

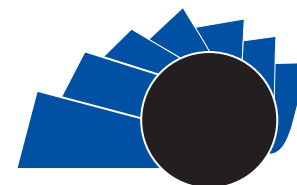


UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Visión Electrónica

Más que un estado sólido

<https://doi.org/10.14483/issn.2248-4728>



VISIÓN ELECTRONICA

A RESEARCH VISION

Protocolos de enrutamiento en redes móviles de sensores inalámbricos Verificación de su rendimiento y seguridad

*Routing protocols in mobile networks of wireless sensors
Verification of your performance and security*

Emilio Barajas Largo¹, Nancy Edith Ochoa Guevara², Javier Augusto Ríos Suarez³, Nelson Felipe Rosas⁴.

INFORMACIÓN DEL ARTICULO

Historia del artículo

Enviado: 13/10/2018

Recibido: 14/10/2018

Aceptado: 13/12/2018

Palabras clave:

Rendimiento,
Latencia,
Red inalámbrica,
celulares móviles,
seguridad móvil,
VPN como mecanismo de
seguridad.

Keywords

Performance,
Latency,
Wireless network,
mobile phones,
mobile security,
VPN as a security mechanism.

RESUMEN

En este artículo, se realiza un análisis relacionado con los procesos de desempeño en los protocolos de enrutamiento en una Red de dispositivos móviles verificar el rendimiento y la seguridad actual en la red. Además, conocer la caracterización del espectro radioeléctrico en Colombia para controlar las frecuencias permitidas en una red MANET, seguido de los procedimientos que debe realizar el dispositivo móvil para enrutar los datos convertidos en ondas electromagnéticas a otro móvil visualizándolos digitalmente y lo más importante identificar la estructura del protocolo en función de los parámetros de rendimiento, la relación del espectro electromagnético en función de los estándares IEEE utilizados y las simulaciones de eventos discretos que han sido estudio para evaluar el comportamiento de la red y los tiempos parametrizados por el número de nodos en diferentes frecuencias, tasas de trasmisión haciendo énfasis en los protocolos TCP y UDP de la capa de transporte verificando la calidad del servicio en diferentes aplicaciones que se ven afectadas por el ancho de banda.

ABSTRACT:

In this article, an analysis is made related to the performance processes in the routing protocols in a network of mobile devices allowing to verify the performance and the current security in the network. In addition, to know the characterization of the radio electric spectrum in Colombia to control the frequencies allowed in a MANET network, followed by the procedures that the mobile device must perform in order to route the data converted into electromagnetic waves to another mobile, visualizing them digitally and, most importantly, identifying the structure of the protocol as a function of the performance parameters, the ratio of the electromagnetic spectrum according to the IEEE standards used and the simulations of discrete events that have been studied to evaluate the behavior of the network and the times parameterized by the number of nodes in different frequencies, transmission rates emphasizing the TCP and UDP protocols of the transport layer, verifying the quality of the service in different applications that are affected by the bandwidth.

¹ MSc. Seguridad en las Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Docente del Programa de Tecnología en Gestión de la Seguridad en las Redes de Computadores Corporación Universitaria Minuto de Dios. NIMINUTO.

Correo electrónico: barajasemilio@hotmail.com, barajasemilio2703@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1896-1403>

² Ingeniera de Sistemas, Universidad INCCA de Colombia, Colombia. Doctora en Tecnología Especial, Universidad Nacional Abierta y a Distancias – UNAD (Florida), USA. Fundación Universitaria Unipanamericana, Colombia. Correo electrónico: ochoaguevara@gmail.com neochoa@unipanamericana.edu.co, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4533-4990> ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8048-0590>.

³ Ingeniería de Sistemas, Institución, País. MSc en Educación, Universidad Santo Tomas, Colombia. Director programa de Ingeniería de Sistemas. Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO. Colombia. Correo electrónico: jriossuarez@uniminuto.edu.co.

⁴ Ingeniero Electrónico. Magíster en Ingeniería – Telecomunicaciones. Universidad Nacional de Colombia. UNAL. Colombia. Decano Facultad de Ingeniería. Fundación Universitaria Unipanamericana, Correo electrónico: nfrosasj@unipanamericana.edu.co, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1476-5122>

Cite this article as: E. Barajas Largo, N. E. Ochoa Guevara, J. A. Ríos Suarez and N. F. Rosas, "Routing protocols in mobile networks of wireless sensors Verification of your performance and security", *Visión electrónica*, vol. 2, no. 1, Special edition, enero-junio 2019.

1. Introducción

A medida que surgen y se implementan las redes inalámbricas, surge la necesidad de controlar y verificar su desempeño debido a que se realizan conexiones a diversas aplicaciones como: “Streaming de video, correo electrónico, descarga de archivos, conexiones remotas, etc.” por tal motivo es necesario contar con el óptimo rendimiento de la red, como sucede en el caso de las redes alambreadas.

Es así, que la disponibilidad del ancho de banda varía de acuerdo al tipo de red al cual se realice la conexión presentándose un incremento de problemas con las conexiones inalámbricas como es el caso en anchos de banda limitados, por esta razón, se pretende ofrecer una prioridad a cierto tipo de tráfico principalmente en la tecnología de la red móvil. Se ha visto, en este tipo de tecnología que, el entorno inalámbrico de una red móvil en cuanto a medidas es el más difícil de calcular debido a la inestabilidad con el tiempo y movilidad, esto indica un gran número de test inválidos, representado en la mayoría de los casos variantes en el retardo (delay, Jitter) que conforman el Throughput del sistema inalámbrico móvil y en la verificación del rendimiento en sus protocolos de enrutamiento y seguridad en la transmisión de los datos. En el contexto de la tecnología de la red celular se tendrá en cuenta su inicio en cuanto a su enrutamiento, desde los sistemas de telefonía celular apoyados con los avances de la electrónica hasta llegar a la conmutación de paquetes utilizando protocolos sofisticados.

Por tanto, la gran importancia del artículo está basada en el comportamiento de una red celular con estándares que identifiquen el correcto funcionamiento, desempeño y rendimiento en sus protocolos en función del Throughput y tiempos adecuados abordando la caracterización del espectro electromagnético en Colombia, verificando el funcionamiento del dispositivo móvil en la red inalámbrica por medio de escenarios o simulaciones de eventos discretos con tests o pruebas logrando evidenciar el rendimiento del enrutador de los datos en los protocolos y consecuentemente, se construye una VPN (Virtual Private Network) como mecanismo de seguridad para la transmisión de los datos en esta clase de redes.

2. Caracterización del espectro electromagnético en Colombia

Hoy en día, el espectro electromagnético (EEM) ofrece grandes beneficios para los países latinos, ciertos

autores sustentan la existencia de normas y estándares aplicables a los campos del (EEM) de radiofrecuencias en América Latina, aunque no completos, pero con excelentes enfoques [1], que permiten que las telecomunicaciones especialmente en el campo de las redes móviles con sensores inalámbricos resulten beneficiados. Dicen que el (EEM) se caracteriza mediante la intensidad del campo eléctrico (E), la intensidad del campo magnético (H), el flujo de energía de la onda electromagnética como densidad de potencia y se cuantifica mediante un vector llamado Poynting (S) y su relación con fuentes de alimentación conmutadas, estaciones de radiodifusión, estaciones de televisión con bandas de frecuencias muy altas llamadas (VHF) y ultra altas (UHV) y por supuesto los sistemas de comunicación móviles por celdas entre (800 y 1900 Mhz) caso de esta investigación.

