



**FACULTAD
DE INGENIERIA**

Universidad de Buenos Aires

**EGRIET – Posgrado de Servicios y Redes de
Telecomunicaciones**

Trabajo Final Integrador

Monitoreo de redes HFC

Tutor:

Ms. Ing. Leandro Santi

Alumno:

Ing. Matías Sebastián Stahl
stahlmatias@gmail.com

Diciembre 2014

Resumen

Este documento describe las diferentes métricas que se obtienen de los coeficientes de pre ecualización de los cable módems (CM) conectados en una red HFC HFC y se indica como se pueden utilizar para lograr un mantenimiento proactivo de la red.

El foco del trabajo está dado en la red HFC de la compañía Cablevisión S.A. Se brinda una descripción de alto nivel de la misma sin entrar en detalles muy específicos.

Finalmente se presenta el código desarrollado para implementar una herramienta utilizando la información de los coeficientes obtenida vía SNMP (Simple Network Management Protocol) y se muestra un caso de uso en campo.

Índice

1. Introducción	2
2. Marco teórico	2
2.1. Distorsiones lineales	2
2.1.1. Microreflexiones	2
2.1.2. Retardo de grupo	2
2.1.3. Distorsión de amplitud	3
2.2. Pre ecualización en DOCSIS	3
2.2.1. Limitaciones de la pre ecualización en DOCSIS	4
2.3. Coeficientes de pre ecualización	4
2.4. Formato y normalización de los coeficientes	5
2.5. Principales métricas	5
2.5.1. Adaptive Equalizer Main Tap Energy (MTE)	5
2.5.2. Pre-Main Tap Energy (PreMTE)	6
2.5.3. Post-Main Tap Energy (PostMTE)	6
2.5.4. Total Tap Energy (TTE)	6
2.5.5. Main Tap Compression (MTC)	6
2.5.6. Non-Main Tap to Total Energy Ratio (NMTER)	6
2.5.7. Pre-Main Tap to Total Energy Ratio (PreMTTER)	6
2.5.8. Post-Main Tap to Total Energy Ratio (PostMTTER)	7
2.5.9. Pre-Post Energy Symmetry Ratio (PPESR)	7
2.5.10. Respuesta del canal	7
3. Descripción de la red de servicios	8
3.1. Red HFC	8
3.2. CM y eMTA	9
4. Desarrollo de la herramienta PNM	10
4.1. Obtención de los coeficientes	10
4.2. Cálculo de parámetros	10
4.3. Software	12
4.3.1. Base de datos	12
4.3.2. Look and feel	13
4.4. Utilización en campo	14
5. Conclusión	16
6. Próximos pasos	16

1. Introducción

Las redes HFC se ven expuestas a varios factores que deterioran y generan inconvenientes y problemas tales como condiciones ambientales desfavorables, cableado inapropiado en la llegada al cliente, equipos de red deteriorados, desbalanceo de los niveles de señal, etc.

En la mayoría de los casos, las fallas son detectadas reactivamente basándose principalmente en las quejas de los clientes y llamadas al departamento de call center. La ingeniería de red para brindar una mejora en la performance se realiza manualmente y de forma ad-hoc e incluso los problemas de diagnóstico son llevados a cabo a través de instrumentos de propósito especial de alto costo como por ejemplo analizadores de espectro, analizadores de nivel de señal, monitores de bit-error rate para tener cierta trazabilidad en la red a nivel de cables, amplificadores, nodos de fibra, etc.

Con la evolución de los dispositivos DOCSIS ya equipados con herramientas avanzadas de monitoreo, resulta útil su utilización con el propósito de monitorear la red completa. Al combinar los datos suministrados por estos dispositivos con la topología de la red y la referencia geográfica de los mismos es posible acotar y conocer con precisión la fuente del problema.

En este trabajo se analizará la utilización de los coeficientes de pre ecualización suministrada por los dispositivos DOCSIS siguiendo los lineamientos planteados por CableLabs en el año 2011 [1] y adaptándolo la información de las distintas métricas que se pueden obtener a la red de HFC de Cablevisión S.A.

Se desarrollará una herramienta de software en una versión minimalista que permita correlacionar la información obtenida de los dispositivos con la topología de red HFC de la compañía y su ubicación geográfica con el objeto de proporcionar las bases necesarias para el mantenimiento proactivo de la red.

Las distorsiones en la red ocurren en forma temprana, incluso antes que se interrumpa el servicio. El mecanismo y la herramienta desarrollada en este trabajo aborda este tema logrando actuar en forma anticipada (proactivamente). En la sección 4.4 se verá un ejemplo de uso donde se detecta la utilización de un splitter para armar una conexión ilegal.

2. Marco teórico

En esta sección se brindan los conceptos teóricos necesarios para desplegar una herramienta de monitoreo proactivo en una red HFC. Se definen los tipos de distorsiones típicos y que información se puede obtener utilizando la norma DOCSIS.

2.1. Distorsiones lineales

En el caso de las distorsiones lineales, el impacto en la señal estará dado por un cambio en la amplitud y fase de la señal original.

2.1.1. Microreflexiones

El ejemplo más común de este tipo de distorsión se da como resultado de la desadaptación de impedancia provocando que parte de la energía incidente de la señal sea reflejada en sentido inverso. Generalmente las desadaptaciones en la red HFC son provocadas por factores como conectores flojos, rajaduras o rupturas del cable coaxial, a la entrada o a la salida de los amplificadores, etc.

2.1.2. Retardo de grupo

Otro ejemplo de distorsión lineal ocurre principalmente en los filtros diplexers de la red HFC y aumenta su efecto cuanto más cerca de la frecuencia de corte del filtro se encuentre la señal ya que en los extremos del filtro la velocidad de propagación es menor.

El origen de este fenómeno es debido a que la velocidad de propagación de la señal a través del canal de comunicación varía con la frecuencia. Como resultado del retardo de grupo, en la señal se presenta interferencia intersimbólica (IIS) y por supuesto se acentúa al aumentar con el número de activos en cascada.

$$\text{Retardo de grupo} = -\frac{d\phi}{d\omega}$$

Donde ϕ es la fase expresada en radianes, ω es la frecuencia expresada en radianes por segundo, y el retardo de grupo queda expresado en segundos. Cabe aclarar, que el retardo de grupo, idealmente es una constante a lo largo de la banda de interés.

