

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL CONTROL, SUPERVISIÓN Y GESTIÓN DE REDES BASADAS EN EL PROTOCOLO IPV4.

Resumen

Considerando la importancia que reviste la supervisión y gestión oportuna de las redes de telecomunicaciones en el mundo actual, se planteó el "Diseño e implementación de un sistema para el control, supervisión y gestión de redes basadas en el protocolo IPv4". Basado en un estudio tanto teórico como empírico, se realizó la investigación del *Protocolo Simple de Gestión de Redes (SNMP)*, sobre el cual se soporta el desarrollo del sistema de gestión. Para la determinación de las características innovadoras de la aplicación, se realizó un estudio de mercado donde se evaluaron las diferentes herramientas que ofrecen servicios de gestión y supervisión. Adicionalmente, se realizó un análisis técnico que permitió decidir sobre qué plataforma realizar el desarrollo: Sistema Operativo Windows, lenguaje de programación orientado a eventos, ambiente de desarrollo Visual Basic 6.0. La programación del prototipo se caracterizó en dos macro etapas: a) el desarrollo de las funcionalidades de supervisión a través de la implementación del protocolo SNMP y b) el desarrollo y evaluación del sistema de control para la programación de las tablas de ruta de forma remota. Finalmente, se incluyó la funcionalidad de reportes de falla en tiempo real, a través de correo electrónico, después de realizado el estudio de alternativas existentes. El Trabajo Especial de Grado contiene las pruebas del prototipo desarrollado en una red TCP/IP de 10 estaciones lo cual se presenta a través de las pantallas de resultados y los diferentes casos de uso.

Palabras clave: Sistema de Gestión, SNMP, Sistema de Supervisión, TCP/IP.

■ Ing. M, Sabal.

Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones
miguel_sabal@ucab.edu.ve

Tutor: Ing. José Gregorio Cotua.

Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones
jgcotua@yahoo.com

Abstract

Considering the tremendous importance that opportune monitoring and management of telecommunication networks currently have, the "Design and implementation of a control, monitoring and management system for IPv4 based networks" has been raised. based on a theoretical and empirical study, a research was carried out upon Simple Network Management Protocol (SNMP) which supports the management system development. Thus, in order to determine the innovating features of the application, a market study was done to evaluate which are the tools available in management and monitoring services. Furthermore, a technical analysis was performed to determine the platform to be used: Windows Operating System, event-oriented programming language, and Visual Basic 6.0 developing environment. The application programming was divided into two phases: a) Developing the monitoring tools trough the implementation of the SNMP protocol and b) Developing and evaluating the control system, to carry out the routing tables remote programming. Finally, a real-time fault reporting functionality was included to send reports trough email (chosen after studying the existing alternatives such as short messaging, t-motion and email). The Dissertation Project contains the validation of the Prototype developed in a network of 10 workstations based on TCP/IP. Results are presented trough screenshots and the use cases.

Keywords: Management System, SNMP, Monitoring System, TCP/IP.

I. Introducción

Con el crecimiento del sector de las telecomunicaciones, las redes se han convertido en una herramienta esencial para la optimización de procesos y capital humano en cualquier organización. Los sistemas de control y supervisión de redes resultan indispensables para todas las empresas e instituciones que tienen como objetivo explotar los canales de telecomunicaciones, pues se hace cada vez más importante conocer de forma oportuna, rápida y eficiente, la condición de los nodos que forman parte de la topología de una red, como enrutadores, conmutadores, enlaces microondas, ordenadores personales, entre otros.

Hoy en día, los sistemas de supervisión y control de redes que ofrece el mercado, son sumamente costosos y su valor se incrementa a medida que aumenta el número de estaciones. Aplicaciones reconocidas a escala global como ORION, desarrollada por el equipo de administración de redes de Solarwinds, tiene un costo que oscila entre \$ 1.945, para topologías de hasta 16 estaciones y \$ 20.000, para redes que llegan a más de 1000 estaciones. Por esta razón, el uso de dichos sistemas se ha limitado a los Proveedores de Servicios de Internet (ISP) o a las instituciones con gran capacidad económica.

Además de la poca accesibilidad que tienen estas herramientas por la inversión económica que implican, la mayoría de los sistemas de supervisión son estáticos, es decir, no son capaces de tomar decisiones en cuanto al enrutamiento del tráfico en caso de existir congestión o pérdida del servicio en alguna estación de la red, siendo esto de vital importancia para organizaciones en las que se realizan numerosas operaciones a través de sus redes.

Por las razones expuestas anteriormente, se decidió desarrollar un sistema de control y gestión que permita la supervisión de todos los nodos que integran una red de cualquier topología basada en el protocolo de red IPv4, a través de la implementación del protocolo SNMP, que de forma dinámica tenga la capacidad de tomar decisiones con respecto al enrutamiento del tráfico dentro de la red.

El presente artículo se estructura por secciones, que permiten su fácil lectura y entendimiento. La primera es la introducción que involucra al lector en el contexto del tema, luego se encuentran los objetivos y la justificación del estudio para dar lugar a la descripción metodológica utilizada en la investigación e implementación del sistema. Finalmente se describe con detalle el desarrollo y los resultados obtenidos, para terminar con las conclusiones y recomendaciones.

II. Objetivos

- Realizar un estudio detallado de las herramientas existentes en el mercado que permitan el control y supervisión de redes, con el objeto de precisar sus funcionalidades, ventajas y desventajas para verificar la factibilidad de desarrollar una aplicación

competitiva y que cumpla con los requerimientos establecidos.

- Determinar en qué plataforma tecnológica realizar el diseño, Microsoft o Linux, tomando en cuenta para ello factores como los requerimientos planteados, complejidad del diseño y posibilidad de desarrollo en cada plataforma.
- Investigar de forma detallada el protocolo de control de redes SNMP (Simple Network Management Protocol), para su implementación en el sistema de gestión.
- Implementar la aplicación para generar reportes vía correo electrónico de los eventos que ocurran en cualquier estación de la red en gestión.
- Evaluar las alternativas existentes para generar reportes móviles en tiempo real (SMS, T-MOTION, VIPER, entre otros), precisando cuál de ellas resulta más adecuada para garantizar una supervisión que proporcione ventajas de movilidad.
- Realizar el diseño del sistema de gestión y supervisión implementando un prototipo que cumpla con las funcionalidades establecidas y las ventajas que presenta este diseño ante las herramientas existentes en el mercado.
- Verificar el funcionamiento del prototipo a través de distintas pruebas sobre una red TCP/IP de al menos 10 nodos.

III. Justificación

Dado el gran auge que han tenido las redes en los últimos años, surge la necesidad de tener un control preciso de las actividades que se llevan a cabo en las mismas. Al implementar un sistema que permita obtener en forma rápida y veraz estadísticas y reportes del estado de la red, se puede detectar con mayor exactitud cualquier irregularidad que ocurra de forma muy eficiente. Esto podrá lograrse a través de un prototipo de usuario final que le permita a éste realizar consultas haciendo uso de una interfaz gráfica amigable, logrando un alto nivel de exhibibilidad para la obtención de información, permitiendo confirmar cualquier sospecha que pueda existir con respecto a cierto comportamiento de la red. Al desarrollar la aplicación de esta forma, se puede cubrir prácticamente cualquier solicitud que

el usuario requiera sin importar el nivel de detalle al cual desee llegar.