Luego, en 2012 de acuerdo a Fedesarrollo (Centro de Investigación Económica y Social) menciona que las reparticiones del (EEM) en Colombia se inició en 1994 con empresas como (Claro y Movistar) donde recibieron frecuencias de 30 Mhz de espectro en bandas de 1900 Mhz logrando construir redes móviles de coberturas aceptables para el mercado. También, en el 2012 por intermediación del SIC (Súper Intendencia de Industria y Comercio), ANE (Agencia Nacional del Espectro), CRC (Comisión de Regulación de Comunicaciones) y MinTic se adjuntaron otras empresas como Une, Colombia Móvil etc., como se demuestra en la Tabla 1, con la distribución del espectro por operador y por frecuencia.

Frecuencia (MHz)	700	850	1700/2100	1900	2300	2500	1400	Total
Claro		25		30				55
Telefónica		25		30				55
Colombia Móvil				55				55
UNE						50		50
Total		50		115		50		215

Tabla 1. Distribución del espectro: Frecuencias en Mhz. Fuente: SIC y Min Tic con Información de la ANE.

Una parte importante, es que se presenta un estudio sobre el estado de los servicios móviles y del espectro asignado en Colombia, su estructura y políticas de asignación. Dice que en Colombia se optó por “asignar franjas amplias de espectro a las empresas por vía administrativa según la (CRC) y la (SIC) en el 2012 y posteriormente por subasta” para ofrecer servicios de voz y datos [2], sin embargo, estos procesos se prestaban para especulaciones e inclusive para corrupción. Como ejemplo de un proceso

administrativo se tiene cuando en Colombia se asignó la banda de 3,5 Ghz para WiMax siendo los operadores de ETB, Telecom y Orbitel los beneficiados. Luego, en algunos casos, es necesario solicitar “espectro adicional” la cual se creó un documento llamado “Propuesta para el Otorgamiento de Espectro Adicional a los Operadores de Telefonía Móvil Celular en Colombia” para ser debatido por ETB, UNE y OLA, y por ende recurrir a los decretos y resoluciones otorgadas por el Ministerio de Comunicaciones pueda atribuir bandas con frecuencias de 1890 a 1895 MHz y de 19070 a 1975 MHz precisamente, por los avances tecnológicos y servicios de telefonía celular como (video llamadas, banda ancha, IpTV etc.) [3].

Posteriormente en el 2013, de acuerdo a campañas realizadas en Bogotá Colombia, sobre “medición de la ocupación del espectro” en bandas de frecuencias desde 54 MHz hasta 6 GHz, indican que los resultados obtenidos se ordenan en detalle sobre bandas y servicios en donde la utilización del espectro en su momento es baja en áreas urbanas [4], en comparación con el espectro admitido por la Comisión Internacional para la Protección de las Radiaciones No Ionizantes ICNIRP tomando como referencia la cantidad de sitios medidos con antenas de telefonía celular y el valor representativo de la “densidad de potencia (0.2 mW/cm²)” adoptado por el gobierno colombiano [5], e indicado en el decreto 195 de 2005 [6], que también fue contratado con resultados de campañas realizadas en Cali-Colombia por la caracterización de campos electromagnéticos producidos por sistemas de comunicaciones inalámbricas como estaciones de base de telefonía celular, antenas de radio y televisión. Estos estudios y la organización del espectro, está dado por la Agencia Nacional del Espectro (ANE) desde el 2010, a quien se le ha dado la potestad de realizar auditorías apoyada en la normatividad vigente, pero, MinTic es el encargado de las decisiones sobre el control, manejo y asignaciones del espectro radioeléctrico [7].

No obstante, para reconocer mejor aún la caracterización del espectro es preferible hacer referencia al ciclo cognitivo básico de las redes inalámbricas para dispositivos móviles como se detalla en la Figura 1, las cuales se tiene una fuente adaptada por (Ian F. Akyildiz y Won-Yeol Lee) en la que dejan entrever el entorno del aire, la detección del espectro por sus bandas detectando información y oportunidades espectrales para tomar una decisión en el espectro, compartirlo y darle movilidad. Luego, el ciclo cognitivo es una tecnología en el contexto de la asignación dinámica eficientemente para los usuarios tanto

primarios como secundarios en la que permitirá “reducir la latencia o retardos, incrementar la transferencia de datos, su cobertura, capacidad y ancho de banda optimizando el uso del espectro y calidad en sus servicios” [8].

En consecuencia, la caracterización del espectro radioeléctrico objeto de este estudio en función de la medición propuesto por el sistema de numeración de la Advanced Wireless Services (AWS) para el “análisis en la disponibilidad de canales sobre la banda AWS (1700–2100 MHz)” [9], junto con la banda de 2600 MHz, las cuales son bandas propiamente de la tecnología LTE de cuarta generación que operan en frecuencias diferentes en las redes móviles permitiendo conocer el comportamiento de todos sus canales y son asignadas por Min Tic [10].



Figura 1. Ciclo cognitivo básico de red inalámbrica [11].

De esta forma, para conocer la trascendencia de las redes móviles y sus tecnologías adaptadas al espectro radioeléctrico en Colombia, presentamos en la Figura 2, las generaciones que han dado paso al estudio de las redes celulares.

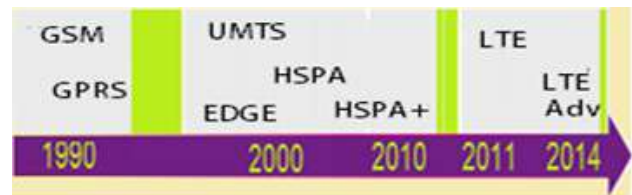


Figura 2. Generaciones en las tecnologías Móviles Fuente: elaboración propia.

En una primera generación (1G), el teléfono móvil era un sistema celular creado especialmente por las necesidades de la comunicación móvil en un espectro electromagnético limitado, el Ing. Martín Cooper (considerado el padre de la telefonía móvil) en 1973, realizó la primera llamada desde un celular DynaTAC (Dynamic Adaptive Total Área Coverage) 80000x de Motorola, en la ciudad de Nueva York [12]. Tres años más tarde, exactamente, en el año de 1976, EEUU,

