

SOPORTE COMPUTACIONAL PARA ADMINISTRACION INTEGRADA DE REDES Y SERVICIOS

José Nelson Pérez Castillo, Ingeniero de Sistemas (1988) y Magister en Teleinformática (1993) de la Universidad Distrital, Francisco José de Caldas, Profesor Universitario, Director de los Postgrados en Teleinformática, Gestor y Director de la Línea de Investigación en Administración de Redes de la Maestría en Teleinformática, de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Sus áreas de interés son: administración de redes, software de comunicaciones y procesamiento distribuido.

RESUMEN

Este artículo contextualiza la problemática actual de la administración de redes de comunicaciones considerando las profundas repercusiones, tanto de la internacionalización de la economía como del ritmo impetuoso del avance tecnológico sobre el sector teleinformático y la calidad en la prestación de los servicios de comunicaciones. Reseña someramente las actividades de los distintos frentes de estandarización; en particular la ISO, la ITU-T y la Internet. Se muestran, entonces, las características del soporte computacional para el desarrollo de aplicaciones, señalando los servicios de comunicaciones, interfaz gráfica y bases de datos teniendo en cuenta la naturaleza distribuida de la administración de redes. Finalmente, se muestran los atributos generales de las herramientas de desarrollo disponibles en la actualidad.

Un reto permanente que deben afrontar actualmente las empresas del sector teleinformático es el logro de nuevos niveles de calidad y productividad, así como la satisfacción de las necesidades de los usuarios. Asumirlo, tiene a su vez varias implicaciones como son: acelerar cada día el proceso de innovación tecnológica, luchar permanentemente al interior de las organizaciones por el perfeccionamiento de los procesos operativos y alcanzar una cobertura cada vez más amplia en el ofrecimiento de nuevos y mejores servicios tanto de transporte como de valor agregado.

Adicionalmente, las transformaciones producto de la internacionalización de la economía han generado un nuevo marco institucional y de mercadeo que presiona aún más por cambios acelerados en la evolución técnico operativa del sector. Esta realidad obliga a las empresas de corte teleinformático a nuevos po-

sicionamientos en el mercado, a la par que provoca nuevas redefiniciones de sus relaciones con el Estado, los usuarios y los nuevos competidores, producto de los cambios mencionados. Pero todo esto no será posible sin una mentalidad abierta, consciente de las nuevas exigencias y con la atención centrada en el usuario final de los servicios.

Obviamente, no basta la modernización, también es imprescindible el mejoramiento en la eficiencia y la productividad, en la prestación de los servicios con precios competitivos y en el marco de los estándares de calidad, que permita a las empresas del sector alcanzar los tan anhelados niveles de excelencia.

En esta situación, surge con muchas expectativas el concepto de *Administración Integrada de Redes y Servicios de Comunicaciones* que deberá realizarse a partir de estándares, buscando la integración de

los procesos operativos a partir de un soporte computacional que satisfaga las exigencias de interoperabilidad, conectividad y portabilidad en un entorno completamente heterogéneo con distintos proveedores de tecnologías informáticas y de telecomunicaciones. Vale decir que la heterogeneidad hace aún más complejo todo este proceso de cambios, aumentando los costos de operación y poniendo en duros aprietos la celeridad en la administración de las redes y en la gestión de los servicios.

En este escenario se hace imprescindible generar las bases para el desarrollo y la ejecución de aplicaciones en administración de redes y gestión de servicios que sean independientes de la tecnología, que cuenten con interfaces de usuario poderosas y que se apoyen en técnicas avanzadas de procesamiento distribuido. El propósito de este artículo es discutir los elementos esenciales para este soporte computacional en el marco de sistemas abiertos a partir de los estándares.

VISIÓN GENERAL DE LA ACTIVIDAD DE ESTANDARIZACIÓN

La investigación, desarrollo, e implementación de sistemas de gestión de redes ha progresado hoy día al punto de ver la disponibilidad de software específico producido con base en estándares por parte de vendedores comerciales y su empleo en redes operacionales. Similarmente, los vendedores de hardware de componentes de red, tales como conmutadores, bridges, y enrutadores están incorporando interfases de gestión a sus productos. Estas dos tendencias conducen a un ambiente de comunicaciones que es interoperable en el dominio de gestión de modo similar al dominio de transporte de usuario.

