

IMPLEMENTACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE UN ENRUTADOR PARA LA INTERCONEXIÓN DE LA RED DE TECNOLOGÍA AVANZADA RITA-UD CON LA RED METROPOLITANA RUMBO MEDIANTE SOFTWARE LIBRE Y EL MODELO TMN DE LA UIT-T

Carlos Andrés Martínez

Ing. Electrónico, Msc (c) en Ciencias de la Información y las Comunicaciones, Docente de la Fundación Universitaria Los Libertadores.
carlosm563@hotmail.com

Fabio Antonio González Mendieta

Ing. Electrónico, egresado de la Universidad Distrital "Francisco José de Caldas", actualmente se desempeña como Coordinador de Sistemas y Telecomunicaciones de Maloka, Bogotá, Colombia.
fagonzalezm@correo.udistrital.edu.co

Dora Andrea Antolínez Ladino

Ing. Electrónica egresada de la Universidad Distrital "Francisco José de Caldas", actualmente se desempeña como asesora técnica del departamento de Sistemas y Telecomunicaciones de Maloka, Bogotá, Colombia.
daantolinezl@correo.udistrital.edu.co

Tipo: Artículo de reflexión

Fecha de Recepción: Septiembre 10 de 2011
Fecha de Aceptación: Noviembre 15 de 2011

IMPLEMENTATION AND CONFIGURATION OF A ROUTER TO INTERCONNECT AN ADVANCED TECHNOLOGY NETWORK (RITA-UD) AND A METROPOLITAN NETWORK (RUMBO) BY USING OPEN-SOURCE SOFTWARE TOGETHER WITH UIT-T TMN MODEL

ABSTRACT

The present document summarizes the most significant results obtained from the deployment of a router to interconnect an academic LAN with the node called RUMBO. Open-source software was used on mid-performance equipment and an adaptation of the UIT-T TMN model was implemented in order to manage network resources. The dynamic advantages offered by open-source software were essential for implementing the network devices, resulting in the deployment of a low-cost router that supports features like static and dynamic routing, quality of service policies, and the IPv6 addressing scheme.

Keywords: Router, IPv6, TMN UIT-T model, QoS, RITA, RUMBO, Vyatta.

RESUMEN

En este documento se consignan los resultados más relevantes que se obtuvieron al implementar un enrutador para la interconexión de una red LAN académica con el nodo de RUMBO, sobre una máquina de mediano rendimiento, usando software libre y empleando una adaptación del modelo TMN de la UIT-T para la gestión de este elemento de red. Se aprovechó las ventajas dinámicas en la implementación de dispositivos de red que ofrece el software libre; obteniendo un enrutador de bajo coste; que soporta enrutamiento estático y dinámico, políticas de calidad de servicio QoS, la nueva generación de direccionamiento IPv6, entre otras.

Palabras clave: Enrutador, IPv6, Modelo TMN UIT-T, QoS, RITA, RUMBO, Vyatta.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad algunas de las tareas que deben realizar los ingenieros administradores de redes son: gestionar la infraestructura a su cargo, mantener los servicios existentes de forma funcional [14], proponer la inserción de nuevos dispositivos y servicios; previendo la evolución misma de su red y las necesidades de la organización de carácter público, privado, académico o comercial; que esta soporte. La Universidad Distrital, siendo una organización de carácter académico-público, es generadora de conocimiento y de cambios sociales, sus redes deben soportar esta dinámica; por tal motivo ha venido creando nuevas redes académicas de conocimiento como son UDNET, CECAD, RITA. Estas redes deben proporcionar conectividad entre diferentes entidades académicas y dependencias y esta interconectividad se da a partir de redes híbridas de fibra óptica-cobre [7], ofrecidas por operadores ISP que insertan sus propios dispositivos enrutadores comerciales. Estos encaminadores a su vez son poco administrables por parte de los ingenieros encargados de las redes académicas; algunos factores son las diferentes marcas de dispositivos, el negocio en sí, al operador ISP no le interesa que el administrador de red este cambiando la configuración de sus dispositivos.

