

Análisis de eficiencia de protocolos de enrutamiento en implementación de Red Inalámbrica Mesh en instalaciones de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC) realizando llamadas de Voz sobre IP.

Jiménez, E.; Zerna, J.; Chávez, P. Msc., Basurto, J. Ing.
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
{evesjime, josezern,jbasurto, paxichav}@.espol.edu.ec

Resumen

Las redes inalámbricas malladas, debido a sus ventajas, ofrecen una opción muy interesante al momento de diseñar una red inalámbrica, y la investigación sobre ellas cada día se extiende más. No obstante, uno de los principales retos en la investigación de este tipo de redes es poder ofrecer el aumento de la escalabilidad. Por ello, la calidad de servicio (QoS) juega un factor importante en su implementación, debido a que el aumento de nodos implica que se produzca un aumento del retardo, ya que los paquetes deben atravesar más nodos hasta su destino final. Para evitar esto, se hace uso de métricas que sean adecuadas para cada tipo de servicio. Este proyecto analiza la calidad de servicio (QoS) en redes Wireless Mesh usando cuatro protocolos de enrutamiento Mesh, empleando las dos clases representativas de los mismos: proactivos y reactivos, para lo cual se analizarán los parámetros de: consumo de ancho de banda y retraso.

Palabras Claves: *Malladas Inalámbricas, enrutamiento, protocolos, Calidad de servicio*

Abstract

Because of the advantages they offer, Wireless Mesh Networks constitute a very interesting option when designing a wireless network, and therefore the investigation about them grows every day. However, one of the main challenges in the research of this kind of networks is to offer increased scalability, this is why the quality of service (QoS) plays an important factor on its implementation, because the increase of the nodes implies that there is an increase of delay, since the packets must pass through more nodes to their final destination. To avoid this problem, it is important to consider the correct use of metrics that are appropriate for each type of service. This project will be based on the analysis of wireless mesh using four different routing mesh protocols, taking in consideration the two representative classes of them: proactive and reactive. For each protocol the following will be analyzed: the consumption parameters of bandwidth, jitter, and delay.

Keywords: *Wireless Mesh Networks, Mesh Routing Protocols, QoS.*

1. Introducción

Las redes inalámbricas amalladas (de ahora en adelante conocidas como WMN, por sus siglas en inglés), constituyen un área de investigación y desarrollo importante en la actualidad. Su versatilidad de instalación, el ahorro en costos y mantenimiento y su capacidad de llegar donde otras redes cableadas no pueden, hacen de estas redes una solución atractiva en el universo de redes inalámbricas a nivel corporativo, educacional y de propagación de Internet. La WMN es una prometedora tecnología para múltiples aplicaciones comerciales emergentes, tales como: acceso comunitario y vecindario al Internet, creación de sistemas de transporte inteligente y telefonía móvil VoIP. El uso de WMN constituye un medio de acceso final a los servicios inalámbricos de banda ancha a un costo razonable, en comparación con las otras tecnologías [1]. Otra de las ventajas del uso de WMN, es su capacidad de reconstrucción de rutas al haber pérdida de enlace, su escalabilidad y el

manejo de múltiples interfaces de radio y antenas inteligentes. [2].

Este tipo de redes basan su autonomía principalmente con los protocolos de enrutamiento, los cuales son importantes para que la red funcione adecuadamente y se mantengan los enlaces en todo momento. Por este motivo, son diseñados, por lo general, utilizando funciones independientes del resto de las capas del modelo OSI [3]. Los protocolos de enrutamiento de malla tienen como objeto revelar las rutas de la red; la auto recuperación en caso de falla de algún nodo, para lo cual dan a conocer a la red que algunas rutas han fallado y que debe escoger una nueva mejor ruta. A esto se conoce como *convergencia*. Entre otras tareas importantes se encuentran: realizar el encaminamiento adecuado de los datos, brindar la seguridad de todo los nodos existentes, aceptar la escalabilidad de la red, cumplir con los parámetros de calidad de servicio, entre otros, siendo de vital importancia en una configuración de WMN; y controlar el mantenimiento de las rutas [2].

Existen varios protocolos con la finalidad de dirigir los paquetes a través de una red en malla. Estos se pueden clasificar de la siguiente manera:

Protocolos reactivos: Este tipo de protocolos buscan una ruta, únicamente cuando es necesario. Por ello, también se los conoce como protocolos bajo demanda. Entre ellos, se puede nombrar a AODV [4] y a DSR [5].

Protocolos proactivos: Estos protocolos buscan rutas de manera periódica, bajo la suposición de que sean de utilidad. Un ejemplo de este grupo es OLSR [6].

