



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ESCUELA DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

**Análisis de la Calidad de Servicio en el Enrutamiento de las
Redes Móviles Ad Hoc**

*Trabajo final de fin de carrera previo a la
obtención del título de Ingeniera en
Sistemas Informáticos y Computación.*

AUTOR: Auliria Torres Ontaneda.
DIRECTOR: Ing. Rommel Torres.
CO-DIRECTOR: Ing. Carlos Córdova.

Loja – Ecuador
2010

CERTIFICACIÓN

Ing.

Rommel Torres

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Que la Srta. Auliria Virginia Torres Ontaneda, autora de la tesis “Análisis de la Calidad de Servicio (QoS) de las Redes Móviles Ad hoc”, ha cumplido con los requisitos estipulados en el Reglamento General de la Universidad Técnica Particular de Loja, la misma que ha sido coordinada y revisada durante todo el proceso de desarrollo desde su inicio hasta la culminación, por lo cual autorizo su presentación.

Loja, 15 de noviembre del 2010

Ing. Rommel Torres

DIRECTOR DE TESIS

CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Auliria Virginia Torres Ontaneda**, ser autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja, que su parte pertinente textualmente dice: "Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad".

Auliria Torres Ontaneda.

AUTORÍA

Las ideas, opiniones, conclusiones, recomendaciones y más contenidos expuestos en el presente informe de tesis son de absoluta responsabilidad de los autores.

Auliria Torres Ontaneda

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño:

A DIOS, por ser mi fortaleza, porque gracias a él tengo todo y por no abandonarme nunca.

A mi madre porque gracias a su apoyo incondicional he podido lograr mis metas, a mi padre que aunque no está físicamente conmigo sé que siempre me acompaña, a ellos les dedico mi tesis por ser la luz luminosa de mi vida.

A mis hermanos por estar conmigo en los buenos y en los malos momentos.

Auliria Torres Ontaneda

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer en primer lugar a mi Director de Tesis por su guía, por sus consejos y sus valiosas contribuciones para culminar con éxito el presente trabajo de investigación.

Agradezco a mi familia por su paciencia y por estar ahí siempre.

También agradezco a todos mis amigos que forman parte de mi vida ya que sin esas experiencias la vida no sería interesante.

Auliria Torres Ontaneda

RESUMEN

Las redes Ad hoc son redes inalámbricas en las cuales no existe una infraestructura fija, y la comunicación entre los nodos se da de manera indirecta es decir se realiza a través de nodos que hacen las veces de enrutadores, los mismos que permiten enviar los paquetes desde el origen al destino. Estas redes son de gran importancia pues se las puede aplicar en diferentes campos como en el área militar, en catástrofes para ayudar en el rescate de personas, evacuación de lugares en peligro, así como también en sitios donde no pueden llegar las redes cableadas. Para la aplicación de estas redes se necesitan protocolos de enrutamiento que permitan la comunicación entre los nodos de la red, debido a que los protocolos utilizados para las redes fijas no se pueden aplicar en este tipo de redes. Para esto se han creado protocolos de enrutamiento exclusivos para las redes Ad hoc, que permitan la comunicación entre los nodos y que Además también ofrezcan Calidad de Servicio en el enrutamiento de los paquetes extremo a extremo.

Existen dos grandes grupos de protocolos de las redes Ad hoc proactivos y reactivos, de los cuales se han tomado los más representativos de cada grupo para realizar el presente trabajo, con estos protocolos se realizó un estudio de la Calidad de Servicio que presentan en el enrutamiento las redes Ad hoc (Manets - Mobile Ad-Hoc Networks), para lo cual se han utilizado los siguientes protocolos: reactivos DSR (Dynamic Source Routing), AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing), proactivo DSDV (The Destination-Sequenced Distance-Vector Routing Protocol).

Para realizar este estudio se realizarán diferentes pruebas con los protocolos en el simulador NS-2 (Network Simulator), se utilizaron tres escenarios diferentes con los tres protocolos, para así poder obtener una comparación de los resultados obtenidos.

En las pruebas efectuadas se analizó las siguientes métricas: canal eficaz (Canal Eficaz), pérdida de paquetes, y latencia (retardo), con el análisis de estas métricas se identificará cuál de los protocolos presenta mejor Calidad de Servicio en su enrutamiento, es decir que tan eficiente es a la hora de lograr una comunicación entre el origen y el destino.

Después de realizar las pruebas se llegó a la conclusión de que los protocolos AODV, DSR, son los que presentan mejor Calidad de Servicio en su enrutamiento, los cuales se muestran como los protocolos más opcionados para ser utilizados dentro de una red Ad hoc, con lo cual se finaliza el presente trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	II
CESIÓN DE DERECHOS	III
AUTORÍA	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
RESUMEN	VII
ÍNDICE GENERAL.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	- 1 -
INTRODUCCIÓN.....	- 2 -
Definición del problema	- 4 -
Justificación	- 4 -
Hipótesis.....	- 5 -
OBJETIVO GENERAL.....	- 5 -
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	- 6 -
RESULTADOS ESPERADOS	- 6 -
CAPITULO I	- 7 -
1 INTRODUCCION A LAS REDES MOVILES Y A LOS PROTOCOLOS DE	
ENRUTAMIENTO ADHOC	- 8 -
1.1 Introducción	- 8 -
1.2 Redes Ad hoc Inalámbricas	- 8 -
1.3 Clasificación de las Redes Ad hoc.....	- 10 -
1.3.1 Único Salto (single hop).....	- 10 -
1.3.2 Multi Salto (multi hop)	- 10 -
1.4 Limitaciones de las Redes Ad hoc	- 11 -
1.5 Aplicaciones de las Redes Ad hoc.....	- 11 -
1.6 Ventajas.....	- 12 -
1.7 Desventajas	- 13 -
1.8 Arquitectura de un nodo Ad hoc.....	- 14 -
1.8.1 Capa Física	- 15 -
1.8.2 Capa de Enlace	- 15 -
1.8.3 Capa de Red (Internet)	- 17 -
1.8.4 Capa de Transporte	- 17 -
1.8.5 Capa de Aplicación	- 18 -
1.9 Capa de enrutamiento Ad hoc (AHR)	- 18 -
1.10 Protocolos de Enrutamiento de las Redes Ad hoc	- 20 -
1.10.1 Tipos de protocolos de enrutamiento.....	- 20 -
1.10.2 Protocolos de Enrutamiento Proactivos	- 20 -
1.10.3 Protocolos de Enrutamiento Reactivos.....	- 21 -
1.10.4 Protocolos de Enrutamiento Híbridos.....	- 21 -

1.11	Protocolo DSDV (The Destination-Sequenced Distance-Vector Routing Protocol)	- 22 -
1.11.1	Descripción del protocolo DSDV	- 22 -
1.11.2	Descubrimiento de rutas	- 22 -
1.11.3	Mantenimiento de Rutas	- 24 -
1.11.4	Ventajas.....	- 28 -
1.11.5	Desventajas	- 28 -
1.12	Protocolo AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing)	- 28 -
1.12.1	Descripción del protocolo AODV.....	- 28 -
1.12.2	Descubrimiento de rutas.....	- 29 -
1.12.3	Mantenimiento de Rutas	- 32 -
1.12.4	Ventajas.....	- 33 -
1.12.5	Desventajas	- 33 -
1.13	Protocolo DSR (Dynamic Source Routing).....	- 34 -
1.13.1	Descripción del protocolo DSR.....	- 34 -
1.13.2	Descubrimiento de rutas.....	- 34 -
1.13.3	Mantenimiento de rutas	- 36 -
1.13.4	Ventajas.....	- 37 -
1.13.5	Desventajas	- 37 -
1.14	Comparación de los protocolos	- 38 -
CAPITULO II		- 40 -
2	CALIDAD DE SERVICIO (QOS) EN LAS REDES AD HOC.....	- 41 -
2.1	Introducción	- 41 -
2.2	Conceptos Generales de la Calidad de Servicio (QoS)	- 42 -
2.3	Parámetros de la Calidad de Servicio.....	- 44 -
2.3.1	Pérdida de paquetes.	- 44 -
2.3.2	Latencia o retardo.	- 44 -
2.3.3	Canal Eficaz o Throughput.....	- 45 -
2.4	QoS en redes Ad hoc	- 45 -
2.4.1	Modelos para la Calidad de Servicio	- 45 -
2.4.2	Señalización de reserva para la Calidad de Servicio.....	- 46 -
2.4.3	Encaminamiento con Calidad de Servicio	- 47 -
2.4.4	Control de Acceso al Medio con Calidad de Servicio	- 47 -
2.5	Propuestas de modelos y protocolos con QoS.....	- 47 -
2.5.1	CEDAR (Core Extraction Distributed Ad-hoc Routing).....	- 47 -

2.5.2	MODELO INSIGNIA (IP-based QoS framework for Mobile Ad-hoc Networks) ...	49 -
2.5.3	MODELO FQMM (Flexible QoS Model for Manets)	50 -
CAPITULO III		51 -
3	DEFINICIÓN DE INDICADORES Y ESCENARIOS PARA LA SIMULACIÓN	52 -
3.1	Indicadores.....	52 -
3.1.1	Recomendaciones de ITU-T (Unión Internacional de Telecomunicaciones). -	52 -
3.2	Obtención de Información	60 -
CAPITULO IV.....		62 -
4	SIMULACION Y RESULTADOS	63 -
4.1	Obtención de Resultados en los tres Escenarios.....	63 -
4.1.1	Escenario I: Calidad de Servicio con 10 nodos.	63 -
4.1.2	Escenario II: Calidad de Servicio con 15 nodos.	67 -
4.1.3	Escenario III. Calidad de Servicio con 20 nodos.	71 -
4.2	Comparación de los resultados obtenidos con los protocolos AODV, DSR y DSDV -	74 -
4.3	Comparación de protocolos.....	75 -
4.3.1	Escenario I:	75 -
4.3.2	Escenario II	78 -
4.3.3	Escenario III	80 -
CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO		83 -
CONCLUSIONES		84 -
CONCLUSIÓN GENERAL.....		86 -
TRABAJO FUTURO		87 -

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Red Inalámbrica Ad-hoc.....- 8 -

Figura 1.2 Red Ad hoc *single-hop*- 10 -

Figura1.3. Red Ad hoc *multi-hop*- 10 -

Figura 1.4. Arquitectura de las capas de un nodo Ad hoc- 14 -

Figura 1.5. Enrutamiento en DSDV- 23 -

Figura 1.6. Cambio en la topología de la red- 26 -

Figura 1.7. Formato del mensaje RREQ de AODV [27]- 30 -

Figura 1.8. Transmisión de RREQ de AODV- 30 -

Figura 1.9. Formato del mensaje RREP de AODV [27]- 31 -

Figura 1.10. Transmisión de RREP desde el nodo destino en AODV- 31 -

Figura 1.11. Formato del mensaje RERR de AODV [27]- 32 -

Figura 1.12. Descubrimiento de ruta en DSR.....- 35 -

Figura 1.13. Envío de la respuesta RREP desde el destino en DSR.- 36 -

Figura 1.14. Mantenimiento de rutas de DSR.- 37 -

Figura 3.1. Escenario 1 (10 nodos)- 57 -

Figura 3. 2 Escenario 2 (15 nodos)- 59 -

Figura 3.3. Escenario 3. (20 nodos)- 60 -

Figura 4.1 Canal Eficaz de AODV, DSR, DSDV.- 75 -

Figura4.2 Porcentaje de paquetes recibidos en los tres protocolos- 78 -

Figura 4.3 Canal Eficaz de AODV, DSR, DSDV.- 78 -

Figura 4.4 Porcentaje de paquetes recibidos en los tres protocolos- 80 -

Figura 4.5 Canal Eficaz de AODV, DSR y DSDV.....- 80 -

Figura 4.6 Porcentaje de paquetes recibidos en los tres protocolos- 82 -

Figura A1- Escenario I AODV, DSR, DSDV.- 98 -

Figura A2- Escenario II AODV, DSR, DSDV.- 98 -

Figura A3- Escenario III AODV, DSR, DSDV.- 99 -

Figura B1- Traza obtenida de la simulación con el protocolo AODV en el primer escenario.- 100 -

