



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA
PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Análisis de las métricas de rendimiento en redes Ad-hoc
móviles usando el software NS2**

AUTOR:

Benítez Ávila, Jorge Luis

Componente práctico del examen complejo previo a la
obtención del grado de **INGENIERO EN
TELECOMUNICACIONES**

REVISOR:

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

5 de mayo del 2021



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente **componente práctico del examen complejo**, fue realizado en su totalidad por **Benítez Ávila, Jorge Luis** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

REVISOR

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 5 días del mes de mayo del año 2021



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Benítez Ávila, Jorge Luis**

DECLARÓ QUE:

El componente práctico del examen complejo, Análisis de las métricas de rendimiento en redes Ad-hoc móviles usando el software NS2, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 5 días del mes de mayo del año 2021

EL AUTOR

BENÍTEZ ÁVILA, JORGÉ LUIS



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Benítez Ávila, Jorge Luis**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del **componente práctico del examen complejo, Análisis de las métricas de rendimiento en redes Ad-hoc móviles usando el software NS2** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 5 días del mes de mayo del año 2021

EL AUTOR

BENÍTEZ ÁVILA, JORGE LUIS

REPORTE DE URKUND

URKUND Fernando Palacios Meléndez (edwin_palacios)

Documento	Benitez_Jorge_EC.docx (D102991016)
Presentado	2021-04-26 22:57 (-05:00)
Presentado por	fernandopm23@hotmail.com
Recibido	edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
Mensaje	Revisión EC Jorge Benitez Mostrar el mensaje completo 2% de estas 17 páginas, se componen de texto presente en 5 fuentes.

Lista de fuentes	Bloques	enlace/nombre de archivo
+		http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/11...
+		Titulación-Estupiñán Chaw V 3.doc
+		Titulación-Estupiñán Chaw V 2.pdf
+		http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/14...
+		http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/12...
+		http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/73...
+		http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/73...

0 Advertencias. [Reiniciar](#) [Exportar](#) [Compartir](#)

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

Análisis de las métricas de rendimiento en redes Ad-hoc móviles

usando el software NS2

AUTOR: Benítez Ávila, Jorge Luis

Componente práctico del examen complejo

previo a la obtención del grado de INGENIERO EN
TELECOMUNICACIONES

REVISOR: M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador 3 de mayo del 2021

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

DEDICATORIA

Primero quiero dedicarte este trabajo de examen complejo a Dios por permitirme culminar esta carrera que con mucho esfuerzo he llegado hasta aquí, segundo quiero dedicar infinitamente el apoyo incondicional de mis padres y mi familia ya que estuvieron presentes durante todo este tiempo para llegar a la meta ya que sin ellos todo este proceso no sería posible, esto también va dedicado a mí porque muchas veces creí que no iba a poder y pude tuve la valentía de continuar porque fue mi objetivo siempre.

EL AUTOR

BENÍTEZ ÁVILA, JORGE LUIS

AGRADECIMIENTO

Agradezco de antemano al M. Sc. Fernando Palacios que estuvo presente en todo este proceso de realizar mi trabajo de grado y en la carrera que me guio y estuvo despejando cada una de mis dudas, agradezco también infinitamente a mis amigos de alguna manera directa o indirectamente ayudaron y aportaron en mi carrera, agradezco a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil y a mi Facultad por brindarme la oportunidad de formar parte de esta gran institución que me formó como un gran profesional.

EL AUTOR

BENÍTEZ ÁVILA, JORGE LUIS



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____
M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS
DECANO

f. _____
M. Sc. HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO
DIRECTOR DE CARRERA

f. _____
M. Sc. CÓRDOVA RIVADENEIRA, LUIS SILVIO
OPONENTE

Índice General

Índice de Figuras	XI
Índice de Tablas.....	XII
Resumen	XIII
Capítulo 1: Descripción General	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Antecedentes.	2
1.3. Objetivos del Problema de Investigación.....	2
1.3.1. Objetivo General.....	2
1.3.2. Objetivos Específicos.	3
Capítulo 2: Fundamentos Teóricos	4
2.1. Introducción.....	4
2.2. Descripción general de redes Ad-hoc.	5
2.2.1. Arquitectura de las redes Ad-hoc.....	7
2.2.2. Estándar IEEE 802.11 en redes Ad-hoc inalámbricas.....	8
2.3. Protocolos de enrutamiento utilizados en redes ad hoc.	10
2.3.1. Enrutamiento proactivo y reactivo.....	11
2.3.2. Enrutamiento único y múltiple.....	11
2.3.3. Enrutamiento basado en tablas y bajo demanda.....	12
2.3.4. Enrutamiento periódico y basado en eventos.....	12
2.3.5. Estructura plana y jerárquica	12
2.4. Aplicaciones de las redes Ad-hoc.	12
2.5. Componentes de redes Ad-hoc.....	15
2.3.1. Hardware	15
2.3.2. Software	16
2.6. Ventajas de las redes Ad-hoc.....	17
2.7. Desventajas de las redes Ad-hoc.....	19

Capítulo3: Diseño, Implementación y Análisis de Resultados	21
3.1. Diseño y configuración de parámetros del modelo de red propuesto.	21
3.2. Diseño y configuración de parámetros del modelo de red propuesto.	21
3.3. Elección de las métricas de rendimiento para escenarios de simulación propuestos.....	21
3.3.1. Métrica de la pérdida de paquetes.....	21
3.3.2. Métrica de la carga de enrutamiento normalizada.	22
3.3.3. Métrica de retardo medio de extremo a extremo.	22
3.4. Selección de los parámetros del sistema de simulación.	22
3.4.1. Construir el modelo y establecer los parámetros fijos en el software.	24
3.4.2. Configuración del software para producir información relevante sobre el rendimiento	26
3.4.3. Ejecución de la simulación y recogida de datos de rendimiento	26
3.4.4. Presentar e interpretar los resultados.....	26
3.5. Análisis de los resultados obtenidos.	26
3.4.5. Análisis de resultados del escenario de simulación 1.....	26
3.4.6. Análisis de resultados del escenario de simulación 2.....	29
CONCLUSIONES	33
RECOMENDACIONES.....	34
Bibliografía.....	35

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2. 1: Estructura topológica de una red Ad-hoc móvil (MANET).....	4
Figura 2. 2: Estructura topológica de una red celular LTE.	6
Figura 2. 3: Area de transmisión en redes Ad-hoc.....	6
Figura 2. 4: Arquitectura de redes inalámbricas (a) con infraestructura y (b) Ad-hoc.	7
Figura 2. 5: Funcionamiento del espectro ensanchado por salto de frecuencia (FHSS) y por secuencia directa (DSSS).	9
Figura 2. 6: Estructura de enlaces asimétricos en redes Ad-hoc.....	11
Figura 2. 7: Estructura de un grupo de Piconets.....	14

Capítulo 3

Figura 3. 1: Simulación de una red Ad-hoc móvil con 50 nodos.	23
Figura 3. 2: Simulación de una red Ad-hoc móvil con 100 nodos.	24
Figura 3. 3: Comparativa entre los protocolos de transporte para la métrica de pérdida de paquetes con variación de nodos.	27
Figura 3. 4: Comparativa entre los protocolos de transporte para la métrica de retardo promedio con variación de nodos.	28
Figura 3. 5: Comparativa entre los protocolos de transporte para la métrica de NRL con variación de nodos.....	29
Figura 3. 6: Comparativa entre los protocolos de transporte para la métrica de pérdida de paquetes con variación de velocidad en los nodos móviles.....	30
Figura 3. 7: Comparativa entre los protocolos de transporte para la métrica de retardo extremo a extremo con variación de velocidad en los nodos móviles.	31
Figura 3. 8: Comparativa entre los protocolos de transporte para la métrica NRL con variación de velocidad en los nodos móviles.	32

Índice de Tablas

Capítulo 2

Tabla 3. 1: Configuración de parámetros de red del escenario de simulación 1.....	25
Tabla 3. 2: Configuración de parámetros de red del escenario de simulación 2.....	25

Resumen

El presente documento presenta el desarrollo del componente práctico del examen complejo denominado “Análisis de las métricas de rendimiento en redes Ad-hoc móviles usando el software NS2”. Las redes inalámbricas en la actualidad son el medio más utilizado en las telecomunicaciones después de las comunicaciones ópticas, y están coexisten entre sí. El capítulo 1 se presenta la descripción general del componente práctico, introducción, antecedentes y objetivos. El capítulo 2 se presenta los fundamentos teóricos de las redes ad-hoc inalámbricas, protocolos, aplicaciones, componentes, ventajas y desventajas. El capítulo 3 se presenta la propuesta de los escenarios de simulación utilizando el software NS2 para el cual se realizaron varias pruebas (variación de nodos entre 10 y 100 en el escenario 1, y variación de velocidad entre 5 y 25 m/s para 100 nodos en el escenario 2) para obtener las métricas de rendimiento del protocolo de congestión de transporte utilizando el protocolo de enrutamiento bajo demanda llamado AODV.

Palabras claves: Redes, Comunicaciones, Simulación, Enrutamiento, Protocolos, Rendimiento.

Capítulo 1: Descripción General

1.1. Introducción.

Las redes móviles Ad-hoc (MANET) son redes inalámbricas en las que no hay estación base. En estas redes, los nodos se comunican directamente con los demás nodos sin mantener ninguna infraestructura. La comunicación directa entre dos nodos sólo es posible si los nodos están dentro del rango de comunicación del otro, de lo contrario, todos los nodos participantes deben depender de otros nodos vecinos para la transmisión de datos. Los nodos no tienen ninguna restricción para moverse aleatoriamente en todas las direcciones. Por lo tanto, la topología es dinámica por naturaleza y cualquier nodo se comporta como un router. (Menaka et al., 2020)

Como parte importante, MANET en el internet de las cosas (IoT) se vuelve más atractiva porque MANET es una estructura de red autoorganizada y multisalto, en la que los nodos comparten un canal inalámbrico común y pueden moverse libremente sin la ayuda de una infraestructura de red fija. Además, MANET allana el camino para el desarrollo de nuevas plataformas de comunicación de IoT para una amplia gama de aplicaciones en diferentes ámbitos. (Niu et al., 2020)

1.2. Antecedentes.

Los usuarios móviles del mundo actual buscan técnicas de comunicación inalámbrica que proporcionen servicios en cualquier momento y en cualquier lugar con menos coste y mejor conectividad. Las áreas de investigación más recientes, como las redes celulares ecológicas y la comunicación dispositivo a dispositivo D2D, se centran ahora en las redes móviles ad hoc MANET, una red inalámbrica sin infraestructura que puede desplegarse con menos tiempo y coste para resolver los problemas del mundo inalámbrico.

1.3. Objetivos del Problema de Investigación.

1.3.1. Objetivo General.

Realizar el análisis de las métricas de rendimiento en redes Ad-hoc móviles usando el software NS2.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Describir los fundamentos teóricos de las redes Ad-hoc inalámbricas, aplicaciones, ventajas y desventajas.
- Diseñar los escenarios de simulación de la red MANET mediante protocolos de transporte de congestión.
- Evaluar los resultados obtenidos para los dos escenarios de simulación propuestos.

Capítulo 2: Fundamentos Teóricos

2.1. Introducción.

Las redes inalámbricas Ad-hoc son colecciones de nodos inalámbricos que se comunican directamente a través de un canal inalámbrico común. Los nodos están equipados con un transceptor inalámbrico. Ellos no necesitan alguna infraestructura adicional, como una estación base o un punto de acceso cableado, etc., tal como se muestra en la figura 2.1. Por lo tanto, cada nodo no solo juega el papel de un sistema final, pero también actúa como un enrutador, que envía paquetes a los nodos deseados.

