

Análisis y Optimización del Rendimiento de Enlaces Inalámbricos de Área Extendida, utilizando Hardware Dedicado

Gustavo Santos Logroño^{a1}, Darwin Aguilar Salazar^{a2}, Román Lara Cueva^{ab3}, *Miembro, IEEE*

^a *Departamento de Eléctrica y Electrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE
Quito-Ecuador, UIO 171-5-231B*

^b *Departamento de Tecnologías de la Información y Comunicación, Universidad Rey Juan Carlos,
Fuenlabrada-Madrid, España*

E-mail: {¹gjsantos, ²dlaguilar, ³ralara}@espe.edu.ec

Resumen— El documento busca evaluar el desempeño de enlaces inalámbricos de área extendida para optimizarlo y comparar los resultados obtenidos. Para esto, se analizó las diferentes técnicas y funcionamiento de los equipos optimizadores de enlaces WAN. Posteriormente se diseñó e implementó un enlace WWAN punto a punto, en el que se configuró una solución de optimización utilizando hardware dedicado. Finalmente se realizó pruebas de rendimiento utilizando servidores de aplicación e inyección de tráfico tanto TCP como UDP, simulando un ambiente de operación real. Con los resultados obtenidos se puede concluir que la solución de optimización planteada satisface y mejora notablemente los parámetros de rendimiento del enlace WWAN tanto para transmisiones de tráfico TCP como UDP.

Palabras Clave— WWAN, optimización, WOC, PTP, TCP, UDP, QoS.

I. INTRODUCCIÓN

Las últimas tendencias en tecnologías de la información están afectando a las redes mundiales enormemente, haciendo que los usuarios reestructuren sus redes de área extendida (WAN), creando la necesidad de una solución de optimización de siguiente generación.

Durante la última década, la virtualización ha cambiado el concepto de centro de datos, mientras que el borde de la red se ha convertido en su mayor parte inalámbrica, donde priman los usuarios móviles y prácticamente no existe segmentación entre las redes internas y externas [1]. Sin embargo, lo que no ha cambiado se está estructurando las redes WAN para dar lugar al surgimiento de tecnologías de nueva generación.

La gestión del rendimiento WAN es quizás la tarea más común en la administración de red, pues la capacidad de la red WAN suele ser de menor magnitud que la red de área local (LAN). Si se desea aprovechar verdaderamente los recursos, la optimización de la red WAN es una alternativa para un cambio que permita establecer comunicaciones correctamente.

El mercado de la optimización WAN continúa evolucionando con tendencia hacia la estandarización, aunque mantiene diferencias de desempeño en la práctica. La principal innovación actual está ligada a plataformas de optimización que permitan a las redes actuales poder migrar hacia plataformas más potentes dentro de una WAN optimizada [2].

Hasta hoy, la optimización WAN ha sido manejada como una tecnología metódica, que se utiliza para acelerar el rendimiento de aplicaciones como el correo electrónico y transferencia de archivos a través de WAN privadas. Actualmente este tipo de enlaces demandan un mayor volumen de recursos, especialmente si hablamos de enlaces inalámbricos punto a punto en los que se ofrecen diversos tipos de aplicaciones, los mismos que requieren más que sólo una tecnología de aceleración, impulsando así la necesidad de una gama más amplia de técnicas de optimización WAN [3] [4] [5] [6].

Según [7], las instituciones a nivel mundial podrían ahorrar entre los años 2010 y 2020 alrededor de 20 millones de dólares si utilizaran equipos de optimización WAN para aprovechar mejor el ancho de banda disponible en lugar de aumentarlo ante cualquier indicio de sobrecarga. Estos equipos pueden ofrecer reducciones de tráfico de al menos un 60%, permitiendo así retrasar las actualizaciones de capacidad en los enlaces por un tiempo estimado de tres años [8].

En el mercado de la optimización de enlaces empiezan a perfilarse diversos enfoques debido a la rápida evolución de los equipos y técnicas utilizadas, por lo que es conveniente tener claro hacia dónde se dirigen los desarrollos en esta área y cuáles son los criterios más importantes a tener en cuenta a la hora de elegir una solución.

Los equipos de optimización WAN, son aplicables sobre prácticamente cualquier tipo de enlace, es decir, puede ser un enlace cableado o inalámbrico. Sin embargo, el presente estudio está enfocado en enlaces inalámbricos punto a punto sobre los cuales se experimenta la mayor cantidad de problemas, y que son por ende, los que generan un mayor consumo de recursos.

Existen varios fabricantes de equipos optimizadores de enlaces WAN (WOC) que combinan técnicas especiales destinadas a mejorar el consumo de los recursos de este tipo de enlaces, garantizando el rendimiento de las aplicaciones.

La optimización de enlaces inalámbricos de área extendida (WWAN) no ha sido un tema de estudio generalizado. A nivel de enlaces WWAN punto a punto, no se han encontrado estudios previos que analicen los parámetros de rendimiento y definan soluciones de optimización en enlaces de este tipo.

Sin embargo, en [9], se realiza un estudio muy similar, con la diferencia que se toma como objeto de prueba a enlaces WWAN celulares, es decir, escenarios GPRS, UMTS, CDMA 1x y CDMA 2000. También en [10], se encuentra un informe sobre las herramientas, técnicas y equipos de optimización WAN para analítica de datos basado en la nube.

Otros estudios encontrados realizan comparativas entre diferentes equipos optimizadores de enlaces WAN para cuantificar los beneficios que presenta uno sobre otro aplicándolos en un enlace WAN no definido o bien simulando el escenario de trabajo, como en [11] o [12].