El presente artículo realiza un análisis de la implementación de una WMN en las instalaciones de la Universidad, con el objetivo de determinar el protocolo de enrutamiento que sea más eficiente en un ambiente compartido con otras redes inalámbricas transmitiendo a la vez en varios canales 802.11. Para ello, compararemos la QoS brindada por los protocolos proactivos B.A.T.M.A.N [7], O.L.S.R [6], ROOFNET [8] y WING [9], instalando el Sistema Operativo OpenWRT [10] en cada enrutador. Para determinar la eficiencia, usaremos como parámetros de prueba el consumo de ancho de banda y el retraso.

2. Trabajos Relacionados

El análisis de las redes inalámbricas en malla ha generado diversos estudios sobre su rendimiento y la calidad de servicio obtenida por los protocolos de enrutamiento. [11] presenta una observación a fondo de las WMN como sus ventajas, desventajas, arquitectura. [12] por el contrario estudia la capacidad exacta que permiten las WMN, [13] analiza la interferencia que se presenta en las redes amalladas como la calidad de servicio basándose en el estándar 802.11

[14], [15] hacen comparaciones de los protocolos AODV y DSR en las redes Ad-Hoc usando el simulador ns-2 en el primero, mientras que el segundo frente a ataques de denegación de servicio. [16] compara OLSR y AODV en la transmisión de videos en las redes WMN.

[17] realiza un análisis detallado de la QoS de las redes Ad-Hoc, usando el protocolo reactivo AODV. [18] presenta un tipo de protocolo dinámico y confiable que permitirá obtener alta tasa de entrega de paquetes, bajo retardo y bajo costo operativo. [19] realiza una evaluación en tiempo real de prototipos de puntos de acceso para garantizar la transmisión de datos, para lo cual se realizan modificaciones usando el sistema operativo de OpenWRT. [20],[21],[22] realizan estudios, respectivamente, de los protocolos WING, OLSR, ROOFNET. [23]

evalúa el desempeño de VoIP en redes wireless mesh tomando en cuenta la movilidad en diferentes puntos de la FIEC.

3. Esquemas considerados

Para la implementación de la red se utilizaron tres diferentes tipos de enrutadores, porque cada protocolo requería ciertas características. Por ello, se emplearon: enrutadores Linksys WRT54GL para los protocolos BATMAN y OLSR, enrutadores Meraki Outdoor para el protocolo Roofnet y enrutadores D-Link Dir 825 para el protocolo WING. Para la realización de las pruebas era necesario que los enrutadores tengan una buena línea de vista. Cabe acotar que la topología empleada para el protocolo Roofnet fue diferente de la del resto de los protocolos puesto que los enrutadores Meraki Outdoor no lograban comunicarse en la topología ya planteada debido a que eran sensibles al tráfico existente en el camino. Se procedió a distribuir en cuatro zonas la topología implementada para poder realizar una comparación más detallada de la calidad de servicio brindada por los protocolos.

3.1. B.A.T.M.A.N.

El Protocolo de Mejor Aproximación a la Adhoc Móvil, o B.A.T.M.A.N. por sus siglas en inglés Better Approach To Mobile Adhoc Network. El algoritmo de este protocolo proactivo se basa en definir para cada destino dentro de la malla, un vecino de un salto, el cual es considerado como el mejor gateway para comunicarse con dicho nodo destino. Cada nodo realiza este procedimiento, hasta llegar al nodo final. Es decir, no es necesario calcular la ruta completa; lo importante, es aprender cuál es el próximo mejor salto para cada destino, [24], [25].

3.2. Roofnet

El protocolo de enrutamiento que usa ROOFNET se llama ScrRR. La finalidad de este protocolo proactivo es encontrar las rutas con el rendimiento (throughput) más alto. Su diseño se basa en el Protocolo de Fuente de Enrutamiento Dinámico (DSR por sus siglas en inglés). Roofnet no necesita configuración y por ende es sencillo de implementar y expandir [26], [27].

3.3. W.I.N.G

Parte del software desarrollado en WING fue construido sobre Roofnet. Wing modifica el proyecto original y le añade soporte para múltiples interfaces de radio, métrica de enrutamiento WCETT, y asignación automática de canal. En cuanto a la Calidad de Servicio, este protocolo

reactivo implementa diversos avances destinados a mejorar la capacidad de voz del sistema, y métodos de aislamiento de flujos similares en el rendimiento, en ambientes con demasiado ruido. WING es uno de los representantes de los protocolos reactivos [9].

3.4. O.L.S.R.

Este protocolo proactivo trabaja con un mecanismo denominado Relés Multipunto o MPR (de sus siglas en inglés MultiPoint Relays). Los MPR de un nodo A son sus vecinos que cumplen con la condición de que cada vecino de dos saltos de A es un vecino de un salto de al menos un MPR de A. Cada nodo transmite su lista de vecinos en señales periódicas, de tal manera que todos los nodos pueden conocer sus vecinos de 2 saltos, con la finalidad de elegir los MPRs [28].

