

## PROYECTO DE GRADO

Presentado ante la ilustre UNIVERSIDAD DE LOS ANDES como requisito final para  
obtener el Título de INGENIERO DE SISTEMAS

**Diseño e Implementación de una Plataforma WEB de Entrenamiento para la  
Protección de Fallas en Redes Híbridas de Fibra Óptica y Coaxial.**

Por

Br. Jesús Ruiz Díaz

Tutor: Prof. Gerard Páez Monzón

Marzo 2017



©2017 Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.

C.C. Reconocimiento

# **Diseño e Implementación de una plataforma WEB para la capacitación en redes Híbridas de Fibra Óptica y Coaxial.**

Br. Jesús Ruiz Díaz

Proyecto de grado – CEMISID, 63 páginas

**Resumen:** La evolución de las redes de telecomunicaciones y en particular las redes de fibra y coaxial han tomado el mando en un mundo globalizado donde el manejo de la información es vital y se hace cada vez más en tiempo real, obligándonos a cada uno de nosotros a permanecer conectado a la red de redes. Bajo esta obligación las conexiones deben ser cada vez de mayor velocidad y permanecer activas la mayor cantidad de tiempo.

Para capturar suscriptores y mantener a los ya conectados, las empresas han entrado en una carrera de ofertas de sus servicios usando toda una estrategia comercial. Por otro lado, el acceso a la tecnología ha bajado sus costos permitiendo entonces a las empresas del ramo competir casi en iguales condiciones; es acá donde la diferencia la hacen la calidad y robustez de los servicios, y esto depende directamente de la calidad de los empleados y sus conocimientos técnicos en la detección de problemas e identificación de soluciones.

Esta propuesta pretende cubrir la deficiencia que muestra el sector de las cable operadoras al brindar una solución de capacitación de forma virtual con muchas posibilidades de convertirla en una solución de capacitación presencial.

**Abstract:** The evolution of telecommunication networks and in particular fiber and coaxial networks have taken command in a globalized world where the management of information is vital and is increasingly done in real time, forcing each of us to remain connected to the network of networks. Under this obligation the connections must be increasing speed and remain active the greater amount of time.

To capture subscribers and keep those already connected; companies have entered a career offering their services using a whole business strategy. On the other hand, the access to the technology has lowered its costs allowing then the companies of the branch to compete almost in the same conditions; It is here where the difference is made by the quality and robustness of the services, and this depends directly on the quality of the employees and their technical knowledge in the detection of problems and identification of solutions.

This proposal aims to cover the deficiency of the cable operator sector by providing a virtual training solution with many possibilities to turn it into a classroom training solution.

**Palabras claves:** Redes HFC, Telecomunicaciones, Fibra óptica, cable coaxial, televisión, Internet, Telefonía

**C.C. Reconocimiento**

## Tabla de Contenido

---

Dedicatoria .....	2
Agradecimiento.....	3
Tabla de Contenido .....	5
Índice de Ilustraciones.....	7
Introducción .....	8
Capítulo 1: Las Redes HFC en terapia de shock.....	9
1.1 Antecedentes .....	9
1.2 Definición del Problema.....	10
1.3 Objetivos .....	11
1.4 Justificación.....	11
1.5 Alcance. ....	12
Capítulo 2. Redes HFC presente y futuro.....	14
2.1 Estructura de la red HFC.....	18
2.1.1 La Cabecera o HeadEnd.....	19
2.1.2 El Enlace Óptico. ....	21
2.1.3 La Red Troncal. ....	23
2.1.4 La Red de Distribución.....	24
2.1.5 La acometida domiciliaria.....	24
2.2 Funcionamiento de las redes HFC.....	25
2.2.1 Los Servicios sobre HFC. ....	25
2.2.2 La señal de Televisión por cable.....	26
2.2.3 Ancho de Banda .....	28
2.2.4 Internet por Cable.....	29
2.2.5 Telefonía por Cable .....	36
2.3 Las señales no deseadas en HFC .....	40

2.3.1 Distorsión. Interferencia y Ruido .....	41
2.3.2 Relación Ruido vs Portadora y Ruido vs Señal.....	43
2.3.3 Batido Compuesto de Segundo Orden (CSO). .....	44
2.3.4 Batido Compuesto de Tercer Orden (CTB).....	45
2.3.5 Modulación Cruzada (XMOD).....	46
2.3.6 Modulación de zumbido (HUM).....	47
Capítulo 3. La plataforma WEB. ....	49
Resultados.....	58
Conclusiones .....	59
Recomendaciones .....	60
Bibliografía.....	61

www.bdigital.ula.ve

C.C. Reconocimiento

## Índice de Ilustraciones

---

Ilustración 1: Demanda de los servicios en los últimos años. Fuente: Cisco, 2016.....	15
Ilustración 2: Uso de Internet en los últimos años. Fuente: Cisco 2016.....	16
Ilustración 3: Tipos de redes FTTx. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2016.....	17
Ilustración 4: Diagrama de la red HFC. (Jesús Ruiz Díaz, 2015).....	19
Ilustración 5. Diferentes Arquitecturas de la Red HFC. (Jesús Ruiz Díaz, 2015).....	22
Ilustración 6: Espectro Electromagnético. Fuente <a href="http://www.electromagneticos.es">www.electromagneticos.es</a> .....	26
Ilustración 7: Norma NTSC para señales de Televisión. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2015.....	27
Ilustración 8: Comparación de la compresión para 90 minutos en calidad DVD. Fuente Cable Europe Labs.....	28
Ilustración 9: Ancho de Banda de la Red HFC. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2015.....	29
Ilustración 10: Características de equipos cable módems. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2015.....	31
Ilustración 11: Comparación entre modulaciones QAM. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2016 .....	32
Ilustración 12: Arquitectura DOCSIS. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2014.....	33
Ilustración 13: Evolución de la especificación DOCSIS. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2017 .....	34
Ilustración 14: Arquitectura Básica de PacketCable®. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2016.....	37
Ilustración 15: Características de equipos eMTA. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2016 .....	38
Ilustración 16: Causas de Pérdidas en la Fibra Óptica. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2017 .....	41
Ilustración 17: Interferencia del cable coaxial. Fuente: Inter, 2014. ....	42
Ilustración 18: Relación CNR y SNR. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2011.....	43
Ilustración 19: Efectos CSO y CTB sobre la imagen. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2012.....	46
Ilustración 20: Efecto producto de la XMOD. Fuente: INTER, 2012.....	47
Ilustración 21: Distorsión producida por el HUM. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2012 .....	48
Ilustración 22. Página de inicio según el dispositivo de acceso. Jesús Ruiz Díaz (2017).....	50
Ilustración 23: Menú Principal. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2017 .....	51
Ilustración 24: Mapa del Sitio Web. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2017 .....	52
Ilustración 25: Programa de Formación. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2017 .....	53
Ilustración 26: Pantalla del programa de formación. Funte: Jesús Ruiz Díaz, 2017 .....	54

## **Introducción**

---

El presente proyecto busca crear un proceso formal de aprendizaje de los conocimientos ligados a las redes de telecomunicaciones conocidas particularmente como H.F.C. (Redes Híbridas de Fibra Óptica y cable Coaxial).

En la cotidianidad del trabajo como empleado de una empresa cable operadora, se observa que los procesos de selección, preparación, inducción y capacitación del personal son, en pocas palabras, empíricos e improvisados. Todo se hace desde el punto más informal posible, se ubica al personal más antiguo para que sea este el encargado de darle al novato los conocimientos necesarios para atender las actividades del trabajo en sí. Este pseudo proceso de formación se realiza además “en caliente”, atendiendo directamente fallas y esperando además que sean resueltas según unos parámetros de calidad y tiempo establecidos por el MSO de la empresa. A pesar de esto las redes de estas empresas operan con problemas, unos más serios que otros, los cuales son atendidos más con mística de trabajo que conocimientos del área.

Tres motivaciones personales son las encargadas de impulsar este proyecto: el interés por estar conectado con los adelantos tecnológicos que se vienen dando cada vez más frecuente en las telecomunicaciones y que representan el vivir de un mundo globalizado donde ya no es suficiente con saber leer y escribir sino que ahora es necesario estar “conectado”; en segundo lugar una propuesta académica con la cual no se cuenta actualmente en Venezuela; y, tercero la posibilidad económica que esta propuesta representa en la creación de personal calificado en un campo laboral cada vez mayor.

El texto que se presenta a continuación es un breve pero muy breve resumen, del material que se muestra en el portal digital creado como objetivo de este trabajo. Puede ser considerado muy escueto pero la idea es que aquellos interesados se atrevan a acceder a la plataforma. Está divido en cuatro capítulos donde se presentan en el primero de ellos los fundamentos de la propuesta, objetivos y planteamiento. El segundo capítulo trata algunos conceptos considerados básicos, es importante resaltar que el tema de mantenimiento se deja exclusivamente para ser tratado a través del portal. El tercer capítulo toca el esqueleto detrás del portal WEB y el último las conclusiones y recomendaciones como resultado de todo el trabajo realizado.

# Capítulo 1: Las Redes HFC en terapia de shock.

---

Desde hace algunos años atrás, las empresas de televisión por cable han dado un gigantesco paso tecnológico al incluir en su red los servicios de TV digital, Internet y Telefonía, pasando a formar parte de la línea de empresas de telecomunicaciones. Convirtiendo en ese proceso las antiguas redes de sólo cable coaxial, a redes que comparten el uso de fibra óptica y coaxial, llamadas popularmente HFC. Este salto obliga no solo a mantener un proceso de actualización de sus plataformas en cuanto a servicios, sino que a la vez, obliga a mejorar la plataforma de atención a sus suscriptores tratando de reducir los tiempos de respuesta ante posibles fallas.

## 1.1 Antecedentes.

En muchas de estas empresas de gran renombre nacional, el procedimiento de entrenamiento que recibe su personal técnico se limita al proceso de aprendizaje, netamente empírico, usando al personal más antiguo para que lleve a cabo el proceso de entrenamiento del aprendiz de cómo atender las fallas que se presentan a diario. Este proceso de entrenamiento tiende a generar deficiencias notorias tanto en la solución de las fallas reportadas por los suscriptores (en muchas ocasiones con una alta repetitividad de las mismas), como en incremento del tiempo que el servicio se encuentra averiado, y por ende en los tiempos de respuesta.

A nivel de educación formal, no se tienen conocimientos de la implementación de alguna propuesta ya sea a nivel técnico medio, técnico universitario o universitario que permita preparar al estudiante para realizar las labores de personal del área de telecomunicaciones en HFC.

A nivel del Instituto Nacional de Educación Socialista (INCES<sup>1</sup>) en su oferta de programas de formación no tiene ningún programa relacionado con las telecomunicaciones.

En el exterior, se tiene información de que en países como Colombia, el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA<sup>2</sup>) adjunto al Ministerio del Trabajo cuenta con un curso de formación como tecnólogo en Gestión de Redes de Datos en cuyo currículo se incluye HFC, el Instituto Tecnológico de

---

<sup>1</sup> [inces.gob.ve/formacion/programas-de-formacion/oficios-calificados](http://inces.gob.ve/formacion/programas-de-formacion/oficios-calificados)

<sup>2</sup> [www.sena.edu.co/opportunities/formacion/Programas%20de%20Formacion/Paginas/Programas-de-Formacion.aspx](http://www.sena.edu.co/opportunities/formacion/Programas%20de%20Formacion/Paginas/Programas-de-Formacion.aspx)

Medellín (ITM<sup>3</sup>) en su currículo de tecnólogo y de ingeniería en telecomunicaciones incluye áreas de formación específicamente diseñadas para HFC.

En la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, Patricio Wolf (2009) realizó la propuesta de implementación de un curso sobre “Servicios sobre Redes HFC de nueva generación”.

Cada empresa de telecomunicaciones o por lo menos las de mayor cobertura en Venezuela tienen un plan de formación y capacitación propio, que se va ajustando a las necesidades de la empresa, casos a distinguir INTER, NetUno, y SuperCable. Sin embargo, no cuentan con un espacio que sirva de laboratorio de entrenamiento. Empresas más pequeñas como TovarSat, CableMax, Cable Caribe aprovechan la posibilidad de contratar personal que trabajó en otras empresas del sector, como una forma de adquirir conocimientos técnicos en lugar de optar por un proceso adecuado de formación.

Hasta el momento, sólo se tiene conocimiento que la empresa Claro (Empresa subsidiaria de la Multinacional América Móvil con presencia en 18 países de América y 7 de Europa), tiene un proceso de capacitación formal teórico práctico a través de la Universidad Claro<sup>4</sup> de acceso virtual y de laboratorios de práctica para certificaciones del personal.

## 1.2 Definición del Problema.

Debido a la alta competitividad que se presenta en el mundo de las telecomunicaciones sumado a la velocidad con la cual aparecen nuevas ofertas tecnológicas, las Empresas deben buscar una diferenciación del resto no sólo en los servicios que puedan ofertar a sus clientes, sino garantizando como parte del producto mismo de venta: 1) un servicio estable y confiable, es decir, con muy pocas fallas y si se presentan, que el tiempo de restauración del servicio sea el menor posible dentro de los parámetros operativos; y 2) un servicio de atención al cliente con calidad, que permita el intercambio correcto de información entre ambas partes: de un lado el agente o técnico y del otro el cliente.

Para obtener ese índice de calidad adicional se requiere que los conocimientos del personal de la empresa estén al nivel de los servicios ofertados dependiendo de la capa en la cual se desempeña; en este orden de ideas surgen un sin número de interrogantes y planteamientos: ¿Cuál es la causa por la que las empresas del sector no ponen en práctica procesos de capacitación que les beneficiarían en el mediano y largo plazo?, ¿Por qué si se cuenta con los medios y la tecnología se opta por procesos no

<sup>3</sup> <http://www.itm.edu.co/facultades/facultad-de-ingenierias/>

<sup>4</sup> Comunidad virtual de Claro Colombia <https://comunidadvirtual.claro.com.co>

formales?. Siendo el área de tecnología con mayor desarrollo a nivel de telecomunicaciones y con un futuro promisorio entonces se plantea como una posibilidad la de:

**“crear una plataforma WEB usando las nuevas tecnologías, que permita al personal técnico de HFC, adquirir conocimientos teórico - prácticos que refuerzen de manera positiva la habilidad y la capacidad, en la resolución de problemas de la red HFC”.**

### 1.3 Objetivos.

Los objetivos establecidos para la propuesta son:

#### 1. Principal

Diseñar e Implementar una plataforma WEB con información del funcionamiento de una red HFC estándar, que pueda usarse para el entrenamiento del personal técnico en esa área.

#### 2. Específicos

- Recopilar una base de nociones y conocimientos sobre redes HFC, su arquitectura, su funcionamiento y su mantenimiento.
- Seleccionar y organizar los temas más relevantes para estructurar una secuencia lógica de aprendizaje de los conceptos.
- Construir la plataforma web que permita a los usuarios interactuar con la base de conocimientos, y que registre el progreso de cada uno de ellos.
- Instalar y configurar la plataforma del servidor que aloje la propuesta.

### 1.4 Justificación

La gran expansión de la Internet ha impulsado los grandes avances de los cable operadores en los últimos años y por consiguiente de las telecomunicaciones, todo esto como respuesta a la necesidad de las personas de estar, antes conectadas “*online*” y hoy en día estar en vivo “*in live*”; esto requiere una alta demanda de velocidad y calidad de los servicios.

De acuerdo al estudio “*State of the broadcast industry 2016*<sup>5</sup>” publicado en enero, el crecimiento de la demanda de servicios del sector HFC muestra una curva exponencial. A partir de entonces, el

---

<sup>5</sup> <http://go.oyala.com/rs/447-EQK-225/images/Ooyala-State-Of-The-Broadcast-Industry-2016.pdf>

crecimiento se ha frenado, principalmente porque las necesidades del mundo globalizado que requiere ya no sólo de una gran velocidad en la conexión a la Internet, sino que se agrega a esto la posibilidad de tenerla en cualquier momento y en cualquier lugar. Un ejemplo de ello es la aparición de los términos IoT y OTT, el primero de ellos *“Internet of Things”* que se refiere a la conectividad de objetos cotidianos con la Internet; y el segundo *“Over The Top”* plataformas que transmiten en vivo información a dispositivos conectados a la Internet.

En estas condiciones la Red HFC dependen directamente de mantenerse al paso de la evolución tecnológica, lo cual sólo es posible de realizar disponiendo del acceso a la tecnología de punta y principalmente si se cuenta con el personal debidamente calificado, capacitado y preparado para atender todas las situaciones, tanto rutinarias como eventuales, que se presenten en la red.

Por lo expresado anteriormente el presente trabajo atiende justificaciones en tres vertientes:

1.- Primero, analizando el enfoque económico, que se presenta por parte de las empresas, sobre la necesidad de contar con un personal calificado en el funcionamiento de la red HFC, o por lo menos contar con un esquema de capacitación, lo cual se traduce al mediano plazo en un ahorro económico. Por parte del personal técnico se abre la posibilidad de obtener mejoras en salarios acordes con su nivel de capacitación, y la posibilidad de optar a cargos de mayor responsabilidad dentro del organigrama empresarial.

2.- La segunda vertiente, es la posibilidad de involucrarse de forma teórica en todo lo concerniente a los avances de la tecnología en las áreas de televisión, Internet y fibra óptica; y en la medida de lo posible, acceder en forma práctica a estos avances.