presentó el AMPS (Advanced Mobile Phone System), siendo este, el primer estándar de redes celulares. Pero, sus enlaces no relacionaban una seguridad de nivel superior ya que sus redes y líneas telefónicas se podían hackear fácilmente. No, existía enrutamiento aún, porque no soportaba en forma natural su transmisión de datos, por ser análoga, la voz se transmitía entre el móvil y la estación base inclusive por medio de un operador. A partir de aquí, llega la segunda generación (2G) y se marca la tecnología análoga digital generando estándares como el GSM (Global System Mobiles) siendo el más usado en Europa a finales del siglo XX utilizando bandas de 900, 1800 y 1900 MHz [13-14]. En esta generación se tratan las tecnologías CDMA (Code Division Multiple Access) que permite transmitir una señal de radio a través de un rango de frecuencia bastante amplio, la TDMA (Time Division Multiple Access) que consiste en el acceso múltiple por división de tiempo, es una técnica que se emplea en los canales de comunicación para aumentar el volumen de los datos que se transmiten simultáneamente y la tecnología EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) que admite aplicaciones multimedia. Su enrutamiento se origina por que utiliza protocolos de codificación más sofisticados, soportan velocidades de información más elevadas para voz pero son muy limitadas para la transmisión de datos [15]. De esta forma, los protocolos son presentados por GSM en capas por ej., para la capa física está TDMA y FDMA, para la capa de enlace está LAPD (Link Access Protocol Data) y SCCP (Signalling Connection Control Part) del modelo OSI. Ya, para la capa 3 a la 7, es conocida como la capa de señalización compuesta por un conjunto de subcapas, la de nivel 1 conocida como CM (Connection Management) para la administración de las llamadas, la de nivel 2 es la MM (Mobility Management) para gestionar la localización y registro de los usuarios y la de nivel 3 como la RR (Radio Resource Management) encargada de mantener y terminar el enlace [14]. Posteriormente, se introduce el GPRS (General Packet Radio System) produciendo un mayor impacto sobre GSM, donde, se utilizan los protocolos TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) a nivel de usuario para el acceso a la red en forma de conmutación de paquetes ofreciendo una mayor capacidad y velocidad. Con la llegada de la 3G, desarrollada a comienzos de los 90, se utiliza la tecnología UMTS (Universal Mobile Telephone Service) siendo el sistema universal de telecomunicaciones móviles en donde se inicia la transmisión de voz y datos con acceso inalámbrico a Internet. Alternativamente, Sáenz, Fabian, en su escrito del repositorio Institucional de la Universidad de las

Fuerzas Armadas “ESPE”, presenta su escrito donde realiza un análisis del protocolo Mobile IP en redes de tercera generación (3G) brindando movilidad en la capa de red [16]. De igual forma, con la UMTS estaría en capacidad de ofrecer servicios de calidad para la multimedia con componentes fijos, celulares y por satélite y con localización geográfica. Con respecto a los protocolos de enrutamiento, estos, soportan cada vez, más información, audio y video conferencia. Del mismo modo que en GSM, UMTS, define las capas física, enlace con las subcapas MAC (Medium Access Control), RLC (Radio Link Control), PDCP (Packet Data Convergence Protocol), BMC (Broadcast Multicast Control) y red. En el nivel de red se define la capa RRC (Radio Resource Control) en la que ofrece un servicio de control general, con técnicas algorítmicas se establece un sistema de control en los canales lógicos de la MAC y mediante la transferencia de información por el RLC se gestiona todos los recursos de radio principalmente su potencia [14]. En esta generación, también se agrega las tecnologías WCDMA, HSDPA, HSUPA entre otras [17].

En la actualidad, se tiene la cuarta generación (4G), donde, llegan dispositivos móviles con la tecnología LTE (Long Term Evolution) y LTE-A (Advanced) en la que se introduce el concepto de Femtoceldas y Delays para realizar transmisión con múltiples antenas. Esta tecnología se ha estandarizado en el 2011, utiliza acceso OFDMA referido al acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal y SC-FDMA (Single Carrier OFDMA) para enlaces ascendentes y descendentes [17], y se basa en el protocolo de Internet IP completamente compatible con “IPv4 e Ipv6” para diferenciarse en gran escala de las anteriores generaciones, es un sistema de redes cableadas e inalámbricas en donde se mantiene el acceso con calidad en el servicio, con grandes prestaciones y capacidad. De esta forma, mientras que la 2G y 3G están basadas en técnicas de circuitos para la transmisión de voz, la 4G establece la técnica de conmutación por paquetes. Según José Manuel Huidobro [14] pág. 250, esta generación comenzó en el 2009 con la tecnología inalámbrica LTE y WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), especialmente, con el estándar IEEE 802.16m tomando auge desde el 2012. En cuanto al funcionamiento de los protocolos, la red celular LTE, está formada por un único nodo llamado eNode B (Enhanced Node B) o eNB, la cual, está conectada con otros eNodeB de igual manera con el núcleo LTE y proporciona las terminaciones tanto del plano de usuario E-UTRA (Enhanced UTRA) como el plano de control hacia el equipo de usuario UE (User

Equipment), cuenta, con una serie de protocolos usados entre el usuario y los nodos móviles como el NAS (Non Access Stratum) que corre entre el equipo de usuario UE y el MME (Mobility Management Entity). Así pues, el eNB realiza una distribución de funciones como: la gestión de recursos, el control de la conexión, control de la portadora de radio, provee la configuración de medidas en el eNB y la asignación dinámica de recursos (Scheduler) con los protocolos PDCP, RLC, MAC, IP, IPv4, IPv6 y PHY(L1) [14] pág. 285-294. Luego, desde 1990, se han relacionado avances significativos en estas tecnologías y (GSM) es el primero en revelarse, seguido de (GPRS), después las tecnologías (EDGE), (UMTS), High-Speed Packet Access (HSPA), HSPA+ o evolucionado, Long Term Evolution (LTE) hasta llegar a la LTE Advance en el 2014, cada uno en su respectivo año [18]. Este es un marco en la que cada generación presenta su estructura.

Sin embargo, para este artículo es necesario revisar la arquitectura del espectro radioeléctrico en función de las redes móviles como se describe en la Figura 3, en un modelo de sistema de radio cognitivo que emerge como una tecnología de las redes inalámbricas para garantizar el acceso dinámico al espectro de forma eficiente [19], desde entonces, se propone una gestión de los recursos de radio cognitiva para mejorar la utilización del espectro donde se evalúa el desempeño en términos de la tasa total de datos obtenidos y la satisfacción de los requisitos de radio cognitiva [20], en la que define un “motor cognitivo” representado por un paquete de software o algoritmos de “inteligencia artificial”, seguido de los parámetros de recepción y emisión de forma autónoma como los sistemas de comunicación, la modulación, las frecuencias portadoras y potencia transmitida para mantener la calidad de la transmisión, luego todos estos parámetros se deben reconfigurar adaptándose a los cambios del entorno. Se tiene también, los sensores de localización para controlar y detectar el espectro en redes de radio cognitivas o “spectrum sensing” y obtener el posicionamiento global o GPS, además de mitigar las interferencias con usuarios primarios o con otros dispositivos por medio de protocolos de comunicación y que trabajan en forma de negociación en caso de que se trate de acceder a los mismos recursos, sin embargo, la agencia en EEUU llamada DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) ha sido la primera en desarrollar “nuevas tecnologías que permiten que múltiples sistemas de radiocomunicación compartan el mismo espectro mediante mecanismos como el DSA (Dynamic Spectrum Access)”, y por último se tiene el radiotransmisor y la interfaz de aire características

primordiales para describir en la siguiente sección el procedimiento de cómo funciona el dispositivo móvil en la red [21].



Figura 3. Bloque de la Arquitectura de un sistema de radio cognitivo [21].