Hasta el momento la discusión sobre los enfoques a adoptar para gestión de redes, ha estado dominada por el debate sobre el *Simple Network Management Protocol (SNMP)* y el *Common Management Information Protocol (CMIP)*, que ha conducido a claros compromisos complejidad/desempeño entre estos dos estándares (1), haciendo enterver su coexistencia en el futuro próximo. Por esta razón, resulta conveniente esbozar la situación actual del proceso de estandarización en los dos campos.

Modelo de la Red de Gestión de Telecomunicaciones (TMN) de la ITU-TS

El vertiginoso crecimiento y el acelerado desarrollo tecnológico de las redes de telecomunicaciones, junto con la demanda cada vez más creciente por nuevos y mejores servicios han presionado por la generación de nuevos conceptos y modelos que soporten la *Operación, Administración, Mantenimiento y Su-ministro (OAM & P)* en aquellas empresas prestadoras de servicios de telecomunicaciones. Los organismos de estandarización conscientes de esta situación produjeron el concepto de *Red de Gestión de Telecomunicaciones (TMN)* emitiendo a su vez los estándares que hacen posible el desarrollo de sistemas abiertos en este campo.

Los trabajos para la TMN son liderados por el *Grupo de Estudio IV* de la *International Telecommunications Union/Telecommunications Standardization Sector (ITU-TS)*. Este *Grupo de Trabajo* tiene tres cuestiones de interés a saber: la Cuestión 2 (*Uso del lenguaje Hombre-Máquina del ITU-TS para mantenimiento*), la Cuestión 5 (*Intercambio de Informaciones entre Administraciones*) y la Cuestión 23 (*La TMN y su relación con los elementos de red asociados*).

La documentación producida puede reseñarse brevemente así:

- Generalidades de la TMN (Rec M.300).
- Principios para TMN (Rec M.3010).
- Modelo de Información Genérica (M.3100).
- Catálogo de Información de Gestión (M.3180).
- Servicios de Gestión (Rec M.3200).
 - Servicios de Gestión de Tráfico (Rec M.3201)
 - Servicios de Gestión de Sistemas de Señalización por Canal Común (M. 3202)
 - Gestión de Servicio Controlado por el Cliente (Rec M. 3203)
- Capacidad de Gestión en la Interfaz F (Rec M.3300)
- Funciones de Gestión TMN (Rec M3400)

- Informaciones Estandarizadas Intercambiadas entre Administraciones (M.1520)
- Principios de Gestión de RDSI (M3600)
 - Aplicación de los Principios de Mantenimiento en las instalaciones del Abonado RDSI (M.3602).
 - Aplicación de los Principios de Mantenimiento para el Acceso Básico RDSI (M.3603).
 - Aplicación de los Principios de Mantenimiento para el Acceso Primario RDSI (M.3604).
 - Aplicación de los Principios de Mantenimiento para Múltiplex Estático de Acceso Básico RDSI (M.3605).
 - Gestión de Canal D, Capa de Enlace y Capa de Red (M.3640).
 - Gestión de Servicios de la Interfaz RDSI (M.3660).
- Modelo de información de gestión (X.720).
- Definición de información de gestión (X.721).
- Directrices para la definición de objetos gestionados (X.722).
- Función de gestión de objetos (X.730).
- Función de gestión de estados (X.731).
- Atributos para la representación de relaciones (X.732).
- Función señaladora de alarmas (X.733).
- Función de gestión de informes de evento (X.734).
- Función de control de ficheros de registro cronológico (X.735).
- Función señalizadora de alarmas de seguridad (X.736).
- Función de pista de auditoría de seguridad (X.740).

Modelo de Gestión de Sistemas OSI de la ISO

El Grupo de Estudio VII (SG VII) de la ITU-TS trabaja actualmente en torno a la Cuestión 24 (Grupo de Trabajo WP VII/5) en el desarrollo de la especificación de Gestión de Sistemas OSI, en un trabajo cooperativo con la ISO, para la redacción de un texto técnico idéntico en las versiones ISO e ITU-TS. El producto de tales elaboraciones se concreta en la documentación correspondiente a la Serie X.700 dentro de la cual es importante mencionar los siguientes documentos:

- Marco de gestión para interconexión de sistemas abiertos para aplicaciones del CCITT (X.700).
- Visión General de la Gestión de Sistemas (X.710).
- Definición del Servicio Común de Información de Gestión (X.710).
- Especificación del Protocolo Común de Información de Gestión (X.711).
- CMIP: Enunciado de conformidad de realización del Protocolo (X.712).
- Modelo de información de gestión (X.720).