3.- En tercer lugar está el enfoque de la docencia, dada la amplia demanda y cobertura del sector en el país se estaría abriendo la posibilidad de contar con un prototipo de formación formal.

## **1.5 Alcance.**

Para que la señal de un canal de TV, la conexión a Internet o una simple llamada telefónica se efectúe correctamente sobre la red Híbrida de Fibra Óptica y cable Coaxial entre la empresa proveedora y la casa de un cliente, requiere del conocimiento técnico específico en cada una de las etapas del proceso. En cada una de ellas, la red es susceptible de afectaciones que pueden ocasionar problemas con la estabilidad y la calidad de los servicios de los clientes. En este sentido se pretende alcanzar un conocimiento teórico de nivel medio en toda la red HFC que le permita al usuario de la plataforma poder identificar en general, los equipos que la componen y su correcto modo de operación.

El segundo paso, es poder establecer con el conocimiento teórico, procedimientos prácticos que permitan identificar algunas de las fallas típicas presentes en la red y determinar el procedimiento correctivo a aplicar.

La base de conocimientos recopilados y organizados por temas, será introducida en la plataforma WEB para permitir una capacitación progresiva de los usuarios.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

C.C. Reconocimiento

## Capítulo 2. Redes HFC presente y futuro

En el ámbito de las telecomunicaciones las redes híbridas en fibra óptica y cable coaxial fueron la consecuencia evolutiva de las antiguas redes de televisión por cable, conocidas como CATV (Antena Comunitaria de Televisión). El primer obstáculo al que se enfrentó la CATV fue contar con una mayor área de cobertura; la solución entonces, fue establecer una cadena consecutiva de amplificadores de señal o cascada. El segundo obstáculo fue solucionar la necesidad de los suscriptores de contar con más canales de televisión, causado por dos problemas: a) entre mayor fuese la cascada de amplificadores la imagen final en el televisor del cliente perdía calidad; b) la limitación dada por el ancho de banda del propio cable coaxial.

A principios de la década de 1990, se comienza a implementar la fibra óptica como solución a los dos problemas presentes en las redes de cable coaxial: la limitación de distancia y la capacidad de ancho de banda disponible para la transmisión de señales. A mediados de los 90 impulsadas por el impacto de la Internet, se desarrollan las primeras soluciones propietarias para convertir las nacientes redes HFC, en redes capaces de transmitir señales en ambas direcciones. A finales de los 90 aparece la plataforma de televisión digital, y en un abrir y cerrar de ojos la empresa de TV por cable escaló al siguiente nivel como empresa de telecomunicaciones, ahora con servicios de televisión analógica, televisión digital y la Internet de banda ancha.

En esos años debido a la creciente demanda de los servicios y a la imposibilidad de compartir tecnología entre las soluciones propietarias existentes, se funda en Estados Unidos “*Cable Television Laboratories inc*”, mejor conocida como CableLabs<sup>6</sup>, “un consorcio sin fines de lucro conformado por las grandes empresas a nivel mundial del sector de TV por cable cuya función principal es establecer el desarrollo de nuevas tecnologías y las especificaciones técnicas que permitan una implementación segura de los servicios de datos, video y voz de nueva generación”(CABLE LABS, 2016).

A principios de los 2000, el paso siguiente era más que obvio, por un lado aprovechando los servicios digitales se implementan los servicios para televisión de “*pay per view*” y “*video on demand*” y por el otro lado la telefonía digital.

---

<sup>6</sup> <http://www.cablelabs.com/>

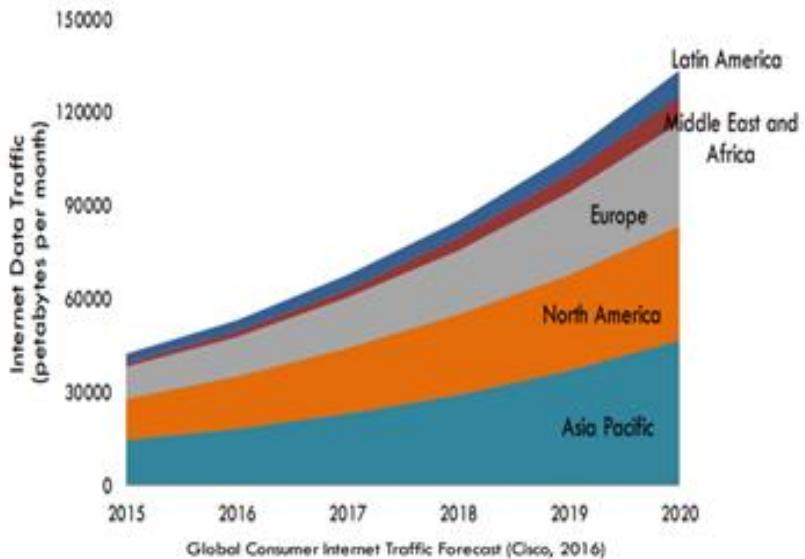


Ilustración 1: Demanda de los servicios en los últimos años. Fuente: Cisco, 2016.

Exigidas por la cada vez más creciente demanda de velocidad en la conexión y de ancho de banda para poder entregar a los clientes nuevos servicios como televisión en alta definición, video conferencias, video llamadas, juegos en línea, realidad virtual, etc.; CableLabs ofrece como solución las especificaciones para la interface de servicios de datos por cable (conocida como DOCSIS®) con lo cual se logra el mayor aporte de la industria del cable para la industria del cable. Con esta especificación, se unifican los criterios en el diseño de las nuevas tecnologías, se logra estandarizar los protocolos y compartir las diferentes soluciones ofrecidas por las grandes compañías y, se establecen los criterios y requisitos que la red debe cumplir, para poder ofrecer servicios de datos de forma eficiente, segura y estable a través de la red HFC.

La siguiente solución de CableLabs que se adelantó fue el uso del protocolo de internet para la distribución eficiente de servicios multimedia (PACKETCABLE), con lo cual la red HFC estándar puede incluir el servicio de telefonía principalmente, estableciendo incluso los protocolos con los cuales se intercambian las llamadas con los operadores de telefonía convencional.

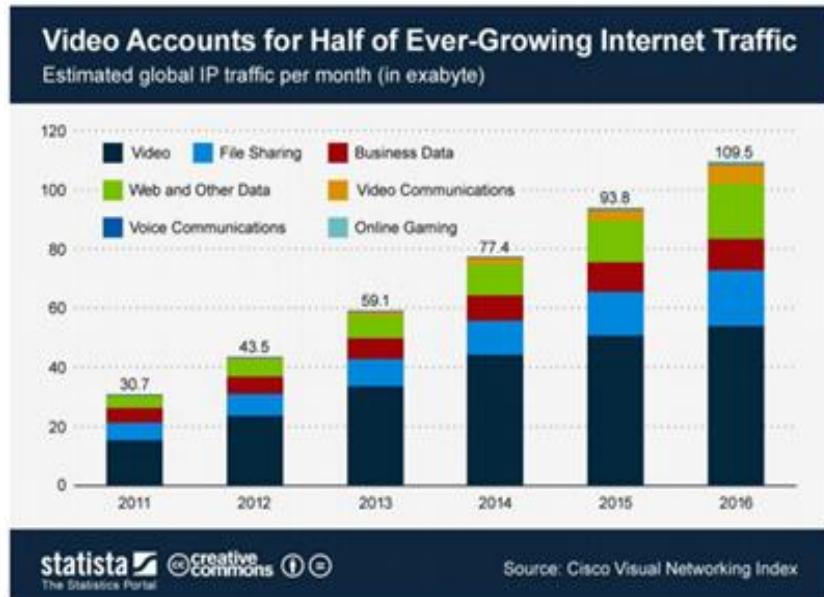


Ilustración 2: Uso de Internet en los últimos años. Fuente: Cisco 2016.

Con los cambios en las necesidades de uso de la Internet, las redes HFC se han visto obligadas a modificar su propia estructura acercando cada vez más, la fibra óptica a los clientes en detrimento del cable coaxial. Esto con la finalidad de llegar con mejor calidad de servicio al cliente, ofreciendo anchos de banda muy superiores a los ofrecidos por las HFC estándar. Desde mediados de los 2000, se comienza a hablar de las redes HFC de nueva generación o FTTx, del inglés “Fiber To The X”, donde la x señala hasta donde llega la fibra óptica. (AMERICAS COUNCIL, 2016).

A partir de este desarrollo, las redes HFC cada vez tienen más fibra óptica en detrimento del cable coaxial como se muestra en la ilustración 3, la red FFTn llamada así porque se llega con fibra hasta el vecindario o nodo; la FTTb, que identifica a la red que llega con fibra directamente a la entrada del edificio y por último, la red FFTh para indicar que se llega con fibra directamente desde la cabecera hasta el hogar del cliente.

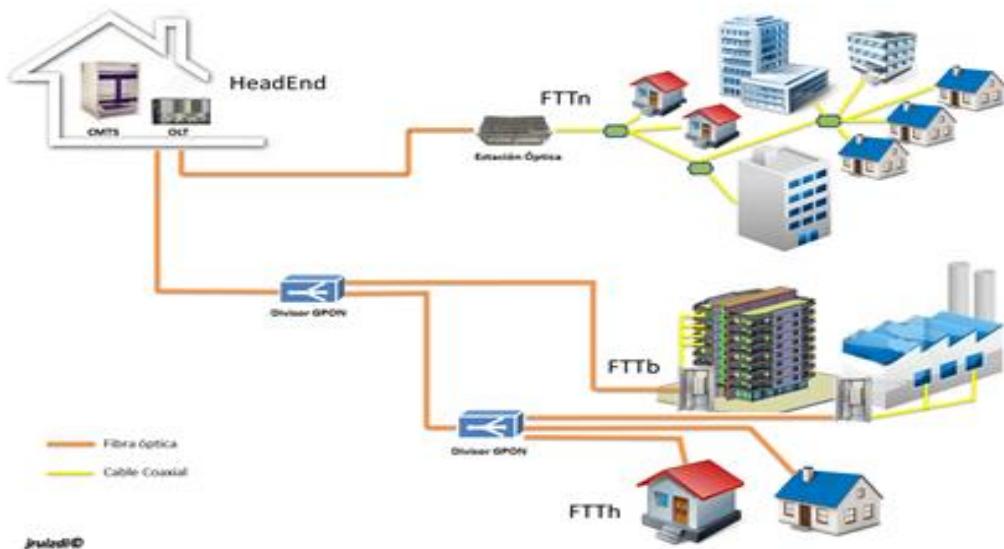


Ilustración 3: Tipos de redes FTTx. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2016.

Nace entonces el término *redes ópticas pasivas* mejor conocidas como *PON*<sup>7</sup>, como la tecnología sobre la cual operan las redes de *FTTx*, que permiten el aprovechamiento compartido del ancho de banda de la fibra óptica, por múltiples clientes conectados directamente a ella.

Con miras hacia el futuro, CableLabs lanza en febrero de este año la nueva versión de sus especificaciones *DOCSIS®* en su versión 3.1 Full Duplex, que establece la posibilidad de alcanzar velocidades de 10Gb en el canal de bajada y 2Gb en el canal de subida en la red HFC actual.

Por otro lado, la *FTTx* los desarrollos de especificaciones de diseño para *redes pasivas ópticas de gigabit o GPON*, como se denomina comúnmente, con velocidad de hasta 2,5Gb en el canal bajada, logrando alcanzar velocidades de hasta 100Mb por cliente; y desde el 2012 se trabaja en arquitecturas como la “*Universal Next Generation PON*” o *UNG-PON* ofrecida por *NOKIA*<sup>8</sup> y la “*time and wavelength division multiplexed passive optical network*” (*TWDM-PON*) propuesta por *HUAWEI*<sup>9</sup> que permiten alcanzar, en ambos casos, velocidades de hasta 40Gb en el canal.

Otra propuesta significativa para el futuro de las redes HFC es la denominada “*Multimedia over Coax Alliance*” (*MoCA®*)<sup>10</sup> que, al igual que CableLabs es una organización libre, de industrias

<sup>7</sup> <https://apac.nextgenerationoptical.com/wdm-pon-forum-workshop/>

<sup>8</sup> <https://networks.nokia.com/solutions/uNGPON>

<sup>9</sup> <http://www1.huawei.com/en/about-huawei/publications/communicate/hw-201329.htm>

<sup>10</sup> <http://www.mocalliance.org/>

estándar con aplicaciones en redes domésticas. Ésta propuesta tecnológica consiste en habilitar un protocolo de distribución de contenidos sobre la red de cable coaxial de tv actual dentro de la casa, garantizado la comunicación efectiva. En otras palabras que cada dispositivo del hogar conectado a la red de cable, pueda compartir información entre ellos, como lo harían los equipos conectados a la red Wi-Fi del hogar, pero por cable coaxial.

Todo este avance es en respuesta a la cada vez, mayor necesidad de ancho de banda que los usuarios requieren para sentirse conectados al mundo, en todo momento y en cualquier parte.

## 2.1 Estructura de la red HFC.

Las Redes Hibridas en Fibra y Coaxial han mantenido a lo largo del tiempo su topología y su estructura original. Una definición más formal: es una red de telecomunicaciones que combina las bondades de la fibra óptica y del cable coaxial como soporte para la transmisión de video, datos y voz. La topología de estas redes es básicamente tipo árbol partiendo de un punto de origen hasta llegar a múltiples ramificaciones de destino.

En cuanto a la estructura de la red HFC que maneja este proyecto difiere de la estructura convencional, de la siguiente manera:

- **La cabecera o “HeadEnd”.** Las mismas funciones que la estructura convencional. Es el centro de mando y control de toda la red. Desde donde se envían y reciben todos los servicios.
- **El Enlace óptico.** Incluido como parte de la red troncal en la teoría clásica. El anillo óptico está conformado por toda la estructura de la red HFC que maneja fibra óptica y luz como medio de transporte de los servicios y los centros de distribución intermedios o “hubs”. El punto terminal es la estación óptica o nodo.
- **La red Troncal.** Conformada por todo el sector de la red construida en cable coaxial que se encarga de acercar la señal a los sectores urbanizados. Es el enlace que inicia en el nodo óptico hasta el primer amplificador distribuidor. En este segmento de la red, el cable coaxial además de señales de RF, incluye la alimentación eléctrica que permite el correcto desempeño de los amplificadores.

- **La red de Distribución.** Conformada por el segmento de la red de cable coaxial que permite distribuir la señal dentro de los sectores urbanizados. Inicia con el amplificador distribuidor y termina en los “Taps” que son los equipos de conexión de cada cliente a la red. A diferencia de la red troncal, la red de distribución no tiene alimentación eléctrica ya que todos los dispositivos conectados a ella, son pasivos.
- **La Acometida Domiciliaria.** También llamada “drop”, es la red de distribución de los servicios dentro de los domicilios de los clientes. Se usa cable coaxial flexible de poco grosor.

En la ilustración 4, se muestra el diagrama general de la red HFC especificando los principales equipos que intervienen en su estructura, dependiendo del servicio y su ubicación en la estructura de la red H.F.C.

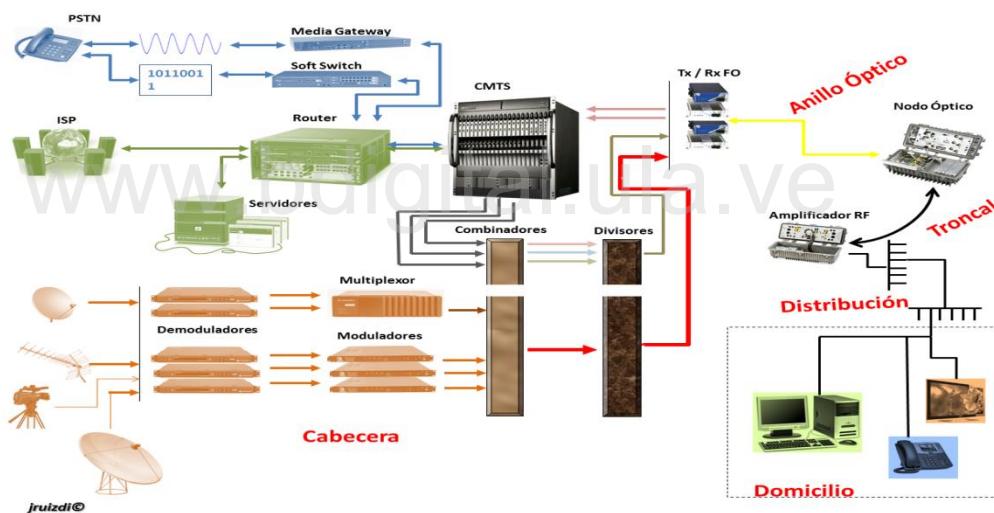


Ilustración 4: Diagrama de la red HFC. (Jesús Ruiz Diaz, 2015)

### 2.1.1 La Cabecera o HeadEnd.

La cabecera es el centro de control maestro desde donde se gobierna todo el sistema. Es la encargada de monitorear y supervisar la red. Estas actividades se están convirtiendo en un requerimiento básico de las redes de cable, debido a la actual complejidad de las nuevas arquitecturas y a la sofisticación de los nuevos servicios que transportan, que exigen de la red una confiabilidad y estabilidad bastante alta. En el *Headend* se realizan además las funciones de tarificación y de control de los servicios prestados.