Otro punto que hay que tener en cuenta, es que incluso aquellas distorsiones que son consideradas no lineales como la distorsión de camino común (Common Path Distortion) tienen asociadas componentes de distorsiones lineales. Por ejemplo, la corrosión en el centro de un conductor que genera efectos mixtos, resulta de una desadaptación de impedancia generando marcadas microreflexiones.

2.1.3. Distorsión de amplitud

Este tipo de distorsión se presenta como una variación no deseada en la amplitud con respecto a la frecuencia en el canal de comunicación. Las principales fuentes de este ruido son los filtros diplexers y las pérdidas en el cable coaxial.

2.2. Pre ecualización en DOCSIS

El mecanismo de pre ecualización se basa en la interacción del CM y el CMTS para determinar y ajustar los coeficientes de pre ecualización del CM. El propósito es que el CM utilice los coeficientes para pre distorsionar la señal de upstream de forma tal de equilibrar la distorsión del canal, con lo cual la señal de upstream pre distorsionada viaja por la red y llega sin distorsiones al CMTS.

En la siguiente figura se esquematizan todas las etapas realizadas secuencialmente por el transmisor del cable módem. Notar que la pre ecualización se realiza justo antes del filtrado y modulación de la señal.

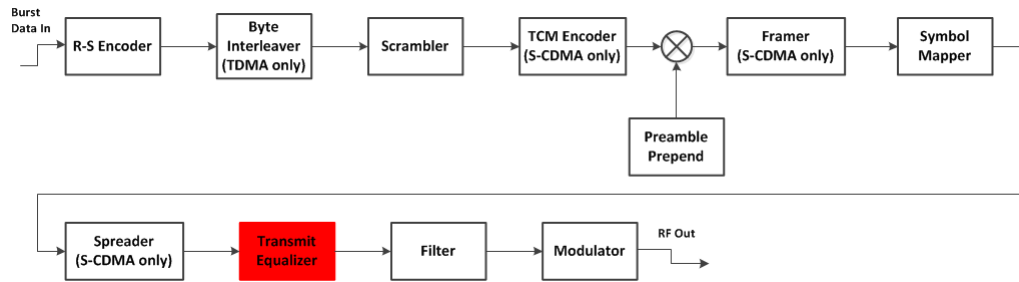


Figura 1: Etapas del transmisor de un CM

Esta etapa es la encargada de pre ecualizar la señal mediante filtros ecualizadores lineales adaptativos, cuya estructura se muestra en la siguiente figura.

Como se mencionó el filtro se comporta de forma inversa a la respuesta del canal y lo debe hacer en términos de amplitud y de fase. Como las características del canal tienden a variar con el tiempo se debe realizar un seguimiento del estado del canal y luego cambiar el comportamiento del filtro según el estado del mismo, esto es precisamente lo que hace la ecualización adaptativa.

Cada vez que un cable módem transmite, el CMTS mide la distorsión de la señal recibida y computa la pre ecualización, luego a través de señalización DOCSIS le envía a cada cable módem los coeficientes (Taps) que debe aplicar al filtro de pre ecualización compensar las distorsiones del canal. Es decir, los coeficientes del filtro poseen información “inversa” de la respuesta en frecuencia del canal.

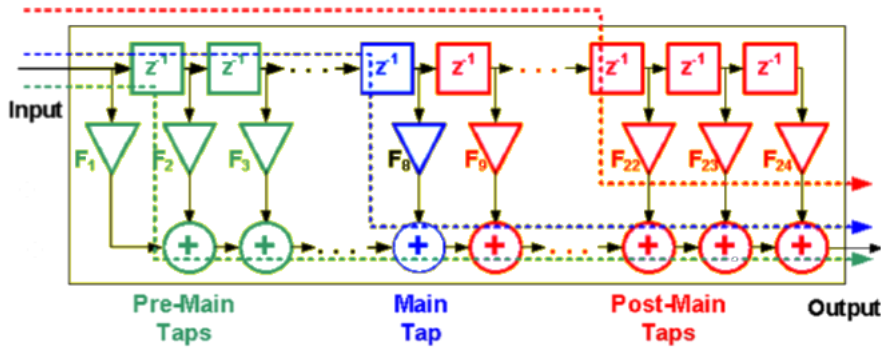


Figura 2: Filtro de pre ecualización

2.2.1. Limitaciones de la pre ecualización en DOCSIS

En un escenario en el cual el camino de upstream presente micro reflexiones, la máxima compensación que se puede lograr utilizando la pre ecualización en el CM estará limitada por la cantidad de delay que se puede agregar con la estructura de filtro de pre ecualización. El máximo delay posible está dado por la distancia entre el tap principal y el último tap del filtro.

En DOCSIS 2.0 y 3.0, el espacio entre taps es igual al período de símbolo ya que el parámetro taps/símbolo es igual a 1. En implementaciones típicas y como se verá a lo largo del documento, el tap principal se encuentra en la octava posición y el último estará en la posición 24. Con lo cual, el máximo delay posible en esta estructura será de 16T donde T es el período de símbolo.

2.3. Coeficientes de pre ecualización

En DOCSIS 1.x la estructura del ecualizador cuenta con 8 TAPS, mientras que DOCSIS 2.0 cuenta con 24 TAPS o coeficientes.

El mecanismo de pre ecualización se habilita desde la configuración para cada canal de upstream y no existen ajustes manuales asociados a los coeficientes, esto lo realiza automáticamente el CMTS. El impacto que tiene esto sobre la capacidad del canal es mínimo y despreciable.

Cómo el diseño del filtro está especificado, con solo obtener el valor de los coeficientes cargados dentro del filtro adaptativo del CM, se puede obtener información del estado de la red. El valor de los mismos se puede obtener utilizando el protocolo SNMP a partir de la MIB docsIfCmStatusEqualizationData, la cual tiene el siguiente formato:

Bits	0	15	31
	Main Coeff.	Coeff/Symb	#Coeff
	F1real	F1imag	
	F2real	F2imag	
	F24real	F24imag	

Figura 3: Formato SNMP

Cada coeficiente viene expresado en formato hexadecimal, tanto la parte real como la parte imaginaria.

