

Análisis de la transmisión de banda ancha en redes HFC: LIMITACIONES TECNOLÓGICAS, REVISIÓN DE STÁNDARES.

Alba Cecilia Bustamante Tipán (1), Annabel del Rocío Macas Macas (2), Msc. Cesar Yépez Flores (3).
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC).
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL).
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral.
Apartado 09-01-5863. Guayaquil – Ecuador.
albacecy90@gmail.com(1), annabeldelrocio1989@gmail.com(2), cyepez@espol.edu.ec(3)

Resumen

El presente estudio se basa en el análisis de la transmisión de servicios de nueva generación a través de las redes HFC (Hybrid Fiber-Coax) o red Híbrida Fibra-Coaxial bajo el estándar DOCSIS considerando los factores que afectan la calidad de servicio producidas por diferentes tipos de ruido y las velocidades de transmisión alcanzadas, la eficiencia y limitaciones en la transmisión de información.

Palabras Claves: HFC, Fibra, Coaxial, DOCSIS, ruido.

Abstract

The following research is based on the analysis of new generation transmission services through the HFC networks (Hybrid Fiber-Coax) or Hybrid Fiber-Coaxial network under the DOCSIS standard, considering those factors that affect quality of service due to different types of noise and transmission speeds achieved, efficiency and limitations in the transmission of information.

Keywords: HFC, Fiber, Coax, DOCSIS, noise.

1. INTRODUCCIÓN

En los años 90 se introduce la fibra óptica a las redes de CATV, cuya misión principal es poder transmitir mayor capacidad de información de una manera más óptima y buscando una reducción de costos, de esta forma toda la red troncal de cable coaxial es reemplazada por fibra óptica, mientras que la red de distribución se mantiene con cable coaxial, marcando el inicio de un nuevo tipo de redes, las redes HFC.

En Ecuador los primeros sistemas de audio y video por suscripción se dan inicio con la empresa TVCable siendo una de las primeras proveedoras de servicio de CATV en el país. Las redes HFC funcionan basadas en el estándar DOCSIS, el cual se encarga de regular los patrones de las redes desde los CM del usuario hasta los CMTS.

2. REDES HFC

Es una red de telecomunicaciones híbrida de fibra óptica y cable coaxial que permite la transmisión de video, voz y datos en banda ancha.

La razón principal de la combinación de fibra y coaxial es aprovechar las ventajas de los dos medios de transmisión, la fibra nos brinda poca atenuación y nos permite alcanzar grandes distancias, mientras que se aprovecha el excelente ancho de banda que nos da el cable coaxial.

La red HFC consta básicamente de cuatro elementos: Cabecera, Red Troncal, Red de Distribución, Acometida.

A. CABECERA

La cabecera es el inicio de la red y es la responsable de procesar la información que se va a transmitir hacia los abonados.

B. RED TRONCAL

Es una red de fibra óptica encargada de repartir las señales generadas en la cabecera hacia la red de distribución y viceversa.

C. RED DE DISTRIBUCIÓN

Es la encargada de distribuir las señales desde el nodo óptico terminal y culmina en un tap que es la interfaz entre la red de distribución y la red de acometida del abonado.

D. ACOMETIDA

La acometida es el último tramo de la red HFC, éste se conecta a la red de distribución en el tap y llegan hasta el domicilio de los usuarios.

3. ESTÁNDARES

Los estándares asociados al acceso de internet y datos se basan principalmente en los cables módems. Entre las normalizaciones para las redes HFC tenemos: DOCSIS, EuroDOCSIS, DVB-RCC, OpenCable.

A. DOCSIS

DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) es un estándar internacional no comercial de Cable Labs que permite a los operadores de cable introducir el acceso a internet sobre las redes HFC para que se facilite el diseño, desarrollo, implementación de servicios, y requerimientos de la interfaz de soporte de comunicaciones.

B. EuroDOCSIS

Es el estándar DOCSIS aplicado en la televisión Europea, creado para que los operadores de cable europeos puedan hacer uso de DOCSIS y exista un adecuado desempeño de la red y para que los precios no se elevaran debido a problemas de compatibilidad y estandarización.

