulación expresada en por ciento.

Este parámetro se puede calcular para cada una de las partes de la red: la cabecera, la red troncal y la red de distribución, donde no necesariamente los amplificadores y demás elementos son idénticamente iguales. Por lo que para obtener el valor de este tipo de distorsión al final de una cascada de amplificadores se puede utilizar la expresión.

$$HMOD_{final} = -20 \log \left(10^{-HMOD_1/20} + \dots + 10^{-HMOD_m/20} \right)$$

Micro-reflexiones.

Otro parámetro a considerar son las micro-reflexiones, las cuales no son más que pequeñas reflexiones que ocurren en la porción a coaxial de la red HFC. Las mismas se generan en discontinuidades existentes a lo largo de la red del cable específicamente en conectores, empalmes, derivadores, amplificadores, incluso imperfecciones o daños que producen reflexiones de la parte de la energía de la señal, debido a pequeños errores de desadaptación de impedancias.

Las formas de onda correspondientes a modulaciones del tipo BPSK y QPSK toleran estas micro-reflexiones a velocidades inferiores a 1 o 2 Msps. Modulaciones más complejas como la modulación QAM son menos robustas y necesitarían ecualización.

Las micro-reflexiones pueden estar dadas por distinta naturaleza y generarse por diferentes causas dentro de la red HFC. El primer tipo de micro-reflexión ocurre cuando la señal en el sentido ascendente se encuentra con desajuste de impedancia en algún lugar en su camino hacia el CMTS, causando la redirección de una fracción de la energía de la señal de nuevo hacia el CM. Una vez redirigida la señal convierte este incidente en otro desajuste de impedancia, el cual es redireccionado al CMTS [30]. La segunda de los tipos de micro-reflexión puede ocurrir en cualquier parte la red, pero su magnitud es más notable cuando los CM están ubicados a la salida de los alimentadores de más alto valor, ella está muy influenciada a partir del aislamiento de algunos componentes en la red [30]. El tercer caso no es más que la superposición de los casos anteriores. La existencia de un punto de reflexión viene dado por la aparición de pérdidas de retorno en los amplificadores. Si amplificadores de muy alto valor están muy próximos entre sí, habrá poca diferencia en las características de la demora de la micro-reflexión ya descritas como

tipo 1 y tipo 2, por lo que se pueden superponer o anularse entre sí. Sin embargo si los amplificadores están bastante separados pueden aparecer dos tipos de micro-reflexiones diferentes. Los valores de las mismas son generalmente bajos en magnitud 30 dB o más baja que la señal incidente.

Relación Portadora a Ruido (CNR).

La relación expresada entre los niveles de portadora de video y el nivel de ruido en dB no es más que el parámetro CNR, esta expresión se define como la relación en decibeles de la potencia pico de la portadora de video, normalizada en un ancho de banda específico [24]. Siendo la distribución de ruido uniforme en todas las frecuencias y la contribución al ruido del sistema independiente del número de canales transportados. En una cascada amplificadores con el aumento del número de amplificadores se degrada esta relación.

En la mayoría de los casos el desempeño de los amplificadores se especifica comúnmente como la figura de ruido, la manera de convertir la cifra de ruido en relación portadora ruido esta expresada en ecuación.

$$CNR = 62.5 - 10 \log(\Delta f) + Li - F$$

Donde Δf es el ancho de banda en MHz, Li es el nivel de entrada del amplificador (dBmV), F es la cifra de ruido en dB y se supone que la temperatura es de 68°F (20°C).

Al final de una cascada de profundidad n con amplificadores iguales, se calcula este parámetro a través de la ecuación.

$$CNR_{final} = CNR_1 - 10 \log n$$

Donde el primer término del segundo miembro representa la relación portadora a ruido de un solo amplificador y n es la cantidad de amplificadores involucrados.

Otra forma para realizar este cálculo es teniendo en cuenta la contribución de la relación portadora a ruido que tienen cada uno de los amplificadores. Una vez que se tienen estos valores

en cada una de ellos siendo CNR_1 la que representa el primer amplificador y así respectivamente se procede al cálculo final de este parámetro con la fórmula.

$$CNR_{final} = -10 \log \left(10^{-CNR_1/10} + \dots + 10^{-CNR_n/10} \right)$$

Esta expresión se puede emplear siempre e independientemente de que sean iguales o no las CNR a la salida de cada amplificador y en cualquier sección de la red que contenga una cascada de amplificadores.

Para alcanzar una buena calidad de señal se prefiere tener en la parte troncal la peor CNR, ya que con ello se consigue menor distorsión y en realidad las fuentes de ruido no son tantas. Sin embargo, en las líneas de distribución es preferible aumentar la relación C/N por tener muchas fuentes de ruido, aunque esto produzca un aumento en la distorsión. Por tanto, en la red troncal la limitación será la distorsión y en la red de distribución el ruido.

1.1.2 Parte óptica de la red.

La parte óptica de la red está compuesta fundamentalmente por equipamiento pasivo y activo, permite transportar a distancias relativamente largas los paquetes de TV tradicionales analógicos y los paquetes de contenido digital de última generación con un mínimo de degradación de los mismos.

Equipamiento óptico activo.

Compuesto fundamentalmente por los transmisores ópticos, receptores de canal de retorno y los nodos ópticos, que fundamentalmente están en los bordes de la parte óptica de la red HFC. Son los encargados de la conversión de medio y trabajan tanto en la parte eléctrica como óptica según su función.

Transmisor Óptico.

Dependiendo fundamentalmente de la calidad de láser que se utilice por el fabricante, será la afectación de la señal transmitida incorporándose intermodulaciones de segundo y tercer orden CTB y CSO, influyendo también del punto de operación en que se trabajen en la red y los niveles de señal que se le coloque en la entrada eléctrica ya sea analógica o digital como se muestra en la Tabla 1.1. [Anexo 1] [21]

Tabla 1.1. Afectación del CSO y CTB en un transmisor óptico. [21]

CSO (CENELEC 42)	dBc	65
CTB (CENELEC 42)	dBc	66

Estos transmisores presentan una parte eléctrica de amplificación la cual se comporta como un amplificador convencional que hay que tener en cuenta para manejar el punto de operación del mismo. Figura 1.2. [21]

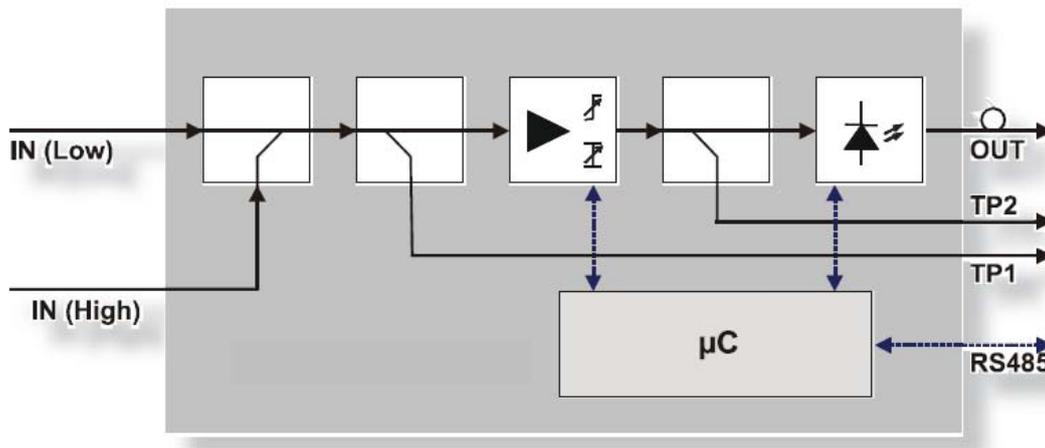


Figura 2 Diagrama en bloque de un transmisor óptico. [21]

En estos dispositivos aparte de deteriorar los parámetros de intermodulación de segundo y tercer orden, hay que mantener control sobre el índice de modulación del láser el cual debe estar dentro de las recomendaciones de que ofrece el fabricante en sus hojas de datos.

Receptor de canal de retorno.

Los receptores de canal de retorno trabajan en la banda baja del espectro y son los encargados de recibir las señales ópticas provenientes de los abonados y convertirlas a eléctricas para ser procesadas por las cabeceras, están compuestos por foto diodos receptores y una etapa amplificadora en la parte eléctrica, sus datos se pueden observar en el Anexo 2.

Cada señal proveniente de los abonados puede ser ajustada de forma independiente lo cual permite, en dependencia de las características del canal, ajustarlo para evitar su deterioro. Figura 1.3. [21]

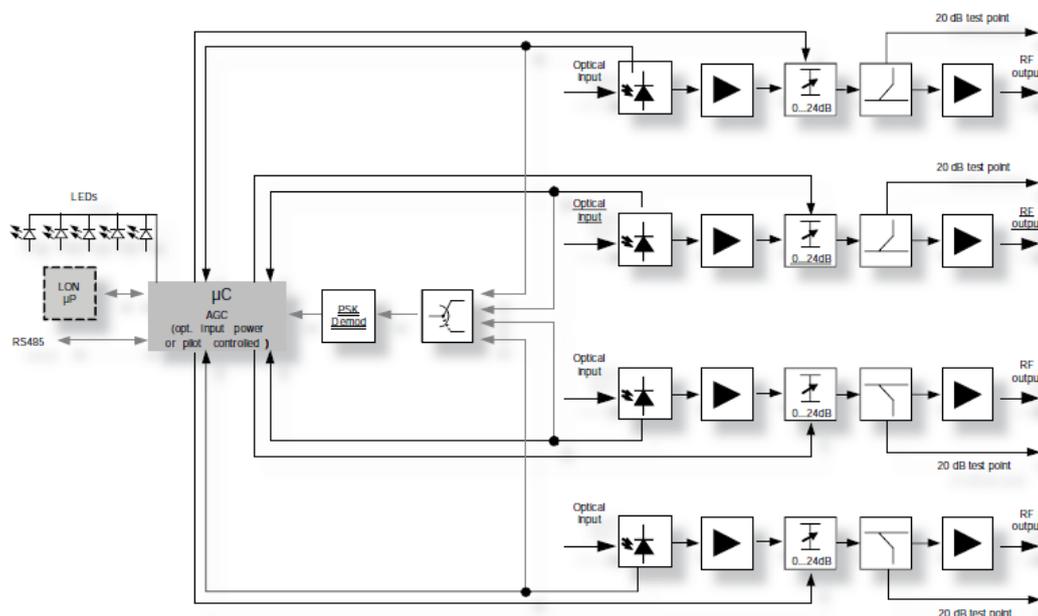


Figura 1.3. Diagrama en Bloque de un receptor de canal de retorno. [21]

Nodos Ópticos.

Los Nodos Ópticos se encuentran en la frontera óptica eléctrica, en la parte más cerca al abonado y su función es convertir las señales óptica proveniente de la cabecera para entregarla a la parte a coaxial y convertir a ópticas las señales de retorno para enviarlas a la cabecera. Estos procesos dentro del mismo gabinete lo realizan módulos independientes que pueden o no estar de forma redundante, en dependencia de la estructura de la red y la fiabilidad que se pretenda con la misma. Como se puede apreciar en la Figura 1.4 [21] en este proceso existen varias etapas activas de amplificación en la parte eléctrica que influyen notablemente en el deterioro de la calidad de la señal, revistiendo singular importancia su correcta utilización y ajuste dentro de la red HFC.

Tanto en el canal de subida como de bajada tiene influencia en los parámetros de calidad de la señal y en este caso todos sus ajustes son realizados digitalmente mediante un dispositivo que se acopla al nodo. Anexo 3. [21]

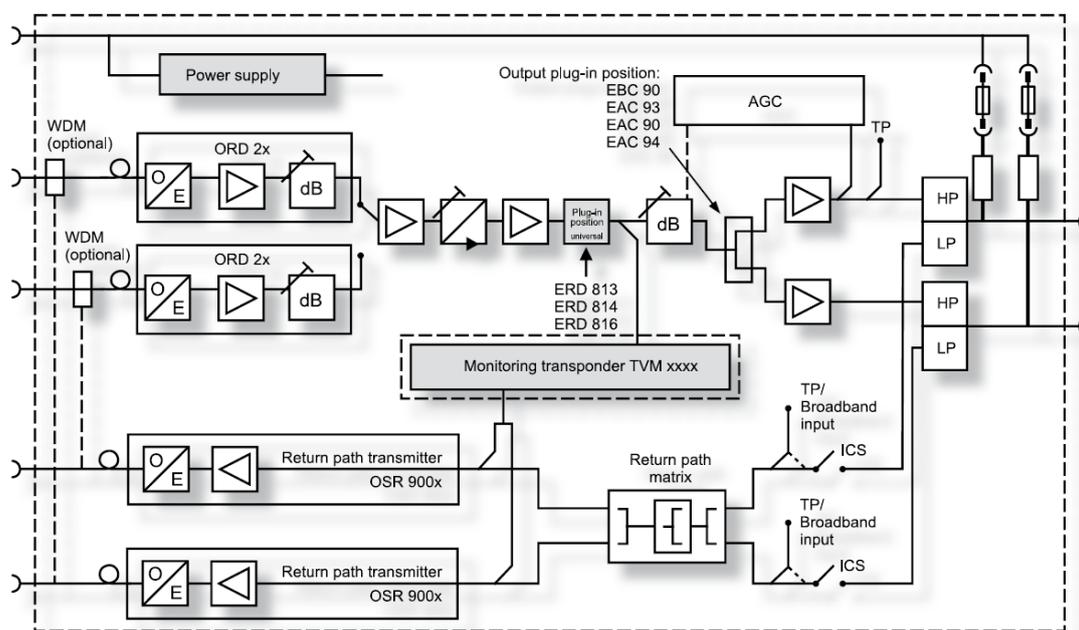


Figura 1.4. Diagrama en bloque de un Nodo Óptico. [21]

1.1.3 Parte a coaxial de la red HFC.

Esta parte de la red, la cual se va acortando cada día, es la que más influencia tiene en la degradación de la señal en ambos sentidos pues realmente en las viviendas o locales de los abonados es donde mayor ruido se genera por lo que se convierte en la zona más vulnerable de la red HFC. [24]

Los componentes fundamentales de esta etapa son los cables coaxiales y sus conectores correspondientes, los acopladores direccionales y los repartidores que forman la parte pasiva y los amplificadores que son la parte activa.

Elementos Pasivos.

Dentro de los elementos pasivos es importante, a la hora del diseño, establecer su selección de acuerdo con la calidad de los mismos, teniendo en cuenta su tiempo de retardo en ambos sentidos y sus cualidades en cuanto a ensamblaje mecánico se refiere, que a la larga van a influir sobre todo en la calidad de la señal de retorno. Anexo 4.

En los elementos pasivos es muy importante tener en cuenta los cambios de impedancias que ocurren fundamentalmente en las conexiones y los dispositivos, estos cambios de impedancia provocan micro reflexiones muy perjudiciales en la comunicación.

Elementos activos.

En los elementos activos se encuentran los amplificadores que en este tipo de redes orientadas a transmitir datos a parte de los paquetes de televisión tradicional, tienen que ser bidireccionales, esto implica que se debe ajustar el nivel de la señal y la ecualización en ambos sentidos, trayendo consigo los riesgos que se han comentado con los amplificadores internos de los equipos usados en la parte óptica. En la Figura 1.5. Se muestra un diagrama en bloque de uno de los amplificadores de interiores más potentes de la actualidad. [21]

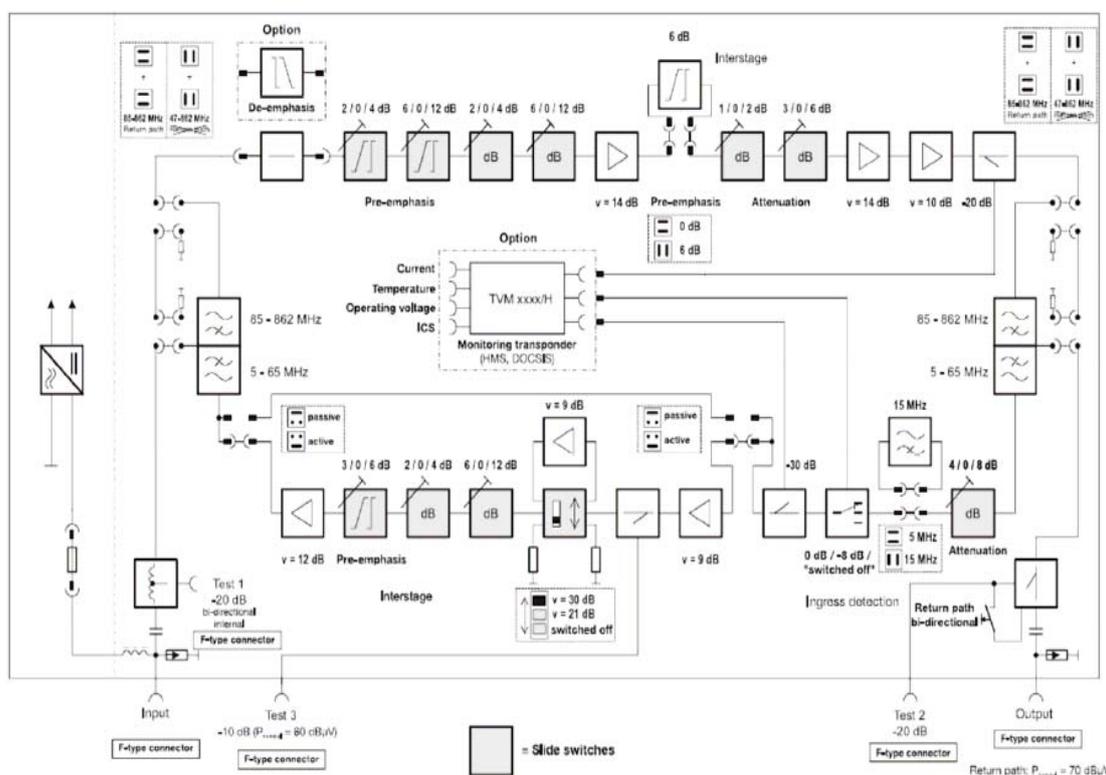


Figura 1.5. Diagrama en bloque de un amplificador bidireccional. [21]

En dependencia de la utilidad que se pretenda con estos amplificadores varia sus características y por supuesto su costos, pueden ser alimentado de forma directa a la red o pueden ser tele alimentado utilizando el mismo cable coaxial para hacerle llegar la alimentación en los casos de soterrados o tendidos aéreos que necesiten de su utilización, en el Anexo 5 se muestran algunas hojas de datos de los mismos.

1.2. Evolución de los estándares DOCSIS.

DOCSIS “*Data-Over-Cable Service Interface Specification*”, desarrollado por CableLab, es el que hace que se pueda convertir una red de Televisión tradicional en una infraestructura que permite la transmisión de datos a alta velocidad para ello es necesario dotarlos en su extremos del equipamiento necesario para realizar la conexión.