El siguiente es un ejemplo de la información obtenida de un CM por SNMP utilizando la MIB docsIfCmStatusEqualizationData:

```
08.01.18.00.FF.FF.00.02.FF.FF.00.01.00.03.FF.FC.00.00.00.0B.FF.FE.FF.EE.00.04.00.21.FF.FB
.07.FE.00.31.FF.F3.FF.E8.00.18.FF.F0.FF.F4.00.05.00.09.FF.FB.FF.FA.00.01.00.06.FF.FD.
FF.FD.00.00.00.05.FF.FD.FF.FD.00.01.00.01.00.01.FF.FE.00.00.FF.FF.00.00.FF.FF.FF.FF
.00.00.FF.FF.00.00.FF.FF.FF.FE.FF.FD
```

Cada uno en términos binarios son números de 16 bits con signo en complemento A2 expresados en hexadecimal.

En la siguiente figura se observa como se interpreta la información obtenida por SNMP y su conversión a decimal.

MainT	T/Symb	#Taps	Rsvd	F1r	F1i	F2r	F2i	F24r	F24i
08	01	18	00	FF FF	00 02	FF FF	00 01	FF FE	FF FD
Posición 8		24		-1	2	-1	1		-2	-3

Figura 4: Conversión de formato

2.4. Formato y normalización de los coeficientes

La información de los coeficientes obtenida por SNMP se la debe parsear de la siguiente forma, para obtener el valor de cada coeficiente:

Luego resulta necesario convertir a decimal el valor de cada coeficiente para luego representarlos en módulo y fase.

$$\text{Módulo} = \sqrt{\text{Parte Real}^2 + \text{Parte Imaginaria}^2}$$

$$\text{Fase} = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Parte Imaginaria}}{\text{Parte Real}} \right)$$

Generalmente la interpretación de los coeficientes se basa en la magnitud de estos respecto de la magnitud total de todos los coeficientes, con lo cual es ventajoso normalizar cada coeficiente respecto la energía total de todos los Taps mediante la siguiente fórmula:

2.5. Principales métricas

En el documento publicado por CableLabs [1] se definen diversas métricas con el objetivo de brindar información acerca de la distorsión de la señal, el tipo de distorsión y el nivel de la señal. A continuación se incluyen las definiciones de las mismas.

Representando los coeficientes complejos con su parte real e imaginaria como:

$$F1_R, F1_I, F2_R, F2_I, F3_R, F3_I, \dots, F23_R, F23_I, F24_R, F24_I$$

Se definen las siguientes métricas:

2.5.1. Adaptive Equalizer Main Tap Energy (MTE)

El tap principal del filtro adaptativo en DOCSIS 2.0 se encuentra típicamente en la octava posición, sin embargo algunas implementaciones en los CMTS pueden ubicarlo en otra posición más baja, como en la sexta. DOCSIS 1.1 lo ubica en la cuarta posición.

Asumiendo que la energía del tap principal se encuentra en la octava posición, el MTE se define como:

$$MTE = F8_R^2 + F8_I^2$$

Este Tap representa la energía de símbolo deseada, es decir, idealmente este sería el único Tap con energía, mientras que el resto deberían representar magnitudes de corrección insignificantes de menos de -35 dB.

2.5.2. Pre-Main Tap Energy (PreMTE)

Se define como la suma de la energía de todos los Taps previos al principal. Asumiendo que el Tap principal se encuentra en la octava posición, se tiene que:

$$PreMTE = F1_R^2 + F1_I^2 + F2_R^2 + F2_I^2 + \dots + F7_R^2 + F7_I^2$$

2.5.3. Post-Main Tap Energy (PostMTE)

Es la suma de la energía de todos los taps posteriores al principal. Nuevamente asumiendo que el Tap principal se encuentra en la octava posición, se tiene que:

$$PostMTE = F9_R^2 + F9_I^2 + F10_R^2 + F10_I^2 + \dots + F24_R^2 + F24_I^2$$

2.5.4. Total Tap Energy (TTE)

Es la suma de la energía en todos los Taps del filtro y se define como:

$$TTE = PreMTE + MTE + PostMTE$$

2.5.5. Main Tap Compression (MTC)

Es la proporción entre la energía de todos los Taps del filtro respecto a la energía del Tap principal. Expresado en dB se define como:

$$MTC = 10 \times \log \left(\frac{TTE}{MTE} \right)$$

El MTC en el CM es un buen indicador del margen disponible en el proceso de compensación del filtro ecualizador. Por ejemplo, un MTC de 2 dB indica que el CMTS está recibiendo 2 dB menos de potencia de entrada.

No se espera que exista un valor de MTC bajo condiciones normales de operación, con lo cual, cualquier valor de MTC debería disparar una alarma.

2.5.6. Non-Main Tap to Total Energy Ratio (NMTER)

Esta métrica está dada por la porción de energía agregada por todos los Taps excepto el principal respecto al total de energía en el filtro ecualizador. El NMTER expresado en dB se define como:

$$NMTER = 10 \times \log \left(\frac{PreMTE + PostMTE}{TTE} \right)$$

Se considera como un buen indicador para conocer el nivel de distorsión en el camino de retorno de la señal. A mayor valor, mayor es la distorsión presente. Este parámetro puede ser utilizado inicialmente para determinar cuáles CM deben ser analizados con más detalle y con más frecuencia. También es un buen indicador del MER, asumiendo que la señal no se ve afectada por tipo distorsiones que no se puedan considerar distorsiones lineales.

2.5.7. Pre-Main Tap to Total Energy Ratio (PreMTTER)

El PreMTTER se define como la proporción entre la energía de los Taps previos al Tap principal respecto al total de energía en el filtro ecualizador. Viene dado por:

$$PreMTTER = 10 \times \log \left(\frac{PreMTE}{TTE} \right)$$

Este indicador, junto con Pre-Post Energy Symmetry Ratio es útil para determinar el nivel de retardo de grupo y la distorsión de amplitud presente en el canal.

