



Recibido: 17/09/2021
Aceptado: 13/10/2021

Nuevas tendencias de DOCSIS en Ecuador

Jose Adrian Macias Zambrano¹, Leticia Azucena Vaca Cárdenas¹

¹Facultad de Ciencias Informáticas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador
¹jmacias3668@utm.edu.ec, ¹leticia.vaca@utm.edu.ec

RESUMEN Esta investigación pretende dar una visión detallada del panorama actual de las redes Híbridas Fibra Coaxial (HFC) en Ecuador, a través de una estadística descriptiva y un análisis comparativo de los datos de los últimos años; se presentan además las investigaciones más recientes sobre redes HFC con sus distintas versiones de Data Over Cable Service Interface Specification (DOCSIS), considerando principalmente las versiones 3.0 y 3.1 que están vigentes en Ecuador. Este artículo expone las nuevas técnicas, herramientas y propuestas para emigrar redes DOCSIS 3.0 o 3.1 a los nuevos estándares DOCSIS 3.1 FDX o DOCSIS 4.0; para lo cual, se detalla el uso de redes HFC sin amplificadores en la etapa de distribución conocido como el Nodo+0 y las ventajas que presenta realizar esta práctica, así como las nuevas propuestas de redes fibra hasta un dispositivo Fiber To The X (FTTX) que para su caso particular son redes Fiber To The Tap (FTTT) con estándar DOCSIS 4.0 llegando a un ancho de bandas de 25 GHz y tasas de transmisión superiores a 40 Gbps.

Palabras claves: Híbrida fibra Coaxial (HFC), dúplex completo (FDX), Fibra hasta el Tap (FTTT).

New DOCSIS trends in Ecuador

ABSTRACT This research aims to give a detailed vision of the current panorama of the Hybrid Fiber Coaxial (HFC) networks in Ecuador, through descriptive statistics and a comparative analysis of the data from last years. The most recent research on HFC networks is also presented with their different versions of the Data Over Cable Service Interface Specification (DOCSIS) standard, mainly considering versions 3.0 and 3.1 that are in force in Ecuador. This article exposes the new techniques, tools, and proposals to migrate DOCSIS 3.0 or 3.1 networks to the new DOCSIS 3.1 FDX or DOCSIS 4.0 standards. For which, the use of HFC networks without amplifiers in the distribution stage known as Node + 0 and the advantages of performing this practice is detailed, as well as the new proposals for fiber networks up to a Fiber To The X device (FTTX) which for your particular case are Fiber To The Tap (FTTT) networks with DOCSIS 4.0 standard reaching a bandwidth of 25 GHz and transmission rates higher than 40 Gbps.

KEYWORDS: Hybrid Fiber-Coaxial (HFC), Full Duplex (FDX), Fiber to the Tap (FTTT).

1. Introducción

Las redes de comunicación y los medios por los cuales se transmite la información han ido evolucionando de manera acelerada a lo largo de la historia, actualmente, la transferencia de datos cada vez es más grande debido a la alta demanda que existe en internet por mantener servicios que involucran directamente a usuarios finales.



Durante los años 90 los usuarios finales tenían acceso al internet principalmente por conexiones telefónicas analógicas, las mismas que se realizaban mediante cables par trenzado de cobre y módems, pero una de las grandes limitantes que tenía esta tecnología era que solo permitía velocidades hasta 56 kbps, lo que las hacía lentas.

Los servicios de internet en los últimos años han incrementado en un porcentaje notable, con una tasa de penetración del 65.6 % que representa 5,168,780,607 de usuarios [1], comparado con el año 2019 que reportó una penetración del 58.8 % que representa 4,536,248,808 de usuarios [2].

América latina también ha sido parte de esta transformación con un incremento del 2.2 % del 2019 al 2021 [2];[1]. Ecuador es uno de los países que ha vivido esos cambios [3], con un incremento promedio del 8.0 % anual.

Las redes de Antena de televisión comunitaria (CaTv) en sus inicios eran redes de contenido televisivo, por la demanda y la evolución de servicios emigraron a redes de comunicación Híbrida fibra coaxial (HFC) [4]

Es en 1997, donde apareció una nueva tecnología llamada Data Over Cable Service Interface Specification, DOCSIS 1.0, que en español significa “Especificación de interfaz para servicios de Datos por Cable”. 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 lo usan [5].

Esta versión 1.0 permitió a los usuarios tener ciertos beneficios como acceso a internet y descargas de entretenimiento como PPV (Pago por ver) [6]; [7]. La transmisión de televisión por cable y video, a través del tiempo fue evolucionando y ya para DOCSIS 1.1 (1999) se estandarizó mecanismos de QoS, en DOCSIS 2.0 (2001) aparece la telefonía IP mejorando considerablemente la velocidad de datos ascendentes [4].

Para cuando salió al mercado la versión de DOCSIS 3.0 en agosto del 2006 ya existía la arquitectura híbrida y se daban servicios de televisión por cable, internet, voz IP, brindando grandes velocidades de datos tanto ascendente y descendente, adicionalmente, también permitía soporte para el protocolo IPv6 [4].