C. DVB-RCC:

Fue creada para proponer estándares para la televisión digital, inicialmente fue creado para los Set Top Box y luego fue extendido para que exista compatibilidad entre cable módems y cabeceras con los Set-Top Box.

D. OpenCabe:

Define una especificación hardware y software, creando una plataforma común para desarrollar servicios interactivos. Combina a DVB y a DOCSIS.

4. ANÁLISIS DOCSIS

El estándar DOCSIS se crea con la finalidad de desarrollar sistemas de comunicaciones en los que los operadores de cable puedan transmitir a grandes velocidades una amplia gama de servicios haciendo uso de paquetes de datos. En el Ecuador las redes HFC desplegadas se acogen a este estándar ya que es el principal referente de normas que usan las redes.

Las principales características de las diferentes versiones de DOCSIS se identifican a continuación:

DOCSIS 1.0: Especificación base, no soporta especificaciones de calidad de servicio, usa el Servicio de Mejor Esfuerzo.

DOCSIS 1.1: Establece QoS para los servicios sensibles al retardo, fragmentación, concatenación, supresión de encabezamiento, aprovisionamiento seguro.

DOCSIS 2.0: Tiene soporte para servicios Simétricos y servicios punto a punto (PPP), servicios IP multicast, mayor inmunidad al ruido y a la interferencia, agrega nuevas modulaciones que permite aumentar la capacidad de transmisión.

DOCSIS 3.0: Soporte para IPv6 y permite la agregación de canales para alcanzar mayores velocidades.

DOCSIS 3.1: Pretende alcanzar los niveles de rendimiento de LAN.

En las siguientes tablas observamos los esquemas de modulación y las tasas de transmisión alcanzadas por DOCSIS.

Tabla 1. Esquemas de modulación y tasas de transmisión de DOCSIS 1.x

Enlace	Modulación	Rango de frecuencias (MHz)	Ancho de banda del canal (MHz)	Tasa total de transmisión (Mbps)	Tasa nominal de transmisión (Mbps)
Descendente	256-QAM	88-860	6	42.88	~38
	64-QAM	88-860	6	30.34	~27
Ascendente (retorno)	16-QAM	5-42	0.2	0.64	~0.6
			0.4	1.28	~1.2
			0.8	2.56	~2.3
			1.6	5.12	~4.6
	QPSK	5-42	3.2	10.24	~9
			0.2	0.32	~0.3
			0.4	0.64	~0.6
			0.8	1.28	~1.2
			1.6	2.56	~2.3
			3.2	5.12	~4.6

Tabla 2. Esquemas de modulación y tasas de transmisión de DOCSIS 2.0

Enlace	Modulación	Ancho de banda del canal (MHz)	Tasa total de transmisión (Mbps)
Descendente	256-QAM	6	42.88
	64-QAM	6	30.34
Ascendente (retorno)	32-QAM	3.2	12.80
	64-QAM	3.2	15.36
	16-QAM	6.4	20.48
	32-QAM	6.4	25.60
	64-QAM	6.4	30.72
	128-QAM	6.4	35.84

Se usan las mismas modulaciones y anchos de banda al igual que en DOCSIS 3.0 solo que en este caso se añade la metodología de agregación de canales incrementando la velocidad.

Tabla 3. Tasas de transmisión de DOCSIS 3.0 usando a metodología de agregación de canales.

CONFIGURACION DE CANALES		Tasa de transmisión DS [Mbps]	Tasa de transmisión US [Mbps]
# canales DS	# canales US		
4	4	171,52	122,88
8	4	343,04	122,88

En la tabla 3 podemos ver el incremento de velocidades debido a la agregación de canales, el número de canales está limitado a las restricciones del hardware y a la cantidad de ancho de banda disponible en cada dirección.

Para el caso de la tabla los valores mostrados son específicos de las modulaciones de mayor orden para cada dirección, usando en DS 256 QAM una tasa de transmisión de 42.88 Mbps por canal y en US una velocidad de 30.72 Mbps para 64 QAM.