La presencia dominante de retardo de grupo y distorsión de amplitud típicamente impactan, no solo en la región de Pre-Main Tap, sino también en la región de Main-Tap, la cual se define como los Taps adyacentes al principal (5,6,7,8,9,10).

A mayor valor, mayor es el retardo de grupo y distorsión de amplitud presente.

2.5.8. Post-Main Tap to Total Energy Ratio (PostMTTER)

El PostMTTER se define como la proporción entre la energía de los Taps posteriores al Tap principal respecto al total de energía en el filtro ecualizador. Viene dado por:

$$PostMTTER = 10 \times \log \left(\frac{PostMTE}{TTE} \right)$$

2.5.9. Pre-Post Energy Symmetry Ratio (PPESR)

Esta métrica junto con PreMTTER se utilizan para indicar la presencia de retardo de grupo en el camino de subida. Expresada en dB, se define como:

$$PPESR = 10 \times \log \left(\frac{PreMTE}{PostMTE} \right)$$

A los efectos prácticos, se puede aproximar utilizando únicamente el valor de energía de los dos Taps adyacentes al principal.

$$PPESR = 10 \times \log \left(\frac{F7_R^2 + F7_I^2}{F9_R^2 + F9_I^2} \right)$$

2.5.10. Respuesta del canal

Como el filtro compensará las distorsiones presentes en la transmisión, el mismo actuará como la inversa de la respuesta en frecuencia del canal, de modo de igualar las pérdidas y distorsiones introducidas por dicho canal. De este modo obteniendo la respuesta en frecuencia del filtro podemos obtener las características del canal.

Teniendo en cuenta la pre ecualización, se asume que la repuesta total del canal es ideal:

$$Ke^{j\omega t} = H(f)_{eq} \cdot H(f)_{canal}$$

Luego la respuesta del canal puede ser expresada en función de la respuesta en frecuencia del filtro de pre ecualización.

$$H(f)_{canal} = \frac{Ke^{j\omega t}}{H(f)_{eq}}$$

Por lo tanto realizando el cálculo de la transformada discreta de Fourier (DFT) de la repuesta al impulso del filtro de pre ecualización e invirtiendo el resultado se obtiene la respuesta en frecuencia del canal.

$$H(f)_{canal} = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} h(n)_{eq} e^{j2\pi n f t_s}$$

El filtro de pre ecualización representa la respuesta al impulso discreta $h(n)_{eq}$ del filtro.

3. Descripción de la red de servicios

A continuación se hará una breve descripción de la red multiservicio desplegada por la empresa Cablevisión S.A. para la cual se está desarrollando la aplicación de monitoreo proactivo.

La empresa cuenta con una red de transporte multiservicio Ethernet/IP-MPLS. La misma está conformada por diferentes capas denominadas, CoreBackbone, Borde, Servicios, Anillos Metro, a través de estas se brindan los distintos tipos de servicios como Acceso a Internet, Telefonía, Servicios Corporativos y Video.

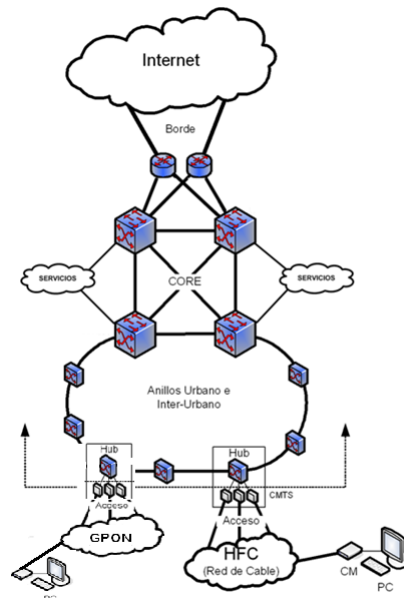


Figura 5: Red de Transporte Multiservicio Cablevisión S.A.

La red consta de dos sitios de Servicios separados geográficamente donde se encuentran alojados los diferentes servers y contenidos a proveer a los clientes. Estos dos sitios se conectan hacia el Core de la red por medio de vínculos redundantes.

3.1. Red HFC

Cablevisión S.A. cuenta con una red de acceso de tecnología DOCSIS, para brindar su servicio de acceso a Internet por medio de cable módems (CM). El 37% de la red cuenta con tecnología DOCSIS 3.0, y el porcentaje restante cuenta con tecnología DOCSIS 2.0. Los modelos de los CMTS desplegados en la red son los descriptos a continuación.

Marca	Modelo	Versión SW	Versión DOCSIS
Arris	C4	CMTS_V07.03.01.37	1.1, 2.0, 3.0 (CMTS+DSG)
Arris	C4	CMTS_V05.02.02.08	1.1, 2.0 (CMTS + DSG)
Arris	C3	4.4.2.2.bin	1.1, 2.0 (CMTS)
Motorola	SR64000	5.2.1P31.H41.KRBU	1.1, 2.0, 3.0 (CMTS+DSG)
Motorola	BSR2000	1.0.0P59.07.TRCU	1.1, 2.0 (CMTS)
Motorola	BSR1000	version 2.0.1.11P01.PRRU	1.1 (CMTS)

En cuanto a lo que se refiere al downstream, los mismos son modulados en 256QAM para todos los casos, en canales de 6 MHz de ancho de banda. Estos son transmitidos hacia los hogares, con el resto de las señales de forward, mediante transmisores ópticos los cuales alimentan a dos nodos a la vez. Dependiendo del tipo de tecnología desplegada en cada hub, se realiza load balancing de tráfico en cuatro portadoras para el caso de DOCSIS 3.0, y sobre dos portadoras para el caso de DOCSIS 2.0.

En el upstream, para equipos con tecnología DOCSIS 3.0, se cuenta con dos canales de 6,4 MHz de ancho de banda, los cuales pueden estar modulados en 16QAM o 64QAM, dependiendo de las características específicas del nodo, como ser: proyección de tráfico, SNR, tipo de láser del transmisor, hogares pasados, CMs DOCSIS 1.1 operativos, etc. Estos canales ocupan un espacio en el espectro de retorno que va desde 22,2 MHz a 35 MHz. Para los equipos con tecnología DOCSIS 2.0 se cuenta con cuatro canales 3,2 MHz de ancho de banda, modulados en 16QAM, ocupando el mismo espacio en el espectro de retorno que el caso anterior.