Existe poca referencia de consulta acerca del funcionamiento de los equipos WOC en enlaces WWAN punto a punto, por lo que se puede considerar el presente trabajo de investigación como referencia para futuros estudios sobre optimización de enlaces de este tipo.

Para esto se diseñó e implementó una solución de optimización sobre un enlace WWAN punto a punto en el que se realizaron pruebas y mediciones que permitieron determinar los resultados del proyecto. El enlace fue establecido de acuerdo a un escenario modelo que permitió garantizar el correcto funcionamiento de la solución de optimización.

El documento está organizado de la siguiente forma: en la sección II se describen los materiales y métodos utilizados para la realización de este proyecto, la sección III describe la planificación e implementación del enlace, la sección IV muestra los resultados obtenidos, en la sección V se realiza el análisis de los resultados y la configuración de la solución de optimización propuesta para el enlace WWAN, finalmente en la sección VI se exponen las conclusiones y recomendaciones para el presente proyecto.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados se eligieron en base a las características del enlace WWAN propuesto. Se consideraron parámetros importantes como la distancia del enlace, el tipo y altura de las antenas, potencia de transmisión y sensibilidad de recepción, temperatura, humedad y posibles obstáculos existentes en el sitio de implementación de la red.

La metodología utilizada en este proyecto se divide en tres etapas generales. La primera etapa consiste en el análisis de los dispositivos WOC, su funcionamiento y técnicas de optimización WAN existentes. En la segunda etapa se realizó la planificación y cálculos necesarios previo al establecimiento del enlace, para esto se propusieron dos métodos de propagación en función de los parámetros de operación, al final se efectuó un estudio de campo para verificar todos estos parámetros. Finalmente la tercera etapa consiste en el análisis de los resultados obtenidos, la comparación de los parámetros de desempeño del enlace antes y después de aplicar la solución de optimización.

El estudio de planificación del enlace WWAN se realizó utilizando software específico de los equipos de radio utilizados llamado LinkCalc que permite asegurar la confiabilidad de los datos calculados, facilitando la planificación y utilizando algoritmos de cálculo basados en las características específicas

de los equipos. Estos equipos son los radios APC Mach 5 de Deliberant, y fueron utilizados debido a que operan en la banda de frecuencias de 5.8 GHz y ofrecen conexiones a grandes distancias sin pérdida de datos o retardo en las transmisiones. Además incluyen características como diversidad de frecuencia, OFDM, y antenas integradas con tecnología MIMO.

Para las pruebas realizadas se implementó varios servidores de aplicación como VoIP, FTP, streaming multimedia y escritorio remoto y video conferencia. Estos servidores permiten generar peticiones desde varios clientes para simular un ambiente real de operación del enlace.

Adicionalmente, se realizaron pruebas de inyección de tráfico utilizando el software Distributed Internet Traffic Generator (D-ITG). D-ITG es un software de tipo cliente - servidor, que permite generar diferentes tipos de tráfico para evaluar el desempeño de un enlace; este tráfico puede estar basado en protocolos de transporte o aplicación. La principal característica de D-ITG es que permite obtener los valores de los cuatro principales parámetros de rendimiento, estos son el bitrate, jitter, delay y packet loss. Se inyectó tráfico utilizando los dos protocolos de transporte, TCP y UDP, durante un tiempo de 300 segundos en el enlace WWAN sin optimización y con la solución de optimización implementada, para comparar los resultados y determinar las ventajas de la optimización realizada.

Además, los equipos WOC utilizados poseen un software de administración y monitoreo que permite obtener gráficas del rendimiento del enlace. Estas gráficas también son utilizadas para comprobar las ventajas de la solución de optimización implementada para el enlace WWAN.

III. PLANIFICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN

Dentro del proceso de diseño del enlace se consideraron varias etapas que permitieron conocer las necesidades y equipamiento existente previo a la implementación en sitio, y luego permitió verificar el correcto funcionamiento y realizar todas las pruebas necesarias. Este procedimiento se lo realizó cuidadosamente para obtener una buena planificación y posterior ejecución.

Se realizó un estudio de campo en los sitios de trabajo, el cual permitió realizar un checklist sobre las necesidades y requerimientos en sitio, previo a la instalación de los equipos para garantizar su correcto funcionamiento. Gracias al estudio de campo se pudo determinar las características propias de cada sitio, lo que permitió seleccionar la ubicación geográfica más apropiada para el establecimiento del enlace. Se realizaron varias visitas a los sitios mencionados, en las que se verificó la idoneidad de los mismos como parte de la planificación del enlace.

Para la implementación del enlace WWAN, se eligieron 2 sitios dentro de la ciudad de Quito, donde se cuenta con todas las facilidades para la instalación de los equipos externos (antenas y ODU), así como el espacio y equipamiento necesario para el funcionamiento de los equipos internos (IDU, WOC, servidores/clientes). Ambos sitios se encuentran distanciados geográficamente y en línea recta aproximadamente a 7 km.

La planificación de red comprendió un conjunto de actividades cuyo objetivo fue conseguir los mejores criterios sobre las instalaciones y servicios de comunicaciones con los que se trabajó. Partiendo de una situación inicial, se determinaron las alternativas tecnológicas en función de los objetivos marcados, dentro de un marco económico real y en base a proyectos concretos.