Por lo anterior se plantea la idea de implementar un dispositivo enrutador, basándose en las siguientes premisas: Sistema operativo libre [4], adaptación de un modelo de gestión de redes, Implementación sobre computadoras de uso general y soporte de servicios actuales [14].

Este documento muestra los resultados encontrados a lo largo de la investigación enfocándose en el software utilizado para la implementación del router, la adaptación al modelo TMN que se hizo y finalmente muestra los resultados obtenidos al aplicar QoS [2] y configurar IPv6.

2. ESTADO DEL ARTE

Existen diferentes versiones de software libre que pueden ser implementadas sobre equipos

de cómputo de uso general (desktop, laptop, netbook, server), para sustituir dispositivos enrutadores de empresas especializadas en enrutamiento e interconexión de redes. El porqué de la tendencia de cambiar dispositivos de capa 3 especializados que han superado pruebas de calidad en el laboratorio del fabricante, por implementaciones basadas en software libre; se debe a sus costos [7]. Y no es que el software libre sea la panacea acerca de la cantidad de soporte que se puede recibir en realidad, o que cualquiera lo pueda usar; hay que tener cierta experiencia en el mundo de las redes; pero tiene varias ventajas [4].

3. MARCO TEÓRICO

Este ítem se enmarca en la socialización de una serie de términos fundamentales que soportan el desarrollo propuesto:

Enrutador: dispositivo de hardware o software que funciona en la capa 3 del modelo OSI [4], [5].

Protocolos de Enrutamiento: las tecnologías de routing son el conjunto de reglas utilizadas por un nodo cuando se comunica con otros dispositivos de su misma jerarquía, mediante el uso de un algoritmo [5].

IPv6: es una versión del protocolo Internet Protocol (IP), definida en el RFC 2460 y diseñada para reemplazar la versión 4 (IPv4), que actualmente está en fase de implementación en varios ISP que dan soporte de acceso a Internet [5].

Modelo TMN UIT-T: el modelo de Administración de Redes en Telecomunicaciones (TMN) está definido por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) [8].

QoS: la Calidad de Servicio son las tecnologías que garantizan la transmisión de cierta cantidad de información en un tiempo dado (throughput). Es especialmente importante para aplicaciones tales como la transmisión de vídeo o voz [2].

RITA: red de Investigación en tecnología avanzada [7].

RUMBO: red universitaria metropolitana de Bogotá [7].

VYATTA: es un open flexible router (OFR) 1.0

[12], puede ser utilizado en lugar del equipamiento de Routing comercial tanto en pequeñas empresas como en organizaciones con miles de usuarios [4].

4. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Se definen dos fases globales para la implementación y desarrollo del proyecto: fase investigativa y fase de desarrollo; durante la fase investigativa se opta por la adaptación del modelo TMN a la implementación y gestión del enrutador [7].

1.1. Fase investigativa

Se profundiza sobre diferentes distribuciones de software libre que actualmente se orientan a la implementación de dispositivos de enrutamiento sobre plataformas tipo PC, y apartes del modelo TMN.

2.2. Analisis para la selección

Se consideraron 28 distribuciones que se encontraban activas o en desarrollo. Donde se analizaron factores como: cantidad de servicios de red soportados [14], cantidad de interfaces que soporta la distribución, rendimiento de hardware, precio, administrabilidad (acceso mediante SSH, o HTTPS), soporte de la empresa o comunidad desarrolladora hacia el usuario, adaptabilidad o escalabilidad de la distribución en redes ya implementadas [5], entre otras. Cada ítem se evaluó de forma cuantitativa y cualitativa, como se muestra de forma resumida en la tabla 1.

Tabla 1. Servicios soportados por algunas distribuciones

Distribucion	Servicios	puntos
Smoothwall	Router / firewall distribution with a web interface and light terminal. summary SSID/VLAN/WLAN/QoS/LIVE CD/classic router, firewall, VPN, ipv6, servicios lan avanzado\Firewall/Router network virtualization functionality/routing dinamico/router/firewall/QoS/Wi- Fi/Multiple SSID/RADIUS Authentication/Zeroshell/VLAN/br idging/WAN/load balancing	2
Vyatta	router/firewall and small office server.	21
Zentyal(formely eBox Platfor	router/firewall/QoS/WiFi/Multiple SSID/RADIUS Authentication/Zeroshell/VLAN/br idging/WAN/load balancing.	2
Zeroshell		10

En razón a su mayor robustez se utilizó Vyatta para el desarrollo del proyecto [15].