En la cabecera de cable operador se conecta un CMTS (*Cable Modem Termination System*) y en el lugar del abonado un Modem de Cable, CM.

La evolución de DOCSIS comienza en 1998 y se extiende hasta la actualidad, se ha ido adaptando a las nuevas y complejas exigencias de sus clientes en esta era digital. Estos estándares se adaptan al ancho de banda de los servicios existentes en cada zona, 6 MHz en América y 8 MHz en Europa tomando el nombre de DOCSIS y EuroDOCSIS respectivamente.

DOCSIS es un estándar internacional, no comercial, que define los requerimientos de la interfaz de soporte de comunicaciones y operaciones para los sistemas de datos por cable; cubre todo elemento de la infraestructura de un CM, desde el CPE hasta el equipo terminal del operador. (CPE: El PC cliente y periféricos asociados se denominan equipos de las instalaciones del cliente). Esta especificación detalla muchas de las funciones básicas del CM de un cliente (modulación de frecuencias en el cable coaxial, aplicación del protocolo SNMP a los CMs, encriptación de datos, etc.); muchas funciones adicionales son definidas pero por lo general no son usadas a menos que el CMTS lo requiera. El término de equipo terminal usualmente se refiere al todo el equipo que es usado por un proveedor de servicios para mantener y operar una red de CM. [5, 18, 20]

Este estándar permite añadir transferencias de datos de alta velocidad a un sistema de televisión por cable (CATV) existente. Muchos operadores de televisión por cable lo emplean para proporcionar acceso a Internet sobre una infraestructura HFC existente.

DOCSIS proporciona una gran variedad de opciones disponibles en las capas 1 y 2 del modelo OSI, la capa física (PHY) y la de control de acceso al medio (MAC). En la Figura 1.6 se muestra el comportamiento de la pila de protocolos DOCSIS en estas capas. [7]

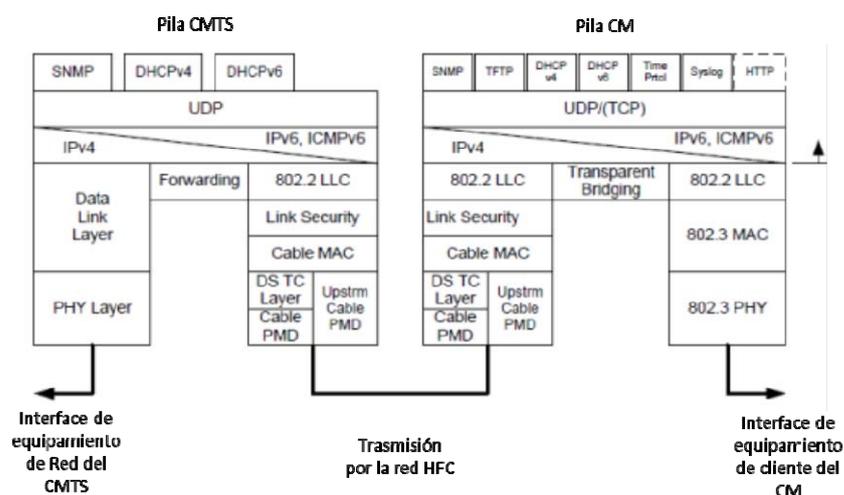


Figura 1.6 Pila de protocolos en DOCSIS. [7]

1.2.1 CMTS.

Para entender lo que es un CMTS se puede pensar en un enrutador con conexiones Ethernet en un extremo y conexiones RF (radiofrecuencia) coaxiales en el otro. La interfaz RF transporta las señales de RF hacia y desde el CM del abonado.

La mayoría de CMTS tienen tantas conexiones Ethernet (u otras interfaces de alta velocidad más tradicionales) como interfaces RF. De esta forma, el tráfico que llega de Internet puede ser enrutado mediante la interfaz Ethernet, a través del CMTS y después a las interfaces RF que están conectadas a la red HFC de la compañía de cable. El tráfico viaja por la red HFC para acabar en el CM del domicilio del abonado. Obviamente, el tráfico que sale del domicilio del abonado pasará por el CM y saldrá a Internet siguiendo el camino contrario.

Los CMTS normalmente solo manejan tráfico IP. El tráfico destinado al CM enviado desde Internet, conocido como tráfico de bajada (downstream), se transporta encapsulado en paquetes MPEG. Estos paquetes MPEG se transportan en flujos de datos que normalmente se modulan en señales QAM.

El tráfico de subida (upstream, datos del CM hacia la cabecera o Internet) se transporta en tramas Ethernet (no MPEG), típicamente en señales QPSK.

Un CMTS típico, permite al ordenador del abonado obtener una dirección IP mediante un servidor DHCP. Además, aparte de la IP, también suele asignar la puerta de enlace, servidores DNS, etc.

Los CM y los CMTS implantan protocolos para: compensar las pérdidas en el cable, compensar las diferentes longitudes del cable, asignar frecuencias a los cables módems, asignar ranuras de tiempo para los CM en el canal de subida. [1]

Un CMTS puede actuar como puente o enrutador, pueden disponer de filtrado para proteger contra el robo de servicio y ataques de denegación de servicio o en contra de los piratas informáticos que intenta penetrar en el sistema del operador de cable. Puede proporcionar la modulación y el control del tráfico a fin de garantizar una determinada calidad de servicio (QoS) a los clientes seleccionados. En la Figura 1.7 se puede apreciar la estructura de una red HFC con la incorporación del CMTS y los Modem de Cable. [32]

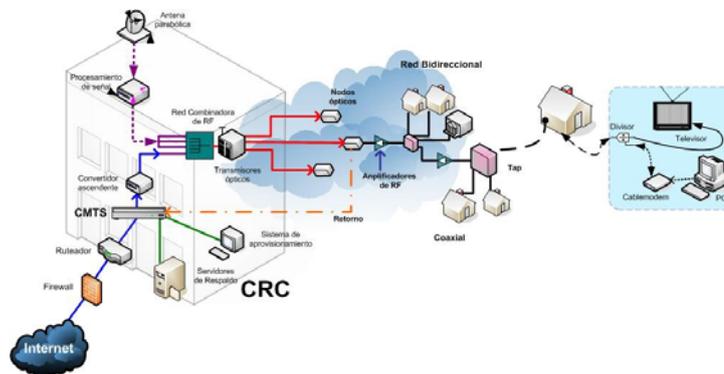


Figura 1.7 Red HFC preparada para DOCSIS. [32]

1.2.2 DOCSIS 1.0.

Esta primera variante cuya publicación surgió en marzo del 1997 estaba orientada fundamentalmente al tráfico de internet, presentan una modulación en el canal de bajada que puede ser desde 16 QAM hasta 256 QAM y QPSK para el canal de subida, teniendo en cuenta el ancho del canal físico, en dependencia de las modulaciones se pueden obtener las velocidades que se muestran en la Tabla 1.2. Los datos entre paréntesis representan el tráfico de la carga útil, descontando el de señalización y corrección de errores. [2]

Tabla 1.2. Velocidades en DOCSIS 1.0 [2]

DOCSIS 1.0					
Bajada en Mbps			Subida en Mbps		
	16-QAM	256-QAM		QPSK	16-QAM
6 MHz	30.34 (27)	42.88(38)	0.2MHz	0.32(0.3)	0.64(0.6)
8MHz	40.44(36)	57.20(21)	0.4MHz	0.64(0.6)	1.28(1.2)
			0.8MHz	1.28(1.2)	2.56(2.3)
			1.6MHz	2.56(2.3)	7.68(6.8)
			3.2MHz	5.12(4.6)	15.36(13.5)

1.2.3 DOCSIS 1.1.

La versión 1.1 surge en abril de 1999 y trata de hacerle algunas mejoras a la variante anterior enfocada en la incorporación de la calidad de servicio (QoS), debido al incremento del tráfico y la diversificación del mismo, lograr un uso más eficiente del ancho de banda incorporando algunas mejoras entre las que se encuentran:

Calidad de Servicio: Permite priorizar el tráfico de paquetes según la aplicación o la importancia del cliente.

Fragmentación: Fragmentación de paquetes grandes para facilitar la asignación de capacidad para servicios tipo CBR (ej. voz y video).

Concatenación: Agrupación de paquetes pequeños para incrementar el rendimiento.

Mejora de la Seguridad: Permite autenticación.

Supresión del encabezamiento de carga útil: Mejora la utilización del ancho de banda.

Estos cambios no hacen esta versión incompatible con la anterior sino que la complementa y la mejora al igual que las demás versiones a que se harán referencia en este trabajo.

1.2.4 DOCSIS 2.0.

Surge en 2003 e incorpora mejoras sustanciales orientadas a las nuevas demandas de los abonados de ese momento, incrementa el ancho de banda del canal de subida y varía la posibilidad de las modulaciones, permitiendo aumentar velocidades en este sentido de la comunicación, en la Tabla 1.3. se muestran estos cambios con relación a las versiones anteriores. [2]

Tabla 1.3 Velocidades en DOCSIS 2.0 [2]

DOCSIS 2.0						
Bajada en Mbps			Subida en Mbps			
	16-QAM	256-QAM		QPSK	16-QAM	64-QAM
6 MHz	30.34 (27)	42.88(38)	0.2 MHz	0.32(0.3)	0.64(0.6)	1.28(1.2)
8MHz	40.44(36)	57.20(21)	0.4MHz	0.64(0.6)	1.28(1.2)	1.92(1.7)
			0.8MHz	1.28(1.2)	2.56(2.3)	3.84(3.4)
			1.6MHz	2.56(2.3)	7.68(6.8)	7.68(6.8)
			3.2MHz	5.12(4.6)	15.36(13.5)	15.36(13.5)
			6.4MHz	10.24(9)	20.48(18)	30.72(27)

Entre las nuevas mejoras que se incorporan en esta versión se tienen las siguientes:

Mejora la utilización del ancho de banda de subida: Permitir trabajar en bandas antes prohibidas por problemas de ruido.

Mejor eficiencia espectral: Incorpora modulaciones de mayor orden.

Permite transmisiones simétricas: Igual velocidad bajada-subida.

Más robusto frente a problemas de ruido.

1.2.5 DOCSIS 3.0.

Es la variante en explotación con más potencialidades, logró aumentar el rendimiento de las redes considerablemente, el 7 de agosto de 2006 salieron a la luz las especificaciones finales del

DOCSIS 3.0, cuya principal novedad reside en el soporte para IPv6 y el "*channel bonding*", que permite utilizar varios canales simultáneamente, tanto de subida como de bajada, por lo que la velocidad podrá sobrepasar los centenares de megabit por segundos en ambos sentidos. Los equipos con el nuevo protocolo llegarán a velocidades de descarga de datos de 480 Mbps y subidas a 120 Mbps. [2], [25], [1].

El DOCSIS 3.0 da un salto superior con relación a las variantes que le preceden ya que las velocidades que se logran son más del tripe que las máximas logradas hasta el momento, este avance se debe fundamentalmente al "*channel bonding*".

Transmisión mediante la unión de canales con múltiples canales receptores. Es un nuevo concepto que introduce DOCSIS 3.0 referido a la capacidad, a nivel de la capa MAC, de transmitir simultáneamente paquetes pertenecientes a un mismo servicio a través de múltiples canales que serán recibidos y procesados por múltiples canales de recepción ubicados en los CM de manera tal que varios canales físicos son unidos para formar un canal lógico cuyo ancho de banda resultante corresponde a la suma del ancho de banda de cada canal que lo conforma. De esta forma se logra un aumento significativo de la tasa máxima de datos que puede ser proporcionada a un solo modem de cable.

La administración y localización del grupo de canales es controlado por el CMTS. Este mecanismo es empleado para la transmisión de datos tanto en el canal descendente como en el de retorno. [18] Figura 1.8.

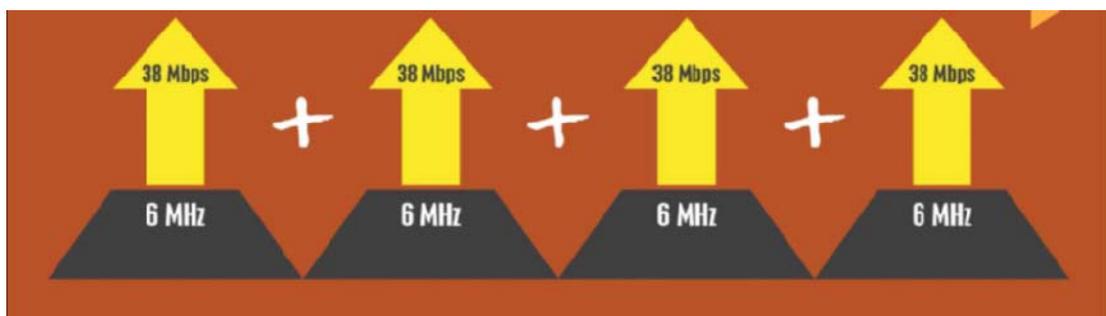


Figura 1.8. Unión de 4 canales en DOCSIS 3.0 [18]

DOCSIS 3.0, con respecto a sus versiones anteriores, introduce nuevas características de seguridad, tales como:

Encriptación de tráfico AES (*Advanced Encryption Standard*): Estándar de encriptación avanzada de 128 bits.

Verificación de la dirección IP de origen: Cualquier paquete en la red originado por un dispositivo cuya dirección IP no haya sido asignada por el proveedor de servicios es descartado.

Autenticación y encriptación tempranas, EAE (*Early Authentication and Encryption*).

El sistema empleado para proteger los paquetes en la red de cable está basado en el BPI+ (*Baseline Privacy Plus*) que responde por la autenticación de los CM, el intercambio de claves y el establecimiento de las sesiones de tráfico encriptado entre los CM y el CMTS.

IPv6. DOCSIS 3.0: introduce un soporte integrado para el Protocolo de Internet en su versión 6. Los CM DOCSIS 3.0 pueden ser habilitados indistintamente con direcciones IP de gestión tanto para IPv4 como para IPv6 o ambas. Además, los CM pueden proporcionar transparencia a la conectividad IPv6 para los dispositivos conectados a ellos con soporte completo para QoS.

1.2.6 DOCSIS 3.1.

Esta es la variante más reciente que ha tratado de ponerse a la altura de lo que se le pide a la redes de comunicaciones de la actualidad, da un salto considerable con relación a las anteriores, lográndose velocidades cercanas a los 10 Gbps en bajada y 2.5 Gbps en subida. En esta variante se incorporan cambios sustanciales que difieren completamente de lo que se había implementado hasta el momento.

Para lograr estos resultados se implementan modulaciones OFDM y QAM de alta complejidad así como la expansión del ancho de banda de la red a más del doble de lo que está establecido en las variantes anteriores, el cual puede ser preestablecido previamente en dependencia del entorno donde se implemente y puede llegar hasta 1794 MHz, aumentándose el espectro en ambos sentido [14]. Figura 1.9.



Figura 1.9. Reasignación del uso de frecuencias en las redes HFC. [14]

Estas son novedades que cambian por completo la esencia de las variantes anteriores, implementándose canales con múltiples sub-portadores OFDM de 192 MHz, las cantidad de estas está en dependencia de la modulación QAM que se use, la cual normalmente se toma entre 2048 QAM y 4096 QAM, llamadas también 2K QAM y 4K QAM, estas nuevas técnicas le exige a los cable operadores un aumento sustancial de la calidad de las redes HFC sobre las cuales se van a implementar estos servicios ya que sus requerimiento en cuanto a los parámetros de calidad de la señales transmitidas es considerablemente superior a las especificadas hasta el momento. [7], [3].

1.2.7 Comparación entre las variantes DOCSIS.

La evolución de DOCSIS ha ido aparejado al incremento de la conectividad como se muestra en la figura 1.10.

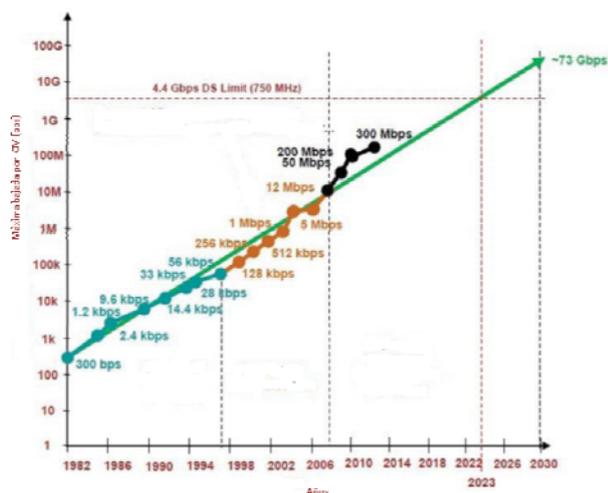


Figura 1.10. Pronósticos para las necesidades de conectividad por CM para los operadores de cable. [14]

En la Tabla 1.4 se muestran resumidas las principales diferencias entre las variantes de DOCSIS y los servicios que permiten incorporar en sus prestaciones.

Tabla 1.4 Comparación entre las variantes de DOCSIS hasta la actualidad [elaboración propia]

	DOCSIS 1.0 (1997)	DOCSIS 1.1 (1999)	DOCSIS 2.0 (2001)	DOCSIS 3.0 (2006)	DOCSIS 3.1 (2015)
Canal de RF	6.0 MHz d/s 200 kHz hasta 3.2 MHz u/s	6.0 MHz d/s 200 kHz Hasta 3.2 MHz u/s	6.0 MHz d/s Hasta 6.4 MHz u/s	Múltiple 6 MHz d/s Múltiple 6.4 MHz u/s	De 24 a 192 MHz
Tipo de Modulación	64/256-QAM d/s QPSK/16-QAM u/s	64/256-QAM d/s QPSK/16-QAM u/s	64/256-QAM d/s QPSK/64-QAM u/s	64/256-QAM d/s QPSK/64-QAM u/s	4096 QAM usando OFDM y TDMA
Capacidad de datos	41.4/55.4 Mbps 10 Mbps	41.4/55.4 Mbps 10 Mbps	41.4/55.4 Mbps 30 Mbps	480 Mbps 120 Mbps	10 Gbps 2.5Gbps
QoS	No	Si	Si	Si	Si
Seguridad	No	Si	Si	Si	Si
Servicios	Acceso a internet de alta velocidad sobre HFC	+ Dispone de servicio con Qos	+ Vos IP	+ Video digital, TV de alta definición (HDTV), grabación de video digital (DVR) y video por demanda (VOD). IPv6	+ Videos 4 K y 3 D

En cada momento la exigencia de la conectividad ha provocado un cambio en el estándar que permita dar solución a estas, aumentando constantemente las prestaciones en cuanto a velocidad de conexión en ambos sentidos y la implementación de protocolos de seguridad y calidad de servicio, para ello se ha aumentado la complejidad de las modulaciones, los anchos de banda a

utilizar, la incorporación del trabajo en IPv6 entre otras han sido cambios que se han suscitado de una variante a otra. El salto hasta la versión 3.1 es por mucho la mayor diferencia entre los cambios de variante desde que surgió DOCSIS para adaptarse a la situación actual.