Las facilidades que proporciona este sistema con respecto a los existentes en el mercado, además de los costos evidentemente, es el hecho de poder realizar un control dinámico de los eventos que ocurren en las estaciones de trabajo, solucionando de forma casi inmediata, remota y automática congestiones y caídas del sistema.

Una vez definidos los objetivos y la justificación que sustentó la realización del proyecto, se concibió el alcance del mismo, estableciéndose que el sistema se limitara a redes basadas en el protocolo IPv4. Su diseño se pensó para operar hasta un máximo de 60 nodos. Además, que fuera capaz de proveer de la información relacionada a la disponibilidad, ancho de banda, errores de hardware y consumo de memoria y del CPU. Se consideró necesario que fuera un sistema escalable y amigable, con capacidad de generar reportes estadísticos en cuanto a fallas e interrupciones del servicio.

IV. Metodología

El presente Trabajo Especial de Grado contempla un estudio tanto teórico como empírico que abarca la utilización de distintas estrategias de recolección y análisis de datos, así como la implementación tecnológica del Protocolo Simple de Gestión de Redes, SNMP. Para ello, se empleó una metodología compuesta, basada en cinco estrategias de investigación y desarrollo:

III.1. Investigación de mercado:

Es una herramienta que permite conocer, comparar y evaluar las características del mercado en términos de demanda, calidad de los servicios ofrecidos, vida útil de los productos existentes, relación costo-beneficio, debilidades, oportunidades, amenazas y fortalezas propias y de la competencia, entre otras variables relevantes (Hernández, 2006).

En el ámbito tecnológico, la investigación de mercado provee información útil para la definición del alcance y análisis de factibilidad de los proyectos de desarrollo, facilitando la estimación de resultados y promoviendo la generación de ideas competitivas.

III.2. Estudio Comparativo:

Para que la toma de decisiones esté fundamentada en argumentos sólidos, se utiliza el estudio comparativo como estrategia de documentación y soporte de las estrategias y acciones que se tomen en la ejecución de un determinado proyecto.

El estudio comparativo pretende hacer uso de las diferencias y similitudes encontradas en los elementos en proceso de análisis, para facilitar su comprensión y poder emitir juicios asertivos en relación a las ventajas y desventajas que ofrecen cada uno de ellos.

III.3. Recolección de datos:

Documentación teórica:

A través de la investigación aplicada y descriptiva, "que consiste en la descripción de algunas características fundamentales de fenómenos o procesos homogéneos" (Sabino, 1986) se realizará la documentación teórica para la obtención de los contenidos y conocimientos que soportan el desarrollo del proyecto.

III.4. Diseño del sistema:

La utilización de mapas conceptuales, diagramas de clases y descripción de métodos, permite una aproximación lo más exacta posible a las necesidades y requerimientos del proyecto en desarrollo (Ortiz, 2006). El diseño del sistema se basa en la utilización de las herramientas mencionadas anteriormente, entre otras, para generar un modelo inicial a partir del cual se implementará la aplicación.

III.5. Desarrollo del prototipo: programación orientada a eventos y orientada a objetos:

La metodología a utilizar para el desarrollo del Prototipo se basa en el Paradigma de la Programación Orientada a Objetos, la cual define la implementación en términos de objetos que son entidades que combinan estado, comportamiento e identidad (Wikipedia, 2006).

Adicionalmente, para la realización de una interfaz gráfica amigable, se empleará la Programación Orientada a Eventos, que

tiene como ventajas que proporciona al usuario la posibilidad de construir aplicaciones utilizando interfaces gráficas sobre la base de ocurrencia de eventos.

A través de la convergencia de la programación Orientada a Objetos y la Orientada a Eventos se garantiza el desarrollo de aplicaciones robustas, eficientes, escalables y sobre todo amigables.

IV. Marco referencial

Hoy en día se hace uso de distintas herramientas para la administración, supervisión y gestión de redes. Según los resultados que generan estas herramientas, el administrador puede identificar fallas dentro de la red, prevenir congestión, enrutar el tráfico y hasta prevenir ataques informáticos.

Existen varios protocolos utilizados para la gestión de redes basadas en TCP/IP; los más conocidos son el SNMP (*Simple Network Management Protocol*), descrito en el RFC 1157 y el CMIP (*Common Management Information Protocol*), descrito en el RFC 1189.

SNMP en sus distintas versiones, es un conjunto de aplicaciones de gestión de red que emplea los servicios ofrecidos por TCP/IP, y que ha llegado a convertirse en un estándar. Surge a raíz del interés mostrado por la IAB (*Internet Activities Board*) en encontrar un protocolo de gestión que fuese válido para la red Internet, dada la necesidad del mismo debido a las grandes dimensiones que estaba tomando (Huidobro, 2004).

V.1. Arquitectura SNMP

Implícita en el modelo de arquitectura del SNMP existe una colección de estaciones de gestión de red y de elementos de red. Las estaciones de gestión de red ejecutan aplicaciones de gestión que supervisan y controlan los elementos de red. Los elementos de red son dispositivos como hosts, gateways, servidores de terminal, etc., que poseen agentes de gestión para realizar las funciones solicitadas por las estaciones de gestión de red. El SNMP es usado para comunicar información de gestión entre las estaciones de gestión de red y los agentes en los elementos de red. En la figura 1 se muestra un esquema de la arquitectura del protocolo SNMP (RFC 1157, 1999).

V. Desarrollo

SNMP es un protocolo del nivel de aplicación que utiliza como protocolo de transporte UDP. Define una relación cliente/servidor entre el gestor de red (que actúa de cliente) y los elementos gestionados (que son los servidores y reciben el nombre de "agentes SNMP").

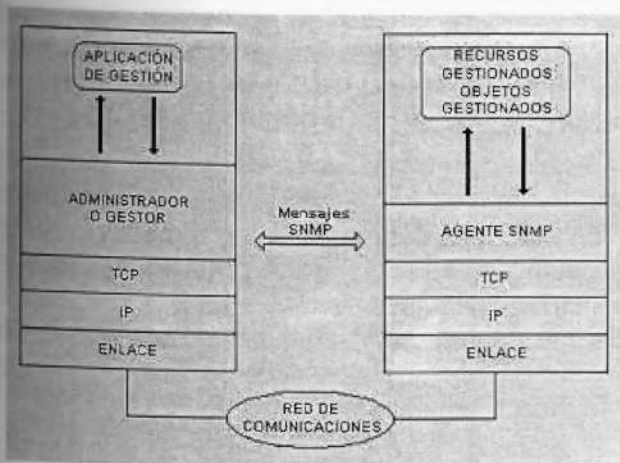


Figura 1. Arquitectura Protocolo SNMP
Fuente: HUIDOBRO, J.

De esta forma, para el protocolo SNMP la red constituye un conjunto de elementos básicos integrados por los *Administradores o Management Stations* ubicados en los equipos de gestión de red y los *Agentes* (elementos pasivos ubicados en los nodos -host, routers, modems, multiplexores, etc.- a ser gestionados), siendo los segundos los que envían información a los primeros, relativa a los elementos gestionados, por iniciativa propia o al ser interrogados (*polling*) de manera secuencial, apoyándose en los parámetros contenidos en sus MIB (*Management Information Base*). La figura 2, muestra una topología de red que se comunica a través de SNMP.