4. Métodos y Materiales

Para determinar el protocolo más eficiente de las WMN implementadas en la FIEC, se procedió a implementar la topología de red definida en la sección Esquemas considerados. La Figura 1 muestra la topología de red utilizada para las pruebas protocolos BATMAN, OLSR y WING. En la Figura 2 se puede observar la topología implementada para el protocolo Roofnet. El enrutador 1 funciona como puerta de enlace, y consta de una conexión cableada a Internet. Se puede observar cuatro zonas definidas. Se contó con un servidor de Asterisk para realizar llamadas VoIP desde un softphone que hará las veces de cliente y que se instaló en una computadora de escritorio. Las llamadas se dirigirán hacia otro softphone instalado en una laptop que estará ubicada en la zona de turno. Al final se habrán realizado 4 llamadas VoIP (una por cada zona), entre los dos softphones, para cada protocolo de enrutamiento.

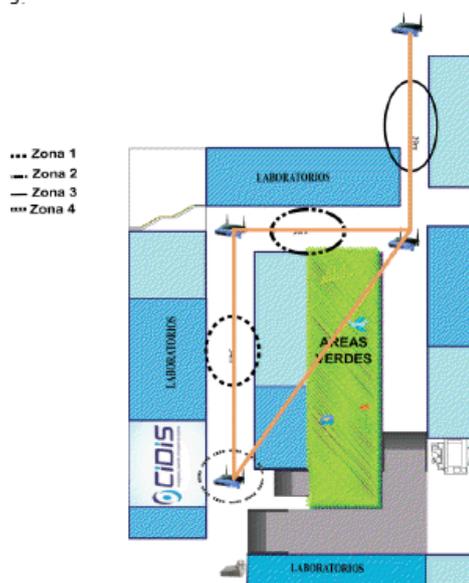


Figura 1. Red Wireless Mesh implementada Protocolo Batman, OLSR y Wing

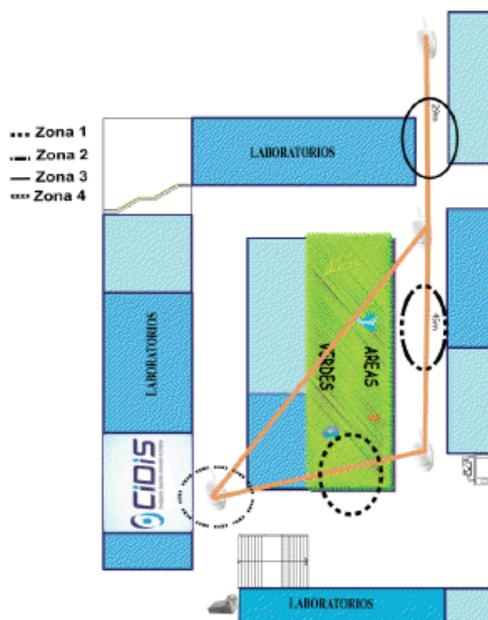


Figura 2. Red Wireless Mesh implementada Protocolo Roofnet

Durante las llamadas, de una duración de un minuto aproximadamente, se capturarán los paquetes que viajan por la tarjeta de red de la computadora de escritorio, usando la herramienta Wireshark. Estos paquetes serán analizados posteriormente, tomando en cuenta ciertos parámetros, para definir cuál de los protocolos es el más eficiente. Los parámetros a considerar serán: retardo y ancho de banda. Estos parámetros serán mostrados en gráficas que expondrán las comparaciones entre los protocolos y ayudarán a realizar el análisis y la conclusión final.

5. Resultados Numéricos y Análisis

Estos son los gráficos que ilustran la captura de paquetes en la computadora ubicada dentro de las instalaciones de la FIEC, al momento de realizar las llamadas VoIP en cada una de las zonas:

Retardo:

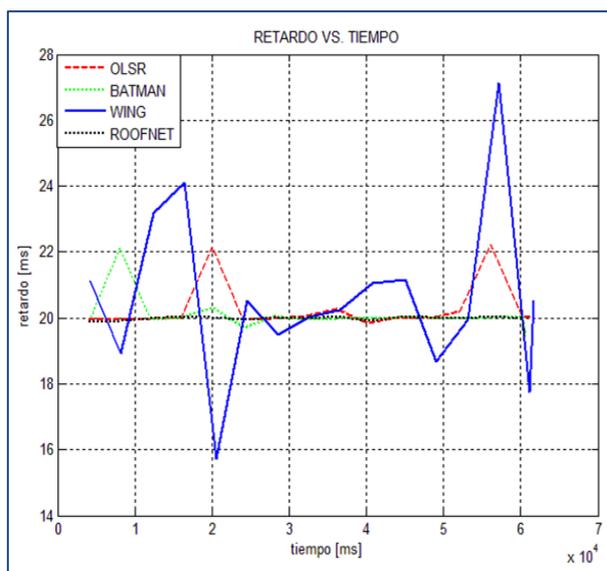


Figura 3: Retardo en Zona 1

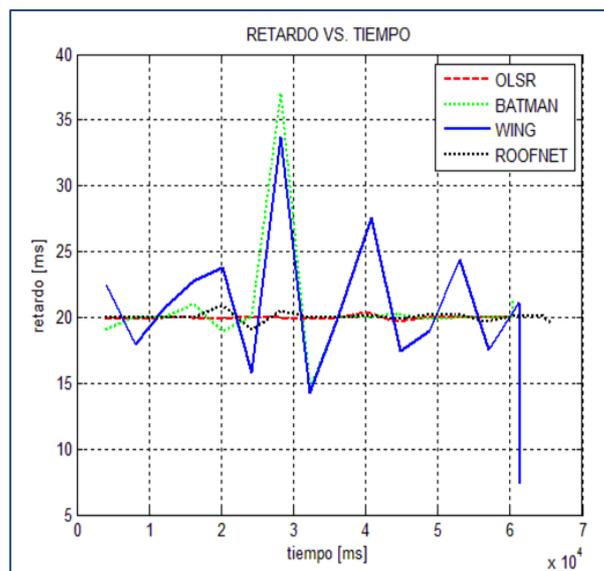


Figura 4: Retardo en Zona 2

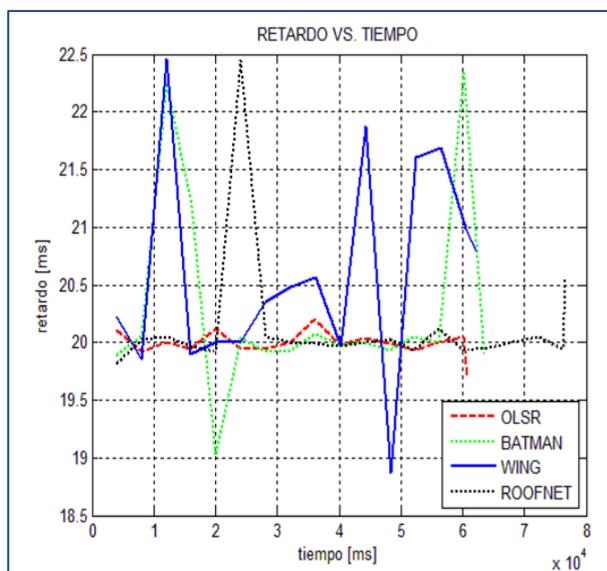


Figura 5: Retardo en Zona 3

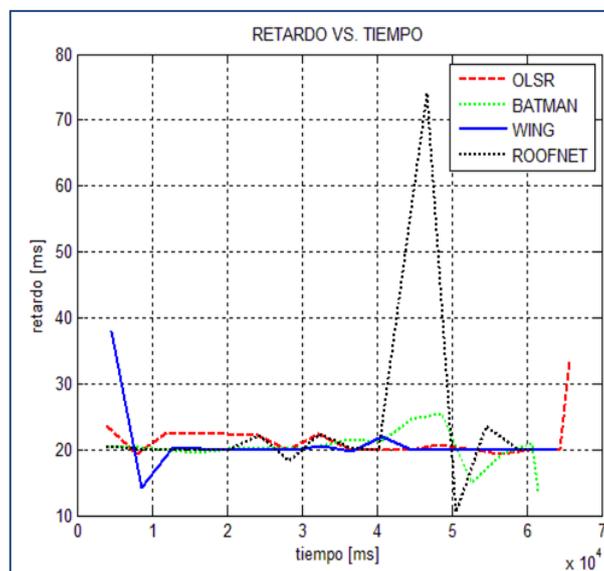


Figura 6: Retardo en Zona 4

OLSR en la zona 1 (Figura 3) muestra dos valores pico de retardo, alrededor de los 20 segundos de llamada y entre los 50 y los 60 segundos. Ambos picos llegan aproximadamente a 22ms. En el intervalo restante, muestra valores muy cercanos a los 20 ms. En las zonas 2 y 3 (Figura 4 y Figura 5 respectivamente), el retardo se mantiene muy estable durante el minuto de duración de llamada en 20 ms. En la zona 4 (Figura 6), presenta una ligera variación a aproximadamente 22 ms entre los 10 y los 30 segundos de llamada, mientras en el tiempo restante sigue en alrededor de 20 ms.