1.3. Conclusiones del capítulo.

En este capítulo se puede observar como las diferentes variantes de DOCSIS se han ido adaptando a la evolución histórica de las telecomunicaciones lográndose mejoras y le han permitido a los cable operadores irse incorporando a la prestación de los nuevos servicios, que debido a la evolución de las mismas se han incorporado, logrando actualizar sus redes para coexistir en este muy cambiante mundo de la conectividad.

En la actualidad las exigencia de conectividad para los servicios que se están desarrollando ha crecido exponencialmente y DOCSIS 3.1 ha realizado cambio significativos con relación a las variantes anteriores para poder dar respuesta a estas necesidades.

Un aumento de la velocidad de trasmisión de 480 Mbps en DOCSIS 3.0 a 10 Gbps en DOCSIS 3.1 significa un salto muy superior a los pasos de incremento logrado en la historia de la evolución del estándar con un incremento de la velocidad de más de 2000 % con relación a la variante anterior, esto la hace muy ventajosas ante las demás opciones que viene desarrollándose tanto sobre fibra como inalámbricas, permitiéndole a los operadores de cable continuar explotando sus infraestructuras.

Este crecimiento de las prestaciones significa un aumento considerable de la calidad de las redes por lo que se debe tener especial atención en el momento del diseño, la selección del equipamiento, el montaje, la puesta en marcha y los mantenimientos programados de las mismas por el personal encargado de explotarla.

CAPITULO 2 Principales características del estándar DOCSIS 3.1.

Los cambios sustanciales en cuanto a la estructura de esta variante en aras de lograr un desempeño muy superior hace que la complejidad de implementación de la misma sea mayor que las anteriores a pesar de que se repiten un gran número de funciones de su predecesor DOCSIS 3.0. En este capítulo se tratará todo lo relacionado con el funcionamiento de DOCSIS 3.1 en la capa física tanto en el sentido de subida como de bajada y la forma de comunicación y el acceso al medio haciendo énfasis en las novedades que incorpora, cuyas ventajas permite a los operadores de cable competir con las tecnologías de fibra óptica más avanzadas.

2.1 Visión General del DOCSIS 3.1.

El aumento de las velocidades a varios gigabit por segundos en bajada y en subidas es resultado de significativos cambios en la capa física con relación a las variantes anteriores, las cuales son implementadas en DOCSIS 3.1

DOCSIS 3.1 asume el uso de Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM) en señales de bajada y Múltiples Accesos por División de Frecuencias Ortogonales (OFDMA) en el canal de subida, esto hace que se realice un uso mucho más eficiente del espectro de frecuencia y una operación más robusta ante las interferencia y los ruidos con relación a la cantidad de información que se trasmite y recibe. [9]

En esta variante se realiza un alargamiento del espectro a utilizar que puede estar dado en dependencia de la demanda, los servicios ofrecidos y la capacidad real de la planta de cable, por encima de los 1002 MHz que se usaban en las versiones anteriores, que además usaban transmisiones de simple portadoras QAM (SC-QAM).

Los canales de bajada OFDM están conformados por un gran número de sub-portadora espaciadas 25 KHz o 50 KHz, estos canales ocupan un ancho de banda de 192 MHz, totalizando 7680 de 25 KHz o 3840 de 50 KHz y en el canal de subida se agrupan las sub-portadoras OFDMA en grupos de 96 MHz de ancho de banda totalizando 3840 de 25 KHz o 1920 espaciadas 50 KHz. [8]

2.1.1 OFDM

OFDM se conoce desde los años 60 del pasado siglo donde se comenzó a hablar del procesamiento paralelo de la información para obtener más eficiencia del espectro sobre todo de los sistemas limitados en banda, estos en sus inicios fueron afectados por la interferencia inter canal e inter símbolo aspectos esto que fueron solucionados más adelante. Estos cambios y la gran eficiencia de OFDM la han establecido en la preferencia de muchos servicios de alta velocidad tanto en telefonía como difusión de datos y TV digital terrestre ya que sobre otras cosas se hace muy eficiente con las interferencias que se pueden provocar mediante el multitrayecto. [3, 15, 16]

De forma general la división del espectro en un gran número de sub-portadores, en el caso de DOCSIS 3.1 pueden llegar hasta 7680 de 25 KHz, esto aunque incrementa la complejidad del sistema, permite de forma más fácil realizar ecualizaciones en la banda de trabajo para garantizar una demodulación correcta de los paquetes de datos enviados. Todo este proceso conlleva a uso mucho más eficiente del ancho de banda que se dispone como se muestra en la Figura 2.1. [3]

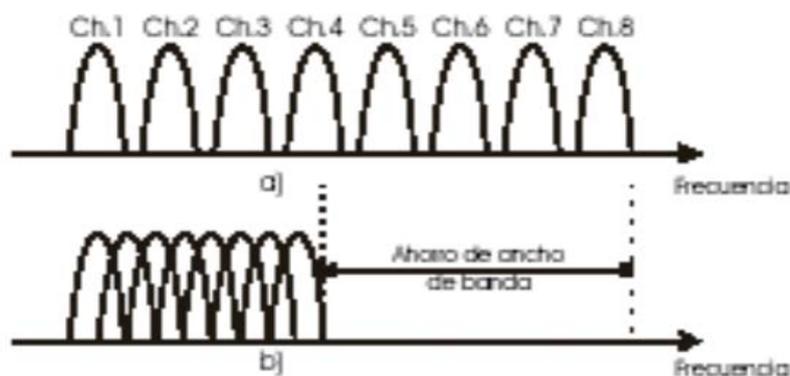


Figura 2.1 Multiportadoras convencionales frente a OFDM [3]

De forma general esta modulación se puede visualizar espectralmente como se muestra en la Figura 2.2. [3]

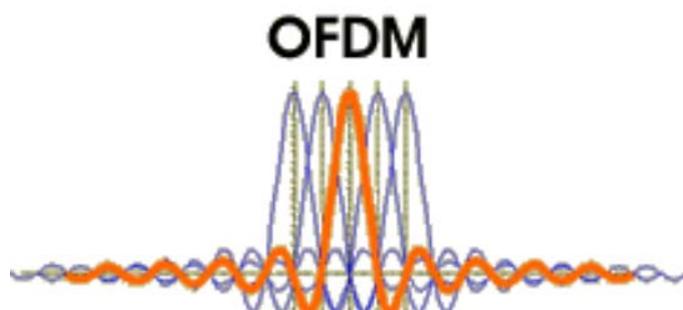


Figura 2.2. Visualización espectral de una modulación OFDM [3]

Todas estas sub-portadoras OFDM son previamente moduladas en cuadratura de fase QAM, utilizando también modulaciones complejas que pueden estar en el orden de 2048 QAM o 4096 QAM aunque no se descarta la utilización en el futuro de modulaciones mucho más complejas como 8192 QAM o 16384 QAM, en la Figura 2.3 se muestra un cuadrante de una modulación 4096 QAM [8]

CAPITULO 2. Principales características del estándar DOCSIS 3.1.



Figura 2.3. Cuadrante 1 de una modulación 4096 QAM [8]

Como se puede apreciar este tipo de constelaciones permite mayor tráfico de contenido pero a su vez la complejidad de la misma la hace considerablemente más susceptible a las interferencias debido a la distancia entre los símbolos, lo que trae consigo que los parámetros de calidad de las redes HFC deben tomarse muy en serio en todo momento para permitir que las pérdidas de paquetes no sobrepasen los umbrales permitidos.

2.2 Trasmisión y recepción en el canal de subida

Similar a la variante anterior DOCSIS 3.0 en este canal se usa, acceso múltiple por división de frecuencia, FDMA para la distribución de los canales previamente establecidos en la comunicación entre el CMTS y los CMs y a su vez, acceso múltiple por división de tiempo, TDMA y acceso múltiple por división de código S-CDMA para el intercambio de información.

Mediante el FDMA se le comunica al cable modem (CM) cuál de los canales de RF asignados a la banda de trabajo que debe usar para su comunicación con el CMTS, estos pueden ser más de uno y reconfigurados durante la operación del sistema.

Los Cable Módem tiene que ser capaces de trabajar con al menos cuatro canales de RF activos para comunicarse con el CMTS, estos lo pueden hacer de forma simultánea de acuerdo a la necesidad de tráfico de que dispongan, regulando los niveles de potencia de los mismos en dependencia de la comunicación con el CMTS y estar dispuesto a reconfigurar o cambiar hacia otro canal en el momento que se le informe. [9]

El CMTS encuestará constantemente el espectro y decidirá qué frecuencia es más aconsejable para establecer la comunicación debido al comportamiento de los parámetros de interferencia y ruido y las solicitudes de comunicación que tenga en ese instante. [32]

A su vez estos canales de RF son divididos en múltiples ranuras de tiempos a los cuales acceden los CM a lo que se le llama TDMA, esto permite que varios CM puedan usar los mismos canales de comunicación pero transmitir solo en la ranura de tiempo que le corresponda.

Mediante el intercambio de mensajes entre un CM al CMTS y entre el CMTS y todos los CM se mapea el ancho de banda disponible y se le brinda oportunidad de comunicación a todos los CM en dependencia del tipo de carga útil de que disponga ya que en estos protocolos se implementa calidad de servicio (QoS).

Durante este periodo de inicialización de los CM y cuando se decida realizar cambios, se intercambian un considerable números de mensajes de administración para un correcto acceso al medio MMM, que le permite al sistema establecer todos los parámetro necesario para una comunicación efectiva, estos mensajes se muestran en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Mensajes MMM usados durante la inicialización de los CM

[Elaboración propia]

Tipo	Version	Nombre del mensaje	Descripción
1	1	SYNC	Sincronización de temporización
2 o 29	1 o 3	UCD	Descriptor de Canal Upstream Un UCD solo para D2.0 usa Tipo 29 Version 3, los demás usan Tipo 2 Version 1
3	1	MAP	Asignación de ancho de banda de upstream
4	1	RNG-REQ	Solicitud de Alineación
5	1	RNG-RSP	Respuesta de Alineación
6	1	REG-REQ	Solicitud de Registro
7	1	REG-RSP	Respuesta de Registro
8	1	UCC-REQ	Solicitud de Cambio de Canal Upstream
9	1	UCC-RSP	Respuesta de Cambio de Canal Upstream
10	1	TRI-TCD	Descriptor de Canal de Telefonía [DOCSIS6]
11	1	TRI-TSI	Información de Sistema de Terminación [DOCSIS6]
12	1	BPKM-REQ	Solicitud de Administración de Llave de Privacidad [DOCSIS8]
13	1	BPKM-RSP	Respuesta de Administración de Llave de Privacidad [DOCSIS8]
14	2	REG-ACK	Reconocimiento de Registro
15	2	DSA-REQ	Solicitud de Adición Dinámica de Servicio
16	2	DSA-RSP	Respuesta de Adición Dinámica de Servicio
17	2	DSA-ACK	Reconocimiento de Adición Dinámica de Servicio
18	2	DSC-REQ	Solicitud de Cambio Dinámico de Servicio
19	2	DSC-RSP	Respuesta de Cambio Dinámico de Servicio
20	2	DSC-ACK	Reconocimiento de Cambio Dinámico de Servicio
21	2	DSD-REQ	Solicitud de Supresión Dinámica de Servicio
22	2	DSD-RSP	Respuesta de Supresión Dinámica de Servicio
23	2	DCC-REQ	Solicitud de Cambio Dinámico de Servicio
24	2	DCC-RSP	Respuesta de Cambio Dinámico de Servicio
25	2	DCC-ACK	Reconocimiento de Cambio Dinámico de Servicio
26	2	DCI-REQ	Solicitud de Identificación de Clase de Dispositivo
27	2	DCI-RSP	Respuesta de Identificación de Clase de Dispositivo
28	2	UP-DIS	Des-habilitación de Transmisor de Upstream
29	3		[Ver UCD]
30	3	INIT-RNG-RSP	Solicitud de Alineación Inicial
31	3	TST-REQ	Mensaje de Solicitud de Prueba
32	3	DCD	Descriptor de Canal Downstream [DSG]
33 – 255			Reservado para uso futuro.

2.2.1 Requerimientos del procesamiento de la señal para S-QAM en la subcapa física.

La ráfagas de paquetes transmitidos deben ser sometidos a la secuencia de pasos que se muestra en la Figura 2.4, la cual permitirá al CMTS recuperarla incluso cuando se pierdan tramas en el momento de la comunicación.

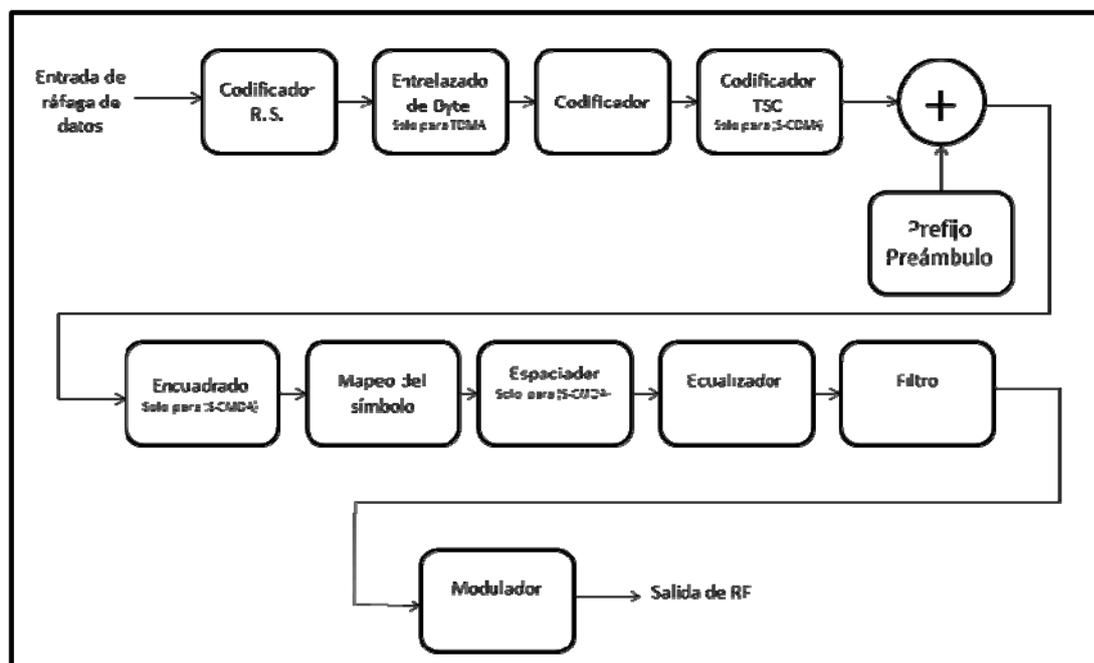


Figura 2.4 Secuencia de procesamiento de la señal en el canal de subida.

[Elaboración propia]

Los pasos de los paquetes para el proceso de transmisión TDMA en el canal de subida se muestran a continuación.

- Entrada de cadena de paquetes.
- Bloques de datos.
 - Se separan los paquetes en bloques de información.
- Codificación R-S.
 - Se codifica cada bloque de información con (Reed-Solomon).
- Entrelazado de Byte.
 - Los Byte R-S son entrelazados.
- Encriptado.
- Se adiciona el símbolo prefijo del preámbulo.
- Mapeo de símbolo.

 CAPITULO 2. Principales características del estándar DOCSIS 3.1.

- Se mapea la cadena de datos en el modulador de símbolos.
- Ecuación.
- Se pre-ecualiza la cadena de símbolos.
- Filtro.
- Se Filtra la cadena de símbolos para dar forma al espectro.
- Modulador.
- Se modula en tiempo real (QPSK, 8QAM, 16QAM, 32QAM).
- Salida de señal de RF.

La línea de tiempo del canal de subida es dividida en intervalos por el mecanismo de asignación de ancho de banda de este sentido. Cada intervalo es un número entero de mini-slots o ranura de tiempo.

Un mini-slot es la unidad de granularidad para las oportunidades de transmisión subida. No hay implicación que un PDU, *protocol data unit*, pueda, de hecho, ser transmitido en un único mini-slot.

Cada intervalo es etiquetado con un código de uso que define el tipo de tráfico que puede ser transmitido durante el intervalo y la codificación de modulación PHY.

Un mini-slot es múltiplo de una potencia de 2 de incrementos de 6.25 μ s.

2^m con $m = (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)$

(1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 o 128) x 6.25 μ s

En el caso del acceso por división de códigos sincrónicos (S-CDMA) es necesario realizar la siguiente secuencia para el proceso de transmisión de la señal.

- Entrada de cadena de paquetes.
- Bloques de datos.
 - Se separan los paquetes en bloques de información.
- Codificación R-S
 - Se codifica cada bloque de información con (Reed-Solomon).

- Entrelazado de Byte
 - Los Byte R-S son entrelazados.
- Encriptado.
- Codificación TCM.
 - Se codifican los Byte usando la modulación con el código Trellis.
- Se adiciona el símbolo prefijo del preámbulo.
- Encuadrado S-CMDA.
 - Encuadrado y entrelazado de datos en los Mini-Slots.
- Mapeo de símbolo.
 - Se mapea la cadena de datos en el modulador de símbolos.
- Propagación S-CDMA.
 - Se propagan los símbolos por los canales S-CDMA.
- Ecuación.
 - Se pre-ecualiza la cadena de símbolos.
- Filtro.
 - Se Filtra la cadena de símbolos para dar forma al espectro.
- Modulador.
 - Se modula en tiempo real (QPSK, 8QAM, 16QAM, 32QAM, 128QAM/solo TCM).
- Salida de señal de RF.

En la Tabla 2.2 se muestra las características que deben poseer las señales transmitidas por los CM en el canal de subida.