Cabe agregar que el Grupo de Estudio X (SG X) aprobado en 1993 trabaja en lo que se refiere a la especificación de plataformas de software para sistemas de telecomunicaciones. El Grupo de Estudio XI (SG XI) es el responsable de los aspectos de Gestión de equipos de conmutación y señalización; y el Grupo de Estudio XV (SG XV) trata de todas las actividades relacionadas con la gestión de redes de equipos de transmisión, especialmente SDH.

Modelo SNMP de internet

Después de un período de aproximadamente cuatro años de estabilidad y crecimiento, SNMP proporcionó una base de tecnología para una gran cantidad de productos de gestión de red y muchas cosas se aprendieron en el proceso. Así el *Internet Engineering Steering Group* (IESG), organismo que supervisa el proceso de estandarización de la serie de protocolos de la Internet, emitió una solicitud buscando propuestas para hacer evolucionar el marco de gestión de redes de SNMP. En ese llamado, el IESG observó que el modelo existente para ese entonces, proporcionaba gestión de redes estables y efectivas para la Internet, dado su uso extensivo y continuo; de ahí la naturaleza evolucionaria de los cambios a producirse en este

entorno. Además, la tecnología resultante debería ser capaz de coexistir con la base instalada hasta ese momento.

Así, apareció SNMPv2 el cual se desarrolló a lo largo de un año y a partir de él se ha venido produciendo un trabajo prolífico que afecta, de modo muy marcado, las iniciativas de gestión de redes por parte de los diversos proveedores de software y hardware para estas.

También es conveniente mencionar que los principales avances en este campo, se concretan en la literatura como *Request For Comments* (RFC) que hacen posible seguir los logros que se acogen al estándar de facto conocido como SNMPv2 (2,3,4,5,6).

NECESIDAD DE UN SOPORTE COMPUTACIONAL PARA APLICACIONES DE ADMINISTRACIÓN DE REDES

La relación cada vez más estrecha entre las telecomunicaciones y la informática, determina que las aplicaciones sobre redes sean de naturaleza distribuida. Esto genera un ambiente computacional que se apoya en las tecnologías de sistemas distribuidos, las cuales son de importancia capital en el dominio de la administración de redes. Tales tecnologías hacen esperar por el logro de mejoras radicales en el desempeño, los costos, la escalabilidad, la disponibilidad y la modularidad de estos sistemas. No obstante, el panorama no es tan halagüeño por cuanto las dificultades asociadas con la distribución de procesos generan una variedad de problemas por investigar y resolver dentro de los que cabe mencionar: la gestión de recursos, el procesamiento concurrente, los servicios de comunicación adecuado, la independencia de localización de los recursos. Todo ello se traduce en garantizar transparencia a las aplicaciones de administración de redes; este concepto de transparencia debe aplicarse como se indica a continuación:

- Transparencia de falla, permitiéndole a los usuarios y aplicaciones de administración de redes terminar sus tareas de gestión a pesar de las fallas, tanto del hardware como del software.
- Transparencia de acceso, permitiendo el uso de operaciones idénticas para acceder objetos administrados locales y remotos.

- Transparencia de localización, permitiendo el acceso a los objetos administrados sin conocer su localización.
- Transparencia de concurrencia, la cual permite la implementación concurrente de servicios sin el conocimiento de los clientes que los usan.
- Transparencia de duplicación, que permite el uso de múltiples instancias de objetos administrados para incrementar la confiabilidad y el desempeño, sin el conocimiento de los usuarios.
- Transparencia de migración, que permite el movimiento de los objetos administrados dentro de un sistema, sin afectar la operación de los usuarios o aplicaciones de administración de redes.
- Transparencia de desempeño, que permite la reconfiguración del sistema para mejorar su desempeño ante las variaciones en la carga.
- Transparencia de escalabilidad, que permite a las aplicaciones de administración de redes expandirse sin cambiar la estructura del sistema o sus abstracciones procedimentales.

Es en este escenario, donde cobra importancia primordial la definición de un soporte computacional que garantice el desarrollo de aplicaciones de gestión de redes de excelente calidad que operen de forma integrada sobre redes y servicios en las empresas del sector teleinformático.

SERVICIOS DEL SOPORTE COMPUTACIONAL PARA EL DESARROLLO DE APLICACIONES DE ADMINISTRACIÓN DE REDES

Partiendo de un modelo construido con base en niveles, puede decirse que el soporte para el desarrollo de aplicaciones de administración de redes consiste en una capa de software, que deberá residir entre el sistema operativo y las aplicaciones mismas de gestión de redes. Por supuesto que dicha capa de software, deberá ofrecer los servicios requeridos por las aplicaciones de administración de redes, mediante interfases que se apoyen en estándares. Tales servicios en esencia son: servicios de Comunicaciones, servicios de Interfaz Hombre-Máquina y servicios de Bases de Datos.