4.1 Comunicación de datos en las redes DOCSIS.

La transmisión de datos se lo realiza entre el CMTS hasta el CM, lo cuales actúan como transmisores y receptores.

La solución técnica que usa DOCSIS para transmitir datos de manera eficiente es la siguiente:

Capa Física

- Canal DS y US: Tramas Ethernet.
- La trama MAC recibe la asignación de la modulación y el algoritmo FEC correspondiente.
- Frecuencias DS: 54-860 MHz con canales de 6MHz. Para internet de 750-860 MHz.
- Frecuencias US: 5-42 MHz con canales variables hasta de 6.4 MHz.(Con channel bonding se usa 4 y 8 canales)
- Modulación descendente: 256 QAM y 64 QAM
- Modulación ascendente: 64 QAM para tener transmisiones simétricas
- Comprobación y corrección de errores: Canal UP: Reed Solomon (LPDC más eficiente usado en DOCSIS 3.1). Canal DS: Trellis.
- Multiplexación: TDMA o SCDMA pero para mayor eficiencia DOCSIS 3.1 agrega OFDM.

Capa de Enlace de Datos

- Fase de Inicialización: La configuración de CM's se la realiza de forma remota y mediante el empleo de los protocolos DHCP, ToD y TFTP.
- Establecer flujos de servicio: Priorizan el tráfico de paquetes.
- Seguridad: Interfaz de Privacidad Básica (BPI+). DOCSIS 3.0 usa el Estándar de Cifrado Avanzado AES.
- Resolución de colisiones: Protocolo de Resolución de colisión (CRP).

Capa de Red

- Transporte de paquetes UDP, soportando protocolos SNMP, TFTP Y DHCP.
- Uso de IPv4 con soporte para IPv6
- Saturación: Algoritmo de reasignación de canales.

4.2 Metodología de agregación de canales.

La unión de canales o agregación de canales en DOCSIS 3.0 mejora el rendimiento en la transmisión de datos de la red HFC.

La importancia de la agregación de canales es la alta capacidad de transmisión y que "agrupa" canales de RF múltiples en un solo canal virtual ofreciendo más ancho de banda a un cable módem DOCSIS 3.0.

En las versiones anteriores de DOCSIS para transportar datos se usaba un solo canal en ambos sentidos, pero en DOCSIS 3.0 la metodología de agregación de canales permite utilizar múltiples canales simultáneamente, tanto de upstream como de downstream, logrando así transferencias de datos superiores a 120 Mbps.

En la figura 1 observamos el diagrama de la unión de canales. La información se distribuye en el CMTS para que viaje por distintos canales y lo que hace el cable modem es recolectar y ordenar la misma.

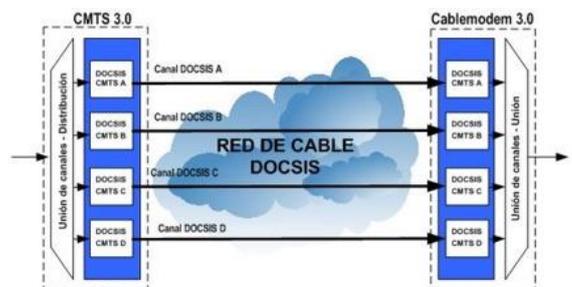


Figura 1. Diagrama de la unión de cuatro canales en DOCSIS 3.0

5. CABLE MODEM

El cable modem es el principal equipo terminal de la red HFC. Su función principal es transmitir paquetes IP de una forma transparente entre la cabecera y el suscriptor.

Dentro de las funciones del CM tenemos:

- Captar o generar señales de radiofrecuencia.
- Modula o demodula los datos.
- Genera / verifica la información de control de errores (FEC).
- Encripta y desencripta la información.
- Usa y respeta el protocolo MAC en el canal ascendente.
- Realiza gestión y control de tráfico.

6. CAPACIDAD DEL CANAL

Es la velocidad máxima a la que se pueden transmitir los datos en un canal de comunicación de forma fiable y así establecer la cantidad de información transmitida.