3.3. Propuesta de adaptacion del modelo TMN

Usando la arquitectura lógica funcional de gestión del modelo TMN mostrada en la Fig. 1, se adaptan los niveles lógicos funcionales que lo componen a la implementación y configuración de este enrutador.

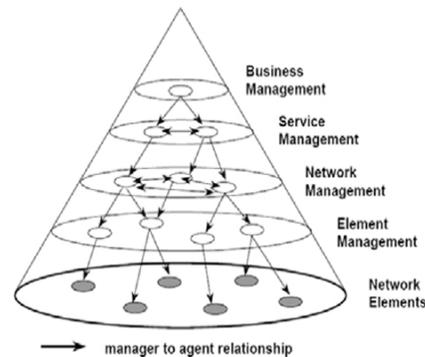


Fig. 1. Modelo TMN-Arquitectura lógica [7], [3].

- *Elemento de Red:* nodo para la interconexión de la red de tecnología avanzada RITA-UD con la red metropolitana RUMBO mediante software libre Vyatta.
- *Gestión de los elementos:* Gestión del dispositivo enrutador para la interconexión de la red de tecnología avanzada RITA-UD con la red metropolitana RUMBO, en este apartado se definen el hardware necesario que debe tener el dispositivo, el tipo de administrabilidad, políticas de acceso, entre otros.
- *Gestión de red:* en este nivel lógico se gestionan los servicios que el nodo debe soportar para el correcto funcionamiento de la red [14].
- *Gestión del servicio:* se gestionan los servicios implementados, es decir si el nodo esta sobre o sub-dimensionado en los diferentes servicios que está soportando.
- *Gestión Empresarial:* en este apartado se discute sobre el uso que pueda dársele al enrutador sea comercial, académico o derivado y es a criterio de los administradores del elemento.

4.4. Implementacion

- *Gestión de los elementos:* en este nivel de la

Implementación y configuración de un enrutador para la interconexión de la red de tecnología avanzada RITA-UD con la red metropolitana rumbo mediante software libre y el modelo TMN de la UIT-T

arquitectura TMN, se dividió el trabajo en dos partes; instalación y administración del software.

- *Instalación del software:* después de revisar la documentación referente a la instalación y los requerimientos del hardware, del software libre Vyatta versión 6.2 se procede a su instalación en un equipo con plataforma X86 de la línea Pentium III con un disco duro de 10 GB y una memoria RAM de 256MB, dos interfaces de red tipo Ethernet como elemento inicial.
- *Administración del software:* se activo el acceso a los administradores por medio de interfaz de comandos (SSH) y por medio de interfaz gráfica (HTTPS) a través de una llave lógica compuesta de un nombre de usuario y contraseña. Esta llave a futuro tendrá servicios de configuración y administración de los servicios [14]. Como se muestra en la Fig. 2 y Fig. 3.

```
vyatta@vyatta:~$ show interfaces
Interface  IP Address      State  Link  Descr
eth0       186.84.182.167/22 up      up
eth2       10.0.2.40/24    up      up
eth2       2001:db8:3::2/64 up      up
lo         127.0.0.1/8     up      up
lo         ::1/128         up      up
sit0       -               admin down down
tun0       2001:db8:2::2/64 up      up
wlan0      192.168.40.1/24 admin down down
```

Fig. 2. Acceso por medio de SSH a través del programa putty.



Fig. 3. Acceso por medio de https.

La red de prueba sobre la que se implementó Vyatta para emular el direccionamiento IP y el

soporte de servicios que necesitaría la interconexión RITA – RUMBO [8] se muestra en la Fig. 4.