Su complejidad depende de los servicios que presta la red. Por ejemplo, para el servicio básico de distribución de señales unidireccionales de televisión (analógicas y digitales) se dispone de una serie de equipos de recepción de televisión terrenal, vía satélite y de microondas, así como de enlaces con otras cabeceras o estudios de producción. Las señales analógicas se acondicionan para su transmisión por el medio cable. Las señales digitales de vídeo, audio y datos que forman los canales de televisión digital se codifican para formar el flujo de transporte conocido como MPEG (*Motion Picture Experts Group*), el cual es un estándar de compresión de señales de video que permite el envío sencillo y efectivo de la información, en pequeños paquetes, a través de la red.

Una vez añadida la codificación para corrección de errores y la implementación para evitar las ráfagas de errores, se utiliza un modulador QAM (modulación de amplitud en cuadratura) para transmitir la información hasta el equipo terminal del cliente popularmente caja decodificadora (*set-top-box*).

De igual manera, se trata la señal de la Internet y la telefonía por cable, en ambos casos la señal se codifica y se incluye en las respectivas portadoras digitales, usando dos canales para cada uno de los servicios; un canal denominado bajada o “downstream”, que lleva la señal desde el Headend hasta el equipo terminal del cliente o cable modem y el canal de retorno o “upstream”, que trae la señal desde el cable modem hasta la cabecera. En el caso de la telefonía el proceso es idéntico, sólo varía el equipo terminal normalmente llamado eMTA, que no es más que un cable modem con capacidad de datos para internet, que tiene incluido un adaptador terminal multimedia.

Para cada tipo de señal que se quiera ingresar al sistema se tiene un tratamiento y unos equipos particulares, por eso la complejidad cada vez mayor de la cabecera.

#### *Equipos que conforman la Cabecera.*

La cantidad y el tipo de los equipos que se tiene en una cabecera de red HFC, depende directamente de los servicios ofrecidos por la empresa y del tipo de señales que se incluyen dentro de ellos. La disminución en los costos de implementación de los servicios, está condicionado de cierta forma, a que exista una estructura similar en todas ellas.

Una Cabecera estándar de HFC para señales de televisión análoga y/o digital, internet y telefonía, debe ser capaz de recibir señales de televisión en la banda VHF y UHF (señales convencionales por aire), señales de televisión de satélites (en las bandas Ku y C), la banda de radiodifusión de Frecuencia Modulada (FM), señales de televisión digital terrestre (TDT), además de las señales propias generadas por la empresa como tele cine, señal de televisión. Adicionalmente, un par de señales muy importantes

para la operatividad y el mantenimiento, llamados canales piloto. Esto significa en equipos: antenas de recepción para cada banda, equipos moduladores y receptores satelitales principalmente; equipos de inserción de caracteres y de publicidad, En la parte digital, la cabecera tiene equipos descriptores, encriptadores y multiplexores para la televisión digital y de alta definición, los servicios de “*pay per view*”, “*video on demand*” y canales codificados.

En cuanto al servicio de Internet, la cabecera debe contar con el equipo de control de cable módems y eMTA, llamado normalmente CMTS (del inglés *Cable Modem Terminal System*), enrutadores y switchs de alta gama, los servidores de control, de facturación, y de servicios adicionales como servidores de correo y servidores de juegos en red. En este grupo entran todos los equipos de interconexión con el proveedor de Servicios de Internet o ISP.

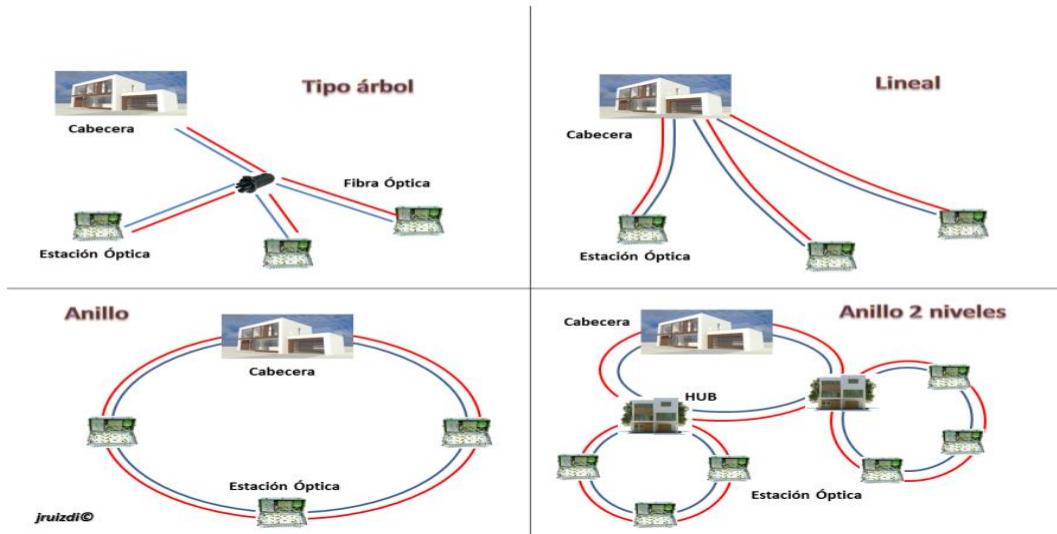
Para adicionar los servicios de telefonía, la cabecera debe contar con los equipos que permitan interconectarse con otros sistemas de telefonía o PSTN, normalmente llamados media gateway, servidores de facturación y de control.

Por último en la cabecera se tienen todos los equipos de monitoreo de la red y de los servicios, los combinadores de señales, los transmisores y los receptores ópticos.

### **2.1.2 El Enlace Óptico.**

Para este trabajo, se define como el segmento de la red en el cual todas las señales se transportan por medio de la luz, es decir todo la estructura óptica.

Como se muestra en la ilustración 5, existen varias formas de interconectar la cabecera con las zonas residenciales. El enlace óptico admite establecer dos vías de comunicación entre el *HeadEnd* y los nodos ópticos, una principal y una secundaria, que permitan restituir los servicios en muy corto tiempo, mientras el personal técnico repara la falla presente, en el lado del enlace afectado.



La señal que ingresa a la fibra óptica lo hace a través de los transmisores ópticos los cuales, por medio de un proceso de conversión análogo-digital, convierten las señales eléctricas de radiofrecuencia en señales digitales, que son empaquetadas y enviadas por medio de un láser. En el recorrido entre la cabecera y la zona residencial puede encontrarse según la distancia una cabecera mucho más pequeña llamada normalmente “HUB” cuya función principal es la de re amplificar la señal óptica y en algunos casos puede tener equipos para ingresar nuevas señales a la señal de entrada que viene del *HeadEnd*, para luego continuar el recorrido hacia los puntos de distribución.

En el otro extremo de la fibra, la señal es recogida por el nodo óptico, que se encarga de recibir la señal de luz y aplicando el proceso inverso del transmisor, la señal digital pasa por un proceso de conversión digital-análogo que permite tenerla de nuevo en radiofrecuencia, para ser enviada a las troncales de cable coaxial.

#### *Equipos que conforman el enlace óptico.*

En el caso de las redes HFC convencionales, el enlace óptico está formado principalmente por la fibra óptica como medio de transmisión, además se incluyen los transmisores y receptores ópticos de cabecera, los amplificadores y divisores ópticos, las cajas de distribución de Fibra Óptica (ODF: *optical distribution frame*) y las estaciones o nodos ópticos.

Las redes HFC de nueva generación han ido eliminando el componente coaxial, acercando la fibra cada vez más, a los hogares. Para lograrlo, aparecen sobre la red tres dispositivos adicionales

identificados por sus siglas en inglés, el primero es el Terminal de Línea Óptica OLT, un equipo instalado en la cabecera y cuyo su funcionamiento es similar al Sistema Terminal de Cable Modems o CMTS; del otro extremo está el equipo Terminal de Red Óptica o ONT y en medio de ambos en el recorrido de la fibra, quedan los divisores ópticos y el dispositivo llamado terminal del conexión óptica FTO.

En las redes llamadas PON, por el hecho de no tener ningún activo que requiera alimentación y que amplifique la señal la red troncal de coaxial, ha sido sustituida progresivamente por una red tipo árbol de fibra óptica y que cuya cercanía al cliente permite establecer nuevos límites más altos en los anchos de banda disponibles; pasando de FTTh, fibra hasta el nodo o vecindario, a FTTh donde la fibra ingresa al domicilio del cliente, dejando en el recorrido una estructura basada en divisores ópticos.

### **2.1.3 La Red Troncal.**

Es el segmento de la red que lleva las señales descendentes, desde la estación o nodo óptico hasta el primer equipo distribuidor. Está conformado por la red de cable coaxial semiflexible de calibre RG .750 o RG .500, para un mejor rendimiento de la red. Típicamente, la red troncal será una cascada corta de amplificadores troncales autoalimentados (extensores de línea) que operan a niveles de ganancia bajos, si se les compara con los amplificadores de distribución. Por la red troncal se maneja además la señal eléctrica que alimenta los amplificadores de RF. La tensión eléctrica que ingresa al sistema es generada por fuentes AC que generan voltajes de 60 o 90 V.

La adecuada arquitectura de la red troncal es clave para la futura capacidad de realizar actualizaciones de la red HFC. En el caso de la implementación de FTTx, la red troncal podrá irse eliminando sin una incidencia significativa en la operatividad y de esta manera poder llegar a los clientes con una mayor calidad en el servicio.

#### *Equipos que conforman la red troncal.*

Durante el diseño de la red HFC se planifica principalmente la serie o “cascada” de equipos amplificadores, ya que de esto depende la calidad del servicio y también el alcance de la cobertura. Generalmente dentro de la red troncal podemos conseguir equipos extensores de línea cuya función es amplificar la señal de RF, estos equipos tienen una entrada y una salida. También encontramos la o las fuentes de alimentación eléctrica para los amplificadores. Adicionalmente se cuenta con Insertores de

potencia, el equipo encargado de incluir la electricidad a la red y al mismo tiempo evitar que las señales de RF dañen la fuente. Derivadores y Acopladores de Red.

#### **2.1.4 La Red de Distribución.**

Es la continuación de la red troncal. Tiene una estructura tipo bus en cada rama con cable coaxial, generalmente semiflexible de menor diámetro que el de la troncal; usualmente cable .500 y en algunos casos cable 320, que ha venido a sustituir al antiguo cable 11. En esta parte de la red se llevan las señales por la manzana, la cuadra o el piso en el caso de edificios, contando con múltiples puntos de conexión o derivación, desde donde sale la conexión al cliente.

Siguiendo las especificaciones del diseño propuestas inicialmente, se tiene que para el óptimo funcionamiento de los servicios sobre HFC con la red de distribución, se completa un máximo de 6 amplificadores en cascada incluido el nodo óptico. Tres diferencias operativas la separan de la red troncal. La primera es que los amplificadores usados en la distribución tienen una configuración de ganancia muy superior a los de la red troncal; la segunda es que, los amplificadores distribuidores tienen una entrada y entre una y tres salidas amplificadas y, la tercera es que, por la red de distribución ya no se tiene energía eléctrica. Sin embargo, existen algunas condiciones especiales de diseño que lo permiten en algunos casos. Es importante aclarar que, ninguno de los equipos terminales de la red de distribución (taps) desde donde parten las conexiones de los clientes están energizados y adicional no permiten el paso de la misma, en sentido de la red hacia el cliente o de algún cliente hacia la red u otros clientes.

#### *Equipos que conforman la red de distribución.*

La red de distribución contiene, dependiendo del diseño, el último equipo amplificador de la red HFC antes del cliente, motivo por el cual a partir de este punto la red es sólo pasiva. Como ya se mencionó el equipo amplificador de distribución es el único activo en este bloque de la red HFC que además, cuenta con Derivadores y Acopladores de Red, y principalmente los taps de conexión que varían entre 2, 4 y 8 “bocas” o puntos de conexión, con una pérdida asociada al equipo.

#### **2.1.5 La acometida domiciliaria.**

Es el último tramo del recorrido de la red HFC; se toma desde la derivación o “tap” fuera de la puerta del domicilio del cliente, y se incluye toda la red de cable coaxial flexible RG-6 usada para alimentar los equipos dentro del domicilio; en pocas palabras, incluye los puntos de conexión para los

televisores, el o los puntos para los cable modem y/o eMTA. Este segmento de red tiene una estructura de árbol y es considerada como red pasiva (sin alimentación eléctrica). No se incluyen los equipos o aparatos del cliente como parte de la red. En la acometida domiciliaria se usan normalmente los divisores domiciliarios de 2 y 3 vías, los acopladores y en algunos casos atenuadores de señal y amplificadores domiciliarios.

## 2.2 Funcionamiento de las redes HFC.

Si se quiere cumplir con el propósito de poder realizar procesos de mantenimiento sobre la red HFC, es de vital importancia que el personal tenga una noción clara del funcionamiento de la red sobre la cual opera, esto obliga a su vez al conocimiento claro de conceptos y términos considerados básicos de telecomunicaciones. De estos conceptos vamos a mencionar algunos en este apartado, por considerarlos de gran necesidad para el resto del proceso:

### 2.2.1 Los Servicios sobre HFC.

El primer y principal servicio suministrado por las redes HFC fue la señal de televisión. Luego con la inclusión de la fibra óptica aparecieron sobre la misma estructura los servicios de datos y posteriormente los servicios de voz. En general los servicios pueden diferenciarse por la manera como se transmiten hasta el suscriptor: servicios análogos o digitales; también pueden clasificarse por el tipo de comunicación que se tiene: servicios unidireccionales o bidireccionales.

En la ilustración 6, se muestra el uso típico de cada banda del espectro, el tamaño de la onda y la cantidad de energía que transporta. Del espectro, la red HFC opera en la banda de Radio Frecuencia en un bloque comprendido entre los 5 MHz y los 1000 MHz, para el caso del coaxial; y, en la banda de los infrarrojos, para la fibra óptica.

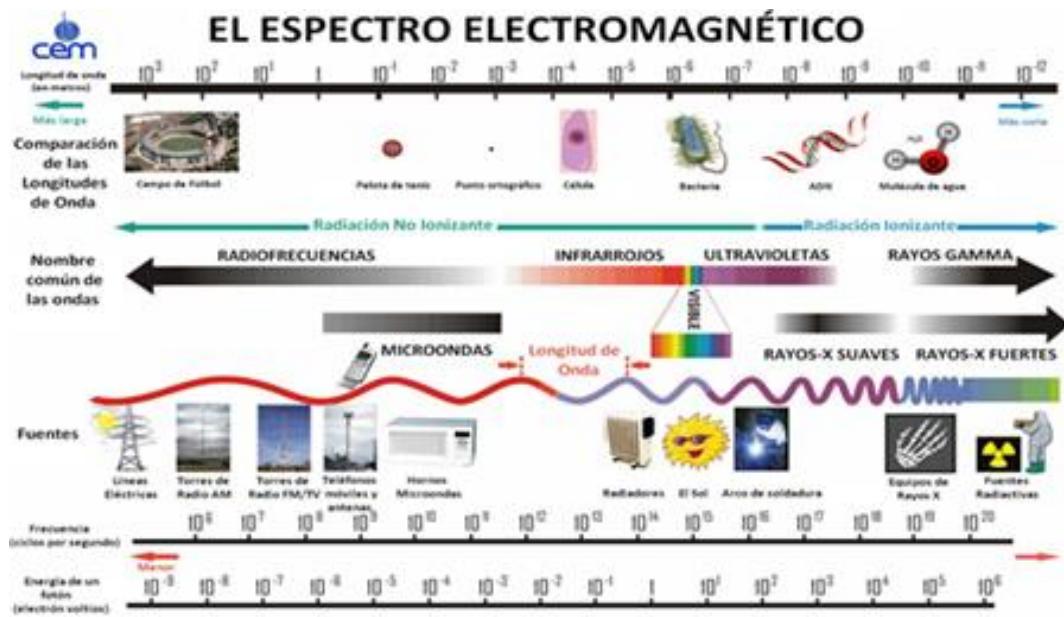


Ilustración 6: Espectro Electromagnético. Fuente [www.electromagneticos.es](http://www.electromagneticos.es)

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

En condiciones normales todas las señales se reciben y/o generan desde el Headend, cada una de ellas se gradúa y se modula, según los parámetros establecidos para su transmisión, y luego ser enviada al resto, por la red. En algunos casos es posible, dependiendo de la arquitectura del diseño, que se ingrese algunas de ellas desde algún Hub secundario. En el caso de la red HFC, las señales pasan por dos medios de transmisión, el primero de ellos es la fibra óptica, en la cual todas las señales viajan mediante uno o varios haces de luz; el segundo medio, es el cable coaxial en el cual todas esas señales son transportadas como señales de radio frecuencia o RF como se identifica en el argot coloquial del medio.

El término RF se define como la parte de las frecuencias de espectro electromagnético que se usan para comunicaciones. Este segmento del espectro se identifica por ser el menos energético y con la posibilidad de ser transmitido mediante antenas.