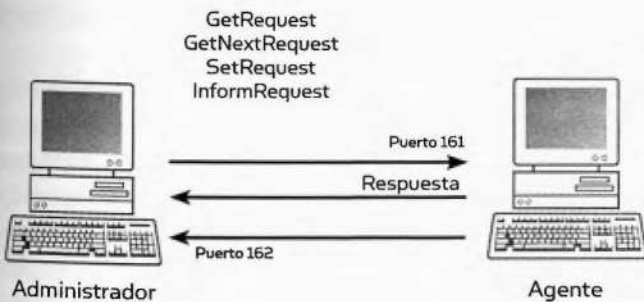


Figura 2. Modelo de funcionamiento del Protocolo SNMP
Fuente: Elaboración Propia

El presente proyecto se dividió en dos (2) macro etapas que engloban todas las actividades que condujeron al desarrollo del Sistema de Control, Supervisión y Gestión de Redes basadas en el protocolo IPv4. Dichas etapas se estructuraron en tareas específicas, cada una de ellas asociada a los objetivos planteados.

En la figura 3 se presenta un modelo relacional de las etapas de desarrollo del Sistema.

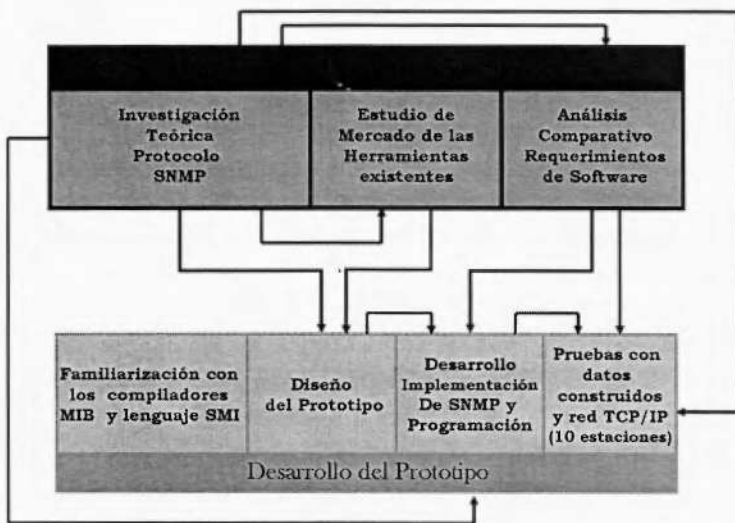


Figura 3. Modelo Relacional Etapas de Desarrollo TEG
Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en el Modelo Relacional, existe una real interdependencia entre los procedimientos y tareas específicas utilizadas para el desarrollo del Sistema de Control y Supervisión de Redes.

A continuación se describen cada una de las actividades llevadas a cabo durante la ejecución del proyecto, así como el procedimiento detallado para la implementación del prototipo.

V.1 Documentación Teórica Protocolo Simple de Gestión de Redes SNMP

La documentación teórico-práctica del protocolo que sustenta el Sistema desarrollado (SNMP), sirvió como base para todas las actividades sucesivas que formaron parte del proyecto. De hecho, la investigación del protocolo fue un proceso considerablemente dinámico, ya que el diseño e implementación del sistema exigió de actualizaciones continuas y de un dominio absoluto de la arquitectura y funcionamiento de SNMP.

V.2 Investigación de las Herramientas existentes en el Mercado

Realizar el estudio y el desarrollo de un sistema de gestión de redes es una tarea ambiciosa si se piensa en la gran cantidad de productos similares que existen en el mercado y en la importancia que ha ido adquiriendo la supervisión oportuna y eficiente de las estaciones que la conforman. Por lo tanto, antes de iniciar el diseño y determinar las características específicas del sistema a desarrollar, se consideró indispensable realizar un análisis de las herramientas de supervisión que se ofrecen en el mercado con el fin de presentar un prototipo competitivo y capaz de introducir elementos innovadores en los futuros desarrollos.

Como estrategia para organizar la investigación y obtener una información lo más completa y confiable posible, se utilizó la Internet como herramienta de búsqueda y se realizó una lista de todos los sistemas de gestión y supervisión de redes basadas en el protocolo IPv4; adicionalmente, se agregaron sus fuentes electrónicas para su fácil estudio.

Una vez finalizada la búsqueda, se seleccionaron 5 de los sistemas que se consideraron más completos, evaluando para esa selección no sólo el nivel de reportes que proporcionaba cada uno, ni la robustez del desarrollo, sino también parámetros de estimación de mercado como los comentarios emitidos por los usuarios de estos sistemas en los foros de discusión.

Los 5 sistemas que se estudiaron con detalle fueron los siguientes:

- JFFNMS (*Just For Fun Network Management System*). Desarrollado por Cisco System.
- OPENNMS (*Open Network Management System*). Basado en código abierto (*Open source*), implementado por los mismos creadores de Wikipedia.
- *Fidelia Netvigil*: Desarrollado por Network General.
- IP-MONITOR. Desarrollado por IPMonitor Corporation. Sistema de Gestión con certificado Microsoft.
- ORION NPM. (*Network Performance Monitor*). Desarrollado por Solarwinds empresa líder en sistemas de Gestión y Supervisión de Redes IP.

V.3 Análisis de los Requerimientos de Software.

Conocidas las características mínimas que se requieren para generar un producto competitivo, se procedió a realizar el análisis comparativo de la plataforma tecnológica sobre la cual se debía realizar el diseño y la implementación del sistema.

Se inició el análisis evaluando los dos Sistemas Operativos por excelencia, el soportado por Microsoft: Windows XP, y el que se basa en la tendencia del software libre, LINUX: en cualquiera de sus versiones.

Para soportar la documentación, se realizó una investigación detallada de ambos sistemas y se realizó la comparación en ciertos elementos específicos, seleccionados previamente, que se consideraron trascendentales para la toma de decisiones, tales como instalación, compatibilidad, interfaz gráfica, administración de redes, estabilidad y facilidad de uso.

Resultó bastante complejo tomar una decisión de cuál plataforma tecnológica utilizar para el diseño e implementación del Sistema. En primer lugar, Windows es un Sistema Operativo amigable, fácil de instalar y resulta mucho más sencillo desarrollar interfaces gráficas de calidad bajo este entorno. Sin embargo, en términos generales la tendencia del Software Libre es cada vez mayor y Linux está teniendo gran auge debido a que resulta un poco más estable y es más potente para la administración de redes. Basado en la realización de esta investigación y bajo la premisa de la familiarización que existe con el entorno Microsoft, la facilidad de desarrollar ambientes gráficos amigables y la compatibilidad con los diversos fabricantes de hardware, se decidió realizar el desarrollo haciendo uso del Sistema Operativo Windows XP.

Definido el Sistema Operativo sobre el cual soportar el desarrollo, se procedió al análisis del lenguaje de programación a utilizar para el diseño y posterior implementación del mismo.

Se seleccionaron 3 lenguajes de programación estándares, Visual Basic, JAVA y C++ para su evaluación y comparación, y de la misma manera como se realizó con el Sistema Operativo, se seleccionaron 3 variables que de forma objetiva, sustentaran una evaluación enmarcada en las necesidades propias del sistema en desarrollo y no en los paradigmas y argumentaciones tradicionales de los programadores. Dichas variables fueron: Portabilidad, Interfaz Gráfica y Gestión de Redes.