Tabla 2.2. Características de la señal transmitida por los CM en los canales SC-QAM [8]

Parámetro	Valor
Frecuencia	Soporta y puede ser configurada en los siguientes rangos 5-42 MHz 5-65MHz 5-85 MHz No se puede causar interferencias perjudiciales en ninguna de estas configuraciones
Tipo de señal	TDMA S-CDMA (opcional)
Tipo de Modulación	QPSK, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, y 128-QAM
Razón de modulación	TDMA: 1280, 2560, y 5120 kHz S-CDMA: 1280, 2560, y 5120 kHz
Ancho de Banda	TDMA: 1600, 3200, y 6400 kHz S-CDMA: 1600, 3200, y 6400 kHz
Nivel	CM debe ser capaz de transmitir una potencia promedio de 65 dBmV
Impedancia de salida	75 ohms
Perdida de retorno de salida	> 6 dB f_{max} – MHz (42/65/85/117/204 MHz) > 6 dB f_{max} – 1218 MHz > 6 dB f_{max} – 1.794 GHz para CMs que trabajen hasta 1.794 GHz
Conector	Conector F

La principal diferencia de esta variante con las anteriores es que se puede incrementar hasta 8 canales de subida en el espectro lo que permite entre otras cosas aumentar considerablemente el volumen del tráfico en este sentido. [8]

2.2.2 Requerimientos del procesamiento de la señal para OFDM en la subcapa física.

En este caso es donde se incorporan la mayor cantidad de cambios que permiten aumentar la eficiencia del sistema entre los que se encuentran variaciones en ancho de espectro utilizado, las modulaciones y las características que tiene que tener las redes físicas para soportar estos cambios.

Espectro de los CM en el canal de subida.

Los CM tienen que soportar un mínimo de configuraciones independientes de dos canales OFDMA acoplados cada uno a un espectro de 96 MHz en el canal de subida teniendo además que poder modular su señal de salida OFDMA desde 5 hasta 204 MHz de forma ágil.

Los CM tienen que ser capaces de adaptarse a la banda de trabajo seleccionada en dependencia del volumen de tráfico y las características de ruido del mismo pudiendo conmutar en los 45 MHz, 65 MHz, 85 MHz, 117 MHz y/o 204 MHz. Para ello este debe poder ser configurado para operar por encima de la banda de bajada, esto puede ser configurado mediante hardware conmutable dentro del modem o software que controlan filtros diplexores que responden a comandos OSSI. (operations support system interface) [7]

Incluso en DOCSIS 3.1 los CM pueden trabajar por encima de la banda de los 204 MHz siempre que no cause ningún tipo de interferencia en los canales de subida que pudieran operar en esta banda, pudiendo transmitir canales activos de 192 MHz, en este caso pueden transmitir canales OFDM y SC-QAM simultáneamente, controlados por el CMTS, en todo los casos los canales SC-QAM no serán transmitido por encima de 85 MHz.

Espectro de los CMTS en el canal de subida.

El CMTS debe soportar como mínimo la configuración independiente de dos canales OFDMA cada uno ocupando un ancho de banda de 96 MHz en el canal de bajada y puede ser capaz de soportar la implementación de otros canales de este tipo en dependencia del requerimiento del sistema.

Debe soportar la transmisión desde 5 hasta 204 MHz de forma ágil, incluso por encima de esta banda pueden ser configurados canales para la recepción de canales provenientes de los CM, siempre controlado por el CMTS. [7]

Reglas para los canales en la banda de subida.

El número de sub-portadoras activas en un canal OFDMA de subida no excederá de 1900 para 2K FFT y 3800 para 4K FFT. Cuando se configura para 2 K FFT el CMTS debe usar solo sub-portadoras en el rango $74 \leq k \leq 1973$, donde k es el índice espectral de la sub-portadora definida por la ecuación IDFT en la señal OFDMA. Cuando la configuración es 4K FFT entonces el índice espectral, k, de la ecuación anteriormente mencionada estará entre 148 y 3947.

Nomenclaturas de OFDMA en subida.

En DOCSIS 3.1 se usa OFDMA, acceso por múltiples división de frecuencias ortogonales, para la modulación de subida. Varias versiones de OFDM se utilizan y se asignan subconjuntos de sub-portadoras a los CMs individuales. Los parámetros OFDM de subida son resumidos en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Parámetros OFDM del canal de subida. [7]

Parámetro	Modo 2K	Modo 4K
Razón de muestra de subida (Fsu)	102.4 MHz	
Razón del periodo elemental de subida (Tsu)	1/102.4 MHz	
Ancho de banda del canal	10 MHz,....., 96 MHz	6.4 MHz,.....,96 MHz
Tamaño de la IDTF	2048	4096
Espaciamiento de las sub-portadoras	50 MHz	25 MHz
Duración de la FFT	20µs	40µs
Máximo número de sub-portadoras activas en un canal de 96 MHz	1900	3800

CAPITULO 2. Principales características del estándar DOCSIS 3.1.

Prefijo cíclico en subida	0.9375 μs	(96*T_{su})
	1.25μs	(128*T_{su})
	1.5625 μs	(160*T_{su})
	1.875 μs	(192*T_{su})
	2.1875 μs	(224 * T_{su})
	2.5 μs	(256 * T_{su})
	2.8125 μs	(288 * T_{su})
	3.125 μs	(320 * T_{su})
	3.75 μs	(384 * T_{su})
	5.0 μs	(512 *T_{su})
	6.25 μs	(640 *T_{su})
Tamaño de la ventana de subida	0 μs	(0 * T_{su})
	0.3125 μs	(32 * T_{su})
	0.625 μs	(64 * T_{su})
	0.9375 μs	(96 * T_{su})
	1.25 μs	(128 * T_{su})
	1.5625 μs	(160 * T_{su})
	1.875 μs	(192 * T_{su})
	2.1875 μs	(224 * T_{su})

Requerimiento del procesamiento de la señal.

En el canal de subida se utilizan campos OFDM en la transmisión, cada campo es comprimido y configurados usando k símbolos en dependencia de las condiciones y el volumen de la carga a transmitir.

En este caso en la ranuras de tiempo se transmite un grupo de sub-portadoras que tienen el mismo orden de modulación y estas están determinadas por el perfil de transmisión asignado a cada usuario, el diagrama en bloque de la transmisión en subida se muestra en la Figura 2.5.

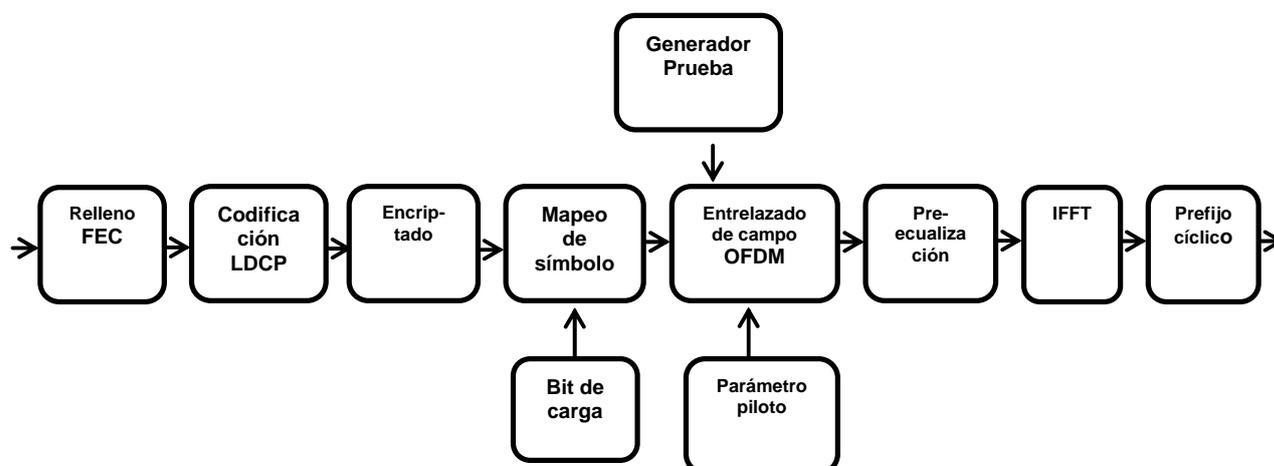


Figura 2.5. Diagrama en bloque de la transmisión en el canal de subida. [Elaboración propia]

Calculo de la potencia de transmisión del canal de subida.

El cable modem determina la potencia de señal recomendado para cada canal activado ($P_{1.6t_n}$) y es reportado al CMTS

$P_{1.6r_n}$ = reporte la potencia de señal (dBmV) del CM para el canal n.

Se calcula el valor máximo de potencia equivalente aplicable a cada uno de los canales que se establezcan ($P_{1.6hi}$).

$$P_{1.6hi} = P_{max} \text{ (dBmV)} - 10\log_{10} (N_{eq})$$

Donde P_{max} (dBmV) es la potencia máxima que puede transmitir el CM y N_{eq} es el número equivalente en las variantes anteriores de DOCSIS (1.6 MHz)

$$N_{eq} = BW_{legacy} \text{ (MHz)} / 1.6 \text{ MHz} + (BW_{OFDMA} \text{ (MHz)} / 1.6 \text{ MHz})$$

BW_{legacy} es el ancho de banda ocupado por la combinación de los canales SC-QAM.

BW_{OFDMA} es el ancho de banda ocupado por la combinación de los canales OFDMA.

El CM actualiza el reporte de la potencia por canal en cada canal mediante los siguientes pasos:

- 1.- $\Delta P = P_{1.6c_n} - P_{1.6r_n}$

- 2.- $P_{1.6r_n} = P_{1.6r_n} + \Delta P$ Se adiciona el nivel de ajuste de potencia de cada canal al reporte de nivel de potencia del canal.

El CMTS debe asegurar lo siguiente:

3.- $P_{1.6r_n} \leq P_{1.6hi}$ Se acota al nivel máximo de potencia por canal.

4.- $P_{1.6r_n} \geq P_{1.6low_n}$ Se acota al nivel mínimo de potencia pos canal.

5.- $P_{1.6r_n} \geq P_{1.6low_multi}$ La potencia por canal no violará la ventana de rango dinámico.

6.- $P_{1.6r_n} \leq P_{1.6hi} - P_{1.6load_min_set}$

Para OFDMA el CM transmite en cada sub-portadora el dato de la potencia recomendada.

$P_{t_sc_i} = P_{1.6r_n} - P_{1.6delta_n} + Pre-E_{qi} - 10 \log(\# \text{ de sub-portadoras en } 1.6 \text{ MHz} \{32 \text{ o } 64\})$

Donde $Pre-E_{qi}$ es el coeficiente de pre ecualización de la i^{ma} sub-portadora. $P_{1.6delta_n}$ es 0 dB para no amplificar, 0.5 dB para amplificar las sub-portadoras espaciadas 25 KHz y 1 dB para amplificar las sub-portadoras espaciadas 50 KHz.

Emisión de espurias.

En todo sistema de transmisiones de sub-portadoras se incorpora una serie de armónicos que si no son controlados pueden ser muy perjudiciales junto al ruido para la calidad de los enlaces de datos que se desee establecer, en este caso es necesario controlar el piso de las espurias que puede ser permitido en dependencia de las sub-portadoras que se implementen.

El piso de espurias es definido por la siguiente ecuación:

Piso de espurias = $\max\{-57 + 10 \cdot \log_{10}(100\% \text{ del espectro supervisado} / 192 \text{ MHz}), -60\}$

Estas espurias debe encontrarse dentro de los parámetros que se muestran en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Parámetros donde deben mantenerse la emisión de espurias. [7]

Parámetro	Ráfaga de transmisión	Entre Ráfagas
En Banda	-45 dBc OFDMA supervisión del 100% -51 dBc OFDMA supervisión del 5% -50 dBc S-CDMA/TDMA	-72dBc

CAPITULO 2. Principales características del estándar DOCSIS 3.1.

<p>Para el caso que la subida opere en el rango 5-42 MHz</p> <p>Limites integrado de emisión de espurias en los CM (todo en 4 MHz incluido discretas)</p> <p>42 a 54 MHz</p> <p>54 a 60 MHz</p> <p>60 a 88 MHz</p> <p>88 a 1218 MHz</p>	<p>-40 dBc</p> <p>-34 dBmV</p> <p>-40 dBmV</p> <p>-45dBmV</p>	<p>-26 dBmV</p> <p>-40dBmV</p> <p>-40 dBmv</p> <p>Max(-45 dBmV)</p>
<p>Para el caso que la subida opere en el rango 5-42 MHz</p> <p>Limites integrado de emisión de espurias en los CM</p> <p>42 a 54 MHz</p> <p>54 a 88 MHz</p> <p>88 a 1218 MHz</p>	<p>-50 dBc</p> <p>-50 dBc</p> <p>-50 dBc</p>	<p>-36 dBmV</p> <p>-50 dBmV</p> <p>-50 dBmv</p>
<p>Para el caso que la subida opere en el rango 5-85 MHz</p> <p>Limites integrado de emisión de espurias en los CM (todo en 4 MHz incluido discretas)</p> <p>85 a 108 MHz</p> <p>85 a 108 MHz (debe)</p> <p>108 a 136 MHz</p> <p>136 a 1218 MHz</p>	<p>-45 dBc</p> <p>-50 dBc</p> <p>-40 dBmV</p> <p>-45 dBmV</p>	<p>-31 dBmV</p> <p>-36 dBmV</p> <p>-40 dBmv</p> <p>Max(-45 dBmV)</p>
<p>Para el caso que la subida opere en el rango 5-85 MHz</p> <p>Limites integrado de emisión de espurias en los CM</p> <p>85 a 108 MHz</p> <p>108 a 1218 MHz</p>	<p>-50 dBc</p> <p>-50 dBmV</p>	<p>-36 dBmV</p> <p>-50 dBmV</p>
<p>Para el caso que la subida opere en el rango 5-204 MHz</p> <p>Limites integrado de emisión de espurias en los CM (todo en 4 MHz incluido discretas)</p> <p>204 a 258 MHz</p> <p>204 a 258 MHz (debe)</p> <p>258 a 1218 MHz</p>	<p>-50 dBc</p> <p>-60 dBc</p> <p>-45 dBmV</p>	<p>-72 dBc</p> <p>-72 dBc</p> <p>Max(-45 dBmV)</p>
<p>Para el caso que la subida opere en el rango 5-204 MHz</p> <p>Limites integrado de emisión de espurias en los CM</p> <p>204 a 258 MHz</p> <p>258 a 1218 MHz</p>	<p>-50 dBc</p> <p>-50 dBmV</p>	<p>-36 dBmV</p> <p>-50 dBmV</p>

Requerimiento de MER en OFDM.

La razón de error de modulación (MER) es indispensable tener en cuenta para un funcionamiento adecuado de cualquier red HFC que opere con DOCSIS, más aún cuando se implemente la variante 3.1 debido a su complejidad. La MER incluye los efectos de interferencia inter-portadoras (ICI), emisiones de espurias, ruidos, distorsiones y todo lo que degrade al transmisión de forma no deseada.

La MER está compuesta por el promedio de todas las sub-portadoras de una ranura de tiempo para las i^{ma} ranuras de una supervisión OFDMA y está dada por la siguiente expresión.

$$MER_i \text{ (dB)} = 10 \log_{10} \left(\frac{E_{avg}}{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left(\frac{1}{M} \sum_{k=1}^M |e_{j,k}|^2 \right)} \right)$$

Donde

E_{avg} : es el promedio de la energía de la constelación para igual probabilidad de símbolo.

M : es el número de símbolos promediados.

N : es el número de sub-portadora por ranura de tiempo.

e_j, k es el vector del error para j^{ma} sub-portadora en la ranura y k^{mo} símbolo recibido en una transmisión ideal QAM.

Los valores límites de la MER en el canal de subida dependen además de la pre-ecualización que se realice, en las Tablas 2.6 y 2.7 se muestran los valores requeridos con y sin pre-ecualización.

Tabla 2.6. Requerimiento de MER en el canal de subida con pre-ecualización.[8]

Parámetro	Valor
MER (100% de supervisión)	MER \geq 44dB para cada ranura
MER (5% Supervisión)	MER \geq 50dB para cada ranura

Tabla 2.7. Requerimiento de MER en el canal de subida sin pre-equalización.[8]

Parámetro	Valor
MER (100% de supervisión)	MER ≥ 40 dB para cada ranura
MER (5% Supervisión)	MER ≥ 40 dB para cada ranura

Requerimiento de potencia recibida por el CMTS.

El CMTS tiene que ser capaz de demodular la señal proveniente de los CM y los niveles de potencia de la señal en su entrada presentan un rango que estará en dependencia del tipo de modulación que se utilice en el intercambio de información. En la Tabla 2.8 se muestra los niveles extremos de potencia con respecto a la modulación empleada. [9]

A medida que aumenta la complejidad de la modulación disminuye el rango de potencia permisible a la entrada del CMTS

Tabla 2.8. Nivel de entrada del CMTS en dependencia de la modulación en el canal de subida.[9]

Modulación	Mínimo valor (dBmV/6.4MHz)	Máximo valor (dBmV/6.4MHz)	Rango
QPSK	-4 dBmV	10 dBmV	-9/+3
8-QAM	-4 dBmV	10 dBmV	-9/+3
16-QAM	-4 dBmV	10 dBmV	-9/+3
32-QAM	-4 dBmV	10 dBmV	-9/+3
64-QAM	-4 dBmV	10 dBmV	-9/+3
128-QAM	0 dBmV	10 dBmV	-9/+3
256-QAM	0 dBmV	10 dBmV	-9/+3
512-QAM	0 dBmV	10 dBmV	-3/+3
1024-QAM	0 dBmV	10 dBmV	-3/+3
2048-QAM	7 dBmV	10 dBmV	-3/+3
4096-QAM	10 dBmV	10 dBmV	-3/+3

Otros de los aspectos importantes a tener en cuenta es la razón portadora a ruido (CNR), teniendo más significado este aspecto ya que en el CMTS convergen todos los ruidos e interferencia proveniente de todos los abonados y su relación con la modulación utilizada, en la Tabla 2.9 se muestra esta relación para el canal de subida. [9]

Tabla 2.9. Relación de la CNR con la modulación en el canal de subida. [9]

Constelación	CNR (dB)	Valor dBmV/6.4 MHZ)	Corrimiento
QPSK	11.0	-4 dBmV	0 dB
8-QAM	14.0	-4 dBmV	0 dB
16-QAM	17.0	-4 dBmV	0 dB
32-QAM	20.0	-4 dBmV	0 dB
64-QAM	23.0	-4 dBmV	0 dB
128-QAM	26.0	0 dBmV	0 dB
256-QAM	29.0	0 dBmV	0 dB
512-QAM	32.5	0 dBmV	0 dB
1024-QAM	35.5	0 dBmV	0 dB
2048-QAM	39.0	7 dBmV	0 dB
4096-QAM	43.0	10 dBmV	0 dB

Negociación.

La negociación es el proceso que permite el comienzo y el establecimiento de la comunicación entre un CM que entra al medio y el CMTS que está en operación, dura un periodo de tiempo y en este se establecen las condiciones para lograr la optimización dentro de lo posible de los parámetros vistos en los epígrafes anteriores. En este momento es necesario fijar los valores de potencia de transmisión del nuevo CM, sincronizarlo en tiempo con el CMTS, se le asigna las

CAPITULO 2. Principales características del estándar DOCSIS 3.1.

ranuras de trabajo y se eligen la frecuencia más apropiada dentro de las disponible para establecer la comunicación. De forma general se comienza con modulaciones más simples y robustas al ruido y se van complejizando en dependencia de las necesidades y las posibilidades que brinda el canal seleccionado.