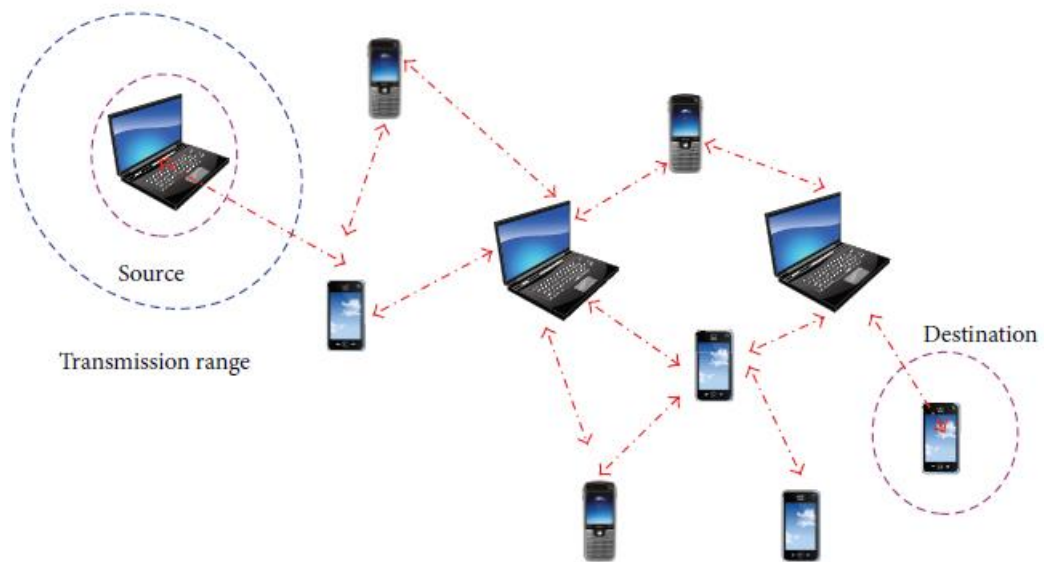


Figura 2. 1: Estructura topológica de una red Ad-hoc móvil (MANET).

Fuente: (Veerasamy et al., 2016)

Se espera que los Ad-hoc realicen asignaciones, las cuales la infraestructura no puede hacer. Las redes Ad-hoc son utilizadas principalmente por el ejército, equipos de misiones de rescate, taxistas. Sus oficios no pueden confiar en la red de una infraestructura. Como ejemplo ilustrativo, imagine que los bomberos apagan un incendio peligroso en un gran bosque. Tienen que comunicarse entre sí, pero establecer infraestructura o cableado en tales áreas es imposible o demasiado costoso.

Los principales problemas de las redes Ad-hoc son el enrutamiento y características de la comunicación inalámbrica. En las redes de infraestructura, un nodo puede comunicarse con todos los nodos de la misma

red. En las redes Ad-hoc, un nodo solo puede comunicarse con los nodos de su misma área. Este nodo puede comunicarse con otros nodos, pero es necesario un algoritmo de enrutamiento. A diferencia de la comunicación por cable, las redes inalámbricas tienen problemas de transmisión de datos, así como la posibilidad de conexiones asimétricas y mayores interferencias.

El propósito principal de este capítulo descriptivo es de proporcionar información en redes Ad-hoc y especialmente de MANET, su estructura, sus aplicaciones en el momento actual, así como sus fortalezas y debilidades en comparación con las redes de infraestructura. La sección 2.2 presenta la arquitectura Ad-hoc y sus usos, la sección 2.3 explica qué componentes necesitan las redes Ad-hoc para que se pueda establecer una red Ad-hoc. Las secciones 2.4 a 2.6 revisan las ventajas, desventajas y comparación de las redes, respectivamente.

2.2. Descripción general de redes Ad-hoc.

La palabra Ad-hoc viene del latín y significa "para esto (solo)". En el caso de las redes informáticas, las redes Ad-hoc significan redes inalámbricas sin infraestructura, también llamadas redes espontáneas. Una forma de entender las redes Ad-hoc es comparándolas con redes inalámbricas basadas en infraestructura, como las redes celulares y WLAN. En la red inalámbrica basada en infraestructura de redes un nodo solo puede enviar un paquete a un nodo de destino solo a través de un punto de acceso (en una red celular como LTE, se llama estación base), tal como se ilustra en la figura 2.2.

El punto de acceso establece un área de red del cual, solo los nodos de esta área pueden utilizar los servicios del punto de acceso. Hay algunos eventos desconocidos que provocan un mal funcionamiento en los puntos de acceso. Los nodos pierden su red y, casi dejando de funcionar. Esa la mayor desventaja de infraestructura. También hay algunas razones para sacrificar o no la utilización del acceso a servicios del punto. Estos pueden ser factores de costo, de imposibilidad de instalar un punto de acceso en poco tiempo, etc. En este caso, los nodos tienen que construir su propia red. Esta red se llama red Ad-hoc inalámbrica.

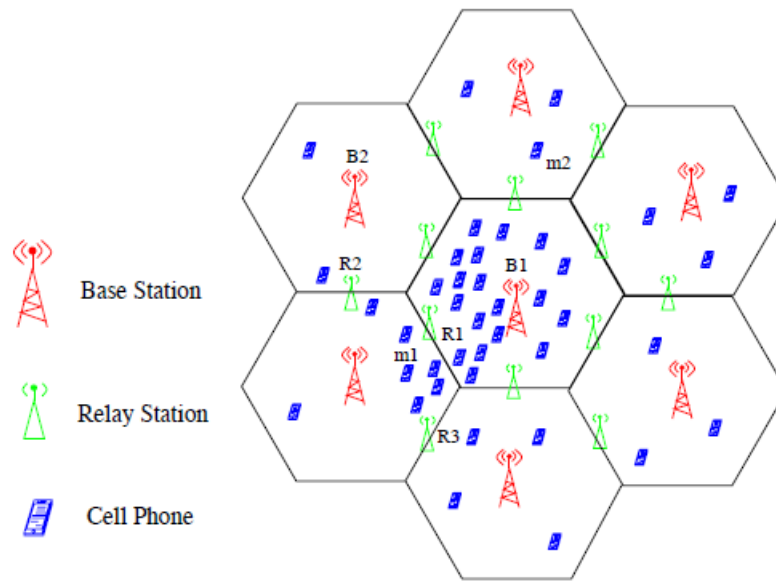


Figura 2. 2: Estructura topológica de una red celular LTE.
Fuente: (Yang et al., 2014)

Las redes Ad-hoc inalámbricas solo constan de nodos equipados con un transceptor. La red está creada para ser independiente de la infraestructura. Por lo tanto, los nodos deben poder organizar sus propias redes. Hay que considerar que un nodo ahora puede comunicarse solo con otros nodos en su rango de transmisión. En una red inalámbrica basada en infraestructura, los nodos pueden comunicarse con un nodo, que está ubicado en otra área de la red, transmitiendo datos a un punto de acceso de destino y, este punto de acceso retransmite los datos al nodo deseado.

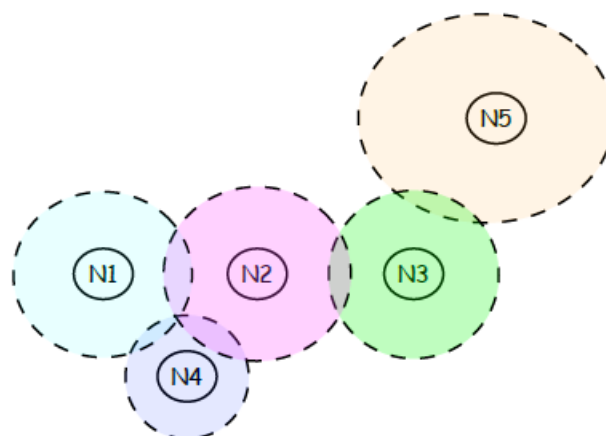


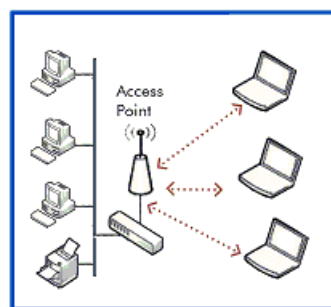
Figura 2. 3: Área de transmisión en redes Ad-hoc.
Fuente: (Othman & Khaled, 2010)

Parece que las redes Ad-hoc no son lo suficientemente poderosas. Cada nodo tiene su propio rango de transmisión, si estas pequeñas áreas de

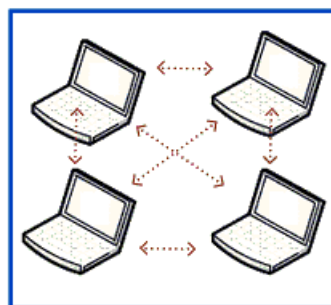
transmisión se combinan, formarán una gran área de transmisión más grande. Los nodos transmiten sus datos con una técnica de salto único o múltiple. Para lo cual es necesario la implementación de un algoritmo de enrutamiento adecuado, para que el proceso de transmisión de datos sea más efectivo. La figura 2.3 muestra cómo los nodos forman una nube de transmisión.

2.2.1. Arquitectura de las redes Ad-hoc.

Las redes inalámbricas se pueden clasificar según la arquitectura del sistema en dos versiones básicas. Uno es Infraestructura (véase la figura 2.2a) y el segundo es una red Ad-hoc (véase la figura 2.2b). La mayor diferencia entre ellos es la infraestructura. Las redes constan de puntos de acceso y nodos, mientras que, las redes Ad-hoc son independientes de un punto de acceso.



(a) Infraestructura



(b) Ad-hoc

Figura 2. 4: Arquitectura de redes inalámbricas (a) con infraestructura y (b) Ad-hoc.
Fuente: (Shah et al., 2017)

En la versión de infraestructura, un terminal no puede comunicarse directamente con otros terminales en la misma celda y otras celdas. Un punto de acceso aquí realiza mensajes de control. Los mensajes son enviados al punto de acceso y, a continuación, el punto de acceso distribuye los mensajes

al terminal deseado. Si un terminal quiere comunicarse con un terminal ubicado en otras celdas, el punto de acceso retransmitirá el mensaje a otros puntos de acceso, que tienen control sobre la celda deseada. Los puntos de acceso son normalmente cableado conectado. El problema de la infraestructura es qué si el punto de acceso tiene defectos, todas las terminales en esta celda perderán la función de comunicación.

A diferencia de la infraestructura, las redes Ad-hoc tienen un método diferente para distribuir mensajes. Por ejemplo, en la red de la figura 2.3 el nodo N1 quiere comunicarse con el nodo N5. Aunque, el nodo N5 se encuentra fuera del rango de transmisión del nodo N1, por lo que el nodo N1 debe saltar el mensaje a N4-N2-N3-N5 o N2-N3-N5. El algoritmo de enrutamiento decidirá qué ruta funciona mejor. No habrá ningún problema si el nodo N4 abandona la red porque el nodo N1 todavía tiene una ruta al nodo N5. Por lo tanto, las redes Ad-hoc son más robustas que la infraestructura.

