

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED WMAN MEDIANTE EL ESTÁNDAR IEEE 802.11g MODIFICADO PARA ENLACES DE LARGO ALCANCE

Ramiro Arias
Departamento de Eléctrica y Electrónica
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
Sangolquí, Ecuador
rparias2@espe.edu.ec

Gino Gavilanes
Departamento de Eléctrica y Electrónica
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
Sangolquí, Ecuador
gegavilanes@espe.edu.ec

Resumen— Este trabajo de investigación se enfoca en el estudio de la capa MAC del estándar IEEE 802.11g modificado para enlaces de largas distancias, luego se planeó el diseño de una red WiLD para la ESPE orientado a las sedes ubicadas fuera del perímetro urbano de Quito, mediante el software Radio Mobile se determinó que no hay línea de vista entre las sedes por lo cual se ubicaron repetidores en sitios estratégicos con el objetivo de garantizar la comunicación de datos entre las sedes. Luego por medio del software de simulación para eventos discretos y de comportamiento de redes, denominado ns-3, se analizan los parámetros de capa MAC: Acktimeout, CTStimeout y SlotTime, así también los parámetros de QoS: throughput, delay, jitter y paquetes perdidos; permitidos para establecer una comunicación eficiente y poder transmitir datos. Finalmente se implementó uno de los enlaces con mayor longitud, para realizar el análisis del desempeño de la red mediante el inyector de tráfico con el software D-ITG. A partir del análisis de los resultados obtenidos se determina que la red únicamente garantiza el tráfico de datos. Ya que existen limitaciones por parte de los equipos.

Abstract— This research was focused on the study of the MAC layer of the IEEE standard 802.11g modified for long distance links, then planned the WiLD network design for ESPE oriented venues located outside the urban perimeter, and for this repeaters were located that allowed possible the best

option. In the study performed were analyzed the parameters that affect the quality of a telecommunications link including being the line of view, for each site that makes all this network was performed using the software Radio Mobile. The software was then used for discrete event simulation and network behavior, called ns-3 in order to analyze the MAC layer parameters, so the throughput, delay, packet loss, allowed for efficient communication and transmit VoIP and data. Once these factors were analyzed was chosen the best option described in the design, finally implemented one of the links in greater length, for the analysis of network performance through traffic injector D-ITG.

Keywords: MAC layer, WiLD Network, ns-3, D-ITG.

I. INTRODUCCIÓN

En países en vías de desarrollo es frecuente que zonas rurales de gran extensión carezcan por completo de infraestructuras de telecomunicación. Esto supone un obstáculo para el desarrollo y la calidad de vida de las personas. Las razones de esta carencia van desde el alto costo de las tecnologías convencionales hasta las dificultades propias del entorno, tales como: la carencia de alimentación eléctrica, las dificultades de acceso a instalaciones y la falta de seguridad física en emplazamientos deshabitados.

Hay algunas experiencias que permiten asegurar que la tecnología IEEE 802.11 diseñada, en principio, como solución para redes inalámbricas de área local, puede ser útil para el despliegue de redes

extensas en zonas aisladas de países en desarrollo, por su flexibilidad, prestaciones y bajo costo.

El presente proyecto tiene como fin el diseño de la red de larga distancia para las Sedes de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, garantizando el desempeño y calidad de servicio para tráfico de voz y datos en el enlace de largo alcance: Atacazo – Guango que tiene una distancia de 61,5 Km. Para ello se utiliza la tecnología no estandarizada *Wireless Fidelity for Long Distance* (WiLD), que parte de modificaciones de la capa MAC del estándar IEEE 802.11.