Realizado el análisis comparativo-descriptivo de las características mencionadas anteriormente en cada uno de los lenguajes de programación y considerando la inminente necesidad de realizar un desarrollo robusto, amigable y competitivo, se decidió inicialmente utilizar el lenguaje Visual Basic 6.0

Ante los paradigmas existentes de la poca fortaleza del lenguaje seleccionado, se realizó una investigación documental y experimental que permitiera blindar cualquier tipo de argumentación contra el nuevo ambiente de desarrollo. Tomando en consideración las premisas utilizadas para la primera evaluación de los lenguajes (Portabilidad, Interfaz Gráfica y Gestión de Redes), sólo en uno de los aspectos Visual Basic 6.0 presenta una debilidad considerablemente importante: sólo trabaja bajo entorno Microsoft. Sin embargo, dicha debilidad se atenúa ante las herramientas que ofrece el lenguaje para la programación gráfica y el paradigma de Programación Orientada a Objetos y Eventos.

V.4 Familiarización con los Compiladores MIB y Lenguaje ASN.1

En la descripción del desarrollo del proyecto se ha mencionado frecuentemente la importancia del dominio de la información contenida en el *Management Information Base* (MIB) para la implementación del Sistema. La razón por la cual se ha redundado tanto en este tema es porque todas las variables que solicita el protocolo SNMP se encuentran contenidas en dicha base datos que organiza sus valores según un árbol jerárquico cuyas "ramas" están caracterizadas en distintas Macro-Divisiones de los parámetros de supervisión, en otras palabras, una "rama" contiene todos los valores relacionados con las características generales del sistema (e.j. nombre, ubicación, contacto, descripción); otra contiene los valores del estado de las interfaces de entrada y salida (e.j. ancho de banda, errores transmitidos, fabricante, etc.) y así con más de 1000 valores que se pueden obtener de forma remota a través del protocolo SNMP.

Todos los dispositivos de red basados en IPv4, por convención tienen uno o más archivos *.mib* en las carpetas del sistema. Sin embargo, la dificultad se presenta en cómo interpretar la información contenida en esos archivos. Procurar abrirlos a través

de un editor de texto resultaría un fracaso, pues están codificados en lenguaje ASN.1 imposibles de interpretar sin una herramienta especializada.

Debido a la inminente necesidad de conocer a profundidad la información contenida en el MIB, su estructura y significado, se utilizó un compilador denominado MIB Compiler, desarrollado por MG-SOFT LAB, empresa norteamericana especializada en sistemas de supervisión de redes.

El compilador se basa en una especie de traductor que decodifica cualquier archivo *.mib* y despliega de forma detallada el significado de cada OID, su tipo de acceso (lectura o escritura) entre otros. En la *figura 5* se muestra una imagen del software y la forma en que presenta la información al usuario.

V.5 Diseño del Sistema

Para el diseño del Sistema de Control, Supervisión y Gestión de Redes basadas en el protocolo IPv4 se aplicó el concepto de la Teoría General de Sistemas, el cual define a éstos como conjuntos de elementos que guardan estrechas relaciones entre sí, que lo mantienen directa o indirectamente unidos de modo más o menos estable y cuyo comportamiento global persigue, normalmente, algún tipo de objetivo (Arnold, 1998).

Para completar la definición de la metodología utilizada, se trabajó con la concepción de Sistemas Abiertos, en donde queda establecida como condición para la continuidad sistémica el establecimiento de un flujo de relaciones con el entorno.

Basado en el paradigma de la Programación Orientada a Objetos y explotando las fortalezas del ambiente de desarrollo de facilitar la Programación Orientada a Eventos, se realizó el diseño del Sistema dividiéndolo en 4 módulos funcionales que interactúan entre sí. La clasificación se realizó sobre la base del alcance del proyecto, considerando todos los requerimientos establecidos en la planificación inicial, e incluidas algunas novedades que surgieron como parte del aporte innovador y diferencial que se le dio al prototipo durante su desarrollo.

Los 4 módulos funcionales son los siguientes:

- Sesión y Configuración
- Supervisión
- Control
- Reportes

Los módulos funcionales son interdependientes e interactúan con una lista de objetos "Agentes" que presentan todos los atributos de las estaciones que se encuentran en supervisión y los métodos que hacen posible la comunicación Administrador-Estación.

V.5.1 Módulo de Sesión y Configuración

En el módulo de Sesión y Configuración, se realiza la apertura de los puertos de envío y recepción de mensajes SNMP, a través de los cuales se lleva a cabo el intercambio de información entre el administrador y los agentes en gestión.

Adicionalmente, tiene un atributo troncal representado por la *Lista de Objetos Agentes* que se inicializa en la carga del sistema y se actualiza periódicamente dependiendo de las estaciones que se vayan integrando a la topología de la red administrada.

Es en esta fase del sistema donde se configuran los parámetros de gestión y control de la aplicación, indicados por el modo de supervisión, dimensiones de las escalas temporales de los reportes gráficos, dirección de correo electrónico del administrador de la red, entre otros.

El Sistema desarrollado funciona bajo la topología cliente-servidor. El software de administración de la red envía mensajes de solicitud de información y cada estación remota tiene un agente SNMP corriendo que se comporta como servidor. En este módulo se realiza el primer intercambio de mensajes de solicitud y se cargan los valores iniciales de cada agente.

V.5.2 Módulo Supervisión

Los métodos y procedimientos que forman parte del presente módulo representan la columna vertebral de todo el sistema. Una vez configurados los parámetros generales en el módulo anterior y cargada la lista de agentes que se encuentran activos, el sistema inicia un proceso de encuesta periódica (*polling*) a través de mensajes *GetRequest* y *GetNextRequest*. Cada agente activo tiene un tiempo global asignado para solicitar todos los valores y cada mensaje de solicitud también tiene asignado un tiempo determinado. En otras palabras, como se muestra en el diagrama general del diseño, el objeto Agente tiene un atributo que define cuando le corresponde realizar su encuesta (como una glo-

balidad) y otro que determina cuándo solicitar cada dato específico.

Esa distribución temporal tan compleja se debe a que por el puerto SNMP 161 se puede establecer una sola comunicación simultánea, por tanto el esquema de encuestas periódicas a través de las cuales se van a generar los reportes gráficos, debe garantizar una asignación de tiempos para cada estación que se encuentre activa.

V.5.3 Módulo de Control

Una de las características que hacen del Sistema en desarrollo una herramienta novedosa frente a las alternativas que ofrece el mercado actual, es que además de supervisar y gestionar las estaciones activas en una red, es capaz de modificar las tablas de ruta de los nodos en caso de existir alguna falla, caída del sistema o congestión. Para ello, el módulo de control utiliza el protocolo SNMP para modificar los valores de las rutas por defecto que tiene cada estación.

Tanto el módulo de supervisión como el de control, tienen como función compartida la gestión de los TRAPS recibidos. Como se describió anteriormente, durante el proceso de supervisión se registran todas las alertas que llegan al sistema en un archivo de texto, mientras que en el proceso de control se evalúan esas alertas y el sistema, si se encuentra en modo de supervisión automático toma las decisiones que posiblemente solventen de manera temporal la causa que generó dicha alarma. En caso de que el modo de gestión sea manual, el administrador de la red tomará las decisiones que considere conveniente, modificando el valor del parámetro adecuado.