### 2.2.2 La señal de Televisión por cable.

Existen muchas normas de Televisión diferentes en el mundo que definen la banda base y la estructura de la señal de radiofrecuencia, pero para el técnico de CATV los parámetros claves son: el ancho de banda, y las relaciones de frecuencia y amplitud de visión (luminancia), color (crominancia) y

[C.C. Reconocimiento](http://www.bdigital.ula.ve)

subportadora de audio. En el caso de Venezuela, la norma aceptada por CONATEL<sup>11</sup>, como ente regulador de las telecomunicaciones en Venezuela es la norma NTSC (Comité Nacional de Normas de Televisión de EEUU).

En la ilustración 7, se pueden ver, la definición estándar de la Norma NTSC-M, donde el ancho de banda del canal es de 6Mhz; y, las características de las portadoras de vídeo, audio y crominancia: ubicación del canal y su relación de valores para cada portadora.

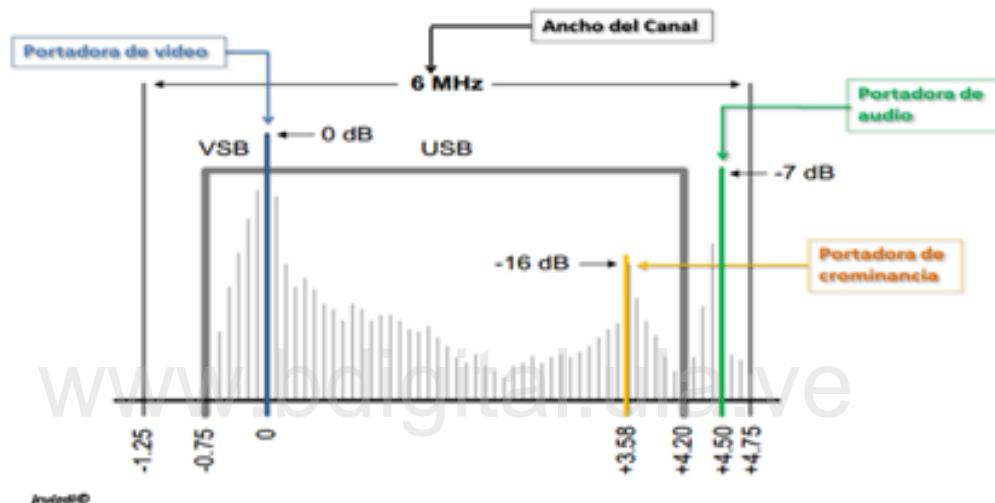


Ilustración 7: Norma NTSC para señales de Televisión. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2015.

A nivel de Headend, la televisión digital se genera de la aplicación de una serie de tecnologías para digitalizar el video y el audio según las normativas establecidas. La señal se procesa y se incluye dentro de una portadora en la banda digital. La digitalización genera un enorme flujo de datos, por el orden de 270 Mbps en el caso de una señal convencional y del orden de 1,485 Gbps para HDTV, lo cual significa un gran costo de ancho de banda. Para su transmisión se utilizan los protocolos de compresión de datos del estándar: MPEG-2 y MPEG-4, propuestos por la "Moving Pictures Expert Group". El primero es el más usado para la transmisión de las señales de Tv digital por aire, Tv por cable y TV Satelital. Para MPEG-2 el nivel de compresión, dependiendo de qué tan rápido sea el movimiento dentro de las imágenes, puede ser de 1,5 Mbps para un programa de televisión de entrevistas, hasta entre 6 y 9 Mbps para una transmisión deportiva. El audio se comprime de forma independiente según la norma

<sup>11</sup> <http://www.conatel.gob.ve/>

Dolby Digital pudiendo llegar a 448Kbps con sonido 5.1. El formato MPEG-4, mejora los niveles de compresión de su antecesor, agrega la posibilidad de comprimir señales 3D y video de alta definición. Agrega la capacidad de recuperación de errores para obtener una transmisión más robusta y la capacidad de interactuar con la escena audiovisual, generada en el receptor.

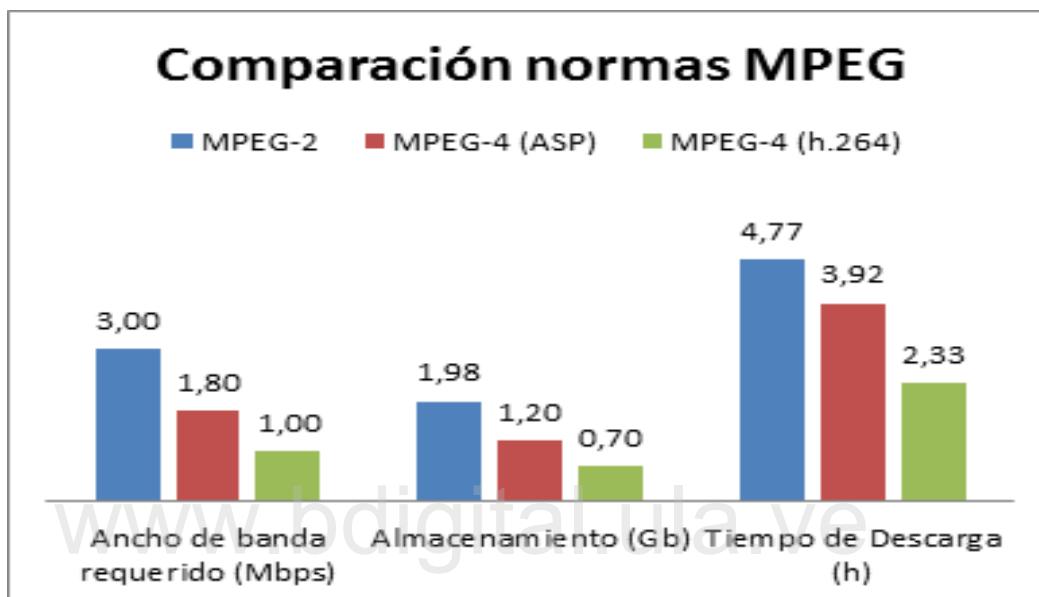


Ilustración 8: Comparación de la compresión para 90 minutos en calidad DVD. Fuente Cable Europe Labs.

Cada señal es modulada y encapsulada en paquetes que le permiten a la cabecera enviar varias señales por una misma portadora. Dependiendo de la modulación usada en la cabecera, se puede enviar por un canal de 6 MHz un máximo de 26,97 Mbps para 64-QAM o 38,81 Mbps para el 256-QAM. Esto significa que, por una portadora, se puede codificar hasta 8 señales estándar o una HD y dos señales estándar para el primer caso; y de hasta 12 señales estándar o dos HD en el segundo caso. Para recibir estas señales cada usuario requiere una caja decodificadora.

### 2.2.3 Ancho de Banda

Para las señales de HFC, el ancho de banda disponible para la transmisión está limitado por las capacidades físicas del medio; en este caso, del cable coaxial, ya que por norma el ancho de banda de la fibra óptica no tiene un tope según la teoría óptica.

Como se comentó anteriormente, el ancho de banda disponible se encuentra entre los 5Mhz y los 1002Mhz. La distribución original se muestra en la ilustración 8, en la cual la red HFC tiene la posibilidad de tener 80 canales en la banda analógica. La evolución de los protocolos pasa de tener en principio una

banda para las señales de retorno (*upstream*) entre los 5 y los 42 MHz en la red HFC convencional, a tener entre los 5 y los 85 MHz; y la banda de bajada (*downstream*), cambia de los 54Mhz a los 105Mhz para los nuevos diseños.

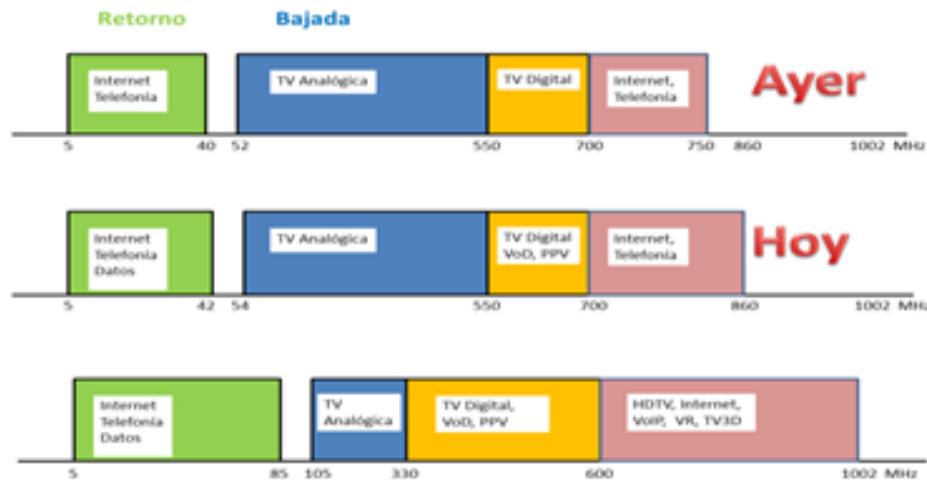


Ilustración 9: Ancho de Banda de la Red HFC. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2015.

Bajo este proceso, se amolda a las necesidades de mayor disponibilidad para las comunicaciones bidireccionales restando ancho de banda en la franja analógica del espectro, por lo que las empresas cable operadoras se han visto en la obligación de migrar de tv analógica a tv digital. Otro punto importante es el hecho de ampliar el espectro desde los 550Mhz originales, a los 1002Mhz actualmente.

Lo anterior se resume cronológicamente, en la siguiente tabla:

Etapa	Retorno	Analógico	Digital	Docsis	Velocidad Promedio
2009 – 2014	5 – 42MHz 2 – 4Ch 16QAM 40 Mbps / Nodo	54 – 550MHz 80 Ch	550 – 700MHz 24 Ch	700 – 750 – 860MHz 8 – 16 Ch: 256 QAM 160 – 320 Mbps / área	Área de servicio= 840 hogares velocidad 10Mbps
2015 – 2018	5 – 65Mhz 4 – 8 Ch 64QAM 40 Mbps / Nodo	88 – 450 MHz 55 Ch	450 – 650 MHz 32 Ch	650 – 860 MHz 16 – 32 Ch: 256 QAM 320 Mbps / área	Área de servicio= 840 hogares velocidad 20Mbps
2019 – ...	5 – 85 MHz 1 ch 72 MHz 500 Mbps	108 – 330 MHz 35 Ch	330 – 650 MHz 45 Ch	600 – 1000 MHz 2 Ch 192 MHz 3,2 Gbps	Área de servicio= 960 hogares velocidad 50Mbps

## 2.2.4 Internet por Cable.

El cable es la tecnología con más potencial de crecimiento tecnológico a corto y mediano plazo, y la más rápida en el presente. El éxito del internet por HFC se basa en aprovechar las grandes ventajas del

cable coaxial en cuanto a la robustez frente a las interferencias externas, si se le compara con otros medios de cobre; y en cuanto al ancho de banda que puede llegar a 900 Mbps comparados con los 100 Mbps del formato ADSL.

La principal desventaja es que este ancho de banda es compartido por todos los usuarios que reciben el servicio en la zona o sector. Depende entonces del proveedor gestionar una eficiente distribución de cargas en los nodos (sectores de distribución de hogares).

Para que la red HFC pueda proporcionar una conexión a Internet estable debe contar con tres factores: a) Los equipos de la cabecera y de cliente, b) una red robusta sobre todo en la fase de coaxial que cuente con al menos un canal de bajada y uno de subida que permitan la bidireccionalidad de la comunicación y c) un diseño de la red que permita tener una cobertura equitativa de clientes en cada sector o nodo.

El Sistema terminal de cable módems: CMTS, es el cerebro de toda la operación. Proporciona los servicios de datos a alta velocidad, internet y voz sobre IP, a los clientes; conecta de un lado los servicios del ISP y servidores con la red HFC de los clientes. El tráfico de los datos recorre toda la red hasta el Cable Modem en el domicilio del cliente, y de igual manera, los datos enviados por el cliente viajan en sentido contrario. El canal de bajada o “*downstream*” transporta los datos encapsulados en tramas MPEG, en forma de flujos de datos por canales de 6 MHz con modulación de amplitud en cuadratura, del inglés “*Quadrature Amplitude Modulation*”. De igual forma el canal de retorno o “*upstream*” tiene un ancho de hasta 3,2 MHz con la misma modulación.



## Modelos de Cable módems

Ilustración 10: Características de equipos cable módems. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2015.

En la dirección del cliente se instala el cable modem, equipo encargado de realizar todo el proceso de comunicación entre la red HFC y el o los computadores. Conectado a la red, el cable modem realiza un proceso de registro que se completa cuando el dispositivo queda en el estado “*online*”. Este proceso puede tomar entre unos segundos y unos pocos minutos; si algo falla durante este proceso el equipo queda sin conexión.

La QAM, es una modulación lineal que consiste en modular en doble banda lateral, dos portadoras de la misma frecuencia desfasadas entre si 90°. Cada portadora es modulada por una de dos señales a transmitir. Finalmente las dos modulaciones se suman y la señal resultante es transmitida. Esta modulación se realiza en amplitud y cuadratura; esto quiere decir, que la señal portadora será modificada en amplitud y fase, atendiendo a la señal moduladora. Provoca que se obtengan muchas combinaciones de amplitud y fase, dando lugar a los diferentes tipos que existen: 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, 128-QAM, 256-QAM, 512-QAM; donde los números indican las posibles combinaciones de amplitud y fase (Ilustración 11).

Trae como ventaja, que al usar distintas combinaciones de amplitud y fase, se permite obtener, para una misma velocidad de modulación, una mayor tasa de bits (velocidad de transmisión). Otra ventaja es la de ofrecer la oportunidad de transmitir dos señales en la misma frecuencia, de forma que favorece el aprovechamiento del ancho de banda disponible. Pero tiene como desventaja el que es necesario realizar la demodulación con demoduladores síncronos.

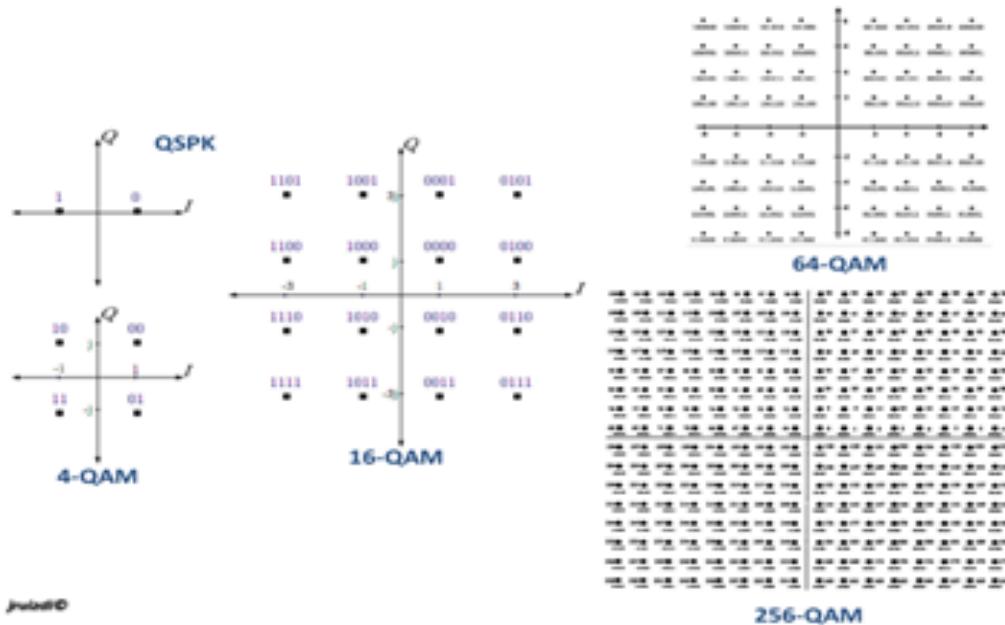


Ilustración 11: Comparación entre modulaciones QAM. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2016.

La inmunidad que tiene la señal modulada en cuanto a las perturbaciones y al ruido de la línea, es mayor cuanto más separados estén los puntos del diagrama de estados. Se trata, pues, de buscar una "constelación" de puntos, en analogía con la astronomía, con unas coordenadas de amplitud y fase que hagan máxima la separación entre ellos.

Para que todo esto sea posible la red HFC ha pasado por una serie de adecuaciones definidas y requeridas por el estándar DOCSIS con el propósito de establecer un servicio de calidad.

La especificación DOCSIS (*Data Over Cable Service Interface Specification*) es un conjunto de estándares aprobado por CableLabs® que garantiza la interoperabilidad de la tecnología empleada en la transmisión de datos a alta velocidad en una red de cable. En la ilustración 11, se muestra su arquitectura.

El proceso de desarrollo comenzó a mediados de la década de los 90; en marzo de 1997 se publicó la primera versión, dos años después se certificó el primer equipo que cumplía con la especificación modificada (versión 1.1) y en diciembre de 2001 se publicó la versión 2.0 que aún se encuentra vigente. Desde entonces, DOCSIS se convirtió en el estándar sobre el cual se desarrolla la mayoría de las innovaciones tecnológicas de la industria de cable.

