

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA IDENTIFICAR
LA FUENTE DE RUIDO EN CANALES ASCENDENTES PARA
UNA RED HYBRID FIBER COAXIAL (HFC) IMPLEMENTADA CON
DOCSIS 3.0”**

TESIS O TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR EL BACHILLER

PATRICIO AVILA, RUBEN

**Villa El Salvador
2018**

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres cuyo apoyo incondicional motiva que pueda cumplir mis metas propuestas.

AGRADECIMIENTO

Me siento enormemente agradecido con mi alma mater la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur y a su plana docente por haberme brindado las herramientas para ser un profesional, un agradecimiento de igual manera a mi asesor Dr. Carlos Mugruza por sus consejos y guía con la cual llegué a concluir este trabajo.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
LISTADO DE FIGURAS	vi
LISTADO DE TABLAS	vii
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1.- Descripción del Problema	2
1.2.- Justificación	4
1.3.- Delimitación del Proyecto	5
1.3.1.- Teórica	5
1.3.2.- Temporal	5
1.3.3.- Espacial.....	5
1.5.-Objetivos.....	5
1.5.1.- Objetivo General.....	5
1.5.2.- Objetivo Específicos	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1.- Antecedentes.....	7
2.2.- Bases teóricas	8
2.2.1.- Estándar DOCSIS	8
2.2.2.- Estructura de la red HFC	9
2.2.3.- Redes CATV.....	12
2.2.4.- Redes CATV vs redes HFC.....	14
2.2.5.- Ruido	15
2.2.6.- BER	15
2.2.7.- MER	16
2.2.8.- Codificador Reed Solomon.....	16
2.2.9.- Cable modem	17
2.3.- Definición de términos básicos	19
2.3.1.- Cable coaxial RF:	19
2.3.2.- CPE:	19
2.3.3.- CMTS	19

2.3.4.- Dirección MAC.....	20
2.3.5.- MTA:.....	20
2.3.6.- RFC	20
2.3.7.- SNMP	21
2.3.8.- IPAM:.....	21
CAPITULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL .	22
3.1.- Modelo de solución propuesto.....	22
3.2.- Resultados	34
CONCLUSIONES	36
RECOMENDACIONES.....	37
BIBLIOGRAFÍA.....	38

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Cabecera de una red HFC (voz – video y datos).....	11
Figura 2: Red troncal de fibra	11
Figura 3: Red de distribución RF.....	12
Figura 4: Red CATV de los años 50	13
Figura 5: Primer planteamiento de Red HFC en los años 90's.....	14
Figura 6: Cable modem Motorola	18
Figura 7: Empalme de cable coaxial.....	24
Figura 8: Tramo dañado de cable coaxial.....	24
Figura 9: MTA de prueba en casa de abonado de prueba	25
Figura 10: Monitor - analizador de espectro nodo de prueba – Pathtrack	26
Figura 11: Test de velocidad de servicio de Internet sin afectación.....	26
Figura 12: Estructura de red HFC.....	27
Figura 13: Principales indicadores de Pathtrack.....	28
Figura 14: Aplicativo web mostrando el analizador QAMTrak	29
Figura 15: Sistema de aprovisionamiento y monitoreo remoto Incognito	29
Figura 16: Sistema de monitoreo XperTrak, plano afectado por ruido.....	30
Figura 17: Sistema XperTrak calculando el MER del nodo.	30
Figura 18: Test de velocidad de Internet de servicio con afectación de ruido.....	31
Figura 19: Diagrama de ejecución del sistema (Fuente: Elaboración propia).....	32

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Conexiones de Acceso a Internet Fijo por Tecnología de Acceso.....	3
Tabla 2: Velocidades máximas por tipo de modulación	9
Tabla 3: Tabla de datos	31
Tabla 4: Data de datos de clientes afectados.....	34

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se basa en el cálculo y análisis del MER (Modulation Error Rate), El MER es la medida de la tasa de error de modulación que hace referencia a la calidad de la señal modulada digitalmente en la transmisión de servicios por la red HFC (Hybrid Fiber coaxial) o red Híbrida-Coaxial bajo el estándar DOCSIS considerando este factor (MER) como principal factor que es alterado por el ruido en la red.

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

En el Perú los primeros sistemas de audio y video por suscripción se da inicio con la empresa Telecable siendo una de las primeras proveedores de servicio de CATV en el país. Actualmente las redes HFC funcionan basadas en la norma DOCSIS, el cual regular los patrones de las redes desde los CM del usuario hasta los CMTS.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.- Descripción del Problema.

Los canales descendentes (Downstream) se encuentran libre de impedimentos severos sin embargo, los canales ascendentes (Upstream) pueden verse afectados por una variedad de deficiencias ya que al ser el cable coaxial un sistema lineal utiliza una arquitectura de árbol o rama dando lugar a que cualquier fuente de ruido en cualquier hogar pueda crear interferencia para el resto de transmisiones de los hogares este efecto de ruido aditivo es llamado “canalización de ruido” (United States Patent No. US201514864610, 2015)

De lo antes mencionado nos lleva a querer resolver la interrogante ¿Cómo hallar origen de la fuente de ruido en canales (Upstream) de una red HFC? Se entiende que este ruido genera pérdida de confiabilidad del enlace ascendente y un ineficiente mantenimiento de la red.

De acuerdo al reporte de las empresas operadoras brindadas a Osiptel actualizada al 02 de mayo del 2018 en tabla 1 muestra que el número de clientes con tecnología de Cable Modem en otras palabras HFC, o en su defecto abonados que tienen

servicio de Internet usando la tecnología DOCCIS aumento de 546,194 a 1,121,269 de diciembre de 2015 a Diciembre de 2017 aproximadamente un crecimiento sostenido de 43.75 % anual, esto demuestra la tendencia al uso de redes HFC en el Peru y la relevancia de esta investigación.

Tabla 1: Conexiones de Acceso a Internet Fijo por Tecnología de Acceso.

Tecnología de Acceso	Velocidad de Transmisión (de bajada)	Dic-15	Dic-16	Dic-17	Mar-18
1) Dial-Up Fijo		459	375	249	45
	Conexiones de Telefonía Fija	459	375	249	45
2) xDSL		1,394,552	1,260,794	1,041,400	945,164
	a) BW < 256Kbps	2	0	0	0
	b) 256 <= BW < 512 kbps	6,169	3,982	2,816	2,656
	c) 512 <= BW < 1024 kbps	270,933	126,622	74,400	59,830
	d) 1024 <= BW < 2048 kbps	517,880	275,409	203,552	157,568
	e) 2048 <= BW < 4096 kbps	473,120	642,974	586,049	472,217
	f) 4 Mbps <= BW < 8 Mbps	90,136	132,913	101,133	89,503
	g) 8 Mbps <= BW < 16 Mbps	35,032	73,564	63,719	59,662
	h) BW >= 16 Mbps	1,280	5,330	9,731	103,728
3) Cablemódem		546,194	785,163	1,121,269	1,220,886
	a) BW < 256Kbps	99	80	66	49
	b) 256 <= BW < 512 kbps	2,198	924	466	432
	c) 512 <= BW < 1024 kbps	31,081	18,991	5,822	4,828
	d) 1024 <= BW < 2048 kbps	146,054	40,356	61,576	77,424
	e) 2048 <= BW < 4096 kbps	260,102	417,724	453,663	483,757
	f) 4 Mbps <= BW < 8 Mbps	54,011	150,687	275,461	266,615
	g) 8 Mbps <= BW < 16 Mbps	40,928	104,861	202,255	208,438
	h) BW >= 16 Mbps	11,721	51,540	121,960	179,343
4) Wimax		42,732	31,682	18,646	17,685
	a) BW < 256Kbps	46	18	11	10
	b) 256 <= BW < 512 kbps	400	266	70	67
	c) 512 <= BW < 1024 kbps	2,392	1,658	478	460
	d) 1024 <= BW < 2048 kbps	37,656	28,090	16,803	15,836
	e) 2048 <= BW < 4096 kbps	2,232	1,645	1,275	1,301
	f) 4 Mbps <= BW < 8 Mbps	6	5	9	11
	g) 8 Mbps <= BW < 16 Mbps	0	0	0	0
	h) BW >= 16 Mbps	0	0	0	0
	No identificada			0	0
5) Otras Tecnologías		9,291	39,495	135,214	159,689
	a) BW < 256Kbps	969	318	303	287
	b) 256 <= BW < 512 kbps	425	243	222	198
	c) 512 <= BW < 1024 kbps	1,463	1,225	1,199	896

d) 1024 <= BW < 2048 kbps	897	13,299	31,582	34,224	
e) 2048 <= BW < 4096 kbps	2,640	17,693	72,011	87,401	
f) 4 Mbps <= BW < 8 Mbps	1,935	3,239	24,109	31,320	
g) 8 Mbps <= BW < 16 Mbps	639	1,360	1,755	1,723	
h) BW >= 16 Mbps	322	1,384	1,871	1,921	
No identificada	1	734	2,162	1,719	
Total, Perú		1,993,228	2,117,509	2,316,778	2,343,469

Nota: Recuperado de la web oficial de OSIPTEL Perú.

