

EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE LOS PROTOCOLOS DE INTERNET VERSIÓN 4 (IPV4) Y VERSIÓN 6 (IPV6) EN UNA RED EXPERIMENTAL WDM

Javier Rodríguez Alborno, Rodrigo Guerra Díaz, Agustín González Valenzuela

Departamento de Electrónica
Universidad Técnica Federico Santa María
Av. España 1680, Valparaíso
56-32-654300

zerov@elo.utfsm.cl, guerra@elo.utfsm.cl, agv@elo.utfsm.cl

Resumen

Este trabajo presenta un estudio comparativo del desempeño de los protocolos de Internet IPv4 e IPv6 en una red experimental, utilizando tres escenarios de medición distintos: un enlace de red área local, un troncal de fibra óptica WDM y un enlace de túnel GRE vía Internet convencional. Para la comparación empírica se realizan mediciones de parámetros de desempeño de red como *Throughput* y *Jitter*, entre otros. Además, se presentan estadísticas de aplicaciones de tiempo real RTP a partir de transmisiones de audio y video conferencia. En cada caso, se describen las metodologías y herramientas que se utilizaron en esta investigación.

Abstract

This work presents a comparative study of the performance of the Internet Protocols IPv4 and IPv6 in an experimental network. We used three different measure scenarios: a Local Area Network, a WDM Fiber Optic Trunk Link and a Tunnel Link via conventional Internet. For the empiric comparison we measured network performance parameters like *Throughput* and *Jitter*, among others. Also, we presents experimental results for RTP real-time applications, from audio- and video-conferencing transmissions. In each case, the methodologies and tools that were used in this investigation are described.

1.- Introducción

El Protocolo de Internet (IP) fue diseñado en los años 70 con el fin de interconectar redes entre sí. Los creadores de Internet, no predijeron en ningún momento, el gran éxito que este protocolo iba a tener en muy poco tiempo, en una gran multitud de campos. No es que estuvieran equivocados, sino que las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) han evolucionado de un modo mucho más explosivo de lo esperado. Es por esto que la versión actual de IP (versión 4), está llegando a sus límites, con restricciones que impiden un adecuado crecimiento de la red, y por tanto la creación e implementación de nuevas aplicaciones, con más posibilidades que las actuales. El nacimiento de IPv6 viene a resolver las limitaciones de IPv4, además de integrar nuevas características que permitan entregar seguridad y confiabilidad en la transmisión de la información.

IPv6 define direcciones de 128 bits frente a las direcciones de 32 bits de IPv4, lo que se traduce en un espacio de direccionamiento prácticamente infinito. Para tener una idea de este alto número, ahora cada grano de arena del planeta puede ser direccionado vía IP. Además, IPv6 permite dar mejor soporte a tráfico de tiempo real como es el caso de videoconferencia, incluyendo etiquetado de

flujos en sus especificaciones. También incorpora seguridad intrínseca en sus especificaciones a través de IPsec que permite la encriptación de la información y la autenticación del remitente de dicha información. Como si fuera poco, IPv6 incluye en su estándar el mecanismo "*Plug and Play*" lo que facilita a los usuarios la conexión de sus equipos a la red, ya que la configuración se realiza automáticamente.

Si bien este protocolo ya se encuentra estandarizado, la migración hacia él pasa por un proceso de transición que permita mantener operativos los servicios utilizados actualmente. Hoy en día, muchas redes de Investigación y Educación en el mundo soportan este nuevo protocolo conformando "islas IPv6" inmersas en el gran "océano IPv4", que poco a poco comenzarán a expandirse.

En este trabajo, este nuevo Protocolo de Internet ha sido evaluado dentro del proyecto FONDEF D00I1026 "Redes Ópticas para la Internet del Futuro" [1], mediante el cual se logró poner en marcha una red experimental IPv4/IPv6 que involucra a la institución REUNA (Red Universitaria Nacional) y a algunas universidades estatales como la Universidad de Chile (UCHILE), la Universidad de la Frontera (UFRO) y la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM). Esta red comunica a algunos nodos mediante un troncal de fibra óptica sobre el cual operan ambos protocolos de Internet en canales ópticos independientes, conformando una red del tipo IP/WDM [2] (*Internet Protocol/ Wave Division Multiplexing*).

En el presente trabajo de investigación [3] se hizo uso de esta red experimental, entre otras, como plataforma para analizar el impacto que tiene la implementación de IPv6 frente IPv4, mediante la medición, comparación y análisis de parámetros de desempeño de red y la observación del comportamiento de aplicaciones de tiempo real. En particular, parámetros tales como el *Throughput* y *Jitter* (variación del retardo), entre otros, permiten conocer las características que presenta un enlace determinado, además de analizar el impacto de estos protocolos ante la transmisión de contenidos multimediales de tiempo real, como audio y video conferencia, que son cada vez más utilizadas a través de Internet. Para la obtención de estas métricas de desempeño se utilizaron herramientas de medición activas que inyectan tráfico en la red. Además, se muestran estadísticas obtenidas de la transmisión de aplicaciones de tiempo real sobre esta red experimental para comparar el desempeño de ambos protocolos IP a nivel de capa de aplicación. Las herramientas fueron instaladas en computadores ubicados en dos nodos de esta red experimental, específicamente en dependencias de REUNA (Santiago) y la UTFSM (Valparaíso).