En octubre del 2013 se dio a conocer la nueva actualización de DOCSIS 3.1, y las mejoras no se hicieron esperar, en sentido descendente tiene capacidad hasta 10 Gbit y en sentido ascendente 2.5 Gbit. Soportaban las OFDM (Subportadoras de multiplexación por división de frecuencia ortogonal), también incluían características de ahorro de energía y se elaboró un algoritmo que reducía el bufferbloat, considerándose estas, como sus principales características [8].

DOCSIS 3.1, es la variante que ha tratado de ponerse a la altura de lo que actualmente necesitan las redes de comunicaciones, da un salto considerable con relación a las anteriores, logrando velocidades cercanas a los 10 Gbps en bajada y 2.5 Gbps en subida. En esta variante se incorporan cambios sustanciales que difieren completamente de lo que se había implementado hasta el momento [9]

Este documento desea dar una ilustración de lo que está pasando en otras partes del mundo con respecto a esta tecnología, proporcionar herramientas que puedan ayudar a los operadores de telecomunicaciones a tomar la mejor opción y poder seguir siendo competitivos en Ecuador; ofreciendo un servicio de calidad, evaluando la migración a redes HFC Nodo+ 0, o Fiber To The Tap (FTTT) aplicando estándar DOCSIS 3.1 FDX (full dúplex) o su nueva versión DOCSIS 4.0

2. Antecedentes



2.1. Estadísticas de Medios Alámbricos en Ecuador

En los últimos años Ecuador ha tenido un crecimiento acelerado de usuarios de servicio de datos con un 8 % de crecimiento anual cuadruplicando la demanda del servicio, comparando el 2010 con respecto al año 2020 como se muestra en la Figura 1.

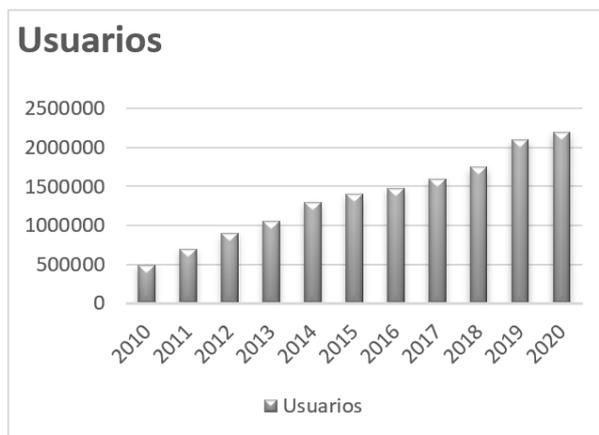


Figura 1: Estadísticas acceso internet en Ecuador.

En la actualidad en Ecuador se encuentran 3 tipos redes alámbricas registradas, en la agencia de regulación y control de las telecomunicaciones (ARCOTEL), siendo el medio con mayor demanda las redes de Fibra Óptica, seguidas de redes de cobre y por ultimo redes HFC con estándar DOCSIS versión 3.0 y versión 3.1 [6] que es el objeto de investigación, de acuerdo con los datos investigados, el 20.5 % de la población tiene acceso a internet por medio de redes HFC [3], tal cual se evidencia en la Figura 2.

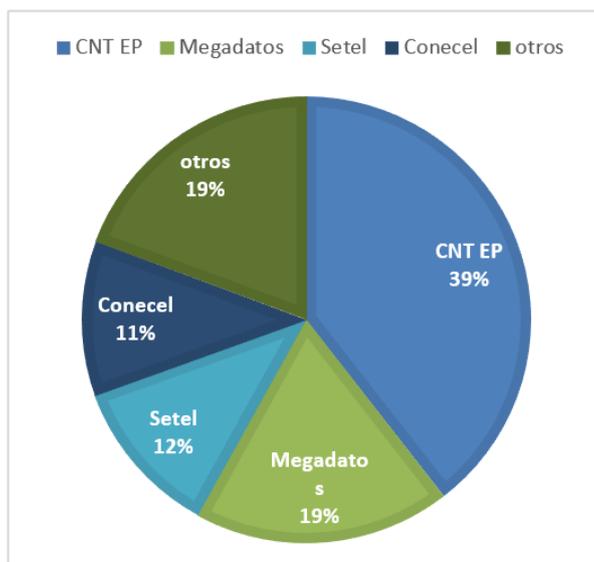


Figura 2: Servicio de Acceso a Internet, septiembre 2020.

Sin embargo, si comparamos los datos de las Figura2 con las estadísticas del año 2016 (Figura 3), en Ecuador, observamos que las redes HFC han sufrido una caída. En el año 2016 la segunda red con



mayor demanda en internet en Ecuador eran las redes HFC; siendo la principal red en demanda la DSL (línea de abonado digital). En la actualidad en Ecuador la primera opción son las redes de Fibra Óptica seguidas de redes DSL; el crecimiento acelerado que han tenido las redes FTTX (Fiber To The X) se dio por migración de redes DSL a PON (Redes ópticas Pasivas) por parte de la compañía CNT (Corporación Nacional de Telecomunicaciones) la cual es la empresa más grande de telecomunicaciones de Ecuador [3].