1.2.- Justificación

El libre ingreso de competidores en el rubro de telecomunicaciones y la cada vez más alta demanda de servicios, principalmente, de Internet y TV de paga ha generado que los mercados de telecomunicaciones opten por las redes híbridas de fibra coaxial (HFC), esta tecnología se destaca por un alto nivel de penetración, su capacidad escalable y una buena linealidad de canales *dowstream*. (Li, Yong-tao, & Kai-hua, 2010, pág. 1)

De lo expuesto se hace notar la importancia de las redes HFC (Hybrid Fiber-Coaxial) y de mantener la calidad de servicio hacia los clientes. Ya sea mediante software, hardware o combinación de ambos, el sistema de identificación de ruido que se plantea utiliza todas las métricas de calidad de señal que se envían directamente o calculadas en DOCSIS versión 3.0 (Signal to noise ratio (SNR), Bits Error Rate (BER), Potencia de portadoras upstream) para identificar el aumento de ruido en el primer CM afectado y evitar pérdida de calidad de servicio en el resto de clientes conectados al mismo nodo óptico. Todo ruido RF en portadoras Upstream afecta a todo un plano digital (nodo óptico).

1.3.- Delimitación del Proyecto

1.3.1.- Teórica

Todo el proyecto se realiza bajo las normas, especificaciones y requerimientos de DOCSIS versión 3.0 para la transmisión de datos (internet) por una red de cable HFC. Se considerará como origen de ruido al Cable Modem y al segmento de cableado de este hasta el Tap.

1.3.2.- Temporal

El presente proyecto se realiza entre Marzo y Mayo del año 2018

1.3.3.- Espacial

El monitoreo de la red se realiza desde el Headend (cabecera de red) de la empresa ubicada en Villa el Salvador y las pruebas en campo se realizan sobre el servicio de Internet y telefonía de un abonado ubicado en el distrito de San Juan de Miraflores.

1.5.-Objetivos

1.5.1.- Objetivo General

-Reducir el tiempo de afectación por ruido en el servicio de Internet

1.5.2.- Objetivo Específicos

-Establecer la relación entre el MER, calidad de servicio de Internet y ruido en canales Upstream.

-Generar tickets de atención técnica de forma preventiva con prioridades por criticidad

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1.- Antecedentes

En la patente de invención (United States Patent No. US201514864610, 2015) se plantea un sistema que propone aislar e identificar la fuente de ruido Upstream en una red de televisión por cable mediante el monitoreo de CPE (Customer Premise Equipment), el CPE para una red HFC es un equipo Cable Modem capaz de demodular y modular señales QAM también tiene la función de corrección de errores. Este planteamiento sugiere tomar la métrica FEC (Forward Error Correction) como indicador principal de calidad de servicio de un CPE.

En la nota de aplicación (James, 2015) James afirma que la red DOCSIS está preparada para solucionar cualquier falla inesperada de comunicación entre el CM y el CMTS, las métricas de calidad MER (Modulation Error Rate) , BER (bit error rate), CNR (carrier-to-noise ratio) y FEC (Forward Error Correction) se utilizan para evaluar las reacciones de la red DOCSIS con cada incremento de deterioro de ruido.

De lo antes mencionado se establece que el camino para brindar solución al problema planteado en este documento es el análisis y uso de métricas de calidad,

para el presente proyecto se tomará en cuenta únicamente la medición del MER (Modulation Error Ratio).

Otoniel en (Otoniel, 2006) describe la red híbrida de Fibra-Coaxial (HFC) como un tipo de tecnología en la cual tanto el cable de fibra óptica como el cable coaxial son usados en diferentes porciones de la red para transportar contenido de banda ancha entre ellos video, voz y datos. La red HFC implementa la tecnología DOCCIS que permite el acceso al internet usando redes de televisión por cable, siendo así la más rentable y flexible identificada hasta la fecha.

Las debilidades que originalmente presentaba la primigenia red CATV cuando fue adaptada para implementar las redes HFC sobre ellas brindando servicios de banda ancha, multimedia interactiva y video han sido resueltas. Muchas de las principales compañías de televisión por cable (CATV) y operadoras de telefonía alrededor del mundo están utilizando la tecnología HFC o se están proyectando a implementar en un futuro próximo.

2.2.- Bases teóricas

2.2.1.- Estándar DOCSIS

De acuerdo a (Cable labs, 2018), el estándar DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) nos ayuda a definir todas las interfaz de comunicaciones sobre sistemas de cable, nos permite enviar datos a alta velocidad sobre un sistema

de televisión por cable (CATV) existente. Muchos operadores de televisión por cable (cable operadores) como por ejemplo América Móvil Perú, Movistar , Cablemas lo emplean para proporcionar acceso a Internet sobre una infraestructura de red Híbrida de Fibra óptica- Cable coaxial (HFC) existente.

En Perú se tiene las siguientes modulaciones en estándar DOCSIS 3.0, y DoCSIS 2.0, observar tabla 2.

Tabla 2: Velocidades máximas por tipo de modulación

Bajada (downstream) en Mbit/s			Subida (upstream) en Mbit/s			
	64-QAM	256-QAM		QPSK	16-QAM	64-QAM
6 MHz	30.34	42.88	0,2 MHz	0.32	0.64	1.28
8 MHz	40.44	57.2	0,4 MHz	0.64	1.28	1.92
			0,8 MHz	1.28	2.56	3.84
			1,6 MHz	2.56	5.12	7.68
			3,2 MHz	5.12	10.24	15.36
			6,4 MHz	10.24	20.48	30.72

Nota: Extraído de Cable Labs.

Es con las modulaciones digitales de 64 QAM para Upstream y 256-QAM para Downstream hemos establecido nuestra red HFC en donde se llevará a cabo este trabajo de investigación.

2.2.2.- Estructura de la red HFC

La red de telecomunicaciones híbrida de fibra óptica y cable coaxial (HFC) permite la transmisión de video, voz, y datos en banda ancha, (Alba, Annabel del Rocío, & Cesar, 2015)

Las redes HFC son bidireccionales, las tecnologías de a mediados de siglo usaban antenas parabólicas y solo transmitían desde la central o cabecera con dirección a la TV por cables coaxiales. Las tecnologías modernas de hoy como las redes HFC permiten que el usuario también transmita hacia la cabecera lo cual permitió que se pudiera integrar el Internet, la telefonía y la televisión por el mismo medio.

Las redes HFC están compuestas por 4 partes principales Cabecera, red troncal, red de distribución y acometida (Alba, Annabel del Rocío, & Cesar, 2015)

Cabecera.- Es el lugar físico donde se recibe y procesa tanto las señales de cable desde satélites como también la conexión a internet por fibra, la cabecera o Headend es la parte principal de distribución de señales hacia los clientes.

En la cabecera también se monitorean todos los equipos finales CM y se verifica el buen funcionamiento de la red, en la cabecera también se encuentran los servidores principales que le dan acceso al resto de la red híbrida como se observa en la figura

1. Está conformada por:

- Parque de antenas.
- Receptores satelitales.
- Moduladores y demoduladores.
- Codificadores de datos y audio (CMTS)
- Transmisores ópticos.
- Divisores ópticos.

- Receptores ópticos (usados para el retorno de red troncal-cabecera).
- Servidores DHCP, DNS, etc.