IV.5.4 Módulo Reportes

Para poder ofrecer una información amigable al administrador de la red se incluyó dentro del diseño un módulo de reportes que presenta los valores obtenidos en el proceso de supervisión a través de diversos formatos como tablas, gráficas, listas, entre otros.

El módulo de reportes es la interfaz directa con el usuario, sin embargo es producto del procesamiento de datos y mensajes entre los tres módulos anteriores.

- Incluye también las funciones especializadas que permiten que el administrador de la red

reciba correos electrónicos con el reporte de las alertas detectadas por el sistema en tiempo real.

V.6 Desarrollo e implementación del Prototipo

Después de realizado el diseño del Sistema de Control, Supervisión y Gestión de redes basadas en el protocolo IPv4, se procedió al desarrollo de un prototipo capaz de brindar las facilidades descritas en los apartados anteriores, a través de una interfaz amigable y basados en los paradigmas de Programación Orientada a Objetos y Orientada a Eventos que ofrece el ambiente de desarrollo empleado.

Para modelar el funcionamiento del prototipo se presentaron las secuencias dinámicas de acción entre los distintos grupos de objetos de la aplicación, para lo cual se emplearon diagramas distintos, denominados Diagrama de Colaboración y Diagrama de Secuencia.

En los resultados de la investigación, se explicarán con detalle los procedimientos implementados y el comportamiento de la aplicación, caracterizando de esta forma cada módulo funcional.

V.7 Evaluación de alternativas para generar reportes móviles

Uno de los objetivos que se plantearon inicialmente durante el proceso de formulación del presente proyecto de investigación y desarrollo, fue la evaluación de las alternativas para generar reportes móviles en tiempo real. En otras palabras, investigar la necesidad y conveniencia de agregar un módulo que ofreciera ventajas de movilidad para el desarrollo futuro de una versión más innovadora del prototipo implementado.

Se realizó un análisis económico y técnico, considerando la real utilidad de los sistemas de Gestión de Redes existentes en el mercado y la relación costo-beneficio de incluir una arquitectura de comunicación que ofreciera estas ventajas; se derivó en que recibir el reporte de un evento o estado de una estación que forme parte de la topología de una red, a través de un SMS, no genera ningún valor agregado en cuanto a solución del problema se refiere. Los administradores de red no pudieron modificar a través del teléfono celular la configuración de las estaciones en gestión, por lo tanto, la movilidad, más allá de ser un elemento innovador,

propio de las nuevas tendencia de comunicación, no representa un factor determinante en los reportes que genera un sistema de Control, Supervisión y Gestión de Redes.

V.8 Pruebas con datos contruidos y reales en una red TCP/IP de 10 estaciones.

Con la finalidad de validar y verificar el funcionamiento del prototipo implementado, se realizaron pruebas con datos contruidos y datos reales.

La primera etapa de prueba se basó en un híbrido entre datos reales y simulados en una red privada, enlazada a través de un enrutador inalámbrico LinkSyS, formada por cuatro estaciones de computadoras personales con Sistema Operativo Windows XP, un ordenador portátil con Sistema Operativo Linux, versión Ubuntu y un teléfono VoIP Linksys. Los datos contruidos se generaron automáticamente a través de la simulación de una red virtual de seis estaciones. En el capítulo V se presentan algunos gráficos que se obtuvieron en la primera sesión de pruebas.

Posteriormente se instaló el prototipo en un laboratorio de 16 estaciones. Se realizaron las pruebas midiendo las mismas características que en la primera fase, pero en este caso con todos los datos reales. Adicionalmente, se verificó el funcionamiento del módulo de control del prototipo que se encarga tanto del enrutamiento del tráfico de la red, al existir falla o congestión, como de la modificación de forma remota de las variables de lectura y escritura contenida en el MIB de cualquier estación en gestión.

Se capturaron las pantallas de reporte generadas por el sistema durante el proceso de validación y pruebas, las cuales serán presentadas en el capítulo V, correspondiente a los resultados del proyecto.

VI. Resultados

Después de la realización de todas las actividades planificadas para el diseño e implementación del Sistema de Control, Supervisión y Gestión de redes basadas en el protocolo IPv4, se obtuvieron los siguientes resultados, caracterizados por etapa de desarrollo.

VI.1 Documentación Teórica

A través del proceso de investigación, tanto aplicada como descriptiva realizada en la primera etapa de desarrollo del Trabajo Especial de Grado, se obtuvieron los basamentos teóricos del funcionamiento del Protocolo Simple de Gestión de Redes SNMP, necesarios para el diseño e implementación del Sistema de Control, Supervisión y Gestión de Redes basadas en el Protocolo IPv4.

VI.2 Investigación de Mercado

La realización del estudio de las herramientas existentes en el mercado derivó en la definición de las características mínimas que debía contener el sistema en desarrollo para considerarse una herramienta competitiva. Dichas características son:

- a) Tener la capacidad de generar reportes en tiempo real del ancho de banda, consumo de memoria del CPU, datos transmitidos y recibidos por cada interfaz, errores transmitidos y recibidos, latencia, disponibilidad.
- b) Presentar una interfaz amigable, que sea operable no sólo por personas en capacidad de administrar la red, sino por cual-

quier usuario en general con conocimientos medios de interoperabilidad y redes de comunicación.

- c) Generar reportes estadísticos en forma de gráficos de barra y de líneas, que permitan visualizar el comportamiento de la red a través de una escala dinámica de tiempo.

VI.3 Requerimientos de Software

La definición de los requerimientos de software se dividió en dos partes fundamentales. La primera de ellas referida a la selección del Sistema Operativo sobre el cual soportar el diseño y posterior implementación de aplicación y la segunda, relacionada con la determinación del lenguaje de programación a utilizar.

Como se mencionó en el Capítulo IV, el Sistema Operativo seleccionado fue Windows XP, por sus ventajas en cuanto a compatibilidad con los fabricantes de hardware, facilidad para desarrollar entornos gráficos amigables, sus opciones para gestionar redes de comunicación y un aspecto importante, la familiarización que existe con esa plataforma.

