

Evaluación del Desempeño del Protocolo TCP para un Enlace Inalámbrico de Larga Distancia Inter-Isas en la Región Insular

Acosta Mishel, Sandoval Javier, Lara Román y Olmedo Gonzalo
{amacosta, vjsandoval, ralara, golmedo}@espe.edu.ec
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

Resumen— El documento busca evaluar el desempeño del nuevo algoritmo del protocolo TCP para un enlace inalámbrico de larga distancia inter-islas en la Región Insular. Con este fin se partió de un estudio de diferentes estándares y equipos para la realización de este proyecto. Se analizó el protocolo TCP y sus modificaciones para ambientes inalámbricos. Finalmente, se implementó la red y se procedió a inyectar tráfico para evaluar el desempeño del protocolo TCP. Con los resultados obtenidos se concluye que el protocolo TCP modificado con una ventana de congestión de 15 es más adecuado, sin embargo, se observó la necesidad de optimizar el mecanismo de detección del tipo de error para mejorar el desempeño de TCP inalámbrico mediante un diseño inter capas. Con este fin, se modeló matemáticamente el valor del RTT que se debería utilizar para calcular el RTO adecuado.

Índice de Términos— *ACK Time Out, NACK, RTO, RTT, TCP inalámbrico, WiLD.*

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas inalámbricos se han convertido en el segmento de mayor crecimiento en las telecomunicaciones, debido a las ventajas sobre los sistemas cableados tales como menores tiempos para la instalación de redes, menores costos de infraestructura y mantenimiento, a la vez de mayor rapidez en el retorno de la inversión. A pesar de todas estas ventajas, los enlaces inalámbricos, a diferencia de los enlaces cableados, tienen mayores dificultades en términos de ser menos fiables, variantes en el tiempo, problemas de desvanecimiento, movilidad, ancho de banda limitado y grandes tiempos de propagación. Por este motivo y en virtud de la necesidad de transmisión de datos, surge el requerimiento de modificar el

protocolo TCP [1]. El protocolo TCP es orientado a la conexión, y nació en base a supuestos que se cumplen en redes cableadas en donde la probabilidad de error de bit (BER) es insignificante, y la congestión es la principal causa de pérdida de paquetes, a diferencia de los enlaces inalámbricos que están sujetos a una mayor probabilidad de error de transmisión. Aunque TCP puede retransmitir los paquetes perdidos por problemas de conexión, éste interpreta la pérdida de paquetes como una señal de que la red está congestionada, disparando el procedimiento de *congestion avoidance* que reduce bruscamente la ventana de congestión, produciendo que las aplicaciones tengan altos valores de latencia. Entre las principales dificultades que el protocolo TCP tiene que solventar en ambientes inalámbricos están: tiempos de propagación y de RTT más grandes y las pérdidas aleatorias de paquetes por interferencias u otros factores.

El protocolo TCP original ha tenido que ser modificado para que se adapte a entornos inalámbricos. Se han planteado algunas soluciones como en [1], [2] y [3] los cuales utilizan mecanismos para solucionar los problemas a nivel de la capa de enlace mediante técnicas FEC y retransmisiones aceleradas. A nivel de la capa de transporte, las principales modificaciones del protocolo TCP para ambientes inalámbricos se han planteado en [4], [5] y [6] los cuales utilizan mecanismos de ACK selectivos. En [7], [8], [9] y [10] se intenta calcular el ancho de banda disponible mediante diferentes técnicas, y adaptar la tasa de envío de acuerdo a las condiciones de la red. En el algoritmo propuesto en [11] e implementado en [12] se permite una extensión de la ventana de congestión con un valor de 15 y 20 al momento de

recibir ACK's negativos, logrando un aprovechamiento parcial antes de que la ventana de congestión se reduzca. Para poder tener un mejor aprovechamiento del ancho de banda disponible, se ve la necesidad de optimizar la comunicación entre las capas de transporte y de enlace para obtener mejores desempeños en términos de *throughput* ya que según lo descrito en [13] [14] y [15], el RTT de la capa de transporte depende de los valores determinados por la capa de enlace, afectando por lo tanto el rendimiento del protocolo TCP. Lastimosamente las soluciones propuestas abarcan cualquier tipo de red inalámbrica y no toman en cuenta las características de la capa MAC de un estándar específico.