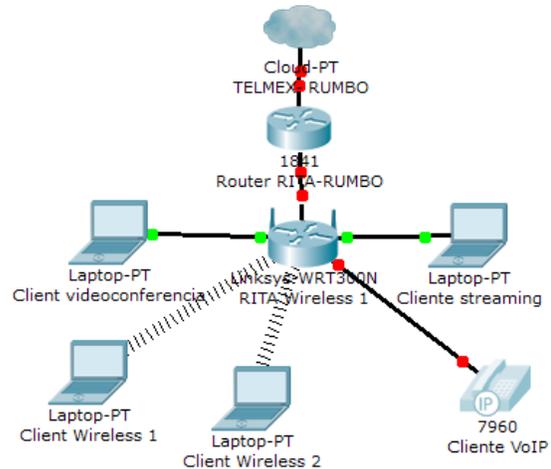


Fig. 4. Red de prueba.

- *Gestión de red:* para administrar el router en este nivel, se implementó: DHCP, DHCPv6, tunneling, NAT, web proxy, enrutamiento Predeterminado, entre otros.
- *Configuración de túneles:* se configuro los túneles IPv6-en-IPv4, siendo fundamentales durante un periodo de transición cuando el proveedor de servicios carece de soporte IPv6 nativo. Los túneles permiten conectar nubes IPv6 mediante una red sólo-IPv4. Como se muestra en la Fig. 5.

```
vyatta@vyatta:~$
address dhcp
hw-id 00:06:5b:1f:2d:0d
}
ethernet eth2 {
address 10.0.2.40/24
address 2001:db8:3::2/64
hw-id 00:08:a1:a5:57:c5
}
loopback lo {
}
tunnel tun0 {
address 2001:db8:2::2/64
encapsulation sit
local-ip 186.84.182.167
remote-ip 190.144.114.36
}
wireless wlan0 {
address 192.168.40.1/24
channel 7
mode n
security {
wpa {
mode both
passphrase FAL 20
```

Fig. 5. Tunelng IPv4-IPv6

- *NAT:* se verifica el funcionamiento del servicio NAT (tabla 2), con direcciones IP de

un nodo tipo Wi-Fi fuente [1], que agrupa la red haciendo de puente al router Vyatta y pudiendo establecer solicitudes de traducción de direcciones.

Tabla 2. Estadísticas NAT router Vyatta

IP fuente Pre-NAT	IP destino Post-NAT	Type	Protocolo	Timeout seg.
10.0.2.41	186.84.182.167	snat	tcp	4,31985
10.0.2.41	186.84.182.167	snat	tcp	4,31953
10.0.2.41	186.84.182.167	snat	udp	1,79
10.0.2.41	186.84.182.167	snat	tcp	4,31983

- *Web Proxy*: aquí se visualiza el servicio de proxy transparente que trae Vyatta por defecto (tabla 3), lo que ayuda a mejorar el rendimiento del enlace contratado ya que una sola maquina, en este caso el dispositivo capa 3 es quien navega y alimenta su memoria cache [4].

Tabla 3. Carga proxy transparente

ID webproxy	Puerto origen	Dirección origen	Puerto destino	Estado
1.319.514.254.140	1133	10.0.2.41 TCP_MISS/200	5622	GET
1.319.514.255.210	1042	10.0.2.41 TCP_MISS/200	5622	GET

- *DHCP-SERVER*: se configura el pool de direcciones que debe soportar el servicio DHCP dentro del dispositivo Vyatta [12] (tabla 4).

Tabla 4. Configuración dhcp-server.

Shared-network-name	pool_RITA
Authoritative	disable
Subnet	10.0.2.0/24
Default-router	10.0.2.40
DNS-server	10.0.2.40
Start ip	10.0.2.41
Stop ip	10.0.2.240

- *DNS*: las políticas de reenvío de direcciones DNS correspondientes al ISP además del servicio dynamic con el servidor dyndns [4] se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Configuración DNS/Dynamic

dynamic	ok
interface	eth0
service	dyndns
host-name	ritarumbo.dyndns.org
login	correofabio
password	Fantasia1
server	0.0.0.0
forwarding	ok
cache-size	150
dhcp	eth0
listen-on	eth2
system	ok

- *QoS*: se configura políticas de calidad de servicio, por medio de ToS de tipo Shaper [2], informando al enrutador la cantidad de ancho de banda disponible, y moldeando este AB a protocolos de tipo RTP y SIP [10], de forma porcentual y prioritaria (ver tabla 6).