Características de los servicios de comunicación

Se buscan facilidades de comunicación en una red de computadores que incluyen soporte al procesamiento distribuido, interfases y protocolos que obedezcan a los estándares internacionales.

El soporte al procesamiento distribuido hace posible la interconexión de diversos sistemas, el movimiento de aplicaciones de una plataforma a otra, como también la localización de un ambiente de software sobre varios sistemas de diferentes tamaños y capacidades. En otras palabras, dicho soporte hace posible la interoperabilidad entre sistemas heterogéneos.

En la actualidad el esquema cliente/servidor resulta vital para el desarrollo de aplicaciones distribuidas. Según este paradigma, una aplicación en el rol de cliente, solicita la prestación de un servicio ofrecido por uno o varios servidores, que no son otra cosa que aplicaciones en ejecución. Por su parte, el servidor envía respuestas a solicitud del cliente. Una connotación análoga a la anterior tiene el esquema administrador/agente, en el cual el primero adopta el rol de un proceso de control y el segundo el de proceso controlado. El agente establece la relación que permite que los recursos bajo administración se conviertan en objetos administrados visibles por el proceso administrador.

Es de anotar que en la actualidad existen notorios esfuerzos por estandarizar tópicos relativos al procesamiento distribuido abierto, entre los que cabe mencionar el *Modelo de referencia para procesamiento distribuido abierto* (RM-ODP) de la ISO, que se relaciona con la distribución de aplicaciones en general, pero que no es específico en lo referente a administración de redes; y el *Distributed Computer Environment* (DCE) de la *Open Software Foundation* (OSF) que se enfoca sobre cuatro problemas que requieren soluciones técnicas: la diversidad de ambientes operativos, el número cada vez más creciente de computadores interconectados y la necesidad de mantener la seguridad, junto con la necesidad de proveer oportunidades para el crecimiento y para nuevas aplicaciones de redes. Estas dos tecnologías afectarán el derrotero a seguir en los años venideros.

El soporte al procesamiento distribuido se complementa con la disponibilidad de protocolos para el intercambio de información sobre administración de redes. Por tanto, debe disponerse de los protocolos usados, tanto por el modelo OSI, como también aquellos usados en el modelo de la Internet. La administración de redes OSI se apoya en el *Common Management Information Protocol* (CMIP), a la par que la administración de redes en la Internet, se apoya en el estándar de facto mejor conocido como *Simple Network Management Protocol* (SNMP) disponible actualmente en muchos elementos de red.

Características de los Servicios de la Interfaz Hombre-Máquina

Administrar una red no es una tarea fácil. Los administradores deben responder rápida y efectivamente a una gran variedad de problemas que pueden ocurrir. Para asistirlos en esta tarea, cada día se requieren más y más sistemas de administración de redes que proporcionen una representación gráfica del estado de la red, sus alarmas y demás elementos de información. Esto puede lograrse mediante la integración de tres formas diferentes del paradigma de orientación a objetos: la modelación, la programación y los gráficos. Es necesario ajustarse al esquema mental del usuario a partir de modelos de objetos de red, que pueden ser presentados como gráficos orientados a objetos aplicables a las tareas de administración de redes.

Un objeto en este modelo abarca las propiedades y el comportamiento de algún componente de interés dentro de la red de comunicaciones misma. Las relaciones entre objetos deberán basarse en la "herencia", que es la característica que permite que las propiedades y métodos se propaguen automáticamente a través de subtipos e instancias de objetos. Pueden definirse grupos de objetos de red, representando entidades de red físicas, tales como conmutadores y multiplexores; y entidades conceptuales tales como secciones de transmisión y enlaces. Las técnicas de gráficos, orientadas a objetos, se adaptan muy bien a los requerimientos de los centros de operaciones de red para trabajos de control y vigilancia. El desarrollo de un modelo de objetos de red, usando técnicas de modelación orientadas por objetos, ha sido efectivo para la conceptualización específica de las redes de telecomunicaciones (7).

Características de los Servicios de Bases de Datos

Un sistema de bases de datos distribuidas es una colección de múltiples bases de datos con una interrelación lógica entre ellas y que se distribuyen sobre una red de computadores. Un *Sistema de Administración de Bases de Datos Distribuidas* (DBMS Distribuido) es el sistema de software que permite la administración de la base de datos distribuida y hace la distribución transparente al usuario.