Figura B2- Traza con los resultados de la simulación con el protocolo AODV en segundo escenario. - 100 -

Figura B3- Traza obtenida de la simulación con el protocolo AODV en el tercer escenario.- 101 -

Figura B4- Archivo convertido de la traza del protocolo AODV.- 101 -

Figura B5- Archivo convertido de la traza del protocolo AODV.- 102 -

Figura B6- Archivo convertido de la traza del protocolo AODV.- 102 -

Figura B7- Información de la simulación con el protocolo AODV.- 103 -

Figura B8 Información de la simulación con el protocolo AODV.....- 103 -

Figura B9 Información de la simulación con el protocolo AODV.....- 104 -

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Tabla de enrutamiento para el nodo A1 (origen)	25 -
Tabla 1.2. Tabla de enrutamiento del nodo A1 actualizada	25 -
Tabla 1.3. Nueva Tabla de enrutamiento del nodo A1 actualizada (origen).	27 -
Tabla 1.5. Comparación de los protocolos de enrutamiento de la redes Ad hoc	38 -
Tabla 2.1. Parámetros Indicadores de la Calidad de funcionamiento que determinan la QoS.[.....	53 -
Tabla 4.1. Paquetes perdidos de los protocolos DSR, AODV, DSDV.	63 -
Tabla 4.2. Paquetes perdidos de los protocolos DSR, AODV, DSDV	63 -
Tabla 4.3. Retardo de los protocolos DSR, AODV, DSDV.	64 -
Tabla 4.4. Canal eficaz de los tres protocolos DSR, AODV, DSDV.	65 -
Tabla 4.5. Indicadores para DSR, AODV, DSDV	67 -
Tabla 4.6. Paquetes perdidos de los protocolos DSR, AODV, DSDV.	67 -
Tabla 4.7. Paquetes perdidos de los protocolos DSR, AODV, DSDV.	68 -
Tabla 4.8. Retardo de los protocolos DSR, AODV, DSDV.	69 -
Tabla 4.9. Canal eficaz de los tres protocolos DSR, AODV, DSDV.	69 -
Tabla 4.10. Indicadores para DSR, AODV, DSDV	70 -
Tabla 4.11. Paquetes perdidos de los protocolos DSR, AODV, DSDV.	71 -
Tabla 4.12. Paquetes perdidos de los protocolos DSR, AODV, DSDV.	71 -
Tabla 4.13. Retardo de los protocolos DSR, AODV, DSDV.	72 -
Tabla 4.14. Canal eficaz de los tres protocolos DSR, AODV, DSDV.	73 -
Tabla 4.15 Indicadores para DSR, AODV, DSDV.	73 -

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A.1. SIMULADOR NS-2	- 89 -
Anexo A.2. Instalación	- 90 -
Anexo A.3. Simulación en Ns2	- 91 -
Anexo A.3.1. NAM (Network Animator)	- 91 -
Anexo A.3.3. Xgraph	- 92 -
Anexo A.4. Script utilizado para los escenarios.	- 93 -
Anexo A.5. ESCENARIOS	- 98 -
Anexo B.1. Resultados Obtenidos con el Simulador NS2	- 100 -
Anexo C.1. GLOSARIO	- 105 -
Anexo C.2. BIBLIOGRAFIA	- 106 -

ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

La presente tesis se encuentra estructurada de la siguiente manera, en la primera parte se realiza una introducción a los fundamentos teóricos, como son los conceptos fundamentales sobre las redes Ad hoc y principalmente el funcionamiento de los protocolos de enrutamiento de estas redes, recalcando la forma de cómo integrar estos conocimientos al desarrollo de la tesis.

En la segunda parte se tratará sobre la Calidad de Servicio, conceptos generales, así como la utilización de la misma dentro de las redes inalámbricas, las diferentes métricas que se utilizan para comprobar su efectividad, de las cuales se tomarán solo tres para comprobar la Calidad de Servicio en los protocolos de enrutamiento en las redes Ad hoc.

En la tercera parte se presenta los protocolos aplicados a los escenarios programados en el simulador de redes inalámbricas Ns-2, así como también los resultados obtenidos en las simulaciones, que comprende el análisis de las métricas de Calidad de Servicio aplicadas al enrutamiento de los protocolos reactivos y proactivos. Al final de la tesis se presenta las respectivas conclusiones.

INTRODUCCIÓN

Las Redes Ad hoc han sido diseñadas para mantener una conectividad móvil en redes inalámbricas que no necesitan un dispositivo de coordinación, por lo tanto se puede utilizar a cada nodo de la red como un enrutador que permita mantener la comunicación en la red aunque los nodos se encuentren en movimiento. Para esto el nodo origen debe encontrar la mejor ruta para llegar al nodo destino.

Los diversos algoritmos de enrutamiento permiten a los nodos diferentes maneras de encontrar las mejores rutas para llevar la información a través de la red. Estos algoritmos de enrutamiento se los puede catalogar en protocolos de enrutamiento reactivos, proactivos e híbridos.

Los protocolos de enrutamiento reactivos y proactivos permiten a las redes Ad hoc mantener un equilibrio en el ancho de banda, así como también en el balanceo de carga y en el descubrimiento de nuevas rutas cuando los nodos aparecen y desaparecen dentro de la red, haciendo más fácil la transferencia de los datos. De esta manera podemos conectarnos a una red sin importar nuestra ubicación, siempre se tendría conectividad sin tener que cambiar la dirección IP como se lo realiza actualmente en las redes cableadas.

Esta tecnología permite comunicar computadoras a través de la tecnología inalámbrica móvil, este tipo de redes permiten la operación en lugares en donde la computadora no puede permanecer en solo lugar, como en edificios de varios pisos, aeropuertos, almacenes, etc.

Las redes inalámbricas actualmente ofrecen una velocidad de transmisión de 54 Mbps¹; en 1997 el IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) crea el Estándar 802.11 con velocidades de transmisión de 2Mbps), en cambio las redes cableadas presentan una velocidad de 10 Megabits/s de la Ethernet clásica

¹ 1 Mbps Millones de bits por segundo

hasta 1 Gigabits/s o más, para las redes inalámbricas se espera que lleguen a velocidades de más de 300Mbps.

Las redes Ad hoc deben proporcionar QoS, para aplicaciones en tiempo real, así como en la transmisión de datos, pero esto se dificulta, debido a que las redes Ad hoc por su dinamismo los nodos pueden moverse libremente a través de la red, así como aparecer y desaparecer dinámicamente, generando topologías muy diversas lo que no permite establecer ni mantener rutas, por lo que garantizar prestaciones acordes a los diferentes escenarios en donde la interferencia entre los usuarios de la red como la conectividad resultan tan variantes complica el abastecimiento y recepción de QoS .

Existen actualmente algoritmos de enrutamiento aplicables a las redes Ad hoc que permiten encontrar rutas así como reaccionar ante la variabilidad de la red, pero cuando se elaboró estos algoritmos no se tomó en cuenta la Calidad de Servicio de las rutas encontradas, sin embargo la demanda de las aplicaciones en tiempo real deben cumplir ciertas restricciones como mínimo ancho de banda, retardo mínimo o su variación (jitter) a lo largo de la ruta completa, extremo a extremo (E2E), por lo tanto solicita la introducción de nuevas métricas de enrutamiento que sean capaces de identificar la Calidad de Servicio existente en cada ruta, por otra lado como la provisión de QoS depende de la gestión de los recursos del sistema, una nueva métrica debe proporcionar con exactitud la disponibilidad y viabilidad de los recursos.

Se debe tomar en cuenta que la complejidad de estas redes hace que sea difícil la implementación de la Calidad de Servicio en su enrutamiento sobre todo por la movilidad de la red, pero se espera que en un futuro en los próximos años los protocolos de las redes Ad hoc ya tengan incorporado QoS en su enrutamiento.

Para conocer el comportamiento de estas redes se realizar simulaciones en escenarios programados en el Simulador Ns-2.

Definición del problema

Analizar si los protocolos de enrutamiento de las redes Ad hoc presentan Calidad de Servicio en su enrutamiento ya que actualmente no existen investigaciones que indiquen que estos protocolos ya tengan incorporado QoS en su funcionamiento, esto se lo hará mediante simulaciones realizadas en el simulador Ns-2, y con los resultados obtenidos analizar las métricas que se utilizarán para realizar este análisis como son: pérdida de paquetes, retardo y Canal Eficaz, y así poder proponer el mejor protocolo para usarlo en una red Ad hoc.

Los requisitos que necesitan las aplicaciones multimedia, hacen que la red deba presentar un cierto grado de Calidad de Servicio al usuario. Aunque este problema se encuentra solucionado en las redes fijas, las características especiales de las redes Ad hoc hacen necesario un estudio para enfrentar este inconveniente.

Principalmente la movilidad de la red hace que la topología de la misma cambie constantemente y los recursos insuficientes de los equipos hacen que la provisión de Calidad de Servicio sea una carga lo más ligera posible para la red, para el procesamiento de la CPU, como para el ancho de banda.

Por estas razones es necesario analizar qué protocolo realiza mejor el descubrimiento de ruta, entrega mayor número de paquetes, se demora menos en detectar que la topología de la red ha cambiado, etc. Todas estas situaciones serán examinadas más adelante.

Justificación

Para llevar a cabo este proyecto se utilizó un simulador de libre distribución, el mismo que facilitó los modelos necesarios para realizar las diferentes simulaciones con ayuda de algunos ejemplos, los cuales pueden ser utilizados como base para nuevas simulaciones, además los protocolos DSDV, AODV y DSR ya vienen incorporados en este simulador, lo que posibilitó realizar las simulaciones para este trabajo de investigación.

Hipótesis

Los protocolos de enrutamiento de las redes Ad hoc deben presentar Calidad de Servicio durante las transmisiones realizadas por el usuario (voz, video, audio, datos), para lo cual la pérdida de paquetes debe ser lo menor posible o nula, un retardo mínimo, así como el canal eficaz sea el correcto, conforme a las necesidades que el tipo de tráfico pueda llegar a necesitar.

Las métricas o metodología que se utilizaron para plantear la hipótesis son las siguientes:

- Para analizar la Calidad de Servicio se consideraron los paquetes perdidos por cada protocolo.
- También se examinaron el retardo y el canal eficaz, todos estos datos se obtuvieron comparando los datos arrojados por el simulador Ns-2 que a su vez fueron interpretados por el software Packet Analyzer.

Los pasos que se siguieron para comprobar la hipótesis fueron:

- Escenarios (simulaciones).
- Obtención de Resultados.
- Análisis de los resultados.

OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis de la Calidad de Servicio que presentan los protocolos de enrutamiento reactivos y proactivos de las redes Ad hoc.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar el grado de la Calidad de Servicio (QoS) en el descubrimiento de las rutas de los protocolos reactivos y proactivos.
- Investigar a través de varias fuentes sobre el estado del arte, la aplicación e implementación de los protocolos de enrutamiento de las redes Ad hoc mediante una simulación.
- Implementar los protocolos de enrutamiento reactivos (AODV, DSR) y proactivo (DSDV), en un escenario programado en Ns-2, el cual será el mismo para todos los protocolos.
- Realizar las pruebas en el simulador con los diferentes protocolos de las redes Ad hoc.

RESULTADOS ESPERADOS

Una vez efectuado el presente trabajo de investigación, se espera conseguir un estudio que permita conocer las ventajas de implementar estos protocolos en la redes inalámbrica Ad hoc, el cual pueda servir como base para futuras investigaciones en la Universidad y también a nivel local.

Determinar qué protocolo tiene mejores características y componentes para el soporte de la Calidad de Servicio.

CAPITULO I

INTRODUCCION A LAS REDES MOVILES Y A LOS PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO ADHOC

1 INTRODUCCION A LAS REDES MOVILES Y A LOS PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO ADHOC

1.1 Introducción

1.2 Redes Ad hoc Inalámbricas

Las redes Ad hoc (Manets - Mobile Ad-Hoc Networks) son redes inalámbricas en las cuales no existe una infraestructura o topología, los nodos se auto-organizan para poder comunicarse entre sí, sin tener que pertenecer a la misma red, cada nodo es capaz de encontrar un camino hacia su destino aunque se encuentre fuera de su alcance. Cada nodo funciona como un encaminador o router llevando los paquetes, descubriendo y manteniendo rutas, este tipo de redes se crean de forma espontánea y utilizan el medio inalámbrico para transmitir la información [15].

Las redes pueden tomar cualquier forma, se pueden agregar nuevos nodos como quitarlos sin afectar a los demás nodos conectados, los nodos son capaces de descubrir la ruta más corta entre el origen y el destino, son redes dinámicas y están preparadas para reconocer con cuales nodos pueden comunicarse y con cuales no, ya que descubren la presencia de nuevos nodos automáticamente.

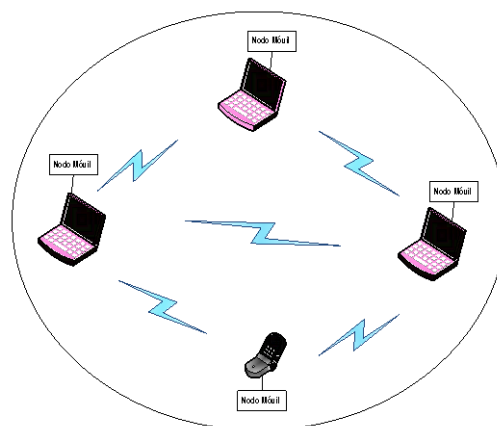


Figura 1.1. Red Inalámbrica Ad-hoc

Para realizar la comunicación en las redes Ad hoc no se necesita de una gestión, en su lugar se utilizan diversos protocolos de enrutamiento como AODV, DSR,

DSDV, OLSR entre otros, los cuales utilizan diversos tipos de algoritmos de enrutamiento para poder descubrir las rutas hacia los nodos.

Las redes Ad hoc presentan muchas características, entre las más relevantes tenemos [9]:

- **Topologías dinámicas:** Los nodos son elementos móviles. Esto provoca que la topología de la red cambie continuamente, y por tanto los enlaces entre nodos (ya sean unidireccionales o bidireccionales) se crean y se destruyen dinámicamente.
- **Ancho de banda restringido:** El ancho de banda disponible en una interfaz inalámbrica es inferior al de una cableada, y Además se reutiliza debido a la atenuación e interferencias de las señales electromagnéticas.
- **Energía Limitada:** Algunos nodos de la Manet (o todos) estarán alimentados por baterías, por lo que el ahorro de energía es un aspecto clave al tratar este tipo de redes.
- **Seguridad física limitada:** Los problemas relacionados con la seguridad se acentúan en las redes inalámbricas. Al ser un medio compartido al que cualquiera puede tener acceso hay que cuidar la confidencialidad de los datos para que no sean recibidos por terceras partes no implicadas.
- **Seguridad:** También se debe evitar la falsificación de nodos, puesto que una máquina ajena a la red podría fingir ser una que si pertenece a la red Ad hoc y en la que se confía. Por último, la realización de ataques DoS (Denial of Service, o Denegación de Servicio) son más sencillos de realizar en un entorno no vigilado.

Los protocolos de las redes Ad hoc deben ser adaptativos y anticipar cualquier cambio dentro de la red a partir de parámetros tales como el nivel de congestión, la tasa de errores, los cambios de rutas utilizadas, etc. Y ofrecer una Calidad de Servicio (Quality of Service, QoS) acorde a las exigencias de los

usuarios, encontrando la ruta más óptima, enviando solo los mensajes necesarios al canal de comunicación y no consumir recursos innecesarios como el ancho de banda, dando mayor eficiencia en la transmisión.

1.3 Clasificación de las Redes Ad hoc

Las redes Ad hoc se pueden clasificar de acuerdo a la forma en cómo se comunican, pues no existe ningún consenso para realizar esta clasificación:

1.3.1 Único Salto (single hop)

Los nodos de la red Ad hoc se comunican directamente con otros nodos en la red pues se encuentran en el mismo rango de transmisión.



Figura 1.2 Red Ad hoc single-hop

1.3.2 Multi Salto (multi hop)

Algunos nodos en la red Ad hoc no pueden comunicarse directamente con otros nodos en la red, por lo que los datos deben ser transmitidos por medio de nodos intermedios llamados también enrutadores.

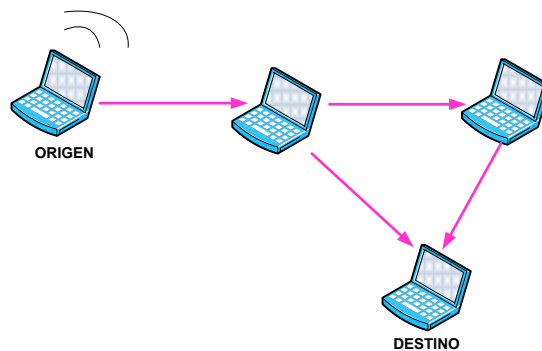


Figura1.3. Red Ad hoc multi-hop

1.4 Limitaciones de las Redes Ad hoc

El objetivo de una red inalámbrica Ad hoc es permitir la comunicación entre un grupo de nodos móviles, que la red se mantenga sin ninguna gestión externa y que pueda auto configurarse.

Para que los nodos se puedan comunicar necesitan encontrar un camino para el envío de la información hacia un destino, lo que provoca una saturación en la red debido al envío de mensajes de petición de servicios lo que origina gasto de memoria, cómputo y energía. Existen estrategias orientadas a resolver estos problemas principalmente en reducir el número de mensajes para el anuncio y descubrimiento de la ruta por la petición de Servicios.

Debido a que cada nodo de la red puede hacer al mismo tiempo la función de terminal o de router, la energía de la batería de uno de ellos puede terminar, lo que provoca un cambio en la red y en las rutas de comunicación; esto muestra la necesidad de manejar la energía de los nodos de una manera equilibrada. [21]

Las redes Ad hoc dependen de los nodos, a su vez los nodos dependen de las baterías como su medio de energía, y debido a que la capacidad de la energía es finita, esta representa uno de los mayores problemas para elaborar un algoritmo de enrutamiento.

La tecnología de los microprocesadores se encuentra muy por encima de la tecnología de las baterías, la vida de una batería de Litio es a penas de 2 a 3 horas [21], por lo que dentro de la red Ad hoc un nodo que trabaje como enrutador agotará su batería más pronto que los demás que solo se encuentran transmitiendo.

1.5 Aplicaciones de las Redes Ad hoc

Las aplicaciones para las redes Ad hoc no tienen límites, se pueden realizar tanto en redes pequeñas, como en redes extensamente grandes y altamente dinámicas, como ejemplos tenemos los siguientes:

- Para conferencias o reuniones para un grupo determinado de personas, con portátiles, las cuales pueden intercambiar datos y archivos sin necesitar una infraestructura para que se puede realizar la transmisión.
- Una red Ad hoc también puede sostener una comunicación entre aparatos electrodomésticos inteligentes, los cuales pueden compartir información de control entre ellos para su funcionamiento.
- También se las puede utilizar en búsqueda y rescate durante emergencias que requieren una respuesta rápida. Las redes Ad hoc Además son muy útiles en el campo de batalla, de hecho la investigación de este tipo de redes nació en el contexto militar. En este ámbito se las utiliza a estas redes para la comunicación de aviones militares con las bases en tierra.[21]
- Así mismo se las puede utilizar para entretenimiento como juegos en red, etc.

1.6 Ventajas

Las redes Ad hoc son muy útiles en lugares en donde no es posible implementar redes fijas, y permiten la comunicación a Internet desde cualquier punto e instante lo que aumenta las posibilidades de comunicación.

El hecho de que no necesitan de un nodo central para comunicarse ayuda a que no se ubiquen antenas en zonas de difícil acceso lo que reduce el impacto medioambiental. Estas redes son muy útiles en lugares donde no se puede cablear como edificios antiguos o recursos naturales en donde no se puede modificar o destruir tales territorios.

Además tenemos:

- Las redes Ad hoc se pueden crear en cualquier momento pues son de fácil instalación por su flexibilidad, ya que no requieren de una infraestructura previa, así se pueden montar y desmontar rápidamente.

- Estas redes soportan fallos de conexión debido a que los protocolos de enrutamiento están diseñados para controlar la transmisión y el enrutamiento de los datos.
- Permiten a los nodos moverse dentro de la red en diferentes direcciones, ya que los protocolos de enrutamiento se encargan de gestionar esto, pero existe un límite de movilidad del nodo en donde el protocolo empieza a fallar.
- Las redes Ad hoc resultan menos costosas que las redes fijas, pues no requieren de infraestructura ni de un nodo base que Administre la red.

1.7 Desventajas

Dentro de las desventajas de estas redes esta la pérdida de paquetes que se puede producir por el cambio en la topología de la red, lo que ocasiona un quebranto en la comunicación y en la ruta preestablecida por el nodo fuente.

Otra desventaja es el ancho de banda limitado lo que restringiría al usuario una buena utilización de aplicaciones en tiempo real, esto también se debe a enlaces de distinta capacidad, a las frecuentes desconexiones, y a la capacidad de que los protocolos de enrutamiento no se den cuenta del cambio en la topología de la red.

Asimismo tenemos:

- El ancho de banda limitado hace que la comunicación sea más baja que en las redes cableadas, por lo que las redes LANs inalámbricas trabajan alrededor de 2 Mbps².

² Estándar 802.11 con velocidad de transmisión de 2Mbps. En 1997 el IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) crea el Estándar 802.11 con velocidades de transmisión de 2Mbps.

- Los nodos no poseen una potente CPU, por lo tanto el enrutamiento y la transmisión de los datos no pueden consumir todos los recursos de los equipos, que también son usados para realizar otras funciones.
- Debido a la atenuación e interferencias en la transmisión son otros defectos en los enlaces inalámbricos que aumentan la tasa de error.
- La red Ad hoc no posee una buena seguridad por lo que puede sufrir ataques, como por ejemplo que el atacante pueda descubrir el tráfico que se transmite en la red, o que el atacante empiece a transmitir paquetes intencionalmente para inhabilitar la red.