Del análisis derivado de las mediciones realizadas, se obtienen resultados cuantitativos del desempeño del nuevo protocolo de Internet respecto al actualmente utilizado, en un sistema real con una infraestructura de red disponible hoy en día en el mercado.

Desde este punto de vista, la investigación realizada es de gran importancia, tanto para universidades, empresas, proveedores de servicios como para instituciones y usuarios en general, pues les permite conocer de antemano las ventajas y desventajas de la implementación de este nuevo protocolo de red.

2.- Protocolos de Internet: IPv4 vs. IPv6

La siguiente tabla resume las principales características funcionales comparativas entre los protocolos IPv4 e IPv6.

Protocolo IPv4	Protocolo IPv6
Espacio de direcciones de 32 bits, es decir $2^{32} \sim 4.2 \times 10^9$ direcciones IP posibles	Espacio de direcciones de 128 bits, es decir $2^{128} \sim 3.4 \times 10^{34}$ direcciones IP posibles
Configuración Manual o Dinámica (<i>DHCP</i>)	Configuración "Plug & Play", Manual o Dinámica (<i>DHCPv6</i>)
Direcciones de Tipo <i>Unicast</i> , <i>Multicast</i> y <i>Broadcast</i>	Direcciones Tipo <i>Unicast</i> , <i>Multicast</i> y <i>Anycast</i>
Políticas de calidad de servicio se realizan a través del campo <i>Tipo de Servicio (ToS)</i> del paquete IP	Políticas de calidad de servicio se realizan a través de los campos <i>Etiqueta de Flujo</i> y <i>Clase de Tráfico</i>
Seguridad es algo opcional, a través del parche <i>IPSec</i> .	Seguridad extremo-a-extremo implementada en forma nativa
Protocolo no escalable	Protocolo escalable

Tabla 1. Resumen Comparativo entre los protocolos de Internet IPv4 e IPv6.

Dentro de las características funcionales de IPv6, podemos mencionar que el encabezado de un paquete presenta un diseño más simple que en el caso de IPv4. Además de definirse un largo de encabezado fijo, el número de campos se ha reducido.

Para más detalles sobre el protocolo IPv6, se recomienda ver [4].

2.1.- Mecanismos de Transición: de IPv4 a IPv6

La problemática que implica emigrar a IPv6 la Internet actual, que está basada en IPv4, ha sido abordada a través de diversos mecanismos de transición. El RFC 2893 [5], describe dos aproximaciones (que pueden usarse separadas o en conjunto) para integrar gradualmente *hosts* y *routers* IPv6 dentro de un mundo IPv4: *Double-Stack* y *Tunneling*.

El primer mecanismo se ve conceptualizado en el modelo TCP/IP de la Figura 1, en donde los nodos IPv6 tienen además una completa implementación de IPv4.

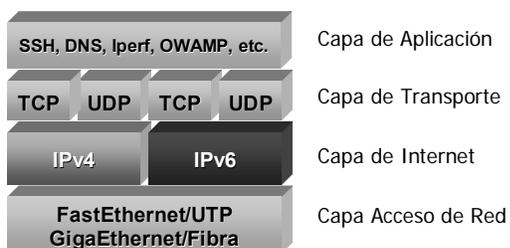


Figura 1. Modelo TCP/IP *Double-Stack*.

El segundo mecanismo, es conocido como *tunneling* o tunelización. En éste, dos *routers* IPv6 que están interconectados a través de *routers* IPv4, se comunican entre sí utilizando paquetes IPv6 a través del establecimiento de un "túnel" entre ambos. El conjunto de *routers* IPv4 intermedios pasan a ser parte del túnel, como se muestra en la Figura 2.

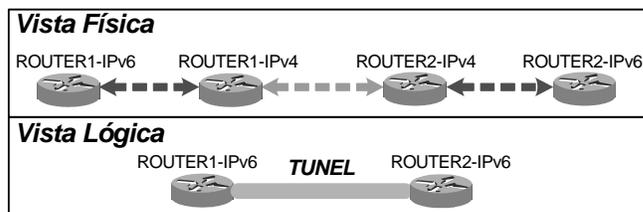


Figura 2. Vistas física y lógica del modelo *Tunneling*.

