

Diseño e implementación de un sistema de anticipación de fallas basado en mediciones en tiempo real para un ISP de Banda Ancha en Redes HFC

Patricia Herrera, Laura Vargas, Orlando Micolini

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba(5000) Avda. Vélez Sársfield 1611, Córdoba, Argentina

Abstract

Este artículo presenta el diseño y la implementación de un sistema de medición y alarmas en tiempo real cuya finalidad es optimizar el rendimiento de operación de servicios de una red ISP (Internet Service Provider) del tipo HFC (Hybrid Fiber Cupper), mediante el uso de mediciones y análisis de tráfico. Los datos relevantes sobre los servicios se obtienen mediante el protocolo SNMP (Simple Network Management Protocol) que transmite la información entre la entidad gestora y los agentes que se ejecutan en los dispositivos de red. El sistema realizado brinda gráficos sobre los servicios más importantes, los que facilitan el análisis y, además, una base de datos que almacena eventos y estados con el historial de uso y fallos. Cabe destacar que este sistema fue desarrollado e implementado para cubrir requerimientos reales de una empresa de comunicaciones con el fin de mostrar el estado real de la red al personal técnico y mejorar la calidad de servicio, con estrategias comprobadas y planificadas.

Palabras clave: administración de redes, calidad de servicio, DOCSIS, HFC, SNMP.

I. Introducción

En la actualidad, muchas compañías de comunicaciones ofrecen el servicio de Internet de banda ancha por medio de redes HFC [1]. De acuerdo con la evolución que esta tecnología ha experimentado, las empresas que la utilizan han podido incrementar los servicios que ofrecen, tomando en cuenta las necesidades de la sociedad y el interés por satisfacerlas.

Actualmente, en las redes HFC existentes se presentan diversos problemas que inciden directamente en la calidad del servicio ofrecido al

usuario. Estos se deben, básicamente, a defectos en la construcción de la red por desconocimiento del personal técnico sobre la forma correcta de manipulación del cable y otros elementos físicos. También en el mantenimiento preventivo y correctivo se generan deficiencias en la calidad del servicio y en el tiempo efectivo de trabajo, por desconocimiento de los procedimientos a seguir para detectar las causas de inserción de ruido o interferencias, entre otras causas.

Se planteó como objetivo diseñar e implementar un sistema de alarmas que anticipe fallas en una red optimizando los servicios de la misma en tiempo real, a través de una visión precisa del comportamiento de la misma, obtenida mediante mediciones seleccionadas, y además, almacenar las mediciones más importantes en una base de datos, presentando también resultados en forma gráfica.

El sistema se desarrolló y probó en una empresa en particular, Communication Partner, que ofrece servicios en telecomunicaciones (redes, telefonía e Internet). Esta no poseía un control de los servicios que brindan los equipos terminales cable-módem (son de diferentes marcas tales como Motorola, Arris, Cisco, Scientific Atlanta) [2] [3], y no hacía mediciones del comportamiento de la red en forma automática. La empresa se inició en el 2001 y desde su formación ha mantenido una política de adaptación a las exigencias de un mercado que se

encuentra en continuo desarrollo. La aplicación del sistema se puede extender a otras empresas que se dediquen a brindar los servicios de televisión e Internet por cable.

Este artículo se organiza de la siguiente manera: en el punto II se presentan un esquema del sistema, requerimientos, casos de uso, en el III los resultados, en el IV las conclusiones y se plantean trabajos futuros.

II. Pasos del Diseño del Sistema de Alertas

II.A Objetivos

Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de alarmas que anticipe fallas en una red optimizando los servicios de la misma en tiempo real, a través de una visión precisa de su comportamiento, obtenida mediante mediciones seleccionadas.

Objetivos Particulares

- Analizar las fallas a que pueda verse sometida la red.
- Analizar qué tipos de datos relevantes se deben obtener para prevenir las fallas.
- Diseñar los informes estadísticos a obtener.
- Generar los informes o traps que indicarán los distintos sucesos.
- Comparar metodologías, procedimientos y software existentes para administrar una red y elegir entre ellos justificándolo.
- Diseñar un sistema de alarmas que mejore la administración de la red.
- Documentar los datos relevantes en una base de datos para facilitar futuras mejoras a la red y disminuir los tiempos requeridos para solucionar problemas.
- Verificar y validar una implementación.