Para evaluar experimentalmente el desempeño del protocolo TCP en un enlace de larga distancia inalámbrico inter-islas en la Región Insular se utilizaron máquinas virtuales con las 3 versiones del protocolo TCP evaluado: el TCP Reno, TCP NACK de 15 y TCP NACK de 20. Con los resultados obtenidos, se planteó realizar una comunicación entre capas con el fin de determinar el RTO adecuado para obtener un mejor desempeño del protocolo TCP siguiendo el modelamiento matemático descrito en [13] y [16]. El resto de este documento está organizado de la siguiente manera: la sección II se enfoca en los métodos y materiales utilizados para la realización de este proyecto, en la sección III se desarrolla la planificación e implementación de la red, la sección IV se muestran los resultados obtenidos, mientras que en la sección V se realiza el análisis de los resultados y la optimización propuesta para el cálculo del RTO adecuado; finalmente en el Capítulo VI se exponen las conclusiones y trabajos futuros.

II. MÉTODOS Y MATERIALES

Esta sección detalla los materiales y métodos utilizados para el diseño y simulación del radioenlace entre islas en la Región Insular. La metodología utilizada en este proyecto consta de tres fases principales las cuales se basan en la investigación de los estándares IEEE 802.11, IEEE 802.16, del protocolo TCP; además de un estudio de los elementos de hardware y software necesarios

para diseñar y simular un enlace a larga distancia con las diferentes tecnologías. Se realizó un estudio de campo para determinar los mejores sitios donde se implementa la red. La segunda parte consta la instalación de equipos y pruebas necesarias para determinar el desempeño del protocolo TCP en ambientes inalámbricos. Finalmente la tercera parte se realiza el análisis y de los resultados obtenidos.

En cuanto a los materiales, se hizo una revisión de los elementos necesarios para desplegar un enlace a larga distancia utilizando equipos para cada tecnología (WiLD, WiMAX y Equipos Proprietarios). Se enfocó principalmente en el estudio del software tanto de simulación que contribuye al diseño del radioenlace, como de inyección de tráfico para evaluar el desempeño de la red. Finalmente, se hizo una revisión de las máquinas virtuales implementadas con el nuevo algoritmo del protocolo TCP con ventanas de congestión de 15 y 20.

Los equipos de radio seleccionados para realizar el enlace fueron los equipos propietarios Motorola PTP 58600 que combinan velocidad y confiabilidad de datos, brindan tecnología MIMO, iOFDM, diversidad espacial y selección de frecuencia dinámica inteligente.

La inyección de tráfico se lo realizó mediante el software D-ITG (*Distributed Internet Traffic Generator*). D-ITG es una herramienta de código abierto que sigue el modelo cliente – servidor y permite generar tráfico para analizar protocolos a nivel de capa de aplicación, red y transporte. Está concebida para ser usada como una herramienta distribuida de medición de rendimiento, capaz de calcular el retardo de ida (OWD One Way Delay) y de ida-y-vuelta (RTT - Round Trip Time), la tasa de pérdida de paquetes, el jitter y el throughput [17]. Las pruebas realizadas constaron de la inyección de tráfico por períodos de 5 minutos con diferente cantidad de paquetes, a velocidades de 1, 2, 3 y 4 [Mbps] con cada versión del protocolo TCP.

Para la simulación del radioenlace, se seleccionó SIRENET: (*Simulation of Radioelectric Networks*) que facilita la planificación y gestión de redes permitiendo trabajar con todo tipo de servicios radioeléctricos y tecnologías utilizando algoritmos de cálculo avanzados [17]. También se utilizó el

software de simulación para equipos propietarios Motorola PTP LINKPlanner el cual busca eliminar la mayor cantidad de suposiciones en el proceso de diseño del enlace, está diseñado para realizar enlaces Ethernet inalámbricos punto a punto con equipos Motorola.

III. PLANIFICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED

Una buena planificación fue considerada como una serie de etapas, que van desde la generación de un conjunto de criterios para diseñar la red en base a las necesidades, un estudio de campo del lugar hasta la implementación de la red.

El estudio de campo consistió en validar el pre-diseño o, por el contrario, se determinó la necesidad de modificarlo. En el terreno se comprobó cuál es la locación óptima de los nodos a ser conectados para realizar el enlace entre la isla Santa Cruz y la isla San Cristóbal, corroborando con el análisis mediante el software de simulación Sirenet.