3.- Escenarios de Medición

Para evaluar y comparar el desempeño entre los protocolos IPv4 e IPv6, se establecieron tres escenarios de medición: Enlace de Red Área Local (LAN), Enlace Troncal de Fibra Óptica WDM y un Enlace de Túnel GRE vía Internet. A continuación, se describe cada uno de estos escenarios de medición.

3.1.- Enlace Red Área Local (LAN)

Este escenario de medición permite conocer el comportamiento de ambos protocolos de Internet en un ambiente en el que no se utilizan *routers* intermedios. Además, se pretende verificar y validar que el instrumento de medición, descrito en sección 4, sea el adecuado. Dos computadores (PC1-UTFSM y PC2-UTFSM) de idénticas características y con *Double-Stack* en la capa de red, están conectados entre sí a través de un switch CISCO Catalyst 2924XL (S-UTFSM) como lo muestra la Figura 3.

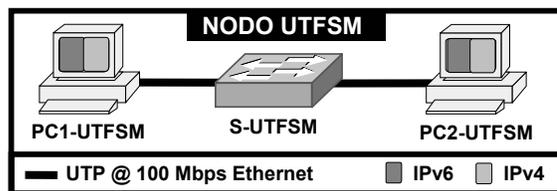


Figura 3. Escenario de medición N° 1: Enlace de Red Local.

Se escogió Linux como sistema operativo para los PCs utilizados en la evaluación. La distribución elegida fue RedHat 9.0, pero se decidió compilar un *kernel USAGI 2.4.26-rc1* [6], que provee un soporte más robusto para IPv6. De esta forma es posible evaluar y comparar la implementación de ambos protocolos a nivel de Sistema Operativo. Finalmente, Los PCs y switch utilizado, poseen interfaces de red de 100 Mbps.

3.2.- Enlace Troncal de Fibra Óptica WDM

Este enlace, ilustrado en la Figura 4, está conformado por un troncal de fibra óptica de 1.25 Gbps que utiliza tecnología IP/WDM [2] y une los nodos UTFSM (Valparaíso) y REUNA (Santiago).

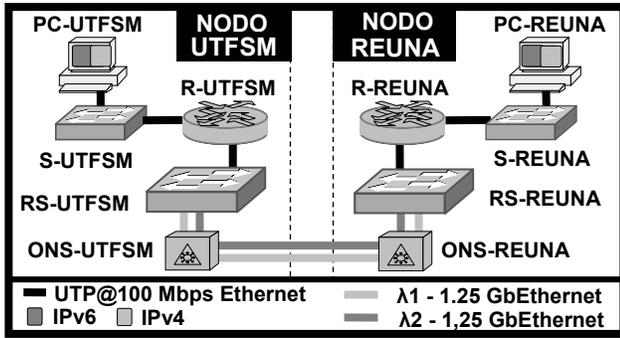


Figura 4. Escenario de medición N° 2: Enlace Troncal de Fibra Óptica WDM.

Utilizando los mismos computadores que en el escenario anterior, se añaden ahora dos *routers* CISCO 2651XM (R-UTFSM y R-REUNA) para el enrutamiento del tráfico IPv4 e IPv6 entre ambos extremos. Estos *routers* están conectados a un router-switch CISCO Catalyst 3550 (RS-UTFSM y RS-REUNA), que permite la conexión hacia la red óptica WDM.

3.3.- Enlace de Túnel GRE Vía Internet

En este escenario de medición se establece un enlace virtual o lógico entre los dos extremos remotos a través de un enlace convencional vía Internet. El mecanismo de *tunneling* utilizado, está basado en GRE (*Generic Routing Encapsulation*) [7].

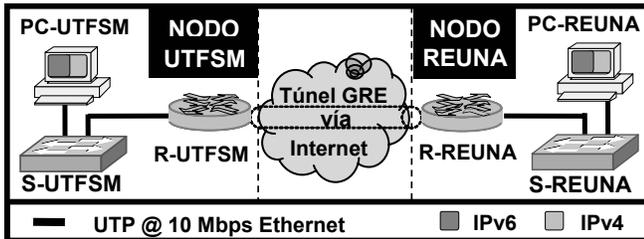


Figura 5. Escenario de medición N° 3: Enlace Túnel GRE vía Internet.

Con este mecanismo, los paquetes IPv6 son encapsulados en paquetes IPv4. El tráfico generado, físicamente debe pasar a través de múltiples rutas y equipos en Internet para llegar a destino. La capacidad del enlace Internet es de 10 Mbps.

4.- Metodología y Parámetros de Medición

El tipo de medición realizado para la evaluación y comparación de los protocolos es del tipo activo, intrusivo y extremo a extremo. Es decir, se inyecta un tráfico artificial a la red que puede afectar a otros que se estén cursando en el momento, entre los nodos UTFSM-REUNA. Es importante hacer notar que para la medición realizada el único tráfico cursado es el de la herramienta de medición. La excepción es el enlace de Túnel GRE, en cuyo caso existe otro tráfico, pero de orden bajo comparado con la herramienta de medición.