BATMAN en la zona 1 (Figura 3) muestra un valor pico de retardo, durante los primeros 10 segundos de llamada, donde llega a aproximadamente 22 ms. En el intervalo restante, muestra valores muy cercanos a los 20 ms. En la zona 2 (Figura 4), muestra un valor pico más elevado, entre los 20 y 30 segundos de llamada, donde llega a aproximadamente 38 ms, manteniéndose en 20 ms en el tiempo restante. En la zona 3 (Figura 5), BATMAN muestra tres variaciones en valores de retardo; el primero entre los 10 y los 20 segundos de llamada, donde llega a aproximadamente 22.5 ms; el segundo de alrededor de 19 ms entre los 20 y 30 segundos; y el tercero, entre los 50 u 60 segundos de llamada, donde llega a alrededor de 22.5 ms. En la zona 4 (Figura 6), presenta 2 variaciones notables; el primero de ellos se produce entre los 40 y 50 segundos de llamada, donde el retardo llega a aproximadamente 27 ms; y el segundo, entre los 50 y 60 segundos, donde baja a casi 16 ms.

ROOFNET en la zona 1 (Figura 3) muestra valores muy estables durante todo el minuto en el que se hizo

la llamada, con valores extremadamente cercanos a 20 ms. En la zona 2 (Figura 4), ROOFNET muestra dos variaciones muy pequeñas; en la primera, el retardo llega a aproximadamente 21 ms a los 20 segundos de llamada; y, el segundo, entre los 20 y 30 segundos, donde baja a 19 ms; en el intervalo restante el retardo es de aproximadamente 20 ms. En la zona 3 (Figura 5), presenta un pico más notorio, entre los 20 y los 30 segundos de llamada, donde el retardo llega a casi 22.5 ms, mientras se mantiene en aproximadamente 20 ms en el tiempo restante que duró la llamada. En la zona 4 (Figura 6), presenta un pico bastante grande de casi 74 ms, entre los 40 y 50 segundos de llamada; también hay una variación a casi 10 ms seguido de un incremento a 22 ms entre los 50 y 60 segundos, mientras se mantiene en alrededor de 20 ms en el tiempo restante.

WING en la zona 1 (Figura 3) muestra tres valores variables muy notorios comparado con los demás protocolos; el primero de 24 ms entre los 10 y 20 segundos de llamada; el segundo de 16ms alrededor del segundo 20; y el último de 27 ms en los últimos 10 segundos de llamada. En la zona 2 (Figura 4), presenta valores cambiantes nuevamente, donde el pico más alto se produce entre los 20 y 30 segundos de llamada, y llega al valor de 34 ms aproximadamente. En la zona 3 (Figura 5), los valores siguen siendo inestables; el valor más alto es de 22.5 ms y se presenta entre los 10 y 20 segundos de llamada; y el más bajo es de 19 ms y se da en las cercanías del segundo 50. En la zona 4 (Figura 6), en cambio, sí muestra niveles menos cambiantes de retardo, los cuales están muy cercanos a los 20 ms.

Como puede verificarse, en la zona 4 (figura 6) los valores se muestran más equilibrados para cada protocolo (todos están alrededor de los 20 ms). Esto se debe a que esta zona es la que se encuentra en las cercanías del enrutador 1, que hace las veces de puerta de enlace.

Ancho de banda:

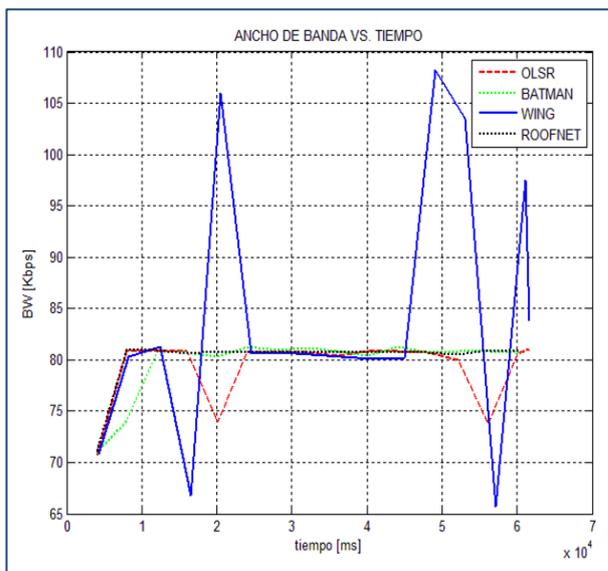


Figura 7: Ancho de banda en Zona 1

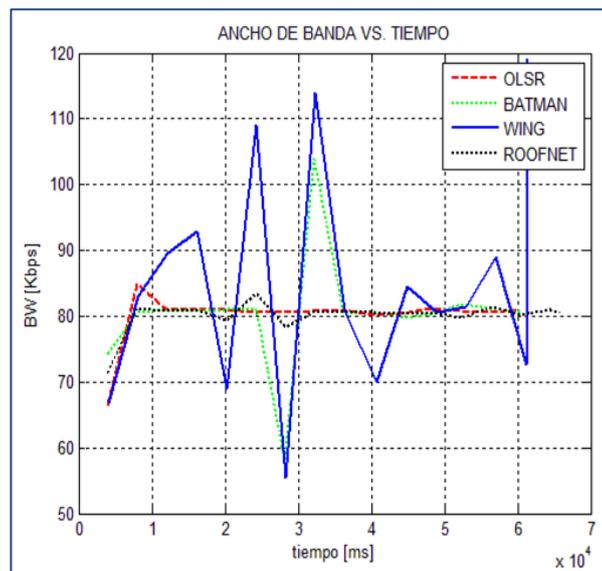


Figura 8: Ancho de banda en Zona 2

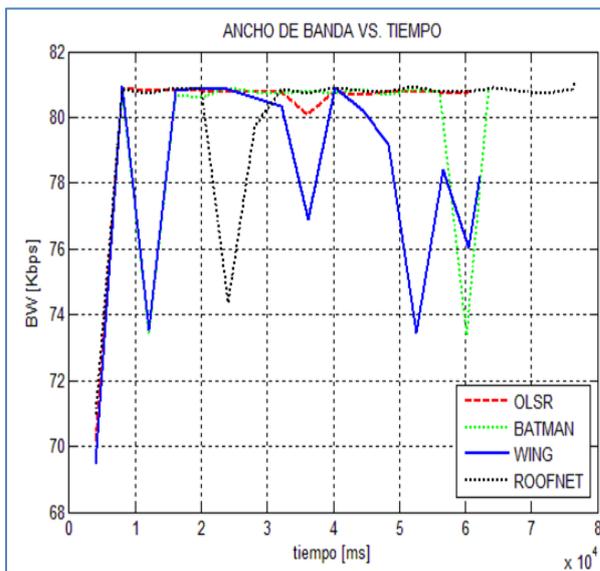


Figura 9: Ancho de banda en Zona 3

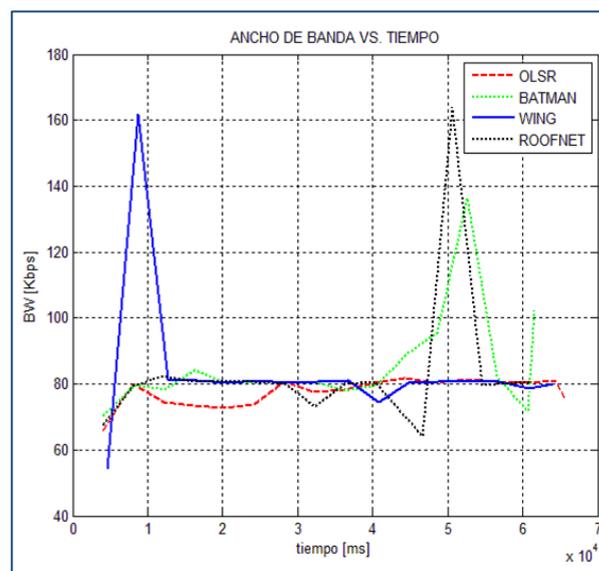


Figura 10: Ancho de banda en Zona 4

OLSR en la zona 1 (Figura 7) muestra dos variaciones en los valores de ancho de banda; el primero alrededor del segundo 20 y la segunda entre los segundos 50 y 60, y ambos valores llegan a 75 Kbps. En el intervalo restante, muestra valores muy cercanos a los 80 Kbps. En las zonas 2 y 3 (Figura 8 y Figura 9 respectivamente), los valores de ancho de

banda se mantienen muy cercanos a 80 Kbps durante el minuto de duración de llamada. En la zona 4 (Figura 10), presenta un descenso a aproximadamente 72 Kbps entre los 10 y los 30 segundos de llamada, mientras en el tiempo restante sigue en alrededor de 80 Kbps.

BATMAN en la zona 1 (Figura 7) muestra una variación notoria en el ancho de banda, durante los primeros 10 segundos de llamada, donde llega a aproximadamente 72 Kbps. En el intervalo restante, el ancho de banda ronda los 80 Kbps. En la zona 2 (Figura 8), muestra un descenso a casi 60 Kbps, entre los 20 y 30 segundos de llamada, y un incremento a 105 Kbps entre los 30 y los 40 segundos, manteniéndose en 80 Kbps en el tiempo restante. En la zona 3 (Figura 9), BATMAN muestra un descenso a 73 Kbps alrededor del segundo 60 de llamada, y se mantiene en 80 Kbps en el intervalo restante. En la zona 4 (Figura 10), presenta un pico notorio que llega a 135 Kbps en los últimos 20 segundos de llamada.