II.B Obtención de requerimientos

Para la obtención de los requerimientos se hizo uso del proceso JAD (**Joint Application Development**), que es una técnica exploratoria popular desarrollada inicialmente por IBM al final de 1970 y que luego se expandió y perfeccionó [4]. La misma incluye a los usuarios como participantes activos en el proceso de desarrollo. En este caso usuarios son los ingenieros y técnicos a cargo de la provisión de servicios de comunicaciones en la empresa, quienes conocen los reclamos de los tomadores del servicio y las fallas más comunes que se presentan en la prestación de estos. Este método se basa en que:

- Las personas que llevan a cabo un trabajo tienen la mejor comprensión del mismo.
- Las personas con conocimientos de las tecnologías tienen la mejor comprensión de las posibilidades de estas.
- La gente que trabaja en un área tiene una percepción valiosa sobre el papel que debe cumplir el sistema en el entorno donde funcionará.

También se examinaron otras fuentes para la obtención de los requerimientos, tales como manuales del cable-módem, el relevamiento del sistema (su arquitectura), y los límites teóricos del mismo.

A partir de todas las fuentes, se elaboró un listado. En la tabla 1, se presentan cinco requerimientos a modo de ilustración.

Descripción de Requerimientos
Monitorear los servicios relevantes, alertando cuando el comportamiento de los mismos no sea el deseado.
Optimizar el rendimiento en tiempo real, a través de una visión precisa de su comportamiento mediante mediciones seleccionadas.
Analizar los problemas que se presentan mediante niveles de alertas.
La implementación se debe adaptar a todos los clientes que usan redes HFC.
La solución debe ser factible y clara para administrar.

Tabla 1- Listado de Requerimientos

Cabe mencionar que los requerimientos fueron minuciosamente validados por el cliente.

II.C Metodología Empleada

Para el desarrollo de este proyecto se decidió implementar un ciclo de vida iterativo [5] ya que permite la reducción de los riesgos, incorpora objetivos de calidad e integra el desarrollo con el mantenimiento; además admite mejoras e incorporación de nuevos requerimientos durante su desarrollo. En cada iteración se realizan consultas al equipo, luego se evalúan y analizan los resultados obtenidos. Si el estado es válido se implementa, se prueba y se acepta.

Id	Nombre	Objetivo
1	Búsqueda de estados	Investigar que información es importante.
2	Selección de estados	Elegir y estudiar la información más apropiada.
3	Estados relevantes	Seleccionar los estados relevantes que mantiene el estado correcto de la red.
4	Rango de valores	Estudiar los valores óptimos que miden la red.
5	Elección de eventos	Calificar los sucesos.
6	Definición de tiempo en los cable-módems	Elegir intervalo de tiempo entre monitoreos.
7	Selección de estados a almacenar	Elegir qué estados son fundamentales para almacenarlos en la base de datos.
8	Definición de tiempo en la base de datos	Elegir el tiempo entre registro de datos
9	Selección de estados a graficar	Elegir los estados a monitorear a través de las gráficas.

Tabla 2 - Listado Detallado de Requerimientos

En la tabla 2 se muestra un listado de objetivos a cumplir para satisfacer los requerimientos del sistema.

II.D Casos de Uso del Sistema

A partir del análisis de los requerimientos, se plantearon los casos de uso [6] del sistema, ya que son herramientas simples que describen el comportamiento deseado. En la Figura 1 se puede ver el diagrama correspondiente que muestra las interacciones del sistema con el usuario, el dispositivo y la base de datos.

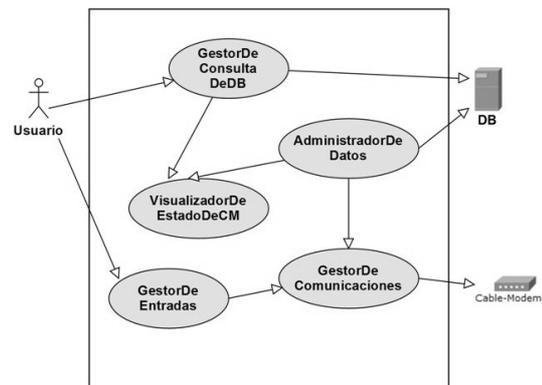


Figura 1- Casos de Uso

II.E Arquitectura del Sistema

Con los objetivos y los requerimientos se obtiene una arquitectura de alto nivel del sistema. En la figura 2 se muestran sus elementos constituyentes, los que se especifican a continuación:

- *MIB (Management Information Base)* [7]: es un repositorio de datos de gestión que se recopilan a partir de cada uno de los cable-módems.
- *Sistema de alarmas*: para visualización del estado del cable-módem en tiempo real, genera alertas cuando el comportamiento de los mismos no es el deseado.
- *Sistema de Gestión Base de Datos*: almacena los estados no deseados del cable módem para realizar consultas sobre los mismos.
- *Sistema de Gráficos*: se generan y muestran los gráficos de los

estados relevantes del cable-módem.

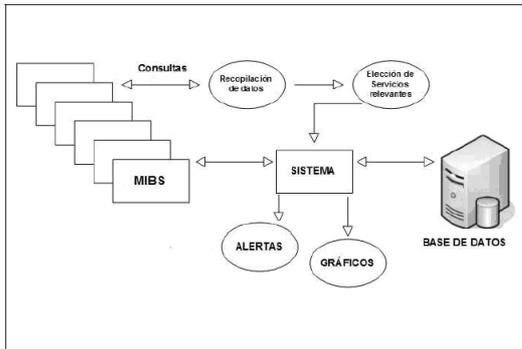


Figura 2- Esquema del Sistema

II.F Entorno de Desarrollo

Para seleccionar las herramientas se tuvo en cuenta que:

- Dan cumplimiento a los requerimientos del sistema.
- Son usadas en la instalación.
- Son usadas por los clientes.
- Son de libre distribución.
- Por su documentación.
- Por la comunidad y soporte que brindan.
- Facilidad de configuración, adaptándose a las necesidades y capacidades.

Después de un exhaustivo análisis y pruebas se optó por el conjunto de herramientas que se muestra en tabla 3.

Herramienta	Aplicación	Observaciones
Linux	Sistema operativo, distribución Gentoo [8]	Cumple con los requerimientos y soporta todas las herramientas que se usaran en el proyecto.
Apache [9]	Servidor web	Soporta php y permite previsualizar y probar el código mientras se está desarrollando el sistema.
MySQL [10]	Sistema de gestión de base de datos	Es usado por el cliente y cumple con los requerimientos.
PHP [11]	Lenguaje de programación	Facilita la incorporación de librerías específicas para redes y permite crear interfaz gráfica para el usuario así como la conexión con MySQL.

Herramienta	Aplicación	Observaciones
PhpMyAdmin [12]	Aplicación que permite administrar bases de datos MySQL	Utilizado por su simplicidad, con el fin de gestionar y generar la base de datos del sistema
MRTG [13]	Software de gráficas	Permite realizar gráficas de dispositivos SNMP y se adapta fácilmente al cumplimiento de requerimientos específicos
Vixie-cron [14]	Paquete de Linux	Ejecuta las tareas de manera programada y es usado por el cliente
Netkit-telnetd [15]	Paquete de Linux	Contiene el cliente Telnet por líneas de comandos, permite interactuar con el dispositivo usando el protocolo Telnet y es usado por el cliente
Tcpdump [16]	Herramienta de Linux	En línea de comandos permite realizar capturas y analizar el tráfico en tiempo real
Net-snmp	Conjunto de aplicaciones	Usado para implementar el protocolo SNMP en IPv4 e IPv6
Net/Ping.php	Paquete de Linux	Librería necesaria para diagnosticar el estado del cable-módem

Tabla 3 – Herramientas

II.G Desarrollo del sistema

Para cumplir con el listado de los objetivos detallados en la tabla 2 se procedió de la siguiente manera:

1) Búsqueda de estados:

Se realizaron consultas a los cable-módems a través del protocolo SNMP, desde una consola de Linux con el siguiente formato: snmpwalk [version] [IP] [comunidad] [OID], con la finalidad de recopilar información de estados para luego seleccionar los fundamentales para el monitoreo.

2) Selección de estados:

La lista de estados seleccionada, funciona para los módems compatibles con DOCSIS [17]. Se realizaron pruebas con Arris, Cisco, y Motorola. La tabla 4 muestra y describe algunos de los servicios más importantes obtenidos a través de consultas con snmpwalk. Los valores fueron validados con las herramientas antes mencionadas.