Para la elección de los lugares se tomó en consideración las facilidades físicas, técnicas y administrativas, así como los lugares que presentaron las mejores características para el enlace según las simulaciones y la visita de campo. Los lugares seleccionados por tener la mejor ubicación y estar en los puntos más elevados de la región fueron: en la isla de San Cristóbal en la torre del cerro San Joaquín, y en la isla Santa Cruz el Cerro Crocker.

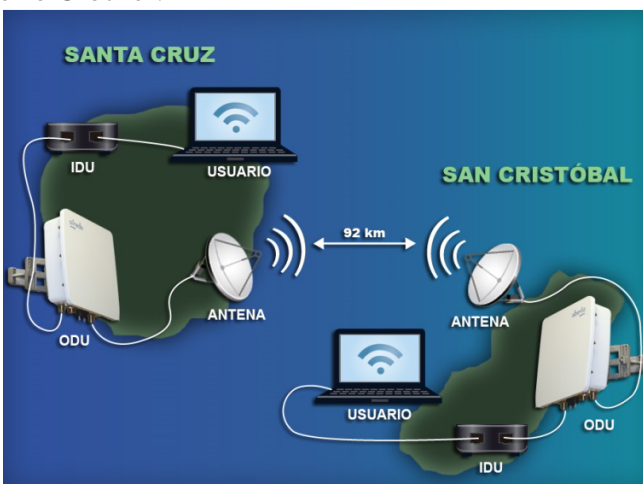


Fig. 1 Topología de la Red

Luego de un análisis completo tanto en las herramientas de simulación, como en la visita de

campo se concluye, que la red a instalar queda conformada por un transmisor y un receptor sin necesidad de repetidoras por lo que en este tipo de entorno si existe facilidad de línea de vista ya que son terrenos montañosos con alturas bajas, la topología se muestra en la Figura 1.

IV. RESULTADOS

Una vez realizado el enlace inalámbrico entre Santa Cruz y San Cristóbal, se procedió a realizar las pruebas necesarias con el fin de poder evaluar el desempeño del protocolo TCP en largas distancias.

A. Bitrate

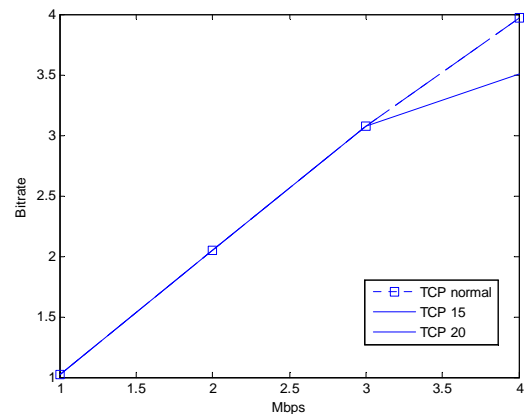


Fig. 2 Consolidado Bitrate para las 3 versiones de TCP

TABLA I
TABULACIÓN DE LOS RESULTADOS DE BITRATE

Velocidad[Mbps]	1 Mbps	2 Mbps	3 Mbps	4 Mbps
TCP Original [s]	1.024	2.047	3.071	3.968
TCP Ventana 15 [s]	1.023	2.045	3.071	3.968
TCP Ventana 20 [s]	1.023	2.047	3.071	3.507