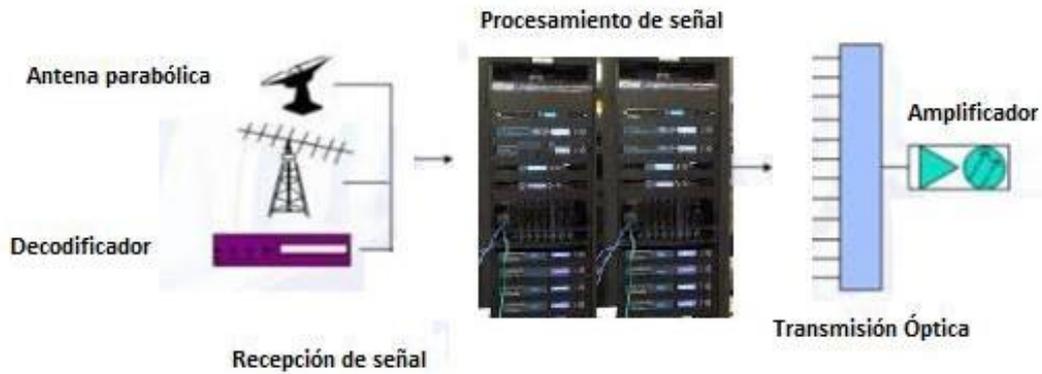


Figura 1: Cabecera de una red HFC (voz – video y datos)

Red troncal.- Es conformada enteramente por fibra y reparte las señales desde cabecera hasta los nodos ópticos principales, la transmisión de Red se conforma por: post amplificadores, transmisores ópticos, divisores ópticos, receptores ópticos ; como se muestra en la figura 2.

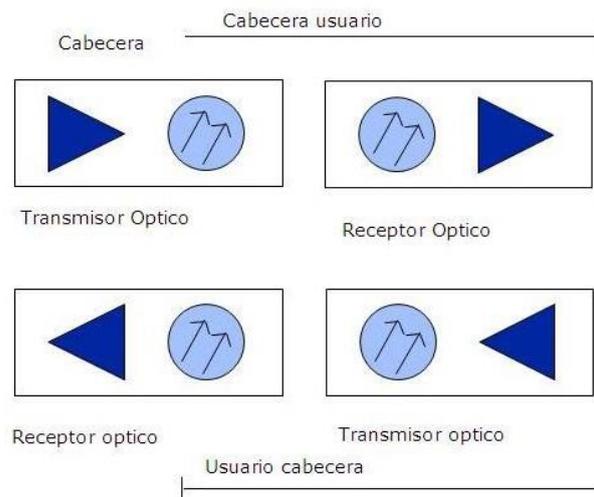


Figura 2: Red troncal de fibra

Red de distribución. – Permite distribuir la señal que viene desde el nodo óptico hasta el Tap que es un elemento pasivo límite entre la red de distribución y acometida, la red de distribución como se muestra en la figura 3 está conformada por:

-Fuentes de poder.

-Cable coaxial 500.

-Splitters o Divisores.- Equipo pasivo capaz de dividir señal RF

-Acopladores.

-Taps.- Equipo pasivo desde donde se conecta por cable coaxial de tipo RG6 el abonado.

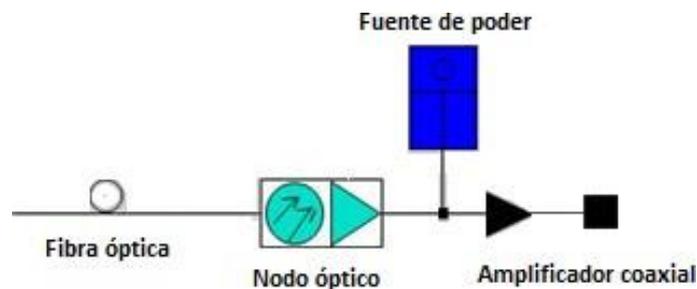


Figura 3: Red de distribución RF.

Acometida.- Es el último tramo de la red HFC esta se conecta desde un borne libre en el Tap hasta la casa del abonado. La forma que se comunican el CMTS desde la cabecera, pasando por la red troncal y la red de distribución y el Cable Modem es mediante el estándar de comunicación DOCCIS.

2.2.3.- Redes CATV

La televisión por cable o CATV (Community Antenna Television), usualmente llamada en nuestro país como Cable, es un servicio de televisión por suscripción que inicio a mediados de siglo XX, brinda señal de RF mediante cable coaxial. La infraestructura para la distribución de señales de TV empieza de una antena común receptora del

satélite, la señal es decodificada en la Cabecera desde donde se distribuye la señal analógica desde el origen hasta los usuarios finales por medio de amplificadores como se observa en la figura 4. Usando esta misma infraestructura coaxial para principalmente ahorrar costos es que se implementa en años posteriores las redes HFC.

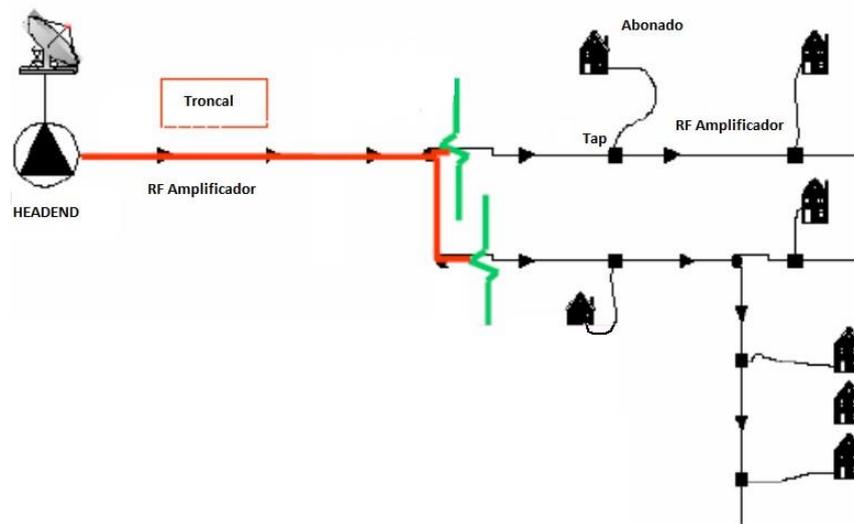


Figura 4: Red CATV de los años 50

Este tipo de redes brindaban una alternativa a la radiodifusión de señal de Tv para aquellas zonas alejadas de las capitales y con una geografía irregular.

Ya en los años 80's y 90's surge otros servicios adicionales a la TV, radio, telefonía, TV digital, datos y surgen las primeras redes HFC como una evolución de las redes CATV existentes.

Los principales cambios se ilustran en la figura 5:

- El primer segmento de cable coaxial es sustituido por fibra óptica
- El último tramo de la red se mantiene con cable coaxial, pues su sustitución por fibra óptica no es económicamente viable
- Fibra óptica integra los servicios de TV, telefonía y datos

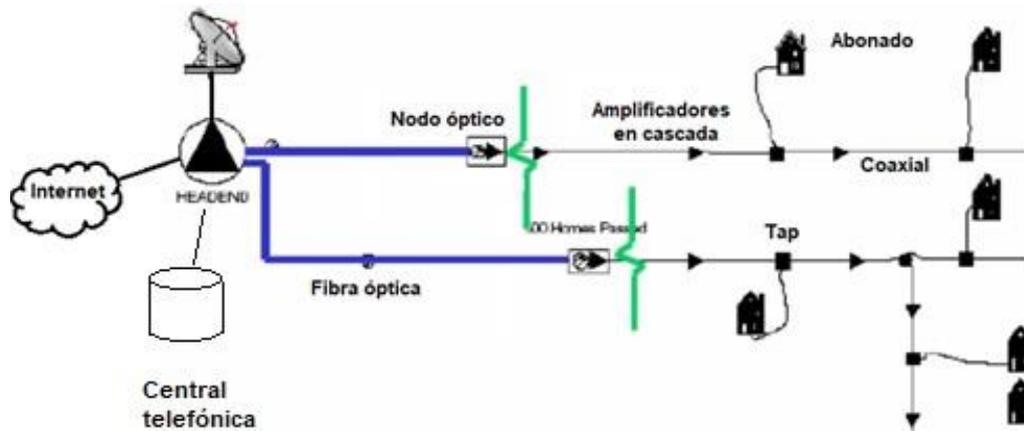


Figura 5: Primer planteamiento de Red HFC en los años 90's

2.2.4.- Redes CATV vs redes HFC

Dentro de las principales diferencias existe:

- Las redes CATV no son robustas a fallos en la red. La topología en árbol no es redundante, mientras que las redes HFC basan su topología en anillos redundantes
- Las redes CATV son ineficientes para grandes poblaciones ya que cuenta con mayor atenuación de la señal en el cable coaxial y cuenta con un elevado número de amplificadores.
- Las redes CATV sólo implementan canal descendente del Headend al abonado, las redes HFC reservan ancho de banda para la transmisión de información desde el usuario hacia la red (canal ascendente)
- Redes CATV completamente analógicas mientras que las actuales redes HFC son enteramente digitales.