El Teorema de Shannon establece una ecuación para el cálculo de la capacidad del canal.

$$C = B \log_2(1 + S/N)$$

El teorema de Shannon especifica.

1. Si la velocidad de transmisión sobre un ancho de banda finito es menor que la capacidad del canal, entonces se puede tener un sistema de comunicación con una muy baja tasa de error.
2. Se establece un límite en la transmisión, permitiendo velocidades muy cercanas a la capacidad del canal, por otro lado cuando se supera la capacidad, la información transmitida deja de ser útil.

El análisis se realizará con la multiplexación S-CDMA y A-TDMA y con las versiones 2.0 y 3.0 que son las usadas en las redes HFC.

Tabla 4. SNR para cada modulación, usando SCDMA

SNR (dB)	Modulación
12	QPSK
15	8QAM
18	16QAM
21	32QAM
24	64QAM
27	128QAM
30	256QAM

Tabla 5. SNR para cada modulación, usando A-TDMA

SNR (dB)	Modulación
15	QPSK
18	8QAM
21	16QAM
24	32QAM
27	64QAM
33	256QAM

Para optimizar el rendimiento del canal cuyo ancho de banda es limitado por normas o por características fijas, es necesario tener un buen esquema de codificación que permita tener una transmisión con una tasa de error mínima y con el menor costo posible.

Se realiza un análisis respecto al rendimiento y eficiencia de modulación respecto a la capacidad del canal de Shannon.

En las tablas 6 y 7 se observan las máximas capacidades del canal con la versión DOCSIS 2.0, con A-TDMA y SCDMA, respectivamente.

Tabla 6. Capacidad del canal de DOCSIS 2.0 con A-TDMA

Enlace	Modulación	Ancho de banda del canal (MHz)	Máxima capacidad de canal (Mbps)	Tasa total de transmisión (Mbps)	Rendimiento del canal
Descendente	256-QAM	6	65.77	42.88	65.19%
	64-QAM	6	53.83	30.34	56.36%
Ascendente	32-QAM	3.2	25.53	12.80	50.13%
	64-QAM	3.2	28.71	15.36	53.5%
	16-QAM	6.4	44.71	20.48	45.8%
	32-QAM	6.4	51.06	25.60	50.1%
	64-QAM	6.4	57.42	30.72	53.5%

Tabla 7. Capacidad del canal de DOCSIS 2.0 con SCDMA

Enlace	Modulación	Ancho de banda del canal (MHz)	Máxima capacidad de canal (Mbps)	Tasa total de transmisión (Mbps)	Rendimiento del canal
Descendente	256-QAM	6	59.80	42.88	71.7%
	64-QAM	6	47.87	30.34	63.3%
Ascendente	32-QAM	3.2	22.35	12.80	57.2%
	64-QAM	3.2	25.53	15.36	60.2%
	16-QAM	6.4	38.41	20.48	53.3%
	32-QAM	6.4	44.71	25.60	57.25%
	64-QAM	6.4	51.06	30.72	60.7%
	128-QAM	6.4	57.42	35.84	62.4%

Las tablas 8 y 9 nos muestran las variaciones en la capacidad del canal y en el rendimiento, con A-TDMA y SCDMA, respectivamente, usando la versión 3.0 de DOCSIS. Para el channel bonding se usa 4 canales debido a que es la unión más común establecida.

Tabla 8. Capacidad del canal de DOCSIS 3.0 para 4 canales unidos, con A-TDMA.

Enlace	Modulación	Ancho de banda del canal (MHz)	Ancho de banda total (MHz)	Máxima capacidad de canal (Mbps)	Tasa total de transmisión (Mbps)	Rendimiento del canal
Descendente	256-QAM	6	24	263.11	171.52	65.18%
	64-QAM	6	24	215.32	121.36	56.36%
Ascendente	16-QAM	6.4	25.6	178.87	81.92	45.8%
	32-QAM	6.4	25.6	204.24	102.4	50.1%
	64-QAM	6.4	25.6	229.68	122.88	53.5%

Tabla 9. Capacidad del canal de DOCSIS 3.0 para 4 canales unidos, con SCDMA.