Tabla 6. Políticas QoS Implementadas.

Políticas QoS RITA	
shaper	RITA
bandwidth	4000kbit
class	10
bandwidth	55%
ceiling	100%
match	VOIP-RTP
IP	dscp 46
class	20
bandwidth	5%
ceiling	100%
match	VOIP-SIP
IP	DSCP 26
class	30
bandwidth	30%
ceiling	100%
match	O-TRAFICO
IP	address 10.0.2.41/24
default	bandwidth 10%
ceiling	100%

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se realiza un test de carga, donde se utilizan diferentes herramientas de software para medir algunos parámetros de servicio, los resultados obtenidos en cada uno de estos items se analizan, y a partir del análisis se generan recomendaciones sobre el rendimiento del enrutador [6].

Test: las pruebas de conectividad y carga se hicieron en la red de prueba mostrada en la Fig. 4, usando carga de tipo VoIP, HTTP, HTTPS, FTP, IPTV, en diferentes intervalos de tiempo, sin registrar caída de servicios [14], falta de direccionamiento ni bloqueo en el enrutador. En la Fig. 6, se evidencia el sostenimiento del servicio VoIP.

Packet	Sequence	Delta(ms)	Filtered Jitter(ms)	Skew(ms)	IP BW(kbps)	Marker	Status
9959	40948	0,00	0,00	0,00	1,60		[Ok]
9961	40949	21,10	0,07	-1,10	3,20		[Ok]
9963	40950	18,55	0,15	0,35	4,80		[Ok]
9966	40951	19,91	0,15	0,44	6,40		[Ok]
9968	40952	19,96	0,14	0,48	8,00		[Ok]
9970	40953	20,08	0,14	0,41	9,60		[Ok]
9972	40954	19,87	0,14	0,54	11,20		[Ok]
9974	40955	19,92	0,13	0,61	12,80		[Ok]

Max delta = 133,25 ms at packet no. 339298
 Max jitter = 11,15 ms. Mean jitter = 0,95 ms.
 Max skew = 7152,64 ms.
 Total RTP packets = 165898 (expected 165898) Lost RTP packets = 0 (0,00%) Sequence errors = 0
 Duration 3310,80 s (7141 ms clock drift, corresponding to 8017 Hz (+0,22%))

Fig. 6. Registro de protocolo SIP mediante wireshark [9].

5.1. Resultados

De la carga total de la red (mas de 3 GB de descarga) el 62 % corresponde a protocolos TCP, el 37 % corresponde a protocolos UDP, y tan solo un 1% a ICMP. (Fig. 7y tabla 7).

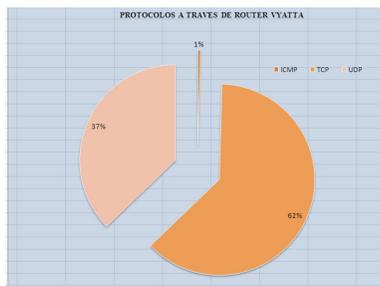


Fig. 7. Distribución de protocolos durante un test de cinco horas en el router vyatta.

Tabla 7. Procesamiento general de comunicaciones durante el test al router vyatta.

Total comunicaciones	13275
Total flows	16548
Total pkts	2433928
Total bytes	3148764415

Para una conexión ADSL de 4 Mbps, el enrutador respondió de la manera esperada, para la prueba aleatoria de 10 segundos durante 5 horas, entrego un máximo de velocidad de descarga de 4.17 Mbps, (Tabla 8).

Tabla 8. Resultado de pruebas de ancho de banda por medio de Linux iperf realizado desde un nodo cliente.

Prueba de ancho de banda Linux IPerf		
local ip	fe80::20d:9dff:fe96:dbe0	port 55567
connected with	2001::1	port 5001
18000 s	8.39 GBytes	4.17 Mbits/seg

Se usaron códec tipo G711 para audio en los servicios VoIP de Telmex y net2phone, donde se registraron valores de jitter menores a 20 ms, como se observa en la tabla 9.