Respecto a la medición, se inyectó tráfico variando el tamaño de paquete desde 32 hasta 1536 bytes en incrementos de 32 bytes. Cada escenario de medición tomó un total de 14 horas, resultados que fueron corroborados por un período de 4 meses. Las herramientas utilizadas están basadas en *Iperf v1.70* [8] y *OWAMP v1.6d* [9].

Las métricas medidas fueron las siguientes: *Throughput* (TCP y UDP), *Packet Loss*, *One-Way Delay* y *Jitter*. En este documento sólo se mostrarán las métricas de *Throughput* (TCP y UDP) y *Jitter*. La primera métrica mide un monto de datos transferidos desde un nodo fuente a un nodo destino en una cantidad de tiempo específica (generalmente se mide en Mbit/s). La segunda, mide la variación del retardo y afecta principalmente a las transmisiones de audio. Para más detalle, se recomienda ver [10].

5.- Resultados Obtenidos

Se muestran a continuación, los resultados obtenidos del proceso de medición en cada uno de los enlaces.

5.1.- Enlace Red Area Local (LAN)

5.1.1.- Throughput (TCP y UDP): De la Figura 6, se observa el patrón logarítmico creciente del *Throughput* a medida que se aumenta el tamaño de paquete, para los protocolos TCP y UDP.

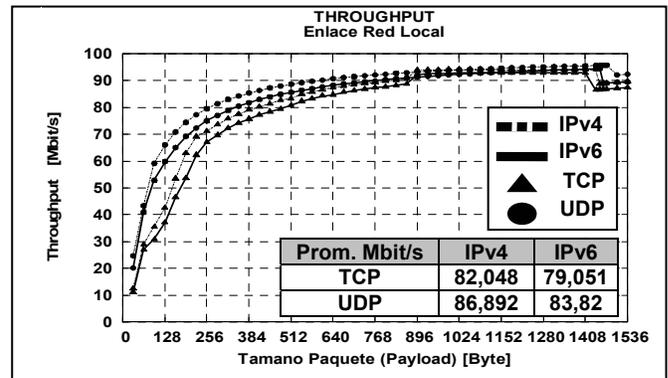


Figura 6. Throughput TCP y UDP en Enlace Red Local.

De la medición realizada, se obtiene un máximo alcanzado de 96 Mbit/s. Además, el protocolo IPv4 supera a IPv6 en un 3,66 % para UDP y un 3,79 % para TCP.

5.1.2.- Jitter: De la Figura 7, del total de paquetes generados para la medición, puede observarse que el *Jitter* tiende a concentrarse aproximadamente bajo los 0,03 [ms], con un patrón de comportamiento muy similar para ambos protocolos. De la medición se obtiene que IPv6 presenta un 0,48 % más *Jitter* que IPv4.

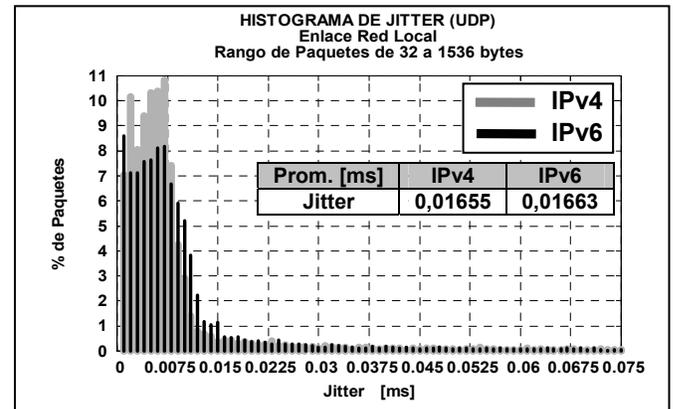


Figura 7. Histograma de Jitter en Enlace Red Local.

5.2.- Enlace Troncal de Fibra Óptica WDM

5.2.1.- Throughput (TCP y UDP): De la Figura 8, se observa el patrón creciente del *Throughput* a medida que se aumenta el tamaño de paquete, para los protocolos TCP y UDP.

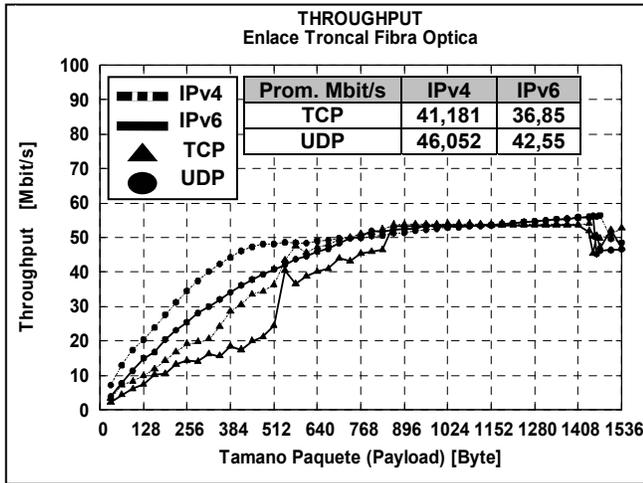


Figura 8. Throughput TCP y UDP en Enlace Troncal de Fibra Óptica.