Enlace	Modulación	Ancho de banda del canal (MHz)	Ancho de banda total (MHz)	Máxima capacidad de canal (Mbps)	Tasa total de transmisión (Mbps)	Rendimiento del canal
Descendente	256-QAM	6	24	239.21	171.52	71.70%
	64-QAM	6	24	191.48	121.36	63.37%
Ascendente	16-QAM	6.4	25.6	153.65	81.92	53.3%
	32-QAM	6.4	25.6	178.87	102.4	57.25%
	64-QAM	6.4	25.6	204.24	122.88	60.1%
	128-QAM	6.4	25.6	229.68	143.36	62.4%

Se puede ver en las tablas que todas las velocidades de transmisión analizadas se encuentran dentro de la capacidad máxima del canal.

Sin embargo se observa que tanto con SCDMA como en T-DMA el rendimiento en la transmisión de datos no varía, ya que van a transmitir las mismas velocidades a través del canal.

Debido a la disminución del SNR en SCDMA se puede observar que la capacidad del canal es menor respecto a A-TDMA lo que provoca que el rendimiento del canal se vea afectado ya que se van a transmitir las mismas velocidades, obteniendo un rendimiento del canal mayor para SCDMA.

Respecto al rendimiento se puede observar que el mayor rendimiento del canal llega al 71.7%, existiendo la posibilidad de aumentar aún más la velocidad en la transmisión antes de llegar al límite permitido, siendo las modulaciones que usan más eficientemente el espectro 64, 128 y 256 QAM.

Si comparamos el rendimiento del canal en DOCSIS 2.0 respecto a DOCSIS 3.0 con unión de 4 canales se puede observar que el rendimiento del canal es el mismo sin embargo la capacidad del canal aumentó considerablemente al poder transmitir velocidades de hasta 171 Mbps.

7. RUIDO

Son todas las señales que perturban la transmisión en los sistemas de comunicaciones, que disminuyen el rendimiento de los sistemas y sobre las cuales no se tiene un control completo.

Los principales ruidos e interferencias que se puede encontrar dentro de una red HFC (DOCSIS) son los siguientes:

- Ruido de Ingreso
- Modulación de amplitud HUM
- Ingreso de armónicos
- Ruido térmico
- Ruido impulsivo
- Distorsión común de la trayectoria

El canal de retorno es más propenso a interferencias debido al rango de frecuencia en que trabaja (5-42 MHz).

Los parámetros que más afectan la señal de retorno son el ruido producido por la intermodulación, el ruido impulsivo, corrientes inducidas, etc., así como también la interferencia generada por otros sistemas como radio, teléfonos móviles, motores eléctricos, redes eléctricas y más, produciendo degradación de la señal al sumarse cada uno de los fenómenos antes mencionados.

7.1 Técnicas de Modulación

El estándar DOCSIS permite dos técnicas de modulación QPSK y QAM. La modulación QPSK tiene

una mayor inmunidad contra el ruido y una alta seguridad de los datos. QAM codifica los datos mediante un mapa de símbolo. Mientras el nivel de QAM aumenta existe un incremento en la velocidad de transmisión de datos. Las técnicas de modulación usadas en el sentido ascendente son más robustas que en el descendente, esto se debe a la mayor presencia de ruido en el canal de retorno.

En el canal descendente se usan modulaciones de 64 QAM y 256 QAM. En el canal ascendente se inició usando 16QAM y QPSK, sin embargo dependiendo del método de acceso utilizado se han ingresado modulaciones de 8, 16, 32, 64, 128 QAM.

7.2 Vulnerabilidades

Las redes HFC están propensas a tener fallas de seguridad y las posibles causas pueden ser los CM y CMTS, estándar DOCSIS.

No se debe permitir que el usuario manipule el CM porque uno de los problemas de la red HFC es la clonación de cable módem.

Una de las fallas que tiene el estándar DOCSIS en la versión 1.0 es que se puede modificar la velocidad de transmisión. Esta vulnerabilidad no poseen las otras versiones ya que los archivos de configuración cuentan con una clave de encriptación establecida por el ISP y una verificación MD5.