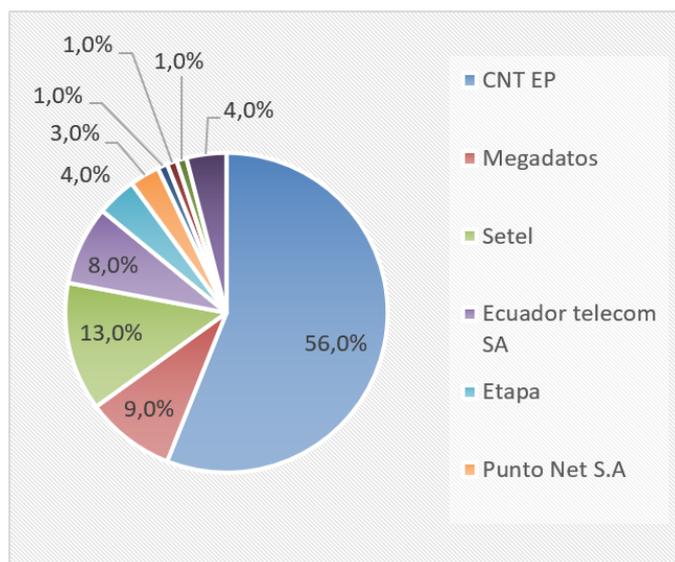


Figura 3: Estadísticas de Arcotel 2016 [10].

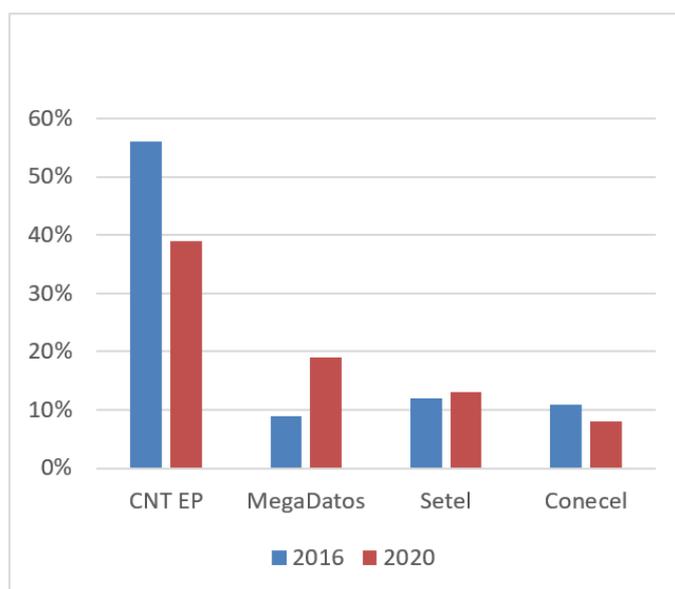


Figura 4: Estadísticas de Arcotel 2016 vs 2020.

La Figura 3 ilustra las estadísticas de internet fijo del año 2016 en Ecuador, figura 4 sustenta el declive que tienen las compañías proveedoras de internet fijo por medio de redes HFC. Estas empresas



son Setel conocido como en el mercado como Tv-Cable y Conecel con nombre comercial Claro.

2.2. Actualización de DOCSIS

Recientemente se ha lanzado al mercado el estándar DOCSIS versión 3.1 FDX para poder aliviar la alta demanda de ancho de banda del US (up stream), según Berscheid y Howlett [11]; es un gran desafío implementar este estándar en las redes actuales. El uso de DOCSIS 3.1 FDX genera una mayor demanda a la capa de control de acceso al medio (MAC), y en la capa Física (redes HFC). Estos desafíos deben superarse para poder ofrecer un servicio de calidad, teniendo en cuenta que en DOCSIS 3.1 FDX se encuentra en canales compartidos entre US (Upstream) y DS (Downstream) haciendo que exista ciertos canales dinámicos, como se aprecia en la Figura 5.

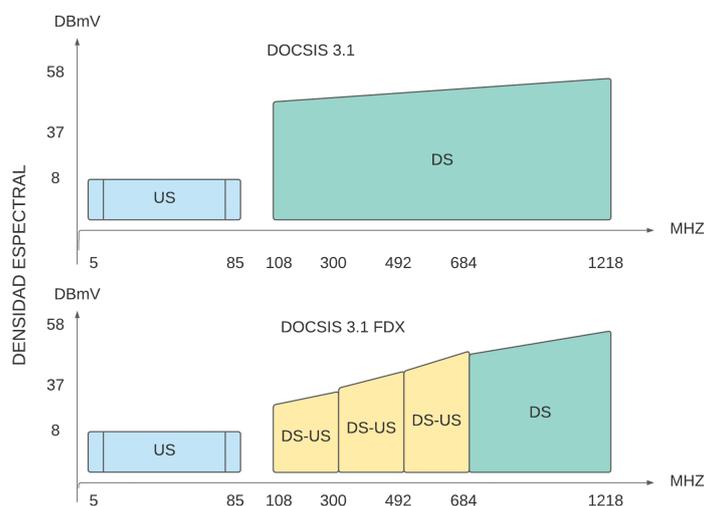


Figura 5: Espectro DOCSIS v3.1 y FDX V3.1

La desventaja de tener estos canales dinámicos es el ECO que se genera por el CM (cable Modems) de los usuarios, causando interferencias, confundiendo al CMTS (sistema terminal de cable módems) con respecto a la demanda del usuario o de lo que está solicitando adicionando que encontramos un consumo eléctrico del nodo óptico, este consumo puede aumentar hasta un 50 %, como solución a estos inconvenientes se propone fortalecer la programación de la capa MAC, adicionando filtros en la entrada del retorno US en los nodos Ópticos, cancelando el ECO generado por la red. Otra de las soluciones que brinda es seleccionar ancho de banda dependiendo de la demanda, quiere decir, asignación de nuevos canales de US dependiendo de la demanda US que reciba el nodo [12].