Introducción La planificación de la red WiLD ESPE se centra en los resultados arrojados por el simulador de radio enlace, Radio Mobile, el simulador de redes ns-3; centrándose en los detalles de los equipos utilizados, y el montaje del enlace. Para las pruebas y mediciones, así como para el análisis de resultados, el software utilizado es el inyector de tráfico D-ITG con el que se muestran los datos que permiten evaluar la eficiencia del canal del enlace a implementarse.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

Últimamente se han realizado otros trabajos de investigación para el desarrollo de esta tecnología; que trabaja con enlaces de larga distancia bajo el estándar IEEE 802.11b. Se concluye que un enlace de estas características deberá ser planeado para situaciones totalmente predecibles, y que cualquier variación de cualquier clase afectará drásticamente a la red [5].

El proyecto de grado bajo el nombre “Análisis del desempeño de una red con tecnología WIFI para largas distancias en la región costa” desarrollado en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE permitió la comunicación entre dos puntos a una distancia de 34.1 Km. Cabe recalcar que el software de simulación, ns-2 (Network Simulator 2), permitió determinar un modelo del sistema en una distancia de únicamente 30 Km [6].

El Software de Simulación ns-2 está limitado por la configuración de los parámetros de la capa MAC

y la distancia, ya que los parches de NS Teens permiten simular únicamente un enlace a la vez de máximo 60 Km. Mientras que, el ns-3, en el caso particular de la tecnología WiLD, en contraparte con ns-2, permite simular enlaces de mayores distancias adaptando los valores de AckTimeOut, CtsTimeOut y SlotTime para la distancia que se requiere en cada enlace, y para una red completa.

El aporte del actual proyecto será la realización de un enlace que supera los 60 km utilizando el estándar 802.11 g, que utiliza, a su vez, la modulación OFDM y además del diseño de una red que conecte las diferentes sedes de la ESPE, utilizando el simulador ns-3.

La tesis doctoral denominada “Modelado y optimización de IEEE 802.11 para su aplicación en el despliegue de redes extensas en zonas rurales aisladas de países en desarrollo” realizada por el Doctor Javier Simo, en un modelo analítico justifica el comportamiento de estos enlaces con distancias entre los 6 y 100 Km en el estándar 802.11.

III. CAMBIO DE PARÁMETROS EN LA CAPA MAC

Los parámetros de la capa MAC del estándar IEEE 802.11 a ser modificados para obtener enlaces de larga distancia son:

- Acktimeout
- Ctstimeout
- Slot time

Acktimeout este parámetro se define en el texto del estándar como el tiempo en que la estación transmisora espera la llegada del ACK una vez que ha terminado la transmisión de un paquete.

Para la mayoría de resultados en todas las pruebas se han utilizado los parámetros especificados en la Tabla 3.1, valores obtenidos de la información proporcionada por el estándar [16].

Los valores para largas distancias se calculan utilizando la Ecuación 3.1 [2].

$$ACKT_{imeout} = SIFS + 2\delta + PLCP_{Preamble} + PLCP_{Header} + SlotTime$$

(3.1)

Tabla 3.1 Parámetros de IEEE 802.11g con PHY ERP-OFDM [2]

Nombre del Parámetro	Valor
PLCPHeader	4 μ s
PLCP Preamble	16 μ s
δ	Distancia/c
ACK Timeout	SIFS+ACK+SlotTime+2 δ
SIFS	10 μ s
σ	9 μ s
DIFS	28 μ s
Tiempo de extensión de la señal. (Presente al final de todo paquete 802.11g)	6 μ s

El modo fundamental ERP-OFDM, de implementación obligatoria, es casi idéntico al de 802.11a. La única diferencia es que la trama se cierra con una extensión de señal que no es más que un tiempo vacío de 6 μ s. Este tiempo es una adaptación para mantener las mismas velocidades y formatos de trama de 802.11a, pero manteniendo SIFS de 10 μ s, igual que en 802.11b por compatibilidad hacia atrás, y se debe a que SIFS en 802.11a es de 16 μ s [2].

Se han identificado los parámetros a modificar y se han calculado sus valores en función de la distancia. Valores que comprobados en el simulador para los diferentes enlaces. En la Tabla 3.2 se muestran los valores calculados utilizando los valores de la Tabla 3.1 aplicando la Ecuación 3.1.