2.1 Funcionamiento del dispositivo móvil en la Red Inalámbrica

Para describir el funcionamiento sobre la transmisión de los datos en una red móvil, se menciona, que dentro del ámbito de las comunicaciones, además, de tener servicios de telefonía móvil e inalámbrica también se conocen los servicios de radio búsqueda (paging) conocida como la radio mensajería unidireccional posteriormente desplazado por el de mensajes cortos (SMS) sobre GSM y servicios de radiocomunicaciones privadas denominadas troncales o de compartición de acceso (trunking), que constan de un sistema de control y conmutación, estaciones base y terminales de usuario [22], en donde, la comunicación entre la estación base y terminales se lleva a cabo mediante la “transmisión analógica con señalización digital y modulación en frecuencia” para sistemas que cumplen la norma MPT 1327, en la que, el canal digital utiliza un protocolo de señalización que divide el canal en slots y controla los errores en un modelo de espera para no perder la llamada [23]. Con todo esto, es necesario introducir el concepto “celular” en la que se basa todo el sistema de redes móviles [24]. No obstante, al controlar una gran capacidad de usuarios, alto tráfico de datos, una eficiente utilización del espectro radioeléctrico y amplia cobertura, entre otras, formarían parte de las principales características de un sistema celular [25], la cual se confortan en un diagrama hexagonal como se ve en la Figura 4, donde proporciona las “ubicaciones de las estaciones base y los datos necesarios para los cálculos de interferencias, tamaño de la agrupación, y distancia de reutilización”

[25] página 182 numeral 4.5. Así que, se divide en áreas de servicios en una serie de hexágonos que al unirse forman una figura de celdas y en cada celda existe una estación base en la que en su interior tiene un transmisor y receptor de radio con una potencia baja. Luego, cada estación cubre un área geográfica y la unión de estas estaciones base forman la red celular móvil para ofrecer un excelente funcionamiento al transmitir la señal por alguna frecuencia.

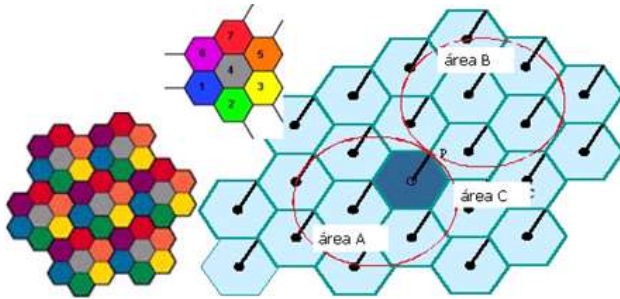


Figura 4. Esquema de una célula telefónica móvil
Fuente: elaboración propia.

Por tanto, en un diseño de una red celular, se deben tener en cuenta factores que intervienen en la cobertura radioeléctrica, la distribución del tráfico en la red, la movilidad de usuarios, nuevos servicios y la limitación de las frecuencias en otros, esta planificación funciona como un patrón para el despliegue físico en la que se comporta como una estructura en constante cambio que se deberá reajustar con el tiempo [25].

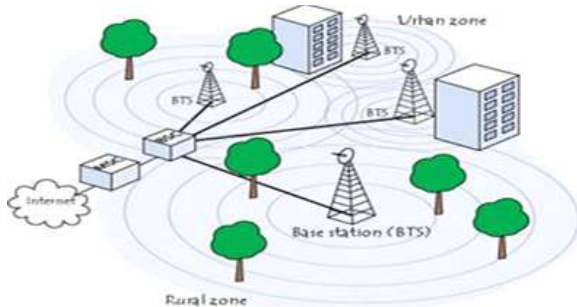


Figura 5. Estructura de una red celular [26].

En consecuencia, en la Figura 5, se presenta una estructura de una red celular que cuenta con los diferentes elementos entre ellos, estaciones móviles (MS) que se refiere a los equipos que proveen el servicio a los usuarios en cualquier instante, lugar o formato, las estaciones base (BTS), que envían y reciben llamadas encargada de mantener el enlace radioeléctrico entre la estación móvil y las estaciones de control durante la comunicación, las estaciones de control (BSC)

encargadas de las funciones administrativas, de gestión y mantenimiento del servicio y por último, los centros de conmutación de servicios móviles (MSC), encargados de interconectar usuarios de la red fija con la red móvil o usuarios de la red móvil entre sí [27].

En el caso de que el usuario se salga de una estación base habrá otra estación cerca que le seguirá proporcionando cobertura y esto es lo que se llama “traspaso o handover”, de igual manera, si pasamos de una frontera a otra o de un país a otro, es posible que se cambie de operador y esto es lo que se llama “itinerancia” o “Roaming” [28]. Es de notar que este proceso se realiza de acuerdo a la tecnología utilizada por el teléfono que puede ser desde Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) de las primeras generaciones hasta LTE o últimas tecnologías [29-30].

2.2 Estándares

802.11 o Wifi

Una red inalámbrica o Wifi como su nombre lo indica permite la comunicación de 2 o más terminales sin la necesidad de una conexión por cable, con ello la especificación IEEE 802.11 define las características de una red local inalámbrica (WLAN). 802.11, es el primer estándar y permite un ancho de banda de 1 a 2 Mbps, este se ha venido modificando para optimizar el ancho de banda (802.11a, 802.11b y 802.11g). A continuación, en la Tabla 2 se muestran algunas de sus modificaciones.

Normas (capa física y de acceso al medio)	Velocidad transmisión máxima (Mbps)	Throughput máximo típico (Mbps)	Numero máximo de redes colocalizadas	Banda de frecuencia	Radio de cobertura típico (interior)	Radio de cobertura típico (exterior)
IEEE 802.11ah	54 Mbps	22 Mbps	14 (5.7 GHz)	5 GHz	85 m	185 m
IEEE 802.11b	11 Mbps	9 Mbps	3	2.4 GHz	50 m	140 m
IEEE 802.11g	54 Mbps	22 Mbps	3	2.4 GHz	65 m	150 m
IEEE 802.11n (40 MHz)*	>300 Mbps	>100 Mbps	1 (2.4 GHz) 7 (5.7 GHz)	5 GHz	120 m	300 m
IEEE 802.11n (20 MHz)*	144 Mbps	74 Mbps	3 (2.4 GHz) 14 (5.7 GHz)	2.4 GHz y 5 GHz	120 m	300 m

Tabla 2. Estándares IEEE: Normas y ancho de banda
Fuente: elaboración propia.

Es claro que, en una WI-FI se puede crear redes de altas velocidades siempre y cuando los dispositivos conectadas no se hallen lejos de su radio, ya que permiten la conexión de ordenadores portátiles, equipos de escritorio, smartphones, impresoras, con propiedades de velocidad de 11 Mbps o superiores y en un radio de (20 a 50 metros en general) y sus rangos y flujos de datos con sus modificaciones alcanzan diferentes velocidades en trasferencia de datos ver Tabla 3.

Estándar	Frecuencia	Velocidad	Rango
WiFi A (802.11a)	5 GHz	54 Mbit/s	10 m
WiFi B (802.11b)	2,4 GHz	11 Mbit/s	100 m
WiFi G (802.11g)	2,4 GHz	54 Mbit/s	100 m

Tabla 3. Estándar 802.11: Rango y frecuencias
Fuente: elaboración propia.

802.11a

El estándar 802.11a tiene un flujo total de datos máximo de 54 Mbps, casi cinco veces el del 802.11b, este transmite en un rango de frecuencia de 5ghz y utiliza 8 canales. En consecuencia, los dispositivos 802.11a son incompatibles con los dispositivos 802.11b, por ello hay dispositivos que incorporan estos “amos chips” y se denominan, dispositivos de banda dual.