El estudio de planificación realizado en LinkCalc, permitió determinar posibles obstáculos en el perfil topográfico del terreno que afecten al enlace propuesto. Se analizaron los valores generados por pérdidas de propagación, niveles de potencia de transmisión y recepción, potencia de la señal recibida, parámetros de modulación, entre otros. También se realizó un análisis de las zonas de Fresnel del enlace propuesto para determinar la existencia de comunicación de extremo a extremo.

La topología de red propuesta se muestra en la figura 1. En el esquema mostrado, se pueden observar una LAN de servidores ubicada en el sitio A y una LAN de clientes en el sitio B, el enlace WWAN establecido entre los dos sitios y los equipos tanto de radio como de optimización utilizados.

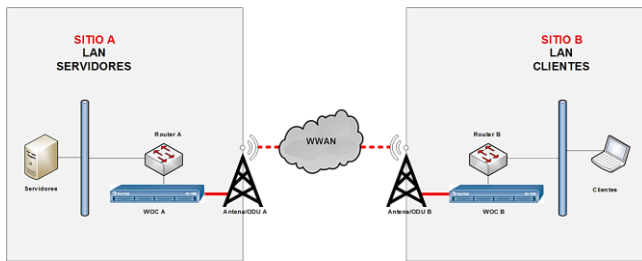


Fig. 1. Topología de red.

Luego de la planificación y simulación de la red realizadas, se determinó la factibilidad del enlace WWAN propuesto, con la existencia de línea de vista directa entre los dos sitios, con las zonas de Fresnel despejadas y libre de obstáculos que afecten la comunicación.

La solución de optimización planteada para el enlace WWAN incluye la configuración de un túnel virtual entre los dispositivos WOC en cada extremo del enlace, todo el tráfico generado utilizará este túnel como vía de transmisión dentro del enlace. Los parámetros de configuración del túnel virtual se muestran en la tabla I.

TABLA I
TÚNEL VIRTUAL

	WOC A / WOC B
Auto descubrimiento de MTU	Activado
Ancho de banda automático	Activado
Ancho de banda mínimo	32 Kbps
Modo	gre
Tiempo de reordenamiento	100 ms
IPSec Key	Desactivado
FEC	Activado 1:10

Además, se configuraron tres políticas en cada WOC: política de enrutamiento, política de QoS y política de optimización. Los parámetros de configuración de cada política se muestran en las tablas II, III y IV respectivamente.

TABLA II
POLÍTICA DE ENRUTAMIENTO

	WOC A	WOC B
Prioridad	10	10
Protocolo	IP	IP
Subred origen	172.16.0.0/16	192.168.1.0/24
Subred destino	192.168.1.0/24	172.16.0.0/16
Aplicación	Cualquiera	Cualquiera
DSCP	be	be
Túnel	Optimización	Optimización

Tabla III
POLÍTICA DE QoS

	Regla1	Regla2	Regla3	Regla4	Regla5
Prioridad	10	20	30	40	50
Protocolo	IP	IP	IP	IP	IP
Aplicación	SIP	FTP	MS Terminal Cervices	HTTP	Video UDP
DSCP	ef.	af11	af21	af31	be
Clase de tráfico	1	2	4	3	5
LAN QoS	trust- LAN	af11	af21	af31	be
WAN QoS	trust- LAN	af11	af21	af31	be

Tabla IV
POLÍTICA DE OPTIMIZACIÓN

	Valor
Prioridad	10
Protocolo	IP
Subred origen	192.168.1.0/24
Subred destino	172.16.0.0/16
Aplicación	Cualquiera
DSCP	be
Memoria de red	Balanceado
Compresión	Activada
Aceleración TCP	Activada
Aceleración por protocolo	Desactivada

La configuración de la técnica de aceleración TCP se muestra completa en la tabla V.

TABLA V
TÚNEL VIRTUAL

	WOC A / WOC B
Ajuste de MMS al MTU del túnel	Activado
Preservar límites de paquete	Activado
Propagar opciones SYN	Activado
Anulación de política de enrutamiento	Activado
Auto reset de flujos	Desactivado
Escala de la ventana WAN	8
Defensa contra LAN lenta	9
Control de congestión WAN	Optimizado
Buffer máximo WAN - LAN	64000 KB
Buffer máximo LAN - WAN	64000 KB

IV. RESULTADOS

Una vez implementado el enlace WWAN y configurada la solución de optimización, se procedió a realizar las pruebas con los servidores de aplicación e inyección de tráfico a fin de evaluar el rendimiento del enlace antes y después de aplicar la optimización WAN. Las pruebas de inyección de tráfico se dividen en dos grupos: inyección de tráfico TCP e inyección de tráfico UDP. En la inyección de tráfico TCP se determinó que el parámetro de packet loss es igual a 0 debido a que TCP es un protocolo orientado a la conexión, por lo que si un paquete se

pierde es retransmitido hasta que se reciba satisfactoriamente. Para la inyección de tráfico UDP, el parámetro de delay tiende a ser 0 en todos los casos, debido a que UDP no garantiza la entrega de los paquetes y si alguno se pierde no lo retransmite, por eso el tiempo de entrega de los paquetes es más rápido y prácticamente no existen retardos.

A. Monitorización de flujos

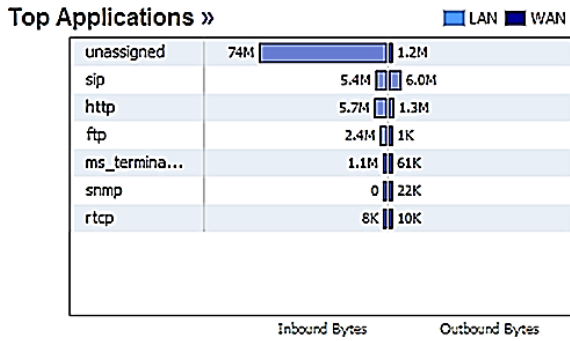


Fig. 2. Monitorización de flujos.