ROOFNET en la zona 1 (Figura 7) muestra valores muy cercanos a 80 Kbps durante todo el minuto de llamada. En la zona 2 (Figura 8), muestra dos variaciones muy pequeñas; en la primera, el ancho de banda llega a aproximadamente 79 Kbps a los 20 segundos de llamada; y, el segundo, entre los 20 y 30 segundos, donde llega a 83 Kbps; en el intervalo restante el ancho de banda tiene valores muy cercanos a 80 Kbps. En la zona 3 (Figura 9), ROOFNET presenta un descenso más notorio que llega a casi 74 Kbps entre los 20 y los 30 segundos de llamada, mientras se mantiene en aproximadamente 80 Kbps en el intervalo restante. En la zona 4 (Figura 10), presenta un pico bastante grande entre los 40 y 50 segundos de llamada, el cual llega a 160 Kbps.

WING en la zona 1 (Figura 7) muestra varios valores variables, que son notorios a simple vista; entre ellos, se pueden destacar los picos a 105 y 108 Kbps en el segundo 20 y 50 respectivamente, y los descensos a 67 Kbps entre los 10 y 20 segundos, y a 65 Kbps entre los segundos 50 y 60. En la zona 2 (Figura 8), se puede apreciar que WING es el protocolo que más variaciones presenta; así, el pico más alto se produce entre los 30 y 40 segundos de llamada, y llega al valor de 115 Kbps aproximadamente; y el valor más bajo se produce entre los 20 y 30 segundos y llega a 57 Kbps. En la zona 3 (Figura 9), WING sigue siendo el protocolo con más intermitencias, llegando hasta un valor máximo de 81 Kbps en varias instancias de la llamada, y desciende hasta alrededor de 74 Kbps en las cercanías de los segundos 10 y 50. Es en la zona 4 (Figura 10), donde WING presenta estabilidad, con un único pico de 160 Kbps alrededor de los 10 segundos, y con valores muy cercanos a 80 Kbps en el intervalo restante.

En las figuras 7, 8, 9, 10, e indiferentemente del protocolo, se puede apreciar claramente el impacto que produce el ancho de banda en el retardo de los paquetes. Es así, que cuando aumenta el valor del ancho de banda, el valor del retardo disminuye; y, cuando el valor del ancho de banda disminuye, el valor del retardo aumenta. WING, seguido por

BATMAN, muestran valores cambiantes de ancho de banda, lo cual se ve puede ver reflejado en el retardo. OLSR y Roofnet muestran valores más estables, que están alrededor de 80Kbps.

Se puede apreciar una vez más que en la zona 4 (Figura 10), los resultados son más equilibrados, debido a la cercanía a la puerta de enlace. A medida que la laptop con el cliente softphone móvil se aleja de esta zona, la diferencia es más notoria entre cada protocolo; así en la zona 3 (figura 9) es donde se puede apreciar más claramente este aspecto.

6. Conclusiones

Del análisis de los gráficos, se puede afirmar que cada uno de los cuatro protocolos de enrutamiento empleados para estas pruebas, muestran resultados satisfactorios en cuanto a los valores de retardo de los paquetes, puesto que no se observan valores distantes entre sí. De igual manera, las gráficas de ancho de banda ayudan a visualizar y entender el motivo de estos valores.

No obstante, de todo este estudio realizado se puede concluir que el protocolo proactivo OLSR presenta un mejor desempeño puesto que se obtuvo mejores valores y más estables para este tipo de redes inalámbricas malladas. Es por ello, que OLSR es el protocolo que recomendamos para aplicaciones de Voz sobre IP, similares a las de este proyecto.

Se puede apreciar que ROOFNET muestra excelentes valores en cada zona, siendo únicamente superado por OLSR. De hecho, hay momentos en que ambos presentan valores muy similares. Esto lo atribuimos al hecho de que ambos protocolos emplean la métrica ETX, la cual supera a la de número de saltos que utiliza B.A.T.M.A.N.

WING, aún cuando está configurado para emplear la métrica WCETT (la cual debería superar a ETX), nos ofrece valores muy variantes en los parámetros de evaluación. Pero, considerando que esta es una de las primeras pruebas que se realiza con este protocolo en campo abierto, los resultados son muy buenos.

Como trabajo a futuro, planteamos el uso de redes con un número mayor de nodos y el uso de pruebas adicionales de saturación, a fin de poner a un estrés mayor a los protocolos de enrutamiento y así mostrar una perspectiva diferente a lo iniciado en este paper. De igual manera, se plantea realizar pruebas de escalabilidad, las cuales no se pudieron realizar en este proyecto debido a limitantes de infraestructura.

Consideramos que el presente trabajo tiene como fortalezas el análisis comparativo de varios protocolos de enrutamiento en las instalaciones de la FIEC, como

un análisis práctico de factibilidad de implementación de servicios de telefonía sobre IP en la Facultad.