Estándar 802.11b

El estándar 802.11b permite un máximo de transferencia de 11 Mbps en un rango de 100 metros en ambientes cerrados y más de 200 metros al aire libre.

Estándar 802.11g

El estándar 802.11g permite un máximo de transferencia de 54 Mbps en rangos comparables del 802.11b, debido a que trabaja en la misma frecuencia y es compatible con dispositivos 802.11b.

2.3 Simulaciones de eventos discretos para determinar el desempeño de la red móvil

En la creación de los escenarios de eventos discretos para determinar el comportamiento de los protocolos en la red móvil, se debe contar con los diferentes elementos que identifiquen el comportamiento tanto en un enlace punto a punto como en varios nodos inalámbricos en modalidad y configuración MANET, en donde, para definir las redes a simular se utiliza la aplicación opnet++ que facilita reconocer los parámetros que facilitarán la medición del desempeño de los protocolos tanto para Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV), Destination Secuency Distance-Vector Routing Protocol (DSDV) y Dynamic Source Routing (DSR). Con este aplicativo se crean dispositivos o nodos que pueden tener distintas interfaces y con estas interfaces ya definidas se unen los nodos en canales punto a punto (PTP) como se puede ver en la Figura 6.



Figura 6. Escenario de simulación punto a punto entre dos nodos.
Fuente: elaboración propia.

Ahora, teniendo los equipos procedemos a realizar las conexiones. Conectamos el enlace del servidor al HUB y del HUB al GGSN, estas conexiones con base 10 t. Para el enlace del GGSN al SGSN, la cual es el nodo de servicio GPRS y tiene la “función de dar acceso a los terminales móviles hacia la red de datos que puede ser Internet o una red corporativa”, seguido, utilizamos PPPoS3 (Generador de nombres de dominio) del SGSN al MC (Conexión cruzada principal) y es el centro de la red, seleccionamos ATM (Asynchronous Transfer Mode) con operador óptico OC3 del RNC (Controlador de Red de Radio, encargado del control de los nodos que se conectan a la red y del gestionamiento de los recursos radio) hacia el nodo B en el mismo canal y obtenemos la Figura 7. En este sentido, se realizar la misma configuración en los dispositivos móviles seleccionando el servicio y perfil soportado.



Figura 7. Simulación de 10 nodos conectados en modalidad PEER to PEER.
Fuente: elaboración propia.

Ya configurados, se da inicio a la ejecución de la simulación como vemos en la Figura 8. En donde se determina el escenario de la red móvil y el puerto.

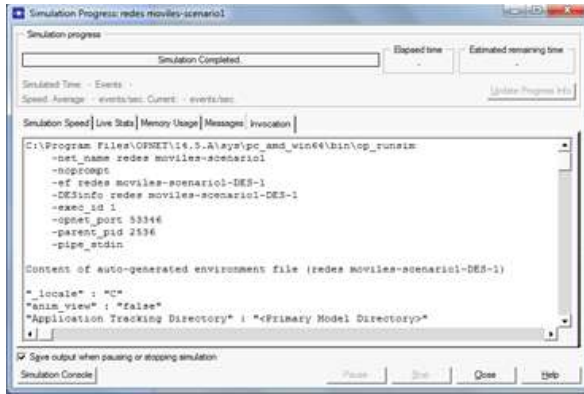


Figura 8. Escenario de la simulación en ejecución.

Fuente: elaboración propia.

De esta manera, se construyen otros escenarios para luego verificar en un conjunto de simulaciones el comportamiento de la red teniendo presente el rendimiento de los protocolos utilizados.

En simulaciones de más de dos nodos, por ejemplo, ver Figuras 9 y 10, se trata de un escenario de 50 y 100 nodos respectivamente, por tanto, al realizar simulaciones de 2, 10, 50, 100 y más de 100 tenemos variantes en los parámetros de rendimiento entre ellos el Throughput referido como la “tasa promedio de éxito en la velocidad de entrega de un mensaje sobre un canal de comunicación a través de un cierto nodo de la red”. De igual manera, se identifica el número de nodos, el protocolo de enrutamiento AODV, el modelo de propagación de tierra o suelo de dos rayos “two ray ground reflection model” o modelo de propagación de radio tratado para predecir la pérdida de trayecto entre las antenas emisora y receptora, y se considera “tanto el camino directo como el camino de reflexión del terreno” [31].

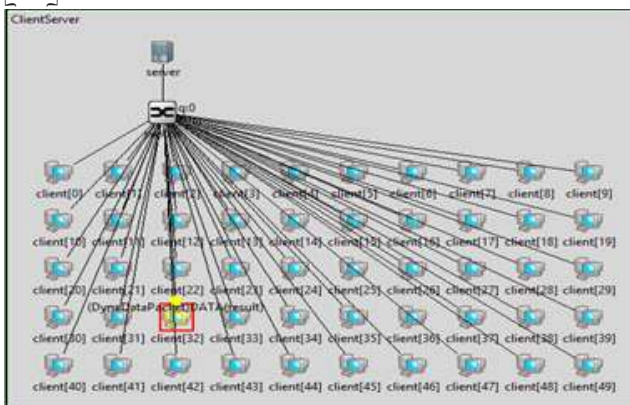


Figura 9. Escenario de simulación de 50 nodos.

Fuente: elaboración propia.

En estos escenarios es posible realizar un análisis de enrutamiento cuando los nodos están en modalidad estática y cuando están en forma dinámica, es decir, en movimiento (Figura 10).

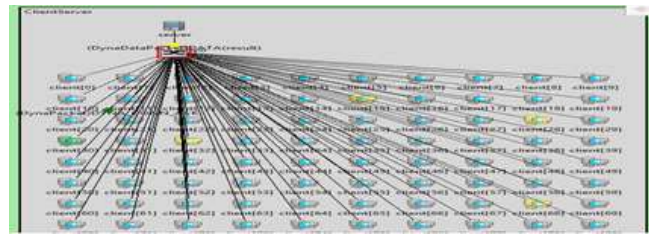


Figura 10. Escenario de simulación de 100 nodos.

Fuente: elaboración propia.

También, se ha identificado, la tasa de transmisión en Kbps, sus frecuencias de acuerdo a los estándares IEEE, el número de enlaces, la distancia media antes del movimiento, el tipo de tráfico y tiempo de la simulación.

2.4 Análisis de desempeño de los protocolos de acuerdo a las simulaciones realizadas

En el análisis sobre la calidad de los enlaces en la red móvil para determinar su desempeño, se ha tenido presente diferentes escenarios de simulación basadas en pruebas con los protocolos AODV, DSR Y DSDV, para ello, estas pruebas fueron ejecutadas bajo las siguientes métricas o parámetros de rendimiento como la pérdida de paquetes, el retardo o latencia (Delay) verificando el tiempo de respuesta en el tiempo de viaje RTT (round-trip time) medido por el comando ping. Además, los Jitter que trata sobre la variación de latencia, ancho de banda medido kbps, Mbps, Gbps llamado también “canal eficaz” o Throughput para medir los datos disponibles en un conjunto de parámetros otorgados por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) [32].