MIBS (Nombre)	Descripción
docsIfSigQUnerroreds	Especifica el número de palabras de código recibido en este canal sin errores
docsIfSigQCorrecteds	Especifica el número de palabras de código recibido en este canal con errores corregibles
docsIfSigQUncorrectables	Especifica el número de palabras de código recibido en este canal con errores irre recuperables
docsIfDownChannelInterleave	Especifica el entrelazado de los canales de QAM
docsIfDownChannelPower	Especifica la medida de la Potencia
docsIfSigQSignalNoise	Especifica la relación señal / ruido percibido por este canal en [dB]
docsIfCmStatusTxPower	Especifica la potencia de transmisión para el canal ascendente, es decir significa el nivel de TX del módem en [dBmV]

Tabla 4- Lista de Servicios

3) Estados relevantes

Los seleccionados fueron [18] [19]:

- SigQSignalNoise, especifica la relación señal-ruido o SNR, en el downstream.
- DownChannelPower, denominada Rx determina la potencia del Downstream.
- CmStatusTxPower, denominada como Tx define la potencia del upstream.

Se seleccionaron estos estados como los principales porque son parámetros fundamentales en las comunicaciones y

determinan las condiciones de transmisión y recepción de las señales.

4) Rango de valores y 5) Elección de eventos:

Existe un rango de señal, en el que se logra un funcionamiento adecuado, esto se refiere a niveles de transmisión, recepción y relación señal-ruido del cable módem.

Se realizó un estudio minucioso a partir de la norma DOCSIS, consultando a los expertos que operan en la empresa y a otros, verificando finalmente a través de estadísticas sobre los usuarios. Se establecieron los niveles indicados en las tablas 5 a 8.

Niveles de Transmisión – Tx	
Upstream Power	
Alertas	Rangos
OK	Entre 40 y 55 dBmV (40 <= Tx <= 55)
Warning	Entre 35 y 40 dBmV (35 <= Tx < 40)
Warning	Entre 55 y 60 dBmV (55 < Tx <= 60)
Critical	Menores a 35 dBmV (Tx < 35)
Se puede considerar hasta 60 dBmV	Mayores a 60 dBmV (60 < Tx)

Tabla 5- Nivel de Transmisión

Niveles de Recepción – Rx	
Downstream Power	
Alertas	Rangos
OK. Debe estar lo mas cercano a cero	Entre -10 y 10 dBmV (-10 <= RX <= 10)
Warning	Entre -10 y -14 dBmV (-10 < RX <= -14)
Warning	Entre 10 y 14 dBmV (10 < Rx <= 14)
Critical	Mayores a -15 dBmV (Rx => -15)
Critical	Mayores a 15 dBmV (Rx => 15)

Tabla 6 – Nivel de Recepción

Niveles de Ruido – SNR	
SNR para QAM256	
Alertas	Rangos
OK	Entre 30 y 38 dB (30 <= SNR <= 38)
Warning	Entre 25 y 30 dB (25 <= SNR < 30)
Critical	Menores a 25 dB (SNR < 25)
Es posible, no hay un limite superior	Mayores a 38 dB (38 < SNR)

Tabla 7- Relación Señal/Ruido para QAM 56

Niveles de Ruido – SNR	
SNR para QAM64	
Alertas	Rangos
OK	Entre 27 y 38 dB (27 <= SNR <= 38)
Warning	Entre 24 y 27 dB (24 <= SNR < 27)
Critical	Menores a 24 dB (SNR < 24)
Es posible, no hay un limite superior	Mayores a 38 dB (38 < SNR)

Tabla 8- Relación Señal/Ruido para QAM 64

6) Definición de tiempo en los cable-módems:

Se estableció como solución de compromiso que el sistema de alarmas debe monitorear cada 8 segundos porque los valores SNR, Rx y Tx no varían demasiado con el tiempo, y también porque es adecuado para no saturar la red con consultas.

7) Selección de estados a almacenar:

El sistema de alertas almacena en la base de datos los estados: SNR, Rx, y Tx. Se guardan los parámetros fundamentales si los valores obtenidos no se encuentran en los rangos establecidos en el punto 5.