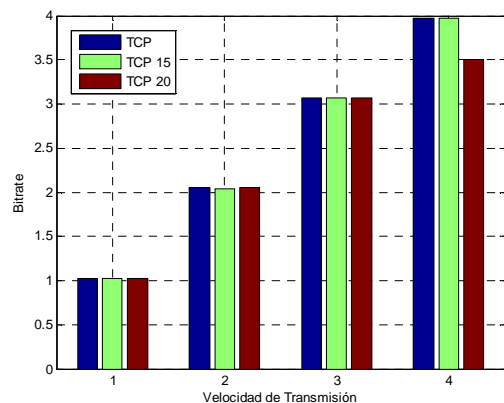


Fig. 3 Tabulación de resultados Bitrate

B. Jitter

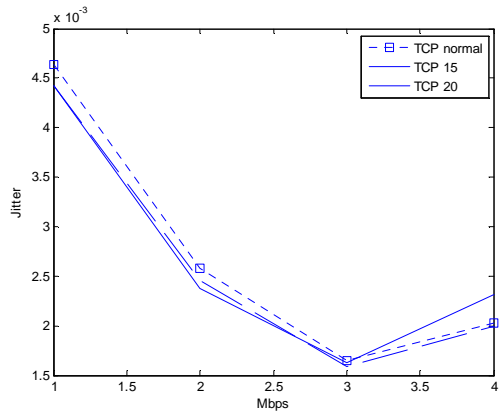


Fig. 4 Comparativa de Jitter a 1, 2, 3 y 4 Mbps en TCP normal y modificado

C. Delay

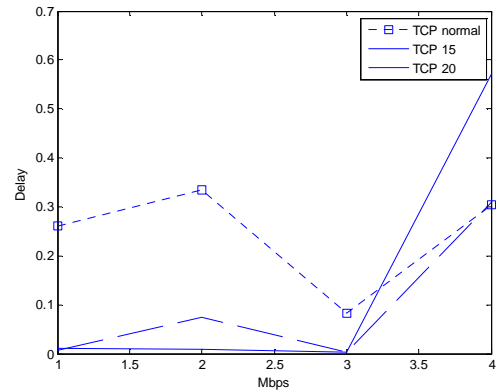


Fig. 6 Comparativa de Delay a 1, 2, 3 y 4 Mbps en TCP normal y modificado

**TABLA III
TABULACIÓN DE RESULTADOS DEL JITTER**

Velocidad[Mbps]	1 Mbps	2 Mbps	3 Mbps	4 Mbps
TCP Original [s]	0.00464	0.00258	0.001644	0.002028
TCP Ventana de 15[s]	0.00442	0.00246	0.001591	0.001995
TCP Ventana de 20[s]	0.00442	0.00237	0.00163	0.002313

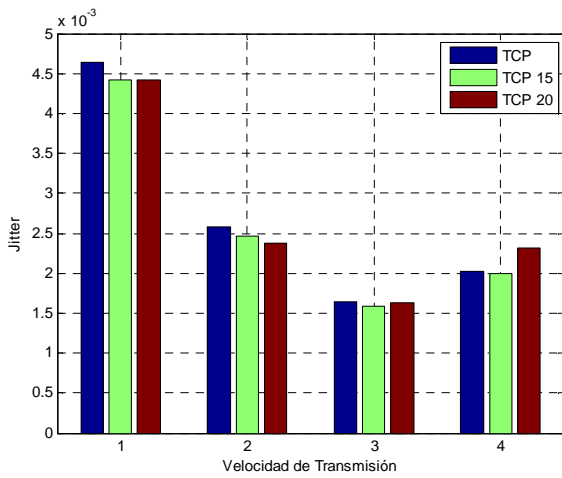


Fig. 5 Tabulación de resultados Jitter

**TABLA IV
MEJORA PORCENTUAL DEL TCP MODIFICADO EN
TÉRMINOS DE JITTER**

Velocidad[Mbps]	1	2	3	4
TCP 15	4.74%	4.65%	3.22%	1.63%
TCP 20	4.74%	8.14%	0.85%	-14.05%

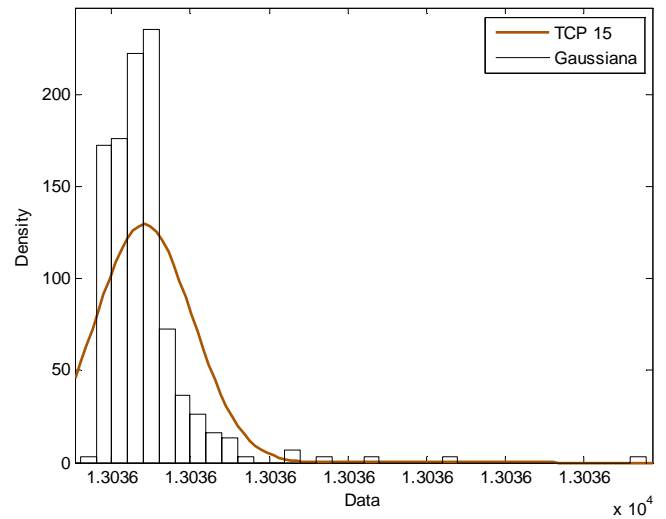


Fig. 7 Histograma delay a 3 Mbps en TCP 15

**TABLA V
TABULACIÓN DE RESULTADOS DEL DELAY**

Velocidad	1 Mbps	2 Mbps	3 Mbps	4 Mbps
TCP Original [s]	0.260947	0.334969	0.082168	0.304593
TCP Ventana de 15[s]	0.007398	0.0748808	0.003413	0.310491
TCP Ventana de 20[s]	0.011481	0.008992	0.003075	0.571323