En constancia, para el análisis en el desempeño de los protocolos en esta red se realiza un contraste entre el número de nodos o móviles y el Throughput, en donde se determina la relación del número de bytes enviados y el tiempo total de la simulación. Es así, que, por la gran cantidad de conexiones y gran cantidad de resultados en datos que se obtienen de la simulación, se presentarán en detalle los valores del Throughput para un cierto tiempo transcurrido dado en forma aleatoria para analizar el número de conexiones durante el tiempo establecido. Por tanto, cada vez que se incrementa el número de nodos se incrementa la cantidad de conexiones.

Ahora, en la primera simulación señalada en la Figura 7, donde el caso trata sobre una transmisión PTP, se tiene el número de la conexión (Nc), el nodo transmisor (Nt), los nodos intermedios (Nint), el nodo receptor (Nr) y el Throughput obtenido (T) como se muestra en la Tabla 4

Nc	Nt	Nint	Nr	T
1	9	5	8	0,863
2	7	---	0	0,325

Tabla 4. Simulación: Resultados de un escenario de 10 nodos.

Fuente: elaboración propia.

En el escenario se puede ver que se refleja un tráfico consolidado con 10 nodos que inician a transmitir al mismo tiempo que los nodos seleccionados y se observa que está el nodo 5 como de intermediario por tal razón el T para esta transmisión es de tres veces más que la segunda conexión aproximadamente. Por tanto, en la segunda conexión no se tiene un nodo como intermediario degradando el T debido posiblemente a la distancia, tráfico de la red o potencia de la señal en el canal de frecuencia.

Esto puede suceder en un escenario con nodos estáticos, pero como en una red MANET los nodos tienen la facultad de movimiento es probable que el T no presente variación alguna, luego el desempeño en la transmisión

entre estos nodos el T no manifieste degradación desfavorable precisamente porque algún nodo que se encuentre en movimiento puede servir como pivote para la que los datos puedan llegar a su destino.

Y en las conexiones donde hay nodos intermediarios se aplica el enrutamiento con el protocolo DSR para alcanzar el destino ya que un nodo puede almacenar diferentes rutas para un mismo destino y esto se permite porque si llegase a romper algún enlace de alguna comunicación se puede volver a recuperar la ruta establecida y se torna como una gran ventaja.

2.5 Test inalámbrico para la red móvil

Con los protocolos UDP (Protocolo de datagramas de usuario) y TCP (protocolo de control de transmisión), se realizan pruebas que pueden ser ejecutadas bajo las mismas métricas utilizadas para los protocolos anteriormente mencionados.

El enlace a examinar se delimita por cuatro clientes (PC0, PC1, Movil1, Movil2) conectados a un AP (Links WRT54g de cisco) con las siguientes características denotadas en la Tabla 5.

PC0 (Asus)	PC1 (virtual)	Movil 1 (iphone 5c)
Hostname: Admin-PC Dirección IP: 192.168.1.110 Dirección MAC: 48:5D:60:E6:26:29 Os: Windows 7	Hostname: HOST-C764 Dirección IP: 192.168.1.142 Dirección MAC: 00:13:C6:21:9B Os: Centos 7	Hostname: iphone Dirección IP: 192.168.1.127 Dirección MAC: AC:CF:5C:C9:5C:4B Os: IOS 10.1.1 (14B100)
Movil 2 (Samsung Galaxy J1 mini)	AP (Linksys WRT54G , 2.4 ghz)	Descripción de la conexión inalámbrica
Hostname: Android-20942b56cea085b6 Dirección IP: 192.168.1.129 Dirección MAC: E4:58:B8:6B:12:E4 Os: Android 5.1.1	Dirección IP: 192.168.1.1 Dirección MAC: 00:40:77:BB:55:10 Os: DD-WRT v24-sp2	Nombre: Release Intensidad de señal: Excelente Tipo de seguridad: WPA2-PSK Radio: 802.11g

Tabla 5. Test: Características del test Inalámbrico.

Fuente: elaboración propia.

Y una topología descrita en la figura No. 11 como un mapa de conexión inalámbrica y su topología de red.

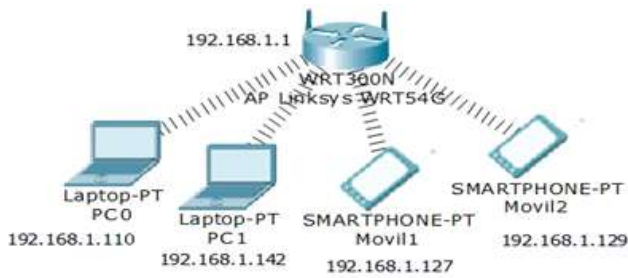


Figura 11. Mapa de conexión inalámbrica y topología de red **Fuente:** elaboración propia.

Y por medio de la herramienta Network Analyzer Lite [33], se realizó un ping de 60s del Movil1 hacia el Movil2 para obtener en tiempo real las estadísticas de tiempo de ida y vuelta (RTT), tiempos de respuesta ver Figura 12, también observaremos la tasa de entrega de los paquetes y las estadísticas de latencia y pérdida de paquetes ver Figura 13.



Figura 12. Tiempos de respuesta del Movil1 al Movil2

Fuente: elaboración propia.

Average RTT	194.67 ms
Min / Max RTT	36.15 / 986.80 ms
Jitter	165.98 ms
Packet Loss	11.66%
Line Quality	👍👍👍👍👍
Network MOS	1.31
Reply From	192.168.1.129

Figura 13. Estadísticas de latencia y pérdida de paquetes Movil1 – Movil2 **Fuente:** elaboración propia.

Ahora por medio de la herramienta Ping lite se controló el retardo máximo medido en milisegundos para esta prueba será de 2000 ms, con ella se simulará una prueba donde no se transmitirá ni recibirá datos ver Figura 14, durante 2 segundos completos.

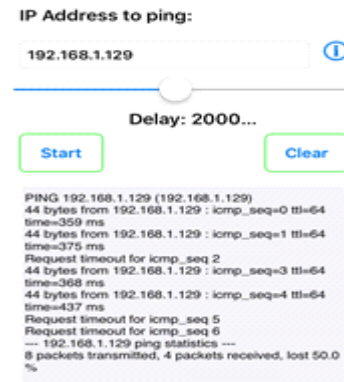


Figura 14. Paquetes enviados, recibidos y perdidos Movil1- Movil2.

Fuente: elaboración propia.

Ahora, se visualizaron tiempos de respuesta del móvil 1 al Pc0 (Figura 15) y estadística de latencia y pérdida de paquetes (Figura 16) y los datos enviados, recibidos y perdidos (Figura 17).



Figura15. Tiempos de respuesta en forma gráfica Movil1-PC0

Fuente: elaboración propia.

Average RTT	25.28 ms
Min / Max RTT	3.05 / 81.48 ms
Jitter	12.65 ms
Packet Loss	0.00%
Line Quality	👍👍👍👍👍
Network MOS	4.38
Reply From	192.168.1.110

Figura 16. Estadísticas de latencia y pérdida de paquetes Movil1-PC0. **Fuente:** elaboración propia.

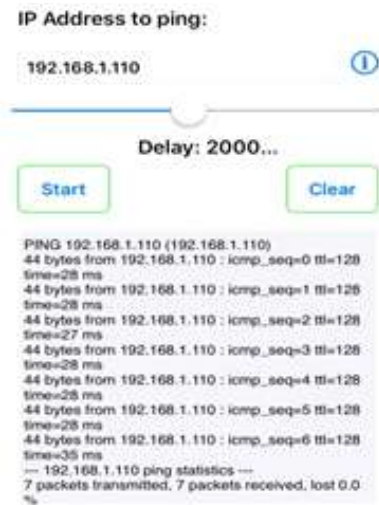


Figura 17. Paquetes enviados, recibidos y perdidos Movil1 – PC0.