Tabla 3.2 Valores de ACKTimeout SlotTime y CTSTimeout calculados para los distintos enlaces de la red WILD

Enlace	Distancia [m]	Tiempo de Propagación [μs]	Slot Time [μs]	ACKTimeout [μs]	CTSTimeout [μs]
ESPE Sangolquí - Atacazo	19954	66.5	133	193	193
IASA I - Atacazo	23379	77.9	156	216	216
Atacazo - Guango	61536	205	410	470	470
Atacazo - Bombolí	64919	216	433	493	493
IASA II - Bombolí	22528	75.1	150	210	210
ESPE Latacunga - Guango	13051	43.5	87.0	147	147

IV. PLANIFICACIÓN DE LA RED

Se realizó un estudio de las líneas de vista de las sedes de la ESPE con el software Radio Mobile, determinándose que es necesaria la utilización de repetidoras para interconectar dichas sedes, debido a que todos los enlaces no tienen línea de vista (LOS). Por lo que, utilizando el software Google Earth se determinó la ubicación de los emplazamientos de la red WiLD ESPE.

La ubicación y altura de los nodos a interconectarse de las sedes de la ESPE se detallan en la Tabla 4.1

Tabla 4.1 Coordenadas Sedes ESPE

Código	Nodo	Ubicación	Altura [m]
Base1	ESPE Sangolquí	00°18'50.5''S 78°26'43''W	2510
Base2	ESPE Latacunga	00°55'57''S 78°36'35''W	2894.5
Base3	IASA I	00°23'35''S 78°24'52''W	2759
Base4	IASA II	00°24'44''S 79°18'32''W	290

Se determinó la ubicación de las repetidoras para interconectar dichas sedes como se indica en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Coordenadas Repetidores red WiLD

Código	Nodo	Ubicación	Altura [m]
Rp1	Atacazo	00°21'22.2''S 78°37'9.1''W	4474
Rp2	Bombolí	00°14'48.2''S 79°11'31.30''W	600.3
Rp3	Guango	00°53'45''S 78°30'6.00''W	3964

A continuación se describe la configuración en Radio Mobile de dicha red: los íconos con el símbolo del triángulo celeste representan a las sedes de la ESPE mientras que los puntos de color rojo representan los repetidores. En total, son tres repetidores para interconectar las cuatro sedes de la ESPE siendo siete los elementos que conforman la red WiLD ESPE. En la Figura 4.1 se muestra los enlaces de los nodos de la red WiLD ESPE.

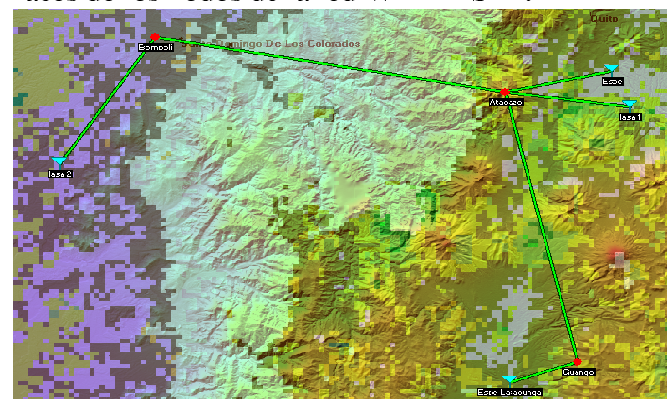


Figura 4.1 Diseño de la Red con Radio Mobile

Como parte del diseño se debe definir las direcciones IP de todos los equipos que conforman dicha red: routers y repetidores. Para no desperdiciar direcciones IP se utiliza el método de

sub direccionamiento, el cual permite tener una mejor administración de red y reduce el tráfico de broadcast.