De la medición realizada, se obtiene un máximo alcanzado de 56 Mbit/s. Este desempeño es menor que en el caso del enlace LAN, producto de la *router* utilizado (CISCO 2651XM). Además, el protocolo IPv4 supera a IPv6 en un 8,24 % para UDP y un 11,75 % para TCP.

5.2.2.- Jitter: De la Figura 9, del total de paquetes generados para la medición, puede observarse que el *Jitter* tiende a concentrarse aproximadamente bajo los 0,125 [ms], con un patrón de comportamiento muy similar para ambos protocolos. De la medición se obtiene que IPv6 presenta un 28,10 % más *Jitter* que IPv4.

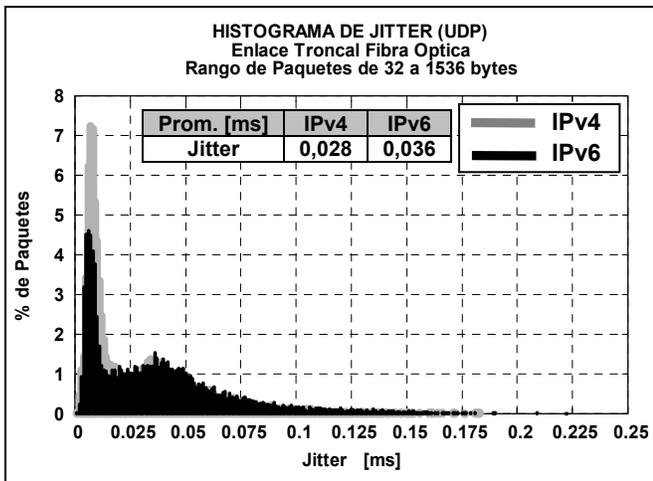


Figura 9. Histograma de Jitter en Enlace Troncal de Fibra Óptica.

5.3.- Enlace de Túnel GRE Vía Internet

5.3.1.- Throughput (TCP y UDP): De la Figura 10, se observan los distintos patrones de comportamiento que presentan los protocolos TCP y UDP. Para cada uno de éstos, puede verse que IPv4 e IPv6 presentan comportamientos similares.

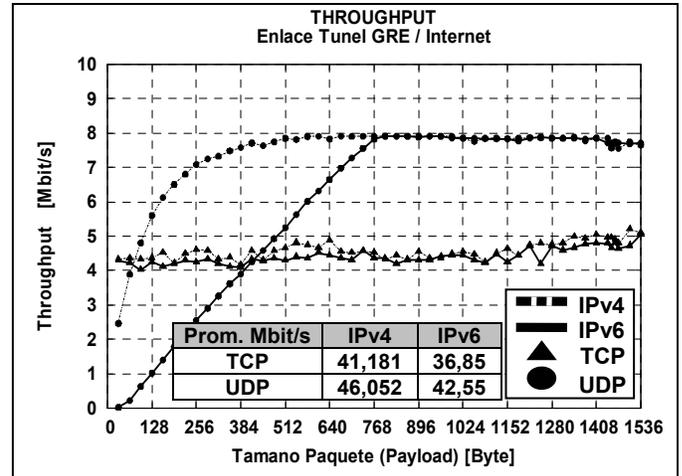


Figura 10. Throughput TCP y UDP en Enlace Túnel GRE vía Internet.

De la medición realizada, se obtiene un máximo alcanzado de 8 Mbit/s para UDP y 5 Mbit/s para TCP. Además, el protocolo IPv4 supera a IPv6 en un 26,23 % para UDP y un 4,49 % para TCP.

5.3.2.- Jitter: De la Figura 11, del total de paquetes generados para la medición, pueden observarse los distintos patrones de comportamiento que presentan ambos protocolos. Para IPv4, el *Jitter* tiende a concentrarse aproximadamente bajo los 0,3 [ms], mientras que para IPv6, el *Jitter* se concentra bajo los 0,8 [ms].