1.8 Arquitectura de un nodo Ad hoc

La arquitectura de una red Ad hoc se presenta en los nodos, puesto que ellos poseen las características de host y router al mismo tiempo; la arquitectura es como la que se muestra en la Figura 1.4, aquí se presenta las diferentes capas y los protocolos que se utilizan en cada una.

Nivel de Aplicacion	FTP	HTTP
Nivel de Transporte	UDP	TCP
Nivel de Red	AHR	IP
Nivel de Enlace	802.11	
Nivel Físico	802.11X	

Figura 1.4. Arquitectura de las capas de un nodo Ad hoc

Lo más común en los nodos de las redes Ad hoc es que implementen el modelo TCP/IP y que a la vez se ejecute un protocolo de enrutamiento propio de estas redes, que es el que actualizará las Tablas de rutas del nodo.

A continuación se dará un pequeño resumen de cada capa que se utilizan en las redes Ad hoc.

1.8.1 Capa Física

Es en esta capa en donde ocurre la comunicación, puede ser a través de un cable categoría CAT5, fibra óptica, ondas de radio, o cualquier otro medio. En las redes Ad hoc se utiliza el aire como medio de transmisión, es decir se comunican por medio de canales de radio frecuencia (RF). Los canales de radio frecuencia dificultan la presencia de Calidad de Servicio en las redes inalámbricas, la señal se distorsiona lo que provoca el efecto doppler, atenuación de la señal, etc. Actualmente los nodos de las redes Ad hoc tienen antenas omnidireccionales que les permiten comunicarse con los nodos vecinos que se encuentran en su rango de frecuencia. Para que los nodos puedan enviar y recibir datos, el canal debe estar libre en casi un 100%, para esto se ha propuesto el uso de antenas unidireccionales.

El estándar IEEE802.11X define interfaces para canales RF en las bandas de 2.4GHz y de los 5GHz. La banda de 2.4GHz es muy utilizada para redes microondas y Bluetooth, por lo tanto los canales RF para las redes Ad hoc resultan ser poco fiables.

1.8.2 Capa de Enlace

Cuando más de un nodo comparten un mismo medio físico que puede ser un hub, o un mismo canal de radio, la capa de enlace es la que se encarga de decidir quién es el nodo próximo a transmitir. Dentro de los protocolos de la capa de enlace tenemos Ethernet, Token Ring, ATM, y los protocolos para las redes inalámbricas (802.11 a/b/g), este protocolo de redes inalámbricas es válido para las redes Ad hoc, ya que se puede utilizar el esquema acceso por contienda para coordinar la comunicación, pues en este esquema no existe un nodo central por lo tanto los nodos pueden transmitir cuando necesiten hacerlo.

El estándar 802.11a como se muestra en [23], suministra 25 a 54 Mbps en la banda sin licencia ISM (Industrial, Scientific and Medical) de 5GHz que es una banda reservada internacionalmente para uso no comercial, estas bandas estas abiertas a todo el mundo sin necesidad de licencia, utilizando modulación OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) y códigos correctores de errores FEC (*Forward Error Correcting*).

El estándar 802.11b entrega hasta 11Mbps de datos brutos en la banda ISM de 2,4 GHz empleando tal como se especifica en [23] técnicas de transmisión de espectro directo (DSS), a sí mismo se puede utilizar técnicas de salto de frecuencia (FHSS) para conseguir hasta 2 Mbps.

El estándar 802.11g es compatible con el estándar IEEE 802.11, y permite obtener hasta 54Mbps en la banda de 2,4GHz. [23]

Como se presenta en [9] el estándar IEEE 802.11 puede operar en dos maneras, en modo infraestructura o en modo independiente conocido como modo Ad hoc, es decir que los nodos se comunican directamente entre sí, sin embargo este estándar presenta algunos problemas dentro de las redes Ad hoc que no permiten un rendimiento eficiente de estas redes cuando utilizan este método de transmisión. Para tratar de resolver estos problemas existen algunas propuestas como por ejemplo tratar de minimizar la potencia con la cual se transmite de manera que la señal llegue lo suficientemente fuerte al receptor y que afecte al menor número de nodos que no estén implicados en la comunicación.

Como ejemplo para mejorar el comportamiento de los protocolos MAC para redes Ad hoc basados en protocolos de acceso aleatorio tenemos algoritmos para reducir el consumo de energía de los nodos móviles que permitan que los nodos "duerman" es decir que pasen a un estado de bajo consumo de energía, durante el período en el cual no se encuentren transmitiendo; algoritmos de gestión de paquetes; reducción de los radios de transmisión y recepción, etc.

1.8.3 Capa de Red (Internet)

Sobre la capa de enlace se encuentra la capa de internet, para TCP/IP dentro de esta se encuentra el Protocolo Internet (IP), es en esta capa en donde se forma la red Ad hoc y es ésta capa la encargada de enviar los paquetes a su destino correcto, de esta manera la red Ad hoc se vuelve independiente de la técnica utilizada por el cual se accede al medio de transmisión.

Los protocolos utilizados en esta capa como son IPv4 o IPv6 pueden recibir modificaciones para poder ser implementados dentro de las redes Ad hoc, al usar estos protocolos las redes Ad hoc híbridas pueden mantener una comunicación con la Red de redes (Internet) de forma clara para las aplicaciones.

AHR: En un ambiente multi-hop tiene que haber alguna manera de encontrar una ruta de entre dos nodos. Esto se hace con un protocolo de enrutamiento Ad hoc. A menudo el protocolo de enrutamiento opera por debajo de la capa de red, pero la capa de red tiene el conocimiento de esta operación. [24]

1.8.4 Capa de Transporte

Una vez determinado el enrutamiento se necesita un método particular para alcanzar un destino en particular de una dirección específica. Esta acción es realizada por la capa de transporte, los protocolos que se manejan en esta capa son TCP y UDP. El protocolo UDP realiza una entrega de paquetes no orientados a la conexión, esto significa que los paquetes son encapsulados y enviados esperando que lleguen a su destino pero no existe nada que lo garantice. En cambio son las capas superiores las encargadas de registrar que los datos han llegado completos. Debido a que se trata de un protocolo simple se lo puede utilizar sin ningún problema en las redes Ad hoc. [9]

Por el contrario el protocolo TCP si asegura que los paquetes han llegado a su destino, estos paquetes son ensamblados en orden y entregados a la siguiente capa, cuando se pierde un paquete el protocolo asume que es porque el canal se

encuentra congestionado por lo que reduce la tasa de envío, en las redes inalámbricas. Existen hasta el momento algunas propuestas como las que se presentan a continuación para mejorar el protocolo TCP, entre estas propuestas se encuentra hacer un TCP “amigable” con las redes Ad hoc, para que este no active incorrectamente el mecanismo de control de congestión por un fallo en el enlace, también se ha propuesto la creación de TPA (*Transport Protocol for Ad hoc Network*), un nuevo protocolo diseñado especialmente para redes Ad hoc, en el cual se incluye mecanismos para la detección de la pérdida del enlace y recuperación de la ruta, Además de que establece un mecanismo de control de pérdida de la ruta diferente al TCP original. [23]

1.8.5 Capa de Aplicación

Se espera que las aplicaciones que funcionan para Internet funcionen también para las redes Ad hoc, ya que los usuarios desearán utilizar las mismas aplicaciones. Debido a que en las redes Ad hoc el ancho de banda y la fiabilidad de los enlaces es mucho menor que en las redes cableadas, existen muchos retos por resolver para que este tipo de redes puedan soportar las aplicaciones que usan los usuarios como aplicaciones multimedia, interactivas de tiempo real, entre otros; para que puedan ser soportados de una manera apropiada en los entornos Ad hoc. Algunas propuestas pretenden hacer que las aplicaciones se Adapten a la forma dinámica a la red Ad hoc y a las capacidades de los nodos en ambos extremos. [9]

1.9 Capa de enrutamiento Ad hoc (AHR)

El enrutamiento en las redes Ad hoc es más complicado que en las redes clásicas debido a la movilidad que poseen, por esto las técnicas aplicadas en el enrutamiento en las redes fijas no funcionaría en este tipo de redes. Los algoritmos aplicados en las redes fijas presuponen que la red se mantiene sin cambios, lo que no ocurre en las redes Ad hoc cuya característica principal es la movilidad.

En las redes Ad hoc los nodos funcionan como enrutadores por lo que cada nodo debe seleccionar la ruta para enviar los paquetes, así como actualizar sus tablas de enrutamiento para conseguir un camino por donde enviar los paquetes hacia su destino. Actualmente se han desarrollado mecanismos que permiten a las redes Ad hoc transmitir los datos de una forma segura y rápida al igual que una red fija.

Estos mecanismos han dado buenos resultados, así tenemos que se han creado protocolos que permiten la comunicación en estas redes, tomando en cuenta sus características, sin embargo estos protocolos no funcionan bien en todos los aspectos, por lo que se recomienda seleccionar uno dependiendo de las necesidades que se tenga en ese momento.

Existen otras razones que se deben tomar en cuenta para el enrutamiento en las redes Ad hoc como la energía limitada, el ancho de banda limitado, y sobre todo la movilidad de la red.

El enrutamiento en las redes Ad hoc se debe tener las siguientes características:

- **Costes mínimos:** se debe reducir los mensajes de control en el descubrimiento de rutas debido al ancho de banda limitado, así como también la carga computacional de las operaciones.
- **Capacidad multisaltos:** asegurar el reenvío de los datos a través de los nodos en el caso de que el destino no se encuentre cerca del origen.
- **Mantenimiento dinámico de topología:** por la movilidad de la red las rutas deben estar siempre actualizadas.
- **Eliminación de bucles:** que un paquete visite el mismo nodo más de una vez en su trayecto, satura el ancho de banda y reduce los recursos de la red.

1.10 Protocolos de Enrutamiento de las Redes Ad hoc

1.10.1 Tipos de protocolos de enrutamiento

Los protocolos de las redes Ad hoc deben ser Adaptativos y anticipar cualquier cambio dentro de la red a partir de parámetros tales como el nivel de congestión, la tasa de errores, los cambios de rutas utilizadas, etc. Y ofrecer una Calidad de Servicio (Quality of Service, QoS) acorde a las exigencias de los usuarios, encontrando la ruta más óptima, enviando solo los mensajes necesarios al canal de comunicación y no consumir recursos innecesarios como el ancho de banda, dando mayor eficiencia en la transmisión.

Para lograr estos objetivos existen protocolos que están diseñados para trabajar en diferentes aspectos del enrutamiento, los cuales se encuentran agrupados según sus características y funcionalidades, así tenemos: [4,19,25]

- Protocolos de enrutamiento Proactivos.
- Protocolos de enrutamiento Reactivos.
- Protocolos de enrutamiento Híbridos.

1.10.2 Protocolos de Enrutamiento Proactivos

En los protocolos proactivos; su funcionamiento se basa en tabla de rutas e intercambian información de control entre nodos de la red Ad hoc de forma periódica, esto les permite mantener rutas actualizadas hacia cada nodo de la red. Son protocolos que reaccionan rápidamente cuando un nuevo nodo aparece o ya no se encuentra dentro de la topología de la red, ellos detectan rápidamente nuevas y mejores rutas que depende de la frecuencia con la que intercambien la información, lo que también afecta al ancho de banda de la aplicación por la sobrecarga de los mensajes de control [4,19,25]; algunos ejemplos de este tipo de protocolos son DSDV (The Destination-Sequenced Distance-Vector Routing Protocol)[21,15,26], CGSR (Clusterhead Gateway Switch Routing)[21,26], WRP (The Wireless Routing Protocol)[22,16,26], OLSR

(Optimized Link State Routing)[21,15,26] y TBRPF (Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding) [21,15,26].