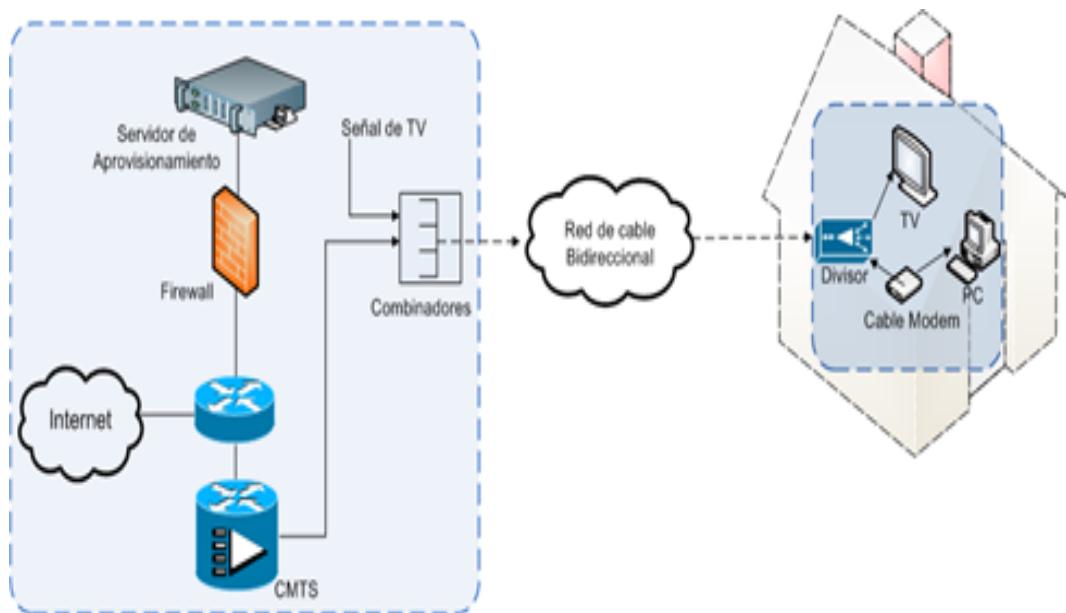


Ilustración 12: Arquitectura DOCSIS. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2014.

Entre las ventajas más notables, se encuentra un significativo incremento en la capacidad del retorno (de 10 Mbps a 30 Mbps) debido al uso de mejor esquemas de modulación, mayor inmunidad al ruido y una mejor corrección de errores, entre otros. La adopción de este estándar también implica que la planta externa de la red de cable deberá cumplir con ciertos requisitos para minimizar el ruido, evitar problemas de interferencia e incorporar monitoreo en la red para su eficaz mantenimiento.

La competencia y el deseo de ofrecer nuevos servicios y mayor velocidad de conexión, han generado la necesidad de contar con mayores tasas de transmisión en las redes DOCSIS. Aunque se utilicen mayores órdenes de modulación a 64-QAM y 256-QAM, 512-QAM por ejemplo, en el enlace descendente, todavía existe un límite, debido a que la máxima tasa de transmisión desde y hacia los cablemódems, está totalmente restringida por el ancho de canal de 6 MHz en el enlace descendente y de 6.4 MHz, en el retorno.

En septiembre de 2005, CableLabs publicó las especificaciones de un CMTS modular (M-CMTS) basado en la tercera versión de DOCSIS, que revolucionó la transmisión de datos en las redes de cable: DOCSIS 3.0. La fortaleza de esta versión radica básicamente en dos importantes innovaciones: la 'unión de canales' *"Channel Bounding"* y el soporte de 'IPv6', el protocolo de Internet de próxima generación.

De nuevo el reto es alcanzar velocidades de conexión muy superiores a las actuales, otra vez CableLabs lanza en octubre de 2013, la nueva versión de las especificaciones en su versión 3.1. Sus

mejoras técnicas permiten a los operadores aumentar significativamente el rendimiento de sus redes de cable en el enlace descendente y ascendente sin tener que realizar costosas modificaciones en la infraestructura de red HFC. DOCSIS 3.1 utiliza partes de la especificación de la capa física del estándar DVB-C2 con OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) y constelaciones muy elevadas (hasta 4096 QAM). Adicionalmente, el ancho de banda del enlace descendente puede ser de hasta 192 MHz, lo que permite alcanzar velocidades de transmisión de hasta 10 Gbit/s. Con lo que se espera resolver en parte el problema de 'cuello de botella de última milla', el cual limita la velocidad de transmisión hacia el usuario final y, por lo tanto, limita los servicios ofrecidos por las empresas de telecomunicaciones. Un resumen de la evolución del DOCSIS, se muestra en la ilustración 13.

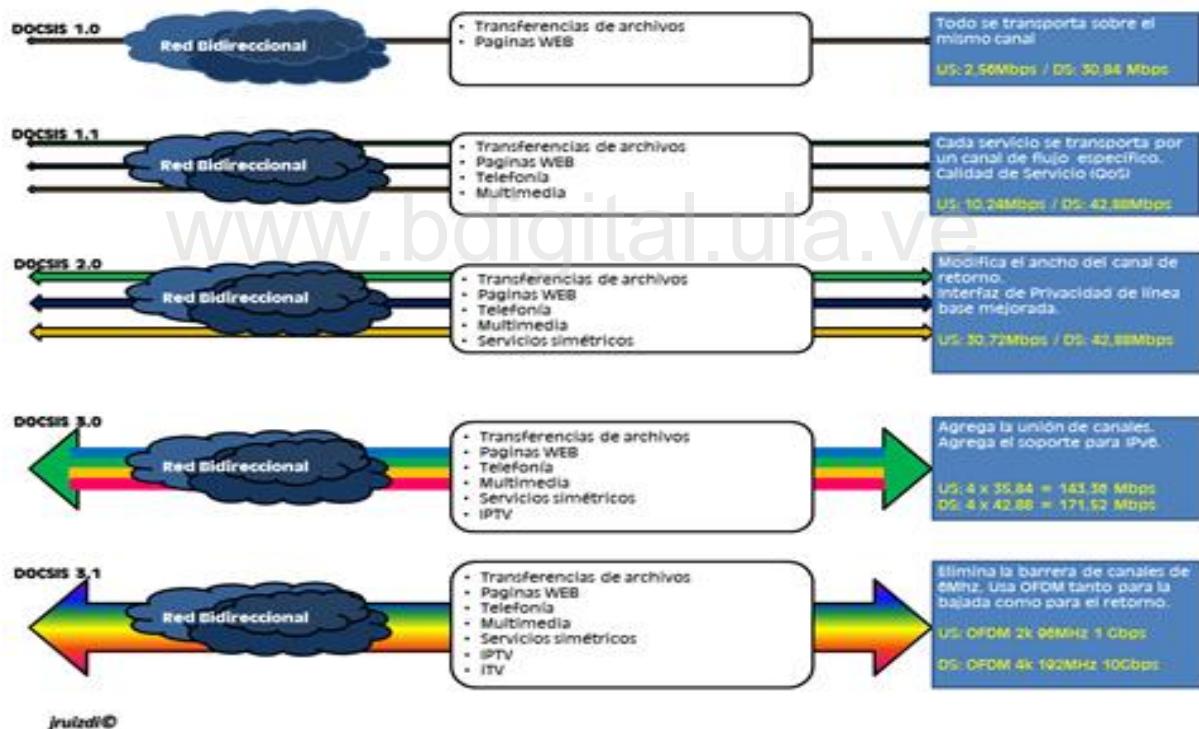


Ilustración 13: Evolución de la especificación DOCSIS. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2017.

En cuanto a los procesos de la red, la necesidad de contar con el servicio de internet obligó a modificar parámetros de diseño y sobre todo de mantenimiento de la red. En cuanto al diseño, los nodos de servicio han disminuido en tamaño de cobertura pasando de 1600 hogares en los noventa a los 800 hogares actualmente, esto con el fin de minimizar los problemas de saturación de los canales de comunicación.

En cuanto a los procesos de mantenimiento, la inclusión de las señales digitales obliga al cable operador a realizar continuamente procedimientos de mantenimiento preventivo, de limpieza de la red (eliminación de conexiones clandestinas) y atender con mayor premura las fallas.

Para que el servicio de internet por cable opere, se requiere de un grupo de servidores que complementan el protocolo de la especificación DOCSIS, los cuales se detallan a continuación:

- Servidor de Aprovisionamiento: es el encargado de darle “vida” a los cable módems conectados a la red; es decir, el administra los bloques de direcciones IP, puertas de enlace y DNS, tanto públicas como privadas, que recibe el cable módem y que permiten la comunicación de acuerdo a los planes ofrecidos por la empresa. También administra los archivos de configuración donde se establecen los anchos de banda de bajada y de subida, y la cantidad de direcciones IP que puede entregar el cable módem. Además, configura si el cable módem tendrá activado el servicio de telefonía.
- El Servidor DHCP: se utiliza durante el aprovisionamiento de los cable módems para asignarles direcciones IP de manera automática; de lo contrario, sería necesario asignar manualmente una dirección IP a cada dispositivo que se diera de alta en la red o que cambiara de ubicación física. El servidor DHCP permite la administración, supervisión y distribución centralizada de las direcciones IP en la red. El servidor asigna dos direcciones IP, una pública que garantiza el acceso a internet y otra privada que se usa exclusivamente para todos los procesos de señalización y control de los cables módems.
- El Servidor DNS: es una base de datos distribuida y jerárquica que almacena información sobre nombres de dominio en Internet. La asignación de nombres a direcciones IP, es su función más conocida, aunque también puede asociar distintos tipos de información a cada nombre.
- El Servidor TFTP: es indispensable para transferir los archivos de configuración y actualización a los dispositivos de acceso por parte del CMTS. Sin esta funcionalidad, no sería posible habilitar, cancelar o actualizar información útil en el cable módem.
- El Servidor Syslog: se utiliza para registrar eventos en la red IP y posibles fallas en el CMTS y los cable módems; sobre todo, los eventos relacionados con temas de seguridad del sistema; cada registro incluye la fecha y hora del evento para generar los respectivos reportes.

## 2.2.5 Telefonía por Cable

Activado el servicio de Internet por cable, la idea de las empresas del ramo era obtener una base de suscriptores mucho mayor y por ende más ganancias. El siguiente paso fue convertir la telefonía IP, de ser una utopía, a una realidad capaz de competir con los grandes prestadores de telefonía de la época. La propuesta empresarial partió de la premisa: *si ya tenemos el servicio de Internet y canales de comunicación en ambos sentidos, ¿qué se necesita para poder transmitir la voz por la red de cable?*

La primera solución implementada fue similar a la tecnología de la telefonía tradicional: Un equipo de telefonía conmutada en la cabecera, encargado de la comunicación y la asignación de líneas, equipos adicionales para la interconexión con la telefonía tradicional y un equipo en casa de cada cliente que se encargaba de convertir las señales digitales en RF, a analógicas y viceversa. Esta solución mostraba aproximadamente la misma eficiencia que la telefonía tradicional pero el costo era demasiado elevado y mantenía las mismas restricciones de su competencia.

En septiembre de 1997, CableLabs comenzó a trabajar en un proyecto denominado PacketCable® en respuesta a las inquietudes que suscitaba la implantación de la telefonía en las redes de cable. El avance de PacketCable® dependía de dos aspectos: a) el desarrollo de la tecnología basada en el Protocolo de Internet y b) de la especificación DOCSIS para la transmisión de datos en las redes de cable.

El proyecto PacketCable® define las especificaciones de las interfaces que se utilizan en el diseño y fabricación de equipos compatibles para ofrecer voz sobre IP, video y otros servicios multimedia que requieren altas tasas de transmisión. Utiliza el protocolo DOCSIS 1.1 como mecanismo de transporte debido a su capacidad para soportar servicios en tiempo real, y además, define diversos elementos como los códec para voz, la señalización, el aprovisionamiento, la administración, la facturación, la seguridad y la interconexión con la Red Telefónica Pública Tradicional (RTPT) para conformar soluciones integrales de voz sobre IP, en las redes de cable.

La arquitectura PacketCable® (Ilustración 13) está diseñada para que fuera una solución estable y completa, que facilitara la comunicación punto a punto y pudiera soportar el servicio a millones de suscriptores en múltiples redes decable; todo ello con buena calidad, confiabilidad y funcionalidades equivalentes a la telefonía tradicional.

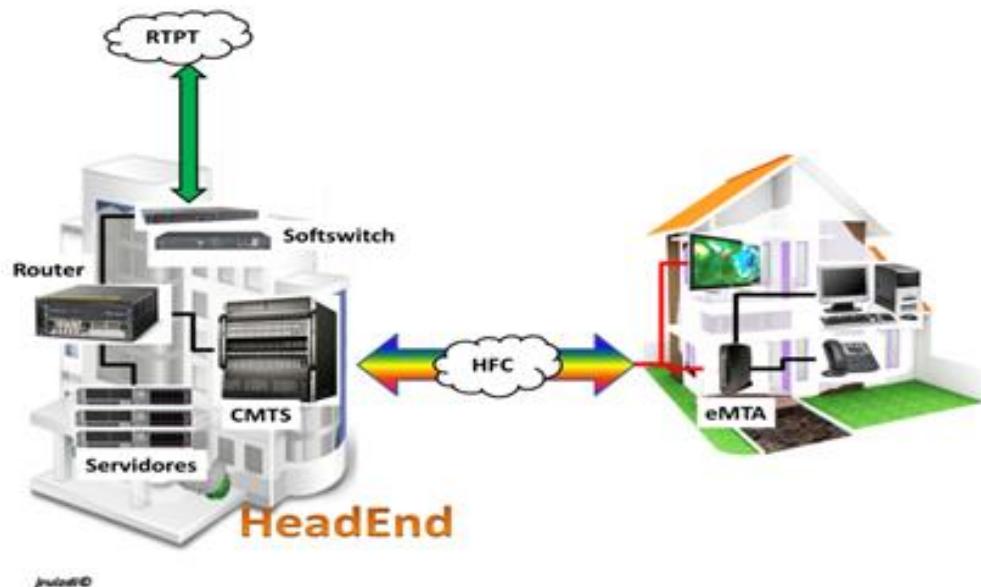


Ilustración 14: Arquitectura Básica de PacketCable®. Fuente: Jesús Ruíz Díaz, 2016.

En la dirección del cliente se instala un cable módem que incluye el Adaptador Terminal Multimedia (MTA, “*Multimedia Terminal Adapter*”), generalmente integrado, por lo cual recibe el nombre de eMTA. El aparato telefónico convencional se conecta al MTA que convierte la señal de voz analógica en paquetes IP, y viceversa. Este recibe una dirección IP independiente de la de internet, que además actúa como interfaz de señalización para controlar otros elementos de la red. El proceso de conexión del eMTA a la red es el mismo que para el cable modem, pasando por los estados de inicialización, registro y configuración hasta quedar en “*online*”. Luego se procede a iniciar la habilitación de la línea telefónica.

Con la finalidad de facilitar los procesos, grandes empresas como Cisco, Motorola, Arris entre otras han optado por incluir dentro del cable módem y del eMTA funcionalidades adicionales como las de un enrutador de hogar, la posibilidad de conexión Wi-Fi; y para el caso de soporte telefónico, algunos agregan una batería al equipo que le permitiría al cliente acceder a las llamadas telefónicas en caso de fallar la energía eléctrica en el sector, siempre y cuando la parte de la red HFC tenga en las fuentes que alimentan los amplificadores, respaldo de generación eléctrica.

La ilustración 15 muestra dos modelos de equipos eMTA y sus características básicas.



Ilustración 15: Características de equipos eMTA. Fuente: Jesús Ruiz Diaz, 2016.

Desde sus inicios PacketCable® ha pasado por cuatro versiones:

1. PacketCable® 1.0: es la primera versión de la especificación que define la arquitectura de referencia y describe las características de la interfaz de acceso del suscriptor y de los principales elementos que la integran. Asimismo, detalla las características de la señalización de la llamada, la calidad de servicio (QoS), los códec, el aprovisionamiento de clientes, la recolección de mensajes de eventos para facturación, la interconexión con la RTPT e interfaces de seguridad necesarias para desarrollar una solución específica en una red de cable y ofrecer servicios de telefonía IP residenciales. Esta arquitectura fue diseñada para realizar funcionalidades equivalentes a las de un conmutador telefónico pero con conexión directa a una red de señalización "s7".
  2. PacketCable® 1.5: profundiza en la especificación de las interfaces de los componentes e incluye el mecanismo necesario para la disponibilidad del servicio en caso de fallas en el suministro eléctrico en la casa del suscriptor, así como el acceso a servicios de emergencia. Incluye nuevas funcionalidades y el uso del protocolo SIP para la administración de sesiones. Define los componentes funcionales e interfaces necesarias para habilitar la comunicación con las redes PacketCable® 1.0 utilizando una red de transporte IP. Se describen extensiones a la

arquitectura de la primera versión para el intercambio de tráfico entre operadores de cable, sin tener que atravesar la RTPT.

3. PacketCable® 2.0: esta versión está basada en el estándar IMS (IP Multimedia Subsystem) de tercera generación que incluye el desarrollo de una arquitectura para comunicaciones basadas en el protocolo SIP. Utiliza muchas de las entidades funcionales básicas de IMS para incorporar estos avances tecnológicos al desarrollo de soluciones para redes de cable y permite la administración de diversos servicios interactivos multimedia en la misma infraestructura de red.
4. PacketCable® Multimedia: es la especificación que garantiza la calidad de servicio vía DOCSIS 1.1 o 2.0 para cualquier aplicación IP, maneja el Protocolo de Iniciación de Sesión (SIP, SessionInitiation Protocol) para servicios de voz, y a diferencia de versiones anteriores, permite la innovación de servicios que no han sido previamente diseñados para esta especificación, sino que con el tiempo pudieran surgir y entonces se podrán adoptar fácilmente a las redes de cable.