Fuente: elaboración propia.

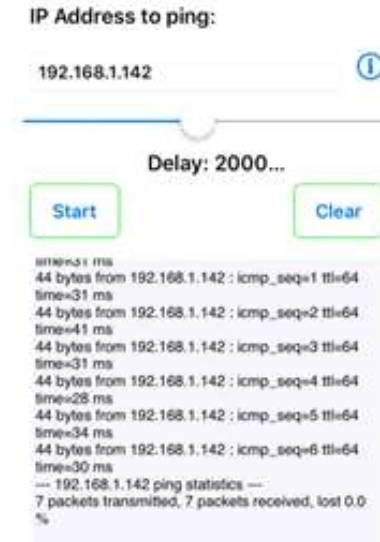


Figura 20. Paquetes enviados, recibidos y perdidos Movil1 – PC1.

Fuente: elaboración propia.

Ahora del Móvil 1 al Pc1, se obtuvieron tiempos de respuesta (Figura 18), la latencia y pérdida de paquetes (Figura 19).



Figura 18. Tiempos de respuesta en forma gráfica Movil1-PC1

Fuente: elaboración propia

Average RTT	45.11 ms
Min / Max RTT	11.79 / 228.38 ms
Jitter	36.48 ms
Packet Loss	6.78%
Line Quality	👍👍👍👍👍
Network MOS	3.74
Reply From	192.168.1.142

Figura 19. Estadísticas de latencia y pérdida de paquetes Movil1-PC1. Fuente: elaboración propia.

De la transferencia de datos del MOVIL1 – AP se obtienen de igual manera los tiempos de respuesta, la latencia y pérdida de paquetes junto con los paquetes enviados, recibidos y perdidos notándose los jitter en ms. Y de acuerdo a este estudio es necesario conocer un mecanismo efectivo en función de la seguridad en la red móvil teniendo en cuenta los conceptos de un VPN (Virtual Private Network) con el fin de aplicar seguridad en la transmisión de los paquetes enviados y recibidos entre diferentes nodos conectados. Se elaboró un procedimiento de configuración sobre tres celulares para adaptar una VPN que permita crear un túnel para proteger los datos entre los nodos.

2.6 Construcción de una VPN como mecanismo de seguridad para la red móvil

En este caso, es necesario conocer la WEP (Wired Equivalent Privacy) ya que es el inicio de seguridad en la red móvil y fue el primer estándar de seguridad para las redes inalámbricas, y no se recomienda debido a que su protección es demasiado débil y puede ser atacada por sniffers y WEP crackers. En consecuencia, está WPA la (Wi-fi Protected Acces) que surge para corregir la inseguridad de WEP, e introduce una mejora como TKIP, que varía por si sola la contraseña wi-fi cada cierto tiempo, adicionalmente, permite activar la opción WPA Personal que usa el sistema PSK de

clave pre-compartida, en este modo el propio usuario define la contraseña. Su versión WPA-Enterprise o empresarial ofrece seguridad adicional donde obliga al usuario identificarse con un usuario y contraseña previamente configurado en un servidor radius. Consecuentemente, se ha adaptado WPA2 la cual es el estándar más reciente también con las funcionalidades (WPA2-Personal, WPA2-Enterprise) su principal funcionalidad es la compatibilidad con WPA y con los algoritmos de autenticación TKIP, AES. Aunque es una seguridad en la que el usuario se adapta y da confianza, es necesario, configurar una VPN con el fin de dar más credibilidad de seguridad en cada conexión entre los nodos [34]. En referencia, para la creación de la VPN, se requiere configurar en la red móvil tres celulares como nodos iniciales Android conectados en la misma red por medio de una APP llamada "Serval Project", mediante la cual estos dispositivos se comunican sin necesidad de una SIM, redes celulares o el internet, ya que solo necesitan contar con conexión por Bluetooth o la zona wifi portátil, la que se habilita para establecer uno de los dispositivos como un punto de acceso.

La conexión mediante este tipo de redes es muy aplicable, ya que, si se presenta un desastre natural, o alguna catástrofe que limite y/o termine con las conexiones generadas por las redes celulares y el internet, se podrá, aun así, lograr la comunicación entre las personas, lo que nos permitiría ubicarlas.

El "proyecto Serval" [35], permite crear una comunicación teléfono a teléfono, sin pasar por las telefónicas (deshabilitando algunas restricciones de seguridad). Se pueden hacer llamados de voz, enviar mensajes de texto, transferencia de archivos entre los dispositivos que tengan instalada la aplicación. Según el Dr. Gardner-Stephen, el dispositivo esencialmente "incorpora una versión reducida de una torre de telefonía móvil en el propio teléfono", pero utilizando la tecnología Wi-Fi de los teléfonos actuales.

3. Conclusiones

Con los resultados obtenidos sobre el Throughput en una red móvil, se concluye que se está afectado debido al tráfico interior, ya que los medios de conectividad entre los nodos se encuentran en actividad por

señales en frecuencias que permiten el enlace de dispositivos celulares en constante transferencia de datos.

El desempeño de los protocolos está dado por el Throughput, la cual determina la calidad del servicio siempre que la red disponga de un ancho de banda para un buen rendimiento en la tasa de transmisión de datos reales del usuario normal, por tanto, se tienen valores por debajo del ancho de banda y su propio rendimiento por causa de que ni los campos de las cabeceras ni los paquetes flags o banderas ACK de los paquetes se tienen en cuenta.

Se identifica que el promedio de pérdida de paquetes en conexiones inalámbricas con un TTL de 64 entre dispositivos móviles (móvil-móvil) es de 10% a diferencia de un 5% de dispositivos portátiles (PC - PC) con TTL de 128.

Para garantizar el óptimo rendimiento de una red, se hace necesario realizar pruebas, enviando flujos de datos entre todos los dispositivos para verificar las tasas de transferencia y la pérdida de paquetes.

Cuando existe la necesidad de implementar servicios en redes móviles, se recomienda elegir como configuración redes WPA2 PSK Enterprise debido a que cuentan con más seguridad y son compatibles con WPA a 2,4 GHz.

Después de haber analizado el proceso de conectividad a la red móvil se concluye que una de las mejores prestaciones es que funciona sin necesidad de estar en servicio con algún operador de telecomunicaciones.

Si se presentara un desastre natural que pudiera causar algún problema con las antenas de telecomunicaciones, que no funcionen los operadores celulares, ni pudieran prestar su servicio los ISP, aun así podríamos generar comunicación entre celulares con el uso de la aplicación "Serval Mesh", ya que permite la conexión por medio del Bluetooth con la posibilidad de enviar mensajes mediante un chat, realizar llamadas, ver la ubicación de cada persona de acuerdo a la información que se ha ido guardando a través del tiempo en la aplicación y permitir compartir archivos, lo más interesante es que solamente se necesita el equipo móvil, sin importar que cuente o no con una sim.