8) Definición de tiempo en la base de datos:

Se consideró que el sistema de alarmas debe almacenar los datos cada 5 minutos, lo que fue especificado taxativamente por los expertos de la empresa, considerando sus necesidades

y la capacidad de almacenamiento disponible.

9) Selección de estados a graficar:

Los estados a graficar son: SNR, Rx, Tx, el consumo del ancho de banda y valores de FEC (Forward Error Correction) tanto de errores corregibles como de errores irrecuperables.

Estos son seleccionados por considerarse indispensables, su gráfica permite un análisis simple y rápido. También se ha incluido el gráfico de ancho de banda para monitorear su consumo en tiempo real.

III. Resultados

El sistema desarrollado, llamado “cm_monitor”, es un sistema de monitorización que analiza los servicios especificados en tiempo real, alertando cuando el comportamiento de los mismos no es el deseado mediante márgenes definidos, interacciona con la base de datos almacenando los datos relevantes y permite visualizar el estado de la red mediante gráficos. Emplea una interfaz gráfica Web para la visualización de los servicios, además cuenta con documentación de ayuda para resolver los problemas y el chequeo historial de los servicios relevantes.

En las figuras 3 a 9 se muestran algunas de las pantallas que arroja el sistema.

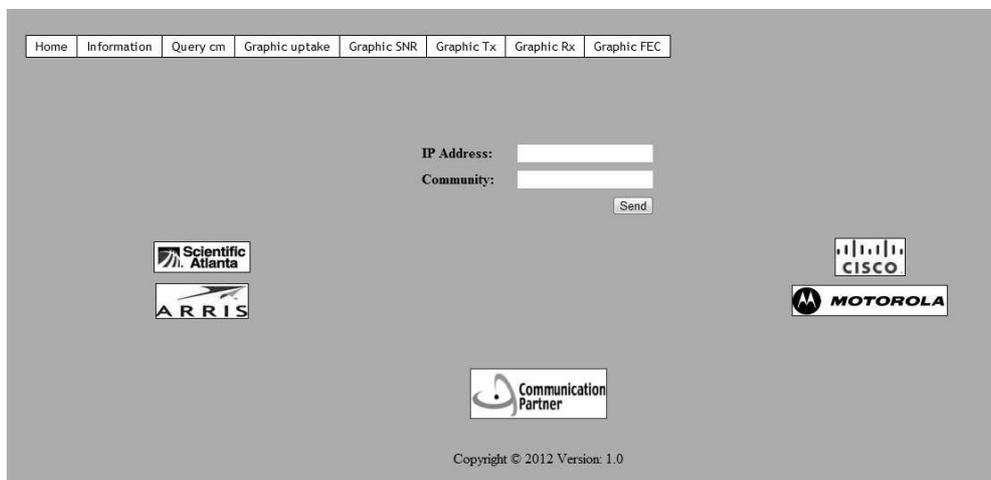


Figura 3- Pantalla de Ingreso

Current Network Status the modem cable

INFORMATION	
PING	OK
MAC	0:15:9a:de:6e:aa
Model	HW_REV: 1; VENDOR: Motorola Corporation; BOOTR: 2164;
Update Firmware	'SB5101-2.7.6.0-GA-00-NOSH'
Config File	'D11_CM1024_256-INTERNET.cm'
Duplex Status	Full Duplex
Status Docsis Oper Mode	docsis 1.0
Status Modulation Type	tdma
UpTime	(34756200) 4 days, 0:32:42.00

Figura 4- Tabla de Información del CM

DOWNSTREAM	
Down Channel ID	2
Down Channel Frequency	519 MHz
Down Channel Width	6 MHz
Down Channel Modulation	qam256
Forward Error Correction Interleaving	taps32Increment4
Down Channel Power	5.9 dBmV
SNR	37.2 dB

UPSTREAM	
Up Channel ID	1
Up Channel Frequency	31 MHz
Up Channel Width	3.2 MHz
Up Channel Slot Size	2
Up Channel Type	tdma
Up Channel Tx TimingOffset	8907
Cm Status Tx Power	45.5 dBmV

Figura 5- Estados de Downstream y Upstream

SNR - Tx - Rx

QUERY

Recuerde que el formato de la fecha es: año-mes-día

From Date:

To Date:

Lines:

All IP

IP:

[Ir al HOME](#)

Figura 6- Interfaz Gráfica para Consultas

Status the modem cable

10.21.1.216 - Received SNR

Estadísticas actualizadas el Domingo 3 de Junio de 2012 a las 18:35, 'SB5101' ha estado funcionando durante 60 days, 3:54:50.