La conexión de estos equipos a la red metro de transporte se realiza con interfaces gigabit Ethernet, y dependiendo del tráfico en cada uno de ellos esta conexión podrá ser con dos o con cuatro interfaces.

A continuación se describe gráficamente de manera genérica, la interconexión típica de componentes dentro de un hub, y llegada del servicio al cliente.

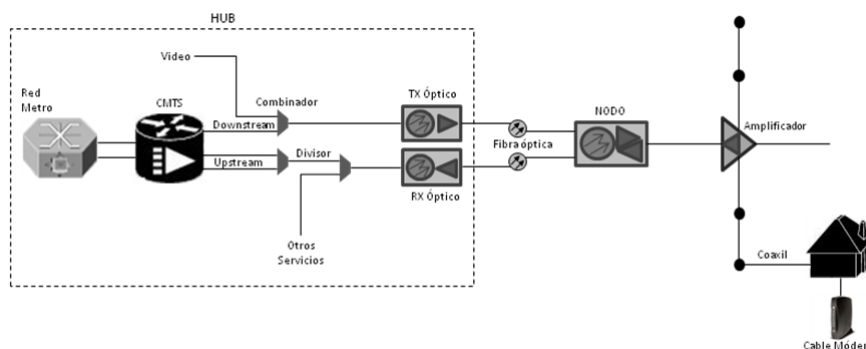


Figura 6: Interconexión típica de componentes en un hub

3.2. CM y eMTA

Se utilizan los siguientes equipos para darle acceso a los clientes a los diferentes servicios prestados sobre la red HFC DOCSIS.

Marca	Modelo	Versión DOCSIS
Arris	WBM760A	3.0 (CM)
Arris	WTM552A	2.0 (CM WiFi eMTA)
Motorola	SB5100	2.0 (CM)
Motorola	SB5101	2.0 (CM)
Motorola	SBG900	2.0 (CM WiFi)
Motorola	SBG901	2.0 (CM WiFi)
Motorola	SBG6580	3.0 (CM WiFi)
SA	DPC2100	2.0 (CM)
SA	DPC2100R2	2.0 (CM)
SA	DPR2320R2	2.0 (CM WiFi)
SA	DPR2325R3	2.0 (CM WiFi)
SA	DPC2434X	2.0 (CM WiFi eMTA)
SA	DPC3000	3.0 (CM)
SA	DPC3825	3.0 (CM WiFi)
SA	DPC2203	2.0 (CM eMTA)

4. Desarrollo de la herramienta PNM

A continuación se explica la metodología utilizada para desarrollar una herramienta de PNM (Proactive Network Maintenance) para el mantenimiento proactivo de la red y que a la vez también ofrezca un valor adicional para el *troubleshooting*. Se tomó como base una herramienta demo desarrollada por CableLabs [2] y se utilizó además para contrastar resultados e incorporar nuevas funcionalidades.

4.1. Obtención de los coeficientes

Los datos de los coeficientes de cada CM son obtenidos vía SNMP a través de un proceso existente actualmente en la empresa en el cual se entrega entre otros valores los correspondientes a las OID:

- Coeficientes de ecualización `docsIfCmStatusEqualizationData`.
- Ancho de banda de transmisión del canal de retorno `docsIfUpChannelWidth`.
- Frecuencia central del canal de retorno `docsIfUpChannelFrequency`.

Los datos entregados por el servicio que se expone en la empresa es el siguiente:

```
mac,id_nodo,subscriber_id,valor,freq_upstream,up_channel_width,momento_pooleo
```

Donde:

- `mac`: Indica la Mac Address del CM.
- `id_nodo`: Indica en que nodo dentro de la estructura jerárquica de la topología de la red se encuentra conectado el CM.
- `suscriber_id`: Representa el número de cliente que tiene asociado el CM.
- `valor`: Es una cadena de caracteres con los coeficientes de pre ecualización del CM.
- `freq_upstream`: Indica la frecuencia de upstream del canal expresada en Hz.
- `up_channel_width`: Indica el ancho de banda del canal expresado en Hz.
- `momento_pooleo`: Es la marca de tiempo cuando fue consultado el CM y se obtuvieron los valores.

4.2. Cálculo de parámetros

Una vez que se obtienen los coeficientes de pre ecualización del CM se calculan todos los parámetros mencionados en la sección 2.5 mediante funciones desarrolladas en PHP.

El primer paso es parsear la cadena de bytes obtenida del proceso de la compañía indicada en el campo `valor` y convertir cada coeficiente a su respectivo valor decimal.

```
function parseCoeff ($acoeff)
{
    $main_tap = substr($acoeff, 0, 2);
    $tsymb = substr($acoeff, 2, 2);
    $taps = hexdec(substr($acoeff, 4, 2));

    for ($i = 0; $i < $taps; $i++) {
        $real = hex2dec(substr($acoeff, 8 + $i * 8, 4));
        $img = hex2dec(substr($acoeff, 8 + $i * 8 + 4, 4));
        $hcoeff[$i]["real"] = $real;
        $hcoeff[$i]["img"] = $img;
    }
    return $hcoeff;
}
```

Esta función convierte a decimal cada coeficiente o tap y lo devuelve en un arreglo bidimensional con su correspondiente valor real e imaginario, el arreglo tiene longitud **\$tap** típicamente 24.

A continuación se muestra el código PHP que calcula las distintas métricas vistas en la sección 2.5.

```
$coeff = parseCoeff($acoeff);

// Se asume que el main_tap_pos se encuentra en la posicion 8
// y se compone de 24 taps

function calcMTE ($coeff)
{
    $MTE = pow($coeff[7]["real"], 2) + pow($coeff[7]["img"], 2);
    return $MTE;
}

function calcPreMTE ($coeff)
{
    $preMTE = 0;
    for ($i = 0; $i < 7; $i++) {
        $preMTE = $preMTE + pow($coeff[$i]["real"], 2) + pow($coeff[$i]["img"], 2);
    }
    return $preMTE;
}

function calcPostMTE ($coeff)
{
    $postMTE = 0;
    for ($i = 8; $i < 24; $i++) {
        $postMTE = $postMTE + pow($coeff[$i]["real"], 2) + pow($coeff[$i]["img"],
        2);
    }
    return $postMTE;
}
```

En cuanto a los gráficos que se mostrarán en la aplicación a desarrollar, serán la respuesta del canal y el módulo de la energía de cada tap obtenido de cada CM.