Referencias

- [1] J. Skvarcae, A. Aguirre, "Norms and standards for radiofrequency electromagnetic fields in Latin America: guidelines for exposure limits and measurement protocol", 2006. <http://iris.paho.org/xmlui/bitstream/handle/123456789/7926/17.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [2] F. Castro, "Promoción de la competencia en la telefonía móvil de Colombia, Fedesarrollo en Colombia". <http://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/177>
- [3] J. F. Restrepo, "Distribución del espectro radioeléctrico y esquemas de asignación de ancho de banda en Colombia y su relación con el nivel de desarrollo de los servicios móviles en Colombia", Universidad Nacional de Colombia, <http://www.bdigital.unal.edu.co/4836/12/josefernandorestrepopiedrahita.2011.part.e6.pdf>
- [4] L. Predraza, A. Molina, I. Páez, "Spectrum occupancy statistics" <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6564815/>
- [5] E. Ordoñez, "High Frequency Electromagnetic Fields Characterization in Urban Environments", *Revista Ingeniería Universidad de los Andes*, no. 31, 2010.
- [6] Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones "Decreto 195 de 2005, Radio difusión sonora", http://www.mintic.gov.co/portal/604/articulos-3569_documento.pdf
- [7] L. Chamorro, A. Barbosa, "Espectro abierto para el desarrollo Estudio de Caso: Colombia" http://gb1.apc.org/en/system/files/Espectro_Colombia.pdf
- [8] C. Hernández, L. F. Pedraza, F. H. Martínez "Algoritmos para asignación de espectro en redes de radio cognitiva", *Revista Tecnura*, vol. 20, no. 48, pp. 69-88, 2016.
- [9] D. Romero, J. Yugcha, "Medición del espectro radioeléctrico para el análisis de la disponibilidad de canales en la banda AWS (1700–2100 MHz), de dos operadoras móviles y modelamiento estadístico para el uso potencial de sistemas con acceso oportunista al espectro (osa) en un edificio ubicado en la zona urbana de Guayaquil", <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/38508/D-103340.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>
- [10] El Espectador, "Mitos y verdades sobre la 4G LTE", <https://www.elespectador.com/publicaciones/especial/mitos-y-verdades-sobre-4g-lte-articulo-464730>
- [11] Ian. F. Akyildiz, Won-Yeol Lee, Mehmet C. Vuran, "Shantidev Mohanty, NeXt generation / dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey", *Elsevier B.V. Magazine*, vol. 50, no. 13, p. 2132, 2006, <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2006.05.001>
- [12] M. Cooper, "Enciclopedia Británica, American engineer", <https://www.britannica.com/biography/Martin-Cooper>
- [13] C. Medina, "Telecomunicaciones Móviles Cambiando el Tiempo y el Espacio", vol. 2, no. 1, <http://www.revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/526/521>
- [14] J. M. Huidobro, "Comunicaciones Móviles, Sistemas GSM, UMTS y LTE", *Comunicaciones móviles. Sistemas GSM, UMTS y LTE, RA-MA*, pp. 285-294, 2012.
- [15] O. Rodriguez Gamez, L. Hernandez, "Cellular Mobile telephony: origin, evolution, perspective", <http://www.redalyc.org/html/1815/181517913002/>
- [16] F.D. Chang Baldeón, "Servicios y soluciones que Brinda el protocolo de Internet (mobile IP) en redes de tercera generación", <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/104>
- [17] P. M. Zdenek Becvar, "Redes Móviles" http://techpedia.eu/modules/improvet/download/C4ES/Redes_moviles.pdf

- [18] R. Molina, J. Gallardo, “Las Tecnologías de Información y Comunicación: Su Evolución y Aplicación en los Negocios Internacionales”, <http://inceptum.umich.mx/index.php/inceptum/article/viewFile/258/238>
- [19] K. Sridhara, “Spectrum Challenges and Solutions by Cognitive Radio: An Overview”, *Springer science+Business Media*, vol. 45, no. 3. <https://doi.org/10.1007/s11277-008-9465-6>
- [20] A. Vizziello, F. Akyildiz, “Cognitive radio resource management exploiting heterogeneous primary users and a radio environment map database”, *Revista Wireless Network ACM Digital Library*, vol. 19, no. 6, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11276-012-0528-y>
- [21] J. H. Aguilar Renteria, A. Navarro Cadavid, “Radio Cognitiva – Estado del Arte”, *Revista sistemas y telemática*, vol. 9, no. 16, p. 39, <http://www.redalyc.org/pdf/4115/411534383003.pdf>
- [22] L. Ruiz, M. Velasco, “Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica “Esime”, Diseño e implementación de control de acceso para servicios Móviles”, <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/6268/ICE%20132.pdf?sequence=1>
- [23] F. H. Benítez, “Análisis comparativo entre el estándar analógico MPT1327 y el estándar digital tetra”, <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1502>
- [24] A. Madrigal, “El documento de 1947 que primero descubrió una red de teléfono celular”, <https://www.theatlantic.com/technology/archive/2011/09/the-1947-paper-that-first-described-a-cell-phone-network/245222/>
- [25] J. M. Hernando Rábanos, M. Riera, “Comunicaciones Móviles”, https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=lnqnDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA21&dq=Principales+caracteristicas+de+un+sistema+celular+en+redes+móviles&ots=LmmK9_JBor&sig=qgiZRsuacwNuEhpGUXaC4HqKQ2Q#v=snippet&q=gran%20apacidad%20de%20usuarios&f=false
- [26] Difference Between | Descriptive Analysis and Comparisons, “Difference Between GSM and GPS”, <http://www.differencebetween.info/difference-between-gsm-and-gps>
- [27] J. M. Huidobro, José Manuel, “Comunicaciones Móviles Sistemas GSM, UMTS y LTE”, Editorial RAMA, pp. 68-70, 2012.
- [28] J. M. Huidobro, “HandOver y Roaming en los sistemas móviles”, <http://www.networkworld.es/archive/handover-y-roaming-en-los-sistemas-moviles>
- [29] M. Inzaurre, “Telefonía Celular”, Universidad de la República de Montevideo, http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-06-06_11-27-11104608.pdf
- [30] Casa Editorial “El tiempo”, <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-196818>
- [31] T. Henderson, “Two ray ground reflection model”. <https://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/node218.html>
- [32] UIT-T Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT, “Sistemas y Medios de Transmisión, Sistemas y Redes Digitales”. <https://www.google.com.co/url?sa=t&rcet=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi43ePC1vXAhWBQjYKHfZvAjQQFghNMAU&url=http://www.itu.int/2Frec/2Fdoc/2Fpub/2Fpub.asp%3Fflang%3D%26id%3DTR-EC-G.1010-200111-I!!PDF-S%26type%3DItems&usg=AOvVaw06EPMdAAnBEtBmg1U-AIKa>
- [33] D. G. Smyth, “Herramienta Network Analyzer Lite”. <https://www.smythsys.es/8755/network-analyzer-lite-escaner-wifi-ping-escaner-puertos-red-movil/>
- [34] IEEE Xplore, “A survey on wireless security protocols (WEP, WPA and WPA2/802.11i)”, <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5234856>

- [35] P. Gardner-Stephen, “El proyecto Serval comunicación sin límites”, <https://vidandroide.wordpress.com/2011/09/01/el-proyecto-serval-comunicacion-celular-sin-limites/>