En DOCSIS 3.1 la negociación cuenta de tres pasos fundamentales:

Negociación inicial: Es usado por el CMTS para identificar una solicitud de conectividad hecha por un CM, en este momento se hace un ajuste grueso de la potencia y la sincronización. Durante este tiempo se intercambian mensajes hasta establecer el registro del nuevo cliente, estos mensajes se muestran en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10. Mensajes usado por el CMTS y CM para logra la negociación inicial.

[Elaboración propia]

RNG-REQ	Solicitud de Negociación
RNG-RSP	Respuesta de Negociación

Negociación Fina: Una vez establecidos los primeros parámetros y canales de comunicación es necesario establecer condiciones lo más perfecta posible para dar paso al intercambio de datos, durante este tiempo CMTS y CM calculan e intercambian los valores óptimos de potencia de transmisión y ocurre una sincronización en tiempo después de calcular los tiempo de demora provocados por la topología de la red. Cuando se supera esta fase el CM estará listo para establecer una comunicación correcta.

Prueba: A pesar de que ya en este momento el nuevo CM debe estar con todo sus parámetros listos es necesario realizar pruebas de intercambio de información antes de activar el lado LAN del mismo.

Se realizan pruebas de campos consistentes en k símbolos continuos OFDM donde k es la cantidad de símbolo en una ranura, se prueban símbolos pilotos mediante la generación de sub-portadoras BPSK, generadas por un esquema de secuencia binaria pseudo aleatorio (PRBS).

En este paso se pueden realizar ajustes mediante el paso 2 para perfeccionar la conexión y se realizan pruebas nuevamente para comprobar la eficacia de los cambios.

2.3 Transmisión y recepción en el canal de bajada.

En el canal de bajada es donde mayor cantidad de información se mueve generalmente debido a las descargas de internet, comparado con el de subida que en la mayoría de los casos es información de solicitudes lo que se trasmite. De ahí que en este sentido es el de mayor complejidad en las modulaciones y de uso de ancho de banda del espectro de frecuencia.

2.3.1 Rango de frecuencia y ancho de banda.

Tanto el CMTS como el CM tienen que ser capaces de trabajar desde 258 MHz y hasta 1258 MHz siempre en una conexión que se origina en el CMTS y es recibida por el CM, esta banda puede ser extendida en dependencia de la cantidad de tráfico y la variante establece que puede extenderse hasta 1794 MHz y comenzar en 108 MHz aunque los primeros equipos no los implementen de esta forma.

Tanto en CM como el CMTS tienen que ser capaces de soportar la configuración de por lo menos dos canales OFDM ocupando cada uno 192 MHz dentro de los cuales no se deben de exceder 3800 sub-portadoras para 4K FFT y 7600 para 8K FFT, cuando se configura para 4K FFT el CMTS puede usar solo sub-portadoras en el rango $148 \leq k \leq 3947$ donde k es el índice espectral de la sub-portadora en la ecuación IDFT que define la señal OFDM, cuando se configura en 8K FFT entonces los valores de k estarán entre 296 y 7895 incluyendo estos.

Ancho de banda del canal

Los canales OFDM pueden ser configurados desde un ancho de banda mínimo de 22 MHz hasta 190 MHz manteniendo una banda de guarda de 1 MHz entre el borde de los canales SC-QAM y la frecuencia central de sub-portadora OFDM más cercana y lograr una separación de 2 MHz entre dos sub-portadoras OFDM adyacentes.

2.3.2 Parámetros OFDM.

La señal de bajada OFDM usa la misma IDTF definida para la capa física de subida, el CMTS debe transmitir usando dicha ecuación. [9]

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) \exp(j \frac{2\pi t(k - \frac{N}{2})}{N})$$

para $i = 0, 1, \dots, (N-1)$

Donde N son las sub-portadoras de la FFT y a diferencia del canal de subida puede tener valores de 4096 (4K FFT), con sub-portadoras espaciadas a 50 kHz y con una duración de 20 μ s o 8192 (8K FFT), con sub-portadoras espaciadas a 25 kHz y una duración de 40 μ s.

Tanto el CMTS como el CM tienen que ser capaz de modular y demodular las sub-portadoras OFDM en los formatos BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 128-QAM, 512-QAM, 1024-QAM, 4096-QAM y además deben estar preparados para operar en formatos 8192-QAM y 16384-QAM.

Perfiles

Normalmente se establecen varios perfiles en dependencia, fundamentalmente, del tipo de modulación usada en las sub-portadoras en un canal OFDM. Se pueden usar diferentes perfiles agrupando un grupo de CMs, teniendo en cuenta fundamentalmente los parámetros de calidad de la red sobre todo la SNR, la cual es previamente obtenida por el CMTS el cual puede tomar la decisión automáticamente de asignar los grupos o se puede establecer manualmente por el operador del sistema. [8]

El perfil A es el que se utiliza para la inicialización y registro de un CM que se suma a la red en el cual generalmente se usan las modulaciones menos eficientes pero más robustas, lo que permite en el peor de los casos con las condiciones mínimas de conectividad establecer un intercambio de extremo a extremo que permita establecer condiciones de trabajo en dependencia del entorno de la red encuestada fundamentalmente por el CMTS, que decidirá si se encuentra de forma automática, el perfil y de hecho al grupo que debe unirse el nuevo CM que le permita la comunicación más eficiente teniendo en cuenta los parámetros de calidad en el lugar del abonado. [8]

2.3.3 Potencia de trabajo.

Requerimiento de potencia de transmisión del CMTS.

En este caso el CMTS tiene que ser capaz de generar un número de canales por puerto de RF donde se incluyan los canales hasta el momento existente (N) más los nuevos canales OFDM que se incorporan (NOFDM).

El CMTS tiene que ser capaz de generar un ancho de banda de canales equivalentes (Neq), donde $Neq = N + 32 * NOFDM$.

En la Tabla 2.11 se muestran los principales parámetros que deben ser establecidos por el CMTS en el canal de bajada.

Tabla 2.11. Requerimientos de potencia en la transmisión del CMTS. [8]

Parámetro	Valor
Requerimiento de potencia por canal para Neq canales combinados en puerto de RF simple	$60 - \text{ceil}[3.6 * \log_2(N^*)]$ dBmV/canal
Rango de potencia transmitida por canal permitido	≥ 8 dB por debajo del nivel de potencia requerido
Diferencia de potencia entre dos canales adyacentes en el espectro de bajada entre 108 y 1218 MHz	≤ 0.5 dB
Diferencia de potencia entre dos canales no adyacentes en un bloque continuo de canales de 48 MHz	≤ 1 dB
Diferencia de potencia entre cualquier canal bloque de canales OFDM en el espectro de bajada entre 108 y 1218 MHz	≤ 2 dB
Potencia por canal con absoluta exactitud	± 2 dB

Requerimiento de potencia de entrada para la recepción en los CMs.

Los CMs tiene que ser capaces de aceptar cualquier sub-portadora OFDM tanto en la banda baja como en la banda alta y operar según el perfil de modulación que le fue especificado en el momento de su inicialización o previamente cambiado durante la operación del mismo.

Los valores de potencia fundamentales de las señales de bajada que llegan a los CMs se muestran en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12. Requerimiento de potencia de entrada en los CMs. [8]

Parámetro	Valor
Total potencia de entrada	< 40dBmV para rango de trabajo
Rango de nivel	-9 dBmV/24 MHz a 21 dBmV/24 MHz

Entre los principales aspectos a tener en cuenta en el lugar del abonado está el comportamiento de la relación portadora a ruido (CNR) en dependencia de la modulación QAM y el ancho de banda de trabajo lo cual se muestra en la Tabla 2.13.

Tabla 2.13. Requerimiento de la CNR con respecto a la modulación y al ancho de banda.[8]

Constelación	CNR (dB) hasta 1 GHZ	CNR (dB) de 1 GHz a 1.2 GHz
4096	41.0	41.5
2048	37.0	37.5
1024	34.0	34.0
512	30.5	30.5
256	27.0	27.0
128	24.0	24.0
64	21.0	21.0
16	15.0	15.0

MER y emisión de espurias

Por otra parte es necesario controlar para lograr una comunicación lo más fiable posible, el comportamiento de los valores extremos de la MER en el enlace así como la emisión de espurias dentro de la banda de trabajo, valores estos que, aunque a la hora del diseño, son difíciles de cuantificar debido a la cantidad de factores que pueden influir, si una vez montado el sistema se pueden determinar y hacer las acciones necesarias para colocar dentro de la norma estos parámetros. En la Tabla 2.14 se muestra como debe ser el comportamiento de los mismos.[7]

Tabla 2.14. Rango de los parámetros de MER en el canal de bajada. [7]

Rango de medición	Hasta 600 MHz		De 600 MHz a 1002 MHz		De 1002 MHz a 1218 MHz	
Distorsión y ruido en banda	≤ -50 dBr		≤ -47 dBr		≤ -45 dBr	
MER en canal OFDM ocupado de 192 MHz en la banda	Por sub-portadora	Promedio	Por sub-portadora	Promedio	Por sub-portadora	Promedio
	≥48 dB	≥50 dB	≥45 dB	≥47 dB	≥43 dB	≥45 dB
MER en un canal simple OFDM	≥48 dB		≥45 dB		≥43 dB	

2.4 Conclusiones del capítulo

En este capítulo se han presentado las principales diferencias de la variante DOCSIS 3.1 con relación a sus predecesores y que la hacen funcionalmente superior en cuanto a eficiencia y conectividad. Mejoras sustanciales basadas fundamentalmente en el uso de modulaciones mucho más complejas y un cambio en el tamaño y la utilización del ancho de banda, trayendo como resultado de obtención de velocidades acorde con las demandas de los servicios IP de la actualidad.

CAPITULO 2. Principales características del estándar DOCSIS 3.1.

La utilización, fundamentalmente, de modulaciones más complejas implican una mayor confiabilidad de las redes HFC sobre las cuales se deben montar estos servicios, teniendo que establecerse parámetros de las mismas que cumplan con los establecidos para esta variante, obligando a los cable operadores a tener un mayor cuidado en el diseño y montaje de las mismas así como el reacondicionamiento de las existentes para poder entrar en norma el comportamiento de estos.

CAPITULO 3 Procedimiento para la implementación de DOCSIS 3.1 en una red HFC y su evaluación.

No todas las implementaciones de DOCSIS 3.1 se efectúan en redes nuevas, diseñadas para soportar el equipamiento y los parámetros específicos para su correcto funcionamiento, en este capítulo se plasmarán los principales cambios que son necesarios realizar a una red HFC tanto en su estructura como en su equipamiento para que sea posible dicha implementación.

3.1 Principales parámetros a tener en cuenta para la implementación

En el caso de la transmisión de datos en DOCSIS 3.1 se hace más crítico el tiempo de retardo en la comunicación con el CM más distante, las micro reflexiones y la relación portadora a ruido, sobre todo, se hacen más exigentes con el incremento de la complejidad de la modulación utilizada; por otra parte, la MER que en este caso, es afectadas entre otras cosas por todas la intermodulaciones que se generan en los elementos activos.

Además hay que tener en cuenta la expansión en cuanto a ancho de banda de esta variante en ambos sentido, la cual se extiende hasta 1.28 GHz y en un futuro próximo hasta 1.78 GHz de 1 GHz que tienen las redes en la actualidad, este cambio implica que tanto los dispositivos pasivos como activos de la red HFC tienen que responder a estas especificaciones así como al corrimiento de la banda de retorno hasta 204 MHz y además, tener en cuenta la variación que sufren en la atenuación de los cable coaxiales y la ecualización con el aumento de la frecuencia de trabajo, cuya variación tiene que ser corregida por los amplificadores de la red.

3.1.1 Cambios necesarios en la parte óptica de la red.

Desde hace algún tiempo con el deterioro de los precios de la fibra óptica y las facilidades que brinda la mismas, su presencia en las redes de comunicaciones se ha multiplicado exponencialmente, en este caso en las redes HFC con la presencia de equipamiento DOCSIS 3.1 no es la excepción. La penetración de la fibra óptica en las redes a coaxial mejora sustancialmente los parámetros de calidad de la red así como la pérdida de paquetes en las transmisiones de datos.

Equipamiento de cabecera.

En el equipamiento de cabecera óptico es importante el chequeo de las frecuencias de trabajo de la parte de RF de la parte activa de la misma, amplificadores, transmisores ópticos, receptores de canal de retorno y amplificadores de retorno que en su mayoría no cumplen con las especificaciones de frecuencia de trabajo de la nueva variante. Como se muestra en los Anexos 1 y 2.[21]

Es importante controlar el punto de operación de los amplificadores tanto el de entrada como el interno que tiene el transmisor óptico, en estos se afectan de forma directa las intermodulaciones y el índice de modulación óptica, así como estos mismos parámetros en el caso de los retornos provenientes de los abonados.

Línea de transmisión óptica.

En este aspecto, generalmente, no se pueden lograr mejoras significativas si se realizó un correcto montaje y se mantienen una buena supervisión y mantenimiento periódico de la traza, pero es necesario señalar que hay que tener en cuenta las mediciones de las fusiones existentes y de posibles atenuaciones adicionales que pueden provocarse por manipulaciones externas que estresan el cable de fibra óptica. En cuanto a los puentes en ODF de la red y los conectores terminales de las mismas se deben garantizar que sean de pulimento APC lo cual permite una menor pérdida, estos conectores tienen que ser supervisados periódicamente y establecido una política de mantenimiento de los mismos.

En los nuevos escenarios para la implantación de DOCSIS 3.1 con el objetivo de minimizar el tamaño de la red a coaxial es necesario penetrar con las líneas de fibra óptica lo más posible en las redes HFC.

Nodo óptico.

En los nodos ópticos se encuentra la primera etapa amplificadora de la parte a coaxial de la red ya cerca de la acometida del abonado, por lo que es necesario al igual que los amplificadores de la red tener en cuenta el punto de operación de los mismos para afectar lo menor posible los parámetros de intermodulación que en estos se generan. Ya para la implementación plena de DOCSIS 3.1 se propone que el nodo óptico tenga que asumir no solo funciones de conversión de medios, sino que se le incorporen procesamiento digitales de la señal tanto en la capa física como en la capa de acceso al medio como se podrá ver en epígrafes posteriores.

La adecuación de los nodos a la frecuencia de trabajo que se establece en DOCSIS 3.1 también es un reto que en este momento los fabricantes están asumiendo, de hecho implica un cambio de tecnología en la red y un incremento de los costos de operación, aunque se siguen fabricando con los requerimiento para las redes actuales, en la Figura 3.1 se muestra un conjunto de nodos ópticos compactos que ya dan respuesta a los cambios necesario para la implementación de DOCSIS 3.1 sobre todo para el canal de subida. [21]

Compact node		<ul style="list-style-type: none"> ● 1,006 MHz in the downstream ● 204 MHz in the upstream ● Pluggable duplex filters ● 2-pilot control ● HMS/DOCSIS transponder ● PG 11 interface
Compact node		<ul style="list-style-type: none"> ● 1,006 MHz in the downstream ● 65/204 MHz in the upstream ● 2-pilot control ● HMS/DOCSIS transponder ● PG 11 interface
Compact node		<ul style="list-style-type: none"> ● 862 MHz in the downstream ● 65/204 MHz in the upstream ● HMS/DOCSIS transponder ● PG 11 interface
Micro-nodes		<ul style="list-style-type: none"> ● 1,006 MHz in the downstream ● 65 MHz in the upstream ● F interface
Mini-nodes		<ul style="list-style-type: none"> ● 1,006 MHz in the downstream ● 65 MHz in the upstream ● F interface

Figura 3.1. Nodos ópticos compactos [21]

CMTS distribuido.

Como novedad, en los últimos tiempos se ha comenzado a hablar del termino red HFC digital al menos en la parte óptica, esto implica que el procesamiento de la señal, que hasta las variantes anteriores, se efectuaba en el CMTS que se encontraba en la cabecera del cable operador se puede distribuir en la red y parte de este procesamiento se realizará en la frontera entre la parte óptica y coaxial de la red, en estos casos se logra una considerable mejora de los tiempos de retardo entre el cliente más distante y el CMTS y una mejora de la MER del sistema que tan necesario es con el aumento de la complejidad de las modulaciones.

En la Figura 3.2 se muestra cómo se comporta los enlaces en una red tradicional DOCSIS tanto analógico como digital, observándose que la parte óptica se comporta como un enlace analógico con los inconvenientes que esto implica. [31]

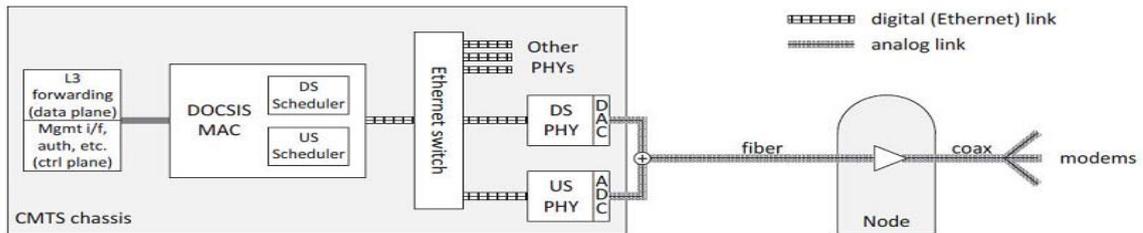


Figura 3.2. Enlace tradicional de un CMTS con una red HFC. [31]

Para tratar de minimizar el deterioro de la señales que se reciben y transmiten se proponen varios cambios estructurales que se pueden implementar pasándoles funciones del CMTS al nodo óptico que se encuentra cada vez más cerca del cliente final, de ahí que se comience hablar de CMTS distribuido ya que sus funciones no se van a concentrar en un chasis físico como hasta el momento sucedía.

Conversión digital analógica de forma remota.

Con el traslado de la etapa final del procesamiento de CMTS al nodo óptico se establece un enlace digital óptico desde la cabecera hasta el comienzo de la parte coaxial de la red y la señal analógica solo se transportaría por esta última, de esta forma se mejora considerablemente la MER y es posible la implementación de modulaciones de mayor orden, en la Figura 3.3 se muestra cómo quedaría distribuida la red HFC.[31]

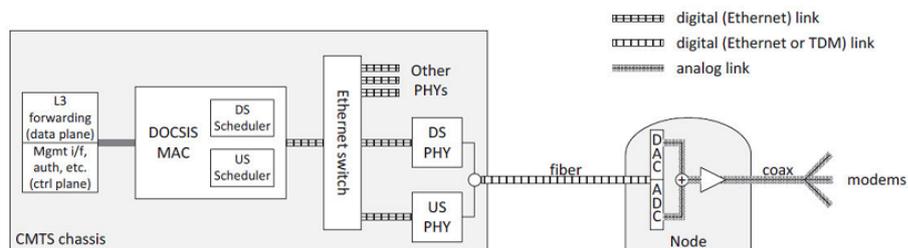


Figura 3.3. Red HFC con desplazamiento de la conversión D/A al nodo óptico. [31]

Capa física remota.