Lo que es un dato bastante aceptable para un enrutador que implemente políticas de QoS [11]. Según las clases de calidad de la UIT-T para el retardo de transmisión este valor se sitúa en clase 1, ubicado en el rango de retardo de 0 a 100 ms [1].

Tabla 9. Resultado de test para protocolos RTP realizado a través de wireshark [9].

Src IP addr	Src port	Dst IP addr	Dst port
190.144.159.138	27482	190.15.10.142	37282
190.15.10.142	37282	190.144.159.138	27482

SSRC	Payload	Packets (Mb)	Lost
0x832E0EF7	g711A	5048	9025 (64,1%)
0xD33AC3FE	g711A	13888	191 (1,4%)

Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Dst port
1319,91	19,67	8,94	37282
2865,37	5,29	0,84	27482

5.2. Análisis de rendimiento

Se observa que durante los test de desempeños el enrutador maneja en su mayoría carga de protocolos TCP, esto se da gracias a que se usó la red con servicios orientados a la conexión.

Con lo que se observa en la tabla 7, respecto al total de comunicaciones, flows, paquetes y bytes, el enrutador implementado ofrece confiabilidad en la interconexión ya que el volumen de datos es comparable con el que puede tener una red de alto desempeño.

Al momento de comparar los test realizados para evaluar los posibles retardos que sufren los servicios sobre los protocolos RTP, se encuentra una diferencia entre los tiempos máximos del jitter y del mean jitter, debido a que las pruebas se realizaron durante intervalos de tiempo diferentes y en momentos diferentes, donde la red del operador ISP puede sufrir fluctuaciones de ancho de banda que le ofrece al enrutador, influyendo en este parámetro físico que afecta el desempeño de este tipo de estructuras; así mismo en los test se observa que el valor máximo de jitter se mantiene dentro del rango aceptable para este tipo de servicios, todo lo anterior muestra que el nodo ofrece estabilidad en su desempeño para interconectar redes LAN y WAN.

Las pruebas realizadas se hicieron contra un operador ISP, que concentra todo tipo de tráfico y todo tipo de plataformas usuarios-cliente, esto hace que el enrutador ostente confiabilidad en el desempeño para redes académicas donde los flujos de tráfico no son tan variados ni tienen una carga comparable a la de un operador ISP.

Según la Fig. 8, se observan las diferentes medidas de ancho de banda en diferentes días, con diferentes tipos de tráfico para un canal de 4Mbps donde se observa el desempeño que tiene el enrutador para administrar canales de Internet, y la constante al mantener esta velocidad para los usuarios de la red LAN que interconecta [11].

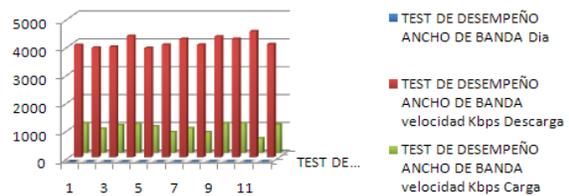


Fig. 8. Resultado de rendimiento del enrutador Vs ancho de banda enlace que administra.

5.3. Discusiones

En base al análisis previo, se generan las siguientes discusiones:

- En la tabla 9 se evidencia una pérdida de paquetes cercana al 65 %, y esto se debe a que se implementaron políticas de QoS en el router vyatta, pero como concentrador se usó un router wireless de baja gama, que se convierte en un cuello de botella para todo el tráfico, por su baja capacidad de procesamiento, la no priorización de paquetes y su naturaleza soho.
- El enrutador vyatta, soporta enrutamiento dinámico; pero no se recomienda para este caso implementarlo, ya que el operador ISP para esta red no usa este tipo de routing.
- Este router vyatta soporta direccionamiento IPv6, y después de realizar pruebas de conectividad y enrutamiento sobre IPv6 con otros routers vyatta, se observó que el problema final acerca de este tipo de direccionamiento es que las redes aun no están preparadas con servicios DNS IPv6, pocas redes LAN lo tienen implementado, y los ISP no siempre ofrecen la resolución de nombres de host sobre IPv6 a los usuarios.