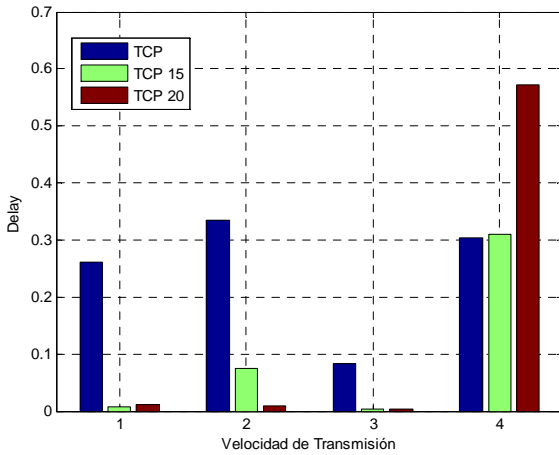


Fig. 8 Tabulación de resultados Delay

TABLA VI
Mejora Porcentual del Delay

Protocolo	1 Mbps	2 Mbps	3 Mbps	4 Mbps
TCP 15	97.16 %	77.65 %	95.85 %	-1.94 %
TCP 20	95.60 %	97.32 %	96.26 %	-87.57 %

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los parámetros que se analizaron para evaluar la calidad de servicio de la red son: *Bitrate*, *jitter* y *delay*.

A. Bitrate

Como se puede observar en la Tabla I, se demuestra que la calidad del enlace es excelente, ya que al utilizar el protocolo TCP en condiciones normales, se obtiene una tasa de transferencia muy parecida al tráfico inyectado en la red. En la misma tabla, se puede observar que el comportamiento del protocolo TCP original es ligeramente superior al protocolo TCP modificado con ventana de congestión de 15 y 20. A una tasa de transmisión de 4 Mbps el protocolo TCP modificado con una ventana de congestión de 20 presenta menor desempeño que los otros 2 protocolos evaluados.

En la figura 2 se analiza que el protocolo TCP original y el protocolo TCP modificado con ventana de congestión de 15 presentan un similar rendimiento sobre redes inalámbricas, ya que se superponen, y se puede observar que la red se comporta de manera óptima hasta los 3 Mbps. Después de los 3 Mbps el protocolo TCP modificado con ventana de congestión de 20, tiene

un rendimiento aceptable hasta los 3 Mbps presenta un menor desempeño y empieza a decaer totalmente el *bitrate*. Se puede concluir que debido a las condiciones del enlace inalámbrico no se pueden obtener tasas de transmisión superiores a 4 Mbps.

Los equipos Motorola PTP 58600 tienen una sensibilidad entre -98 dBm y -58 dBm, en el enlace se alcanza una potencia de recepción de -71 dBm obteniendo así un rendimiento de la red del 41.3 % y se obtiene una tasa de transmisión máxima de 4 Mbps.

$$\eta = \frac{4[\text{Mbps}]}{9.69[\text{Mbps}]} \times 100\% = 41.28\%$$

B. Jitter

Los resultados en las pruebas de *jitter* son favorables, ya que en promedio el TCP modificado con ventana de congestión de 15 supera al TCP normal. En la Tabla II se muestra a variación del retardo o *jitter* a las distintas tasas de transmisión, y con cada uno de los protocolos TCP. Se observa que el *jitter* decrece inversamente a la tasa de transmisión hasta los 3 Mbps, y a los 4 Mbps el valor del *jitter* empieza a aumentar lo que empeora las condiciones de la red.

Entendiendo los fundamentos del *jitter*, los retardos deberían disminuir a mayores tasas de transmisión, sin embargo, se puede observar en la tabla IV que el protocolo TCP modificado con una ventana de congestión de 15 mejora en todas las pruebas hasta los 3 Mbps, a partir de los 3 Mbps el *jitter* aumenta, esto puede ser debido a que la red empieza a saturarse y el protocolo TCP empieza a enviar duplicados de los paquetes perdidos, mientras que el protocolo modificado con ventana de congestión de 20, no tiene una mejora comparado con los otros algoritmos; a partir de los 4 Mbps este protocolo decae su rendimiento. Se concluye que el TCP más óptimo es el modificado con ventana de congestión de 15, ya que a menor tasa de transmisión, mayor es la mejora del protocolo.

C. Delay

Este parámetro es muy utilizado para determinar el desempeño de la red, la sincronización de los relojes de los portátiles es imprescindible para

poder realizar medidas de latencia en ambos sentidos de la comunicación. Debido a una falta de sincronismo entre los equipos utilizados, se debió usar otros métodos para el calcular el delay.