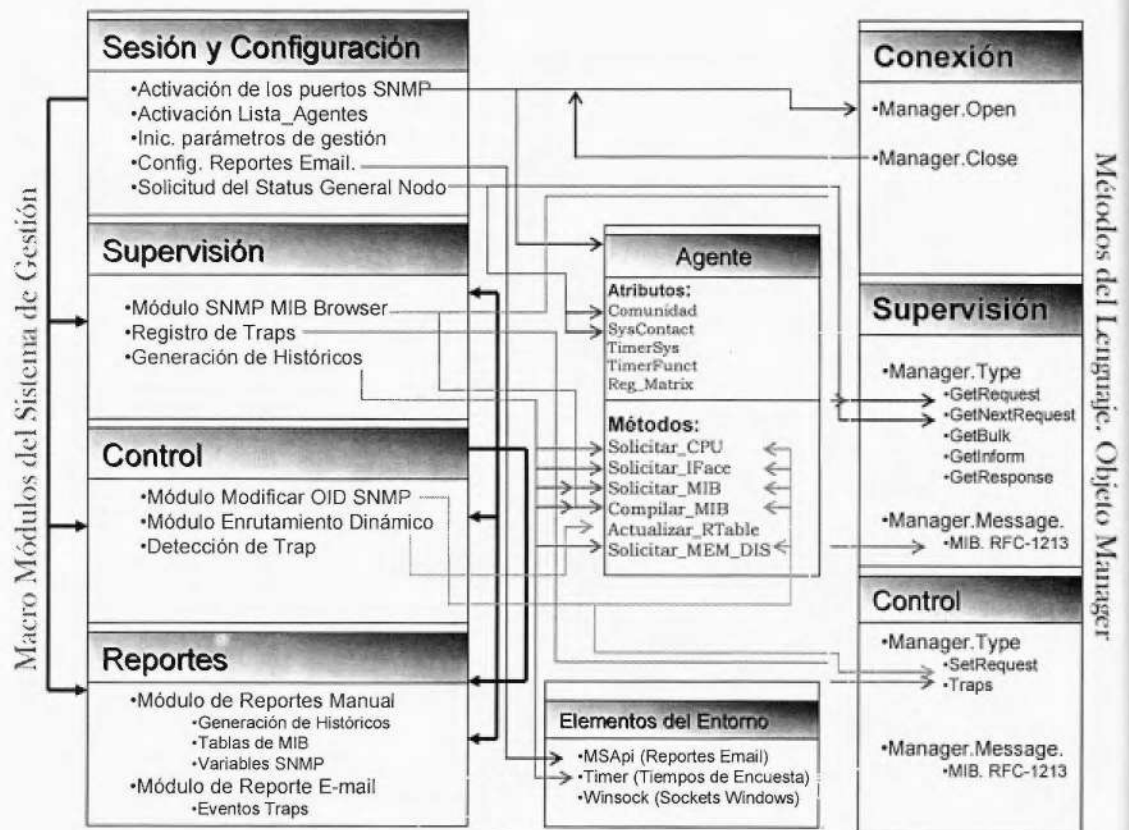


Figura 4. Diseño General del Sistema de Control, Supervisión y Gestión
Fuente: Elaboración Propia

Por su parte, la selección del lenguaje de programación resultó un poco más compleja. En el desarrollo del Trabajo Especial de Grado se explicaron las causas por las cuales se decidió sustituir el lenguaje C++ y el compilador Borland Builder, por Visual Basic 6.0.

VI.4 Diseño del Sistema

En la figura 5, se muestra el diseño del sistema y la relación existente entre cada uno de los módulos funcionales, el Objeto Agentes, los métodos del ambiente de programación provenientes de la librería importada *PowerSNMP* y los elementos del entorno que permiten la interconexión a nivel de software de todos los factores que intervienen.

El diseño general presentado, modela el funcionamiento completo del sistema. Los 4 módulos funcionales, Sesión, Supervisión, Control y Reportes, invocan los métodos del Objeto Agentes y éstos a su vez utilizan las funciones específicas del lenguaje de programación y de la librería *PowerSNMP*.

VI.5 Prototipo

Una vez finalizado el diseño general del sistema, se procedió a realizar el desarrollo de la aplicación. En la sección anterior se describieron las características de cada módulo; en ésta se presentará el resultado final de la programación del prototipo, diferenciado por módulo funcional.

VI.5.1 Módulo de Sesión y Configuración

El Módulo de Sesión y Configuración se divide en 3 fases. La primera relacionada con la inicialización o actualización de la lista de agentes disponibles y la presentación de las características generales de cada estación. La segunda, se refiere a la sesión de los parámetros de supervisión, tales como tiempos de encuesta, tipos de información; finalmente, la tercera fase se refiere a la configuración del modo de reporte que realizará el sistema. En la figura 5 se presenta la pantalla del módulo de Sesión y Configuración.

Pestaña Fase I: Actualización o inicialización de los nodos de la red. Despliegue de las características de la estación seleccionada.

Pestaña Fase II. Carga de los parámetros de supervisión tales como duración de los Timers (tiempos de encuesta), tipo de información a gestionar, entre otros

Pestaña Fase III: Configuración del modo de reporte: Manual o Automática dependiendo de la ubicación del administrador. Identificación del correo electrónico al cual llegarán los eventos ocurridos

Figura 5. Pantalla de Inicio del Prototipo. Módulo de Sesión y Configuración

Fuente: Elaboración propia

VI.5.2 Módulo de Supervisión

El Módulo de Supervisión se representa en el prototipo a través de dos aplicaciones. La primera, estipulada en el alcance inicial del proyecto, facilita la obtención de diversas variables que se procesan y en conjunto con el módulo de reportes, generan gráficas amigables que permiten visualizar el comportamiento de la red. La segunda, surgió como valor agregado durante la implementación del sistema y consiste en un "Buscador MIB", que es una herramienta similar a la utilizada durante el desarrollo del proyecto (MG-SOFT LAB), que permite conocer el significado y el valor de los distintos identificadores de objetos (OID's) contenidos en el MIB de cualquier estación.

En la *figura 6* se presenta el estándar de la pantalla que representa el Buscador MIB del prototipo, en la cual se distingue una lista de todas las variables que pueden ser gestionadas a través de SNMP, una ventana que reporta el estatus del mensaje de solicitud y un espacio para visualizar el detalle (descripción del significado) de cada uno de los Objetos contenidos en la lista. El Buscador MIB desarrollado, según la investigación realizada, es la única herramienta existente que presenta la descripción de los Identificadores Objetos en español, por lo tanto, este resultado además de sobrepasar

las expectativas planteadas inicialmente, porque no se encontraba en el alcance, genera un aporte importante en la gestión de redes.

VI.5.3 Módulo de control

El módulo de control también ofrece dos grandes funcionalidades. La primera de ellas, permite modificar el valor de cualquier variable de las estaciones activas, siempre que éstas sean de lectura y escritura. Y la segunda, que no se puede visualizar a través de ninguna pantalla, es la toma de decisiones que realiza el sistema en cuanto al enrutamiento del tráfico en caso de ocurrir cualquier falla o congestión de una estación, basado en la modificación de las rutas por defecto.

VI.5.3 Módulo de Reportes

El módulo de reportes representa la interfaz más importante de todo el prototipo ya que a partir de éste se hace la demostración de todos los procesos de supervisión y control ejecutados por los módulos anteriores. La pantalla estándar que se muestra en la *figura 7* presenta un menú de opciones en la columna izquierda. Cada botón se refiere a un tipo de reporte: Interfaces de Red, Memoria Física y Dispositivos, Latencia, Consumo de CPU y el último