8. SEGURIDAD

Los cables modem pueden implementar una serie de medidas de seguridad, las cuales se detallan a continuación.

- Mejoras de Firmware.
- Control de dispositivos asegurados por el proveedor de servicios.
- Certificación digitalmente firmada (autenticación de los módems).
- Encriptación de Datos.

Así como también las medidas de prevención que se debe tomar en cuenta en la red.

En las medidas preventivas se cuenta con dos herramientas indispensables que son el hardware de enrutamiento de banda ancha (CMTS) y el software de administración de red.

Algunas opciones para asegurar la red son:

- Evitar colisiones de MAC.
- Actualización de Plataformas actuales de DOCSIS.
- Habilitar la Privacía Base (BPI/BPI+).

Aunque la banda ancha permite un acceso fácil y libre de la información, hay que considerar que existen riesgos informáticos que involucran la vulnerabilidad

en seguridad que puede poner en riesgo los datos de los usuarios

Para garantizar la seguridad de la red se debe adoptar medidas de seguridad entre las cuales tenemos las siguientes:

- Cortafuegos: Controlan la comunicación de la red para impedir los accesos no autorizados
- Cifrado: ocupa aproximadamente el 20% más ancho de banda que la información no cifrada.
- Gestión de claves: Las terminales multimedia cifran una comunicación negociando una clave

Cabe mencionar que los aspectos de seguridad implementados en banda ancha se aplican en cualquier medio sin importar la red o la tecnología usada.

9. CONCLUSIONES

La implementación de las Redes HFC bajo los estándares aplicables proporciona una solución eficiente por la gran capacidad que tiene para soportar no sólo los servicios de televisión por cable sino también los servicios de datos como internet y telefonía IP.

En el Ecuador el grupo TVCABLE sobre la red HFC brinda servicios de voz, video y datos utilizando las especificaciones del estándar DOCSIS para garantizar el correcto funcionamiento de la red, actualmente implementa DOCSIS 3.0 mientras que CLAROTV DOCSIS 2.0.

El uso de la plataforma desarrollada DOCSIS reside en la interoperabilidad en los equipos permitiendo a los operadores escoger equipos que se acoplen a sus requerimientos tanto técnicos como económicos.

La inmunidad al ruido sobre la red HFC es mayor al tener mayor distancia intersimbólica en la modulación QAM; DOCSIS utiliza modulaciones mayores bajo el uso de técnicas de corrección de errores implicando la transmisión de datos adicionales (overhead).

Basado en el análisis de la máxima capacidad de Shannon se puede confirmar que todas las velocidades transmitidas con las modulaciones especificadas en DOCSIS se encuentran dentro del límite máximo de transmisión, demostrando que la transmisión es fiable y tiene una tasa de error mínima. Para DOCSIS 2.0 y 3.0 se alcanza un rendimiento del 71%.

El uso de la metodología de agregación de canales, bajo las especificaciones del estándar DOCSIS y en conjunto con la utilización de cable módems de múltiples canales, permite aumentar el ancho de banda para poder transmitir a velocidades mayores.

El rendimiento del canal en términos de Shannon y bajo el uso del channel bonding se mantiene constante respecto al análisis de un solo canal, debido a la

proporcionalidad del ancho de banda con el grupo de canales.

La cantidad máxima de canales que DOCSIS 3.0 establece en un bonding group depende del ancho de banda disponible en cada dirección y de las restricciones del hardware; generalmente se permite 4 y 8 canales.

10. RECOMENDACIONES

Se debe mantener una impedancia constante de 75 ohmios en la red de cable coaxial para que no existan pérdidas por reflexiones de la señal que disminuyan el rendimiento de la red.

Es conveniente que los operadores mantengan actualizada la plataforma de DOCSIS para poder obtener los beneficios de los incrementos de velocidad en la transmisión de datos en la red HFC.

Se debe tener cuidado en la implementación de la red de cable después de los nodos ópticos porque allí es donde se almacena una mayor cantidad de fuentes de ruido, que afectan principalmente el canal ascendente.