Algunas características que distinguen a la telefonía IP a través de PacketCable® en comparación con un servicio tradicional de VoIP, son las siguientes:

- ✚ La telefonía PacketCable® es un servicio punto a punto, entre teléfonos convencionales y no entre computadoras personales o teléfonos digitales.
- ✚ Los servicios PacketCable® tienen prioridad sobre los de DOCSIS para asegurar su calidad y alta disponibilidad en las redes de cable.
- ✚ PacketCable® no transporta la voz sobre Internet sino a través de una red IP administrada, a través de la cual se realiza la transmisión de los paquetes mediante el protocolo DOCSIS.

La arquitectura PacketCable® está compuesta por tres redes integradas que, en conjunto, administran la llamada telefónica desde el origen hasta el destino final. Estas tres redes son:

1. **La red de acceso**: es la red de cable, que utiliza DOCSIS como mecanismo de transporte para dar soporte al servicio multimedia en tiempo real y establece la conexión entre el suscriptor y el operador de cable. Para realizar el acceso, se emplea un dispositivo en el sitio del suscriptor y otro en la cabecera de la red de cable, éste último administra todas las conexiones y establece la comunicación entre la red de acceso y la red IP administrada.
2. **La red IP administrada**: es una red IP de banda ancha mediante la cual se interconectan los servidores especificados por PacketCable® en la cabecera de la red de cable. Se le

denomina redadministrada porque se emplea para interconectar diversas redes IP,redes DOCSIS o dispositivos que se comunican con la RTPT.

3. **La Red Telefónica Pública Tradicional (RTPT):** como su nombrelo indica, es la red que permite la comunicación con usuarios externos ala red de cable, a través de la red IP administrada y opera comomecanismo de transporte del tráfico multimedia.

La solución de Packetable® aprovecha al máximo los recursos existentes, usando los mismos servidores de cabecera que operan sobre el servicio de internet y agregando los siguientes servidores: a) el Servidor de Administración de Llamadas (CMS), el cual se encarga de controlar las llamadas, la comunicación entre el CMTS y eMTA, la señalización y la calidad de las llamadas; b) los servidores de anuncios: contienen los mensajes que se le presentan al suscriptor para informarle sobre el estado de la red o del servicio solicitado. Anuncios como: "el número que marcó se encuentra ocupado" o "el número que marcó está fuera de servicio".

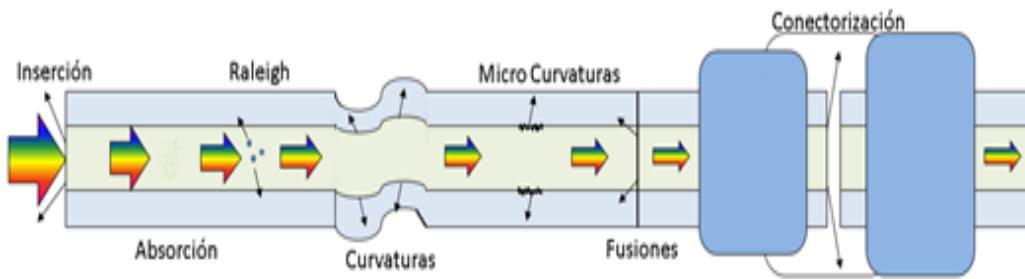
c) Las Puertas de Enlace de Medios, o MGC, encargados de gestionar todas las comunicaciones entre los operadores externos y la red HFC, su función principal es la conversión de la voz sobre IP a una señal apropiada para la RTPT, también es el encargado de la cancelación de eco y de la entrega correcta de las llamadas a las respectivas troncales telefónicas.

d) Finalmente, el Servidor de Almacenamiento de Registros (RKS) que recibe mensajes de eventos del CMS, CMTS y MGC, los ordena en registroscoherentes que posteriormente los hace disponibles para otros servidores por ejemplo: defacturación, de detección de fraudes entre otros.

## 2.3 Las señales no deseadas en HFC

Dentro de la red HFC no todo es tan fácil como se ha planteado; en cada etapa de la red la calidad de las señales y en general el funcionamiento de la red, se ve afectado por una serie de interferencias que son generadas, algunas desde el interior de la red y otras provenientes de agentes externos a ella, como por ejemplo, las condiciones climáticas, daños ocasionados por terceros a la red e incluso por una mala instalación de algún componente de la red.

La atenuación es el resultado que se asocia a muchos de estos eventos; es la disminución de la señal de salida respecto a la señal de entrada, incluso la propia fibra óptica tiene una pérdida durante el transporte de la información, que viene desde su propia fabricación al dopar con iones a los cristales de óxido de Silicio ( $SiO_2$ ). En la ilustración 15 se pueden observar las principales causas de atenuación en la fibra óptica.



## Pérdidas en la F.O.

jruizdi0

Ilustración 16: Causas de Pérdidas en la Fibra Óptica. Fuente: Jesús Ruíz Díaz, 2017.

Al igual que ocurre con la fibra óptica, el cable coaxial también tiene una pérdida de señal por atenuación propia del material con el que está fabricado. Las pérdidas por atenuación en la fibra se miden en kilómetros, mientras que en el cable coaxial se miden por metros, siendo este el principal motivo por el cual se ha ido sustituyendo. Otro punto importante es que, en el cable coaxial la pérdida es diferente entre las frecuencias altas y las bajas; por ejemplo el cable coaxial RG-6 que se usa típicamente en la instalación domiciliaria “tiene pérdidas de 2,00dB por cada cien metros en los 5 MHz y pierde 18dB por cada cien metros a los 750MHz y el cable .750 de uso normal en la red troncal tiene 0,36 dB /100 mts en 6MHz y 4,86 dB /100mts en los 750MHz”<sup>12</sup>.

### 2.3.1 Distorsión. Interferencia y Ruido

La distorsión es la alteración de la señal debida a la respuesta imperfecta del sistema a ella misma. A diferencia del ruido y la interferencia, la distorsión desaparece cuando la señal deja de aplicarse. El diseño de sistemas óptimos o redes de compensación reduce la distorsión. En teoría, es posible lograr una compensación perfecta. En la práctica puede permitirse cierta distorsión, aunque su magnitud debe estar dentro de límites tolerables.

<sup>12</sup> Scientific Atlanta. CATV DATABOOK. 2010

Se define como interferencia, la contaminación por señales extrañas, generalmente artificiales y de formas similares a las de la señal. El problema es particularmente común en emisiones de radio, donde pueden ser captadas dos o más señales simultáneamente por el receptor. La solución al problema de interferencia es obvia: eliminar de una u otra forma, la señal interferente o su fuente. En este caso es posible una solución perfecta, si bien no siempre práctica. Por Ruido se deben entender las señales aleatorias e imprevisibles de tipo eléctrico originadas en forma natural dentro o fuera del sistema. Cuando esas variaciones se agregan a la señal portadora de la información, ésta puede quedar en gran parte oculta o eliminada totalmente. En la práctica, el ruido no puede ser eliminado nunca totalmente, ni aún en teoría. Realmente, el ruido no eliminable es uno de los problemas básicos de la comunicación eléctrica.

Estos efectos se detectan fácilmente en la parte de coaxial de la red, ya que pueden ser generados si no se respetan todos los cálculos del diseño. Por otra parte, el cable coaxial tiene el gran problema de verse seriamente afectado por las interferencias, cuando ha recibido daños en su estructura. Incluso la cascada de amplificadores juega en contra de la calidad de la señal, como se indica en la ilustración 16.

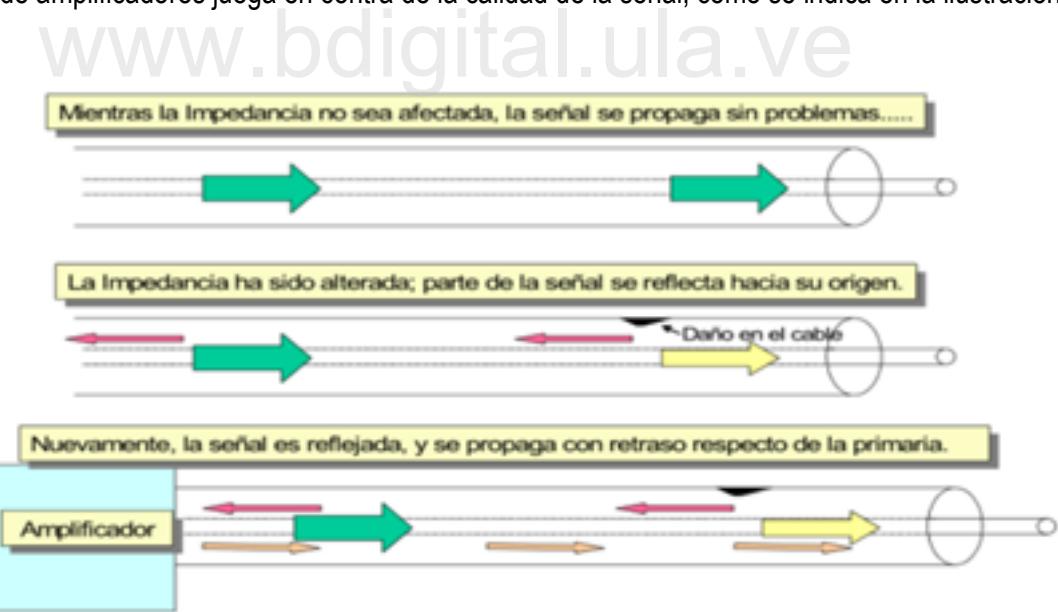


Ilustración 17: Interferencia del cable coaxial. Fuente: Inter, 2014.

Por lo general, para medir la calidad de la red HFC se tiene en cuenta los resultados de las mediciones que se hacen sobre los valores de cinco interferencias comunes que son parte del mismo proceso, combinación y transmisión de múltiples portadoras sobre la red de cable coaxial; todas ellas medidas con referencia al nivel de las portadoras de video: El ruido aleatorio total también llamado

ingresos, la interferencia por composición de segundo orden (CSO), la interferencia por composición de triple batido (CTB), la intermodulación cruzada (XMOD) y la modulación de zumbido o HUM.

### 2.3.2 Relación Ruido vs Portadora y Ruido vs Señal

Dentro de la red HFC, el ruido es tratado como parte de la señal original por todos los amplificadores de red. De por si el amplificador no solo incrementa la señal, sino que con ella incrementa el ruido que ella trae. Es por eso que la medición del ruido en la red, es el primer parámetro que indica la calidad de la misma.

Generalmente se usa el CNR y la SNR como si fuesen el mismo indicador, sin embargo no representan la misma información (Ilustración 18). El CNR es una medición sobre la base de radio frecuencia que representa la diferencia en decibeles, entre la amplitud de la portadora de vídeo de un canal de TV y la amplitud rms de la figura de ruido, en el mismo ancho de banda. La relación señal a ruido incluye otros elementos como el ruido que lleva la propia información.

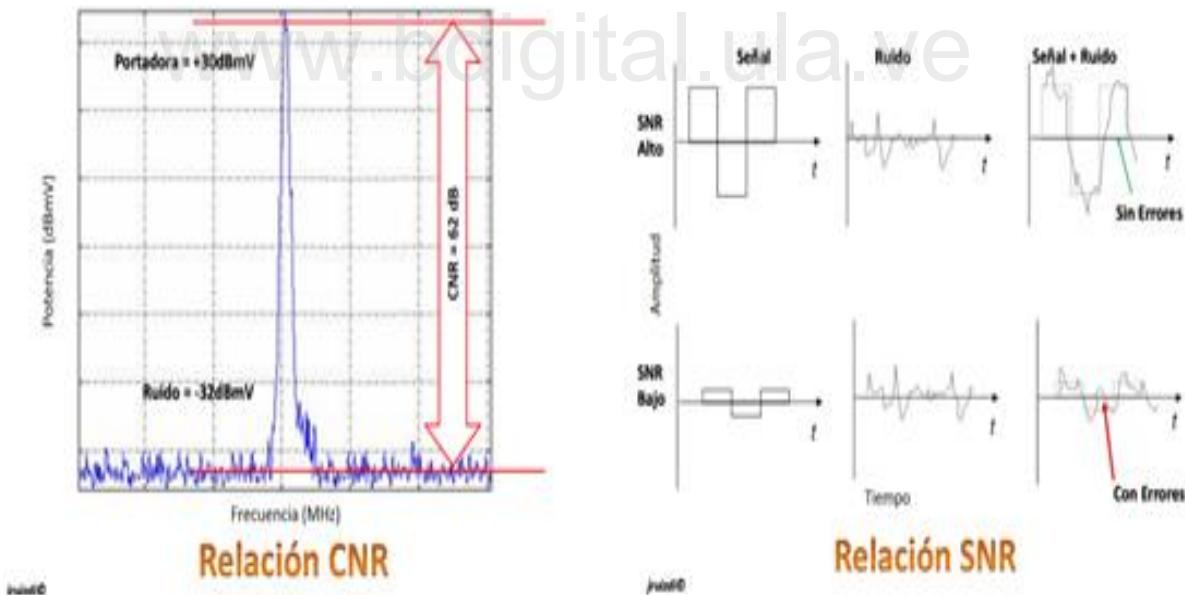


Ilustración 18: Relación CNR y SNR. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2011.

El CNR es una medición pre-detección que busca determinar el comportamiento de la red con respecto a la portadora de la señal. El SNR por el contrario es una medición post-detección para

señales en banda base; incluye el ruido original de la señal y todo lo que coleccione en el recorrido, desde la cabecera hasta el receptor del cliente.

En general, el ruido puede venir de muchas fuentes diferentes, de ellas se destacan dos. La primera, el ruido atmosférico también llamado estática, producto de las perturbaciones eléctricas como relámpagos, tormentas, etc. La segunda, el ruido producido por el hombre, es decir, por equipos de uso cotidiano como motores, antenas de radio, generadores, conmutadores, el cual puede ingresar a la red ya sea a través de la alimentación eléctrica de los amplificadores o como ondas de RF, ya que el coaxial averiado se comporta como una antena de captación. En HFC se considera ruido a la interferencia en la señal producto de las conexiones clandestinas, la instalación inapropiada de equipos e incluso errores en el ajuste de los parámetros de ganancia, de los amplificadores.

### 2.3.3 Batido Compuesto de Segundo Orden (CSO).

Es una distorsión que aparece como resultado de las no linealidades del proceso de amplificación de diferentes señales. El proceso de combinación a nivel de la cabecera y la cascada de amplificadores, generan la degradación de la señal ocasionada por la aparición de subportadoras, creadas a partir de los armónicos de la portadora inicial, así como la aparición de portadoras fantasma, creadas por la relación de adición o sustracción de las portadoras reales.

Esto supone que siendo  $f_1$  y  $f_2$  las frecuencias de las portadoras iniciales, se crea un primer grupo de portadoras de distorsión en  $2f_1$  y  $2f_2$ ; un segundo grupo en  $3f_1$  y  $3f_2$  llamadas armónicas y adicionales fantasma en  $f_1 \pm f_2$ .

Esta distorsión se muestra sobre la imagen como líneas diagonales debido a que, el pulso producido cae dentro del área de modulación de la portadora de video.

Un fenómeno que se puede presentar, es la ubicación de varios batidos dentro de la banda de un canal, lo que provoca una mayor degradación de la señal. También, se debe tomar en cuenta que, entre mayor sea la cantidad de canales, mayor será la cantidad de batidos posibles, por lo tanto, de acuerdo con el número de canales, existirá la posibilidad de que un canal sea el más afectado por el CSO.

Cuando se muestra un nivel muy elevado a la salida de los amplificadores mayor es la posibilidad de batidos y a causa de ello se presenta una variación en el CSO.

*Por ejemplo:*

$CH6 + CH17 = 83.25MHz + 139.25MHz = 22.5MHz$  (a  $-0.75MHz$  de CH24)

Para el CSO existe una regla la cual dice que el batido de un solo amplificador mejora 1 dB con cada decremento de 1 dB en el nivel de salida. Cada vez que se duplica la cantidad de amplificadores en cascada, se produce una degradación de aproximadamente 4 dB en la relación portadora / CSO.

La solución a este problema está en realizar un buen diseño de la red en el cual los niveles de CSO estén en los valores recomendados por los distintos estándares.

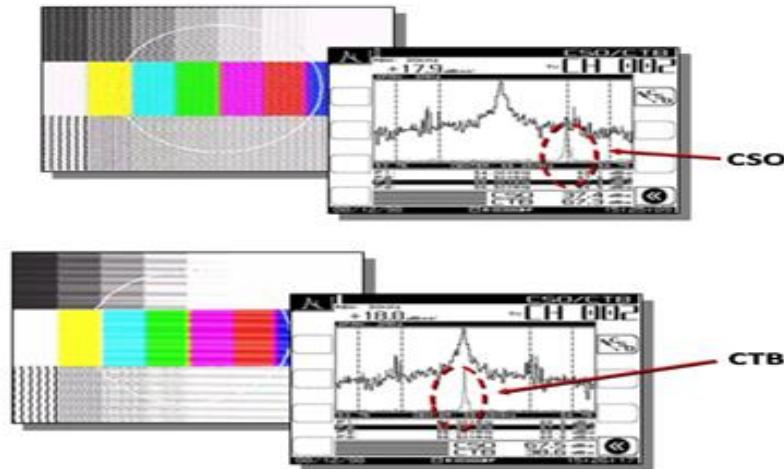
#### 2.3.4 Batido Compuesto de Tercer Orden (CTB).