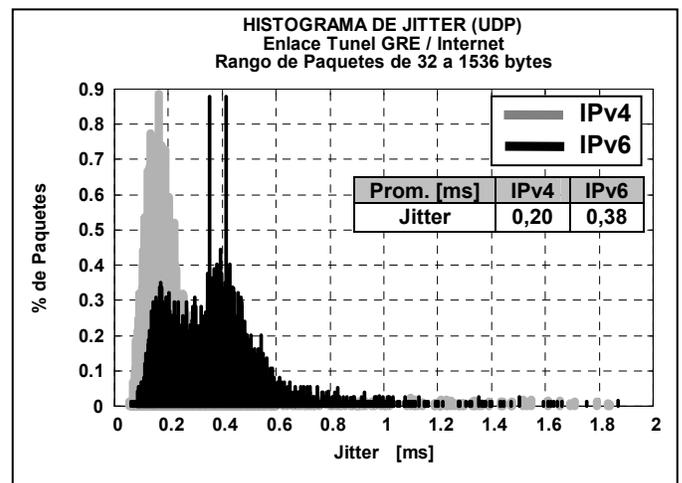


Figura 11. Histograma de Jitter en Enlace Túnel GRE vía Internet.

De la medición se obtiene que IPv6 presenta un 84,37 % más *Jitter* que IPv4.

De los resultados anteriores, podemos notar que IPv4 presenta un mejor desempeño que IPv6, con una diferencia pequeña en general.

Además, puede verse que el enlace de Red Local presenta un desempeño superior que los enlaces de fibra óptica y de túnel GRE vía Internet, por lo que valida que el instrumento y la metodología de medición son adecuadas y no constituyen un cuello de botella para los otros casos.

6.- Estadísticas de Aplicaciones Real-Time

Además de la obtención directa de las métricas de desempeño de red, se realizaron transmisiones de audio y video bajo el esquema cliente/servidor para evaluar el desempeño de IPv4 versus IPv6, a través de la obtención de estadísticas RTP (Real-Time Protocol) [11], generadas por las aplicaciones VIC (Video Conference Tool) [12] y RAT (Robust Audio Tool) [13]. De esta forma, se analiza el desempeño desde un punto de vista de Capa de Aplicación.

6.1.- Metodología para la Obtención de Estadísticas RTP

La metodología para medir estadísticas de una transmisión de video/audio conferencia se explica en el esquema de la Figura 12.

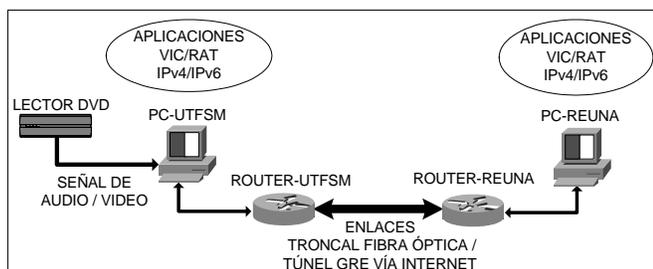


Figura 12. Esquema de medición para medir estadísticas de VIC y RAT.

En este esquema, se inyecta una señal de audio y video proveniente de un lector de DVD, en donde la señal de video va hacia una tarjeta capturadora de video, mientras que el audio es inyectado a la tarjeta de sonido del PC-UTFSM. En cada extremo del enlace se ejecutan las aplicaciones VIC y RAT con la opción `-logstats` para guardar las estadísticas en archivo. Durante la medición, las señales son codificadas y transmitidas por el PC-UTFSM hacia el PC-REUNA, el cual sólo recibe el tráfico RTP. La medición se realiza para IPv4 e IPv6 en forma separada, utilizando la misma señal de video. La Tabla 2, resume los parámetros configurados.

VIC	RAT
Tasa transmisión: 3 Mbps	Tasa transmisión: 1,536 Mbps
Cuadros/Segundo: 30 fps	Tasa Muestreo: 48 kHz
Señal video: 320x240@24 bits	Canales: 2 (Stereo)
Codificador Video: H261	Codificador Audio: Linear 16
Calidad: 1	Supresión de Silencio: OFF

Tabla 2. Parámetros configurados en VIC y RAT para la medición.

6.2.- Estadísticas RTP Obtenidas

Se muestran a continuación tres estadísticas obtenidas utilizando las herramientas VIC y RAT sobre el enlace troncal de fibra óptica: Tasa de video recibida, cuadros/segundo y Jitter.

6.2.1.- Tasa de Video (VIC): La Figura 13 muestra que fue posible alcanzar una máxima tasa de video recibido igual a la tasa ofrecida de tráfico generada, es decir 3 [Mbit/s], tanto para los protocolos IPv4 e IPv6, registrando para el primero un valor promedio de 2,208 [Mbit/s] y 2,189 [Mbit/s] para el segundo.