Las consultas y actualizaciones a las bases de datos, deben hacerse mediante un servidor SQL ANSI de modo que se garantice un acceso estandarizado a las mismas. Dicho servidor hace posible la independencia tecnológica, evitando aspectos específicos de la implementación del DBMS, realizando las respectivas conversiones de formatos y lenguajes de consulta, logrando el acceso a las bases de datos distribuidas. Así, las aplicaciones no requieren modificaciones cuando sea necesario remplazar un DBMS por otro.

Un DBMS distribuido, como se ha definido aquí, proporciona el soporte para la administración de bases de datos distribuidas en un ambiente de computación distribuido, como es el caso de la administración de redes (8).

HERRAMIENTAS DE DESARROLLO DE SOFTWARE PARA ADMINISTRACION DE REDES

Un ingrediente importante del soporte computacional, para la producción de aplicaciones de administración de redes, lo constituye un conjunto de herramientas que faciliten su proceso de desarrollo. Al respecto son deseables los generadores de interfaz hombre máquina de alta productividad, los compiladores de lenguajes para la definición de interfaces tales como *Abstract Syntax Notation One* (ANS.1) y compiladores para implementar las *Líneas Guía para la Definición de Objetos Administrados* (GDMO), dado que se automatiza buena parte del proceso de codificación de clases de objetos a ser administrados, haciendo uso de un lenguaje de propósito general como C⁺⁺.

Los productos más conocidos que en la actualidad facilitan el desarrollo de aplicaciones de administración

de redes son: el *ISO Development Environment* (ISODE), el paquete *OSI Management Information Service* (OSIMIS), el *OMNI Point* y el *Distributed Computing Environment* (DCE) de la *Open Software Foundation* (OSF) (9).

El ISODE soporta el desarrollo de protocolos y aplicaciones OSI; a partir de varios módulos que incluyen:

- Servicio de transporte OSI (TPO sobre TCP, X.25).
- Servicios de control de asociación, presentación y sesión OSI.
- Herramientas para ASN.1 que incluyen: generador de operaciones remotas, generador de estructura (ASN.1 a C), analizador sintáctico elemental.
- Servicios de operación remota y transferencia confiables OSI.
- Gestión, acceso y transferencia de archivos OSI.
- Gateway FTAM/FTP.
- Servicios de directorio OSI.

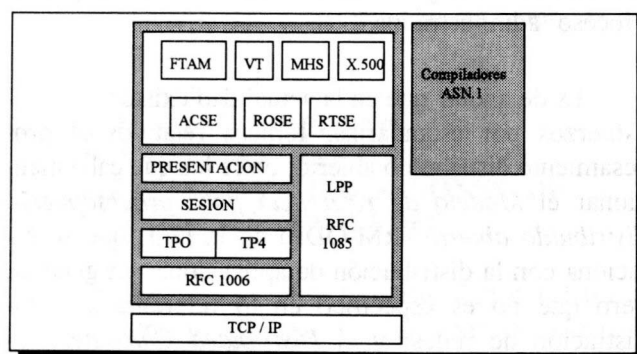


Figura 1. Arquitectura Isode.

- Terminal virtual OSI.

La arquitectura del ISODE se muestra en la figura 1.

Por su parte, el OSIMIS se caracteriza por ser un ambiente de desarrollo de aplicaciones para administración de redes, construido a partir de la plataforma del ISODE. Este ambiente consta de la infraestructura necesaria para el desarrollo orientado a objetos, que permite implementar el modelo ges-

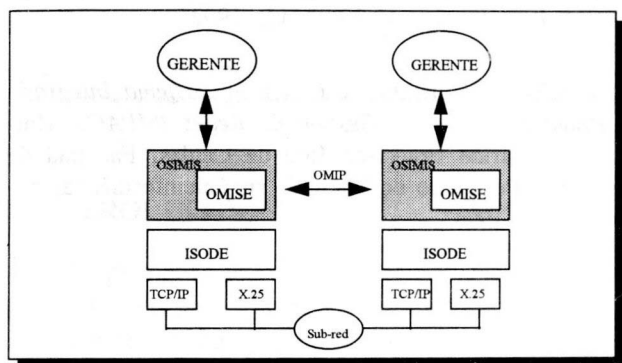


Figura 2. Arquitectura Osimis.

tor/agente de OSI.

La arquitectura del OSIMIS se muestra en la figura 2.