1.10.3 Protocolos de Enrutamiento Reactivos

Los protocolos reactivos o bajo demanda fueron creados para no sobrecargar el ancho de banda con demasiados mensajes de control. El descubrimiento de la ruta se realiza solo cuando un nodo quiere comunicarse con un destino concreto; este proceso termina cuando se descubre la ruta al nodo destino o cuando se han buscado todas las posibilidades y no se ha encontrado ninguna ruta. Una dificultad con la que cuentan estos protocolos son los retardos que se presentan al intentar determinar una ruta, y su reacción es más lenta para descubrir cambios en la topología de la red que los protocolos proactivos [4, 19,25]. Entre los protocolos reactivos podemos citar AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing)[21,15,26], DSR (Dynamic Source Routing)[21,15,26], LQSR (Link Quality Source Routing protocol)[21,15,26], LMR (Lightweight Mobile Routing)[21,26] y TORA (Temporary Ordered Routing Algorithm) [21,15,26].

1.10.4 Protocolos de Enrutamiento Híbridos

Generalmente utilizado para protocolos no uniformes. Incluye ambos procedimientos anteriores en distintos niveles del encaminamiento. Así, se consigue reducir la sobrecarga de la red con mensajes de control presentada por los protocolos proactivos, mientras que se disminuye la latencia de las operaciones de búsqueda mostrada entre los reactivos [19, 25,26]. Entre los híbridos tenemos Zone Routing Protocol (**ZRP**) [26], Adaptive Distance Vector (**ADV**).

1.11 Protocolo DSDV (The Destination-Sequenced Distance-Vector Routing Protocol)

1.11.1 Descripción del protocolo DSDV

En este protocolo los nodos mantienen una tabla de enrutamiento con todos los nodos vecinos y el número de saltos que requiere un paquete para llegar a ellos, esta tabla se actualiza cada cierto período de tiempo.

Para obtener rutas sin ciclos este protocolo incluye números de secuencia asignado por el nodo destino para determinar las rutas más nuevas, por lo que siempre escogerá el camino más corto hacia su destino basándose en el número de saltos que mantenga en su tabla de enrutamiento.

Para mantener las rutas actualizadas este protocolo envía mensajes a través de la red, y para ayudar a minimizar el tráfico el DSDV utiliza dos tipos de paquetes full-dump e incremental. [15]

Este es un buen protocolo para redes con movilidad media, y siempre y cuando los nodos mantengan una buena comunicación.

1.11.2 Descubrimiento de rutas

Las tablas de enrutamiento de los nodos poseen la información de los vecinos, en esta tabla constan los siguientes datos:

- Dirección IP destino.
- Número de secuencia del destino.
- Próximo salto hacia el destino (dirección IP).
- Coste de la ruta hacia el destino (número de saltos).
- Tiempo de instalación: para eliminar rutas antiguas.

Como muestra la figura 1.5 cada nodo añade un número de secuencia a su Tabla de enrutamiento cuando intercambia sus datos, al recibir estos datos los demás nodos actualizan sus Tablas de enrutamiento.

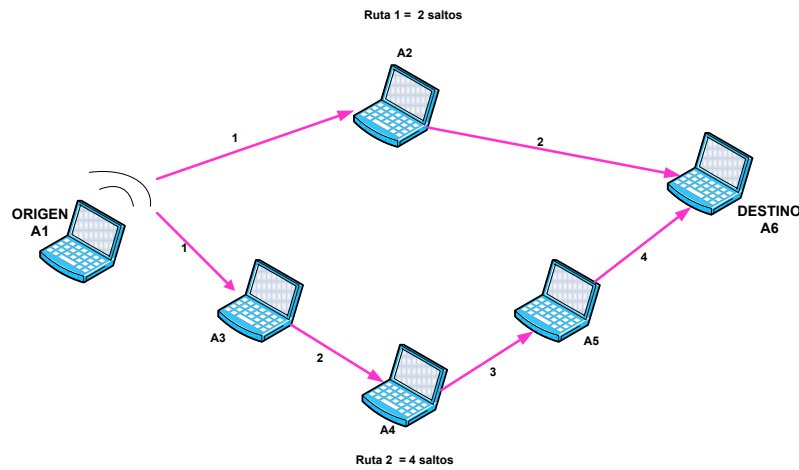


Figura 1.5. Enrutamiento en DSDV

Para el descubrimiento de rutas el protocolo DSDV emplea dos tipos de paquetes; el paquete full-dump, y el paquete incremental para minimizar el tráfico en la red.

El primer paquete se llama *full-dump* es el encargado de llevar toda la información del enrutamiento de la red y se puede necesitar que su envío se divida en varias partes más pequeñas, el segundo paquete se denomina *incremental* que contiene la información que ha variado desde el último full-dump, los nodos mantienen una tabla en donde se registra los datos recibidos por estos paquetes. [27]

Las nuevas rutas tienen la dirección destino, los saltos que se requieren para llegar al nodo destino, el número de secuencia asociado al destino y un nuevo número que identifica el mensaje.

A pesar de la introducción de estos paquetes para minimizar el tráfico en la red, este protocolo aún tiene problemas debido a que los nodos requieren enviar muchos mensajes para mantener su tabla de enrutamiento actualizada.

1.11.3 Mantenimiento de Rutas

Cuando un enlace se rompe o la topología de la red cambia los nodos vuelven a enviar su tabla de enrutamiento, la información actualizada que se envía consta de los siguientes datos:

- Dirección IP destino.
- Coste de la ruta hacia el destino (número de saltos).
- Números de secuencia.

Cada nodo utiliza los números de secuencia para diferenciar las rutas antiguas de las rutas nuevas hacia el destino, los nodos cambian su número de secuencia aumentándolo cuando existe un cambio en la red, la ruta que tenga el número de secuencia mayor es la que se considera válida, es decir es la ruta más actual hacia el destino, si existe un número de secuencia igual hacia un mismo destino se tomará en cuenta la ruta que tenga el menor número de saltos. Por ejemplo tenemos la siguiente Tabla 1.1 de enrutamiento correspondiente al nodo 1 de la Figura 1.5.

Tabla 1.1. Tabla de enrutamiento para el nodo A1 (origen)

Destino	Próximo salto	Coste	Número de Secuencia
A1	A1	0	S120_A1
A2	A2	1	S426_A2
A3	A3	1	S710_A3
A4	A3	3	S564_A4
A5	A3	6	S392_A5
A6	A3	10	S075_A6

Tabla 1.2. Tabla de enrutamiento del nodo A1 actualizada

Destino	Coste	Número de Secuencia
A1	0	S120_A1
A2	1	S426_A2
A3	1	S710_A3
A4	3	S564_A4
A5	6	S392_A5
A6	10	S075_A6

La Tabla 1.2 presenta la tabla de actualización del nodo 1, después de realizar la verificación de la red.

En la Figura 1.6 el nodo destino A6 ha cambiado su posición, esto hace que la topología de la red cambie, por lo tanto se deben actualizar las tablas de enrutamiento para que el nodo origen tenga conocimiento de las nuevas rutas hacia el destino. La nueva tabla de enrutamiento y la tabla de enrutamiento de actualización para el nodo 1 se presentan en las tablas 1.3 y 1.4 respectivamente.

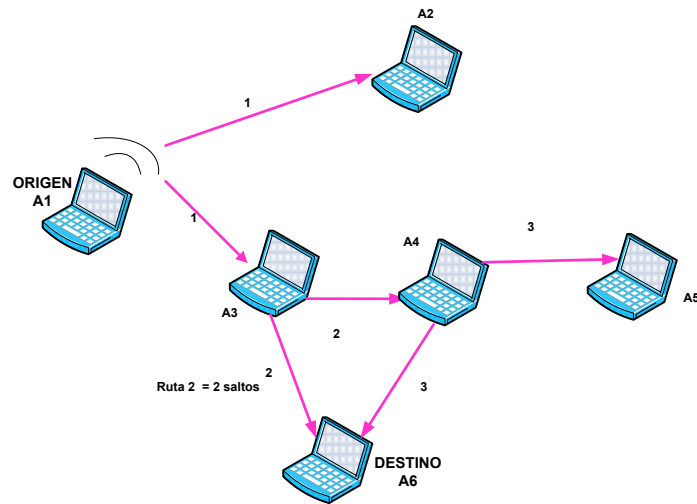


Figura 1.6. Cambio en la topología de la red.

Ahora existen dos caminos para el nodo destino, pero DSDV seleccionará el camino que tenga menos coste, debido al cambio en la topología se han recibido nuevos números de secuencia asociados a las otras entradas en la tabla, por lo tanto el nodo enviara un mensaje de enrutamiento incremental para informar a sus vecinos del cambio en la variación de la entrada del nodo A6 para que no tengan que esperar al próximo envío del paquete full-dump con la tabla completa. En la Tabla 1.3 actualizada se incluyen todos los nuevos números de secuencia de las demás entradas.

Tabla 1.3. Nueva Tabla de enrutamiento del nodo A1 actualizada (origen).

Destino	Próximo salto	Coste	Número de Secuencia
A1	A1	0	S345_A1
A2	A2	1	S125_A2
A3	A3	1	S035_A3
A4	A3	3	S765_A4
A5	A3	6	S256_A5
A6	A3	3	S168_A6

Tabla 1.4. Tabla de enrutamiento del nodo A6 de actualización para el envío dentro del mensaje incremental.

Destino	Coste	Número de Secuencia
A1	0	S345_A1
A2	1	S125_A2
A3	1	S035_A3
A4	3	S765_A4
A5	6	S256_A5
A6	3	S168_A6

1.11.4 Ventajas

- Una de las principales ventajas de este protocolo es que se lo puede utilizar en redes con movilidad media, siempre y cuando los nodos mantengan una buena comunicación.
- Ayuda a minimizar el tráfico de la red por medio de la utilización de los paquetes full-dump, e incremental.

1.11.5 Desventajas

- Este protocolo aún tiene problemas a pesar de utilizar los paquetes para controlar el tráfico de la red, debido a que los nodos requieren enviar muchos mensajes para mantener su tabla de enrutamiento actualizada.
- Solo funciona en topologías con un número de nodos reducido.

1.12 Protocolo AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing)

1.12.1 Descripción del protocolo AODV

El protocolo AODV es un protocolo reactivo diseñado para operar en redes Ad hoc, es la evolución de su antecesor (DSDV). No solo mantiene una tabla de rutas y números de secuencia sino que también agrega el concepto de enrutamiento bajo demanda, es decir, solo mantiene la información de los nodos con los que mantiene comunicación, la principal característica consiste en que los nodos solo intercambian información de control cuando quieren iniciar una comunicación con otro nodo [4]. AODV mantiene en la tabla de enrutamiento información de las rutas hacia los nodos destinos pero no guarda información de las rutas del resto de los nodos de la red.

Es un protocolo que funciona bajo demanda lo que evita la formación de bucles y "de cuenta hacia el infinito" gracias a que mantiene números de secuencia por

cada nodo destino; y como solo mantiene las rutas hacia los nodos con los que mantiene la comunicación evita la sobrecarga en la red. La tabla de rutas se conserva mientras son útiles y las quita cuando ya no las necesita lo que produce un ahorro en la memoria y en el tráfico de la red.