2.2.5.- Ruido

Para este trabajo se considera como ruido a todo factor que tiende a desmejorar la calidad de señal que se transmite, las principales fuentes de ruido son emisoras de radio de onda corta, emisoras FM, radioaficionados, también elementos del hogar como los electrodomésticos y las líneas de corriente eléctrica comercial.

A partir de esto se deduce que las redes HFC son afectadas por fuentes externas que podemos encontrar en nuestras viviendas, debido a esto el diseño de las redes HFC debe ser muy elaborado y se debe monitorear el ruido, ya que en la práctica es difícil eliminarlo por completo. (Hena, 2018)

2.2.6.- BER

En (CableLabs, 2018) se define al BER como la relación de bits con errores al número total de bits transmitidos, recibidos o procesados durante un período definido de tiempo. Matemáticamente, a menudo se usa la siguiente ecuación (1) para describir el BER:

$$BER = \frac{\text{número de bits errados}}{\text{número total de bits}} \quad (1)$$

En un analizador QAM típico, la BER pre-FEC (corrección de error de reenvío) se calcula después del decodificador Trellis, descifrador (desmarcador) y desintercalador, pero antes de la decodificación Reed Solomon (RS).

Pre-FEC BER indica la BER estimada antes de que FEC intente corregir bits con errores, y la BER posterior a la FEC es la BER estimada después de que la FEC corrige tantos bits errados como sea posible.

2.2.7.- MER

El MER (Modulation Error Rate), es un factor numérico que nos informa la exactitud de una constelación digital modulada, para el caso de este trabajo se considera una constelación 64 QAM.

Analíticamente, para el caso de expresar el MER en decibelios se puede hallar como:

$$MER (dB) = 10. \log_{10} \left(\frac{P_{signal}}{P_{error}} \right) (2)$$

Donde P error es error cuadrático medio y P signal es el valor cuadrático medio de la señal transmitida.

Expresado en vectores se entiende el MER como vector error de Modulación calculado como vector Símbolo transmitido menos el vector de símbolo recibido

2.2.8.- Codificador Reed Solomon

El código Reed – Solomon fue inventado por Irving S.Reed y Gustave Solomon en el año 1960, este código se usa en diferentes áreas como telefonía móvil, sondas espaciales y por supuesto redes implementadas con DOCSIS. El código Reed-Solomon es cíclico y no binario. Los códigos cíclicos son una subclase de los códigos de bloque estándar de detección y corrección de errores que protege la información contra errores en los datos transmitidos sobre un canal de comunicaciones. Este tipo

de código pertenece a la categoría FEC (Forward Error Correction), es decir corrige los datos alterados en el receptor y para ello utiliza unos bits adicionales que permiten esta recuperación.

Cuando los datos se transmiten y llegan al receptor hay dos posibilidades:

1. Que la palabra que se recibe sea una palabra de código válido, es decir sin errores de bits.

2. Que la palabra que se recibe no sea un código válido, en cuyo caso hay dos posibilidades:

-El receptor puede recrear el bloque original (código autocorrector).

-El receptor puede pedir que se transmita el bloque (código de autochequeo).

El codificador Reed-Solomon toma un bloque de información digital y añade bits redundantes los errores en los bits de transmisión pueden ocurrir durante la transmisión o almacenamiento de información por varios motivos entre ellos el Ruido o interferencia que es motivo que originó el presente trabajo.

2.2.9.- Cable modem

Un cable módem es un dispositivo de hardware que permite que los computadores o cualquier otro medio de uso de Internet como (*televisores, Xbox, PlaySatation, Smarthphone*) se comuniquen con un proveedor de servicios de Internet a través de una conexión de línea terrestre, esta conexión de línea en nuestro caso es el cable coaxial. El cable módem convierte una señal analógica en una señal digital con el fin de garantizar el acceso a Internet de banda ancha. Un cable módem funciona

conectando un cable coaxial a un enchufe en la pared y luego un cable Cat5 (Ethernet) desde el módem a una computadora o un enrutador de red. Los enrutadores de red se utilizan para compartir su conexión de Internet entre varias computadoras.



Figura 6: Cable modem Motorola

La figura 6 es un ejemplo de un módem de cable tradicional de Motorola, también hay módems que tienen un módem y un enrutador integrados en una sola caja. Si su módem solo tiene una conexión de cable coaxial y una conexión Cat5, su módem es un módem independiente y necesita un enrutador para compartir la conexión. (computerhope, 2018)

Cable modem ofrece un aumento de velocidad significativo en el rendimiento de Internet en comparación con una conexión de acceso telefónico y es una de las soluciones de banda ancha más rápidas. Movistar y América Móvil del Perú SAC son ejemplos de proveedores de Internet por cable en Perú.

2.3.- Definición de términos básicos

2.3.1.- Cable coaxial RF:

El cable coaxial, es un cable empleado para conducir señales de frecuencia elevada (en el orden de los mega Hertz), estructuralmente cuenta con dos conductores concéntricos, el núcleo y la malla. El núcleo es el encargado de transportar la información en el caso de HFC transporta la portadora; y la malla nos sirve de tierra y retorno de corriente. Entre el núcleo y la malla existe un material aislante cuya calidad depende del tipo de coaxial.

2.3.2.- CPE:

El CPE (Equipo Local del Cliente) es un término que se usa para denotar al equipo electrónico que es usado para enrutar o finalizar una comunicación, este equipo puede brindar una comunión de servicios que incluye Internet, telefonía y cable en este trabajo se usa para para hacer referencia al equipo cable modem.

2.3.3.- CMTS:

CMTS o (Sistema de Terminación de Cable módems), es un equipo electrónico que consta de Tarjetas al requerir un sistema de enfriamiento se ubica en la cabecera de la red, este equipo es capaz de brindar servicios de internet de banda ancha hacia los abonados, el CMTS realiza una comunicación directa con los equipo cable modem.

Un CMTS permite a la computadora del abonado tener una dirección IP brindado por un servidor DHCP, aparte de la IP, también suele asignar la puerta de enlace, servidores DNS, etc., en otra palabras aprovisiona a los Cable Modem.

2.3.4.- Dirección MAC:

La dirección MAC o Medio de Control de Acceso es un identificador hexadecimal cuyo tamaño es de 48 bits que identifica a una tarjeta o dispositivo de red. Se la conoce también como dirección física, y es única para cada dispositivo.

2.3.5.- MTA:

El equipo MTA o Adaptador de terminal multimedia hace referencia al equipo electrónico capaz de demodular y modular las señales RF. En el presente trabajo también se hace referencia a este equipo como Cable Modem (CM).

2.3.6.- RFC:

Las RFC son un conjunto de documentos que sirven de referencia para establecer las nuevas tecnologías y estándares, estos documentos sirven de discusión en la comunidad científica con temas relacionados con Internet y las redes en general.

Los RFC son numerados son puesto en obsolescencia ante la publicación de un nuevo documento RFC.

2.3.7.- SNMP:

SNMP o Protocolo simple de administración de red es un protocolo de la capa de aplicación que administra la información entre dispositivos de una red. Los equipos que admiten SNMP incluyen servidores, computadoras, impresoras, etc. SNMP nos una herramienta para revisar el funcionamiento y resolver problemas desde una terminal o plataforma de monitoreo.