La distorsión producida por el batido de tercer orden, es la degradación de la señal producida por la intermodulación no deseada de tres portadoras o una armónica y una portadora que, a diferencia del CSO, cae directamente sobre la portadora de video. Al igual que el CSO, ésta se produce por las no linealidades de los equipos amplificadores cuando trabajan al máximo de amplificación.

Si las frecuencias de las tres señales portadoras se representaran como  $f_1$ ,  $f_2$  y  $f_3$  y su segundo armónico se representara como  $2f_1$ ,  $2f_2$  y  $2f_3$ , respectivamente se tendrían muchas posibles combinaciones de batidos diferentes que afectan al sistema, estas combinaciones son:  $\pm f_1 \pm f_2 \pm f_3$ ,  $\pm 2f_1 \pm f_2$ ,  $\pm 2f_1 \pm f_3$ ,  $\pm 2f_2 \pm f_1$ ,  $\pm 2f_2 \pm f_3$ ,  $\pm 2f_3 \pm f_1$ ,  $\pm 2f_3 \pm f_2$ .

*Por ejemplo:*

Por ejemplo:  $CH2+CH7-CH4=55,25+175,25-67,25=163,25$  (Coincide con CH21)



### Efectos del CSO y el CTB

Ilustración 19: Efectos CSO y CTB sobre la imagen. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2012.

Al igual que para el CSO, para el CTB también existe una regla la cual dice que el batido de un solo amplificador mejora 2 dB con cada decremento de 1 dB en el nivel de salida. El CTB empeora 6 dB cada vez que se duplica el número de amplificadores con idéntica modulación cruzada.

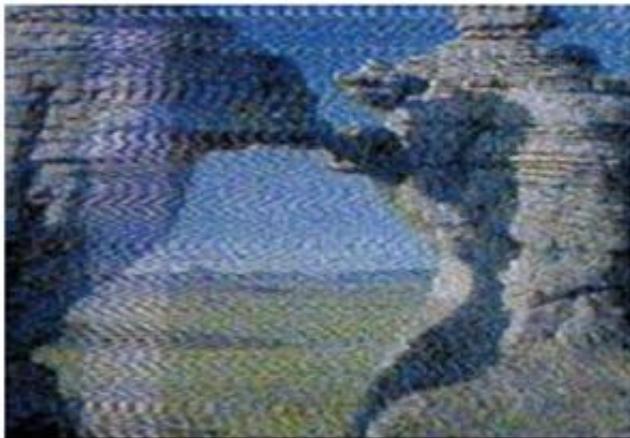
Como solución a este problema, al igual que el CSO, está en realizar un buen diseño de la red tomando en cuenta los valores recomendados.

#### 2.3.5 Modulación Cruzada (XMOD).

La modulación cruzada es un tipo de distorsión parecida al CSO y CTB que se origina en grandes cascadas de amplificadores. Se produce debido a las no linealidades en el amplificador, que causan que una etapa de amplificación saturada funcione como una etapa de combinación. El resultado es la modulación no deseada de cualquier portadora de video, por razόn de las señales portadas en otros canales del sistema.

Algunos de los efectos visibles en la pantalla del receptor son barras estacionarias o que se desplazan a través de la imagen, o una superposición de la señal de canal interferente sobre la del canal seleccionado. Gracias a esto se degrada la calidad de la señal recibida (Ilustración 20).

La regla dice que el nivel de modulación cruzada de un solo amplificador, mejora 2 dB con cada decremento de 1 dB en el nivel de salida y que empeora 6 dB, cada vez que se duplica el número de amplificadores con idéntica modulación cruzada.



**Distorsión producida por XMOD**

juazulito

Ilustración 20: Efecto producto de la XMOD. Fuente: INTER, 2012

### 2.3.6 Modulación de zumbido (HUM).

La modulación de zumbido o HUM puede definirse como la distorsión resultante de la modulación no deseada de una portadora de video con la interferencia de una fuente eléctrica. En particular, es ocasionada por problemas de filtrado de las fuentes de alimentación de los amplificadores.

En el dominio de la frecuencia, junto a la portadora útil, aparecen dos señales indeseadas de zumbido, que están separadas a 50 Hz o 60 Hz (dependiendo de la frecuencia de la línea de alimentación) o también, aparecen sus armónicos de manera simétrica. Estas señales son fáciles de identificar.

La modulación de zumbido es expresada en porcentaje de modulación de portadora. Ésta se mide como la profundidad porcentual de modulación de una portadora de video, mediante un osciloscopio y luego se convierte a decibeles.

Una forma de identificarla es mediante bandas horizontales que se desplazan verticalmente o como un zumbido en la señal de audio (Ilustración 21).

Aunque esta distorsión se presente principalmente por problemas de filtrado de las fuentes de alimentación de los amplificadores, no es la única causa. Por esta razón, a la hora de realizar sus cálculos, deben tomarse en cuenta los elementos que contengan una relación de portadora a zumbido (C/H), además de considerar los amplificadores.



## Efecto del HUM

*jruizdiaz*©

Ilustración 21: Distorsión producida por el HUM. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2012

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

C.C. Reconocimiento

## Capítulo 3. La plataforma WEB.

---

El proceso de diseño de la plataforma conllevaba la recolección y clasificación de material ligado a las redes HFC de forma tal, que pueda estructurarse en una biblioteca de consulta.

Esta pequeña biblioteca está presentada por manuales de instalación y operación de equipos de la red HFC, y las hojas de especificaciones técnicas o “datasheet”.

La versión 1.0 de la plataforma usa para el diseño de la ambientación varios programas de edición de software de HTML5 y CSS3, en general todos ellos de licencia GNU GPL, aunque también se requirió software comercial, por ejemplo el Adobe© Dreamweaver<sup>13</sup>. La plataforma en general tiene estructura sencilla de árbol de páginas con código HTML y PHP, con un acceso diseñado para la nueva internet en HTML5 y CSS3. Detrás de la presentación se tiene el manejo mediante PHP y MySQL. Para la edición de las páginas web se trabajó principalmente con BlueFish<sup>14</sup> y con Adobe Dreamweaver;

Para probar la plataforma se instaló un servidor de pruebas sobre la distribución de Linux© Fedora v23, que cuenta con un spin llamado Fedora Server<sup>15</sup>.

El proceso de instalación del servidor está bien documentado en la web de Fedora, lo que facilita la puesta en marcha de la plataforma. Es importante resaltar que, completada la instalación, se debe actualizar al menos los paquetes que componen el servidor, en este caso Apache®, PHP y MySql®. Para ello se ejecutan los siguientes comandos:

<b>su ↴</b>	colocar la clave del usuario root
<b>dnf update httpd ↴</b>	actualizar el servidor de apache, el sistema responde que deben ser actualizados/installados algunos paquetes.
<b>systemctl enable httpd.service.↳</b>	habilitar el servicio para la ejecución.
<b>systemctl start httpd.↳</b>	iniciar el servicio del apache
<b>systemctl status httpd.↳</b>	verificar que el servicio se ejecuta correctamente.
<b>firewall-cmd --permanent --add-service=http.↳</b>	
<b>firewall-cmd --permanent --add-service=https.↳</b>	
<b>systemctl reload firewalld.↳</b>	estos últimos commandos modifican el firewall para permitir tráfico.

<sup>13</sup><http://www.adobe.com/la/products/dreamweaver.html>

<sup>14</sup><http://bluefish.openoffice.nl/index.html>

<sup>15</sup><https://getfedora.org/>

Actualizado el servidor httpd y en ejecución, con los permisos ya autorizados, se pasa a la configuración de MariaDB, la versión GNU de MySQL desde que fue adquirida por Oracle:

<code>dnf update mariadb-server ↵</code>	actualizar el servidor MariaDb, el sistema responde que deben ser actualizados/installados algunos paquetes.
<code>systemctl enable mariadb ↵</code>	habilitar el servicio para la ejecución.
<code>systemctl start mariadb ↵</code>	iniciar el servicio del apache
<code>systemctl status mariadb ↵</code>	verificar que el servicio se ejecuta correctamente.
<code>Mysql_secure_installation ↵</code>	este comando completa la instalación del servidor. Se recomienda colocar una contraseña al usuario root, eliminar las bases de datos de prueba, bloquear el acceso root desde internet.

Por último se procede a la actualización del paquete PHP, de la siguiente forma:

<code>dnf update php php-common ↵</code>	actualizar el paquete PHP, el sistema responde que deben ser actualizados/installados algunos paquetes adicionales.
<code>dnf install php-mysql php-pdo ↵</code>	instalación de módulos requeridos.
<code>dnf install php-gd php-mbstring ↵</code>	
<code>systemctl restart httpd ↵</code>	activar los módulos de php recientemente instalados.

Para verificar que todo esté bien se puede usar la dirección IP del equipo como dirección en el navegador y se ve la página web de bienvenida de apache.

El proceso de instalación del servidor web se ejecuta mediante el protocolo FTP, para garantizar la correcta ubicación de los archivos.

La versión 2.0 de la plataforma incluye una adaptación de visualización para equipos móviles, la cual es gestionada mediante la cabecera de la conexión que se realiza desde el equipo cliente. Esta cabecera identifica el sistema operativo del solicitante, lo que permite identificar el tipo de dispositivo, y se redirige directamente al directorio que contiene la visualización correcta según el dispositivo identificado.



Ilustración 22. Página de inicio según el dispositivo de acceso. Jesús Ruiz Díaz (2017)

El proceso de organización del material se hizo para cumplir con un proceso de formación mediante una secuencia de evolución, dentro del medio de las redes HFC. Adicionalmente la plataforma presenta un resumen de la información básica de los procesos de Fibra y Coaxial, que no requiere suscripción.

El proceso de formación que se plantea, consta de etapas jerárquicas: 4 en la red HFC y 2 adicionales para el trabajo específico en redes de fibra óptica, con miras hacia las nuevas tecnologías.

El Sitio web está diseñado para facilitar la navegación y el acceso a los contenidos, mediante el acceso a través del menú en la parte superior de la página, o en la parte lateral si se está realizando la visita desde un equipo móvil, como se observa en las imágenes a continuación.

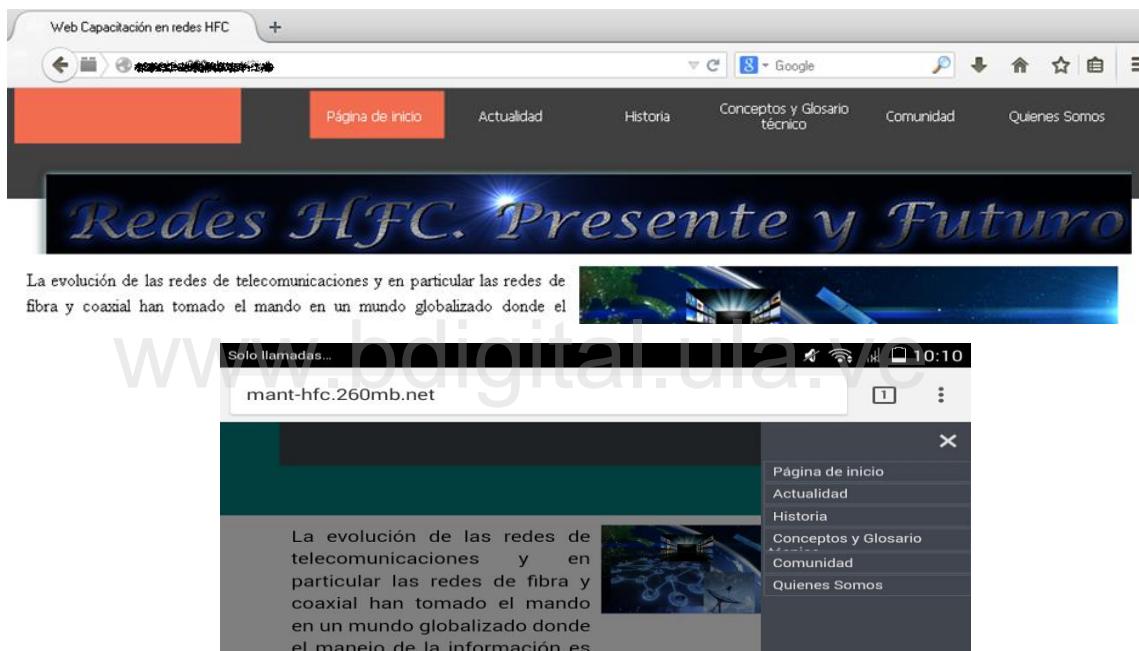


Ilustración 23: Menú Principal. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2017

Las opciones permiten que el usuario acceda a información específica:

**Actualidad:** información de eventos como charlas, convenciones, exposiciones, etc., relacionados con las redes H.F.C.

**Historia:** Un repaso de cómo se originaron las redes hibridas entre Fibra Óptica y Cable Coaxial.

**Conceptos y Glosario:** un pequeño diccionario técnico para facilitar la comprensión de los términos más usados dentro del área.

**Comunidad:** acceso al proceso de formación en el área de las redes HFC.

**Quienes Somos:** la presentación del diseño del sitio, visión, agradecimientos, colaboradores.

El mapa completo del sitio se muestra a continuación.

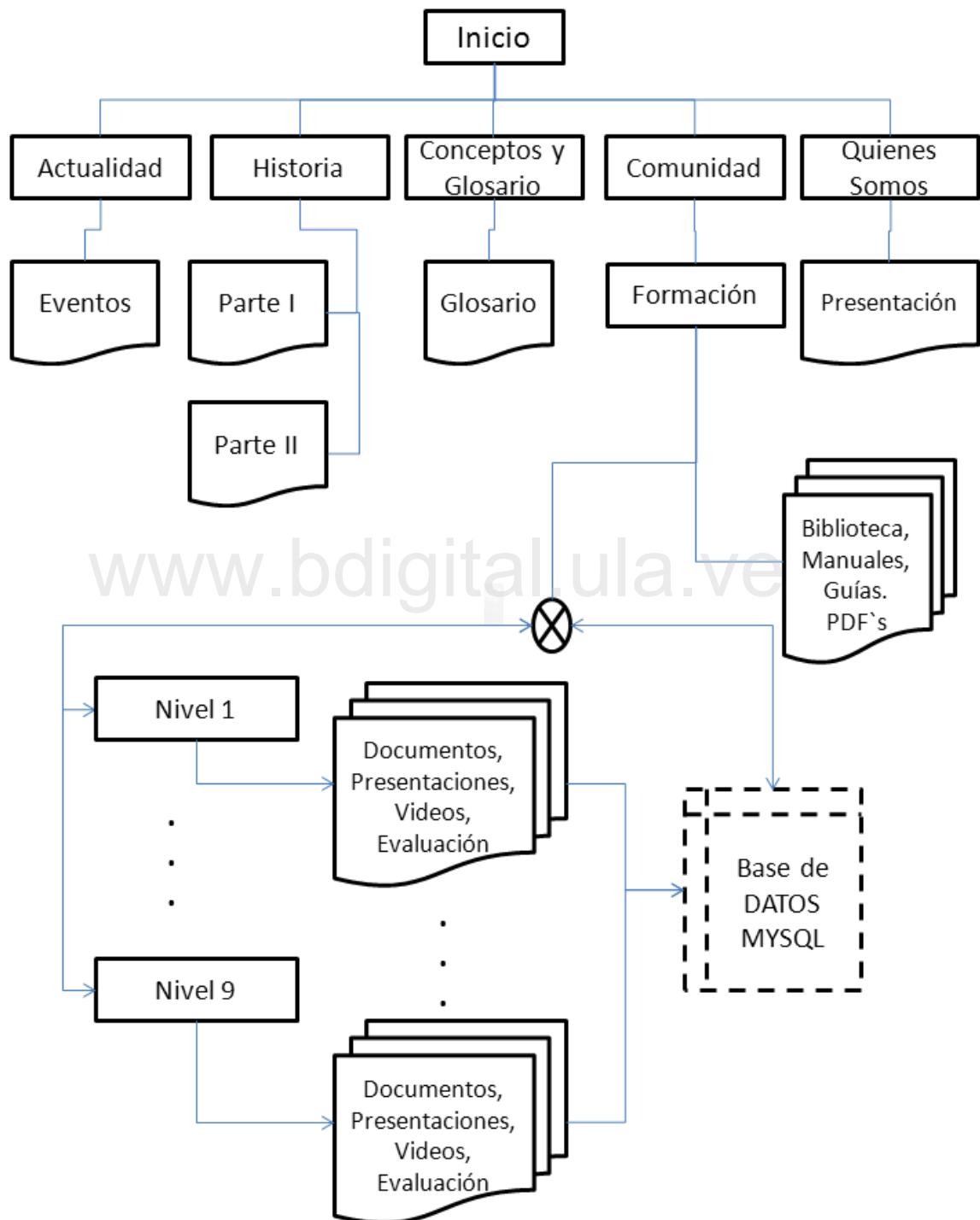


Ilustración 24: Mapa del Sitio Web. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2017

En la imagen 26 se muestra el acceso a los diferentes niveles de formación desde el sitio web.