2.2.2. Estándar IEEE 802.11 en redes Ad-hoc inalámbricas.

El estándar IEEE 802.11 describe una familia común de redes de área local inalámbricas (WLAN). El estándar especifica la capa física (PHY) y el control de acceso al medio (MAC) de la transmisión inalámbrica. El objetivo principal de este estándar fue la especificación de WLAN simples y robustas. Se espera que el estándar soporte la conservación de energía del terminal móvil, la consideración de terminal oculto y la posibilidad de un servicio global sin licencia. A continuación, se describen la capa física (PHY) y la MAC.

a) Capa física (PHY): el estándar IEEE 802.11 admite 3 versiones de la capa física. Uno es infrarrojo y otros dos utilizan la transmisión de radio para transmitir datos (típicamente en 2.4 GHz). Son de espectro ensanchado por salto de frecuencia (FHSS) y el espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS). Estas versiones proporcionan una señal de compensación (CCA) e informan si el medio es gratuito. La capa física también proporciona un punto de acceso al servicio (SAP) con una velocidad de datos de 1 o 2 Mbps.

La primera versión es de infrarrojos, donde la capa física, que funciona con luz infrarroja, trabaja en un rango de longitud de onda de 850-950 nm. La

disposición de infrarrojos es de solo unos 10 m. Por lo general, se utiliza en la sala, como la clase, la oficina, etc. Pero no en el exterior porque los infrarrojos se pueden bloquear fácilmente. Incluso el papel fino puede bloquear los infrarrojos.

La figura 2.5 muestra cómo funciona FHSS en la cual el ancho de banda disponible se dividirá en anchos de banda más pequeños. El emisor y el receptor utilizan un canal estrecho durante un tiempo determinado y saltan a otro canal estrecho. FHSS es una combinación de TDM y FDM. Hay dos saltos diferentes, el primero es lento y el segundo es rápido. En el método de salto lento, el remitente usa una frecuencia durante un tiempo de duración de uno o más bits, y en el salto rápido, el remitente cambia las frecuencias mientras envía un solo bit.

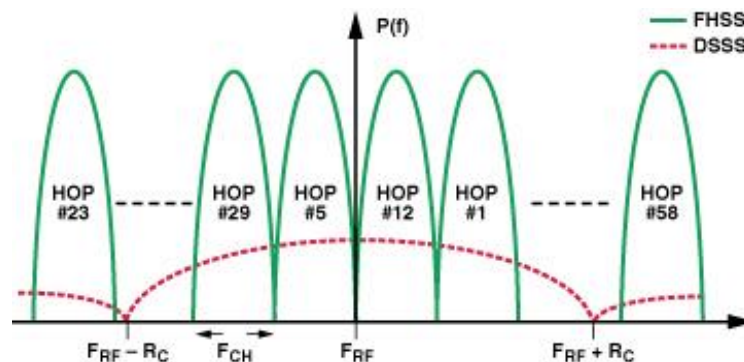


Figura 2. 5: Funcionamiento del espectro ensanchado por salto de frecuencia (FHSS) y por secuencia directa (DSSS).
Fuente: (Doerksen et al., 2003)

La figura 2.5 muestra cómo funciona DSS, por lo tanto, esta secuencia a veces se denomina secuencia de pseudo-ruido. El factor de ensanchamiento determina el ancho de banda de la señal resultante. Si la señal original necesita un ancho de banda w , entonces la señal expandida posee el rango sw .

b) Capa MAC: es responsable de cualquier asignación. La tarea más importante es controlar el acceso a los medios. Esta capa también admite la autenticación de Roaming y la administración de energía. Los servicios de la capa MAC básica son compatibles con el servicio de datos asíncronos y el servicio opcional limitado en el tiempo. El estándar IEEE 802.11 para Ad-hoc

proporciona solo servicio de datos asíncronos. Hay 3 métodos de acceso descritos en el estándar IEEE 802.11:

1) DFWMAC con CSMA/CA

- Cada implementación del estándar IEEE 802.11 debe tener este método.
- Evitación de colisiones mediante un mecanismo de "retroceso" aleatorio
- La distancia mínima entre paquetes consecutivos ACK paquete para reconocimientos (no para difusiones)

2) DFWMAC con RTS / CTS

- Es opcional para la implementación.
- MAC inalámbrico de base distribuida
- Evita problemas de terminales ocultos

3) DFWMAC con sondeo

- Es opcional para la implementación.
- El punto de acceso sondea los terminales según una lista

2.3. Protocolos de enrutamiento utilizados en redes ad hoc.

Los algoritmos de enrutamiento son un problema real en una red inalámbrica Ad-hoc. Las redes inalámbricas como WLAN y redes celulares funcionan con infraestructura de soporte. Cada infraestructura establece una celda y la infraestructura puede llegar a todos los nodos de la celda. Por lo tanto, el nodo puede enviar un paquete a otro nodo de la celda a través de la infraestructura y sin uno o varios saltos. Si el nodo de destino está en otra celda, la infraestructura puede retransmitir a otra estación, en la que se encuentra el nodo de destino. Por el contrario, la red inalámbrica Ad-hoc debe funcionar de forma independiente. Un nodo de destino puede estar fuera del rango de transmisión. Por lo tanto, las redes necesitan un enrutamiento, que pueda calcular una forma de un remitente a un receptor.

La figura 2.6 muestra que la topología de la red ad-hoc es asimétrica. Dado que la fuente N1 quiere enviar un paquete a N5, la forma es N1-N2-N5. N5 recibe el paquete y quiere enviar un acuse de recibo. N5 tiene información

sobre qué ruta utilizó N1. Pero la figura anterior muestra que no hay forma de N1. Este problema ocurre a menudo en redes ad hoc. El sencillo ejemplo anterior muestra una diferencia entre una red cableada y una red ad hoc inalámbrica. A continuación, se describen los protocolos de enrutamiento en redes Ad-hoc.

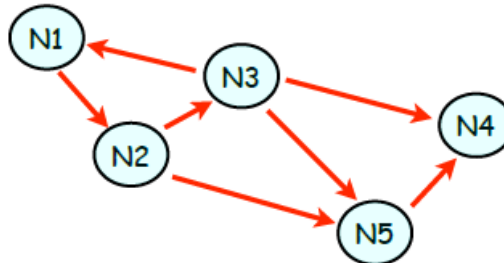


Figura 2. 6: Estructura de enlaces asimétricos en redes Ad-hoc.
Fuente: (Doerksen et al., 2003)

2.3.1. Enrutamiento proactivo y reactivo

Los esquemas proactivos calculan las rutas a varios nodos de la red. Para que los nodos puedan utilizar la ruta siempre que la necesiten. Mientras tanto, el esquema reactivo calculará la ruta si los nodos necesitan comunicarse con un nodo de destino. Los esquemas reactivos parecen esquemas perezosos porque funcionarán si es necesario. Pero los esquemas reactivos tienen gastos generales de descubrimiento de rutas más pequeños porque no tienen que guardar todas las rutas posibles en las redes. El vector de distancia secuenciada de destino (DSDV) es un ejemplo de un esquema proactivo. El vector de distancia Ad-hoc bajo demanda (AODV) y los enrutamientos de fuente dinámica son ejemplos de un esquema de enrutamiento reactivo.

2.3.2. Enrutamiento único y múltiple.

¿Cuántas rutas al nodo B tiene el nodo A? En la sección anterior, las redes Ad-hoc deberán tener conexión redundante, para que puedan recuperar los fallos de conexión. Una conexión redundante puede producir un mejor rendimiento de datos, pero la sobrecarga del descubrimiento de rutas en el enrutamiento de múltiples rutas es mucho mayor que la del enrutamiento de ruta única.

2.3.3. Enrutamiento basado en tablas y bajo demanda.

En los protocolos de enrutamiento controlados por tablas, la información de cada nodo a todos los demás nodos de la red se actualizará con frecuencia. Un cambio en la topología de la red puede provocar actualizaciones. En el enrutamiento bajo demanda, los nodos no tienen que actualizar la información de la ruta, ya que los nodos calculan el enrutamiento si tienen que comunicarse con otros nodos.

2.3.4. Enrutamiento periódico y basado en eventos.

Los protocolos de actualización periódica difunden información de enrutamiento periódicamente. Las actualizaciones periódicas son muy útiles para mantener la estabilidad de la red, pero causan gastos generales. Los nodos pueden conocer nuevas topologías y el estado de la red.

2.3.5. Estructura plana y jerárquica

En una estructura plana, todos los nodos de una red están en el mismo nivel y tienen la misma funcionalidad de enrutamiento. Esta estructura es muy adecuada para redes pequeñas, pero si las redes crecen más. No será más eficaz. La información de enrutamiento tardará mucho en llegar a los nodos de destino. Mientras tanto, en la estructura jerárquica, los nodos se organizan en particiones más pequeñas llamadas clústeres, y los clústeres se agregan nuevamente en particiones más grandes llamadas supercúmulos y así sucesivamente.

2.4. Aplicaciones de las redes Ad-hoc.

Las redes Ad-hoc son muy adecuadas para muchas situaciones en las que la red de una infraestructura no se puede construir o es casi imposible construir una infraestructura. El interés en las redes Ad-hoc aumenta rápidamente en los últimos años porque Ad-hoc apoya la movilidad y la libertad en las redes. Los datos se pueden intercambiar sin cable, punto de acceso o espacio de memoria portátil. Esta sección explica brevemente algunas de las aplicaciones de las redes Ad-hoc. Hoy en día, los fabricantes de computadoras y teléfonos implementan tecnología Ad-hoc en sus productos.

a. Aplicaciones de uso militar: quizás sea lamentable que las redes Ad-hoc se concibieron por primera vez para su uso en operaciones militares. Imagine una gran cantidad de soldados esparcidos en un gran campo de batalla y tienen que comunicarse entre sí. Instalar una infraestructura en el campo de batalla o equipar a cada soldado con cable está fuera de discusión. Una alternativa sería equipar a cada soldado en el campo de batalla con un transmisor, que puede llegar a todos los demás soldados en el campo de batalla en todo momento. Sin embargo, este método no es adecuado para uso militar. El enemigo puede interceptar la comunicación fácilmente y, como mucho, habría una persona usando el canal en un momento dado.

De acuerdo con lo explicado previamente las redes Ad-hoc son muy adecuadas para este caso. Es decir, cada soldado está equipado con un transmisor. Sin embargo, el transmisor tiene un área de transmisión más pequeña que el transmisor del ejemplo anterior, por lo que cada soldado solo puede alcanzar a algunos otros soldados. Sin embargo, el transmisor está diseñado para que pueda retransmitir mensajes a través de un salto o varios saltos. Estos soldados formarían una red Ad-hoc. Este tipo de red es más robusta, más difícil de interceptar y adecuada para escenarios militares.

b. Misión de rescate y emergencia: imagine la situación después de un terremoto cuando la infraestructura de comunicaciones ya no funciona. Se debía instalar la sustitución de la infraestructura lo antes posible para apoyar las operaciones de rescate. Es más, la red instalada debe ser simple de configurar, fácil de configurar y mantener y debe adaptarse a una topología dinámica para soportar cambios en el número y densidad de participantes.

Las redes Ad-hoc, especialmente las MANET, pueden soportar este escenario. Las redes Ad-hoc se pueden configurar fácil y rápidamente. Están diseñados para instalar una red sin infraestructura fija. Las redes Ad-hoc son temporales. Tan pronto como se establezca una nueva infraestructura en esta área, las redes Ad-hoc se pueden eliminar fácilmente.

c. Red de área personal y tecnología Bluetooth: la idea de una red de área personal (PAN) es crear una red localizada poblada por algunos nodos de red que están estrechamente asociados con una sola persona. La tecnología Bluetooth admite este escenario. Bluetooth es una red local inalámbrica, que tiene solo un área de transmisión de rango pequeño (generalmente menor de 10 m o 100 m y se denominan Piconet), opera en el espectro sin licencia de 2.4 GHz y no necesita infraestructura o cable para conectar el extremo terminal. Una Piconet es una red Ad-hoc que consta de un dispositivo maestro y varios dispositivos esclavos activos. Las Piconets también pueden realizar una red más grande, tal como se describe en la figura 2.7, pero un dispositivo maestro no puede actuar como maestro de dos o más Piconets.