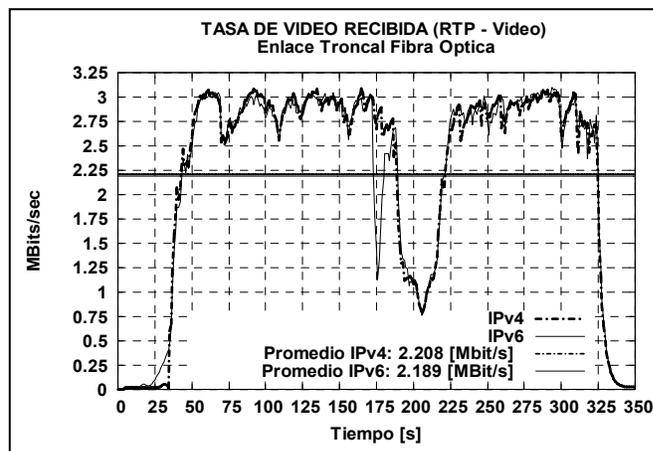


Figura 13. Estadísticas de VIC: Tasa de video recibida en Enlace Troncal de Fibra Óptica.

6.2.2.- Cuadros por Segundo (VIC): De la Figura 14, se observa un máximo alcanzado de 30 [cuadro/seg] para ambos protocolos, registrándose un valor promedio de 18,774 [cuadro/seg] para IPv4 y 18,768 [cuadro/seg] para IPv6. Puede observarse además, la relación entre la Figura 13 y la Figura 14: un mayor tráfico de video, implica una menor cantidad de cuadros por segundo y viceversa. Esto es producto del trabajo que realiza el codificador de video, el cual opera a capacidad máxima.

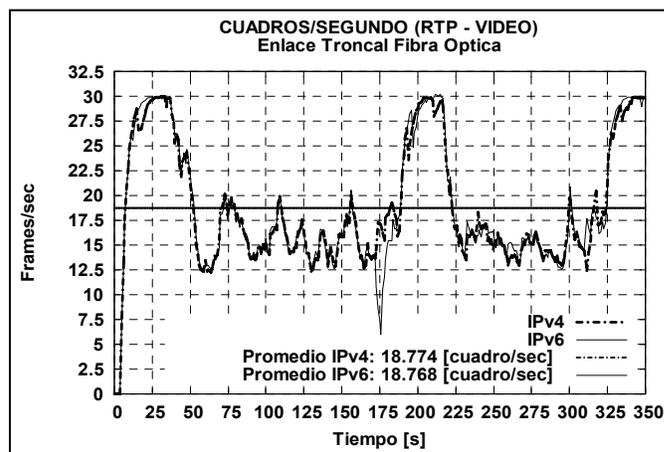


Figura 14. Estadísticas de VIC: Cuadros por Segundo en Enlace Troncal de Fibra Óptica.

6.2.3.- Jitter (RAT): De la Figura 15, se observa una leve diferencia en los promedios de Jitter obtenidos para ambos protocolos, registrándose un valor de 2,956 [ms] para IPv4 y 2,982 [ms] para IPv6.

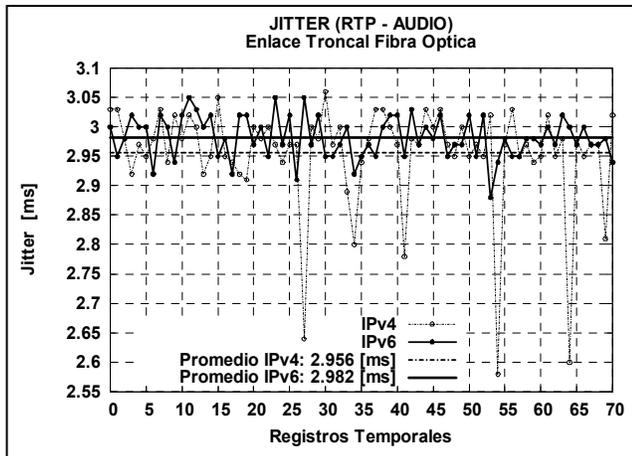


Figura 15. Estadísticas de RAT: Jitter en Enlace Troncal de Fibra Óptica.

Puede verse que el comportamiento del tráfico en IPv4 presenta más variaciones que el tráfico obtenido en IPv6. En este último puede verse una mayor estabilidad en los datos obtenidos respecto a IPv4, cuyos valores se encuentran en torno al valor promedio, experimentando una desviación estándar de 0,034 [ms], menor en comparación con el valor 0,089[ms] obtenido para IPv4.