1.12.2 Descubrimiento de rutas

El descubrimiento de la ruta se realiza mediante la difusión de un mensaje de solicitud de ruta RREQ (Route Request) hacia todos los nodos vecinos, de esta manera se inunda la red con estas peticiones. AODV puede soportar envíos unicast, y broadcast, envía una petición de ruta por medio de broadcast y recibe respuesta por medio de unicast. [15,27]

Para empezar con la solicitud de la ruta primero se verifica la tabla de enrutamiento para saber si tiene una ruta hacia el destino, sino la tiene envía un mensaje broadcast de RREQ a los nodos vecinos, un mensaje RREQ incluye identificador único, la dirección IP destino y un número de secuencia, la dirección IP origen así como un contador de saltos. Cuando un RREQ llega hacia el nodo destino o algún nodo intermedio verifica si este mensaje ya ha sido recibido anteriormente mediante los números de secuencia ya que si el número de secuencia es mayor más reciente es la ruta, si no lo ha recibido lo reenvía el mensaje RREQ incrementando el número de saltos, si el nodo conoce la ruta hacia el destino genera una respuesta RREP (Route Reply Packet) que es un mensaje unicast, cuando el mensaje de respuesta RREP regresa al origen se crea un camino de ida. Si un nodo vuelve a recibir el mismo mensaje de petición de ruta será rechazado, [27]. En la Figura 1.7 se muestra el formato del mensaje RREQ en AODV.

Type	J	R	G	D	U	Reserved	Hop Count
RREQ ID							
Destination IP Address							
Destination Sequence Number							
Originator IP Address							
Originator Sequence Number							

Figura 1.7. Formato del mensaje RREQ de AODV [27]

Para reconocer una entrada nueva de la antigua el nodo consulta su reloj lógico que es la combinación del identificador del nodo con un contador, así cada nodo incrementa su contador lo que hace que no sea necesario mantener un reloj único conocido por la red.

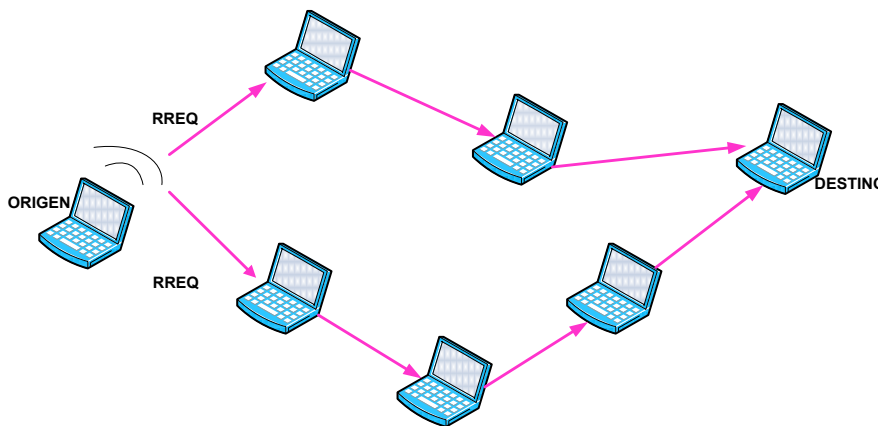


Figura 1.8. Transmisión de RREQ de AODV

Desde el momento que el nodo origen envía la petición de ruta con el mensaje RREQ se crea una ruta de regreso, así el mensaje de respuesta RREP unicast que envía el nodo intermedio o el destino sabe volver al origen por que el envío por inundación de RREQ fue creando el camino de regreso. El mensaje RREP contiene en su cabecera una dirección IP destino, una dirección IP origen, el contador de tiempo de vida, el contador de saltos, así como un prefijo de las subredes.

Cuando el nodo envía el mensaje RREP debe incrementar en una unidad el número de secuencia si es el nodo destino, en caso contrario si es un nodo intermedio el que envía el RREP debe poner en él el número de secuencia que tiene para llegar al destino. En la Figura 1.9 se muestra el formato del mensaje RREP en AODV.

Type	R	A	Reserved	Prefix Sz	Hop Count
Destination IP Address					
Destination Sequence Number					
Originator IP Address					
Lifetime					

Figura 1.9. Formato del mensaje RREP de AODV [27]

Cuando un nodo recibe el mensaje RREP verifica en su tabla de enrutamiento si el número de secuencia es mayor que la que tiene almacenada y también que el número de saltos sea menor de lo que posee en su tabla, sino cumple con estas condiciones el paquete es rechazado, en caso contrario si cumple con estos requerimientos la tabla de enrutamiento es actualizada, después de un período de tiempo la ruta es borrada de la tabla de enrutamiento. Al recibir el nodo origen el RREP, ya puede empezar a enviar datagramas que seguirán el camino de ida como se presenta en la Figura 1.10.

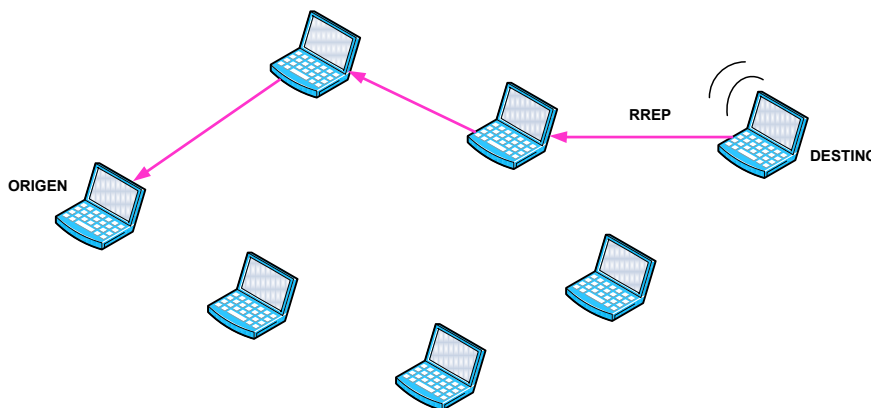


Figura 1.10. Transmisión de RREP desde el nodo destino en AODV

1.12.3 Mantenimiento de Rutas

AODV utiliza el mantenimiento de rutas para protegerse de situaciones en las cuales el camino encontrado hacia un nodo no sea válido después de cierto tiempo debido a la movilidad de los nodos.

Cuando un nodo origen se mueve la topología de la red cambia, entonces AODV debe reiniciar la búsqueda del camino hacia el destino, en caso contrario si es el nodo destino o algún nodo intermedio el que se ha movido y existen paquetes dirigiéndose a él, un mensaje de error RERR será enviado al nodo origen por el nodo que detectó el cambio en la topología de la red. En la Figura 1.11 se muestra el Formato del mensaje RERR de AODV.

Type	N	Reserved	DestCount
Unreachable Destination IP Address			
Unreachable Destination Sequence Number			
Additional Unreachable Destination IP Address			
Additional Unreachable Destination Sequence Number			

Figura 1.11. Formato del mensaje RERR de AODV [27]

Debido a que el protocolo trabaja bajo demanda no todos los cambios causarán que el protocolo realice operaciones. Así los nodos por los que pase el mensaje de error RERR inhabilitarán las rutas hacia el nodo que ha sido movido y por el momento se encuentra inaccesible, cuando el mensaje de error llegue a su destino es decir al nodo origen, éste podrá decidir si da por terminado el envío o inicia un nuevo descubrimiento de la ruta enviando un mensaje RREQ si es que aún necesita entablar la comunicación.

Es necesario mantener la información actualizada sobre los vecinos de los nodos cada cierto tiempo, cada vez que se recibe información de algún nodo

vecino la tabla de rutas se actualiza, así el nodo está seguro de que el nodo vecino sigue en su lugar.

Si no existe una entrada para el nodo vecino se crea una nueva tabla de enrutamiento, asimismo se envían paquetes HELLO cada cierto tiempo a todos los nodos vecinos para informales que el propio nodo sigue activo, esta información les sirve a los nodos vecinos para mantener actualizados los temporizadores asociados a dicho nodo, en caso contrario se procede a deshabilitar todas las entradas a el nodo que no responde. [27]

1.12.4 Ventajas

- Una de las principales ventajas es su velocidad de convergencia, es decir que solo mantiene las rutas cuando las necesita, esto permite disminuir el tráfico en la red.
- Este protocolo soporta tráfico unicast, y broadcast.
- Utiliza números de secuencia y registro de costes para solucionar problemas de bucles cuando el enlace se rompe.
- Mantiene actualizadas las rutas con los nodos vecinos mediante el envío de paquetes Hello para descubrir las nuevas rutas hacia los nodos vecinos.

1.12.5 Desventajas

- La seguridad que ofrece AODV es muy poca por lo que la suplantación de identidad puede ser muy fácil, así como la implantación de un nodo maligno tampoco puede ser detectado por este protocolo.
- Otra de las desventajas es que tratar de implementar la seguridad en AODV resulta complicado, y agregar seguridad aumentaría su overhead.

1.13 Protocolo DSR (Dynamic Source Routing).

1.13.1 Descripción del protocolo DSR

Este protocolo se basa en el concepto de encaminamiento de origen (Source Routing), la ruta se busca solo cuando se necesita y es el nodo origen quien la establece. Esto permite que se eliminen los bucles, sin embargo la latencia es alta para el primer paquete que se envía.

DSR al ser un protocolo reactivo no usa mensajes periódicos lo que disminuye la sobrecarga de los mensajes de control en la red, además se tiene variados caminos hacia el destino, los paquetes contienen en la cabecera el número de nodos que deben atravesar para llegar al destino, esta ruta se mantiene hasta que el nodo pasa a ser inalcanzable o bien la ruta ha sido borrada de la tabla.

Cada nodo mantiene una memoria caché en donde almacena una tabla en la que mantiene las entradas a los nodos intermedios y al destino, estas tablas son actualizadas a medida que se aprenden más rutas, estas rutas se van descubriendo durante el proceso de descubrimiento o cuando está escuchando a la red.

DSR consta de dos mecanismos principales: descubrimiento de rutas (Route Discovery) y mantenimiento de rutas (Route Maintenance). Estos mecanismos trabajan a la par para permitir que los nodos descubran y mantengan las rutas hacia los nodos con los cuales desean tener comunicación.

1.13.2 Descubrimiento de rutas

Cuando un nodo quiere enviar un paquete hacia un destino consulta su cache para confirmar si tiene una ruta disponible hacia ese nodo, si encuentra una válida la usará para enviar el paquete, en caso contrario si no encuentra ninguna ruta empezará el descubrimiento enviando un paquete RREQ (Route Request). [27]

El descubrimiento de la ruta como se indica en la Figura 1.12 empieza con el envío del paquete RREQ a todos los nodos vecinos, este paquete contiene en su cabecera la dirección destino buscada, la dirección del nodo que origina el envío y un identificador único; si el nodo que recibe este paquete es el nodo destino responderá al origen enviando un mensaje RREP (Route RREP) unicast el cual llevará una copia del registro de los nodos que conforman la ruta para llegar a él, cuando el nodo origen recibe el mensaje de respuesta almacena en su caché la ruta para utilizarla más tarde si necesita comunicarse con este destino; si el nodo que recibe la petición de ruta es un nodo intermedio, el nodo agrega al mensaje su propia dirección en el registro de rutas del paquete, después volverá a reenviar la petición a través de todos sus enlaces.