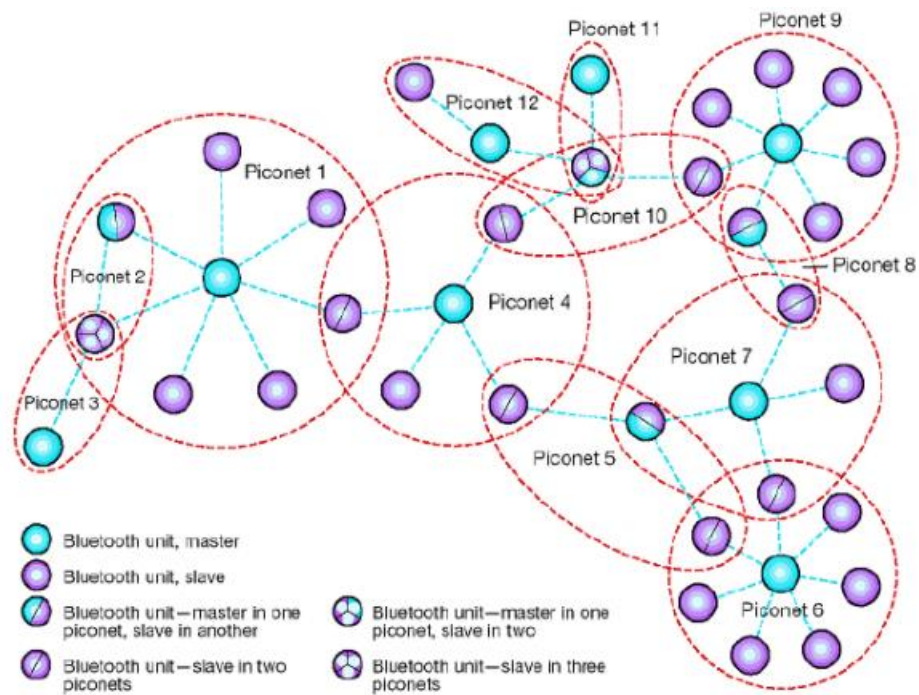


Figura 2. 7: Estructura de un grupo de Piconets.

Fuente: (Gómez Mármol, 2006)

d. Redes de sensores inalámbricos: las redes de sensores inalámbricos (WSN) se encuentran en la intersección de tres tecnologías diferentes: comunicaciones inalámbricas, detección y redes. Las WSN constan de una gran cantidad de nodos sensores, cada uno equipado con un transceptor inalámbrico. El transceptor tiene dos funciones principales: los sensores lo utilizan para medir y/o detectar actividades. Y la red se utiliza para transmitir la información recopilada a los receptores de datos. Por lo tanto, el

recuento de saltos puede ser alto. Las aplicaciones de las WSN son como monitorear animales o áreas muy peligrosas.

e. Redes inalámbricas enmalladas: las redes de malla inalámbrica (WMN) constan de dos tipos de nodos: clientes de malla y enrutadores de malla. Los enrutadores de malla suelen estar equipados con una fuente de alimentación, por lo que no se pueden mover. La función principal de los enrutadores de malla es realizar un salto único (o salto múltiple). Y los clientes de malla están asociados con los usuarios. Pueden ser móviles o inmóviles. Los clientes de malla son similares a un teléfono móvil en las redes celulares GSM. Los clientes de malla se comunican entre sí a través de enrutadores de malla. Las aplicaciones de las WMN son como las redes de área local (LAN) y las redes de área metropolitana (MAN).

2.5. Componentes de redes Ad-hoc.

Como ya se describió que la mayoría de las aplicaciones de las redes Ad-hoc son para reemplazar la infraestructura en algunas situaciones difíciles. Las redes Ad-hoc deben ser menos complicadas que las de infraestructura. Obviamente, los dispositivos finales de las redes Ad-hoc serán más complicados que los de las infraestructuras. Las siguientes subsecciones son los componentes importantes de la red Ad-hoc.

2.3.1. Hardware

Las redes Ad-hoc no tienen ninguna infraestructura, excepto que se combinan con otros tipos de redes. Solo se necesitan dispositivos finales para establecer Ad-hoc. En primer lugar, los dispositivos deben estar equipados con un transceptor, para que puedan captar la señal entrante y enviar una señal. En segundo lugar, los dispositivos deben implementarse según el estándar IEEE 802.11. Los dispositivos como computadoras portátiles, tablets, teléfonos inteligentes se implementan principalmente con el estándar IEEE 802.11, por lo que pueden unirse a una red de infraestructura o red ad hoc.

2.3.2. Software

El componente de software más importante de las redes Ad-hoc es el algoritmo de enrutamiento. Los siguientes son algunos de los algoritmos de enrutamiento más famosos. El enrutamiento por vector de distancia secuenciado por destino (DSDV), que es un esquema de enrutamiento basado en tablas para redes móviles Ad-hoc y una expansión del enrutamiento por vector de distancia para redes Ad-hoc. DSDV utiliza un método de enrutamiento de vector de distancia, que se basa en el algoritmo distribuido de Bellman-Ford. En redes con topología dinámica este protocolo de enrutamiento actúa erráticamente.

Este protocolo tiene un problema de conteo hasta el infinito. Para recopilar información sobre la topología real, los nodos deben intercambiar su tabla de enrutamiento continuamente. En DSDV, la tabla de enrutamiento consta de:

- la dirección del nodo de destino
- el número de saltos necesarios para llegar al destino
- el número de secuencia (o marca de tiempo) de la información recibidos con respecto a ese destino, tal como lo estampa originalmente el destino.

La tabla de enrutamiento puede constar de una entrada con el mismo destino, pero tiene una marca de tiempo o número de saltos diferente. En este caso, se elegirá la entrada con una marca de tiempo más reciente, de lo contrario, un número menor de saltos.

a. Enrutamiento de origen dinámico (DSR)

Este protocolo realiza una ruta bajo demanda cuando se transmite la computadora solicita uno. DSR sigue dos pasos para hacer una ruta:

- encontrar la ruta: un nodo intenta encontrar su destino si en este momento no hay un camino conocido hacia el destino.
- mantener la ruta: la ruta obtenida debe ser mantenida. Si un nodo tiene un problema, que se encuentra en la ruta, el remitente debe encontrar una nueva ruta.

Imagine un escenario de la figura 2.6. N1 quiere enviar datos a N5, DSR sigue los pasos:

- N1 envía una transmisión ((N1), id = 42, Destino = N5). Solo N2 puede recibir la transmisión.

- N2 salta el mensaje recibido ((N1, N2), id = 42, Destino = N5), N3 y N5 pueden recibir el mensaje.

- El mensaje ha llegado al destino con una ruta. (N1, N2, N5).

- Pero N3 aún transmite el mensaje a N4 y N5. Ambos mensajes llegarán a N5, pero se eliminarán ya que la ruta (N1, N2, N5) es más corta.

Este DSR puede enfrentar un problema ya que la topología es asimétrica. En este escenario, N5 no podrá devolver un mensaje a N1. Si N5 puede transmitir a N3, la ruta a N1 será (N5, N3, N1).

b. Ad Hoc On-Demand Distance-Vector (AODV)

AODV es similar a DSR en que forma una ruta bajo demanda cuando una computadora transmisora la solicita. AODV también es similar a DSDV, utiliza el número de secuencia de destino para evitar un bucle. Las solicitudes de ruta (RREQ), las respuestas de ruta (RRSP) y los errores de ruta (RERR) son los tipos de mensajes definidos por AODV. Estos mensajes se reciben a través de UDP y se aplica el procesamiento de encabezado IP normal. Cuando un nodo tiene que realizar una ruta. RREQ se transmitirá hasta llegar al destino. Cada nodo que recibe las solicitudes tiene en su caché una ruta de regreso al emisor de la solicitud, de modo que el RREP puede ser difundido desde el destino a lo largo de una ruta hacia el emisor, o también desde cualquier nodo intermedio que sea capaz de satisfacer la solicitud.

2.6. Ventajas de las redes Ad-hoc.

Hay muchas razones por la que es mejor usar Ad-hoc que infraestructura. La mayor fortaleza de las redes Ad-hoc es su independencia de cualquier infraestructura. Por lo tanto, es posible establecer una red Ad-hoc en cualquier situación difícil. A continuación, se presentan las ventajas de las redes Ad-hoc.

a. Sin infraestructura y menor costo: hay situaciones en las que un usuario de un sistema de comunicación no puede confiar en una infraestructura. El uso de un servicio desde la infraestructura puede resultar costoso para aplicaciones específicas. En un área con muy baja densidad, como desierto, montaña o área aislada, no es imposible establecer una Infraestructura. Pero si se compara la frecuencia con la que la gente utiliza el servicio de infraestructura y la cantidad de datos transmitidos por día con el costo de instalación, mantenimiento y reparación, tal vez sea demasiado caro.

Casi el mismo problema con la red militar. Obviamente, es muy inútil construir infraestructura en un campo de batalla. Aparte del costo de instalación, el enemigo puede destruir la infraestructura en poco tiempo. Se necesita una red de infraestructura independiente tanto para casos.

b. Movilidad (solo MANET): en la próxima generación de sistemas de comunicación inalámbrica, será necesario el despliegue rápido de usuarios móviles independientes. Los ejemplos más populares incluyen redes militares, operaciones de emergencia/rescate, esfuerzos por desastres. En estos escenarios, no se puede confiar en la conectividad centralizada. Las MANET apoyan la movilidad de los nodos. Aún se puede lograr la comunicación con dispositivos móviles siempre que el destino sea accesible.

c. Descentralizadas y robustas: otra ventaja de las redes Ad-hoc es que son intrínsecamente muy robustas. Imagínese que por alguna razón una de las estaciones base no funciona. En este caso, todos los usuarios de esa estación base perderán la conectividad con otras redes. En las redes ad hoc, puede evitar estos problemas. Si un nodo abandona la red o no está funcionando, aún puede tener conectividad con otros nodos y, tal vez, pueda usar estos nodos para realizar múltiples saltos en su mensaje a los nodos de destino, siempre y cuando haya al menos un camino hacia el nodo deseado.

d. Infraestructura espontánea fácil de construir: el mal funcionamiento de la infraestructura de red a veces no se puede evitar. Obviamente, es difícil reparar o reemplazar la infraestructura que funciona mal

en poco tiempo, mientras que la existencia de la red debe mantenerse en todo momento. Establecer un Ad-hoc es un buen negocio en tal situación. Los participantes de la red pueden actuar como nodos ad hoc y saltar los mensajes.