Para distribuir la red WiFi en cada sede, se necesita de cuatro subredes. Para cada subred se sub direcciona la dirección IP: 10.0.0.0/16, con el objeto de obtener redes que estén acorde al número de host o usuarios en cada sede. La dirección IP asignada a los equipos de cada subred de acuerdo a su ubicación, se muestra en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Resumen de direcciones IP para los equipos finales de los usuarios de las sedes

NODOS	Dirección de subred		Primera dirección de host		Última dirección de host		Máscara	# HOST
IASA II	10.0.0.0/27	10.0.0.1/27	10.0.0.30/27	255.255.255.224				30
IASA I	10.0.7.0/26	10.0.7.1/26	10.0.7.62/26	255.255.255.192				62
ESPE Sangolquí	10.0.6.0/24	10.0.6.1/24	10.0.6.254/24	255.255.255.0				254
ESPE Latacunga	10.0.1.0/25	10.0.1.1/25	10.0.1.126/25	255.255.255.128				126

Para las direcciones de las sedes principales el tipo de la máscara dependerá de la cantidad de hosts por red así por ejemplo para la sede ESPE Sangolquí se la sub direccionó con máscara /24 para restringir a un número máximo de 254 host, de la misma manera se asignó para el resto de sedes con el objetivo de reducir el tráfico de broadcast y así no afectar el desempeño en la red WiLD ESPE.

Los enlaces de la red WiLD ESPE se realizará con una topología punto a punto, que cuenta con 6 enlaces que unen las sedes principales por lo que se procedió a sub direccionar la red 192.168.10.160/27 y así asignar una dirección a cada uno de los enlaces como se muestra en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Direccionamiento IP de los enlaces

ENLACE		SUBRED	Nodo A	Nodo B
Nodo A	Nodo B			
IASA II	BOMBOLÍ	192.168.10.160/27	192.168.10.171	192.168.10.172
BOMBOLÍ	ATACAZO	192.168.10.160/27	192.168.10.169	192.168.10.170
ATACAZO	ESPE SANGOLQUÍ	192.168.10.160/27	192.168.10.167	192.168.10.168
ATACAZO	IASA I	192.168.10.160/27	192.168.10.165	192.168.10.166
ATACAZO	GUANGO	192.168.10.160/27	192.168.10.161	192.168.10.162
GUANGO	ESPE LATACUNGA	192.168.10.160/27	192.168.10.163	192.168.10.164

Adicionalmente se opta interconectar un ISP con la dirección 192.188.58.35/24 en la sede ESPE Sangolquí, con la finalidad de compartir esta conexión a la nube y así compartir el internet a

todas las sedes que conforman la red WiLD ESPE.

En la Figura 4.2 se indica un esquema del diseño y direccionamiento IP de la red WiLD ESPE.

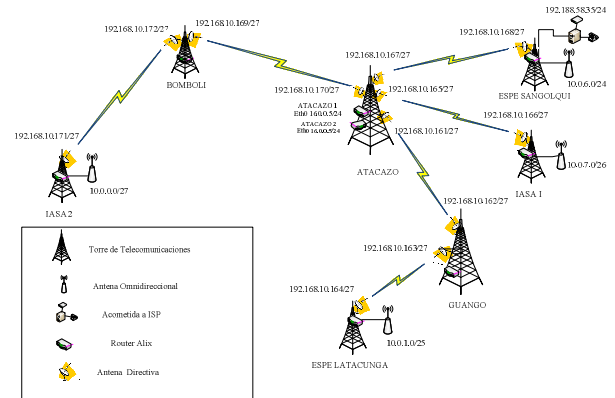


Figura 4.2 Esquema de la RED WiLD

V. SIMULACIÓN

En este apartado se describen los resultados de las simulaciones con el software ns-3 bajo el estándar IEEE 802.11g, para lo cual se realizaron las modificaciones y adaptaciones para largas distancias, mencionadas en el Capítulo 3. Es decir, a través del ns-3 se modificaron los tiempos: Acktimeout, Cttimeout y Slot Time; los mismos que evitan las retransmisiones debidas a tiempos de propagación demasiado extensos.