Ilustración 25: Programa de Formación. Fuente: Jesús Ruiz Diaz, 2017

Las etapas propuestas para el proceso de aprendizaje y entrenamiento para los técnicos son:

1.- Conceptos básicos de HFC: incluye temas de conceptos de la red HFC, operación, equipos, además de una sección de conocimientos matemáticos que se usan normalmente, en el día a día del trabajo en HFC.

2.- Servicios Domiciliarios: temas relacionados con la instalación en el domicilio del cliente. Equipos y Herramientas, Configuración del Pc, Cable módem y eMTA. Fallas comunes del servicio.

3.- Mantenimiento de Redes: contiene temas relacionados con la instalación y mantenimiento de las redes de distribución y/o troncales. Funcionamiento de Amplificadores y Fuentes. Fallas comunes sobre la red HFC. Equipos de Medición. Balanceo de la red.

4.- Servicios de HeadEnd: con temas relacionados con la modulación y demodulación de señales satelitales, instalación de equipos de cabecera, mediciones de la calidad de red, monitoreo de servicios de internet y telefonía. Equipos de Medición. Balanceo de la red.

5.- Instalación de Fibra Óptica: incluye temas relacionados con el proceso de instalación en exteriores, de cables de fibra óptica. Conceptos de fibra óptica. Uso de Herramientas.

6.- Mantenimiento de Fibra Óptica: incluye temas relacionados con el proceso de verificación de fallas de fibra óptica. Uso de Equipos de Medición. Conceptos de fibra óptica. Uso de Herramientas. Uso de la fusionadora, Proceso de enrutamiento de fibra óptica.



Ilustración 26: Pantalla del programa de formación. Fuente: Jesús Ruiz Díaz, 2017

El grupo de temas preseleccionados quedan distribuidos dentro del portal clasificados por áreas laborales y presentados en forma de cuadernos de estudio, que le permitirán al lector acceder a las ideas de forma organizada. Al final de cada curso se tiene el acceso al cuestionario de validación de los conceptos tratados.

La propuesta implementada se basa en las competencias mínimas necesarias que requiere el personal de opera en una red HFC para lograr mantener todo el proceso en buenas condiciones de operatividad y de calidad del servicio. La revisión de los procedimientos implementados por varias de las empresas del sector en varias ciudades del País establecen que su personal técnico está dividido en tres grandes grupos Instalaciones, Mantenimiento, y Cabecera. Basado en la experiencia del sector se estructura el proceso de inducción según se muestra en la tabla siguiente:

Nivel	Cargo	Material	Competencias
1	Técnico de Servicios Domiciliarios 1	Conocimientos básicos de HFC. Red Domiciliaria. Instalación de cableado domiciliario. Instalación y configuración de equipos para televisión digital, internet y telefonía.	Instalación de cableado interno. Instalación de decodificadores. Instalación de Cable Modems Instalación de eMTA's
	Técnico de Servicios Domiciliarios 2	Señales en la red HFC. Fallas típicas del servicio de TV analógica. Fallas típicas del servicio de TV digital.	Detección y Corrección de fallas en la señal analógica y/o digital de Televisión. Uso de equipos de medición.
	Técnico de Servicios Domiciliarios 3	Señales de datos en la red HFC. Protocolo DOCSIS. Fallas típicas del servicio de Internet. Fallas típicas del Servicio de Telefonía.	Detección y Corrección de fallas en la señal de Internet y/o telefonía. Medición de portadoras digitales
2	Técnico Mantenimiento de Redes 1	Red HFC nivel 2. Cálculos de redes HFC. Instalación de cables Troncales. Instalación de Fuentes. Instalación de Amplificadores.	Instalación de Cableado Rígido. Instalación de Equipos activos de red. Uso de equipos de Medición.
	Técnico Mantenimiento de Redes 2	Identificación y corrección de fallas en troncales. Calibración de Equipos. Equalización de la red troncal. Balanceo de Fuentes eléctricas.	Mediciones de calidad de la red. Mediciones en el canal de bajada. Mediciones en el canal de retorno.
	Técnico Mantenimiento 3	Fundamentos de Fibra óptica. Instalación de fibra óptica. Calibración de Estaciones Ópticas.	Manejo e instalación de fibra óptica. Instalación y balanceo de estaciones ópticas.

			Mediciones ópticas.
3	Técnico de Cabecera 1	Fundamentos de Fibra óptica II. Redes HFC III. Instalación de Equipos ópticos de cabecera. Mediciones ópticas. OTDR y VFL. Reparación de Fibra óptica	Manejo de equipos OTDR y Fusionadora.
	Técnico de Cabecera 2	Sistemas de recepción satelital. Antenas. Configuración de Receptores y moduladores para CATV. Sistemas de Codificación de señales.	Alineación de antenas satelitales. Configuración de equipos de cabecera para TV. Mantenimiento de señales de la parrilla de canales
	Técnico de Cabecera 3	Instalación y Configuración de Equipos de cabecera de datos. Monitoreo de los Servidores de Cabecera. Monitoreo de la calidad de la red y las señales.	Configuración de equipos para internet (CMTS, OLT). Configuración de equipos para telefonía (Softswitch). Configuración de equipos de red (Router y Switch)

Para iniciar el proceso de formación mediante la plataforma, el usuario debe inscribirse en la misma. Este proceso de inscripción permite al administrador de la plataforma llevar un registro del avance de cada usuario activo, la cantidad de intentos en cada cuestionario y el registro de respuestas. Todo esto queda almacenado en las bases de datos del sistema.

La base de datos está construida sobre MySQL, en ella se tienen un total de cuatro tablas las cuales almacenan:

**Usuarios:** Los datos de cada usuario inscrito: Nombres, Apellidos, Cédula, Empresa, Cargo, Dirección de Correo, Clave de Ingreso.

**Cursos:** en esta tabla quedan almacenados los documentos y los cuestionarios que cada usuario debe completar durante cada proceso.

**Avance:** en esta tabla se almacena el identificador del usuario, el identificador del curso y los resultados obtenidos durante el progreso.

**Cuestionarios:** en esta tabla están almacenadas las preguntas y sus respectivas respuestas correctas, el identificador del cuestionario, que son mostradas como proceso de evaluación.

El proceso de verificación del acceso se realiza mediante el módulo de php “mod-auth-dbd” actualmente incluido en la versión 2,4 de apache. Para ello activamos un directorio virtual donde están los documentos protegidos.

```
<Directory /var/www/sitio-protegido>
  AuthName "Ingreso con clave"
  AuthType Basic
  AuthBasicProvider dbd
  AuthDBDUserPWQuery "SELECT encrypt(contrasena) AS password FROM
contrasenas WHERE nombreusuario = %s"
  Require valid-user
</Directory>
```

www.bdigital.ula.ve

C.C. Reconocimiento

## Resultados

---

El nivel de aceptación que ha tenido el presente proyecto ha sido altamente satisfactorio desde el punto de vista de implementación en algunas de las empresas en las que se hizo una demostración de la plataforma.

A lo largo del desarrollo, el enfoque sufrió un leve giro para adaptarlo más al proceso práctico, en lugar de la conceptualización teórica.

En la empresa Inter por ejemplo, gracias al apoyo de la gerencia técnica se intentó poner en marcha el proceso de capacitaciones, que fue después suspendido por cambios en la gerencia y en sus lineamientos, como consecuencia de las actuales condiciones económicas del país, que obligan a dirigir todos los planes de inversión hacia la publicidad y, la adquisición y mantenimiento de equipos y materiales.

El material recolectado como producto de este trabajo puede en principio, ser usado como punto de partida para un programa de capacitación en algunos departamentos de la facultad de Ingeniería.

El nuevo material creado por este proyecto es un reflejo del cumplimiento de los objetivos planteados.

Respondiendo a las recomendaciones recibidas por varias empresas cable operadoras, en este momento se trabaja para migrar la plataforma al formato moodle<sup>16</sup>, como plataforma de punta en la educación por internet.

En este sentido se trabaja en generar y reconvertir los documentos actuales al formato del estándar SCORM<sup>17</sup> con programas como Adobe© Captivate<sup>18</sup> para la creación de contenido del tipo e-learning.

También se tiene en plan de trabajo establecer el acceso según la plataforma de Webinars con videos educativos de conferencias en línea. Se está estudiando si la plataforma Kaltura<sup>19</sup> pudiese servir al propósito.

---

<sup>16</sup><https://moodle.org/?lang=es>

<sup>17</sup><http://scorm.com/scorm-explained/>

<sup>18</sup><http://www.adobe.com/es/products/captivate.html>

<sup>19</sup><http://www.kaltura.org/>

## **Conclusiones**

---

Un gran logro de este proyecto fue el diseño de material audiovisual que permite capacitar al personal técnico que opera en redes HFC. Los contenidos abarcados por este material fueron seleccionados con mucho cuidado tratando de que las explicaciones asociadas fuesen claras, extendiendo aún más el alcance del proyecto ya que, próximamente estará publicado por internet.

Las nuevas herramientas de diseño de e-learnig complicaron un tanto el diseño original del curso puesto que, su implementación ha obligado a recodificar parte del material para que pudiese ser usado en las nuevas versiones.

La plataforma está abierta a cualquier adaptación particular de acuerdo a objetivos propios de alguna empresa. De igual modo, como cualquier plataforma web, su actualización y la del material incluido pueden ser realizadas con muy poco esfuerzo, esto si son diseñados sobre los nuevos estándares de la educación virtual.

Se considera cumplido el objetivo de este proyecto, al ver en funcionamiento una plataforma que puede ser usada como punto de partida para estructurar un proceso de educación formal a nivel técnico o técnico superior en el área de las redes HFC.

## Recomendaciones

---

A manera de recomendación se plantea como parte de futuros trabajos, la implementación de un laboratorio de prácticas en el cual, el personal nuevo y el que actualmente labora, puedan afianzar conocimientos teóricos con actividades netamente prácticas. La propuesta de este laboratorio es montar una mini red para atender las circunstancias más comunes del quehacer diario, en estos trabajos.

En cuanto a la operación de la plataforma, el acceso ha quedado restringido al procesamiento de inscripción por parte de la persona encargada de administrarla, que pudiese ser quien actúa como capacitador, entrenador o formador y/o el personal de Recursos Humanos, designado para tal fin.

El éxito de los procesos de conferencias a distancias, puede dar un alcance globalizado dentro de la organización puesto que, se pueden coordinar a distancia, charlas y actualizaciones que van a pasar a formar parte del material propio de ésta plataforma.

Como parte de futuros trabajos, se propone la elaboración y desarrollo de un pensum para un programa de extensión, que permita ir formalizando la capacitación en el estudio de las redes HFC y la ampliación de conocimientos en el área.

Actualmente se trabaja en la versión 3.0 de la plataforma, para atender solicitudes de varias empresas del sector, entre las que destacan:

- La suscripción a la plataforma debe ser controlada por el administrador para evitar que personas no autorizadas puedan ingresar a la misma. De igual forma se evita que una persona acceda a algún curso sin que haya completado un proceso previo.
- Migrar a un sistema más estable que Fedora, como por ejemplo Debian<sup>20</sup> o Centos<sup>21</sup>.
- La inclusión de un mayor número de documentos a la biblioteca.

---

<sup>20</sup><https://www.debian.org/index.es.html>

<sup>21</sup><https://www.centos.org/>

## Bibliografía

---

- AMERICAS COUNCIL. (2016). *Fiber to the Home (FTTH)* . Obtenido de <http://www.ftthcouncil.org/>
- Andrade Lopez, M. S. (2009). *Diseño del modelo de medición de los parámetros de la calidad del servicio de telefonía IP de la red HFC*. (F. d. Electrónica, Ed.) Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Apache Software Foundation. (20 de 12 de 2016). *Apache*. Obtenido de HTTP Server Project: <https://httpd.apache.org/>
- Apache Software Fundation. (2016). *OpenMeetings*. Obtenido de Open-source Web-conferencing: <https://openmeetings.apache.org/>
- ARRIS. (2016). *ARRIS Invent the future*. Retrieved from <http://www.arris.com/>
- ARRIS Enterprise. (2014). *Cable Technician: Pocket Guide*. Arris Enterprise Inc.
- Avila L., J. A. (2007). *Extensión de la Plataforma de red de fibra óptica para la incorporación de servicios informáticos de la empresa MULTITEL*. (F. d. Ingeniería, Ed.) Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes.
- Cable Europe Labs. (2009). *Cable Network HandBook*. Bruselas: Cable Europe Labs.
- Cable Labs. (2016, 7). *Cable Labs*. Retrieved from Cable Broadband Technology: Gigabit Evolution : <http://www.cablelabs.com/cable-broadband-technology-gigabit-evolution/>
- CABLE LABS. (2016). *CableLabs DOCSIS*. Retrieved from <http://www.cablelabs.com/specifications-library/docsis/>
- CABLE LABS. (2016). *PACKETCABLE*. Retrieved from <http://www.cablelabs.com/specifications-library/packetcable/>
- CABLE LABS. (2017). *Cable Labs Full Duplex DOCSIS 3.1*. Retrieved 2016, from <http://www.cablelabs.com/full-duplex-docsis/>
- CISCO. (2005). *Cisco Broadband Access Center for Cable*. California: Cisco System Inc.
- CISCO. (2007). *Libro de Datos de Banda Ancha*. Lawrenceville: Transmision Network System.
- CISCO. (2016). *Cisco*. Retrieved from <http://www.cisco.com/>
- CORNING. (2016). *This is the glass age*. Obtenido de <http://www.corning.com/worldwide/en.html>
- DOCSIS. (2016). *DOCSIS resource information for cable operators*. Retrieved from [docs.dcsis.org](http://docs.dcsis.org)
- Fedora Documentation Project. (2016). *Fedora Documentation*. Retrieved from Fedora 24 Installation Guide: [https://docs.fedoraproject.org/en-US/Fedora/24/html/Installation\\_Guide/index.html](https://docs.fedoraproject.org/en-US/Fedora/24/html/Installation_Guide/index.html)
- FUJIKURA. (2016). *FUJIKURA*. Obtenido de <http://www.fujikura.com/>
- FURUKAWA. (2016). *FURUKAWA Enterprise*. Retrieved from [http://www.furukawakk.co.jp/e\\_index.htm](http://www.furukawakk.co.jp/e_index.htm)
- HFCNet. (2016). *HFCNet*. Obtenido de <http://www.hfcnet.net/>
- Huawei. (2016). *Huawei Corporated Solutions*. Retrieved from <http://www.huawei.com/en/>

- Izaguirre Zúñiga, P. (2010). *Estudio de las distorsiones en la señal sobre rede HFC*. (F. d. Ingeniería, Ed.) San Juan, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- JDSU - VIAVI. (n.d.). *VIAVI Solutions*. Retrieved from <http://www.viavisolutions.com/en-us>
- Merino Ramos, A. (2013). *Implementación de DOCSIS 3.0 sobre redes HFC*. Barcelona, España: Universidad Oberta de Catalunya.
- MOCALLIANCE. (n.d.). *MOCA Multimedia over coax*. Retrieved from <http://www.mocalliance.org/>
- Montaño Navisoy, J. M., & Moreno Pineda, C. H. (2007). *Software de Diseño de redes de televisión por cable (CATV)*. (F. d. Ingeniería, Ed.) Manizales, Colombia: Universidad de Manizales.
- Montes Vallejo, J. (2008). *Documentación, aseguramiento y mejora de los procedimientos de la empresa de telecomunicaciones PEREIRA SA ESP*. (F. d. Industrial, Ed.) Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Moodle Community. (2016). *Moodledocs*. Obtenido de [https://docs.moodle.org/32/en/Main\\_page](https://docs.moodle.org/32/en/Main_page)
- Motorola. (2016). *Motorola Solutions*. Retrieved from <https://www.motorolasolutions.com/>
- NBN Network. (7 de 2016). *OVUM*. Obtenido de *HFC: Delivering Gigabit Broadband*: <http://www.nbnco.com.au/content/dam/nbnco2/documents/HFC%20Delivering%20Gigabit%20Broadband%20Ovum%20Report.pdf>
- ORACLE. (2017). *MySQL SERVER*. Obtenido de <https://dev.mysql.com/doc/>
- Palacios, O. R. (2006). *Análisis de ruido en la señal transmitida en un cable coaxial*. (F. D. INGENIERÍA, Ed.) Guatemala, Guatemala: UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.
- PCTEL. (s.f.). *PCTEL Perfomance Critical*. Obtenido de <http://www.pctel.com/>
- Rojas Wolff, P. A. (2009). *Diseño e Implementación de un curso de Servicios sobre Redes HFC de Nueva*. (F. d. Matemáticas, Ed.) Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile.
- Tejeda Barnett, C. R. (2016). *Impacto de la Migración a DOCSIS 3.1 en las redes HFC*. (F. d. Eléctrica, Ed.) Santa Clara, Cuba: Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- THE PHP GROUP. (2017). *PHP HyperText Preprocesor*. Obtenido de <https://secure.php.net/docs.php>
- UNIVERSIDAD CLARO. (s.f.). *Comunidad Virtual de Claro*. Obtenido de <https://comunidadvirtual.claro.com.co/>