Como ultima solución se propone el uso de Nodo+0, que es el no uso de amplificadores en etapa de distribución con esto bajaría la densidad de ECO generado por lo CMs sin necesidad de hacer algún cambio en la Capa MAC puesto que la cantidad de Usuario disminuiría notablemente.

En el año 2019 Doug Jones define “DOCSIS versión 4.0 como un estándar que se está diseñando para admitir servicios Multimegabit Simétricos” [12], este estudio ilustra los cambios que se recomienda a los Operadores de telecomunicaciones para migrar sus redes desde DOCSIS 3.0 a versiones superiores de DOCSIS 3.1, DOCSIS 3.1 FDX y DOCSIS 4.0 dentro de estos cambios se tiene que resaltar que existen elementos en la capa física que se tienen que modificar para lograr la eficiencia de los distintos estándares y aprovechar la mayor capacidad de espectro y obtener redes estables, en el caso de DOCSIS 4.0 obtener



una red asimétrica de US 5 Gbps y 7 Gbps en DS por nodo óptico esto aplicando a redes con pocas variantes de modificación con redes de operación hasta 1.8GHz [12] como se ilustra en la Figura 6.

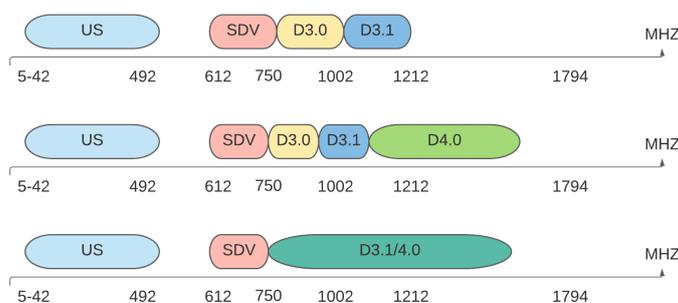


Figura 6: Espectro de Señal DOCSIS v3.0, v3.1 , v4.0

La propuesta manifiesta los cambios que tienen que realizar los operadores de forma paulatina sin desactivar las versiones anteriores y no causar malestares en los abonados y además, sobre una misma red puedan operar estándar DOCSIS v3.0, v3.1 y v4.0 como se ilustra en la Figura 6, también el autor manifiesta los desafíos que se tienen que superar en este proceso de emigración y que se resumen a continuación:

- Emigrar de DOCSIS 3.0 a DOCSIS3.1: Extender el espectro a 1218 MHz el DS empieza desde 498 MHz hasta 1218MHz, este comprende canales de TV digital, usuarios DOCSIS 3.0 y DOCSIS 3.1. El US empieza desde 5MHz hasta 396MHz. Anexo A
- Emigrar de DOCSIS 3.1 a DOCSIS3.1 FDX: En este caso una porción determinada del espectro DS es compartida con US, se recomienda utilizar redes Nodo+0 por el efecto ECO que se presenta en la red por la porción de espectro compartida. Anexo B
- Emigrar de DOCSIS 3.1 a DOCSIS 4.0: Extender el espectro a 1794 MHz donde la porción de US empieza desde 5 MHz hasta 684 MHz y la porción de DS comienza en los 858 MHz hasta 1794 MHz. Anexo C

En el año 2020 Ayham Al-Banna, reporta los grandes desafíos que han tenido las redes HFC por la alta demanda que ha surgido en los últimos años como consecuencia de la pandemia de COVID- 19 (Corona Virus Disease 2019); en un inicio manifiesta el incremento de la demanda del servicio de internet, como se verifica en las Figura 7 y Figura 8 [13].

Otra buena práctica que recomienda [13] en sus estudios; es eliminar canales digitales de entretenimiento y ser reemplazado por IPTV liberando banda que puede ser utilizada en el DS para aumentar su banda. Se pronostica que si los operadores realizan estos cambios podrán ser competitivos hasta el año 2036 con segmentación de 64 clientes. Concluyendo que si las redes HFC emigran a redes FTTH pueden llegar hasta un ancho de banda de 25 Ghz.

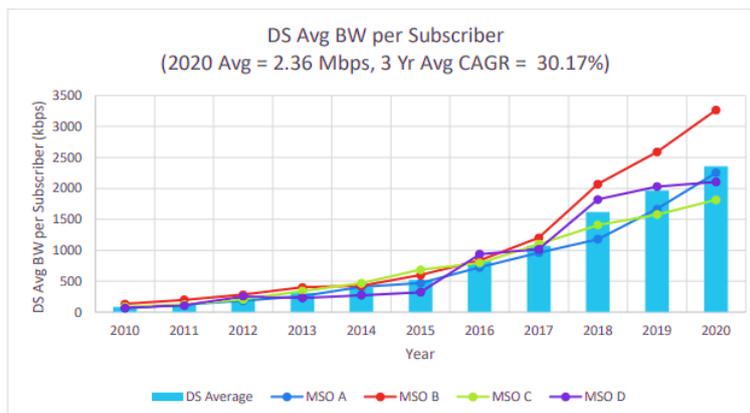


Figura 7: Estadísticas de 4 operadores de redes HFC DS [13]