El OMNI Point es un universo de estándares, especificaciones de implementación, métodos y herramientas de prueba y un conjunto de bibliotecas de objetos administrados que hacen posible el desarrollo de aplicaciones de administración. El propósito fundamental del OSIMIS es la interoperabilidad, como quiera que sus recomendaciones están de acuerdo con los principales organismos de estandarización tales como ISO, OSF, ITU-TS e Internet, en aras de proveer un conjunto de interfaces estandarizadas, bien sea a nivel de los servicios de comunicaciones o del modelo de información bajo gestión.

CONCLUSIONES

En este artículo se enfatiza que un elemento crítico para la generación de soluciones a los problemas de gestión integrada de redes y servicios, lo constituye el soporte computacional para el desarrollo de aplicaciones en este dominio, capaz de ofrecer los servicios

que exige su especificación y ejecución eficiente y cooperativa en un entorno de procesamiento distribuido avanzado.

Los tópicos reativos a la administración de redes se investigan activamente en la *Universidad Distrital* en los *Postgrados de Teleinformática* tanto de maestría como de especialización, predominantemente dentro de los objetivos de la *Línea de Investigación en Administración de Redes*. La directriz estratégica fundamental para el avance de la investigación en administración de redes, que hará posible la producción de nuevos conocimientos en este campo de la teleinformática, se encuentra plasmada en el documento correspondiente al *Sistema de Pruebas, Análisis y Gestión de Redes (SIPAG)* (10).

Lo anterior permite afirmar, que la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital, está en condiciones de colaborar con las empresas del sector teleinformático, en la búsqueda de soluciones a los problemas de gestión integrada de redes y servicios haciendo posible aceptar los nuevos retos planteados por la apertura económica, que se traducen en atender rápidamente las exigencias del mercado en permanente evolución, preservando las inversiones realizadas en recursos teleinformáticos y buscando a su vez, hasta donde sea posible, la independencia frente a los proveedores de telecomunicaciones e informática.

REFERENCIAS

1. BEN-ARTZI, A.; CHANDNA, A. and WARRIER, U. *Network Management of TCP/IP Networks: Present and Future*, IEEE Network Magazine, pp. 35-43, July 1990.
2. CASE, J.; McCLOGHRIE, K.; ROSE, M. and S. WALDBUSSER. *Conformance Statements for version 2 of the Simple Network Management Protocol (SNMPv2)*, RFC 1444, SNMP Research, Inc., Hughes LAN Systems, Dover Beach Consulting, Inc., Carnegie Mellon University, April, 1993.
3. CASE, J.; McCLOGHRIE, K.; ROSE, M. and S. WALDBUSSER. *Textual Conventions for version 2 of the Simple Network Management Protocol (SNMPv2)*, rfc 1443, SNMP Research, Inc., Hughes LAN Systems, Dover Beach Consulting, Inc., Carnegie Mellon University, April, 1993.

4. CASE, J.; McCLOGHRIE, K.; ROSE, M. and S. WALDBUSSER. *Protocol Operations for version 2 of the Simple Network Management Protocol (SNMPv2)*, RFC 1448, SNMP Research, Inc., Hughes LAN Systems, Dover Beach Consulting, Inc., Carnegie Mellon University, April, 1993.
5. CASE, J.; McCLOHRIE, K.; ROSE, M. and S. WALDBUSSER. *Structure of Management Information for version 2 of the Simple Network Management Protocol (SNMPv2)*, RFC 1442, SNMP Research, Inc., Hughes LAN Systems, Dover Beach Consulting, Inc., Carnegie Mellon University, April, 1993.
6. GALVIN, J. and K. McCLOGHRIE. *Administrative Model for version 2 of the Simple Network Management Protocol (SNMPv2)*, RFC 1445, Trusted Information Systems, Hughes LAN Systems, April, 1993.
7. PEREZ CASTILLO, José Nelson. *Orientación a Objetos en Administración de Redes*. En Ingeniería: Revista de la Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Vol. 1, No. 1, 1993.
8. PEREZ CASTILLO, José Nelson et al. *Línea de Investigación en Administración de Redes*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Ingeniería, Maestría en Teleinformática, junio de 1992.
9. HARTMAN, D. *Unclogging Distributed Computing*, IEEE Spectrum, pp. 36-39, May, 1992.
10. PEREZ CASTILLO, José Nelson. *Sistema Integrado de Pruebas, Análisis y Gestión de Redes (SIPAG)*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de Ingeniería. Postgrado de Maestría en Teleinformática, noviembre de 1994.