2.3.8.- IPAM:

IPAM es un Sistema de monitoreo por IP, es una solución que permite, entre otras cosas gestionar las direcciones IP disponibles de cada operador, nos ayuda a identificar en que segmento de red están configuradas cada una y hacer la planificación respectiva para economizar el rango de Ips disponibles tanto en IPv4 como en IPv6.

CAPITULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

3.1.- Modelo de solución propuesto

El lugar de ejecución del proyecto se realizó sobre la red HFC de una empresa ideal llamada CableTel.SAC implementada en el distrito de San Juan de Miraflores en el nodo LMSJ001 (Lima, San Juan de Miraflores #1), parte del proyecto se monitoreó desde el Hub San Juan 1 y desde la cabecera de red ubicada en Villa el Salvador.

Se emplearán los recursos de monitoreo de red como ASSURANCE, PACHTRACK y plataforma de aprovisionamiento INCOGNITO para ejemplificar la forma en que operaría el sistema propuesto. Se usará también un Cable Módem DOCCIS 3.0 CMAC modelo Arris aprovisionado y con servicio real conectado a un Nodo óptico en San Juan de Miraflores.

Comprendiendo la forma de comunicación entre el Cable modem (CM) y el Cable Modem Terminal Sistem (CMTS) en capítulos anteriores ejemplificaré el escenario induciendo ruido en un Cable Modem o CPE con servicio y monitoreando la inducción de ruido generado por conectores RG6 flojos o mal ponchados, rotura de chaqueta

y/o blindaje de aluminio de coaxial RG6, splitter sulfatado u oxidado en donde el sistema planteado identificará la CMAC del Cable modem por el cual se introduce el ruido.

El sistema planteado busca gestionar eficientemente las atenciones de mantenimiento preventivo de la red HFC reduciendo el tiempo de afectación hacia el abonado.

Los elementos introducidos se colocaron individualmente y controladamente en horario nocturno de 0 a 6 am, con el fin de no impactar sobre servicio de vecinos en el mismo Nodo ya que se afectó en algún caso severamente la calidad de Servicio principalmente de Internet.

Se usa un empalme para coaxial RG6 tal como se muestra en la figura 7, para unir la acometida del cliente con nuestro cable coaxial dañado y con conectores flojos ver figura 8.



Figura 7: Empalme de cable coaxial



Figura 8: Tramo dañado de cable coaxial

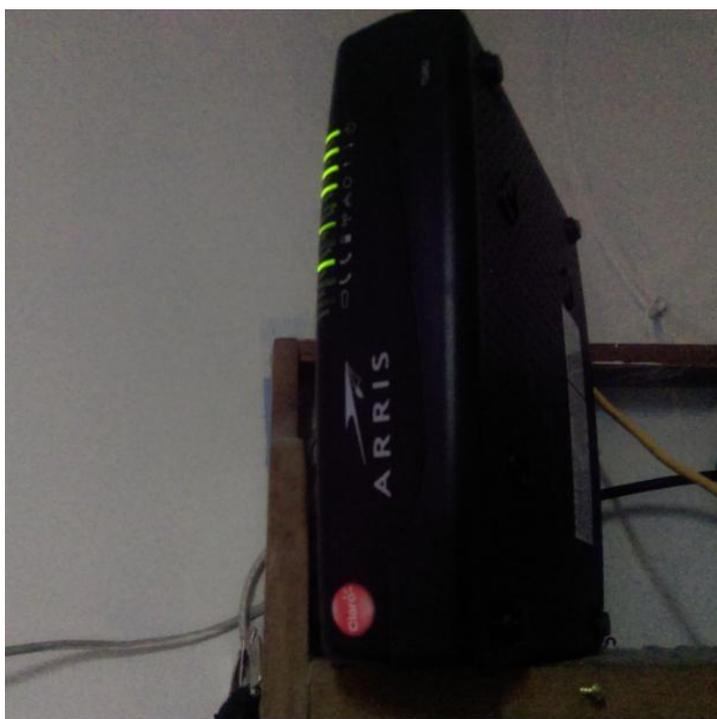


Figura 9: MTA de prueba en casa de abonado de prueba

Una vez hecho el empalme se realizó la conexión del equipo de prueba Figura 9 y volvemos a monitorear la afectación del ingreso de ruido a nuestra red.

Se monitorea los niveles de potencia del MTA (Media Terminal Adapter) así como también el espectro de frecuencias de todo el nodo al cual pertenece nuestro CM de prueba.

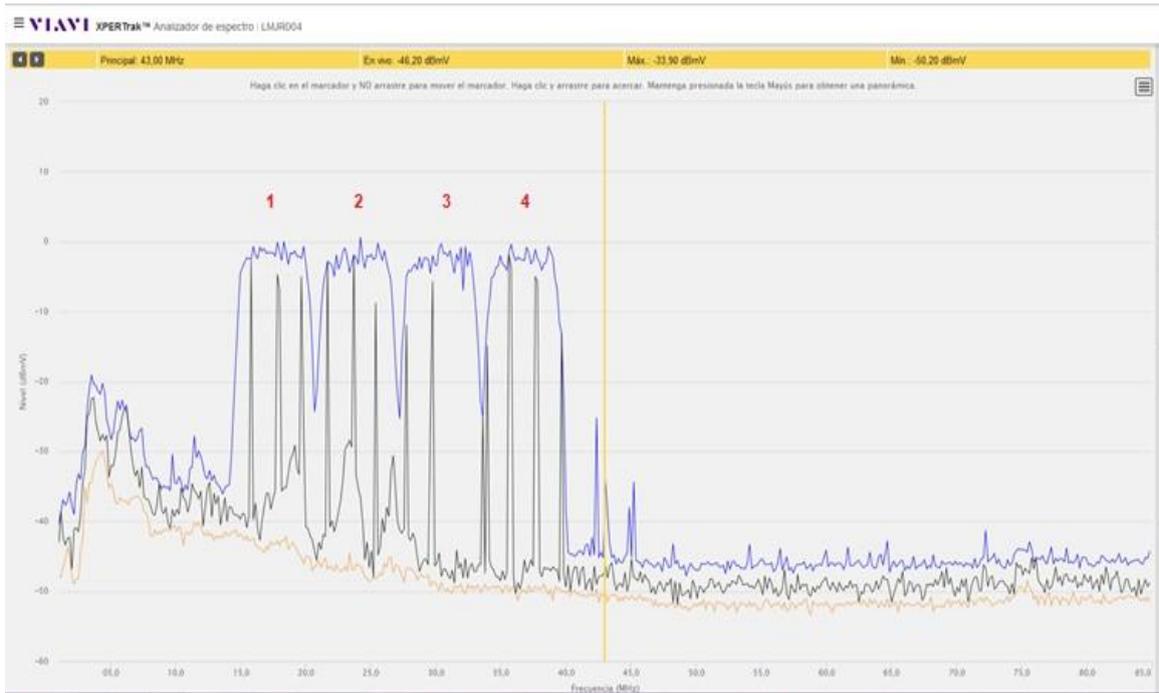


Figura 10: Monitor - analizador de espectro nodo de prueba – Pathtrack

Como se observa en la figura 10, para el nodo se tiene 4 portadoras de 6 MHz de ancho estas portadoras pertenecen a canales Upstream que en otras palabras es información que viaja del CM hacia el CMTS, los canales Upstream son los principales afectados por ruido en nuestra red.



Figura 11: Test de velocidad de servicio de Internet sin afectación

En la figura 10 se tiene graficado la señal modulada en QAM en (dBmV vs f) muestra la existencia de un piso de ruido en -45dbmV, el de color azul pertenece al registro más alto analizado y el color naranja al registro más bajo, la gráfica de color negro varía entre las dos gráficas antes mencionadas y establece nuevos límites de ser el caso. Para el presente trabajo tomaremos como referencia la gráfica de color azul en donde se visualiza claramente cada una de las 4 crestas de cada portadora.