Los operadores de la red de cable híbrida en el Ecuador deben considerar el cambio de la red coaxial por fibra óptica para mejorar la calidad de servicio al abonado y poder transmitir las altas velocidades soportadas por éste medio de transmisión.

En zonas aisladas o rurales, donde es necesario tener un nivel de mayor penetración, es conveniente extender el uso de la tecnología HFC con tarifas preferenciales para la población de escasos recursos económicos que no dispone de los medios suficientes para tener acceso a la tecnología.

11. REFERENCIAS

- [1] VILLALBA FRANCO ADOLFO, Propuesta de la Prestacion de Servicios de Banda Ancha mediante el empleo conjunto de tecnologías de CATV y PLC, Guayaquil, 2012.
- [2] Wolff Antonio, Diseño e Implementacion de un curso de Servicios sobre Redes HFC de Nueva Generacion, Santiago de Chile, 2009.
- [3] Averos Núñez Pastor, Analisis Tecnico - Economico-Regulatorio, de una Operacion de Cable Modem en el Ecuador, Guayaquil, 2006.
- [4] Montañana Rogelio, Acceso Residencial de Banda Ancha, Valencia, 2003.

- [5] Wilmar Campo, Diego Rueda, Iván Taimal, José Arciniegas, "Análisis del protocolo de DOCSIS para la distribución de aplicaciones y contenidos de TDi en HFC," Diciembre 2009. [Online]. Available: <http://www.bdigital.unal.edu.co/23531/1/20488-69226-1-PB.pdf>. [Accessed Enero 2015].
- [6] Chang Joseph, Macías José, Diseño de Redes HFC para Distribucion de Señales Digitales de Television, Guayaquil, 2013.
- [7] Villacrés Bechara Mario, Diseño de una Red de Telecomunicaciones HFC multiservicios para la empresa Green TV en la ciudad de Esmeraldas, Sangolqui, 2008.
- [8] Merino Ramos Angel, "Implementacion de DOCSIS 3.0 sobre redes HFC," Enero 2013. [Online]. Available: <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/18805/6/amerinoraTFC0113memoria.pdf>. [Accessed Enero 2015].
- [9] Julio Enríquez Betancourt, Evaluación de la Tecnología de Modem de Cable (DOCSIS) y comparación con la Tecnología xDSL, Caracas, 2004.
- [10] "<http://es.scribd.com/doc/76972321/TV-Digital>," [Online].
- [11] "<http://es.slideshare.net/karlos19/redes-hfc-7707604?related=2>," [Online].
- [12] Jiménez Gerald, Borbor Daniel, Vulnerabilidades de Seguridad en el servicio de Internet de Banda Ancha en Redes HFC, Guayaquil, 2007.
- [13] "CableLabs," MAC and Upper Layer Protocols Interface Specification, 2014 Julio 29. [Online]. Available: <http://cablelabs.com/wp-content/uploads/specdocs/CM-SP-MULPIv3.0-I25-140729.pdf>.
- [14] Wilmer Sarango, Xavier Villazhaña, La Banda Ancha en el Ecuador, su desarrollo y expectativas de crecimiento hacia el futuro, Cuenca, 2013.
- [15] Scott Moser, Brian Dean, Jim Martin, James Westall, Maximizing Bandwidth Utilization in Downstream DOCSIS 3.0 Channel Bonded Network, South Carolina.
- [16] CableLabs Data Over Cable Service Interface Specifications DOCSIS 3.1, "NEW GENERATION OF DOCSIS TECHNOLOGY," [Online]. Available:

<http://www.cablelabs.com/news/new-generation-of-docsis-technology/>. [Accessed Diciembre 2014].

- [17] Jorge Perez, Grupo de Análisis y Prospectiva del Sector de las Telecomunicaciones, "Oportunidades y Desafíos de la Banda Ancha," © Red.es, Madrid, 2008.
- [18] José E Briceño Márquez, Principios de las Comunicaciones, Mérida, Venezuela, 2011.