La figura 4 presenta el delay de extremo a extremo en segundos para el TCP original y TCP modificado con las distintas variaciones de la ventana de congestión. El flujo agregado entrego como resultado un retardo promedio de 0.093276 [ms].

La figura 5 corresponde a la medida del retardo obtenida mediante MatLab, ya que las gráficas obedecían a señales gaussianas, se utilizó un histograma para observar la distribución de probabilidad asociada a una variable aleatoria. La función de densidad de probabilidad caracteriza el comportamiento probable de un vector de datos. En este caso, se realizó las gráficas para los resultados de la inyección de tráfico en las 3 versiones del protocolo TCP. Mediante el histograma se obtiene la desviación estándar, la cual mide el grado de dispersión de un conjunto de datos obtenido, siendo la desviación estándar en este caso el retardo o delay. A mayor desviación estándar, mayor es la dispersión de tiempos de retardo.

Después de un análisis de cada una de las gráficas se puede concluir que el TCP propuesto por [11] con una ventana de congestión de 15 mejora significativamente a velocidades de 1. 2 y 3 Mbps, obteniendo una mejora significativa con ventana de 15 a 3Mbps con valores de 0.082168 [s] a 0.003413 [s], pero la latencia a partir de 4 Mbps aumenta en una valor ligeramente superior al obtenido en un TCP normal, como se muestra en la Tabla IV. De igual manera con la ventana de congestión de 20 mejora hasta 3 Mbps, sin embargo, a partir de 4 Mbps, el valor del delay aumenta considerablemente de 0.304593 [s] a 0.571323 [s], obteniendo el máximo retardo del TCP. La mejora porcentual respecto al retardo se lo puede ver en la tabla V.

El protocolo TCP modificado tiene un mejor rendimiento con bajas tasas de transmisión, a medida que aumenta la tasa de transmisión disminuye la mejora del TCP modificado, es por esto que para velocidades mayores a 4Mbps se requirió diseñar un modelo matemático para obtener

el RTO óptimo para la transmisión de datos a largas distancias (92km). El protocolo TCP modificado busca diferenciar las pérdidas de los segmentos y plantear una reacción adecuada según el tipo de pérdidas con el fin de tener un mejor rendimiento. Lamentablemente, en concordancia con los resultados obtenidos, se concluye que no existe una mejora significativa en términos del *throughput*. Se hace necesario mejorar los mecanismos de detección del error, mediante una comunicación *cross-layer* optimizada.

D. Propuesta

La manera que TCP detecta un segmento perdido es mediante la expiración del temporizador RTO (TO) o mediante la recepción de 3 ACK's duplicados (TD). Los mecanismos que TCP utiliza para manejar cualquiera de las pérdidas por RTO son de reducir la ventana de congestión a 0 y el *ssthresh* a la mitad; mientras que si las pérdidas son detectadas por TD, la ventana de congestión y el *ssthresh* se reducen a la mitad.

Para aprovechar el ancho de banda se debe realizar una comunicación entre capas ya que según lo descrito en [13], el RTT de la capa de transporte depende de los valores determinados por la capa de enlace, afectando por lo tanto el rendimiento del protocolo TCP. Una de las posibles causas de no tener un incremento en el desempeño del *throughput* puede ser debido a que la distancia del enlace hace que el RTO expire antes de poder recibir la respuesta del ACK de TCP, como se indica en la figura 6.

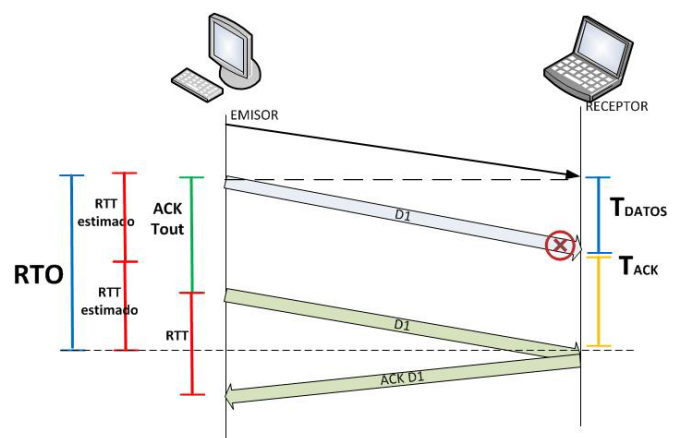


Fig. 9 Diagrama de tiempos

En la Tabla VI se muestran los resultados del cálculo del RTT y RTO. El termino N el número de tramas de cada segmento TCP después de la fragmentación.