2.7. Desventajas de las redes Ad-hoc.

La comunicación inalámbrica es muy famosa hoy en día, el uso de la tecnología inalámbrica puede hacer que las habitaciones se vean mejor porque se utilizan menos cables. La debilidad de los enlaces inalámbricos tiene un impacto en red Ad-hoc. La velocidad de datos más baja, la seguridad y el control de acceso al medio son problemas comunes en las comunicaciones inalámbricas. Las fortalezas de redes Ad-hoc también causan algunos problemas. A continuación, se presentan las desventajas de las redes Ad-hoc:

a. Tasa de error más alta: a diferencia de la transmisión por cable, la transmisión inalámbrica puede resolver el problema de la característica de la onda electrónica. En una habitación libre y sin obstáculos la onda electromagnética se propaga linealmente de forma independiente a su frecuencia. Rara vez existe tal situación. El obstáculo provoca sombras, reflexión, dispersión, desvanecimiento, refracción, y difracción de la onda. Estas propagaciones pueden hacer que los paquetes transmitidos se confundan y, por lo tanto, se reciban por error.

b. Menor velocidad de datos: uno de los mayores problemas de las redes Ad-hoc es la velocidad de datos reducida. La característica de una onda, que se utiliza para la comunicación inalámbrica, impide que ésta transmita los datos de forma más eficaz que la comunicación por cable. Una frecuencia más alta puede transmitir más datos, pero luego es más vulnerable a las interferencias y funciona bien en un rango corto.

c. Topología dinámica y escalabilidad: porque las redes Ad-hoc no permiten los mismos tipos de técnicas de agregación que están disponibles para el protocolo de enrutamiento de Internet estándar, se vuelven vulnerables a problemas de escalabilidad. Dado que los nodos de MANET son móviles, el

enrutamiento cambia a medida que se mueven los nodos. La información de conectividad actual debe propagarse a todos los participantes de la red.

Los mensajes de control deben enviarse por la red con frecuencia. El mayor número de mensajes de control sobrecarga el ancho de banda disponible. Por lo tanto, los protocolos Ad-hoc generalmente se diseñan para reducir la cantidad de mensajes de control, por ejemplo, manteniendo la información actual. Un buen algoritmo para redes Ad-hoc debe poder evaluar y comparar la escalabilidad relativa de las redes frente a un mayor número de nodos y movilidad de nodos. Es muy importante saber cuántos mensajes de control se requieren. Entonces podemos controlar el uso del ancho de banda.}

d. Seguridad: debido a la naturaleza distribuida dinámica sin infraestructura y la falta de puntos de monitoreo centralizados, las redes Ad-hoc son vulnerables a varios tipos de ataques. A diferencia de los canales cableados, el canal inalámbrico es accesible tanto para los usuarios legítimos de la red como para los atacantes malintencionados. Por lo tanto, las redes Ad-hoc son susceptibles a ataques que van desde ataques pasivos como escuchas hasta ataques activos como interferencia. Especialmente para MANET, el consumo de energía limitado y capacidades de cálculo debido a la limitación de energía que provoca incapacidad para ejecutar cálculos robustos de algoritmos.

e. Limitación de energía (solo MANET): una red MANET permite que los nodos móviles se comuniquen en ausencia de una infraestructura fija. Por lo tanto, funcionan con batería. Debido a estas limitaciones, deben tener algoritmos que sean energéticamente eficientes y que funcionen con recursos de memoria y procesamiento limitados. El uso del ancho de banda disponible será limitado porque es posible que los nodos no puedan sacrificar la energía consumida al operar a la velocidad máxima del enlace. También es muy molesto recibir datos de alguien con teléfonos inteligentes porque la batería está casi agotada. Es necesario repetir el proceso de transferencia después de la recarga. Por lo tanto, un MANET no es adecuado para una red permanente.

Capítulo3: Diseño, Implementación y Análisis de Resultados

3.1. Diseño y configuración de parámetros del modelo de red propuesto.

En este trabajo se ha elegido la simulación como técnica para estudiar el sistema de red. La metodología general de investigación para el modelado es la adaptación del estudio sistemático de simulación de redes. Las siguientes secciones describen los pasos de la implementación y análisis de resultados obtenidos para los dos escenarios de simulación propuestos.

3.2. Diseño y configuración de parámetros del modelo de red propuesto.

Es un paso obligatorio diseñar el modelo de red que se requiere de la simulación que se va a realizar. El modelo de red de referencia se refiere aquí a la topología de red que se utilizará. Una vez seleccionada la topología de red, es necesario establecer los parámetros fijos de la red que se va a simular, como el modelo de movilidad, la carga de tráfico y otros ajustes de parámetros relacionados, tal como se muestran en la tabla 3.1 y tabla 3.2. La diferencia entre ambos escenarios son los números y velocidad de los nodos.

3.3. Elección de las métricas de rendimiento para escenarios de simulación propuestos.

En esta sección se presentarán las métricas de rendimiento que se utilizarán para evaluar el rendimiento de las redes en esta investigación. Estas métricas de rendimiento también se denominan variables de salida o de respuesta que se observan al final de la simulación. El rendimiento de los protocolos de transporte, por ejemplo, TCP estándar y TCP ELFN en redes Ad-hoc móviles (MANET) se estudiará según tres métricas de rendimiento, que son: carga de enrutamiento normalizada por paquetes, la pérdida y el retardo medio de extremo a extremo, que se consigue con cada configuración de simulación.

3.3.1. Métrica de la pérdida de paquetes.

La medición del rendimiento de la red mediante la pérdida de paquetes es crucial para determinar la capacidad de reacción de la red ante la

congestión o, en el caso de las MANETs, ante los frecuentes fallos de los enlaces. La pérdida de paquetes se obtiene a partir de:

$$P_L = P_{T_S} - P_{T_R}$$

Donde, P_L es el paquete perdido, P_{T_S} es el total de paquetes enviados y P_{T_R} es el total de paquetes recibidos.

3.3.2. Métrica de la carga de enrutamiento normalizada.

La carga de enrutamiento normalizada (conocida como NRL) puede definirse como la cantidad de paquetes de enrutamiento que se transmiten por paquete enviado al destino. La NRL también asume que cada paquete reenviado como una transmisión. La NRL está inmensamente asociado al número de cambios o desconexiones de ruta o enlace que se produzcan durante las simulaciones. La NRL se obtiene a partir de:

$$NRL = \frac{R_{P_S}}{R_{P_R}}$$

Donde, R_{P_S} es el número de paquetes de enrutamiento enviados y R_{P_R} es el número de paquetes de enrutamiento recibidos.

3.3.3. Métrica de retardo medio de extremo a extremo.

Cuando se transmiten paquetes entre dos nodos, el retardo medio entre el envío y la recepción se denomina retraso medio de extremo a extremo. El retardo medio de extremo a extremo indica que, si el valor es mayor, significa que la red está experimentando congestión, lo que hace que los protocolos de enrutamiento no puedan funcionar de forma eficiente. El retardo medio de extremo a extremo se calcula de la siguiente manera:

$$D_{E2E} = \frac{\sum_{i=1}^n (t_{P_R} - t_{P_S})}{P_{T_R}}$$

3.4. Selección de los parámetros del sistema de simulación.

La selección de los parámetros variables es el siguiente paso para configurar el entorno de simulación. En esta investigación, los parámetros

variables incluyen los valores del número de nodos y la velocidad de los nodos móviles, que representan las densidades de los nodos. Las simulaciones se repetirán utilizando una densidad de nodos variable y una velocidad de desplazamiento diferente para evaluar el rendimiento de cada configuración de simulación.

En este trabajo, los escenarios consisten en seis valores diferentes para la densidad de nodos (10, 30, 50, 70, 90 y 100) con TCP y TCP-ELFN respectivamente, además de los 5 valores diferentes para la velocidad (5, 10, 15, 20 y 25 m/s) de los nodos móviles para TCP y TCP-ELFN respectivamente. En total, se simularán 22 escenarios y cada escenario se repetirá 10 veces. Por ejemplo, la figura 3.1 muestra un modelo de red Ad-hoc móvil (MANET) con 50 nodos utilizando el enrutamiento AODV.

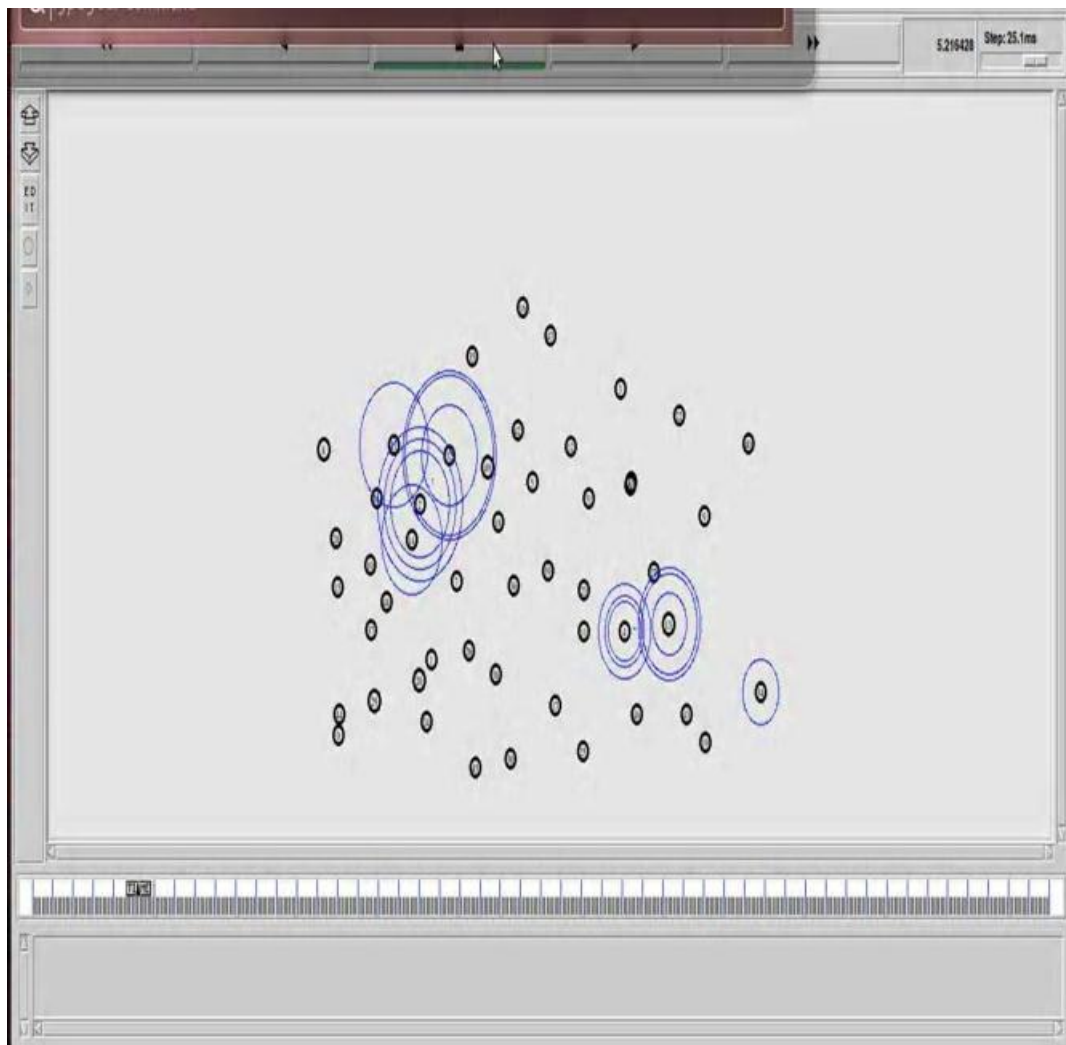


Figura 3. 1: Simulación de una red Ad-hoc móvil con 50 nodos.
Elaborado por: Autor.