Se han tomado como base el tamaño de paquete de 1500 bytes para todas las distancias y diferentes tasas de transmisión, el tráfico empleado es unidireccional. Dicho software permite realizar la evaluación de los parámetros de interés: paquetes perdidos, retardo, throughput y jitter. También previo a la utilización de esta herramienta de simulación se ha realizado un estudio del comportamiento del throughput con respecto a las tasas de transmisión. Expuesto a continuación [2]:

Se observa que, no siempre, las mayores velocidades dan lugar a mayores caudales. La velocidad de 6Mbps aproxima mucho las prestaciones que se obtienen en 11Mbps y tiene una sensibilidad mucho mejor, en la Figura 5.1 se muestra el caudal en función de la distancia para las tasas de transmisión del estándar IEEE 802.11 [2].

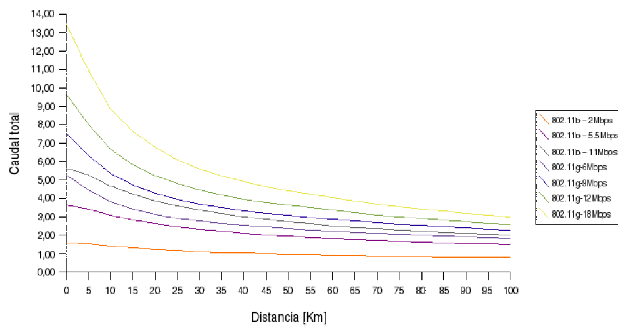


Figura 5.1 Caudal para distintas velocidades de 802.11 b/g [2]

De forma que cuanto mayor sea la velocidad, mayor es la potencia necesaria en recepción para mantener un enlace con una BER (Bit Error Rate) baja. Esta potencia, llamada sensibilidad, obliga a usar velocidades bajas si se quiere lograr enlaces de larga distancia con una cierta estabilidad. La diferencia en la sensibilidad de recepción entre 1 y 11Mbps, aunque depende de equipos, suele ser de más de 10 dB, lo cual equivale prácticamente a cuadruplicar con 1Mbps el alcance que se tiene con 11Mbps.

Para realizar la simulación en el ns-3 se tomó como base el archivo de texto “network report.txt” que arroja el software Radio Mobile. Mediante la adaptación de la herramienta Wireless Planning [22] para que tenga compatibilidad con el estándar IEEE 802.11g se obtienen las gráficas de resultados: histograma del retardo, delay, paquetes perdidos y throughput; para las siguientes velocidades de transmisión: a 5.5 Mbps Figura 5.2, a 6 Mbps Figura 5.3, a 2 Mbps Figura 5.4, las Figuras mencionadas se muestran a continuación.

```
Simulation in ns-3, IEEE 802.11g modified to WiLD
Distance =      61536m
DataRate =      5.5Mbps
Tx Packets =    40791
Rx Packets =    16627
Delay =         2.10161ns
Jitter =        0.00254096ns
Throughput=     2.1756 Mbps
Tx Bytes =     62328648
Rx Bytes =     25406056
Lost Bytes =    59.2386 porciento
root@ubuntu:~/estandarg/ns-allinone-3.11/ns-3.11#
```

Figura 5.2 Resultado de la simulación enlace Atacazo-Guango a 5.5 Mbps

```
Simulation in ns-3, IEEE 802.11g modified to WiLD
```

```
Distance =      61536m
DataRate =      6Mbps
Tx Packets =    44499
Rx Packets =    16627
Delay =         2.10363ns
Jitter =        0.00252972ns
Throughput=     2.1756 Mbps
Tx Bytes =     67994472
Rx Bytes =     25406056
Lost Bytes =    62.6351 porciento
root@ubuntu:~/estandarg/ns-allinone-3.11/ns-3.11#
```