B. Ancho de banda no optimizado

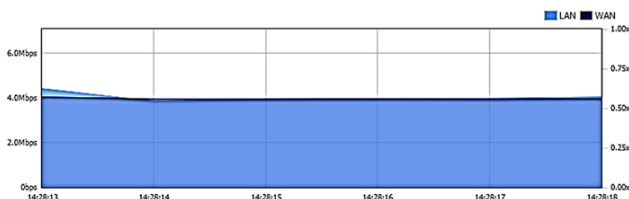


Fig. 3. Ancho de banda no optimizado.

C. Ancho de banda optimizado

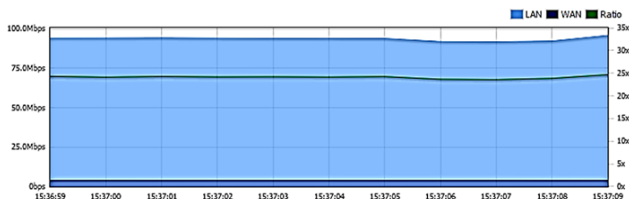


Fig. 4. Ancho de banda optimizado.

D. Bitrate TCP @ 200 Mbps

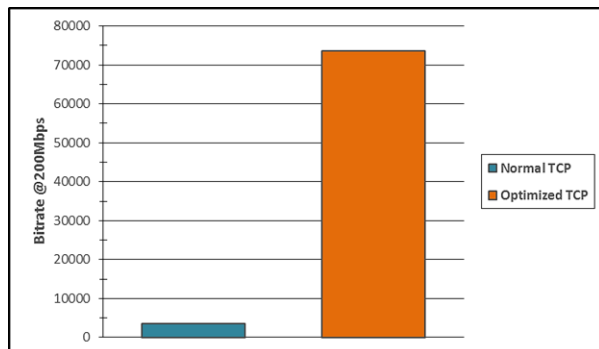


Fig. 5. Bitrate TCP @ 200 Mbps.

Tabla VI
BITRATE TCP @ 200 Mbps

	Bitrate [Kbps]	Mejora [%]
TCP Normal	3532.588	1981.59
TCP Optimizado	73533.960	

Tabla VII
LAN/WAN BITRATE TCP @ 200 Mbps.

	TCP Normal	TCP Optimizado
Bitrate LAN [Mbps]	3.78	94.95
LAN Improvement [%]		2411.90
Bitrate WAN [Mbps]	3.71	3.89
WAN Improvement [%]		4.85

E. Bitrate TCP @ 100 Mbps

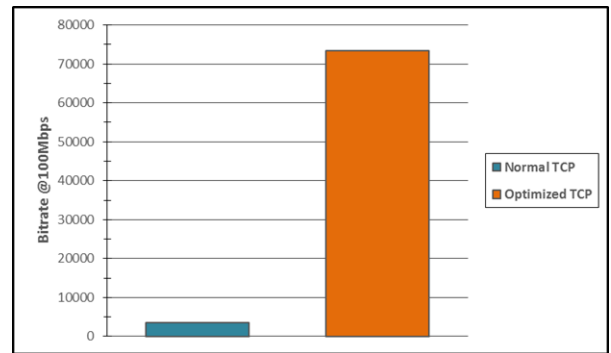


Fig. 6. Bitrate TCP @ 100 Mbps.

Tabla VIII
BITRATE TCP @ 100 Mbps

	Bitrate [Kbps]	Mejora [%]
TCP Normal	3468.390	2018.53
TCP Optimizado	73478.844	

F. Jitter TCP @ 100 Mbps

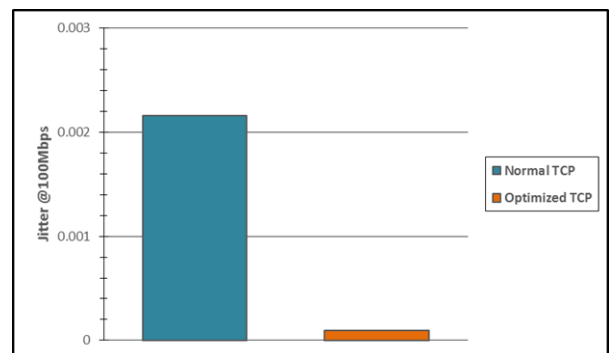


Fig. 7. Jitter TCP @ 100 Mbps.

Tabla IX
JITTER TCP @ 100 Mbps

	Jitter [s]	Mejora [%]
TCP Normal	0.002158	95.60
TCP Optimizado	0.000095	

G. Delay TCP @ 100 Mbps

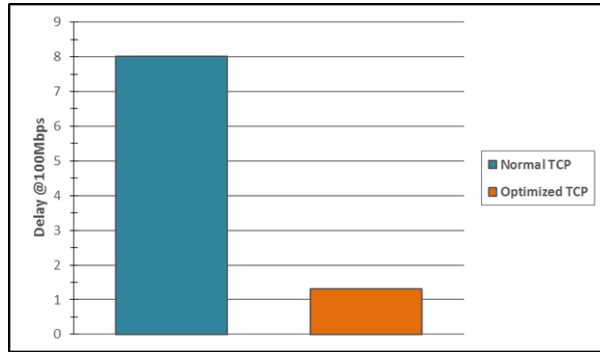


Fig. 8. Delay TCP @ 100 Mbps.