Gráfico diario (5 minutos : Promedio)

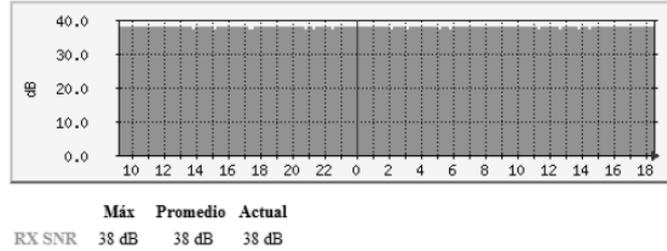


Figura 7- Gráfico de Relación Señal/Ruido

Status the modem cable

10.21.1.216 - Transmit Power

Estadísticas actualizadas el Domingo 3 de Junio de 2012 a las 18:35, 'SB5101' ha estado funcionando durante 60 days, 3:54:50.

Gráfico diario (5 minutos : Promedio)

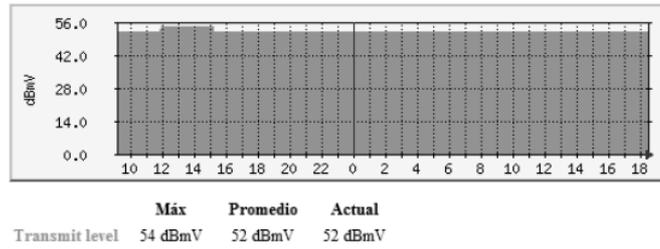


Figura 8- Gráfico de Potencia de Transmisión

Status the modem cable

10.21.1.216 - Received Power

Estadísticas actualizadas el Domingo 3 de Junio de 2012 a las 18:35, 'SB5101' ha estado funcionando durante 60 days, 3:54:50.

Gráfico diario (5 minutos : Promedio)

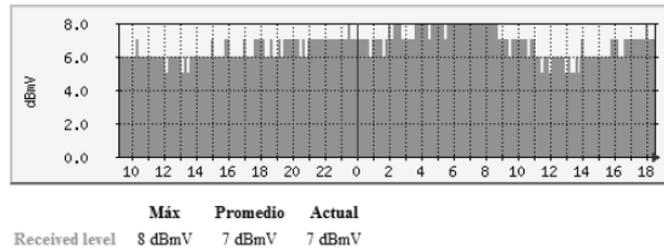


Figura 9- Gráfico de Potencia de Recepción

IV. Conclusiones y Trabajos Futuros

En las redes HFC, cuando no se observan los procedimientos correctos para manipulación de cables y equipos, se generan deficiencias que facilitan la inserción de señales que interfieren la señal transmitida y que, consecuentemente, degradan la calidad de servicio. El sistema realizado tiene como objetivo subsanar estos inconvenientes para lo que detecta y da alarma en aquellos casos en que se produce alguna perturbación que impide el funcionamiento adecuado de los equipos.

Con la ayuda del protocolo SNMP, se obtuvieron los servicios relevantes para el monitoreo de los dispositivos de estas redes, midiendo su comportamiento.

Se diseñó e implementó un sistema de alarmas optimizando los servicios en tiempo real a través de mediciones, lo que permite en forma automática detectar fallas en la red, facilita la toma de decisiones y obtiene eficiencia en el rendimiento de la red.

El sistema diseñado:

- Permite calificar los resultados según el nivel de los sucesos.
- En base a la calificación, el sistema almacena los datos no deseados.
- Ofrece un servicio de “Logs” que ayuda en la resolución de problemas.
- Proporciona los gráficos de los servicios relevantes para facilitar su análisis.
- Brinda interfaces gráficas para realizar consultas a la base de datos de los datos históricos y consultas a los dispositivos de los distintos modelos.
- Mejora el tiempo de respuesta frente a un evento.
- Mejora el desempeño del operador.
- Obtiene mayor satisfacción del cliente.

- Anticipa el funcionamiento incorrecto.
- Anticipa el escalado de la instalación.