Figura 5.3 Resultado de la simulación enlace Atacazo-Guango a 6 Mbps

```
Simulation in ns-3, IEEE 802.11g modified to WiLD
```

```
Distance =      61536m
DataRate =      2Mbps
Tx Packets =    14833
Rx Packets =    14833
Delay =         0.00521176ns
Jitter =        0.00125378ns
Throughput=     1.94294 Mbps
Tx Bytes =     22664824
Rx Bytes =     22664824
Lost Bytes =    0 porciento
root@ubuntu:~/estandarg/ns-allinone-3.11/ns-3.11#
```

Figura 5.4 Resultado de la simulación enlace Atacazo-Guango a 2 Mbps

Las Figuras 5.2 y 5.3 muestran la cantidad de paquetes perdidos para las velocidades 5.5 Mbps y 6 Mbps, siendo éstas demasiado altas de acuerdo a lo planteado en el diseño de la red WiLD. Por lo tanto se escoge una tasa de transmisión menor siendo esta igual a 2 Mbps, sus gráficos de simulación se muestran en las Figuras 5.4. Por lo tanto las mediciones y cálculos se toman a dicha velocidad de transmisión ya que al hacerlo a mayores velocidades no aportará información adicional relevante. Finalmente la velocidad de transmisión que rige el diseño de la red WiLD ESPE es la señalada anteriormente, ya que garantizará el mejor desempeño a dicha red.

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la parte experimental de esta investigación se describen en las gráficas y tablas que se presentan a continuación. Se realizaron dos tipos de pruebas, la primera con la capacidad máxima del canal es decir a 2Mbps, la segunda a 800Kbps, para las cuales se seleccionó el protocolo de transporte UDP con el fin de inyectar tráfico de VoIP.

1. Se saturó el canal a 2Mbps, con paquetes de 512bytes de longitud y 450 paquetes por segundo.
2. Posteriormente, se inyecta tráfico a 800Kbps, con paquetes de 512bytes de longitud y 196 paquetes por segundo.

```

Compile-time options: sctp dccp arm onoff
-----
Flow number: 1
From 11.0.0.2:38251
To 10.0.0.2:8999
-----
Total time = 11.145117 s
Total packets = 3379
Minimum delay = 1.358112 s
Maximum delay = 2.516079 s
Average delay = 2.124849 s
Average jitter = 0.003852 s
Delay standard deviation = 0.305653 s
Bytes received = 1736048
Average bitrate = 1241.633890 kbit/s
Average packet rate = 303.182102 pkt/s
Packets dropped = 782 (18.79 %)

```

Figura 6.1 Archivo del receptor prueba 1

Se ve en esta figura el resumen de la primera prueba de donde se analiza lo siguiente: el promedio del bitrate es 1.24Mbps por pérdidas de paquetes, este valor es del 18.79%, adicionalmente se observa el promedio de delay igual a 2.12 segundos, por lo tanto el canal no puede ser saturado llegando al límite de su capacidad siendo esta de 2Mbps.

```

Compile-time options: sctp dccp arm onoff
-----
Flow number: 1
From 11.0.0.2:41587
To 10.0.0.2:8999
-----
Total time = 9.995515 s
Total packets = 1929
Minimum delay = 1.366243 s
Maximum delay = 1.819972 s
Average delay = 1.465721 s
Average jitter = 0.005198 s
Delay standard deviation = 0.123827 s
Bytes received = 987648
Average bitrate = 790.472927 kbit/s
Average packet rate = 192.986554 pkt/s
Packets dropped = 39 (2.02 %)

```

Figura 6.2 Archivo del receptor prueba 2

Se observa en la Figura 6.2 el resumen de la segunda prueba de donde se analiza lo siguiente: el promedio del bitrate es 790 Kbps, siendo resultando relativamente constante, habiendo una pérdida de paquetes igual al 2.02%, también se observa el promedio de delay igual a 1.47 segundos, por lo tanto el canal puede ser usado en transmisiones de

datos.