Moviendo las funciones de la capa física hasta el nodo óptico se va a establecer un enlace puro Ethernet entre la cabecera y la parte a coaxial de la red HFC se mejorará aún más la MER y se le permite al CMTS realizar un mayor número de enlaces ópticos de este tipo ya que se disminuyen los recursos que tenía que dedicar a este trabajo, se puede aumentar el orden de las modulaciones y de hecho el rendimiento de la red y del enlace DOCSIS, en la Figura 3.4 se muestra cómo quedaría estructurada una red HFC con esta variante. [31]

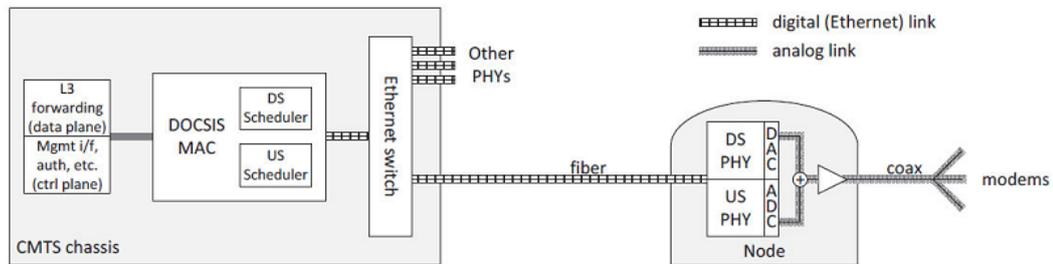


Figura 3.4. Red HFC con desplazamiento de la capa física hasta el nodo óptico. [31]

Capa de acceso al medio remota.

Por último se propone el paso de las funciones de la capa de acceso al medio hasta el extremo de la parte óptica de la red, este cambio aunque complejiza técnicamente a los nodos ópticos permite minimizar considerablemente los tiempos de transmisión y recepción entre el CMTS y el abonado más distante. Este aspecto que cambia sustancialmente en la variante DOCSIS 3.1 con las anteriores, en la Figura 3.5 se muestra cómo quedaría una red HFC con esta distribución. [31]

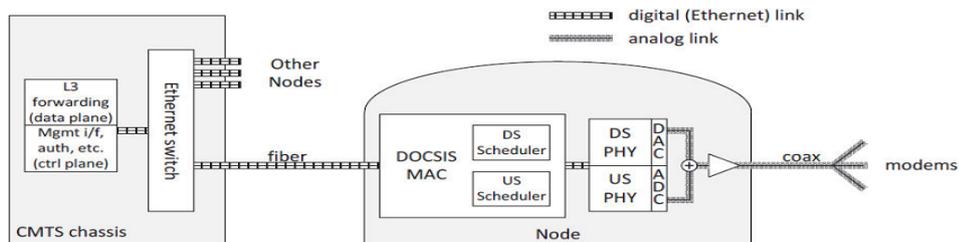


Figura 3.5. Estructura de una red HFC con la capa de acceso al medio remota. [31]

3.2 Parte a coaxial de la red HFC.

Hasta el momento se ha tratado de acercar lo más posible el procesamiento de la señal digital al abonado, utilizando las bondades de la fibra óptica. Pero hay que tener en cuenta que la parte a coaxial tiene una marcada influencia en el deterioro del enlace que se establece en ambos sentidos.

3.2.1 Dispositivos pasivos y conectores.

Los dispositivos pasivos que se empleen en la distribución deberán soportar las frecuencia que se establezca y de forma general están obligados a trabajar entre 5 MHz y 1,8 GHz de forma bidireccional, en el Anexo 6 se muestran dispositivos fabricados actualmente que permitan la operación en toda la banda de frecuencia de DOCSIS 3.1, es importante a la hora del montaje no dejar ninguna toma de los mismos libre sin la colocación de las cargas de acople de impedancia correspondiente para evitar el perjudicial efecto de las micro reflexiones y la incorporación a la red de interferencias no deseadas provenientes del ambiente en estas bandas de trabajo. [23]

Al igual que los dispositivos los conectores deben tener la máxima calidad posible pues en ellos ocurre un doble acople, entre el cable y el conector que es el más complejo y entre el conector y el dispositivo. En estos también se han desarrollado modificaciones que minimizan los cambios de impedancia que se provocan en los acoplamientos entre cables, conectores y dispositivos ya sean activos o pasivos, que van desde la mejora en los materiales de su construcción hasta el tipo compresión que se utiliza. En el Anexo 7 se muestra las variantes antiguas de conectores de latón de apretado hexagonal y los modernos de aleaciones de níquel de compresión. [23]

3.2.2 Los cables coaxiales.

En los cables coaxiales también pueden tener gran influencia en el deterioro de los parámetros de calidad de las redes HFC que influyan en el buen desempeño del estándar DOCSIS 3.1, fundamentalmente en redes extensas horizontales. En dependencia del estado y mantenimiento de las canalizaciones se comportará el estado de los cables coaxiales.

Entre los principales problemas que incorporan estos cables se pueden tener:

➤ Humedad en el coaxial.

Provoca una pérdida de nivel de señal que se enfatiza a medida que aumenta la frecuencia de trabajo.

Provocado fundamentalmente por largos periodos de tiempo con el cable inmerso en agua, en los registros o en los ductos de las redes soterradas. Influye notablemente la calidad del cable utilizado en la instalación dada por la permeabilidad de su cubierta o puede estar dada por una mala manipulación durante el tendido que puede haber provocado fisuras en las mismas.

Dicho efecto se incrementa con el tiempo y provocan pérdidas de nivel que no son compensadas con los amplificadores.

➤ Cortocircuitos en los cables.

Normalmente esto ocurre por la influencia de un agente externo que actúa sobre la red, ya puede ser un humano en funciones de trabajo que puede presionar el cable sobre una superficie dura o un roedor, que es lo más común, que desgarrar el coaxial y en ocasiones cortocircuita la malla con el conductor central.

En estos casos se afectan significativamente las bajas frecuencias de trabajos perdiendo nivel en las mismas que está en correspondencia con el grado de la afectación.

3.2.3 Punto de operación de los amplificadores.

Los amplificadores de señal son los principales responsables de la ocurrencia de intermodulaciones en ambos sentidos de transmisión en las redes HFC, es por eso la importancia de mantener lo más estable posible sus parámetros para minimizar los problemas.

Normalmente, los amplificadores que se usan en la actualidad para redes de este tipo presentan elevadas prestaciones y dentro de sus bondades está el incremento de etapas de trabajo y la posibilidad de actuar sobre la señal a lo que comúnmente se le llama controles o ajustes inter etapas. En la Figura 3.6 se pueden apreciar las múltiples etapas de amplificación en ambos sentidos de trabajo. [21]

CAPÍTULO 3 Procedimiento para la implementación de DOCSIS 3.1 en una red HFC y su evaluación.

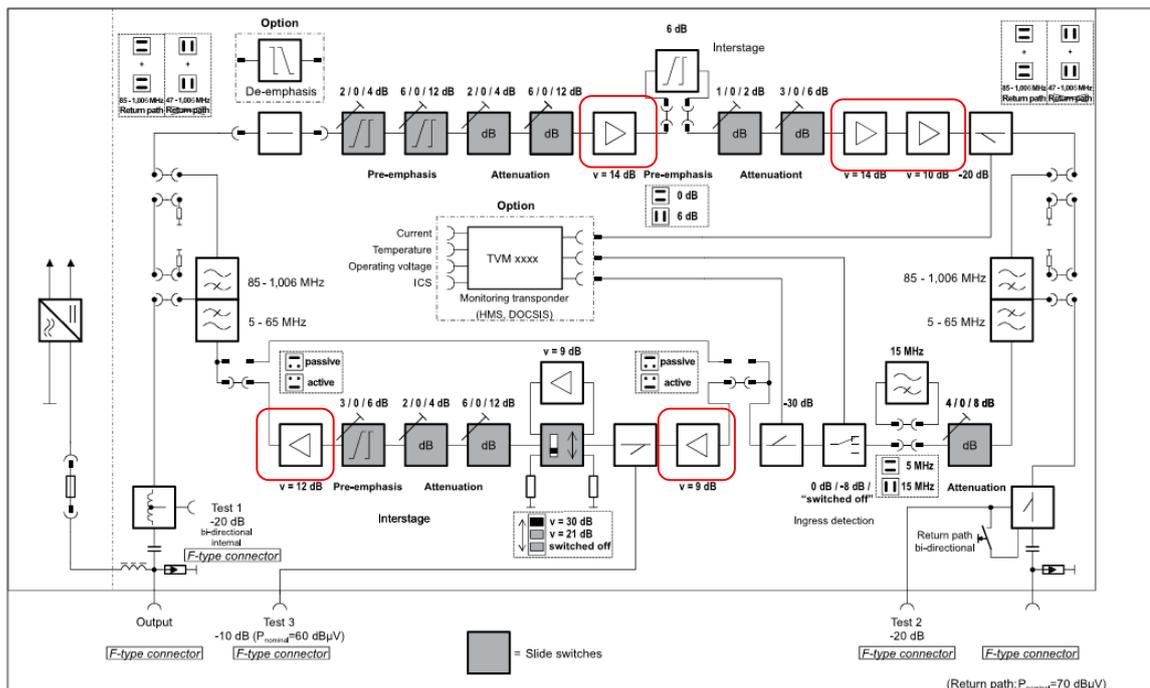


Figura 3.6. Esquema de un amplificador de RF [21]

Estos controles permiten lograr que la señal sufra el menor deterioro posible lo cual pudiera implementarse de la siguiente forma:

Los primeros controles en el amplificador actúan sobre la señal sin que esta allá sido amplificada aún, estos permiten, en primer lugar, ecualizarla tanto como sea posible hasta lograr planitud en los niveles en la banda de trabajo, esta desecualización es incorporada por la atenuación no lineal de los cables coaxiales. De esta forma la primera etapa amplificadora actúa sobre toda la banda por igual y minimiza las intermodulaciones, en esta parte también existen controles de atenuación que pueden usarse en dependencia del nivel de la señal de entrada pero siempre se trata que esta sufra la menor afectación para lograr una buena relación señal a ruido.

A la salida de esta primera etapa amplificadora se debe contar con una señal plana con un buen nivel, además con una relación señal a ruido que se incrementa, en este intermedio se puede ecualizar nuevamente para ayudar de cierta manera a minimizar el deterioro que ocurrirá en la señal en el próximo tramo de coaxial, también se acomodan los niveles que se deseen de señal a la salida del amplificador que se establecen en la etapa de diseño.

3.3 Reacomodo de una red para que sea posible la implementación de DOCSIS 3.1

Para la implementación de DOCSIS 3.1 en una red HFC que se encuentre dando servicio con otra variante de DOCSIS cualquiera, es necesario tener varias cosas en cuenta que determinarán un cambio sustancial o no en la misma en dependencia de los resultados que se esperen obtener.

3.3.1 Evaluación del estado de la red HFC original.

Siempre que exista una plataforma DOCSIS funcionando es necesario encuestar un grupo de parámetros a los cables modem que se encuentran en operación y conociendo la ubicación de los mismos y la documentación de la red se pueden tomar decisiones certeras que logran mejorar la calidad del servicio considerablemente. En la Tabla 3.1 se muestra unas mediciones reales en una red HFC con el estándar DOCSIS 3.0 en la cual se puede apreciar un grupo reducido de CM en operación e ilustra lo anteriormente explicado.

Mediante estos datos y la colocación de los CM en la red se evalúa la misma rápidamente y es posible determinar zonas de ella que tienen que sufrir cambios generales en muchos casos.

En la tabla pueden observarse relación señal a ruido, potencia de transmisión de los CM, potencia de recepción de los CM y micro reflexiones. El análisis de estos parámetros se hace de forma relacionada pues existen vínculos entre los mismos que son importantes tener en cuenta a la hora de tomar una decisión. En el Anexo 8 se muestran algunas constelaciones de un canal DOCSIS 3.0 tomados de una red real en diferentes puntos de la misma mostrándose el deterioro en dependencia del lugar en que se encuentre.

Tabla 3.1. Lectura de los parámetros de CM en un escenario real. [Elaboración propia]

CASA-C2200#show cable modem remote-query immediate						
MAC Address	IP Address	S/N Ratio	US Power	DS Power	Micro(dB) Reflection	Modem State
0005.ca8d.8109	10.0.6.218	38.5	33.3	15.9	30	online
0005.ca5a.fc76	10.0.6.249	39.8	52.8	27.6	38	online
0005.ca5b.04d6	10.0.6.252	39.8	53.3	11.5	25	online
0005.ca8d.814c	10.0.6.242	39.3	33.5	14.2	26	online
0005.ca8d.810c	10.0.6.216	39.3	44.8	26.8	36	online
0005.ca5a.ff43	10.0.6.253	38.5	44.8	-3.7	24	online
0005.ca8d.8376	10.0.6.221	37.8	52.8	7.1	35	online
0005.ca8d.8ba3	10.0.6.206	38.2	33.0	16.8	31	online
0005.ca8d.80d6	10.0.6.220	37.8	52.3	12.7	31	online
0005.ca8d.88c3	10.0.6.203	38.2	32.0	14.1	29	online
0005.ca8d.7773	10.0.6.201	37.3	53.3	9.1	24	online
0005.ca8d.7770	10.0.6.209	38.5	33.3	15.9	30	online
0005.ca8d.8d79	10.0.6.192	37.0	53.0	7.6	29	online
0005.ca8d.8e53	10.0.6.202	37.8	43.8	-6.0	25	online
0005.ca8d.8dd0	10.0.6.233	40.3	24.2	25,9	48	online
0005.ca8d.8886	10.0.6.204	39.3	33.8	14.6	25	online
00d0.5507.2a50	10.0.6.184	36.3	43.8	14.3	32	online
0005.ca8d.8e2c	10.0.6.248	37.0	56.8	-3.0	23	online
00d0.5507.192c	10.0.6.188	41.5	33.5	7.7	28	online
0005.ca8d.8533	10.0.6.214	38.2	47.8	14.6	30	online
0005.ca8d.8df0	10.0.6.225	37.8	49.3	0.0	23	online

3.3.2 Cambio de equipamiento necesario.

Una vez determinadas las frecuencias de operación que se quieren implementar, se determinará tanto del equipamiento activo como pasivo cual debe ser sustituido por no dar cumplimiento al requerimiento, es importante que el nuevo equipamiento que se coloque no deteriore los demás parámetros en cuanto a calidad que fueron evaluados ya en la red HFC.

Los nuevos amplificadores además deben asumir las pérdidas que se incorporan en los coaxiales al aumentar la frecuencia de trabajo con el objetivo de no tener que hacer cambios

de infraestructura en la red que sería una de las acciones más engorrosas que sería necesario hacer debido a que implica un rediseño total de la red.

Es aconsejable en los tramos donde se determine problema de micro reflexiones el cambio de los conectores de los cables sobre todo de los cables RG-11 y RG-6 por conectores de compresión que disminuyen considerablemente los desacople de impedancia y paulatinamente se propone el cambio del 100% de los mismos ya que estos presentan una probabilidad de fallo alta.

3.3.3 Penetración de la fibra óptica en la red a coaxial.

Las grandes redes a coaxial se fraccionan de forma que se minimice la parte a coaxial que es la que determina el “piso” de ruido total del sistema, de esta forma se logra reducir considerablemente la llamada última milla y con ello los efectos indeseados que esta incorpora a la red, con esta penetración también disminuyen la cantidad de equipamientos de campo que es necesario sustituir teniendo en cuenta las nuevas condiciones de trabajo en cuanto a la frecuencia fundamentalmente.

En la Figura 3.7 se muestra una red a coaxial fraccionada en pequeñas parcelas que evitan la degradación acumulativa de la señal cuando se colocan muchos amplificadores en cascada. [26]

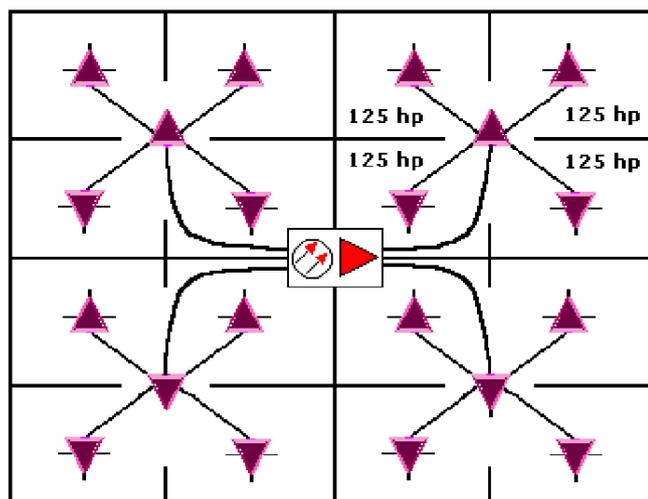


Figura 3.7. Fraccionamiento de una red a coaxial. [26]

3.3.4 Pasos necesarios para la implementación de DOCSIS 3.1 de forma parcial y total.

Con lo visto en el capítulo se puede tener una cronología de un grupo de pasos que se deben realizar para preparar las condiciones necesarias para la implementación de DOCSIS3.1.

Etapa de estudio

- Tener establecido el alcance que se pretende en cuanto a los servicios que se deseen brindar sobre la red y sus características.
- Hacer un estudio de la red HFC en servicio en cuanto al comportamiento de sus principales parámetros, determinar puntos vulnerables y la posibilidad de fraccionarla y penetra con la fibra óptica lo más posible.
- Realizar el análisis financiero del costo por etapas de reacomodo de la red.
- Elaboración de un presupuesto por etapas.

Etapa de implementación.

- Fraccionamiento de parte a coaxial y penetración de la fibra, reducción de la llamada última milla a coaxial.
 - Incluye el incremento de nodos ópticos y el crecimiento de la cabecera puesto que ahora aumentan los puntos terminales ópticos, esto puede resolverse aumentando la potencia de transmisión y derivando con spliter óptico en el punto en el cual comienza la penetración, el canal de retorno se multiplex en longitudes de onda manteniéndose intacto el enlace óptico que existía.
 - Una vez realizado este paso es posible aumentar el desempeño de la red incrementando el número de CMTS DOCSIS 3.0 ya que disminuiría la cantidad de abonados que compartirían el ancho de banda que manejan, 480 Mbps en bajada y 120 Mbps en subida.
 - Los equipos que se incrementen deben estar preparados para trabajar en las frecuencias que se establecieron en la etapa de estudio y en el caso de los nodos si se decide trabajar con CMTS distribuidos deben estar provisto de estas facilidades o al menos la posibilidad para realizar estas expansiones.