Tabla X
DELAY TCP @ 100 Mbps

	Delay [s]	Mejora [%]
TCP Normal	8.013391	83.74
TCP Optimizado	1.302951	

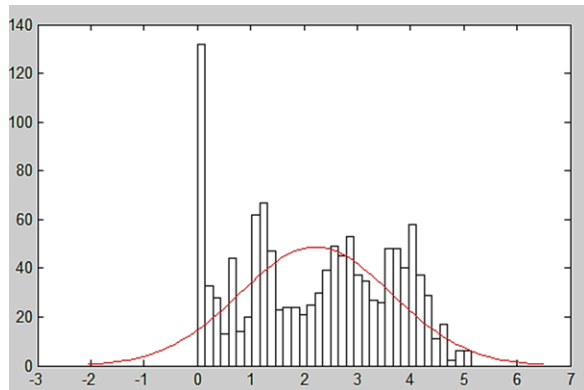


Fig. 9. Histograma y función de probabilidad.

Tabla XI
ERROR PORCENTUAL DELAY

	Error %
TCP Normal	2.6
TCP Optimizado	8.4

H. Bitrate UDP @ 200 Mbps

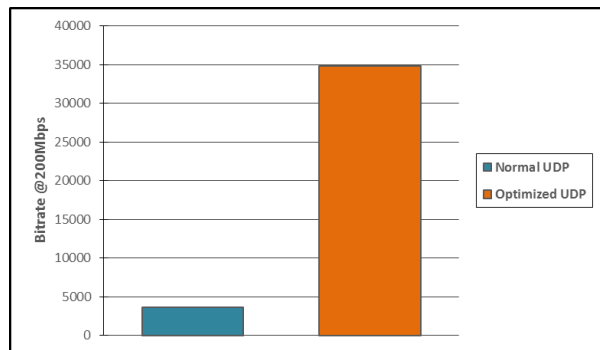


Fig. 10. Bitrate UDP @ 200 Mbps.

Tabla XII
BITRATE UDP @ 200 Mbps

	Bitrate [Kbps]	Mejora [%]
TCP Normal	3671.532109	849.21
TCP Optimizado	34850.54852	

Tabla XIII
LAN/WAN BITRATE UDP @ 200 Mbps.

	TCP Normal	TCP Optimizado
Bitrate LAN [Mbps]	93.58	93.52
LAN Improvement [%]		0.06
Bitrate WAN [Mbps]	3.88	3.87
WAN Improvement [%]		0.26

I. Bitrate UDP @ 100 Mbps

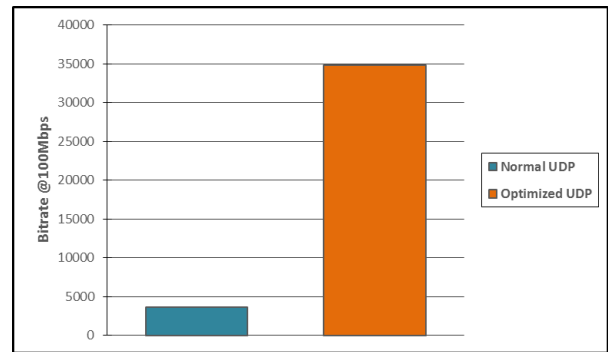


Fig. 10. Bitrate UDP @ 100 Mbps.

Tabla XIV
BITRATE UDP @ 100 Mbps

	Bitrate [Kbps]	Mejora [%]
TCP Normal	3671.570945	849.72
TCP Optimizado	34869.71891	

J. Bitrate UDP @ 3.8 Mbps

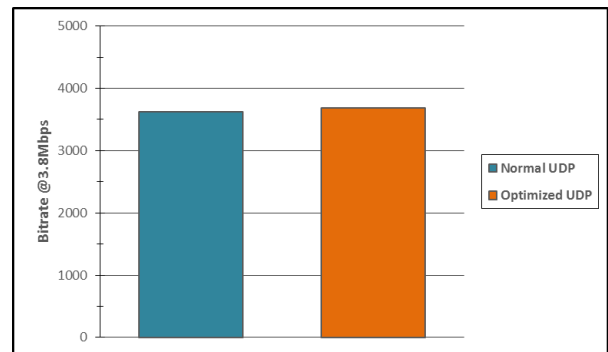


Fig. 11. Bitrate UDP @ 3.8 Mbps.

Tabla XV
BITRATE UDP @ 3.8 Mbps

	Bitrate [Kbps]	Mejora [%]
TCP Normal	3623.346997	1.74
TCP Optimizado	3686.52968	

K. Jitter UDP @ 100 Mbps

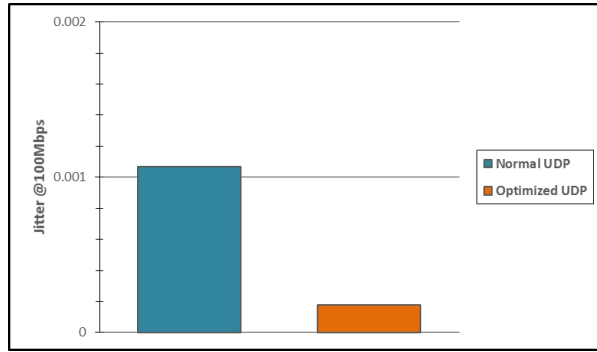


Fig. 12. Jitter UDP @ 100 Mbps.