De los gráficos de las Figuras 6.1 y 6.2 correspondientes a las pruebas uno y dos se concluyen lo siguiente:

- A mayor distancia aumenta el delay, por lo tanto, no se puede transmitir VoIP, ya que el delay no debe ser mayor a 180ms, la ITU-T G.114 recomienda que el retardo sea menor a 150ms. [25]
- La pérdida de paquetes es otro limitante ya que ésta no debe sobrepasar el 1% para VoIP con el códec G.711 para evitar errores de audibles.
- En el caso de una transmisión de datos, los paquetes perdidos no son una limitante en una conexión TCP ya que solo se incrementa el número de retransmisiones.
- El jitter no es una limitante para transmisiones de datos ya que éste no sobrepasa los 6 milisegundos. Y en el caso específico para VoIP no debe sobrepasar los 100 ms de acuerdo a la recomendación RFC 3550. [26]

VII. CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis realizado se concluye que a grandes distancias entre transmisor y receptor es inminente el deterioro del throughput debido al aumento de errores por el incremento de retransmisiones y así también al hacer uso de la banda ISM en la frecuencia de 2.4 GHz hay demasiada interferencia ya que en la actualidad hay muchos equipos que funcionan en esta banda, provocando que el rendimiento de la red decaiga.

Para enlaces de largas distancias es necesario: modificar el tiempo de espera para los acuses de recibo (ACK), así también el *Clear To Send Time Out* (CTS), y el *Slottime* en función de la distancia del enlace.

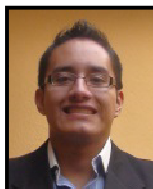
De acuerdo al análisis de los resultados se verificó que los parámetros como delay y paquetes perdidos no permitirán que una comunicación se realice exitosamente para tráfico de VoIP. Pero si se garantiza el tráfico de datos ya que la pérdida de paquetes no supera el 2%.