6.- Conclusiones

De las mediciones obtenidas en esta investigación, podemos concluir que en general, IPv4 presenta un mejor desempeño que IPv6 para las métricas medidas, siendo estas diferencias en general pequeñas. En el enlace LAN, las diferencias obtenidas son mínimas, debido principalmente al tamaño del encabezado IP (el largo del encabezado IPv6 es el doble de IPv4). En el enlace Troncal de Fibra Óptica WDM, las diferencias obtenidas son muy pequeñas. Una observación interesante, es respecto del máximo *Throughput* alcanzado con el *router* utilizado (56 [Mbit/s]), que demostró ser menor que el esperado (cerca a 100 [Mbit/s]), como en el enlace LAN). Finalmente, en el enlace de túnel GRE vía Internet, podemos notar pequeñas diferencias entre ambos protocolos, siendo éstas muy notorias para tamaños de paquete bajo los 768 bytes, operando bajo UDP. Esta diferencia puede atribuirse principalmente a la interfaz GRE implementada en los *routers* para lograr la encapsulación de paquetes IP. Es importante destacar que esta interfaz es virtual y demanda un procesamiento extra en su funcionamiento, a diferencia de una interfaz Ethernet que dispone de un hardware dedicado.

Un dato importante a considerar, es que toda implementación del protocolo IPv6 en los *routers* utilizados esta implementada vía software, a diferencia del protocolo IPv4 que dispone de un hardware dedicado para la mayoría de sus operaciones de ruteo. Aún así, es importante destacar la buena implementación de IPv6 frente a IPv4, en lo que ha desempeño se refiere.

De las estadísticas obtenidas con las aplicaciones VIC y RAT, basadas en el protocolo RTP, se observa que las diferencias entre los protocolos IPv4 e IPv6 son mínimas. Podemos notar además que los valores obtenidos son mayores que los obtenidos utilizando las herramientas *Iperf* y *OWAMP*. Por ejemplo, para los valores de *Jitter* obtenidos en el enlace de Fibra Óptica, se registraron valores

promedio de 0,02808 [ms] para IPv4 y 0,03597 [ms] para IPv6. Si comparamos esta diferencia con los 2,956 [ms] para IPv4 y 2,982 [ms] para IPv6, notamos que la diferencia es enorme. Estas diferencias, pueden ser atribuidas principalmente a los siguientes puntos:

- Los protocolos RTP y RTCP son implementados como parte de la aplicación, por lo tanto hay un tiempo de procesamiento extra asociado a la ejecución de ambos. A diferencia de esto, las herramientas *Iperf* y *OWAMP* están basadas en los protocolos UDP y TCP, protocolos implementados en el núcleo (*kernel*) del Sistema Operativo.
- Tanto VIC como RAT deben codificar/decodificar y transmitir/recibir el tráfico RTP hacia el nodo respectivo. Este tiempo de procesamiento asociado dependerá del codificador y de las configuraciones específicas que se utilicen para cada caso.
- Las estadísticas están basadas de acuerdo al *Payload* RTP y no al *Payload* UDP/TCP como lo realizan las herramientas *Iperf* y *OWAMP*. El protocolo RTP añade normalmente 12 bytes de encabezado extra para cada paquete generado.

En conclusión, es importante considerar que IPv6 es un protocolo bien estructurado y construido en base a la experiencia obtenida con IPv4. A pesar de que el protocolo IPv6 está en maduración, presentando en general un menor desempeño que IPv4, esta diferencia no es significativa. Este protocolo añade nuevas características funcionales que permiten opacar este menor desempeño. Lo importante ahora es enfocarse en las nuevas capacidades y potencialidades que IPv6 provee, que permiten nuevas y mejores formas de comunicación, para así conformar la nueva base de las TICs.

7.- Referencias

- [1] Proyecto FONDEF D00I1026. <http://redesopticas.reuna.cl>
- [2] Srinivasan Seetharaman, "IP over DWDM", http://www.cse.ohio-state.edu/~jain/cis788-99/ftp/ip_dwdm/
- [3] J. Rodríguez y R. Guerra, "Evaluación Y Comparación De Los Protocolos De Internet Versión 4 (Ipv4) Y Versión 6 (Ipv6) En Una Red Experimental", Trabajo de Memoria, Agosto 2004.
- [4] RFC 2460 - Internet Protocol, Version 6 (IPv6).
- [5] RFC 2893 - Transition Mechanisms for IPv6 Hosts and Routers.
- [6] USAGI (*UniverSAl playGround for Ipv6*) - Linux IPv6 Development Project, <http://www.linux-ipv6.org>
- [7] RFC 2784 - Generic Routing Encapsulation (GRE). GRE - CISCO Systems, http://www-search.cisco.com/en/US/tech/tk827/tk369/tk287/tech_protocol_home.html
- [8] Iperf v1.70. <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>
- [9] OWAMP v1.6d. <http://e2epi.internet2.edu/owamp/download/>
- [10] IETF Internet Protocol Performance Metrics (IPPM) Working Group, <http://www.advanced.org/IPPM/>
- [11] RFC 1889. "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications". <http://www.fqs.org/rfc/rfc1889.html>
- [12] VIC: Video Conference Tool. <http://www-mice.cs.ucl.ac.uk/multimedia/software/vic/>
- [13] RAT: Robust Audio Tool. <http://www-mice.cs.ucl.ac.uk/multimedia/software/rat/>