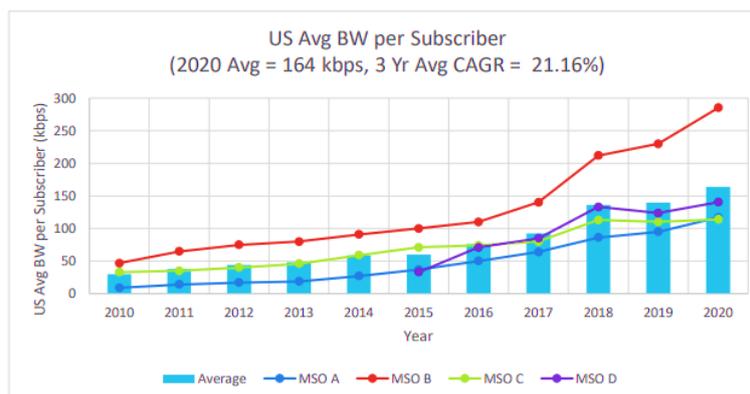


Figura 8: estadísticas de 4 operadores de redes HFC US [13]

3. Metodología

Analizadas las investigaciones de A. Grela [14] y Coomans [15], se establece un estudio que permita realizar una réplica de la propuesta de Coomans, aplicando la metodología de A. Grela, es decir; que se calcula la capacidad máxima de transmisión de datos para una red HFC con estándar DOCSIS 3.1, desarrollando e implementado las siguientes fases:

1. Características de una red FTTH con DOCSIS 4.0
2. Cálculos de Tasa de transmisión máxima, ecuaciones (1-3), usando los datos de [15].
3. Análisis de costos implementar DOCSIS 3.1 en Ecuador

3.1. Características de la Red FTTH

La red utilizada es una red FTTH de 6 GHz simétrica esto significa que la banda del US comprende 3 GHz y la banda de DS también Comprende 3 GHz. En la arquitectura de red los elementos activos son los Taps elemento de distribución, la distancia entre el Tap y el abonado conocido como acometida que es de 15 a 19 metros de cable RG6 o Rg11 y construida con los elementos apropiados que cumplen las características de DOCSIS 4.0 como referencia Coomans [15].



El ancho de banda de 3 GHz para el DS tiene la capacidad de contener 15 canales de 192 MHz cada canal. Bajo estos requerimientos se muestra la tabla 1. Estos valores serán reemplazados en la ecuación (1) [14]

Tabla 1: Parámetros con respectivos acrónimos y valores [8]

Parámetros	Acrónimos	Cantidad
Subportadoras en 192 MHz	SpT	7680
Banda de guarda 2 MHz	SpBG	80
Pilotos Continuos	SpPC	88
Pilotos Dispersos	SpPD	60
portadora NCP	SpNCP	48
Duración FFT	DFFT	40 us
valor promedio Prefijo cíclico	DCP	2.5 us
tasa de FEC efectiva	TFEC	0,8785
Símbolo por HERTZ	Sps/Hz	0,7971

3.2. Cálculos de tasa de transmisión máxima

Para los cálculos se utilizará la ecuación (1), la formula corresponde a Símbolos por Hertz, para este caso se va a utilizar un canal de 192Mhz (SpT) con un total de 7680 subportadoras con un ancho de banda 25 khz cada una, de esta cantidad total se disminuye las siguientes subportadoras:

- Banda de guarda (SnBG) = 80 subportadoras
- Pilotos Continuos (SnPC)= 88 subportadoras
- Pilotos Dispersos (SnPD)= 60 Subportadoras
- Portadoras NCP (SnNCP)= 48 Subportadoras

El resultado de esta suma es la cantidad de Subportadoras que transportan información del sistema terminal de cable Módems (CMTS) al cable módems (CM), posteriormente se divide para la cantidad de subportadoras total que es 7680.

Cada transformada de Fourier (FFT) tiene una duración de 40us y la duración promedio del prefijo cíclico (DCP) es de 2.5us en la segunda parte de la ecuación (1) se obtiene la relación entre el tiempo de duración de un símbolo y el tiempo de un símbolo más el tiempo de duración del prefijo cíclico, y por último se multiplica por la tasa de corrección de errores (FEC) efectiva que para el caso ideal es 0.8785 como se detalla en [8] con esto se obtiene el valor de símbolo por Hertz.

$$\text{Símbolos por HERTZ} = \left(\frac{SpT - SpBG - SpPC - SpPD - SpNCP}{SpT} \right) * \left(\frac{DFFT}{DFFT + DCP} \right) * TFEC \quad (1)$$

Si reemplazamos los valores de la tabla 1 en la ecuación (1) se obtiene Símbolos por Hercio (Sps) este valor será multiplicado por una cantidad de Bits que depende del tipo modulación como se muestra en la tabla 2. En la ecuación (2) sustituimos el valor obtenido de la ecuación (1) y la cantidad de Bits que está en la tabla (2).