El código para calcular estos valores es el siguiente:

```
// Se considera una resolucion de 100 puntos para la DFT

function dft($coeff, $TTE)
{
    $hw_array = array();
    $RES = 100;

    for ($i = 0; $i < $RES; $i++) {
        $hw[$i]["real"] = 0;
        $hw[$i]["img"] = 0;
        $hw[$i]["frel"] = (-2.56 + $i * 5.12 / $RES) / 5.12;

        $frel = (-2.56 + $i * 5.12 / $RES) / 5.12;

        for ($j = 0; $j < 24; $j++) {
            $hw[$i]["real"] = $hw[$i]["real"] + ($coeff[$j]["real"] / $TTE * cos
            (2 * M_PI * $frel * ($j - 7)) + $coeff[$j]["img"] / $TTE * sin(2 *
            M_PI * $frel * ($j - 7)));

            $hw[$i]["img"] = $hw[$i]["img"] + ($coeff[$j]["img"] / $TTE * cos(2
            * M_PI * $frel * ($j - 7)) - $coeff[$j]["real"] / $TTE * sin(2 *
            M_PI * $frel * ($j - 7)));
        }
        $hw[$i]["mod_db"] = 10 * log10(pow($hw[$i]["real"], 2) + pow($hw[$i]["img
```

```

        "], 2));
        array_push($hw_array, $hw[$i]["mod_db"]);
    }
    return $hw_array;
}

```

Para el cálculo de la DFT se optó por utilizar la siguiente fórmula y normalizando por la energía total de todos los taps o coeficientes (indicado como TTE).

$$H(f)_{canal} = \sum_{n=0}^{23} (F_{Rn} + jF_{In}) \cdot [\cos(2\pi n f t_s) - j \sin(2\pi n f t_s)]$$

Donde F_{Rn} y F_{In} son los coeficientes del filtro, su parte real e imaginaria expresados en decimal que se obtienen del cable módem.

Para poder resolver la ecuación es necesario conocer el periodo de muestro, es decir la duración de cada símbolo. Para el canal de retorno (Upstream), la relación entre el ancho de banda del canal de transmisión y el tiempo de símbolo está dada por el filtro del transmisor definido en la especificación DOCSIS.

Velocidad de símbolo (ksym/seg)	BW del canal (KHz)
160	200
320	400
640	800
1280	1600
2560	3200
5120	6400

Para el cálculo del módulo de la energía de cada tap, se tiene el siguiente código.

```

function calcMod ($coeff, $TTE)
{
    $mod_arr = array();

    foreach($coeff as $k=>$v) {
        $mod = pow($v["real"], 2) + pow($v["img"], 2);
        if ($mod > 0 ) {
            array_push($mod_arr, 10 * log10($mod / $TTE));
        }
        else {
            array_push($mod_arr, NULL);
        }
    }
    return $mod_arr;
}

```

4.3. Software

Para el desarrollo del software de PNM se optó por el lenguaje de programación PHP [4] para el cálculo de parámetros como se pudo ver anteriormente y una base de datos MySQL [5] para almacenar distinta información y se presenta una interfaz web que hace uso del framework de estilos CSS y HTML Bootstrap [6].

4.3.1. Base de datos

En la base de datos se tienen cuatro tablas utilizada en la aplicación, la tabla *hubs* que contiene el nombre de cada hub y un id para asociar a cada nodo óptico conectado. La tabla *node* que se asocia a cada hub y se utiliza para asociar a los CM conectados.

La tabla principal es *cable módems* que contiene todas las métricas calculadas a partir del coeficiente obtenido por SNMP utilizando el sistema existente en la compañía. Finalmente se encuentra la tabla *markers* para georreferenciar cada CM en el mapa.

■ Tabla hubs

Field	Type
hub_id	int(11)
name	varchar(255)

■ Tabla nodes

Field	Type
node_id	int(11)
hub_id	int(11)
name	varchar(255)

■ Tabla cable módems

Field	Type
node_id	int(11)
mac_addr	varchar(255)
suscriber_id	int(11)
coeff	varchar(255)
freq_upstream	int(11)
up_channel_width	int(11)
nmter	float
prenmter	float
postnmter	float
mte	float
tte	float
mte_db	float
mtc	float
ppser	float
tte	float

■ Tabla markers

Field	Type
mac_addr	varchar(255)
lat	float
long	float

4.3.2. Look and feel

La interfaz de la aplicación se muestra en las siguientes figuras.

Luego de seleccionar el Hub, se despliega un listado de nodos con la cantidad de CM que tiene asociado.

Se muestra la cantidad de CM en estado Crital, Warning, y en estado OK. Luego se despliega una lista con aquellos en estado Critical con todas las métricas vistas en la sección 2.5. Finalmente se encuentra un botón Graficar para mostrar las gráficas del módulo de energía de cada Tap y la respuesta del canal.