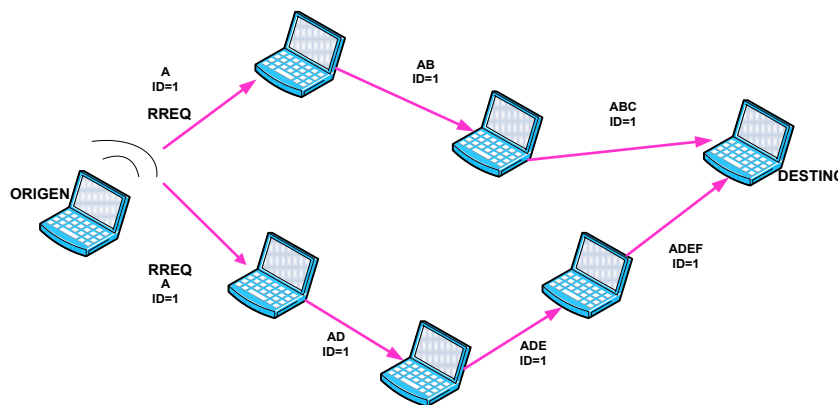


Figura 1.12. Descubrimiento de ruta en DSR

Si en el paquete RREQ que recibe un nodo se encuentra su propio identificador lo descarta puesto que ya recibió uno anteriormente. Para hacer llegar el mensaje de respuesta al nodo origen, el destino usará la ruta recién creada.

En DSR puede permitirse múltiples caminos a un destino, además es el nodo origen quien selecciona y controla los caminos usados para enrutar sus paquetes.

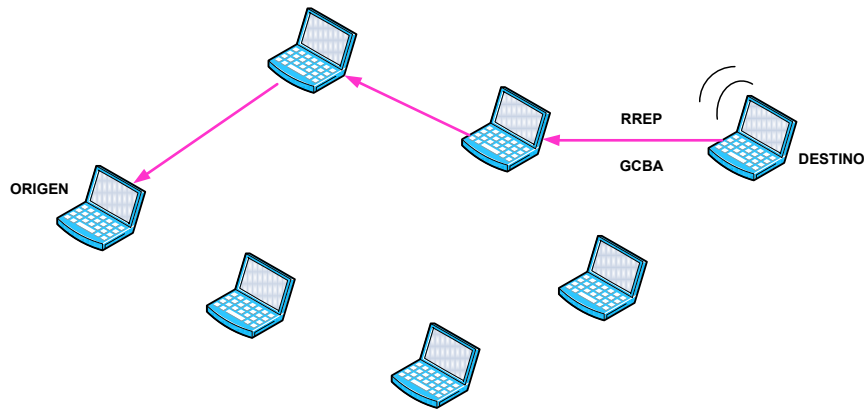


Figura 1.13. Envío de la respuesta RREP desde el destino en DSR.

1.13.3 Mantenimiento de rutas

El mantenimiento de rutas es realizado para monitorizar el funcionamiento de una ruta e informar al nodo fuente sobre cualquier error de enrutamiento.

Cada nodo se hace responsable de reenviar la petición al siguiente nodo de la ruta, así por ejemplo el nodo A es responsable de que el nodo B reciba la petición y así sucesivamente, en el momento que el siguiente nodo de la ruta no lo haya recibido después de un número determinado de intentos y después de haber estado esperando una confirmación, el nodo que es responsable de que el siguiente nodo de la ruta reciba la petición, envía un mensaje de error (Route Error Packets) al nodo que originó la petición de ruta indicando que esa ruta no es válida, el mensaje de error es recibido por el origen, quien entonces eliminará de su cache esta ruta de enlace hacia ese nodo.

La próxima vez que el origen necesite comunicarse con el destino utilizará una ruta alterna si la tiene en caso contrario iniciará una nueva petición de ruta lanzando un RREQ.

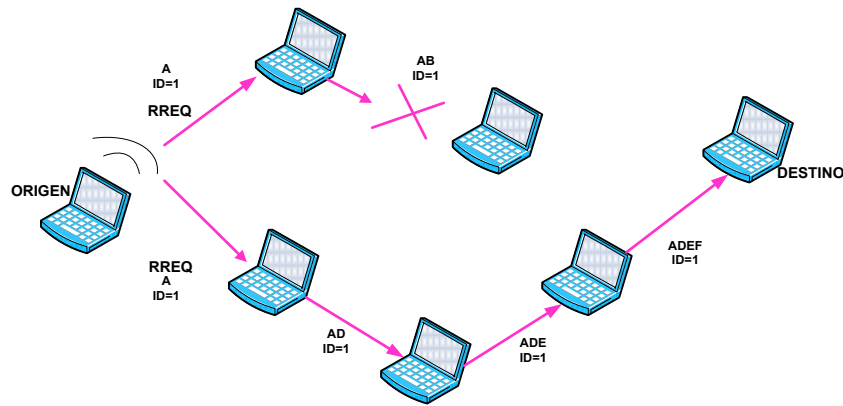


Figura 1.14. Mantenimiento de rutas de DSR.

Durante el envío de los mensajes hacia el nodo origen o destino, cada nodo puede añadir en su cache esta información que puede usar más tarde en el envío de datos si lo requiere.

1.13.4 Ventajas

- Una de las ventajas es que las rutas solo se mantienen entre nodos que quieren comunicarse.
- Como la comunicación solo se mantiene entre los nodos en comunicación, el encabezado del paquete se reduce.

1.13.5 Desventajas

- Durante el descubrimiento de la ruta el encabezado del paquete puede ser muy grande debido al número de nodos por los que tiene que pasar para llegar al destino y debido al enrutamiento en el origen.
- La inundación de la solicitud de ruta RREQ puede llegar a todos los nodos de la red.
- Pueden ocurrir colisiones con los mensajes RREQ propagados por los vecinos durante el descubrimiento de la ruta.

1.14 Comparación de los protocolos

Después de revisar el funcionamiento de los protocolos antes mencionados en la siguiente Tabla 1.5, se realiza la comparación entre los tres protocolos según ciertas características importantes, de modo que se muestra cómo funcionan considerando estas particularidades.

Como se muestra en la Tabla 1.5 la preservación de la energía no es soportada por estos protocolos, así como la Calidad de Servicio, aunque existen protocolos especialmente diseñados para soportar estas características, y se espera que en los próximos años estas características sean incorporadas en el trabajo que está realizando el grupo IETF para las redes Ad hoc.

Tabla 1.5. Comparación de los protocolos de enrutamiento de la redes Ad hoc

	DSDV	AODV	DSR
Libre de bucles	SI	SI	SI
Rutas Múltiples	NO	NO	SI
Distribuido	SI	SI	SI
Reactivo	NO	SI	SI
Enlace Unidireccional	NO	NO	SI
Multicast	NO	SI	NO
Seguridad	NO	NO	NO
Conservación de Energía	NO	NO	NO
Difusiones Periódicas	SI	SI	NO

Requiere datos Confiables	NO	NO	NO
------------------------------	----	----	----

El protocolo DSDV se guía por tablas para realizar su enrutamiento, viene de los protocolos usados en las redes cableadas, pero también incorpora números de secuencia para evitar rutas con bucles. El tiempo de convergencia es su principal problema, por esta razón su reacción ante los cambios en la topología tarda mucho más tiempo que los demás protocolos, el mismo que aumenta en una red con movilidad alta. El protocolo AODV que es el sucesor de DSDV fue creado teniendo en cuenta estas características, además incluyeron las capacidades de multicast que resulta muy útil cuando las comunicaciones se dan de un punto a múltiples puntos.

Los protocolos AODV y DSR hacen uso de su mecanismo de enrutamiento para encontrar una nueva ruta, pues se trata de protocolos de enrutamiento reactivos. La diferencia entre estos protocolos radica en que AODV utiliza los datos de las Tablas de enrutamiento de los nodos intermedios para poder enviar los paquetes a su destino, en cambio DSR utiliza para enrutar los paquetes el enrutamiento en el origen, por lo que tiene la oportunidad de aprender más rutas que AODV, además también soporta enlaces unidireccionales que los otros protocolos no soportan.

Lo que respecta a la Calidad de Servicio ninguno de estos protocolos soporta QoS en su enrutamiento, lo que hace que utilizar aplicaciones en tiempo real no sea muy factible por la pérdida que existiría de paquetes así como el retardo en la entrega de los mismos, por esta razón el presente trabajo pretende analizar que tan efectivo es el enrutamiento de estos protocolos en las redes Ad hoc.

CAPITULO II

CALIDAD DE SERVICIO (QOS) EN LAS REDES AD HOC

2 CALIDAD DE SERVICIO (QOS) EN LAS REDES AD HOC

2.1 Introducción

La Calidad de Servicio o QoS (Quality of Service), se refiere a ofrecer un buen Servicio a los usuarios que utilizan diferentes aplicaciones en tiempo real, existen aplicaciones que requieren mayor ancho de banda lo que puede congestionar la red y por lo tanto perderse la información, por lo tanto es necesario una buena administración de los recursos para brindar a las aplicaciones las condiciones adecuadas para la transmisión de datos.

La Calidad de Servicio se mide primordialmente de acuerdo a parámetros tales como ancho de banda, Canal Eficaz, latencia, pérdidas de los paquetes, etc. Con la Calidad de Servicio se puede discriminar tráfico, dando mayor o menor eficiencia a la transmisión de los datos, la Calidad de Servicio nos indica que el protocolo de enrutamiento es capaz de encontrar el camino hacia el destino sabiendo porqué nodo encaminar el tráfico que transporta, entregando de una forma confiable los datos, además la pérdida de paquetes y la latencia deben ser casi nulos sobretodo en aplicaciones de tiempo real, ya que estos parámetros afectan en gran medida a este tipo de aplicaciones.

Se debe tener en cuenta las características de las redes Ad hoc para poder proporcionar Calidad de Servicio. Debido a su topología dinámica se modifica la red constantemente así como los enlaces, el ancho de banda y el retardo.

Así tenemos que los protocolos proactivos siempre tienen rutas hacia todos los nodos de la red, aunque no se los esté utilizando, la ventaja es que siempre se va a tener una ruta disponible hacia los nodos en cualquier momento lo que reduce el retardo en el descubrimiento de las rutas.

En cambio en los protocolos reactivos se descubre la ruta hacia el destino solo cuando se quiere enviar los datos, lo que optimiza el ancho de banda pues solo mantiene las rutas durante la transmisión.

Un protocolo de enrutamiento con capacidades de QoS debería intentar establecer una ruta que cumpla con determinados requisitos como ancho de banda, retardo extremo a extremo, mínima variación en el retardo, etc.

Aplicar Calidad de Servicio se complica en las redes Ad hoc debido a su característica dinámica, sin embargo podemos decir que la Calidad de Servicio en AODV se presenta al momento de encontrar un camino para enviar los datos, gracias a que mantiene tablas de rutas, que las utiliza solo cuando necesita entrar en comunicación lo que minimiza los costes de memoria y energía; en DSR la Calidad de Servicio se da cuando al realizar la comunicación consulta su tabla en donde constan rutas preestablecidas que han sido actualizadas con el ingreso de nuevas rutas, lo que minimiza la congestión en el canal de comunicación. Los protocolos reactivos serían una gran alternativa para implementar en una red Ad hoc debido a que utilizan menos recursos de red, escasos en las redes Ad hoc.