El sistema ha sido implementado utilizando módulos y librerías de PHP, y paquetes de Linux, esto proporciona una adecuada funcionalidad con el hardware. Además deja abierta la posibilidad de adaptar el código para cualquier tipo o tecnología de red o necesidades específicas. Se documentó toda la información para un posterior estudio de requerimientos, que continúen y perfeccionen el presente trabajo.

El software desarrollado es simple (fácil de usar, instalar y operar), estable y robusto (después de 180 días no registra anomalías en su funcionamiento), la base de datos ha crecido en forma lineal y los valores obtenidos han permitido realizar mejoras en el equipamiento, atención y tiempo de respuesta, por lo que hoy el operador lo considera útil para la explotación del sistema.

Si bien está generalizado el uso de sistemas de monitoreo libre como el Nagios o el Zenoss, o el Big Brother, es necesario mayor conocimiento técnico para su utilización que el requerido para el presentado, que se maneja en base a agentes y consultas mediante el protocolo SNMP, sin necesidad de conocimientos profundos en programación para confeccionar scripts. El sistema presentado fue diseñado e implementado a medida de las necesidades de la empresa y a partir de una elección de diversas herramientas Open Source, puede ser fácilmente interpretado por empleados comunes y fácilmente modificado por personal experto.

Es posible realizar mejoras y ampliaciones del sistema. El trabajo futuro puede extenderse a otros tipos de red, mejorar la interfaz gráfica e incorporar nuevas funciones:

- Permitir al usuario elegir el tipo de red.
- Monitorizar y graficar los servicios relevantes para las diferentes redes.
- Implementar seguridad.

Referencias

- [1] Ovadia, Shlomo. "Broadband Cable TV Access Networks", Ed. Prentice Hall, 5^{ta} Ed, 2001.
- [2] CableLabs, "DOCSIS: Documentación y Especificaciones", <http://www.cablemodem.com/primer/>, visitada en marzo 2012.
- [3] MOTOROLA Inc., SURFboard® SB5100 Cable-Modem, Guía del Usuario del usuario del cable-módem, http://broadband.motorola.com/noflash/customer_docs/user_guides/501650-05-a.pdf, visitada en marzo 2012.
- [4] Mei Yatco, "Joint Application Design/Development", University of Missouri, 1999, <http://www.umsl.edu/~sauterv/analysis/JAD.html>.
- [5] Sommerville, Ian. "Ingeniería de software", Ed. Pearson, 7^{ma} Ed, 2005.
- [6] Weitzenfeld, Alfredo, "Ingeniería de Software Orientada a Objetos con UML, Java e Internet", Ed. Thomson, 3 Ed , 2005.
- [7] Mauro D., Schmidt K, "Essential SNMP", Ed. O'Reilly, 2nd Edition, 2005.
- [8] <http://www.gentoo.org/>, visitada en junio 2012.
- [9] <http://www.apache.org/>, visitada en junio 2012.
- [10] <http://www.mysql.com/>, visitada en junio 2012.
- [11] php.net, visitada en junio 2012.
- [12] <http://www.phpmyadmin.net>, visitada en junio 2012.
- [13] Oetiker, T., "MRTG Documentation", <http://oss.oetiker.ch/mrtg/doc/index.en.html>.
- [14] <http://www.gentoo.org/doc/en/cron-guide.xml>, visitada en marzo 2012.
- [15] <http://www.gentoo.org/security/en/glsa/glsa-200503-36.xml>, visitada en marzo 2012.
- [16] Van Jacobson, Craig Leres and Steven McCanne. Tcpdump Linux Man Page.
- [17] <http://www.docsis.org/>, visitada en marzo 2012.
- [18] Freeman, R., "Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación", Ed. Limusa, 1996.
- [19] Lathi, B. P., "Introducción a la Teoría y Sistemas De Comunicación", Ed. Limusa, 1996.

Datos de Contacto

Patricia Herrera, Laboratorio de Redes y Comunicaciones de Datos, LaRyC, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Vélez

Sársfield 1611, Córdoba, Argentina, CP 5000, patriciaherrera.ic@gmail.com.

Laura Vargas, LaRyC, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Vélez Sársfield 1611, Córdoba, Argentina, CP 5000, lvargas@efn.uncor.edu.

Orlando Micolini, Laboratorio de Arquitectura de Computadoras, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Vélez Sársfield 1611, Córdoba, Argentina, CP 5000, omicolini@compuar.com.