Se realiza un test de velocidad como se muestra en la Figura 11 con la web <http://www.speedtest.net/es> obteniendo un resultado favorable ya que el servicio contratado del CM evaluado es de 10 Mbp, se tiene en cuenta que la descripción de “Carga” en la figura 11 hace referencia a la velocidad de subida (Upstream) en otras palabras aquella transferencia de datos del CM en dirección al CMTS ,

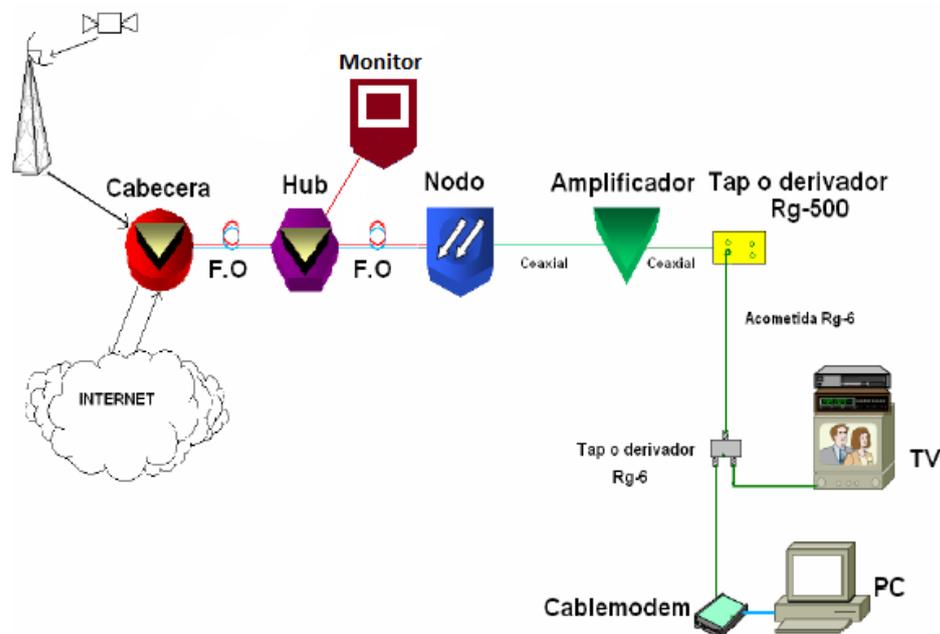


Figura 12: Estructura de red HFC

Se muestra en la figura 12 la posición del Monitor de espectro (Pathtrack) físicamente dentro de cada Cabecera, este monitor es el equipo HCU1500 de la marca JDSU / VIAVI este recibe una réplica exacta de la señal que recibe el CMTS en la etapa combinatoria.

El HCU1500 brinda un cálculo de MER y MER no ecualizado entre otros indicadores en la página de análisis QAM tal y como se puede observar en la figura 13 y figura 14; este primer análisis de las pruebas en campo nos muestra que el Nodo de prueba se encuentra dentro de los parámetros de calidad de servicio MER (30 – 40 dB).

El cálculo del MER ya se encuentra calculado por el PathTRAK por lo que recopilar este dato ya calculado y usarlo en nuestro sistema nos ahorra recursos de procesamiento.

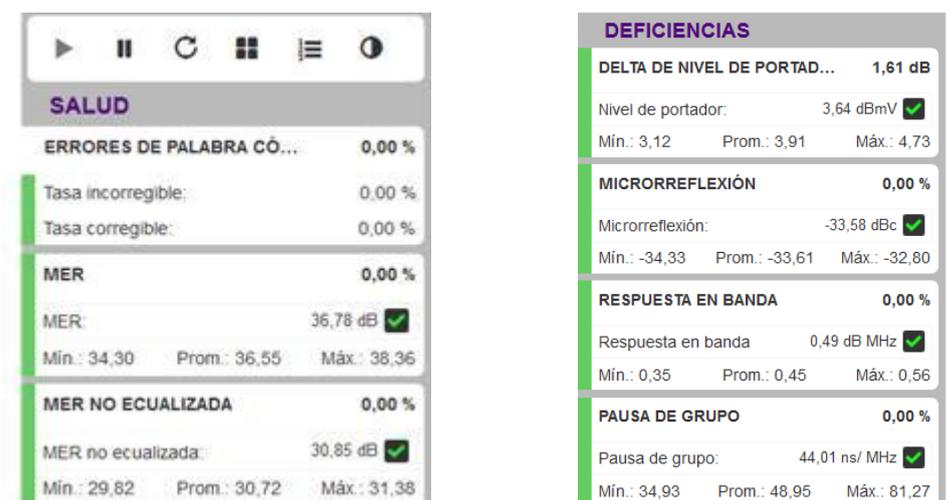


Figura 13: Principales indicadores de Pathtrack

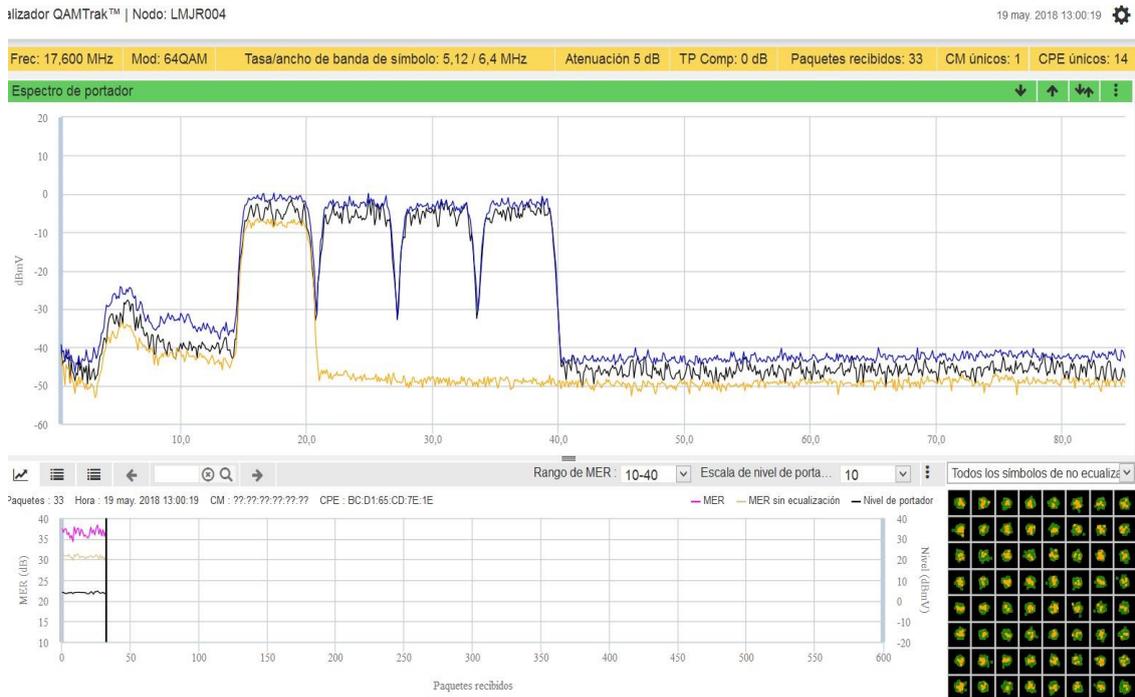


Figura 14: Aplicativo web mostrando el analizador QAMTrak

Posteriormente se monitorea los niveles de potencia de canales *Upstream* y *Dowstream*.



Figura 15: Sistema de aprovisionamiento y monitoreo remoto Incognito

En la figura 15 se observa el sistema Incognito como una solución IPAM (IP Address Commander), que administra, monitorea y configura los CM y SetBox de una red HFC.

La afectación generada en el nodo por cable averiado y conectores desajustados se muestra en la figura 16 y figura 17 en donde el MER se ve afectado en el cable modem de prueba.