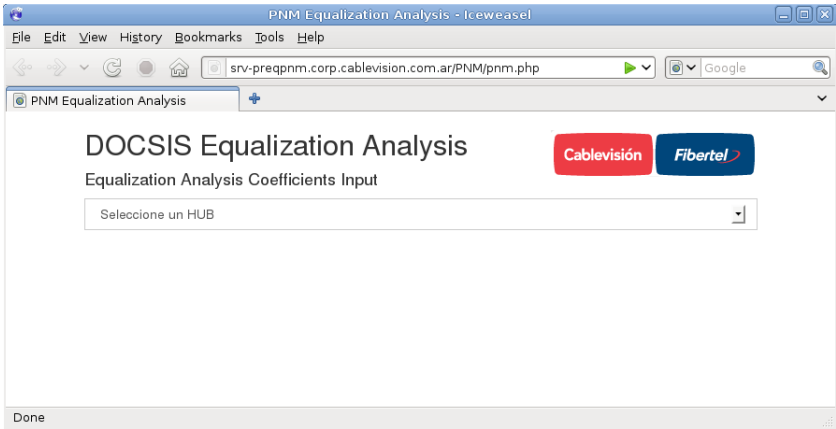


Figura 7: Primer pantalla - Selección Hub

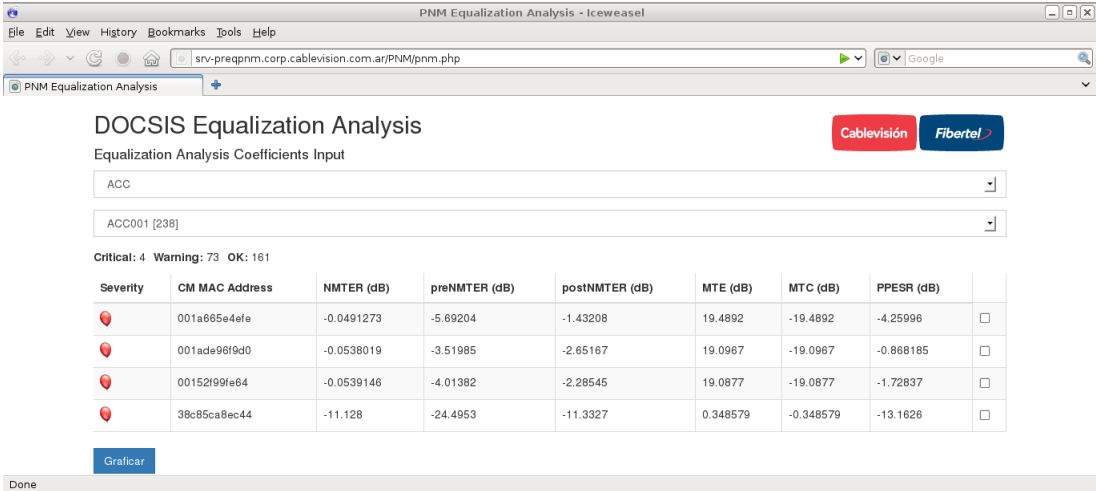


Figura 8: Segunda pantalla - Selección Nodo

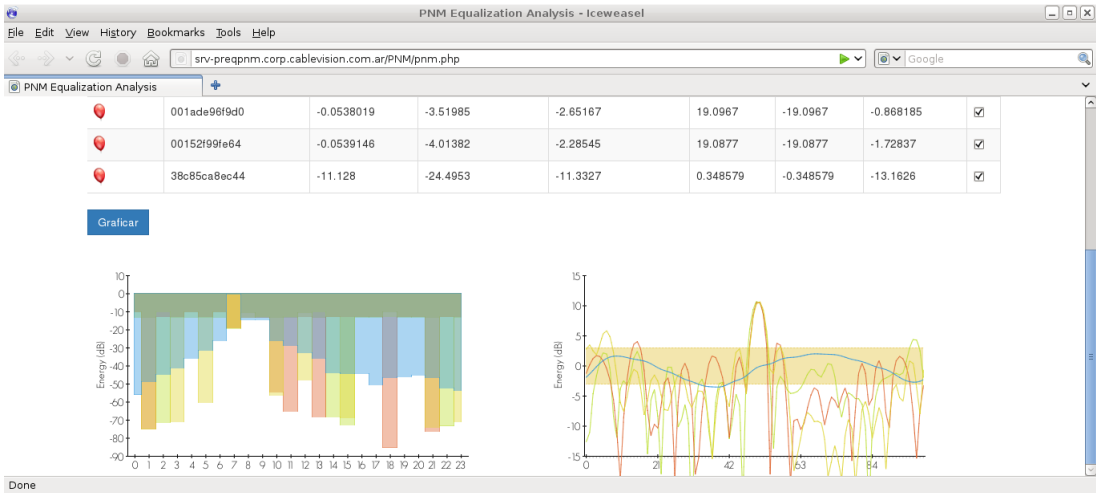


Figura 9: Tercer pantalla - Graficas

4.4. Utilización en campo

Se procedió a hacer una demo de la herramienta ya que se encuentra en etapa de testing para tomar mediciones de campo y verificar si mediante patrones que surjan del análisis de la información obtenida se pueden encontrar problemas en la red HFC.

Para este análisis resulta fundamental poder identificar el lugar físico de la red HFC donde se

encuentra cada uno de los CM de los cuales se obtiene la información de sus coeficientes.

El siguiente caso de estudio es sobre un edificio en la calle Italia en la localidad de San Nicolás.



Figura 10: Georreferenciación - Ubicación del edificio

En la siguiente figura se muestra el análisis de niveles.

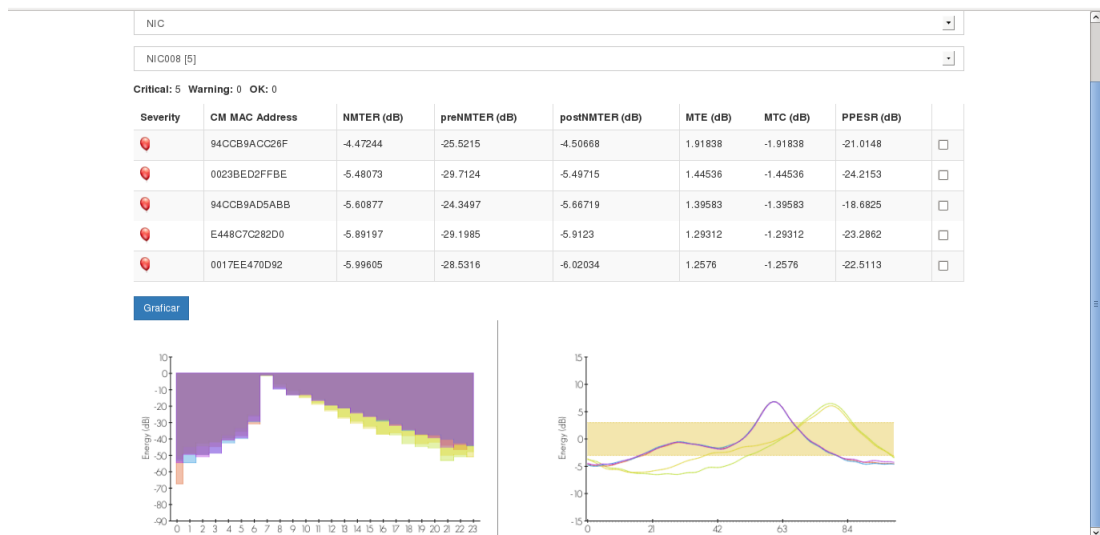


Figura 11: Análisis utilizando la herramienta

El edificio tenía un eco por montante y se detectó que en el 4 piso existían dos conexiones clandestinas que interrumpían la montante donde colocaron un splitter comprado en una ferretería.