REFERENCIAS

- [1] Community Wireless Summit, “Network, Sonesh SuranaTIER, UC Berkeley”, Loyola College, Columbia, MD, May 18, 2007.
- [2] Simó, Francisco, Modelado y optimización de IEEE 802.11 para su aplicación en el despliegue de redes extensas en zonas rurales aisladas de países en desarrollo, Universidad Politécnica de Madrid, Enero del 2007.
- [3] Espinoza Avalos Sandra Paulina “ESTUDIO DE VIABILIDAD TECNICA Y ECONOMICA PARA LA MIGRACION DE RED WIFI A WIMAX EN ENTORNOS RURALES” http://oa.upm.es/7395/1/PFCD_WIFI-WIMAX_SandraEspinoza.pdf, Febrero de 2010.
- [4] Ecuador Universitario, “Acceso a Internet en Ecuador”, <http://ecuadoruniversitario.com/ciencia-y-tecnologia/55-millones-de-personas-tienen-acceso-a-internet-en-ecuador/>, 19 de octubre de 2012.
- [5] Cano Isabel, Almeida Fernando, “ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UNA RED CON TECNOLOGÍA WIFI PARA LARGAS DISTANCIAS EN LA REGIÓN COSTA”, <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/5710>.
- [6] Tamayo Viviana, Barrionuevo Evelin, “ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UNA RED CON TECNOLOGÍA WIFI PARA LARGAS DISTANCIAS EN UN AMBIENTE RURAL DE LA REGIÓN SIERRA”, <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2934>.
- [7] PC Engines, “Contact PC Engines”, <http://www.pceingines.ch/about.htm>, Diciembre de 2012.
- [8] CONATEL, RESOLUCIÓN-TEL-560-18-CONATEL-2010, <http://www.conatel.gob.ec/>, Enero de 2013.
- [9] María Elena Gil Jiménez ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE ENCAMINAMIENTO DEL PROTOCOLO AODV EN REDES AD HOC INALAMBRICAS DE GRAN ESCALA Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicaciones, Universidad Rey Juan Carlos 2009.
- [10] García, Salvador, Radio Mobile para Windows, <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/6989/17/Anexo%2016.pdf>, publicado en octubre del 2010, disponible en diciembre del 2012., pagina 9..
- [11] Hugo Durney W. Diseño e implementación de radioenlaces y estaciones repetidoras Wi-Fi para conectividad de escuelas rurales en zona sur de Chile, Universidad Tecnológica Metropolitana, Departamento de Electricidad, página 1-6.
- [12] REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA Herramientas de Software Aplicadas a las Telecomunicaciones 2010.
- [13] Página oficial de Radio Mobile. <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>, diciembre 2012.
- [14] ns-3 tutorial, Tom Henderson, SimuTools Conference, publicado marzo de 2008, revisado junio 2012.
- [15] GUIAS PRACTICAS DE LABORATORIO DE COMUNICACIONES INALAMBRICAS ING. ROMAN LARA C. Escuela Politécnica del Ejército, 2011.
- [16] Camacho L., Grupo de Telecomunicaciones Rurales Pontificia Universidad Católica del Perú, WiFi base on long distance, <http://gtr.telecom.pucp.edu.pe/system/files/WiLD.pdf>, disponible en junio del 2012, primera edición, agosto del 2009, disponible en junio del 2012.
- [17] Adi, Engineering, Inc, Pronghorn SBC Hardware Manual, 21 páginas. http://site.microcom.us/PronghornSBC_Hardware_Manual.pdf, disponible en junio del 2012.
- [18] Soekris engineering. Inc., net4826 Product Range, <http://soekris.com/products/net4826.html>, disponible en junio de 2012.
- [19] ESPE, <http://www.espe.edu.ec/portal/portal/main.do?sectionCode=407>, disponible en enero de 2012.
- [20] Atheros Ubiquiti, “Datasheet”, <http://www.ubnt.com/>, Enero de 2013.
- [21] Osuna, Pablo, Redes “Mesh” Wi-fi de bajo coste Desarrollo de un router inalámbrico solar, Universidad Politécnica de Madrid, Julio del 2006.
- [22] Azpiroz de Pedro, Patxi, Integración de Radio Mobile y Ns-3 para la planificación de redes rurales híbridas Wimax+Wifi, Universidad Carlos III de Madrid, 2 de julio de 2010.
- [23] Villacis, David, Estudio de factibilidad de la Utilidad Asterisk en placas Alix, Escuela Politécnica del Ejército, 2011.
- [24] HyperLink Technologies, INC, Antena HG2424G, <http://www.hyperlinktech.com>, marzo de 2013.
- [25] ITU-T G.114, <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.114-200305-I/es>, septiembre 2013.
- [26] RFC 3550, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3550.txt?number=3550>, septiembre 2013.



Ramiro Paul Arias Maldonado.- Nació en Cayambe, Ecuador el 5 de mayo de 1988, Sus estudios primarios los realizó en la escuela “Mena del Hierro”. La secundaria fue en el colegio “Mejía”. Egresado de la carrera de ingeniería Electrónica en telecomunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Sus actuales intereses son las Comunicaciones Inalámbricas y las redes WiLD, realizó su proyecto de grado sobre este tema, para obtener el título de Ingeniería en el 2013.



Gino Esteban Gavilanes Guerrero.- Nació en Quito, Ecuador el 05 de noviembre de 1988. Estudió en la Escuela Experimental “San Francisco de Quito”, posteriormente obtuvo el título de Bachiller Técnico Industrial en Electricidad y Electrónica en el Colegio Técnico Experimental Salesiano “Don Bosco”. Egresado de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Sus intereses son el desarrollo de hardware y software libre de licencias, adicionalmente las comunicaciones opto-electrónicas e inalámbricas, desarrolló el proyecto de investigación sobre redes WiLD ESPE, para obtener el título de Ingeniería en el 2013.