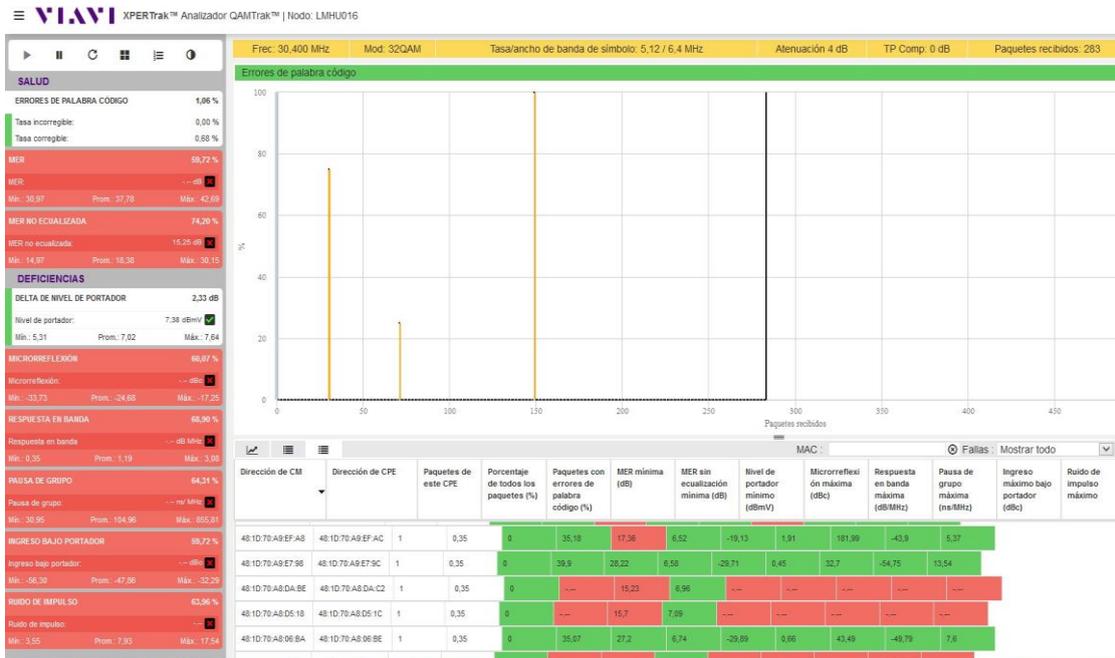


Figura 16: Sistema de monitoreo XperTrak, plano afectado por ruido.



Figura 17: Sistema XperTrak calculando el MER del nodo.



Figura 18: Test de velocidad de Internet de servicio con afectación de ruido

En la figura 18 se observa el test de velocidad del servicio de Internet de 10 Mbps afectado con ruido cuyo MER del CM se calculó en promedio como 27.78 dBm, se observa que la velocidad de carga es 0.35 Mbps mucho menor que 1.57 Mbps calculado en la figura 11.

El sistema (aplicativo web) identifica cada CM y obtiene información de monitoreo como parte del monitoreo continuo y recepción de mensajes SNMP de todos los cables modem y genera una tabla de datos como se muestra en la Tabla 4. También genera un histórico con CM que superaron los límites establecidos previamente.

Tabla 3: Tabla de datos

MAC Address	PRE-EQ – 36.5 MHz Cascade Depth	CH BW RXPwr(dBmV)	= EQ-MER(dB)	6.4 MHz
0011.aeff.f9c2	N + 2	5.3		35.1
0011.aeff.f9dc	N + 3	4.9		35.1
0012.2503.52ba	N + 4	4.6		34.8
0012.c90b.366a	N + 3	4.9		34.8
0012.c90f.b61c	N + 2	4.8		35.1
0012.c9f6.e030	N + 1	5.0		35.3

Nota: Los datos fueron tomados de un muestreo tomado por el aplicativo web Path rack

El aplicativo web que ejecuta el sistema planteado se desarrolla sobre una plataforma HTML con este sistema en ejecución los técnicos de mantenimiento podrán dirigirse directamente al origen del problema y atender tickets de atención de Mantenimientos correctivos en la red HFC que el sistema alertará.

Los tickets de atención para este caso serán SOTs (Solicitudes de órdenes de Trabajo) que serán ejecutados por Contratistas como Mantenimientos Preventivos en la red HFC. La SOT puede estar asociada a un cliente único o a varios clientes.

Se observa el flujo de los procesos a seguir en la figura 19 desde la identificación de ruido hasta su solución, el sistema solicitará a cada CM de la red sus niveles de Potencia TX y RX para luego calcular el MER, en otras palabras se obtendrá un registro cada 15 min del nivel MER de cada CM de la red.

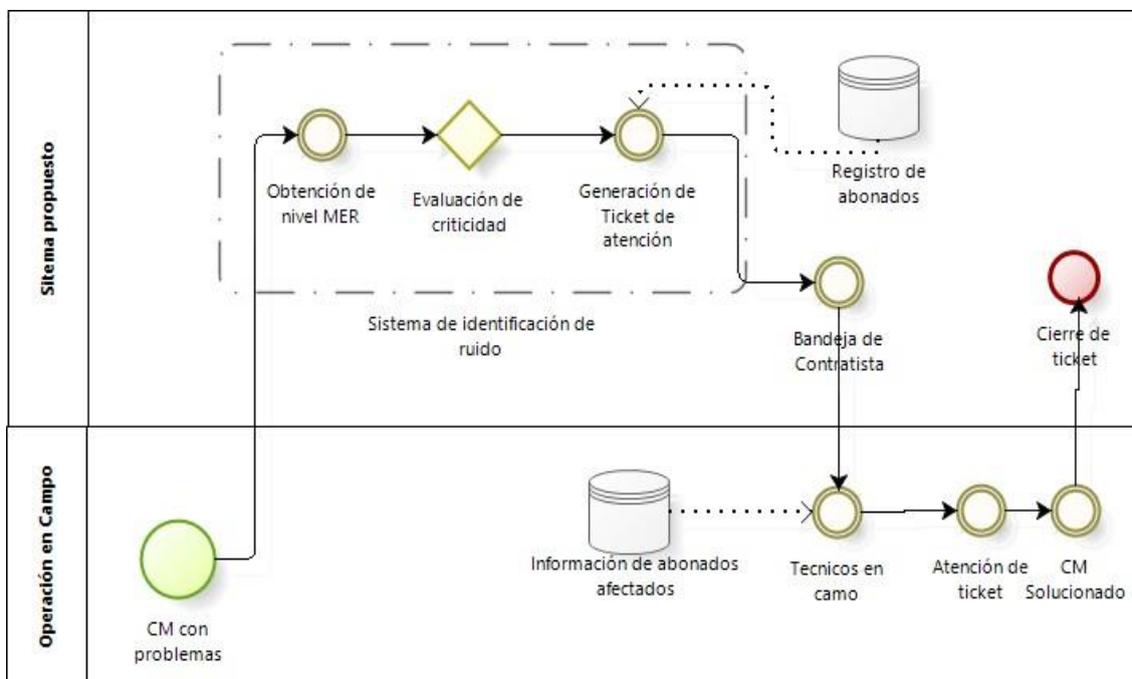


Figura 19: Diagrama de ejecución del sistema (Fuente: Elaboración propia).

El proceso inicia con un CM afectado por ruido como se muestra en la figura 17, el sistema planteado que constantemente monitorea todos los CM cada 15 min identifica y evalúa su criticidad de la afectación nuestro sistema planteado obtiene la información del cliente asociado al CM como se muestra en la Tabla 3.

Con la información del abonado se genera un *ticket* de atención que es atendido por las contratistas de Mantenimiento de red HFC, la contratista obtiene los números de contacto del cliente y su dirección y acuerda una visita técnica. Posterior a la visita y con validación del cliente se debe proceder al cierre del ticket generado a la atención estimado en 12h desde detectada la afectación.

De esta forma se obtiene como máximo de un *ticket* por cada abonado afectado, ticket a trabajar por los técnicos en campo que cuenta con la información necesaria para el desplazamiento de los técnicos.

El sistema muestrea cada CM conectado en la red cada 15 min y evalúa si el MER se encuentra dentro del rango de (40 a 50 dBm), sistema también establece un sistema de prioridad de 1 al 7, de acuerdo a los siguientes parámetros

Criticidad 7: > 80% de los Ticket con observaciones

Criticidad 5: 50-80 % de los Ticket con observaciones

Criticidad 3: 20-50 % de los Ticket con observaciones

Criticidad 1: <20% de los Ticket con observaciones

De acuerdo a esta criticidad es que las contratistas al tener varios tickets generados para la atención prioricen las más críticas.

3.2.- Resultados

De la aplicación del sistema planteado obtenemos la siguiente información en la siguiente tabla perteneciente a 6 abonados afectados del plano LMSJ001.