Mientras, que en la figura 3.2 se muestra la simulación de la MANET con 100 nodos usando el protocolo de enrutamiento AODV sobre el software NS-2. Ambas figuras (3.1 y 3.2) se emplean para evaluar los protocolos de transporte TCP.

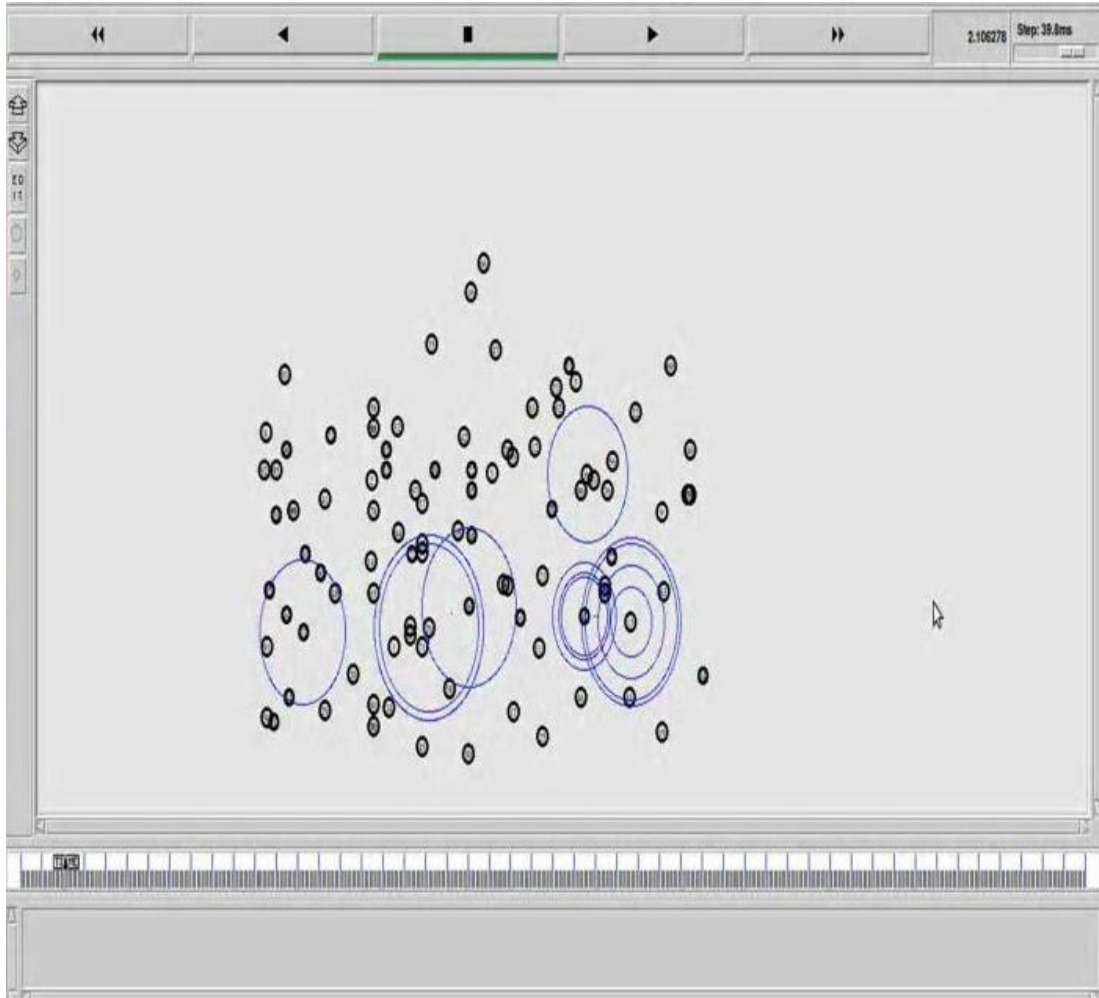


Figura 3. 2: Simulación de una red Ad-hoc móvil con 100 nodos.
Elaborado por: Autor.

3.4.1. Construir el modelo y establecer los parámetros fijos en el software.

En esta fase, se desarrolla una configuración constante para ser utilizada en las simulaciones que deberán aplicarse con todos los parámetros variables mencionados anteriormente. Para esta investigación, los parámetros fijos se muestran en las tablas 3.1 y 3.2.

Tabla 3. 1: Configuración de parámetros de red del escenario de simulación 1.

Parámetros	Datos
Tipo de canal	Inalámbrico
Modelo de propagación	Reflexión del suelo de dos rayos
Tipo de interfaz de red	PHY inalámbrico
Tipo de MAC	802.11
Modelo de antena	Omnidireccional
Tipos de protocolos de transporte	TCP y TCP ELFN
Tiempo de simulación	100 s
Número de nodos	10 a 100
Velocidad de los nodos	15 m/s
Área de simulación	0.5 km*0.5 km
Protocolo de enrutamiento	AODV
Tamaño de paquetes	512 bytes

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 2: Configuración de parámetros de red del escenario de simulación 2.

Parámetros	Datos
Tipo de canal	Inalámbrico
Modelo de propagación	Reflexión del suelo de dos rayos
Tipo de interfaz de red	PHY inalámbrico
Tipo de MAC	802.11
Modelo de antena	Omnidireccional
Tipos de protocolos de transporte	TCP y TCP ELFN
Tiempo de simulación	100 s
Número de nodos	100
Velocidad de los nodos	5, 10, 15, 20 y 25 m/s
Área de simulación	0.5 km*0.5 km
Protocolo de enrutamiento	AODV
Tamaño de paquetes	512 bytes

Elaborado por: Autor.

3.4.2. Configuración del software para producir información relevante sobre el rendimiento

Esta fase requiere que la configuración y los ajustes de simulación realizados en el software de simulación NS-2 sean relevantes para cumplir con el objetivo del componente práctico del examen complejo. Por lo tanto, los parámetros especificados como se menciona en la subsección 3.4.1 deben determinarse de acuerdo con el objetivo de la evaluación del rendimiento realizada.

3.4.3. Ejecución de la simulación y recogida de datos de rendimiento

Para este componente práctico del examen complejo, la ejecución de la simulación con el software de simulación NS-2 se realiza de forma repetitiva utilizando diferentes valores de la velocidad de los nodos con movilidad y del número de nodos. Una vez ejecutada la simulación, el software NS-2 generará un archivo de trazas que contiene toda la información de la simulación que puede ser extraída posteriormente utilizando un script AWK.

3.4.4. Presentar e interpretar los resultados

La presentación de los resultados obtenidos en este componente práctico se hará utilizando la herramienta Microsoft Excel, ya que nos permite realizar el reconocimiento del software de forma visual a partir de un conjunto de archivos de trazas para diferentes casos de prueba. Microsoft Excel es una herramienta gráfica para la presentación de datos. Tiene la capacidad de proporcionar todas las matrices que se requieren para el estudio del rendimiento de la red

3.5. Análisis de los resultados obtenidos.

En esta sección, presentamos la evaluación del rendimiento de TCP-ELFN y del TCP estándar en dos escenarios.

3.4.5. Análisis de resultados del escenario de simulación 1.

Realizamos las simulaciones con el TCP estándar y con TCP-ELFN para investigar su rendimiento cuando se les suministra un número diferente de nodos. Esto es importante para comprobar cómo será el rendimiento de la red

utilizando el TCP-ELFN y el TCP estándar cuando se varía la densidad de nodos. Para este experimento, hemos fijado la velocidad de los nodos viajeros en una constante que es de 15m/s. Por otro lado, hemos fijado el número de nodos en 10, 30, 50, 70, 90 y 100 respectivamente para cada simulación. Los valores de los parámetros de la configuración de la simulación se indican en la Tabla 1. Además, para cada escenario se repite el experimento diez veces y se obtiene el valor medio de cada métrica.

La figura 3.3 presenta la comparación del rendimiento de los protocolos TCP estándar y TCP ELFN en términos de pérdida de paquetes. De las seis configuraciones de densidad de nodos (10, 30, 50, 70, 90 y 100 nodos), el resultado ha demostrado que el protocolo de transporte TCP ELFN se comportó mejor, ya que produjo menos pérdidas de paquetes con todas las configuraciones de densidad de nodos.

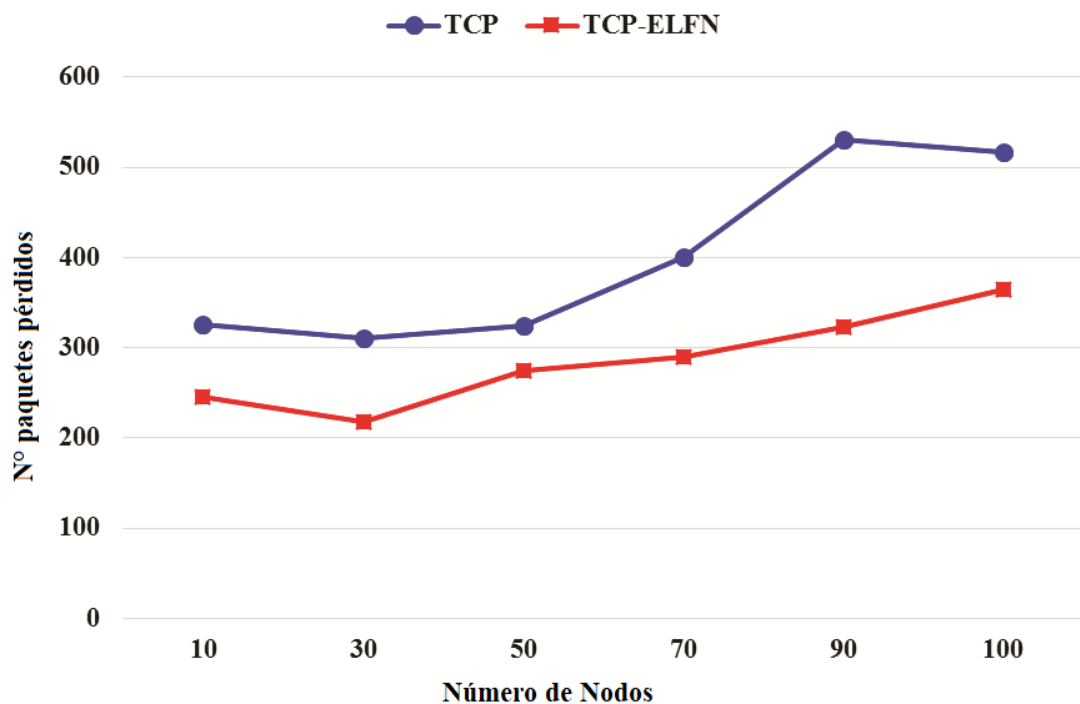


Figura 3. 3: Comparativa entre los protocolos de transporte para la métrica de pérdida de paquetes con variación de nodos.

Elaborado por: Autor.

Aunque tanto el mecanismo TCP estándar como el TCP ELFN muestran un patrón creciente de pérdida de paquetes a medida que se incrementa el número de nodos. Así, la cantidad de pérdidas de paquetes en cada valor de la densidad de nodos muestra que el protocolo TCP ELFN tiene menores

pérdidas de paquetes y que por ende son más apropiadas en cualquier red. Este resultado se obtiene debido a que hay más intercambios de información o paquetes en la red cuando el número de nodos se fija entre 70 y 100 para TCP, sin embargo, con la mejora en TCP-ELFN, la red es capaz de manejar mejor estos casos.