TABLA VII
RTT ESTIMADO Y RTO CALCULADO

Tasa [Mbps]	RTT Calculado	RTO = 2(RTT)
1 Mbps	$0.0123N + 5.587 \times 10^{-4} [s]$	$2(0.0123N + 5.587 \times 10^{-4}) [s]$
2 Mbps	$0.0062N + 2.867 \times 10^{-4} [s]$	$2(0.0062N + 2.867 \times 10^{-4}) [s]$
3 Mbps	$0.0041N + 1.961 \times 10^{-4} [s]$	$2(0.0041N + 1.961 \times 10^{-4}) [s]$
4 Mbps	$0.0031N + 1.507 \times 10^{-4} [s]$	$2(0.0031N + 1.507 \times 10^{-4}) [s]$

VI. DISCUSIÓN

TCP es incapaz de distinguir la causa real de pérdidas de paquetes, puede ser por errores en el canal, errores de transmisión, colisiones, errores de ruta o a los grandes retardos de propagación, estos factores causan la disminución de la velocidad de transmisión en TCP. En el presente documento se evaluó el desempeño del nuevo algoritmo del protocolo TCP propuesto por [11] y [12] para un enlace inalámbrico de larga distancia inter-islas en la Región Insular, el cual se lo ha ejecutado en base a un estudio previo del estado del arte, características técnicas del equipamiento, y una planificación de la red, el algoritmo permite una extensión de la ventana de congestión con un valor de 15 y 20 cuando se reciben ACK's negativos lo que permitió un aprovechamiento parcial, antes que la ventana de congestión se reduzca. Obteniendo que el protocolo TCP modificado con ventana de 15 con respecto al TCP normal, mejora significativamente la velocidad de transmisión hasta los 4Mbps, y que el throughput del protocolo TCP modificado no tuvo el rendimiento esperado. Sin embargo, este comportamiento es aceptable y predecible, ya que, a pesar de la modificación realizada al protocolo de transporte TCP, no se ha variado ningún otro parámetro de las capas inferiores a la capa de transporte, por este motivo se exigió diseñar un modelo matemático obteniendo el

RTO óptimo para la transmisión a largas distancias.

El presente proyecto describe una nueva propuesta la cual mejora el rendimiento extremo a extremo a una distancia de 92 km evitando reducciones no necesarias de la ventana de congestión basado en un modelamiento matemático, y se espera verificar si el mecanismo propuesto funciona de manera óptima mediante un sistema de pruebas el cual adapte el nuevo algoritmo del TCP en un simulador de canal inalámbrico, y verificar su comportamiento, donde está fallando el algoritmo propuesto, ya que los resultados obtenidos mejoran el rendimiento del TCP con ventana de 15 hasta los 3 Mbps, y a mayores tasas de transmisión empieza a decaer su rendimiento de manera inmediata, esto permitirá ver el comportamiento del sistema a mayores tasas de transmisión.

Por otro lado, se podría realizar una optimización para la comunicación entre capas, para maximizar la eficiencia del protocolo y del enlace, basados en el modelamiento matemático descrito en este informe, el cual se lo podría realizar de una manera analítica y práctica, para así poder validar los resultados obtenidos mediante las simulaciones y en aplicaciones reales.

VII. AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo agradecen la colaboración a las autoridades y personal del Parque Nacional Galápagos y del Consejo de Gobierno de Galápagos por las facilidades y cooperación prestadas para la realización del presente proyecto.

REFERENCIAS

- [1] E. Ayanoglu, S. Paul, T. F. LaPorta, K. K. Sabnani and R. D. Gitlin, "AIRMAIL: A Link-Layer Protocol for Wireless Networks," *Journal Wireless Networks*, vol. 1, no. 1, pp. 47-60, 1995.
- [2] H. Balakrishnan, S. Seshan y R. H. Katz, «Improving Reliable Transport and Handoff Performance in Cellular Wireless Networks,» *ACM Wireless Networks*, vol. 1, n° 4, pp. 469-481, 1995.
- [3] C. Parsa y J. Garcia-Luna-Aceves, «Improving TCP performance over wireless networks at the link layer,» *Mobile Networks and Applications*, vol. 5, n° 1, pp. 57-71, 2004.
- [4] M. Mathis, J. Mahdavi, PSC, S. Floyd, LBNL y A. Romanow, «TCP Selective Acknowledgment Options,» The Internet Engineering Task Force (IETF), 1996. [En