-
- Cambio de equipamiento pasivo y conectores en caso que sea necesario.
 - De esta forma se mejorará el desempeño de la red actual minimizando las micro-reflexiones, esto mejorará también el desempeño de DOCSIS 3.0.
 - Cambio de equipamiento activo de la red para lograr respuestas a las frecuencias de trabajo establecidas en la etapa de estudio, tanto en la parte a coaxial como los de la parte óptica que no fueron cambiados anteriormente.
 - Los equipos que se están comercializando en este momento se han enfocado en asumir la expansión del canal de retorno hasta 204 MHz pero no aún en el canal de envío por encima de los 1200 MHz.
 - Se ajustarán los elementos activos para las nuevas frecuencias de trabajo minimizando la ocurrencia de intermodulaciones e interferencias no deseada.

Etapa de puesta en marcha de la especificación DOCSIS 3.1

- Colocación en funcionamiento de los nuevos CMTS ya sean centralizados o distribuidos así como los CM correspondientes en el lugar de los abonados.
- Montaje de los servidores para este estándar.
- Montaje de software de gestión y aprovisionamiento para la explotación del sistema.
- Explotación del sistema bajo las nuevas condiciones.

3.3.5 Caso de estudio que permite evaluar el procedimiento sobre una red HFC real.

Se realizó un estudio de una red HFC real en explotación en la cual se ha implementado DOCSIS 3.0 para ver el comportamiento de los principales parámetros de calidad de la señal y compararlos con lo que se necesitan para la implementación de DOCSIS 3.1, esta red consta en el camino de bajada con una cabecera óptica dotada de un transmisor de 11dB de potencia y dividida para alimentar cuatro subredes mediante un splitter óptico de 1:4 como se muestra en la Figura 3.8, conectando la parte a coaxial con tramo de fibra óptica de alrededor de 5 km.

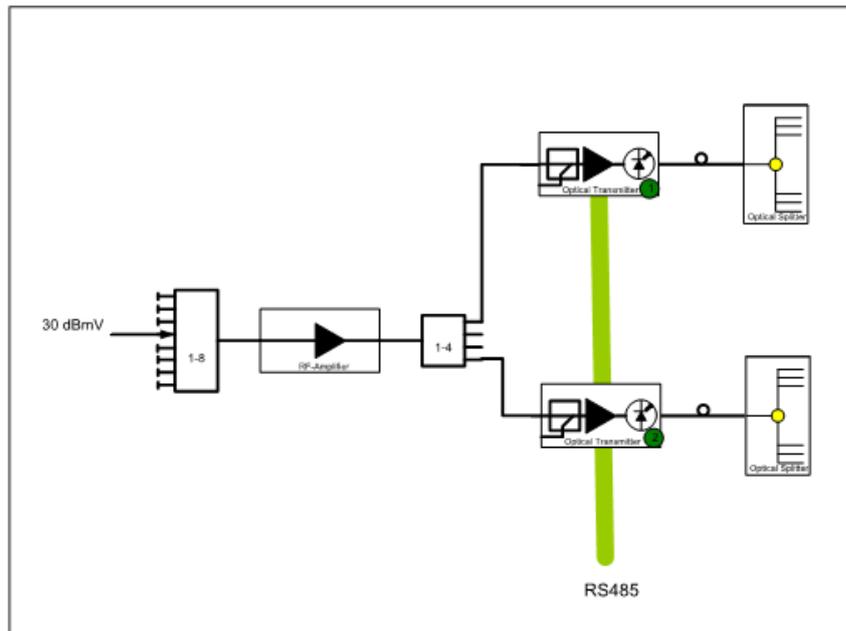


Figura 3.8. Cabecera óptica en el canal de bajada. [Elaboración propia]

Así como otro hilo en el camino de subida con un receptor de canal de retorno para cada sección proveniente de un nodo óptico como se muestra en la Figura 3.9.

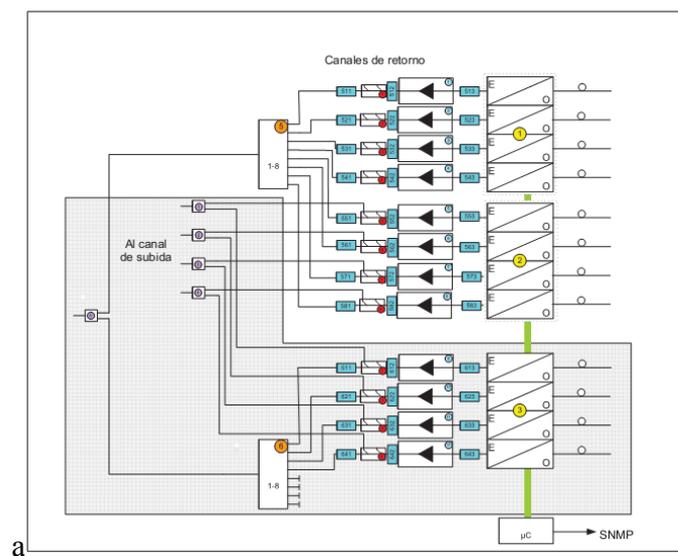


Figura 3.9. Cabecera óptica del canal de subida. [Elaboración propia]

En la frontera con la parte a coaxial se encuentra el nodo óptico anteriormente mencionado que hace las funciones de receptor para el canal de bajada y transmisor para el canal de subida, la sensibilidad de este conversor o nodo óptico depende de la calidad del mismo y normalmente presenta un rango entre -6 dBm y 1 dBm. La fibra que se emplea es multimodo para poder cubrir distancias considerables y los conectores empleados son E-2000 del tipo APC aunque también pueden ser SC del mismo tipo con el objetivo de minimizar las pérdidas en las conectorizaciones.

La parte a coaxial de la red está basada sobre cable RG-500, en su red troncal con diferentes amplificadores troncales y secundarios. Es decir un amplificador secundario por cada bloque habitacional que da servicio a 60 abonados, todos los amplificadores son bidireccionales ya que en este tramo a coaxial las señales viajan en el mismo medio físico en ambas direcciones multiplexadas en frecuencia. Ocurriendo de esta forma en todos los elementos pasivos de la red, en el caso de los amplificadores a la entrada y a la salida de los mismos se colocan diplexores que permiten ecualizar, amplificar o atenuar los canales de subida y bajada de forma independiente, permitiendo mediante estos compensar las pérdidas que introducen tanto los cables como los demás elementos pasivos a las diferentes frecuencias de la señal.

A la hora del diseño se trata de lograr la mayor simetría posible en la red para que de esta forma la atenuación desde la cabecera hasta los diferentes abonados sea lo más similar posible aunque esto es prácticamente imposible de lograr debido a la topología de las canalizaciones por donde deben realizarse. En la Figura 3.10 se muestra el diagrama de la red a coaxial.

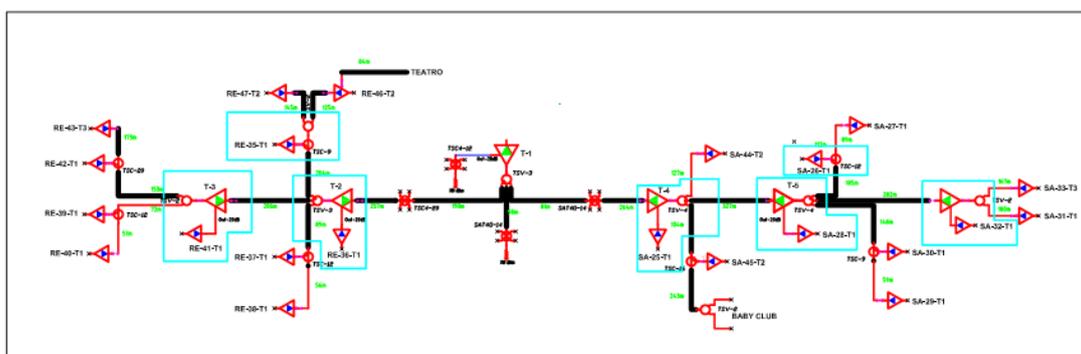


Figura 3.10. Parte a coaxial de la red HFC. [Elaboración propia]

En este caso la mayor influencia sobre los parámetros de calidad lo tienen los amplificadores, existiendo solo dos tipos y un máximo en cascadas de 4, las hojas de datos de estos se pueden apreciar en el Anexo 5.

Con el uso de estos valores, con la premisa de la relación entre el nivel de salida de los amplificadores y la afectación que sufren el CSO o CTB; y las expresiones finales para el cálculo de los mismos en una cascada amplificadora; se procedió a realizar el cálculo de los parámetros; estos cálculos se realizaron en un documento de Excel. Se obtuvo que al final de la cascada de amplificadores el CSO tiene un valor de 45,22 dB, el CTB tiene un valor de 59,14 dB, la XMOD 45.71 dB y la CNR al final de la cascada tiene un valor de 64,84 dB.

Con el análisis de estos datos se puede apreciar que cumplen con las exigencias tanto de DOCSIS 3.0 como DOCSIS 3.1 pero sin embargo en mediciones realizadas con un analizador de espectro en la red de constelaciones de modulaciones 256 QAM incluso muy cercanas a la cabecera y en un lugar lejano a esta como se muestra en la figura 3.11 la MER que resume a todos los parámetros calculados y las demás interferencias que se incorporan en la red, no cumple con los requerimientos incluso para las modulaciones 2 k QAM que es la menos exigente de la variante 3.1

Evaluando estas condiciones en dependencia de los alcances que se pretendan de conectividad se podrían proponer los cambios siguientes:

Penetrar con la fibra óptica hasta la salida del segundo amplificador en cascada.

En este caso se eliminan todas las distorsiones que introducen estos amplificadores y se mejora considerablemente la MER, se usa la parte a coaxial sustituida en sentido contrario para alimentar los abonados que están en esta zona.

Se incrementa un nodo óptico y los tramos de fibra correspondientes así como spliter ópticos para alimentar a las nuevas zonas.

Cambiar los conectores hasta la parte a coaxial por conectores de compresión.

Se eliminan de esta forma en gran medida las micro-reflexiones debido a los cambios de impedancias.

En dependencia de las frecuencias de trabajo se debe decidir si los dispositivos pasivos cumplen con estas, de lo contrario hay que cambiarlos, así como los amplificadores que además hay que reajustar para asumir las pérdidas de los cables a las nuevas frecuencias de trabajo.

Si con estos cambios no se cumplieran con las condiciones de migración sería necesario transportar funciones del CMTS hasta los nodos ópticos en lo que se le llama CMTS distribuido.

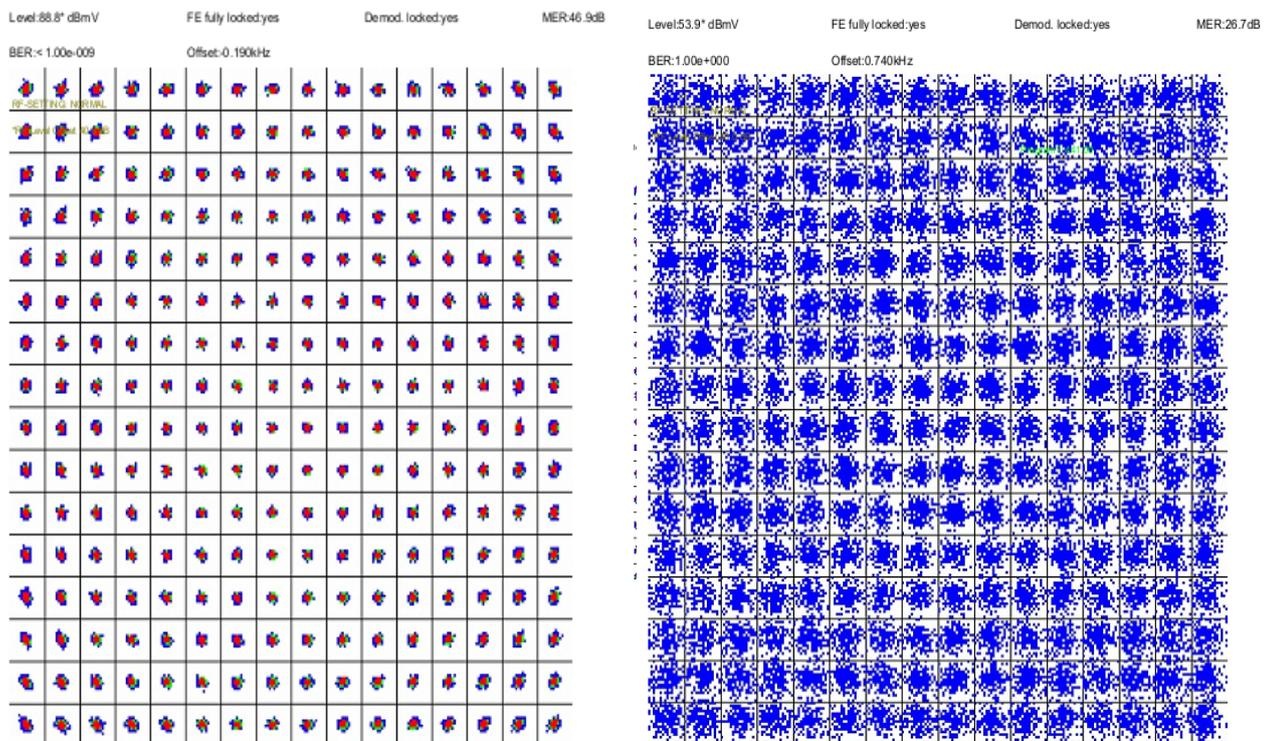


Figura 3.11. Modulación 256 QAM de un canal DOCSIS 3.0 cercano a la cabecera.

3.4 Conclusiones del capítulo.

En este capítulo se ha presentado los pasos fundamentales en los que hay que incurrir para poder migrar de forma completa una red HFC a DOCSIS 3.1, aunque se puede ir haciendo de forma escalonada incluso preparando las condiciones dentro de DOCSIS 3.0 las cuales mejorarían las prestaciones de este mientras se decide pasar a la variante 3.1.

Es importante no solo tener en cuenta los valores que pueden calcularse por la topología de la red pues hay muchos agentes externos que influyen sobre la misma y solo puede detectarse mediante mediciones en el campo, sobre todo en redes HFC que llevan tiempo en explotación

Conclusiones.

Los diferentes estándares de DOCSIS se han desarrollado de acuerdo a las necesidades que han tenido los operadores de cable, incrementándose sus prestaciones en cuanto a velocidad de conexión de una variante a otra hasta llegar a DOCSIS 3.1 que da un salto superior a todas las variantes anteriores. Cada evolución de DOCSIS exige una mayor calidad en las redes HFC en cuanto a sus parámetros fundamentales.

La migración hacia el estándar DOCSIS 3.1 proporcionaría que la red HFC existente alcance razones de transmisión de hasta 10 Gbps en el canal descendente y 2.5 Gbps en el canal ascendente a partir del uso de modulaciones OFDM, 2K QAM y 4K-QAM. DOCSIS 3.1 provocaría que la red tuviera una expansión del ancho de banda por canal de hasta 192 MHz en el canal de bajada y 96 MHz en subida, alcanzándose frecuencias de hasta 1218 MHz. Estas modulaciones, fundamentalmente, requieren de un comportamiento adecuado de los parámetros de calidad de la señal haciendo énfasis en la MER.

Para tomar la decisión de migrar o no es necesario hacer un estudio minucioso de la infraestructura con que se cuenta y para ello es posible usar los datos que se pueden obtener de los CM instalado de la variante existente, los cuales son de gran utilidad para determinar los puntos más vulnerables que deben tenerse en cuenta en el momento del cambio además de una serie de pasos que deben seguirse para realizar una migración satisfactoria.

Evaluando estos pasos en una red real HFC se aprecia que los parámetros CSO, CTB, XMOD son los que mayor influencia tienen en la degradación de la señal, mientras que la CNR y la MER, son las figuras de mérito de esta red. Se demostró que los factores que mayoritariamente determinan la degradación de estos parámetros son el incremento de los amplificadores en cascada, el aumento del nivel de señal a la salida de los amplificadores y la cantidad de canales de la red.

Para realizar la migración de una red DOCSIS 3.0 a una 3.1 hay que realizar cambios significativos sobre todo en la parte a coaxial y en la distribución de los equipos activos los

cuales suelen ser costosos, pero pueden realizarse de forma escalonada sin que se interrumpa el servicio por periodos prolongados, incrementando sus prestaciones en cada etapa que se ejecute.

Recomendaciones.

Tener en cuenta en el caso de las redes de nuevo diseño e implementación así como los crecimiento de redes existentes, la incorporación en ambas etapas al menos las frecuencias de trabajo de DOCSIS 3.1, siempre que sea posible aun cuando no se implemente esta estándar, sobre todo desde el punto de vista del equipamiento y en el cálculo de los niveles de trabajo en la red.

En las redes HFC que están en funcionamiento se puede evaluar antes de proponer una migración hacia DOCSIS 3.1 si fraccionando las redes y teniendo una mayor penetración de la fibra óptica hacia el abonado no se pudieran, con el estándar que se encuentra implementado, lograr prestaciones que permitan dar servicios competitivos y que no eleven exageradamente el costo de operación de la misma.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] "Transparent and Reasonable Network Management in DOCSIS 3.0," 2010.
- [2] "DOCSIS," in Encarta Enciclopedia Libre, 2011.
- [3] "Estudio de un sistema CDMA-OFDM," 2012.
- [4] I. Cable Television Laboratories, "DOCSIS 2.0 + IPv6 Cable Modem Specification," D.-O.-C. S. I. Specifications, Ed., 2010.
- [5] I. Cable Television Laboratories, "Downstream RF Interface Specification," in M-SP-DRFI-I11-110210, 2011.
- [6] I. Cable Television Laboratories, "Physical Layer Specification," in CM-SP-PHYv3.1-I01-131029, 2013.
- [7] I. Cable Television Laboratories, "Cable Modem Operations Support System Interface Specification." vol. CM-SP-CM-OSSIV3.1-I01-140619, 2014.
- [8] I. Cable Television Laboratories, "DOCSIS 3.1 PHYSICAL & MAC Layer Quik Reference Pocket Guide," 2014.
- [9] I. Cable Television Laboratories, "Cable Modem Operations Support System Interface Specification," in CM-SP-CM-OSSIV3.1-I05-150910, 2015.
- [10] CableLab, "Certification Wave Requirements and Guidelines," 2009.
- [11] J. T. Chapman, "The Wideband Protocol for a DOCSIS® Network," 2005.
- [12] D. C. S. Chris Rohrer, "Implications of DOCSIS-QoS on Cable Broadband Service," 2004.
- [13] J. F. Corey Chapman, Adeel Ahmed, "Deploying DOCSIS 3.0," 2006.
- [14] G. N. Craig Chamberlain, Alex Pelland, "OPTIMIZING DOCSIS 3.1, 2014.
- [15] M. Debbah, "Short introduction to OFDM," 2002.
- [16] M. Debbah, "Short introduction to OFDM," 2005.