Tabla 2: Tasa máxima de transmisión por canal (bits) [8]

Modulación	bits	1 canal bps
4K QAM	12	1817409794
8K QAM	13	1968860610
16 K QAM	14	2120311426
32 K QAM	15	2271762243
64 K QAM	16	2423213059
256 K QAM	18	2726114691

$$\text{canal Bps} = \text{Sps} * \text{Bits} \quad (2)$$

El resultado del Canal bps refleja la cantidad máxima de transferencia de Bits que puede contener 1 canal de 192 MHz dependiendo de la modulación, en la ecuación (3) se toman los resultados de la tabla 2 y se multiplican por la cantidad de canales disponibles en un ancho de Banda de 3 Ghz que es aproximadamente 15 canales en DS; esta operación se realiza para cada escenario de Modulación, con estos datos se obtiene los resultados mostrados más adelante en la tabla 3.

$$\text{tasa maxima de transmision} = \text{canal Bps} * 15 \quad (3)$$

3.3. Análisis de Costo implementar DOCSIS 3.1

En Ecuador según los datos de ARCOTEL existe operadores que brindan el servicio bajo DOCSIS 3.1[3] como se detalla en el boletín estadístico del año 2020, sin embargo, en las páginas web de principales empresas que operan en Ecuador con redes HFC como, SETEL (grupo tv-cable)¹ o CONECEL (claro)² no se refleja esta información.

A continuación, se detalla el costo de emigrar una red DOCSIS 3.0 a DOCSIS 3.1 y el costo de implementar una red nueva, pero para poder realizar un presupuesto o análisis de precios es necesario tener presente ciertos detalles técnicos para poder dimensionar las cualidades de los equipos [16].

Los datos técnicos y operativos son los siguientes:

- Red HFC DOCSIS 3.1 a 1.2 Ghz
- Cantidad de Nodo Óptico es igual a 10
- Cantidad de usuarios por nodo óptico es igual a 512 usuarios
- Velocidad de transmisión en DS= 20 Mbps por usuario (mínimo)
- Velocidad de transmisión en US= 4 Mbps por usuario (mínimo)
- Se utiliza OFDM con modulación 4 KQAM
- Se suprime el uso de TV digital y se utiliza TvIP
- Cada canal de 192 Mhz tiene la capacidad de transmitir 1.7 Gbps
- La cantidad promedio de cable 500 entre elementos activos es de 300 metros
- La cantidad de cable RG6 entre el abonado y el usuario es 20 metros
- La propuesta de Red es Nodo +1
- Cada nodo tendrá un enlace de back-up, así como los amplificadores
- Cada elemento activo alimenta 8 taps de 8 salidas cada uno

¹<https://www.xtrim.com.ec/internet-guayaquil/?ciudad=guayaquil>

²<https://catalogo.claro.com.ec/servicios-hogar/1-play/internet>



Bajo los requerimientos anteriores se presenta el costo de implementar una red nueva en el anexo D, y el costo de migrar una red de DOCSIS 3.0 a DOCSIS 3.1 en el anexo E.

4. Resultados

Los resultados obtenidos presentan la tasa máxima de transmisión de 15 canales a 192MHz cada canal, sobre una red FTTT, que se detalla en la Tabla 3. Para el escenario de 4 KQAM la capacidad máxima de transmisión es de 1.8 Gbps por canal y el total de los 15 canales 27.3 Gbps. En la actualidad las redes HFC tiene la capacidad máxima de tasa de transmisión 10 Gbps.[17].

Como muestra la tabla 3, la tasa máxima de transmisión de una red FTTT se da en la modulación 256 KQAM con un valor aproximado de 40.9 Gbps, coincidiendo con los resultados del experimento realizado por [15]. Esto es posible siempre y cuando la distancia máxima de acometida no supere los 20 metros, y un canal de DS de 3Ghz.

Tabla 3: Tasa máxima de transmisión por 15 canales en 3GHz (bits)

Modulación	15 canales bps
4K QAM	27261146912
8K QAM	29532909154
16 K QAM	31804671397
32 K QAM	34076433640
64 K QAM	36348195882
256 K QAM	40891720368

Estos resultados muestran que el estándar DOCSIS sigue en proceso de crecimiento implementando nuevas versiones.

En Ecuador actualmente las redes HFC tiene la capacidad de transmitir hasta 2 Ghz en DS según la información de (ARCOTEL, 2020), los resultados demuestran que si se realiza la migración al día de hoy a redes FTTT pueden llegar hasta velocidades de 27.3 Gbps con el sistema de modulación vigente que es 4 KQAM.

5. Discusión

Unas de las ventajas de las redes FTTT es que permite trabajar a frecuencias que anteriormente no eran posibles de utilizarlas, esto se debe al tipo de modulación multiplexación por división de frecuencia Ortogonal (OFDM) el cual permite frecuencia de trabajo en la fibra óptica, que actualmente no es posible con multiplexación de división de longitud de onda (DWDM), usadas por las redes PON. Según [15], las redes PON para poder competir con redes FTTT con estándar DOCSIS 4.0, tendrán que utilizar modulación OFDM.

Como lo planteó [13] el futuro de las redes HFC es emigrar a redes FTTT y poder ofrecer un servicio competitivo con redes actuales. Para este caso particular se tomó redes FTTT con un ancho de banda 6 Ghz simétrico llegando a una tasa de transmisión de mayor a 40 Gbps coincidiendo con los valores demostrados por [15] experimento realizado en laboratorio y coincide con los cálculos realizados, respetando las limitaciones que manifiesta el autor.