5.4. Evaluación de desempeño

Para la evaluación del rendimiento del enrutador frente a marcas reconocidas comercialmente, se tienen en cuenta los siguientes parámetros: protocolos de enrutamiento soportados, políticas de QoS, y Precio.

- *Costos económicos de adquisición:* un equipo enrutador de marcas como Cisco [13], Juniper Huawei, etc. cuesta mucho más que

la adquisición de software vyatta Community Project y un equipo de computo de uso general junto con las interfaces necesarias para su trabajo (Tabla 10).

- *Costos de Administrabilidad:* para vyatta Community Project, la documentación esta online y de forma gratuita, para los otros hay que comprarla o tener un ingeniero especialista en la marca específica.
- *Costos ante daños vyatta:* frente a daños o comportamiento inesperado de vyatta Community Project, es cuestión de configurar un nuevo PC o de transportar el software de manera virtual, mientras que con dispositivos comerciales hay tiempos muertos de revisión y compra.
- *Costos de operación:* frente a daños de los dispositivos enrutadores comerciales, o se consigue el mismo hardware que se daño, o uno compatible de nueva generación que

puede costar mucho más que el que entro en daño.

- *Costos de adaptabilidad:* si se piensa en expandir hacia nuevos servicios o dispositivos dentro de la red, es muy posible que el dispositivo enrutador comercial actual, no sea capaz de adaptarse a las nuevas necesidades lo que implica nueva inversión en hardware especializado.
- *Costos de dependencia:* es muy posible que en una red converjan dispositivos de diferentes marcas, pero para implementar servicios se dependerá de lo que cada dispositivo enrutador comercial soporte.

Al no poseer físicamente los enrutadores comerciales para comparar el rendimiento contra el nodo vyatta, la tabla 10 muestra las principales características obtenidas de los datasheet de cada equipo.

Tabla 10. Comparativa enrutadores comerciales vs vyatta.

Item	Huawei AR28	cisco 1941/K9	juniper SSG5	Vyatta Community Project
1	Quality of Service	Quality of Service	Quality of Service	Quality of Service
	Traffic classification and traffic policing (CAR/LR), traffic shaping (GTS), congestion management (PQ/CQ/WFQ/CBQ).	QoS, Class-Based Weighted Fair Queuing (CBWFQ), Weighted Random Early Detection (WRED), Hierarchical QoS, Policy-Based Routi	Guaranteed bandwidth, Maximum bandwidth, Ingress traffic policing, Priority-bandwidth, Differentiated Services stamping	drop-tail, fair queue, limiter, network emulator, random-detect, rate-control, round-robin, shaper
2	Network Protocols	Network Protocols	Network Protocols	Network Protocols
	DHCP, VLAN, IPX, DLSw, RIP-1/RIP-2, OSPF, BGP, policy routing, multicast, routing load sharing, address unnumbered, TCP packet head compression, and routing policy.	IPv4, IPv6, static routes, Open Shortest Path First (OSPF), Enhanced IGRP (EIGRP), Border Gateway Protocol (BGP), BGP Router Reflector, Intermediate System-to-Intermediate System (IS-IS), Multica	BGP, OSPF, RIP, Static, ECMP, Maximum Number of Security Zones: 40, Maximum Number of Virtual Routers, Maximum Number of VLANs: 256, PPP, FR, MLPP, MLFR, HDLC	IPv6, OSPF, RIP, BGP, VLAN, DHVP, DHCPv6, HDLC, FR, IPoA, IPoE, VRRP, NAT, LOAD BALANCING, PPP, IPS, Tunneling, FIREWALL, DNS, webcaching, VPN, Ipsec, openVPN,
	Price USD	Price USD	Price USD	Price USD
	93,6	766	460	0

6. CONCLUSIONES

Respecto al objetivo general se logró implementar un dispositivo enrutador; basado en software libre y un modelo de gestión de telecomunicaciones para redes de trabajo, comprobando la utilidad del actual estudio.

El hecho de seguir un modelo permitió realizar tareas de administración de elementos de red de forma efectiva y abarcar mucho mejor el de-

sarrollo del proyecto. Dejando como precedente la efectividad de la adaptación del modelo.