La figura 3.4 presenta la comparación del rendimiento del TCP ELFN y TCP estándar en términos de retardo de extremo a extremo. En la figura 3.4 se puede ver que, independientemente del número de nodos que se suministren a la red, el retardo promedio de extremo a extremo de TCP ELFN es mucho menor que el de TCP estándar. Como se puede apreciar, cuando se utiliza el TCP estándar, el retardo promedio aumentará con respecto al número de nodos. Esto se debe a que, cuando hay muchos nodos en la red, el tiempo que se tarda en enviar un paquete al nodo de destino aumentará respectivamente debido a la transmisión ocupada entre los nodos y la red.

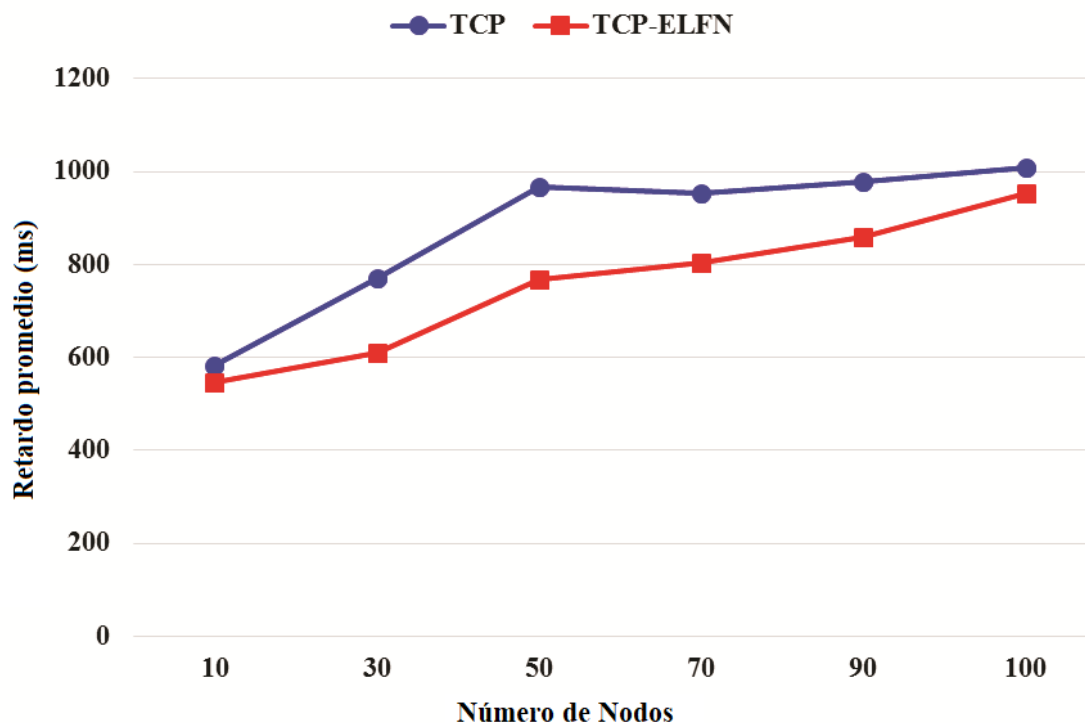


Figura 3. 4: Comparativa entre los protocolos de transporte para la métrica de retardo promedio con variación de nodos.

Elaborado por: Autor.

Como se ha mencionado anteriormente, la carga de enrutamiento normalizada (NRL) asume que cada paquete reenviado es una transmisión.

Es decir, que la NRL está inmensamente asociado al número de cambios o desconexiones de ruta o enlace que se produzcan durante las simulaciones. La figura 3.5 presenta la comparación del rendimiento del TCP ELFN y del TCP estándar cuando se le suministra un número diferente de nodos. La figura 3.5 muestra un patrón interesante del NRL tanto para TCP ELFN como del TCP estándar. Cuando los nodos se fijan en 10 y 70, la carga de enrutamiento normalizada para TCP ELFN es mucho mayor que la del TCP estándar.

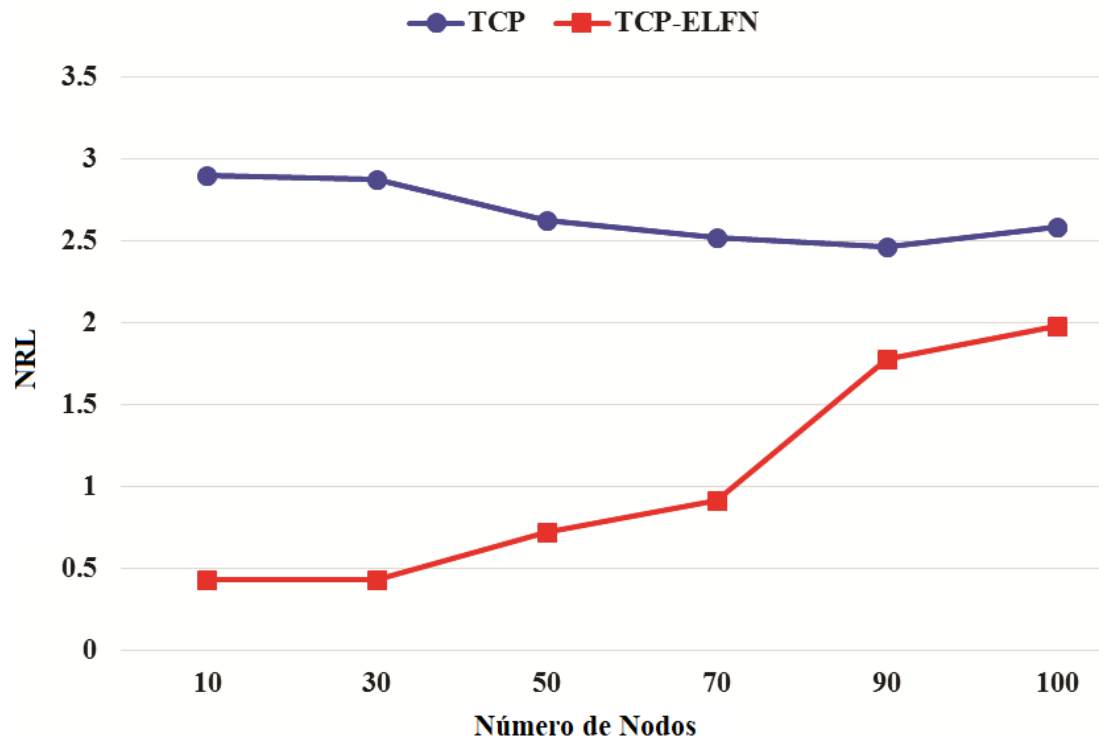


Figura 3. 5: Comparativa entre los protocolos de transporte para la métrica de NRL con variación de nodos.
Elaborado por: Autor.

Esto se debe a que, el ELFN juega un papel importante en la notificación del nodo descendente sobre el comportamiento de la red (por ejemplo, el fallo de un enlace), lo que se traduce en una disminución del paquete de enrutamiento a través de la red. Sin embargo, cuando el número de nodos es de 90 y 100, el TCP-ELFN supera el rendimiento del TCP estándar al tener menos NRL en cierto modo.

3.4.6. Análisis de resultados del escenario de simulación 2.

En esta sección se realizan las simulaciones del TCP-ELFN y TCP estándar para investigar su rendimiento cuando se varía la velocidad de los

nodos móviles en la red. En este trabajo, se ha elegido la velocidad de 5, 10, 15, 20 y 25 m/s para su estudio. Para este experimento, se ha fijado el número de nodos en 100. Los valores de los parámetros de la configuración de la simulación se indican en la tabla 3.2. Además, para cada escenario se repite el experimento 10 veces y se obtiene el valor promedio de cada métrica.

La figura 3.6 presenta la comparativa del rendimiento del TCP-ELFN y TCP estándar en términos de pérdida de paquetes cuando se varía la velocidad de los nodos en movilidad. La figura 3.6 presenta una imagen muy clara de que TCP ELFN funciona mejor que el TCP estándar en lo que respecta a la pérdida de paquetes. Esto se debe a que TCP adapta moderadamente el crecimiento de la tasa de envío de paquetes al utilizar el mecanismo ELFN. Esto se debe al comportamiento de un mecanismo de notificación explícita de fallos de enlace en el que proporciona al emisor TCP información sobre fallos de ruta y enlace. Así, puede evitar responder a los fallos como si se produjera una congestión.

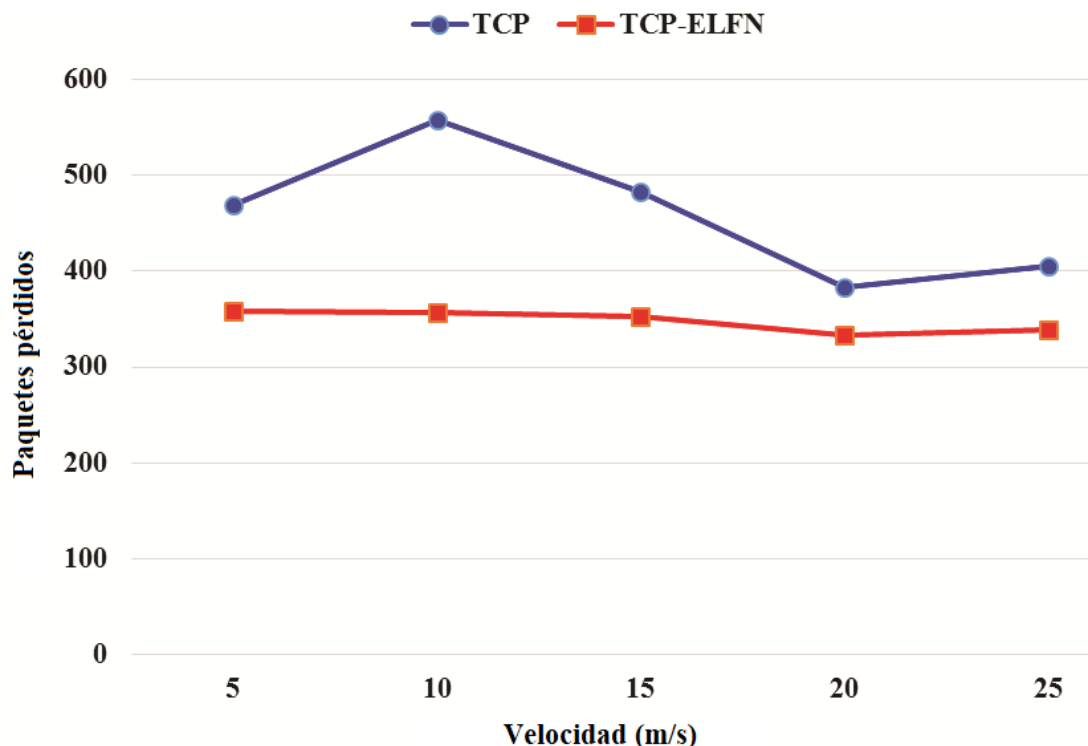


Figura 3. 6: Comparativa entre los protocolos de transporte para la métrica de pérdida de paquetes con variación de velocidad en los nodos móviles.

Elaborado por: Autor.

La figura 3.7 presenta la comparación del rendimiento del TCP ELFN y del TCP estándar en términos de retardo promedio de extremo a extremo cuando la red se configura con diferentes valores de velocidad del nodo con movilidad. La figura 3.7 ilustra que, en los 5 valores de configuración de la movilidad del nodo, el TCP ELFN rinde mucho más introduciendo menos retardo en comparación con el TCP estándar. En resumen, TCP ELFN consigue entre un 12,68% y un 50,48% menos de retardo promedio de extremo a extremo que el TCP estándar cuando la velocidad de los nodos es de 5 m/s y 25 m/s, respectivamente.