Este estudio da un panorama optimista a empresas como SETEL o CONECEL, operadores de Redes HFC con estándar DOCSIS en Ecuador. Como describe [18]; [19] quienes manifiestan que las



redes HFC deben migrar a redes de fibra y este estudio presenta el proceso de transición que deben tener los operadores, las ventajas que tiene realizar estas prácticas extendiendo su vigencia en el mercado hasta el 2036, superando y cuadruplica los alcances de las redes actuales.

Según los estudios de [13] las redes FTTH tiene la capacidad de operar a un ancho de Banda igual a 25Ghz en caso de que exista esta posibilidad y se utilice canales simétricos a 192 MHz con modulación 4 QAM la tasa transmisión máxima que se puede tener el DS es de 117 Gbps pero por el momento la tecnología de equipos activos limitas esas capacidades de transmisión.

6. Conclusiones

Se concluye que en la actualidad en Ecuador es recomendable y viable el uso de arquitectura del Nodo+0 en redes HFC a corto plazo. La red a su máxima expresión brindara un DS de 10Gbps y US de 2.5 Gbps con un ancho de banda de operación igual a 1.2 GHz. Con la posibilidad de realizar los cambios a DOCSIS 3.1 FDX con capacidad de operación DS y US 8Gbps simétricos con un ancho de banda igual a 1.2 GHz, y a largo plazo migrar a redes FTTH utilizando estándar DOCSIS 4.0.

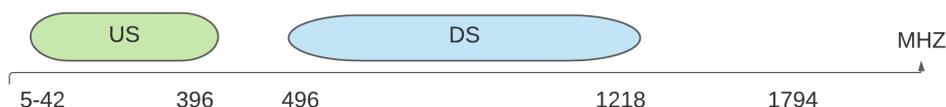
El uso de espectro para canales digitales de televisión puede ser optimizado con el uso de televisión IP (IPTV), dejando porciones de espectro disponibles para uso del DS o US incrementado la tasa de transmisión. Actualmente en Ecuador empresas como SETEL S.A brindan ese servicio, la recomendación sería liberar el espacio de espectro que ocupa la televisión digital.

La Pandemia ha incrementado considerablemente el uso de internet en todo el mundo, las compañías de servicio de internet se han visto obligada a realizar inversiones para poder mantener el servicio vigente. Sin embargo, a pesar del incremento de usuarios, los operadores de redes HFC en Ecuador no han crecido proporcional a la demanda, en las estadísticas de ARCOTEL presenta un incremento de 8.8% anual en usuarios de internet Fijo pero las redes HFC han disminuido en porcentaje de usuarios, comparando el año 2018 con respecto al año 2020.

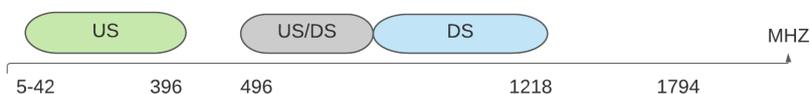
Este documento deja un valioso aporte a empresas ecuatorianas como SETEL y multinacionales como CONECEL, dando un panorama optimista, proponiendo soluciones viables, procesos a seguir y poder mantenerse en el mercado ecuatoriano, superando a otros operadores con distinta tecnología.

El costo de migrar una red DOCSIS 3.0 a 3.1 es un valor aproximado \$ 833,900.00 dólares americanos en Ecuador, si el operador incrementa su tarifa en un 20% que es un valor aproximado de 5 dólares, recupera su inversión en 33 meses aproximadamente, en cambio si es implementación nueva y asumiendo que la Red trabaja a su máxima capacidad el tiempo estimado es de 10 meses sin tomar en cuenta gastos administrativos y operativos para ambos casos.

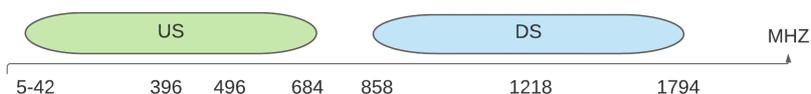
Apéndice o Anexo



Anexo A: Espectro de banda DOCSIS 3.1



Anexo B: Espectro de banda DOCSIS 3.1 FDX



Anexo C: Espectro de Banda DOCSIS 4.0

Anexo D: Tabla de Costos implementar DOCSIS 3.1

DOCSIS 3.1	Equipos	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio de Implementar D3.1
CABECERA	CM/S	HASTA LOS 1200 MHz	1	\$ 250.000,00	\$ 250.000,00
	EDGE QAM	DOCSIS 3.1 A 1200 MHz	1	\$ 3.500,00	\$ 3.500,00
	CONVERTIDOR ELECTRICO	OPTICO- HASTA LOS 1200 MHz	1	\$ 2.300,00	\$ 2.300,00
	TRANSMISOR OPTICO	HASTA LOS 1200 MHz	1	\$ 3.500,00	\$ 3.500,00
	FIBRA OPTICA 6 HILOS XMETRO		100000	\$ 2,27	\$ 227.000,00
DISTRIBUCION	NODO OPTICO	HASTA LOS 1200 MHz	10	\$ 9.000,00	\$ 90.000,00
	FUENTE DE PODER		40	\$ 600,00	\$ 24.000,00
	CABLE 500		24000	\$ 10,00	\$ 240.000,00
	AMPLIFICADOR	HASTA LOS 1200 MHz	30	\$ 2.500,00	\$ 75.000,00
ABONADO	TAPS	HASTA LOS 1200 MHz	640	\$ 200,00	\$ 128.000,00
	CM	PARA DOCSIS 3.1	5120	\$ 55,00	\$ 281.600,00
	CABLE RG6 (20m)		5120	\$ 10,00	\$ 5.120,00
TOTAL					\$ 1.330.020,00