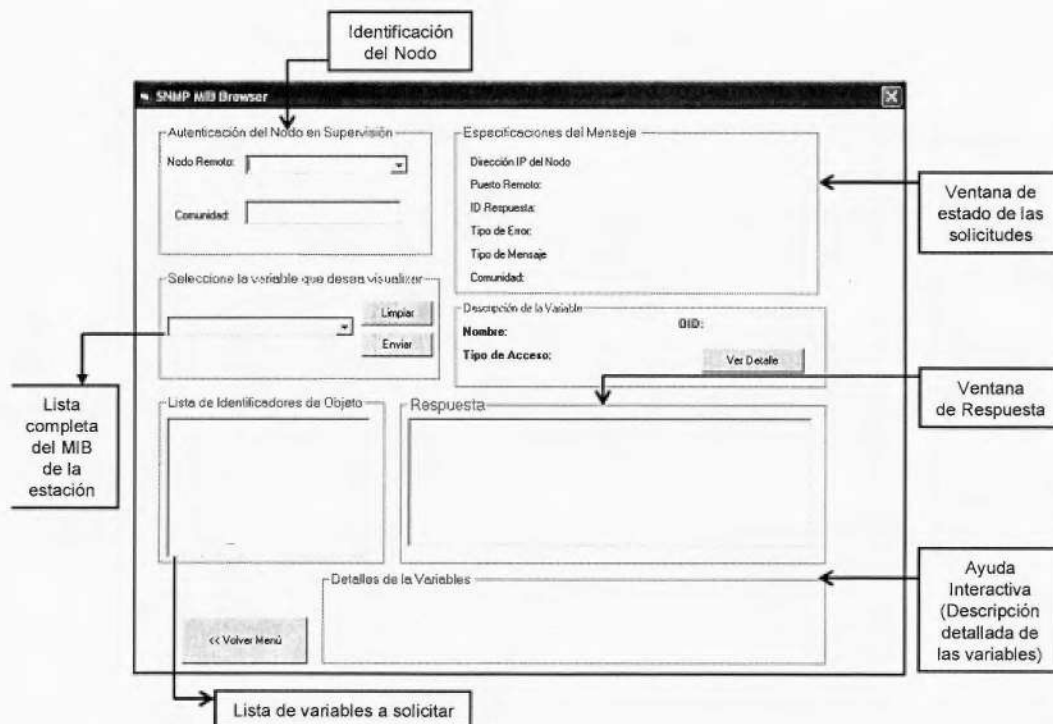


Figura 6. Pantalla Estándar Buscador MIB

Fuente: Prototipo

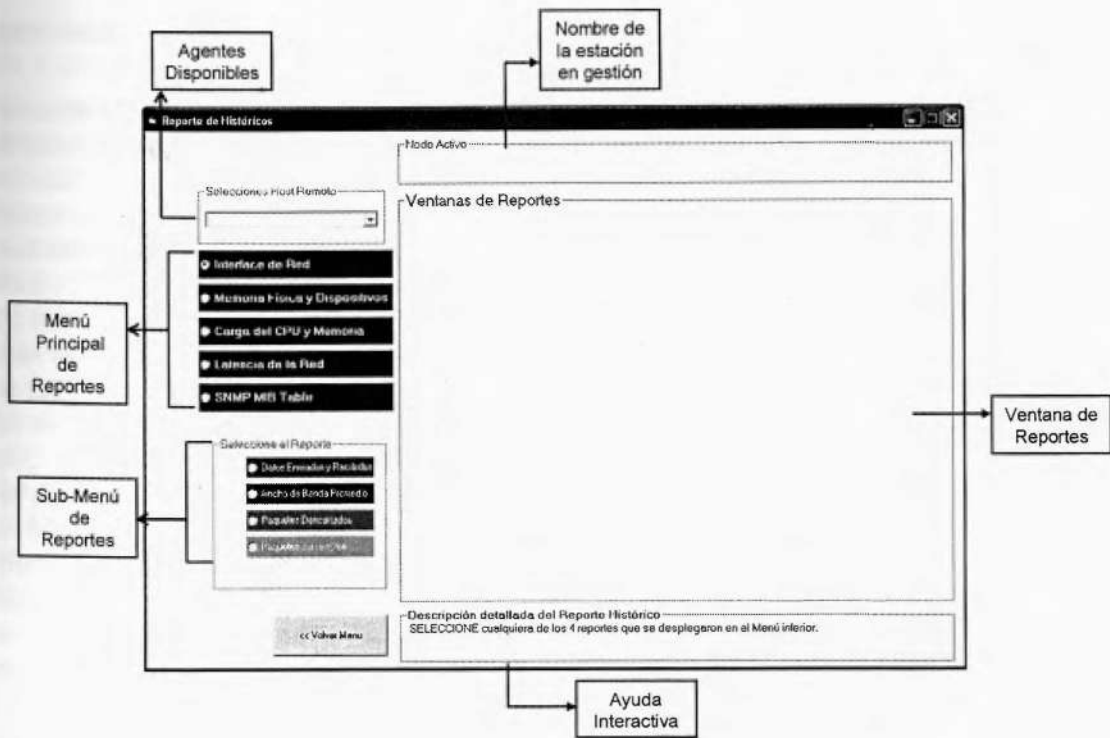


Figura 7. Pantalla Estándar Módulo de Reporte
Fuente: Prototipo

que se refiera al SNMP MIB Table. Al seleccionar alguna de las alternativas, se despliega un sub-menú debajo de los botones, que especifica aún más las características del reporte solicitado. En el centro de la pantalla se encuentra la Ventana de Reportes en la cual aparecerán las gráficas de históricos y las listas de dispositivos, procesos o programas según sea el caso. La pantalla estándar muestra también el espacio para la ayuda interactiva, presente en todos los módulos del prototipo.

VI.6. Pruebas

Después de culminado el desarrollo del prototipo, se realizaron pruebas con datos construidos (simulados) y datos reales un una red TCP/IP de 10 nodos. En las figuras 9 y 10 se muestran algunos de los resultados de las pruebas realizadas.

La figura 8 presenta el reporte de los Datos Enviados vs. Datos Recibidos (medido en cantidad de paquetes), de una estación cuyo proceso de supervisión tuvo una duración de 8 horas (desde la 5 de la tarde hasta las 12 de la noche). En la gráfica se puede apreciar claramente una línea asociada al tráfico entrante y otra al saliente, así como los

picos que se generan en las horas que hubo mayor utilización de la interfaz para el intercambio de información

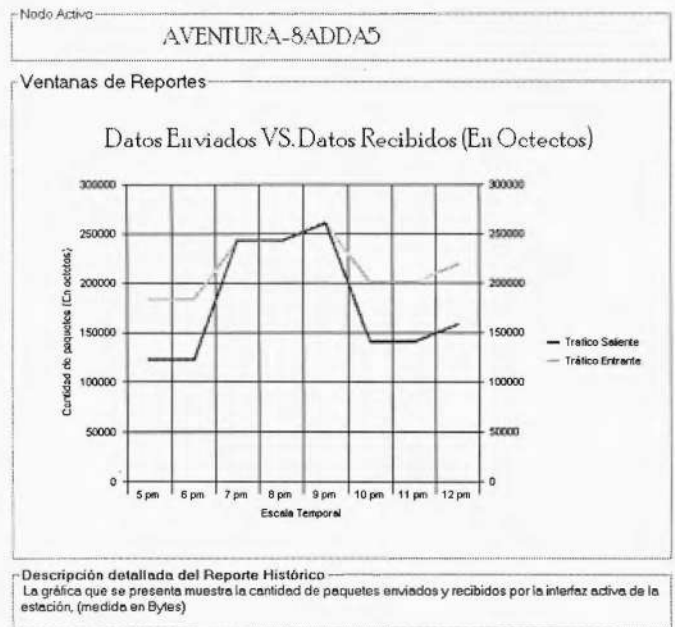


Figura 8., Prueba datos Reales. Datos Enviados Vs. Datos Recibidos
Fuente: Prototipo

En la *figura 9* se despliega una lista de las unidades de almacenamiento disponibles en el mismo nodo. Una de las ventajas más resaltantes del prototipo es la capacidad de detallar la información actual de las estaciones. Como se observa en resultado presentado la *figura 19* en la lista se detalla inclusive el nombre del CD que se encuentra dentro de la unidad D del nodo en supervisión, garantizando esto características muy poderosas de control y gestión.