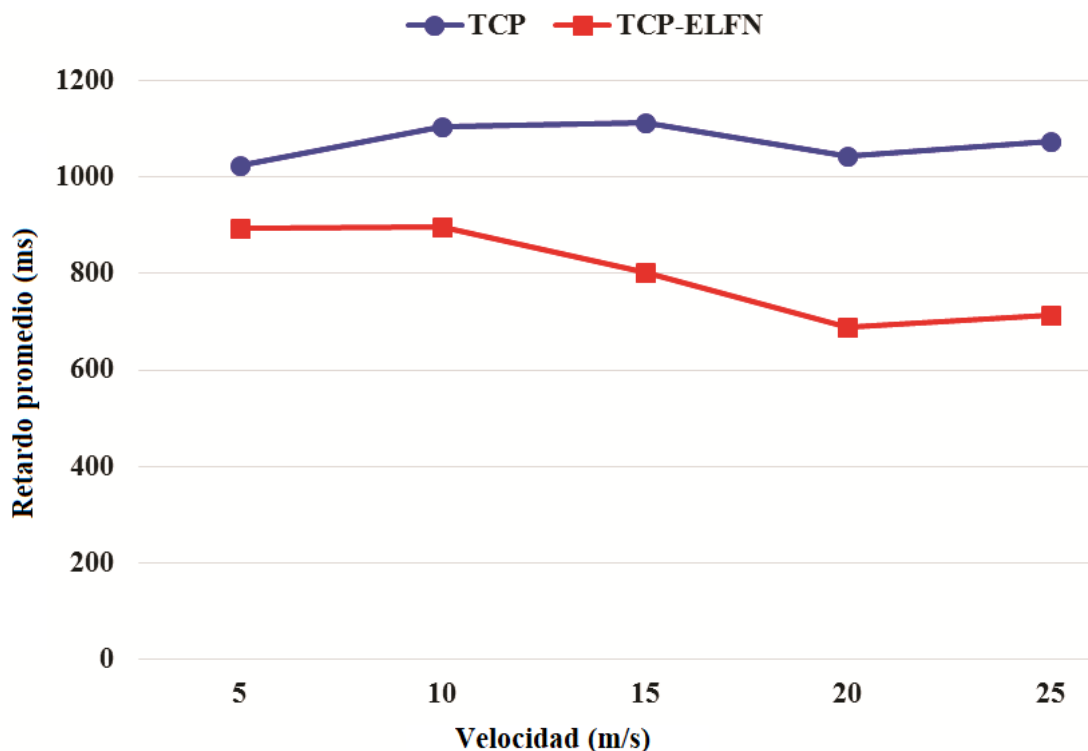


Figura 3. 7: Comparativa entre los protocolos de transporte para la métrica de retardo extremo a extremo con variación de velocidad en los nodos móviles.
Elaborado por: Autor.

La figura 3.8 presenta el rendimiento del TCP ELFN y TCP estándar en términos de carga de enrutamiento normalizada cuando la red cuenta con diferentes tipos de movilidad de los nodos. De la figura 3.8 se deduce que TCP ELFN consigue superar al TCP estándar con su mecanismo ELFN. Esto se debe a que, como el nodo se mueve más rápido, un enlace se desconectará del otro debido a ese movimiento, provocando así la necesidad de restablecer la ruta con más frecuencia.

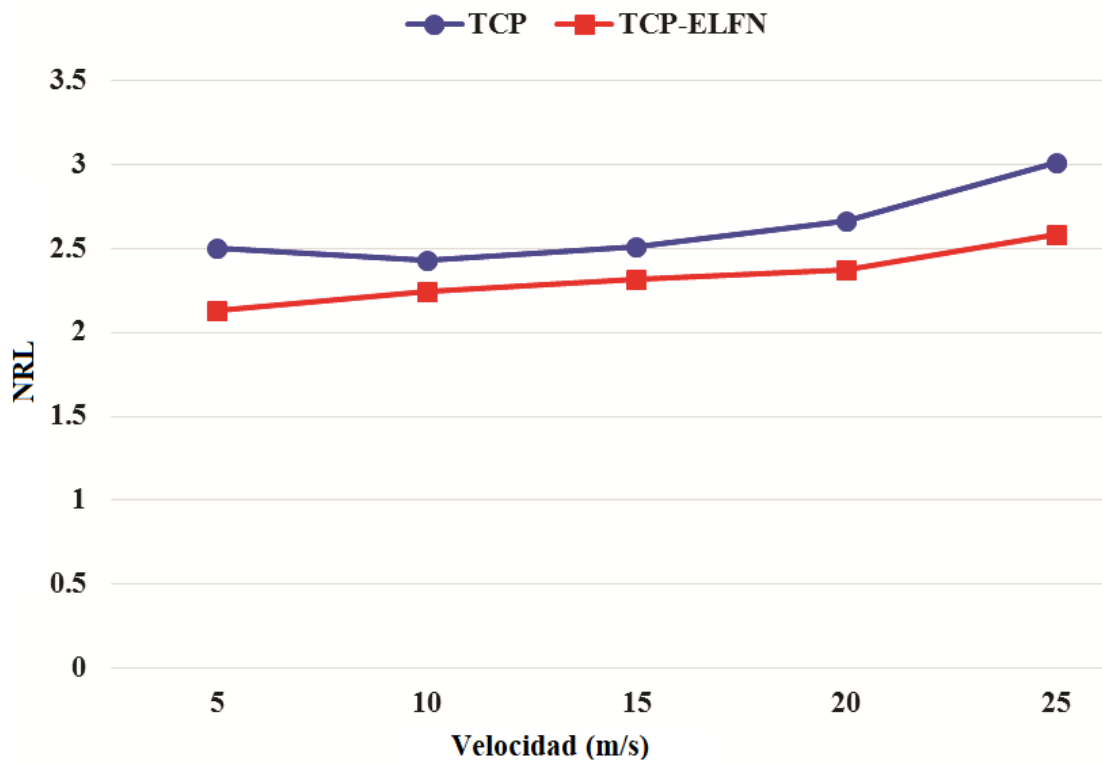


Figura 3. 8: Comparativa entre los protocolos de transporte para la métrica NRL con variación de velocidad en los nodos móviles.
Elaborado por: Autor.

CONCLUSIONES

- La movilidad en las redes inalámbricas es muy popular hoy en día. Mucha gente camina por la calle y utiliza pequeños dispositivos como PDA, ordenadores portátiles o teléfonos para comunicarse, escuchar música, escribir SMS, intercambiar datos con otras personas cercanas, etc.
- Las redes de infraestructura inalámbrica soportan una gran movilidad y son muy populares entre la gente. Pero este tipo de redes son centralizadas, poco flexibles y a veces demasiado caras. Si una infraestructura se estropea, la célula establecida por esta infraestructura también desaparece. Los nodos de esta célula no pueden volver a comunicarse.
- La presencia de redes Ad-hoc cubre la debilidad de la infraestructura. Como las redes Ad-hoc son independientes de la infraestructura, los nodos deben ser capaces de trabajar juntos para establecer una red mayor. Tienen que hacer varios saltos para enviar un paquete a un nodo de destino fuera de su rango de transmisión.

RECOMENDACIONES.

- Evaluación del protocolo de transporte de congestión sobre UDP para aplicaciones en tiempo real
- Comparación de rendimiento entre protocolos TCP y UDP en diferentes escenarios de simulación

Bibliografía

- Doerksen, K. W., Lévesque, J.-F., & Mas, I. (2003). Design, Modeling and Evaluation of a 2.4GHz FHSS Communications System for NarcisSat. *Undefined*. /paper/Design%2C-Modeling-and-Evaluation-of-a-2.4GHz-FHSS-Doerksen-L%C3%A9vesque/271156ad95f789335e83f998ba76001adc8b9583
- Gómez Mármol, F. (2006). *Integración de tarjetas criptográficas en dispositivos móviles J2ME* [Proyecto Fin de Carrera]. Universidad de Murcia.
- Menaka, R., Ramesh, R., Dhanagopal, R., & Thandapani, T. (2020). Enhancement in Manet Performance Using Trust based Secured Anonymous Routing. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29(3), 8578–8591.
- Niu, Z., Li, Q., Ma, C., Li, H., Shan, H., & Yang, F. (2020). Identification of Critical Nodes for Enhanced Network Defense in MANET-IoT Networks. *IEEE Access*, 8, 183571–183582. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3029736>
- Othman, F. Z., & Khaled, A. M. (2010). Comportamiento de los protocolos de encaminamiento en redes MANET (Mobile Ad-hoc Network). *Revista Ingeniería Solidaria*, 6(10), 45–52.
- Shah, V., Patel, R., & Nayak, R. (2017). Short Range Inter-satellite Link for Data Transfer and Ranging using IEEE802.11n. *International Journal of Computer Applications*, 164(1), 23–25. <https://doi.org/10.5120/ijca2017913561>
- Veerassamy, A., Madane, S. R., Sivakumar, K., & Sivaraman, A. (2016). Angle and Context Free Grammar Based Precarious Node Detection and Secure Data Transmission in MANETs. *The Scientific World Journal*, 2016, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2016/3596345>

Yang, J., Fei, Z., Payne, B., Li, L., Hitz, M., & Wei, T. (2014). Location aided energy balancing strategy in green cellular networks. *2014 23rd International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICCCN.2014.6911875>



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Benítez Ávila, Jorge Luis** con C.C: # 080168790-6 autor del Trabajo de Titulación: **Análisis de las métricas de rendimiento en redes Ad-hoc móviles usando el software NS2** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 5 de Mayo del 2021

f. _____

Nombre: Benítez Ávila, Jorge Luis

C.C: 080168790-6

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA		
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN		
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Análisis de las métricas de rendimiento en redes Ad-hoc móviles usando el software NS2	
AUTOR(ES)	Benítez Ávila, Jorge Luis	
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando	
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil	
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo	
PROGRAMA:	Ingeniería en Telecomunicaciones	
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero en Telecomunicaciones	
FECHA DE PUBLICACIÓN:	5 de mayo del 2021	No. DE PÁGINAS: 48
ÁREAS TEMÁTICAS:	Fundamentos de Comunicación, Comunicaciones Inalámbricas	
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Redes, Comunicaciones, Simulación, Enrutamiento, Protocolos, Rendimiento.	
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):		
<p>El presente documento presenta el desarrollo del componente práctico del examen complejo denominado "Análisis de las métricas de rendimiento en redes Ad-hoc móviles usando el software NS2". Las redes inalámbricas en la actualidad son el medio más utilizado en las telecomunicaciones después de las comunicaciones ópticas, y están coexisten entre sí. El capítulo 1 se presenta la descripción general del componente práctico, introducción, antecedentes y objetivos. El capítulo 2 se presenta los fundamentos teóricos de las redes ad-hoc inalámbricas, protocolos, aplicaciones, componentes, ventajas y desventajas. El capítulo 3 se presenta la propuesta de los escenarios de simulación utilizando el software NS2 para el cual se realizaron varias pruebas (variación de nodos entre 10 y 100 en el escenario 1, y variación de velocidad entre 5 y 25 m/s para 100 nodos en el escenario 2) para obtener las métricas de rendimiento del protocolo de congestión de transporte utilizando el protocolo de enrutamiento bajo demanda llamado AODV.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-9-81025117	E-mail: ablj_884@hotmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Palacios Meléndez Edwin Fernando	
	Teléfono: +593-9-67608298	
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):		
Nº. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		