Anexo E: Tabla de Costos emigrar DOCSIS 3.1

DOCSIS 3.1	Equipos	descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio de Migrar D3.0 A D3.1
CABECERA	CM/S	HASTA LOS 1200 MHz	1	\$ 250.000,00	\$ 250.000,00
	EDGE QAM	DOCSIS 3.1 A 1200 MHz	1	\$ 3.500,00	\$ 3.500,00
	CONVERTIDOR ELECTRICO	OPTICO- HASTA LOS 1200 MHz	1	\$ 2.300,00	\$ 2.300,00
	TRANSMISOR OPTICO	HASTA LOS 1200 MHz	1	\$ 3.500,00	\$ 3.500,00
	FIBRA OPTICA 6 HILOS XMETRO		100000	\$ 2,27	
DISTRIBUCION	NODO OPTICO	HASTA LOS 1200 MHz	10	\$ 9.000,00	\$ 90.000,00
	FUENTE DE PODER		40	\$ 600,00	
	CABLE 500		24000	\$ 10,00	
	AMPLIFICADOR	HASTA LOS 1200 MHz	30	\$ 2.500,00	\$ 75.000,00
ABONADO	TAPS	HASTA LOS 1200 MHz	640	\$ 200,00	\$ 128.000,00
	CM	PARA DOCSIS 3.1	5120	\$ 55,00	\$ 281.600,00
	CABLE RG6 (20m)		5120	\$ 10,00	
TOTAL					\$ 833.900,00



Referencias

- [1] miniwatts Marketing Group. *Internet World Penetration Rates by Geographic Regional- 2021*. 2021.
- [2] miniwatts Marketing Group. *Estadísticas de uso del internet en America Latina*. 2019.
- [3] Arcotel. *Servicio de Acceso a Internet, Boletín estadístico*. 2020.
- [4] Joseph Ramón Chang Rizzo, José Adrián Maciéas Zambrano & et al. «Diseño de redes HFC para distribución de señales digitales de televisión». B.S. thesis. Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2013.
- [5] Annabel Del Rocio Macas Macas y Alba Cecilia Bustamante Tipan. «Análisis de la Transmisión de banda ancha en redes Limitaciones Tecnológicas, Revisión de Standares». En: (2015).
- [6] Arcotel. *Servicio de Acceso a Internet, Boletín estadístico*. 2019.
- [7] David Fellows y Doug Jones. «DOCSIS/sup TM/cable modem technology». En: *IEEE communications Magazine* 39.3 (2001), págs. 202-209.
- [8] cablelabs. *DOCSIS 3.1 Pocket Guide*. 2014.
- [9] Lués Armando Moreno Valiño. «Procedimiento para la migración en redes híbridas fibra coaxial al estándar DOCSIS 3.1». Tesis doct. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Facultad de Ingeniería, 2016.
- [10] Arcotel. *Boletín Estadístico 4to trimestre*. 2016.
- [11] Brian Berscheid y Colin Howlett. «Full duplex DOCSIS: Opportunities and challenges». En: *IEEE Communications Magazine* 57.8 (2019), págs. 28-33.
- [12] Doug Jones. *DOCSIS® 4.0 Technology Realizing Multigigabit Symmetric Services*. Fall Technical Forum, 2019.
- [13] Ayham Al-Banna y Tom Cloonan. *DOCSIS 4.0 Network Migration Made Easy*. Fall Technical Forum, 2020.
- [14] Grela Abel Alejandro y Monzón Jorge Emilio. «Data Transfer Rates in HFC Networks». En: *2020 IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON)*. IEEE. 2020, págs. 1-8.
- [15] Gert-Jan Stockman y Werner Coomans. «Fiber to the tap: Pushing coaxial cable networks to their limits». En: *IEEE Communications Magazine* 57.8 (2019), págs. 34-39.
- [16] Miguel Gerardo Quizhpi Mejiéa & et al. «Estudio de factibilidad técnico económico para que operadores de servicios mediante cable modems opten por migrar al estándar docsis 3.1». Tesis de mtría. Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2017.
- [17] Werner Coomans, Hungkei Chow y Jochen Maes. «Introducing full duplex in hybrid fiber coaxial networks». En: *IEEE Communications Standards Magazine* 2.1 (2018), págs. 74-79.
- [18] André Bruno Malatesta de Campos y Romualdo Monteiro de Resende Costa. «Redes HFC e GPON: Vantagens e Desvantagens». En: *Caderno de Estudos em Sistemas de Informação* 5.2 (2019).
- [19] Pradeep S Limaye, Martin J Glapa, Mohamed L El-Sayed y Paul F Gagen. «Impact of bandwidth demand growth on hfc networks». En: *Networks 2008-The 13th International Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium*. IEEE. 2008, págs. 1-10.