Figura 12: Conexión ilegal utilizando un splitter

El procedimiento fue cortar estas conexiones ilegales y luego se analizó con el uso de la herramienta que los niveles luego de esta acción mejoraron.

Luego de resolver la conexión ilegal, los resultados que mostraba la herramienta fueron completamente distintos. El CM en estado *Warning* sin embargo no presenta un nivel de NMTER considerable.

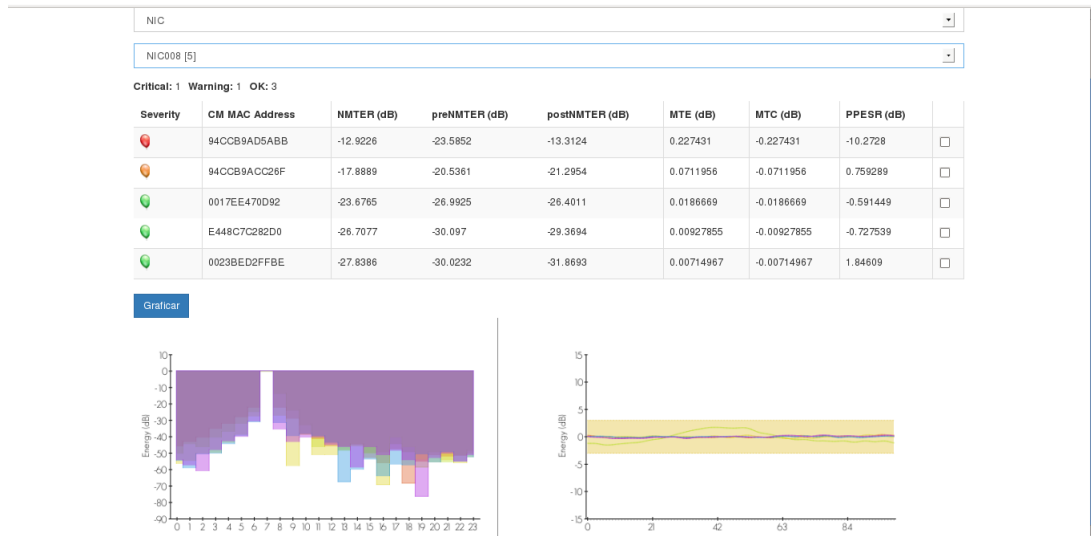


Figura 13: Análisis posterior utilizando la herramienta

5. Conclusión

En este trabajo se demostró en base al estudio realizado por CableLabs la utilización de la información ya disponible en los coeficientes de pre ecualización para obtener el estado de salud de la red HFC e implementar una estrategia pro activa para la detección de fallas antes de que se vea reflejado en un deterioro en el servicio prestados.

La utilización en campo permitió mostrar de alguna manera la facilidad de uso y los beneficios que trae a la operación y a los analistas de red. A su vez se realizaron varias iteraciones para mejorar la interfaz, y definir umbrales para las distintas métricas.

Un punto importante en el cual se sigue trabajando y tiene mucho interés para la compañía es no solo la georreferenciación de la falla sino además tener información de la topología de la red en el mapa con el objetivo de reducir el alcance de la falla y repararla en menos tiempo y lograr una mayor confiabilidad en los servicios.

Por otro lado, y no menos importante, que requiere de la utilización exhaustiva de la herramienta es caracterizar las fallas y lograr una correlación efectiva de la respuesta en frecuencia del canal, o lo que se conoce como correlación de firmas del CM.

6. Próximos pasos

En cuanto a los próximos pasos a realizar para extender el presente trabajo y brindar mayores funcionalidades a la herramienta de PNM desarrollada se destacan:

- Separar por base técnica operativa la elección del hub.
- Alerta por mail al sector de performance de red correspondiente sobre aquellos nodos más críticos.
- Realizar la georreferenciación volcando además la topología de la red HFC en el mapa.

Además de estos puntos, una funcionalidad importante que se espera resolver es la correlación de firmas, es decir, de aquellos CM pertenecientes al mismo nodo óptico de la red, cuales tienen la misma respuesta del canal y caracterizar las fallas o el motivo, esta métrica se analizó en la sección

2.5.10. Para ello se estudiarán distintos algoritmos de correlación [7] y se realizarán pruebas de laboratorio.

Referencias

- [1] Proactive Network Maintenance Using Pre-equalization, *Cable Television Laboratories, Inc.*, 2011. <http://www.cablelabs.com/wp-content/uploads/2014/05/CM-GL-PNMP-V02-110623.pdf>
- [2] DOCSIS Proactive Network Maintenance Reference Implementation (PNM RI) suite, *Cable-Labs*, <http://cablelabs.com/PNM/PreEqDemoWeb.html>
- [3] Experiences from Monitoring a Hybrid Fiber-Coaxial Broadband Access Network, *Ed Perry, Srinivas Ramanathan Internet Systems Applications Laboratory*, 1998. <http://www.hpl.hp.com/techreports/98/HPL-98-67.pdf>
- [4] PHP: Hypertext Preprocessor, <http://php.net/>
- [5] MySQL, <http://www.mysql.com/>
- [6] Bootstrap, <http://getbootstrap.com/>
- [7] Fast Approximate Correlation for Massive Time-series Data, *Abdullah Mueen, Suman Nath, Jie Liu*, Microsoft Research, <http://research.microsoft.com/pubs/119051/correlation-sigmod10.pdf>