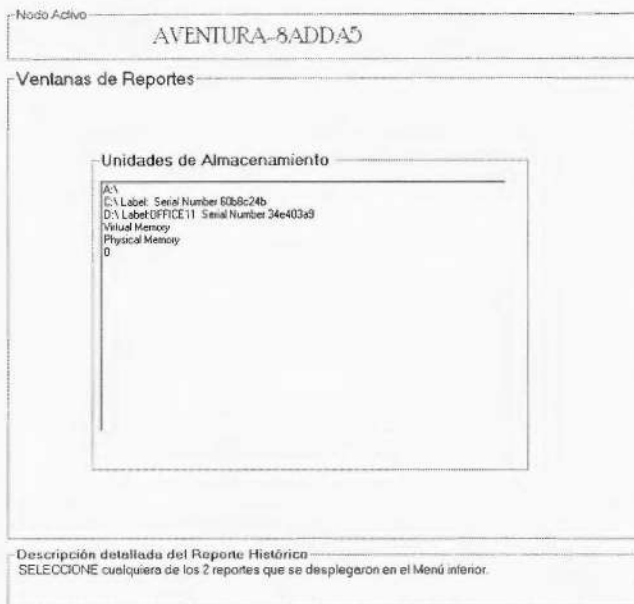


Figura 9.. Prueba datos Reales. Unidades de Almacenamiento
 Fuente: Prototipo

VII. Conclusiones y recomendaciones.

Una vez realizado el diseño y desarrollo del Sistema de Control, Supervisión y Gestión de Redes basadas en el protocolo IPv4, a través de la implementación del protocolo SNMP, se obtuvieron las siguientes conclusiones.

En la investigación teórica de SNMP se determinó que la ventaja fundamental de este protocolo es que su diseño es simple por lo que su implementación es sencilla en grandes redes y la información de gestión que se necesita intercambiar ocupa pocos recursos de la red. Además, permite al usuario elegir las variables que desea supervisar. Es el protocolo más extendido y la popularidad la ha conseguido al ser el único protocolo que existió en un principio y por ello casi todos los fabricantes de dispositivos

como bridges, host y enrutadores diseñan sus productos para soportar SNMP.

A través de la realización del estudio de mercado, se apreció con claridad que los sistemas de gestión existentes son muy poderosos y competitivos. En la mayoría de los casos, tienen la capacidad de proveer información en tiempo real del estado de los nodos: disponibilidad, latencia, ancho de banda utilizado, consumo de memoria y CPU, entre otros. Algunos tienen la ventaja de determinar el rendimiento general de una estación y de presentar históricos que permiten visualizar el comportamiento de la red en un lapso de tiempo determinado. Sólo uno de los sistemas estudiados realiza alertas en tiempo real que van directamente a la persona encargada de administrar la red a través de correo electrónico. Sólo algunos de los sistemas, a parte de la supervisión, controlan la red en caso de presentarse caídas del sistema, congestión o fallas en general, siendo esto una de las características diferenciales e innovadoras del prototipo desarrollado

En cuanto al prototipo desarrollado se puede concluir que sus funcionalidades sobrepasaron las expectativas planteadas inicialmente. Además de proveer herramientas para la supervisión oportuna de las estaciones de la red y tener las funciones de control que permiten el enrutamiento dinámico del tráfico en caso de fallas o congestión, se incluyeron dos módulos adicionales que permiten complementar los procesos antes descritos, a través de las facilidades que ofrece el protocolo SNMP.

Basado en las descripciones anteriores, se puede afirmar que el prototipo desarrollado cumple con las características planificadas inicialmente, es decir, permite el **control**: a través del enrutamiento dinámico del tráfico de la red, **la supervisión**: a través del reporte del estado de los nodos y las alertas que se generan vía correo electrónico de los eventos ocurridos y **la gestión**: que se alcanza a través de la sinergia de los dos conceptos anteriores, al permitir administrar de forma remota los parámetros de funcionamiento de las estaciones que forman la topología de la red.

Se soluciona entonces la situación problemática que motivó la realización del presente proyecto, a través del desarrollo de un sistema que permite la supervisión de los nodos que integran una red basada en protocolo IPv4, que no representa una inversión mayor a los \$19 (costo de la librería SNMP utilizada) y que además ofrece la facilidad de con-

control de forma dinámica el tráfico de la red en caso de existir falla o congestión.

El prototipo desarrollado es escalable, por tanto se recomienda la continuidad de su implementación técnica y evaluación. Según las pruebas realizadas y tal como se planteó inicialmente, soporta la supervisión de redes de hasta 100 estaciones. Un próximo Trabajo Especial de Grado desarrollado por un estudiante aspirante al título de Ingeniero en telecomunicaciones, puede ser la evaluación del funcionamiento del prototipo y la inclusión de mecanismos de "Seguridad Computacional" a la herramienta, a través de la implementación de algoritmos de encriptamiento o haciendo uso de SNMP v3 que aún está en proceso de evaluación, pero que ofrece considerables ventajas en el tema de seguridad.

Debido a la importancia que tiene el protocolo SNMP en el estudio y gestión de redes, se recomienda:

- Abrir líneas de investigación de los Sistemas de Gestión y Administración de Redes ya que las nuevas tendencias de las comunicaciones en Venezuela y en el mundo se mueven velozmente hacia el entorno IP siendo los sistemas de gestión y supervisión cada vez más necesarios.
- Incluir SNMP en el plan de estudios de la carrera de Ingeniería de telecomunicaciones, específicamente en las cátedras de Telemática y Sistemas Telemáticos, debido a que representa el protocolo por excelencia de gestión y administración de redes.

VIII. Bibliografía

Libros consultados

- Radcom. (2002). *Guía Completa de Protocolos de Telecomunicaciones*. McGraw-Hill.
- Forouzan. (2002) *Transmisión de Datos y Redes de Comunicaciones*. McGraw-Hill.
- León, A. Widjaja, I. (2002). *Redes de Comunicación*. McGraw-Hill.
- [1] Booch, G. (1994). *Análisis y Diseño Orientado a Objetos con Aplicaciones* (2da ed.). España: Addison-Wesley.

Citas de charlas, clases magistrales o talleres:

- Hernández (2006). *Mercadotecnia para Ingenieros*. Clase Magistral Importancia del estudio de mercado en el desarrollo de nuevos productos. UCAB, Caracas.
- Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería (CIDI). Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones. (2005). *Taller: Informe de Avance del Trabajo Especial de Grado de Ingeniería de Telecomunicaciones*. Trabajo no publicado.
- Sabino, C. (1986). *El proceso de la Investigación*. Caracas. Editorial Panapo

Fuentes electrónicas

- Huidobro, J. *SNMP. Un protocolo Simple de Gestión*. <http://www.coit.es/publicac/publbit/bit102/quees.htm>. (2005).
- Tobal, J. *SNMP*. (30 Agosto 1999). <http://www.arrakis.es/~tobal/snmp.htm>. (Diciembre 2005).