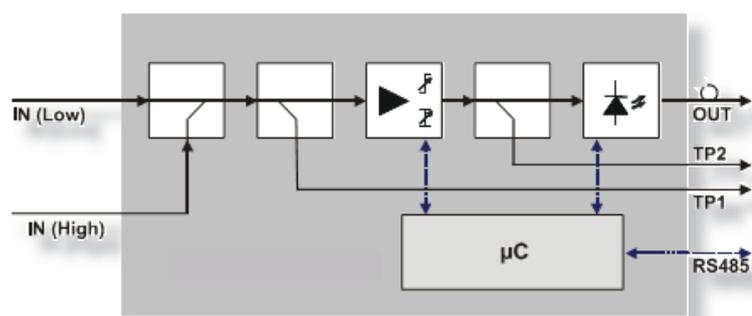
- [17] O. B. G. HERNÁNDEZ, "Estudio de la aplicación de técnicas de modulación OFDM para comunicaciones ópticas guiadas en el canal infrarrojo," in Servicio de Publicaciones. vol. Doctor: Universidad de la Laguna, 2005.
- [18] R. E. R. Hernández, "Propuesta de Integración de Servicios Multimedia en la Red Híbrida Fibra – Coaxial del Polo Turístico Cayo Santa María," in Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica. vol. Master SantaClara: UCLV, 2011.
- [19] ITU-T, "Second-generation transmission systems for interactive cable television services – IP cable modems, Recommendation ITU-T J.122," 2008.
- [20] B. V. H. J. Lambert, C. Blondia, "Queues in DOCSIS cable modem networks," 2007.
- [21] Kathrein, "Broadband Communication System," 2016.
- [22] M. P. Louis Litwin "The principles of OFDM," 2001.
- [23] P. Macom, "Integrated Solutions Pico Digital," 2011.
- [24] D. M. S. María Isabel García Valdueza., "Parámetros de Calidad de la Señal de Televisión en las Redes de Cable.," in Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica. vol. Trabajo de Diploma: UCLV.
- [25] I. Muñiz, "La Evolución de la Especificación Docsis," 2006.
- [26] V. P. Padilla, "Sistema de gestión de Cable-Modems DOCSIS 3.0 en redes CATV.," in FIE UCLV Santa Clara: UCLV, 2012.
- [27] M. C. PINEDA, "Introducción a las Redes HFC," 2007.
- [28] L. L. a. M. Pugel, "The principles of OFDM," 2001.
- [29] B. Pularikkal, "Introduction to Docsis 3.0," 2008.
- [30] T. Schacherer, "Docsis3.1 und deren Folgen für optische Kabelnetze und Komponenten," 2014.
- [31] G. Sinde, "Testing DOCSIS 3.1 Networks," 2014.
- [32] D. O. C. S. I. Specifications, "Physical Layer Specification CM-SP-PHYv3.0-I08-090121," I. Cable Television Laboratories, Ed., 2009.

ANEXOS

Anexo 1 Características de transmisor óptico

Order no.		24610211/..212/..137/..138/..139
Optical interface		E-2000
Optical wave length	nm	1310
Optical output level nominal	dBm	5/8/11/13/14
Optical output level setting range	dB	0 to -3
Optical return loss	dB	> 45
RF frequency range	MHz	5-1000
Nominal input level for OMI = 5 % (low input)	dB μ V	73
Nominal input level for OMI = 5 % (high input)	dB μ V	87
Attenuation range, electronically settable	dB	0-24
Slope range, electronically settable	dB	-3 ... +16
Return loss at 47 MHz	dB	20 -1.5/oct., > 15
Return loss 5-65 MHz	dB	> 18
Impedance	Ω	75
Power consumption	W	12
Test socket (output)	dB	-20

Block diagram



Anexo 2 Características de um receptor de canal de retorno de 4 canais.

Order no.		24710012
Optical interface		E-2000
Optical wave lengths	nm	1280-1610
Optical input level range	dBm	-16 ... +2
Optical return loss	dB	40
RF frequency range	MHz	5-160
RF output level at OMI = 5 %	dB μ V	75
Frequency response	dB	\pm 0.75
Return loss at 47 MHz	dB	20
Pilot frequency range	kHz	590-640
Pilot control range	dB	26
Optical modulation index pilot	%	5
Test socket	dB	-20 \pm 1.5
Power consumption	W	< 8

Anexo 3 Características de un nodo óptico compacto.

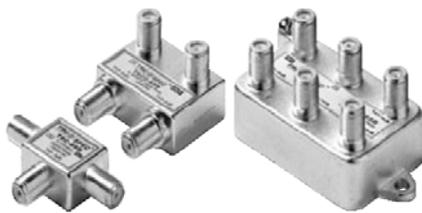
Order no.		24710033
Operation with receiver module		ORD 21
General data		
Radiated interference power 5-30 MHz	dBpW	< 27-20
Radiated interference power 30-862 MHz	dBpW	< 20
RF connections (external)		PG 11
Ingress test sockets/broadband inputs (external)		F-type connectors (female)
Dimensions (W x H x D)	mm	280 ²⁾ x 125 x 244
Weight	kg	3.1
Housing material		Aluminium die-cast, varnished
Protection category acc. to DIN EN 60529		IP 54
Order no.		24710033
Operation with receiver module		ORD 21
Forward path		
Frequency range	MHz	85-1000
Optical wave lengths	nm	1271-1611
Optical return loss	dB	> 40
Optical input level range, 1310 nm, nominal	dBm	-6 ... +2
Optical input level range, 1550 nm, nominal	dBm	-7 ... +1
Max. optical input power (permanent)	dBm	+3
Nominal optical modulation index (OMI)	%	4.1
Equivalent noise current density, input	pA/√Hz	4
Impedance	Ω	75
Number of outputs (internally pluggable)		1 or 2
Max. output level, per output (practical operation) 862/1000 MHz	dBμV	112/114
Output pre-emphasis 85-1000 MHz	dB	0-10
Frequency response	dB	± 1.0
Setting range lower pilot frequency	MHz	82.5 ... 230
Setting range upper pilot frequency	MHz	570 ... 870
Max. output level acc. to CENELEC ¹⁾		
CSO > 60 dB	dBμV	116
CTB > 60 dB	dBμV	114
Return loss (at 85 MHz)	dB	> 15
Hum modulation ratio at 7 A	dB	> 67
Return path (general): see also product information OSR 900.x		
Frequency range (through duplex filter)	MHz	5-65
Frequency range (through broadband inputs)	MHz	5-200
Impedance	Ω	75
Return loss	dB	18
Frequency response (total)	dB	± 1.5
Input level for OMI 5 % (per channel)	dBμV	65 ²⁾
Attenuation ICS	dB	0/6/40
Power supply		
Input voltage range	V _{AC}	30-72
Mains frequency range	Hz	47-63
Power consumption incl. an ORD 12x, 1/2 active outputs	W	23/31
Power consumption fully-equipped, 1/2 active outputs ¹⁾	W	30/38
Remote feed current on the outputs	A	< 7
Remote feed current feed-in (power passing)	A	< 10

Anexo 4 Dispositivos pasivos de coaxial y sus características.



DSU-P Bandwidth		DSU-P Insertion Loss	
In-Out	5-1000 MHz	Avg @ 5 MHz	<3.4/5.6/10 dB
DSU-P Isolation Port-Port		Avg @ 1 GHz	<4.1/8.2/12.1 dB
Avg @ 5 MHz	>23 dB	DSU-P Return Loss	
Avg @ 1 GHz	>23 dB	Avg @ 5 MHz	>23 dB
		Avg @ 1 GHz	>18 dB

Derivadores de 2.3 y 4 salidas y sus características.



Bandwidth (In-Out, In-Tap)	5-1000 MHz	Isolation (Tap-Out):	6 to 20 dB	18 dB + Coupling Value
Return Loss	18 dB min.	24 to 30 dB	24 to 30 dB	38 dB min.
TSC, TSC-SB		Isolation (Tap-Tap):	22 min., 30 dB (typ.)	
Tap Loss (± 1.0dB):	6, 9, 12, 16, 20, 24, 27, 30 dB	TSC4, TSC4-SB		
Insertion Loss (max.):	6: 2.7dB 9: 2.1dB 12: 1.6dB 16: 1.0dB	Tap Loss (± 1.0dB):	8, 12, 16, 20, 24, 30	
20: 1.4dB 24: 0.9dB 27: 0.7dB 30: 1.3dB		Insertion Loss (max.):	8; terminated	
Isolation (Tap-Out) (min.):	6 to 20 dB	12: 3.7dB 16: 1.8dB	20; 1.0dB	
24 to 30 dB	18 dB + Coupling Value	24: 1.0dB 30: 1.0dB		
	38 dB min.	Isolation (Tap-Out):	8 dB	terminated
TSC2, TSC2-SB		12 to 20 dB	18 dB + Coupling Value	
Tap Loss (± 1.0dB):	6, 9, 12, 16, 20, 24, 27, 30 dB	24 to 30 dB	38 dB min.	
Insertion Loss (max.):	6: 3.7dB 9: 4.6dB 12: 2.2dB 16: 1.6dB	Isolation (Tap-Tap):	25 min., 30 dB (typ.)	
20: 0.7dB 24: 0.7dB 27: 0.7dB 30: 0.8dB				

Anexo 5 Hoja de datos de amplificadores de la parte a coaxial de las redes HFC

Forward path			
Frequency range	MHz	85-1,006	85-1,006
Gain	dB	22	30
Max. operational level CENELEC 42 channels (60 dB CTB/CSO)		96	96
Noise figure	dB	6	6
Gain setting range (on input)	dB	0-18	0-18
Equalization setting range (on input)	dB	0-15	0-15
Setting range interstage equalizer ¹⁾		0/6	0/6
Return path			
Frequency range	MHz	5-65	5-65
Gain	dB	20	25
Gain setting range (on output) ²⁾	dB	0-18	0-18
Gain setting range (on input) ¹⁾	dB	0/10	0/10
Equalization setting range (on input) ¹⁾	dB	6	6
Return path			
Noise figure	dB	5	5
Max. output level (60 dB IM3/IM2)	dB μ V	116/106	116/106
Input level density (CINR: 50 dB)	dB μ V/Hz	Typ. -8	Typ. -8
Dynamic range (input level density)	dB	22	22
Maximum output level as per KDG 1TS 140 (medium system load)	dB μ V	120	120
Classification according to KDG 1 TS 140		B(1.1)	B(3.1)
General			
Nominal input voltage	V _{AC}	230 (50/60 Hz)	230 (50/60 Hz)
Power consumption	W	4.5	4.5
Operational display		Green LED	Green LED
RF connections		F-type connectors	F-type connectors
Protection class		II	II
Protection category (to EN 60529)		IP 30	IP 30
Temperature range	°C	-20 to +55	-20 to +55
Dimensions	mm	155 x 105 x 54	155 x 105 x 54
Packing unit/weight	pc./kg	1 (10)/0.8	1 (10)/0.8

Anexos

Forward path			
Frequency range	MHz	85-1,006	85-1,006
Gain (variable through interstage gain)	dB	26/32	34/40
Amplitude deviation	dB	± 1	± 1
Setting range variable attenuator	dB	0-20	0-20
Setting range equalizer	dB	0-20	0-20
Setting range interstage attenuation (switchable with bridging plug)	dB	0/6	0/6
Setting range interstage equalizer (switchable with bridging plug)	dB	0/6	0/6
Max. operational level ¹⁾ (60 dB CTB/CSO)			
- flat	dB μ V	101/101	107/109
- with interstage pre-emphasis		102/102	107/110
Recommended operational level ¹⁾ (66 dB CTB/66 dB CSO)			
- flat	dB μ V	98/95	-
- with 6 dB interstage pre-emphasis		99/96	105/105
Noise figure (interstage attenuation 0/6 dB)	dB	7/6	7/6
Number of outputs		1	1
Return path			
Frequency range	MHz	5-65	5-65
Gain (switchable passive/active)	dB	-1/28, can be disconnected	-1/28, can be disconnected
Setting range attenuation on amplifier input (switchable with bridging plug)	dB	0/10	0/10
Setting range variable attenuator (amplifier output)	dB	0-20	0-20
Setting range equalizer (amplifier output)	dB	0-20	0-20
Noise figure	dB	5	5
Input level density (CINR: 55 dB)	dB μ V/Hz	-6	-6
Dynamic range (input level density)	dB	19	19
General			
Impedance input/output	Ω	75	75
Return loss input/output: Forward path/return path	dB	18/20	18/20
RF connections		F-type connector	F-type connector
Test socket output with directional coupler (5-862 MHz)	dB	-20	-20
Test socket output return path (5-65 MHz)	dB	-20	-20
Nominal input voltage	V _{AC}	230 (50/60 Hz)	230 (50/60 Hz)
Power consumption (without/with return path)	W	6	6.5/8
Operational display		Green LED	Green LED
Protection class		II	II
Protection category (to EN 60529)		IP 50	IP 50
Classification according to KDG 1 TS 140		C(3.2)	C(4.3)
Temperature range	°C	-20 to +55	-20 to +55
Dimensions	mm	184 x 134 x 63	184 x 134 x 63
Packing unit/weight	pc./kg	1 (10)/1.7	1 (10)/1.7

Anexos

Forward path				
Frequency range	MHz	47/85-1,006		Switchable with bridging plugs, 47-1,006 MHz with no return path
Gain ¹	dB	40-32		Interstage gain setting
Amplitude response	dB	± 0.5		85-1,006 MHz, at 25 °C
Amplitude response (additional, from 862-1,006 MHz)	dB	-0.5		At 25 °C
Attenuation setting range	dB	0-16 and 0-8		On amplifier input
Pre-emphasis setting range	dB	0-16 and 0/6		On amplifier input and interstage
Noise figure	dB	4/5/5		At 40/36/32 dB gain
Max. operational level: CENELEC channel plan ²	dBµV	112/116		CTB: 60 dB/CISO: 60 dB (pre-emphasis 6 dB and gain 39.5 dB)
Max. operational level: CENELEC channel plan ³	dBµV	110/114		CTB: 60 dB/CISO: 60 dB (0 dB pre-emphasis and 39.5 dB gain)
Hum modulation ratio	dB	-	> 60/70	
Return path				
Frequency range	MHz	5-65		
Gain, switchable	dB	30/21		
Passive path	dB	-2		
Frequency response	dB	0.5		
Attenuation setting range	dB	0,4/8 / 0-16		On input/interstage
Pre-emphasis setting range	dB	0/3 0/3/6		Interstage
Ingress Control Switch (ICS)	dB	0,8/- 40		Attenuated/switched-off
Max. output level at 30 and 21 dB gain	dBµV	107/116		60 dB IM2/IM3 (EN 60728-3/50083-5)
Maximum output level	dBµV	120		To KDG 1 TS 140 (full system load)
Input level density	dBµV/Hz	-8		CINR at 50 dB (EN 60728-3/term 4.7)
Dynamic range at 30 dB gain (5-65 MHz) ^{2a}	dB	> 17		
Dynamic range at 21 dB gain (5-65 MHz) ^{2b}	dB	> 25		
Noise figure	dB	5		
Network management				
Monitorable parameters		Internal supply voltage, internal current drain, temperature, ICS switch		
Test sockets				
Test socket 1 (on amplifier input)	dB	20		5-1,006 MHz bi-directional, internal
Test socket 2 (on amplifier output)	dB	20		5-1,006 MHz with directional coupler, external - Possibility of feeding return path signals (5-65 MHz); when the push-button is held pressed, the incoming return path signal can be measured
Test socket 3 (in return path)	dB	10		5-65 MHz with directional coupler, external
Switched-mode power supply				
Nominal input voltage	V _{AC}	110-230	38-65	
Mains frequency range	Hz	50-60	50-60	
Power consumption	W	11	12	Return path amplifier active/without monitoring
General				
Ambient temperature range	°C	-20 to +55		
RF-type connectors/test sockets		F-type connector (f)/V-type connector (f)		
Housing protection class (to EN 60529)		IP 54		IP 54: Outdoor use in weather-proof cabinet
Dimensions (W x H x D)	mm	225 x 55 x 155		
Packing unit/weight	pc./kg	1/1.8		

Anexo 6 Dispositivos pasivos que soportan la frecuencia de trabajo de DOCSIS 3.1.



Specifications

Frequency (MHz)	5-40MHz	40-550MHz	550-50MHz	950-2150MHz	2150-3000MHz
WS3G-2 Insertion Loss (max. dB)	4.4	4.5	5.0	5.5	6
WS3G-3 Insertion Loss (max. dB)	5.5/9.0	5.8/10.0	6.0/11.0	6.5/12.0	7.0/13.0
WS3G-4 Insertion Loss (max. dB)	8.2	8.3	8.5	9	15.5
All models Isolation (min. dB)	20	20	20	20	20
All models Input/Output Return Loss (min. dB)	12	12	12	12	12

Anexo 7. Conectores usados en la parte a coaxial de las redes HFC.

Conectores de apretado hexagonal para cable RG 11, RG 6 y RG 59 con sus respectivas herramientas de apriete.



Bandwidth	DC-2.5 GHz
Material	Brass
Holding Force	80 lbs
Crimp Tool Required	HX-009



Bandwidth	DC-3 GHz
Material	Brass
Holding Force	40 lbs
Crimp Tool Required	HX-009, HX-596, HX-596Q
Prep Tool Suggestions	CS-596, C2-200, CS-202



Bandwidth	DC-3 GHz
Material	Brass
Holding Force	40 lbs
Crimp Tool Required	HX-596, HX-596Q
Prep Tool Suggestions	CS-596, C2-200, CS-202

Conectores de compresión para cable RG 11, RG 6 y RG 59 con sus herramientas de compresión.



Plating	2mm-thick Nickel
Impedance	75Ω
Return Loss	-30 dB
Insertion Loss	0.1 dB
RFI Shielding	-96 dB
Compression Tool Suggestion	PFC-011



Plating	2mm-thick Nickel
Impedance	75Ω
Return Loss	-30 dB
Insertion Loss	0.1 dB
RFI Shielding	-96 dB
Compression Tool Suggestions	PFC-002, PFC-001
Prep Tool Suggestions	CS-596, C2-200, CS-202



Plating	24k gold
Impedance	50Ω
Return Loss	-30 dB
Insertion Loss	0.2 dB
RFI Shielding	-70 dB
Compression Tool Suggestion	PFC-002
Prep Tool Suggestions	CS-596, C2-200, CS-202