Tabla XVI
JITTER UDP @ 100 Mbps

	Jitter [s]	Mejora [%]
TCP Normal	0.001069	83.54
TCP Optimizado	0.000176	

L. Packet loss UDP @ 100 Mbps

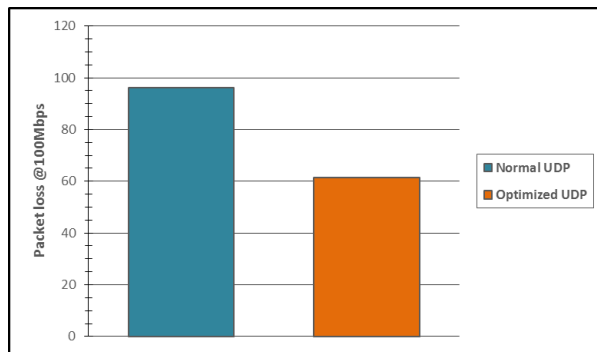


Fig. 13. Packet loss UDP @ 100 Mbps.

Tabla XVII
PACKET LOSS UDP @ 100 Mbps

	Paquetes	Mejora [%]
TCP Normal	96.02	36.18
TCP Optimizado	61.28	

M. Packet loss UDP @ 3.8 Mbps

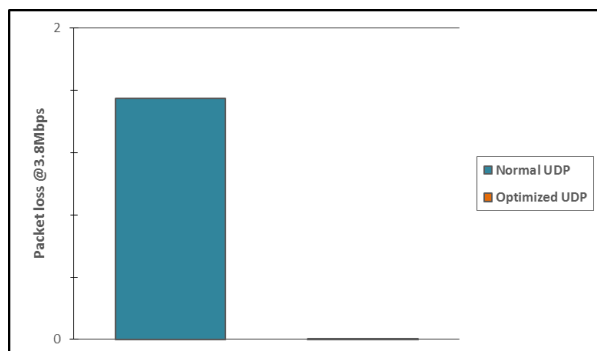


Fig. 14. Packet loss UDP @ 100 Mbps.

Tabla XVIII
PACKET LOSS UDP @ 3.8 Mbps

	Paquetes	Mejora [%]
TCP Normal	1.55	100.00
TCP Optimizado	0.00001	

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los parámetros que se analizaron para evaluar el rendimiento del enlace WWAN son: bitrate, jitter, delay y packet loss. Además se calculó el rendimiento del enlace en base a los resultados obtenidos.

A. Bitrate

Para determinar la capacidad máxima del enlace WWAN, se realizó una primera inyección de tráfico a 200 Mbps tanto con tráfico UDP como con tráfico TCP con la finalidad de saturar el enlace y capturar su valor máximo. Según las figuras 5 y 10 y tablas VI, VII, XII y XIII, el enlace tiene una capacidad máxima sin optimizar de aproximadamente 3.8 Mbps. Sin embargo, al aplicar las técnicas de optimización planteadas, existe una mejora de hasta 20 veces la capacidad del enlace, es decir, entre 75 y 95 Mbps. Esto se debe a que los dispositivos WOC liberan el espacio físico del enlace al transmitir solamente la información necesaria, dejando libre el canal para transmisiones nuevas. Se puede concluir entonces que la capacidad máxima del enlace WWAN es de 3.8 Mbps.

Luego se realizó la misma inyección de tráfico pero con 100 Mbps de tráfico TCP y UDP. En éstas pruebas, como indican las figuras 6 y 10 y las tablas VIII y XIV, se llega a obtener después de la optimización aproximadamente 73 Mbps en transmisiones TCP y 35 Mbps en transmisiones UDP. Con estos datos se concluye que para cualquier transmisión de datos, se obtiene un incremento considerable en el throughput del enlace, debido a las técnicas de optimización implementadas como memoria e integridad de red.

Finalmente, se realizó una inyección de tráfico UDP a 3.8 Mbps, el límite del enlace sin optimizar para transmisiones TCP. Ésta prueba tuvo la finalidad de encontrar el valor de throughput máximo del enlace en transmisiones UDP sin que exista pérdida de paquetes. El análisis de éstos resultados se muestra en la parte E de ésta sección.

B. Rendimiento del enlace

El rendimiento de un enlace es la cantidad máxima de datos que puede transmitir sin errores. Está en función de la velocidad máxima de transferencia y la latencia del enlace, teniendo en cuenta su capacidad máxima y modulación utilizada. El bitrate es inferior al ancho de banda en enlaces inalámbricos, por lo que mediante el cálculo del throughput se puede determinar la eficiencia del enlace. Para calcular el throughput se debe tomar en cuenta la tecnología de transmisión utilizada y la distancia entre los extremos. En transmisiones inalámbricas se recomienda un rendimiento entre el 30% y 60%, para garantizar la calidad del enlace. El throughput teórico lo entrega el

fabricante de los equipos de radio frecuencia según el tipo de modulación escogida. En este caso, se indica que al utilizar modulación BPSK $\frac{1}{2}$, se obtiene un throughput máximo de 6 Mbps. De acuerdo a la conclusión en el análisis del bitrate, el throughput real del enlace es de 3.8 Mbps, por lo que la eficiencia del enlace se calculó de la siguiente forma:

$$\eta_w = \frac{\text{Throughput real}}{\text{Throughput teórico}} \times 100\%$$

$$\eta_w = \frac{3.8[\text{Mbps}]}{6.0[\text{Mbps}]} \times 100\% = 63.33\%$$

Sin embargo, es necesario calcular también el rendimiento con respecto a los equipos físicos. Para esto, se toma como dato el valor máximo de optimización de los equipos WOC, es decir 4 Mbps, de acuerdo a lo indicado en la hoja de especificaciones de los equipos NX-1700 adjunto en los anexos del documento, y se calcula de la siguiente forma:

$$\eta_f = \frac{\text{Throughput máximo}}{\text{Throughput teórico}} \times 100\%$$

$$\eta_w = \frac{4.0[\text{Mbps}]}{6.0[\text{Mbps}]} \times 100\% = 66.67\%$$

Como el valor calculado del rendimiento del enlace supera los límites establecidos para enlaces inalámbricos, se concluye que el enlace tiene un rendimiento bueno en términos de confiabilidad, cobertura y disponibilidad, garantizando la transmisión de los datos a nivel inalámbrico. Del segundo cálculo se puede concluir que existe un rendimiento del 66.67% con respecto a la capacidad máxima de optimización de los equipos, es decir se tiene un 33.33% del enlace que no se estaría optimizando debido a las limitaciones de capacidad de los dispositivos WOC.

C. Jitter

El jitter indica la cantidad de latencia del enlace, es decir, el tiempo con el que llega cada paquete al receptor. El jitter de un enlace depende mucho de las desviaciones en la exactitud de la señal de reloj entre el transmisor y el receptor. Cuando el jitter indica valores bajos su comportamiento es despreciable y no afecta a las condiciones de operación del enlace, caso contrario, si los valores de jitter son altos, este parámetro puede afectar a la calidad de servicio del enlace pues altera la recepción normal de los paquetes. En las figuras 7 y 12, y en las tablas IX y XVI, se observa el comportamiento del jitter del enlace para transmisiones TCP y UDP a 100 Mbps respectivamente. Con TCP, el jitter del enlace WWAN es de 0.002158 segundos sin aplicar optimización, y de 0.000095 segundos con optimización. Para la transmisión UDP, se tuvo un valor de 0.001069 segundos antes de optimizar y 0.000176 segundos después de la optimización. Con estos datos, se puede concluir que las técnicas de optimización empleadas, especialmente las de optimización de latencia, permiten reducir el jitter en

cualquier transmisión de datos. Esta reducción llega a niveles de hasta el 95%.

Debido a que los relojes se sincronizaron correctamente al momento de realizar las pruebas de inyección de tráfico, no existen valores altos de jitter en el enlace, es por esto que se recomienda siempre revisar la sincronización de los equipos en el enlace antes de realizar cualquier prueba de rendimiento.

D. Delay

El delay o retardo del enlace es el tiempo que tarda un paquete en viajar desde el transmisor hacia el receptor de la red. Es la suma de todos los retardos que experimenta el paquete desde que se generó hasta que se recibió, incluyendo los tiempos de transporte en la red, tiempos de retardo por procesamiento de equipos, etc. Permite conocer el tiempo "round-trip" que tardan los paquetes de la red en completar su transmisión.

Debido a que este parámetro mide tiempos de retardo al igual que el jitter, es importante mantener la misma sincronización de relojes en los equipos para evitar obtener datos erróneos. Además, los valores obtenidos con D-ITG se compararon con el cálculo de los mismos utilizando Matlab para verificar resultados.

En la figura 8 y tabla X, se puede observar el delay del enlace WWAN al inyectar 100 Mbps de tráfico TCP. El valor del delay sin optimización en el enlace es de 8.013 segundos, mientras que aplicando la solución de optimización, el delay se reduce a 1.303 segundos. Aquí también actúan las técnicas de optimización de latencia empleadas en la solución propuesta. Estas técnicas permiten reducir el retardo existente en la transmisión que inicialmente presenta un valor alto debido a las interferencias de frecuencia y pérdidas propias del enlace, sin embargo, cuando se encuentran operativas en el enlace, se logra reducir en un 80%. Debido a la buena sincronización de los relojes, los valores de delay del enlace son aceptables teniendo en cuenta el procesamiento necesario y la distancia del enlace WWAN.

Para analizar los valores de delay del enlace WWAN, se utilizó como dato la desviación estándar que entrega D-ITG. Esta desviación es un promedio de las desviaciones individuales de un conjunto de datos y permite cuantificar el grado de dispersión o variabilidad. Para el delay, mientras mayor sea la desviación estándar, mayor será el retardo del enlace. Para comprobar el valor obtenido de delay del enlace WWAN, se calculó el histograma de la distribución de probabilidad de los valores capturados en la inyección de tráfico utilizando Matlab, como se indica en la figura 9. Éste histograma genera una curva que representa la función de densidad de probabilidad que define el posible comportamiento de un vector de datos, en este caso el vector delay. De acuerdo a la tabla XI, los valores calculados por Matlab según la función de probabilidad del histograma son prácticamente iguales al valor generado por D-ITG. Entonces se calcula el error porcentual existente y se indica en la tabla XI.

E. Packet loss

Las comunicaciones en tiempo real están basadas en el protocolo UDP. Este protocolo no está orientado a la conexión y si se produce una pérdida de paquetes éstos no se reenvían, es decir, no existe garantía en la transmisión de los datos. Para evitar la pérdida de paquetes se debería transmitir solamente la información útil sin que haya sobrecarga de información que si se pierde pueda afectar a la comunicación.

Como se puede observar en la figura 13 y en la tabla XVII, al realizar una inyección de tráfico UDP de 100 Mbps, se obtiene una pérdida de alrededor de 96 paquetes cuando el enlace no está optimizado, pero al optimizarse esa cifra se reduce a 61 paquetes, es decir, existe una reducción de aproximadamente el 36% en paquetes perdidos al transmitir datos UDP.