7. Referencias

- [1] Ian Fuat Akyildiz and Xudong Wang. "Wireless mesh networks".
- [2] Sudip Misra, Subhas Chandra Misra and Isaac, Woungang, *Guide to wireless mesh networks*.
- [3] Mansi Ramakrishnan and Ravi Prakash. "A Distributed Protocol for Dynamic Address Assignment in Mobile Ad Hoc Networks", this paper appears in: *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 5, no. 1, pp. 4-19, Jan 2006.
- [4] Ian Fuat Akyildiz and Xudong Wang. "Wireless mesh networks".
- [5] David B. Johnson, David A. Maltz. "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks".
- [6] http://es.wikipedia.org/wiki/Optimized_Link_State_Routing
- [7] <http://en.wikipedia.org/wiki/B.A.T.M.A.N>
- [8] Daniel Aguayo, John Bicket, Sanjit Biswas and Douglas De Couto. "MIT Roofnet Implementation".
- [9] <http://www.wing-project.org/>
- [10] <https://openwrt.org/>
- [11] Beatriz Gómez Suárez, Javier Maimó Quetglas, y Juan Merideño García. "Wireless Mesh Networks", *Enginyeria Informàtica Universitat de les Illes Balears*.
- [12] Jangeun Jun and Sichitiu, M.L., "The Nominal Capacity of Wireless Mesh Networks", this paper appears in: *Wireless Communications, IEEE*. on pages 8-14.
- [13] Jian Tang, Guoliang Xue and Weiyi Zhang, "Interference-Aware Topology Control and QoS Routing in Multi-Channel Wireless Mesh Networks", *MobiHoc'05*, May 25-27, 2005, Urbana-Champaign, Illinois, USA.
- [14] Auliria Torres O., Rommel Torres, Departamento de Redes, "Enrutamiento con QoS en Redes Móviles Ad hoc" en *Jornadas de Sistemas de Telecomunicaciones*, Junio 2009.
- [15] Marvin Agila, Liliana Enciso y Rommel Torres, "Voip sobre Redes Móviles" en *Jornadas de Sistemas de Telecomunicaciones*, Junio 2009.
- [16] Alexander Leal y Natalia Gaviria. "Simulación del Desempeño de Protocolos de Enrutamiento en la Transmisión de Video MPEG4 sobre Redes Inalámbricas Malladas", en *Jornadas de Sistemas de Telecomunicaciones*, Junio 2009.
- [17] María Canales, José Ramón Gallego, Angela Hernández-Solana y Antonio Valdovinos, "Encaminamiento con Calidad de Servicio para Redes Móviles Ad-Hoc", *Grupo de Tecnologías de las Comunicaciones: Universidad de Zaragoza*.
- [18] Dr. Ahmed H. Omari and Ala'a H. Khrisat, "A Dynamic and Reliable Mesh Routing Protocol for Wireless Mesh Networks (DRMRP)" en *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, VOL.9 No.4, April 2009.
- [19] Palazzi, C.E. Brunati, M. Roccetti, "An OpenWRT solution for wireless homes", in *ICME 2010 IEEE* on pages 1701-1706.
- [20] Riggio, R.; Gomez, K.; Rasheed, T.; Gerola, M.; Miorandi, D.; "Mesh your Senses: Multimedia Applications over WiFi-based Wireless Mesh Networks in SECON Workshops '09., IEEE., on pages 1-3.
- [21] Ying Ge, Thomas Kunz, Louise Lamont, "Quality of Service Routing in Ad-Hoc Networks Using OLSR" in *System Sciences, 2003. Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference* on page 9.
- [22] John Bicket, Daniel Aguayo, Sanjit Biswas, Robert Morris, "Architecture and Evaluation of an Unplanned 802.11b Mesh Network", in *MobiCom'05*, August 28-September 2, 2005, Cologne, Germany.
- [23] Basurto, J.C.; Estrada, R. "An Experimental Study of VoIP Performance in Wireless Mesh Networks Using Different Mobility Approaches", this appears in: *Software Technology and Engineering (ICSTE), 2010 2nd International Conference* on.
- [24] David Johnson, Ntsibane Ntlatlap and Corinna Aichel. "A simple pragmatic approach to mesh routing using BATMAN" this paper appears in *Wireless technologies General science, engineering & technology*
- [25] Sebastián D. Criado, Julio C. Puigpino. "Lugro-Mesh: Tecnología Mesh Aplicada a Redes WiFi Comunitarias" disponible en <http://www.lugro-mesh.org.ar/>
- [26] Daniel Aguayo, John Bicket, Sanjit Biswas and Douglas De Couto. "MIT Roofnet: Construction of a Community Wireless Network".
- [27] <http://en.wikipedia.org/wiki/Roofnet>
- [28] <http://www.olsr.org/>