Tabla 4: Data de datos de clientes afectados

SOT	Criticidad	Fecha Primer registro	Hora	Fecha Último registro	Hora ultimo registro	N° de Registros	%	FIRST_NAME	LAST_NAME
19372886	1	10/06/2018	16:42:43	16/06/2018	08:10:30	10	10	ANA MARIA	LUCHO SALVADOR
19372887	7	10/06/2018	16:40:55	16/06/2018	12:10:30	20	80	GLADYS CELESTINA	AZURIN DIAZ
19372888	7	10/06/2018	15:27:33	16/06/2018	08:10:30	2	50	JUDITH	REYES OBREGON
19372889	3	10/06/2018	15:15:00	14/06/2018	13:10:30	54	20	ALBERTI	ALEJANDRO MORA
19372890	3	10/06/2018	14:20:45	14/06/2018	08:10:30	32	30	CLIENTE	CLIENTE
19372891	1	10/06/2018	14:18:28	16/06/2018	15:10:30	10	10	CANDY	HINOJOSA CHUMPITAZ

PHONE	PROBLEMA	codcli_cliente_sisact	PLANO	MAC	MER	DIRECCION
H19810690	ENLACE LENTO	2369398	LMSJ001	FC:52:8D:67:E7:5D	35.8	CA BELLAVISTA 212 CRUCE CON LA PALMA CASA 1 PISO COLOR AMARRILLO CON MARRON 3RA DE CALLE LA PALMA ALCOSTADO DE
H14890479	ENLACE LENTO	1727440	LMSJ001	34:BD:FA:BD:05:50	30.2	CA LOS LAURELES 293 7 PISO 1 ENTRE LA AV. BELLAVISTA Y LA AV. SAN MARTÍN
H18648864	ENLACE LENTO	2301234	LMSJ001	48:1D:70:9F:0D:1A	38.1	SANTA ROSA 796 CINCUENT POR PLAZUELA CINCUENTENARIO
H23355310	ENLACE LENTO	2499169	LMSJ001	E8:3E:FC:C8:1F:62	34	PRLOG JOSE OYALA 214 JOSE CEMENTERIO AL COSTADO DEL CEMENTERIO
H29802020	ENLACE LENTO	2342565	LMSJ001	A4:15:88:A0:F0:02	34.5	JR CAJAMARCA 3889 PERU - ALT DE LA CDR 38 DE LA AV PERU - ALT DE LA AV HUARAZ
H19301211	ENLACE LENTO	2337575	LMSJ001	AC:EC:80:E6:09:E2	36.1	PSJE SAN MARTIN LADO NORTE 292 . PISO 1 - A 20 METROS AV BELLAVISTA

Nota: Datos extraídos del monitoreo de Cable Modem

En la tabla 3 se observa el caso de 6 abonados con CM con MER fuera del rango estipulado de (40 – 50 dBm) además de encontrar esta misma recomendación brindada por Cable Labs (Cable labs, 2018).

En estos primeros planteamientos del sistema que puede estar sujeto a ajustes se considera crítico a abonados que presenten en el día más de 80 % de los muestreos de MER fuera del rango establecido, el tiempo de generación de ticket bajo este sistema es de 15 min, luego de estos 15 min la contratista encargada de realizar órdenes de Mantenimiento recibe en su bandeja de SGA la información del mantenimiento a realizar y acuerda por llamada telefónica con el abonado una visita

técnica para solución del problema, si el abonado indica no tener problemas con el servicio o no acepta la visita se deberá cerrar dicho ticket con grabación de audio de la llamada telefónica.

Se establece la relación práctica entre los niveles óptimos del MER (30 – 40 dBm) con la velocidad de transferencia de datos y por lo tanto en la evidencia sensible hacia el cliente de pérdida de calidad de Servicio.

En comparación al sistema tradicional de atención de mantenimientos por ruido en clientes que se genera cuando el abonado reporta un problema, se acerca a un CAC (Centro de Atención al Cliente) y el asesor que lo atiende genera una Solicitud de Orden de Servicio (SOT) con la descripción del problema para que se programe una visita técnica a su domicilio. El asesor no tiene forma de identificar qué tipo de problema tiene el abonado por lo que los supuestos problemas que indica el cliente afectado puede estar asociado a otros temas como, equipos desconfigurados o desconectados de la red coaxial; el tiempo de atención de esta flujo es en promedio 24 a 72h una vez creada la SOT.

CONCLUSIONES

-El sistema planteado identifica la MAC del Cable Modem con problemas de ruido y obtiene de la base de datos registrados de cada Operador de Telecomunicaciones toda la información de clientes necesaria para generar un ticket de atención de forma automática que será procesado en 15 min.

-Con la aplicación del sistema planteado se evaluó y clasificó el MER de cada CM logrando generar un registro acumulado de aquellos CM que no cumplen con los estándares de calidad estipulados en cuanto al MER de (30 a 40 dB)

RECOMENDACIONES

En base a las conclusiones se plantean como recomendación que los operadores de red HFC en el Perú mantienen aún un gran problema de afectación por ruido proveniente de la parte coaxial de la red, la mayoría de estos inconvenientes se eliminaría migrando la totalidad de nuestra red a Fibra óptica desde el CMTS hasta el CM.

Para zonas aisladas o rurales, donde es necesario tener un mayor alcance y la demanda no exige elevadas velocidades de Internet mayores a 200 Mbs conviene extender el uso de tecnología HFC por sus características de distribución y segmentación.

Es conveniente de las operadoras del Perú dueñas de red HFC mantengan actualizada la versión de DOCSIS para tener los beneficios de los incrementos de las velocidades de transmisión de datos.

Es importante que se Audite las instalaciones y mantenimientos de la red Hfc realizado por los técnicos ya que las principales fuentes de ruido se encuentran al interior de la residencia.

BIBLIOGRAFÍA

- Alba, B. T., Annabel del Rocío, M., & Cesar, Y. F. (2015). *Análisis de la transmisión de banda ancha en redes HFC: LIMITACIONES TECNOLÓGICAS, REVISIÓN DE STÁNDARES*. Guayaquil: Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC).
- Cable labs. (12 de Abril de 2018). *Cable labs*. Obtenido de Cable labs:
<https://apps.cablelabs.com/specification/>
- CableLabs. (10 de Julio de 2018). *CableLabs*. Obtenido de CableLabs:
<https://apps.cablelabs.com/specification/CM-SP-PHYv3.0>
- Cisco Systems, Inc. (10 de Abril de 2018). *Cisco*. Obtenido de Cisco:
<https://www.cisco.com/>
- computerhope. (14 de Abril de 2018). *computerhope*. Obtenido de computerhope:
<https://www.computerhope.com/jargon/c/cablemod.htm>
- Henao, J. S. (27 de Junio de 2018). *Fuentes de ruido Redes HFC*. Obtenido de tecnologia: https://www.tecnologia.technology/wp-content/uploads/2010/06/Fuentes_ruido_redes_HFC.pdf
- James, L. (16 de Abril de 2015). *Adding Analog Noises to the DOCSIS 3. Cable Network*. Nueva Jersey: Wireles Telecom Groups. Obtenido de Noisecom:
<http://noisecom.com/~media/Noisecom/Application%20Notes/DOCSIS.ashx>
- Juarez, J. E. (2012). *Codificador Reed - Solomon en software*. Mexico D.F: Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Profesional Adolfo Lopez Mateos.
- Li, Z., Yong-tao, M., & Kai-hua, L. (2010). Research of the noise characteristic on the upstream channel for HFC network. *Signal Processing Systems (ICSPS), 2010 2nd International Conference on* (pág. 5). Dailan , China: School of Electronic Information Engineering.
- Otoniel, P. (2006). *ANÁLISIS DE RUIDO EN LA SEÑAL TRANSMITIDA EN UN*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Williams, T., & Hunter, D. (2015, Septiembre 24). *United States Patent No. US201514864610*.
- LINK web - <https://www.osiptel.gob.pe/documentos/5-indicadores-de-internet-fijo> LINK web - [https://msdn.microsoft.com/es-es/library/hh831353\(v=ws.11\).aspx](https://msdn.microsoft.com/es-es/library/hh831353(v=ws.11).aspx)