De acuerdo a los resultados, al hardware, al software, y al tiempo requerido para la implementación del proyecto se puede afirmar que el software libre es más versátil, asequible para cualquier usuario, cumple con los estándares de calidad de servicio estando dentro de los rangos que permiten un buen desempeño de la conexión.

Referencias Bibliográficas

- [1] W. Dam, "Introducción al Jitter", Reporte de Wireless Telecom Group. [En línea], consultado en Mayo 4 de 2011, disponible en: noise.com/~media/.../WTG_Intro_to_%20Jitter_SP.ashx.
- [2] E. Macián, J. Fernández, E. A. Viruete, "Auditoría de VoIP: Análisis de la QoS objetiva y subjetiva en la transmisión de voz extremo a extremo sobre un acceso ADSL". Grupo de Tecnologías de las Comunicaciones (GTC) – Instituto de Investigación de Ingeniería en Aragón. Centro Politécnico Superior (CPS), Universidad de Zaragoza. [En línea], consultado en Agosto 17 de 2011, disponible en: <http://diec.unizar.es/intranet/articulos/uploads/>
- [3] C. A. Vicente, "Un modelo funcional para la administración de redes". Dirección de telecomunicaciones, Departamento de operación de la red centro de operación de red UNAM (NOC-UNAM). México. 2003. [En línea], consultado en Abril 20 de 2011, disponible en: <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r51037.DOC>.
- [4] C. Torrelaguna, "redes de área local: aplicaciones y servicios linux". Ed. Laguna. México 2007.
- [5] A. S. Tanenbaum, "Redes de computadoras". Tercera Edición. Editorial Prentice Hall. México 1997.
- [6] J. D. McCabe, "Network analysis, architecture, and design". Third Edition. Ed. Morgan Kaufmann. Burlington. 2007.
- [7] R. Ferro, D. López, C. A. Martínez, "Modelo científico de gestión del conocimiento para la red de investigación de tecnología avanzada de la Universidad Distrital". Revista TECNURA No 26. Enero – Junio 2010. Pag.27-34. [En línea], consultado en Mayo 4 de 2011, disponible en: <http://tecnum.udistrital.edu.co/downloads/revista26/conciencias/articulo26-3.pdf>.
- [8] C. A. Martínez, C. A. Dimaté, "Diseño de un prototipo de conexión de la red de tecnología avanzada RITA-UD con la red metropolitana RUMBO bajo IPv6 mediante software libre y el modelo TMN de la UIT-T". Bogotá, 2009, 40 h. Trabajo de grado (Ingeniero) Universidad Distrital. Facultad de Ingeniería.
- [9] Wireshark user's guide. [En línea], consultado en Agosto 10 de 2011, disponible en: http://www.wireshark.org/docs/wsug_html_chunked/
- [10] R. Montaña, "Tema 6. Calidad de servicio (QoS)". Departamento de informática. Universidad de Valencia. [En línea], consultado en Abril 9 de 2011, disponible en: [http://www.docstoc.com/docs/34977565/Calidad-de-Servicio-\(QoS\)](http://www.docstoc.com/docs/34977565/Calidad-de-Servicio-(QoS)).

- [11] H. Carrión, Calidad de servicio. IMAGINAR. Centro de investigación para la sociedad de la información. Quito, Ecuador. [En línea], consultado en Mayo 17 de 2011, disponible en: <http://www.imaginar.org/docs/34976561/Calidad-de-Servicio>.
- [12] Manual de referencia VYATTA. [En línea], consultado en Enero 7 de 2011, disponible en: <http://www.vyatta.com/download/documentation>.
- [13] A. Gallego De Torres, "Routers cisco.". Grupo Anaya Comercial, 2009.
- [14] F. Sivianes, "Servicios de RED". Ed. Paraninfo. Primera edición. España, 2010.
- [15] D. A. Antolínez, F. A. González, "Implementación y Configuración de un Enrutador para la Interconexión de la red de tecnología avanzada RITA-UD con la red metropolitana RUMBO mediante software libre y el modelo TMN de la UIT-T". Bogotá, 2011, 76 h. Trabajo de grado (Ingeniero) Universidad Distrital. Facultad de Ingeniería.