- línea]. Available: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2018>. [Último acceso: 10 10 2013].
- [5] M. Mathis y J. Mahdavi, «Forward acknowledgement: refining TCP congestion control,» *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 26, n° 4, pp. 281-291, 1996.
- [6] S. Keshav y S. Morgan, «SMART retransmission: performance with overload and random losses,» *INFOCOM '97. Sixteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Driving the Information Revolution., Proceedings IEEE*, vol. 3, pp. 1131 - 1138, 1997.
- [7] L. S. Brakmo, S. W. O'Malley y L. L. Peterson, «TCP Vegas: new techniques for congestion detection and avoidance,» *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 24, n° 4, pp. 24-35, 1994.
- [8] C. P. Fu y S. Liew, «TCP VenO: TCP Enhancement for Transmission over Wireless Access,» *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 21, n° 2, pp. 216 - 228, 2003.
- [9] S. Mascolo, C. Casetti, M. Gerla, S. S. Lee y M. Sanad, «TCP Westwood: congestion control with faster recovery,» UCLA CSD Technical Report #990017, Los Angeles, 2000.
- [10] K. Xu , Y. Tian y N. Ansari , «TCP-Jersey for wireless IP communications,» *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 22, n° 4, pp. 747-756, 2004.
- [11] G. Olmedo, «Controle de Congestionamento do Protocolo TCP em Sistemas de Comunicação sem fio CDMA usando estratégias de detecção multiusuário, arranjo de antenas e correção de erro FEC,» UNICAMP Universidad Estatal de Campinas, Brasil, 2008.
- [12] P. Pilo-País, «Verificación del desempeño de un nuevo algoritmo de control de congestionamiento en entornos inalámbricos reales mediante la modificación del protocolo TCP en el kernel de LINUX,» ESPE Escuela Politécnica Del Ejército, Sangolquí, 2011.
- [13] H. Xie, R. W. Pazzi y A. Boukerche, «A Novel Cross Layer TCP Optimization Protocol over Wireless Networks by Markov Decision Process,» *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, 2012.
- [14] J. Ye, J. Wang, Q. Liu y Y. Luo, «An Improved TCP with Cross-layer Congestion Notification over Wired/wireless Hybrid Networks,» *The 9th International Conference for Young Computer Scientists, 2008. ICYCS 2008.* , pp. 368-373, 2008.
- [15] D. K. Sung, N. N. Li, W. B. Zhu y X. M. Zhang, «TCP Congestion Window Adaptation Through Contention Detection in Ad Hoc Networks,» *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 29, n° 9, pp. 4578-4588, 2010.
- [16] J. Padhye, V. Firoiu, D. F. Towsley y J. F. Kurose, «Modeling TCP reno performance: A simple model and its empirical validation,» *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 8, pp. 133-145, 2000.

[17] Manual SIRENET, *Manual Sirenet versión 3.0*, Espana: Intelia Consultores S.L., 2007.

[18] A. Botta, A. Dainotti y A. Pescap, «Multi-protocol and Multi-platform Traffic Generation and Measurement,» *Universita di Napoli Federico II, Napoli*, 2011.

Autores

Mishel Acosta Morales:



Nació en Guayaquil, Ecuador el 4 de marzo de 1988, sus estudios primarios los realizo en la unidad educativa Liceo Naval Guayaquil y escuela “Lamanitas del Ecuador”, y sus estudios secundarios en la unidad educativa Liceo Naval Quito. Egresada de la carrera de Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Entre los campos de intereses se encuentra el estudio de las redes LTE (Long Term Evolution) y en el análisis del TCP inalámbrico para largas distancias, realizo su proyecto de grado sobre este tema, para obtener el título de ingeniería en el 2013.

Javier Sandoval Reyes:



Nació en Quito, Ecuador el 26 de enero de 1984. Sus estudios primarios cursó en la Unidad Educativa FAE y la sus estudios secundarios en el Colegio San Gabriel con especialidad Físico – Matemático. Obtuvo el título de Asociado en Ingeniería Eléctrica en el 2008 en Hostos Community College de City University of New York en el 2008. Egresado de la carrera de Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Realizó este estudio previo la obtención del título de Ingeniero Electrónico en Telecomunicaciones. Entre sus áreas de interés están las comunicaciones inalámbricas y las redes celulares.