Al realizar la misma prueba con inyección UDP de 3.8 Mbps, como se observa en la figura 14 y tabla XVIII, la pérdida es prácticamente nula, es decir, a 3.8 Mbps el enlace no pierde paquetes en transmisiones UDP. Si a esto se le suma la optimización del enlace, se consigue una tasa de 0 % paquetes perdidos. Se concluye entonces también que para transmisiones UDP, la optimización del enlace WWAN permite reducir y hasta eliminar la pérdida de paquetes en la transmisión, debido al uso de técnicas de memoria e integridad de red. Éstas técnicas permiten reconstruir la información original si existe pérdida de paquetes aislados. Al liberar la capacidad del enlace, se evita congestiones y por ende pérdidas en las transmisiones, convirtiendo al enlace WWAN en un canal confiable para envíos de datos UDP en tiempo real.

VI. DISCUSIÓN

Para la implementación del enlace WWAN utilizado, fue necesario realizar un estudio previo del funcionamiento y teoría de operaciones de los dispositivos WOC, así como también de las técnicas de optimización existentes que se pueden emplear en la optimización de un enlace de este tipo. Esto permitió determinar una correcta solución de optimización para el enlace teniendo en cuenta sus parámetros de desempeño.

Se pudo concluir que existen dos diferentes rendimientos del enlace a tener en cuenta, el primero es el rendimiento del enlace WWAN con respecto a su capacidad y el segundo el rendimiento del enlace WWAN con respecto a los equipos físicos. De acuerdo a la configuración de los equipos de radio frecuencia utilizados, y utilizando las directrices obtenidas en la planificación realizada, se obtuvo un rendimiento del 63.33% con respecto a la capacidad inalámbrica del enlace y un 66.67% con respecto a los equipos físicos, por lo que se determinó que existe un 33.33% de la capacidad inalámbrica del enlace que no se puede optimizar debido a esta limitación en la capacidad de los equipos físicos. Sin embargo, los valores de rendimiento obtenidos son aceptables para un enlace de este tipo, garantizando así la confiabilidad, disponibilidad y optimización del enlace WWAN.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir que al utilizar la solución de optimización y QoS propuesta, se logra

obtener un rendimiento óptimo de los recursos del enlace, permitiendo aprovechar completamente el ancho de banda en transmisiones TCP y mejorando la transmisión de datos UDP, reduciendo los paquetes perdidos. Además, se logra reducir considerablemente los retardos inherentes del enlace para cualquier tipo de transmisión.

Al evaluar el desempeño del enlace antes y después de aplicar la solución de optimización propuesta, se concluye que sin optimización, el enlace tiene una capacidad máxima de aproximadamente 4 Mbps tanto LAN como WAN, lo que está condicionado también por la capacidad máxima de optimización de los dispositivos WOC, sin embargo, al aplicar las técnicas de optimización y QoS, el enlace puede alcanzar una capacidad máxima de 100 Mbps a nivel LAN utilizando 4 Mbps a nivel WAN, es decir la capacidad completa del enlace.

REFERENCIAS

- [1] Kerravala, Z. (2012). Las nuevas tendencias TI exigen optimizaciones WAN de próxima generación.
- [2] Packeteer. (2005). The four Essentials of WAN Optimization. Cupertino: Packeteer.
- [3] C. Parsa and JJ Garcia-Luna-Aceves. Tulip: A link-level protocol for improving tcp over wireless links. In Proc. of IEEE WCNC, 1999.
- [4] R. Chakravorty, S. Katti, I. Pratt, and J. Crowcroft. Flow aggregation for enhanced tcp over wide-area wireless. In Proc. of IEEE INFOCOM, 2003.
- [5] R. Yavatkar and N. Bhagwat. Improving end-to-end performance of tcp over mobile internetworks (mtcp). In Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, 1994.
- [6] M. Johanson A. Communications. Adaptive Forward Error Correction for Real-Time Internet Video.
- [7] Pultz, J. E. (2011). Ten Key Actions to Reduce IT Infrastructure and Operations Costs. Gartner.
- [8] CIO Solutions. (2014). SilverPeak Optimizing Nimble Storage Replication – Real World Results from a Private Cloud Environment.
- [9] Chakravorty, R., Banerjee, S., Rodriguez, P., Chesterfield, J., & Pratt, I. (2004). Performance Optimizations for Wireless Wide-Area Networks: Comparative Study and Experimental Evaluation. Wisconsin: University of Wisconsin.
- [10] Nirmala, M. B. (2014). WAN Optimization Tools, Techniques and Research Issues for Cloud-based Big Data Analytics. World Congress on Computing and Communication Technologies.
- [11] Suárez Armijos, J. (2012). Estudio de las características, funcionamiento, ventajas y técnicas utilizadas en los optimizadores WAN. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- [12] Broadband-Testing. (2011). WAN Optimization Test. Andorra: Broadband-Testing.

Gustavo Santos Logroño



Nació en Quito, Ecuador el 29 de diciembre de 1988. Sus estudios primarios y secundarios los realizó en la Unidad Educativa Julio Maria Matovelle de la ciudad de Quito, obteniendo el título de Bachiller en Ciencias en la especialidad de Físico Matemático. Egresado de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. Entre sus áreas de interés están las comunicaciones inalámbricas, redes WAN inalámbricas, análisis y optimización de enlaces. Realizó su proyecto de grado sobre este tema, para obtener el título de ingeniería en el 2014.