2.2 Conceptos Generales de la Calidad de Servicio (QoS)

La Calidad de Servicio tiene gran cantidad de conceptos dependiendo de la aplicación o del usuario final, según corresponda, y como lo aprecie el usuario en un momento dado, la aplicación funcionará bien o no, sin preocuparse de procesos que han sido necesarios para que la aplicación se desempeñe bien en su trabajo.

La Calidad de Servicio desde el punto de vista de la red puede ser una medida de la Calidad en términos de recursos óptimos, que la red ofrece al usuario o a la aplicación.

Existen diversas definiciones de Calidad de Servicio que ofrecen organismos internacionales sobre "Calidad de Servicio".

- Según UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) la Calidad de Servicio es *"como el efecto global de la Calidad de funcionamiento de un"*

Servicio que determina el grado de satisfacción de un usuario de dicho Servicio.”³

- Según RFC-2386: la Calidad de Servicio *“se caracteriza por ser un conjunto de requisitos de Servicio que se debe cumplir en el transporte de un flujo de paquetes desde el origen a su destino”*.⁴
- Según el estándar X.902 de la Unión Internacional de Telecomunicación (ITU) la Calidad de Servicio *“es un conjunto de requisitos de Calidad que condicionan el comportamiento colectivo de uno o varios objetos”*.⁵
- En ATM Lexicon define la Calidad de Servicio como *“Un término que se refiere a un conjunto de parámetros de rendimiento de ATM que caracterizan el tráfico de una conexión determinada”*.⁶
- En RFC-1946 de la Internet Engineering Task Force (IETF) establece que *“El surgimiento de la demanda de Servicios de red de tiempo real ha hecho necesario que las redes compartidas proporcionen unos Servicios de entrega deterministas. Estos Servicios de entrega deterministas exigen que tanto la aplicación origen como la infraestructura de red tengan capacidades de petición, establecimiento, y aseguramiento de la entrega de datos. Colectivamente estos Servicios se refieren a la reserva de ancho de banda y Calidad de Servicio”*.⁷

Como en alguna de las definiciones anteriores se observa que utilizan el término “flujo de paquetes”, un flujo de paquetes es un conjunto de paquetes que se transmiten desde un origen a un destino, por una sola ruta o por rutas diferentes según sea de un Servicio orientado a la conexión o no,

³ Disponible en: <http://www.ono.es/sobreono/Calidad-y-Servicio/definicion-parametros.aspx>

⁴ Disponible en: <http://www.normes-internet.com/normes.php?rfc=rfc2386&lang=es>

⁵ Disponible en: <http://www.objs.com/survey/QoS.htm>

⁶ Disponible en: <http://www.objs.com/survey/QoS.htm>

⁷ Disponible en: <http://www.objs.com/survey/QoS.htm>

cada flujo de paquetes tendrán distintas necesidades de Calidad de Servicio, que se caracteriza por los siguientes parámetros.

- Retardo
- Pérdida de paquetes
- Canal Eficaz

No existe una técnica concreta que nos permita proporcionar Calidad de Servicio a todas las aplicaciones, maximizando los parámetros anteriores, para esto existen algunos métodos que se han utilizado para lograr una Calidad de Servicio apropiada. Algunos de estos métodos son:

- Aprovisionamiento
- Almacenamiento en buffer
- Modelado de tráfico
- Reserva de recursos
- Control de Admisión, entre otros.

2.3 Parámetros de la Calidad de Servicio

Garantizar la Calidad de Servicio, ofrece a los usuarios finales que los datos serán transmitidos en forma adecuada en un tiempo establecido, algunos de los parámetros a considerar son:

2.3.1 Pérdida de paquetes.

La pérdida de paquetes de datos se da cuando éstos no llegan a su destino final debido a la congestión de los canales de comunicación.

2.3.2 Latencia o retardo.

Este parámetro se mide en unidades de tiempo y se refiere al tiempo total transcurrido que empieza desde que el paquete es transmitido por el origen hasta que llega a su destino.

2.3.3 Canal Eficaz o Throughput.

Es la cantidad de datos recibidos por el destino en un tiempo determinado, a través de un medio físico o lógico en una red.

2.4 QoS en redes Ad hoc

Es importante tomar en cuenta las características de las redes Ad hoc especialmente la movilidad de sus nodos a la hora de proveer Calidad de Servicio, la topología dinámica que permite que sus nodos cambien de posición constantemente modificando el ancho de banda disponible, así como las rutas hacia los nodos destinos. Por estas razones algunas de las propuestas que se darán a continuación se basarán en el supuesto de que los nodos en algún momento se encontrarán estacionados, de los cuales se podrá distinguir los nodos con mayor y menor movilidad.

Para esto se establecerá un pequeño marco de trabajo para poder estructurar todas las líneas de trabajo que hasta el momento existen. Así tenemos algunas características que se debe cumplir a la hora de proveer Calidad de Servicio, como son: modelo de QoS, señalización para la reserva de QoS, encaminamiento QoS, control de acceso al medio QoS.

2.4.1 Modelos para la Calidad de Servicio

Primero se hará una introducción de los diferentes modelos que se utilizan actualmente en Internet con mayor auge, para así tener en cuenta las especiales características de las redes Ad hoc y sus respectivas restricciones. Para Internet las propuestas más estudiadas son las dadas por el IETF que corresponden a dos grupos de trabajo como son: IntServ (Servicios Integrados), y DiffServ (Servicios Diferenciados).

IntServ se define en el RFC1633, y consiste en la reserva de recursos de la red por flujos. La reserva de los recursos se realiza antes de poner el tráfico en la red, para esto se verifica la demanda de requerimientos que las aplicaciones soliciten como: ancho de banda, jitter, retardo, etc.

Así cada router de la red debe mantener una tabla con el estado de reserva por flujo, para la provisión de Servicio. Pero este modelo presenta un inconveniente que es la gran cantidad de datos que se debe almacenar en cada nodo intermedio.

El modelo **DiffServ** fue propuesto por IETF y está definido en RFC2475, para proveer Calidad de Servicio diferenciando las clases de tráfico o Servicios, este modelo está orientado a un Servicio extremo a extremo a través de un dominio único [10].

Además este modelo se basa en la agregación de flujos para proveer Calidad de Servicio, solucionando los problemas de escalabilidad del modelo anterior, asimismo define un campo Code Point (DSCP) que se encuentra asociado a la cabecera IP que puede ser IPv4 o IPv6, de esta manera el tratamiento del tráfico de los nodos intermedios viene determinado por el valor asociado a este campo.

2.4.2 Señalización de reserva para la Calidad de Servicio

Este mecanismo es el encargado de realizar la reserva y liberación de los recursos de la red, así como el establecimiento de los flujos de tráfico de la red, estos mecanismos de señalización se dividen en aquellos que incorporan la información de control dentro de los paquetes in-band signalling, y los que utilizan mensajes de control out-of-band signalling. Hay un protocolo que es muy utilizado que es el RSVP que usa uno de los mecanismos de señalización más extendidos, y se trata de un mecanismo out-of-band signalling, que permite la reserva de los recursos de la red de extremo a extremo para tráfico unicast y multicast. Otra propuesta a considerar es la que da el grupo INSNIA, los cuales soportan Servicios adaptativos, es decir, aplicaciones con capacidad de adaptarse a cambios en el ancho de banda de la red que se encuentre disponible, además se basa en señalización in-band signalling, usando la cabecera IP para indicar los requisitos de recursos máximo y mínimo del ancho de banda.

2.4.3 Encaminamiento con Calidad de Servicio

Como ya se mencionó anteriormente, los protocolos de enrutamiento para las redes Ad hoc se dividen especialmente en tres grupos que son los protocolos proactivos, reactivos, e híbridos.

Los protocolos proactivos son aquellos que mantienen sus rutas hacia todos los nodos almacenadas en la tabla de enrutamiento aunque no se las utilice, la ventaja es que las rutas van a estar disponibles en cualquier momento lo que minimiza el retardo al no tener que descubrir nuevas rutas. A diferencia de los protocolos reactivos que intentan mejorar el uso del ancho de banda al descubrir las rutas solo cuando necesitan comunicarse con el destino.

Los protocolos de enrutamiento con Calidad de Servicio deberían establecer rutas que cumplan con los requerimientos de QoS como son mínima pérdida de paquetes, mínimo retardo, y un mayor Canal Eficaz.

2.4.4 Control de Acceso al Medio con Calidad de Servicio

Los elementos que se han tratado anteriormente no servirían si no existiera un control de acceso al medio que nos permitiera una reserva de recursos mediante algún procedimiento, existen muchas propuestas de protocolos MAC para entornos Wireless, pero ninguno permite la reserva de recursos.

Para proveer a las redes Ad hoc de Calidad de Servicio existen algunas propuestas diseñadas para este tipo de redes, aunque aún no han sido normalizadas, sin embargo analizaremos brevemente algunas de ellas.

2.5 Propuestas de modelos y protocolos con QoS

Existen algunas propuestas de Calidad de Servicio para las redes Ad hoc, a continuación se detallan algunas de ellas:

2.5.1 CEDAR (Core Extraction Distributed Ad-hoc Routing)

Es un protocolo de enrutamiento híbrido que mantiene tablas con información local a los nodos núcleo, como en los protocolos proactivos, y el descubrimiento

de ruta es por demanda, como en los protocolos reactivos, este protocolo establece las rutas estables y los propaga a través de la red, es decir por las rutas pre calculadas CEDAR sabe si satisface o no los requerimientos de QoS. [28]

CEDAR aplica tres pilares básicos:

Extracción del núcleo: el núcleo escoge un grupo de nodos de la red en forma periódica, estos nodos deben mantener la topología de su dominio, cada nodo del núcleo mantiene información de la topología de la red y de los nodos móviles que se encuentran dentro de su campo para así poder realizar el cálculo de las rutas, todo nodo debe formar parte del núcleo, ser vecino de un nodo del núcleo.

Propagación del estado de los enlaces: cada nodo que integre el núcleo debe conocer el estado y la topología de cada enlace local, así como también los enlaces lejanos pero que cuenten con un gran ancho de banda y estabilidad; además de la información sobre los enlaces o de bajo ancho de banda de la red local.

Cálculo de la ruta: al momento de enviar datos a un destino el nodo origen envía un mensaje en el que incluye (origen, destino, ancho de banda solicitado), el protocolo trata de encontrar un ruta alternativa del núcleo origen, al núcleo destino que satisfaga el ancho de banda solicitado, toda la información del ancho de banda, origen y destino, es propagado por todo el núcleo por medio de broadcast hasta llegar al destino, pero primero los nodos intermedios deben comprobar que el ancho de banda esté disponible en cada salto intermedio. Si un nodo necesita establecer comunicación con otro nodo, primero establece una conexión con el nodo núcleo ya que estos son encargados de establecer y mantener las rutas.

En conclusión CEDAR establece un núcleo dentro de la red Ad hoc que será responsable de hacer todos los cálculos de las rutas, estos nodos son escogidos de forma dinámica, estos propagarán la información dentro de la red la

información de los estados de los enlaces y del ancho de banda de los mismos y almacenan datos sobre los enlaces dinámicos y de bajo ancho de banda.

2.5.2 MODELO INSIGNIA (IP-based QoS framework for Mobile Ad-hoc Networks)

Este modelo ha sido diseñado especialmente para las redes Ad hoc, su objetivo principal es proveer de QoS a aplicaciones que sean capaz de adaptarse a diferentes anchos de banda disponibles, utiliza la cabecera IP para incluir los requerimientos mínimos y máximos de ancho de banda que necesita.

INSIGNIA provee QoS a todos los Servicios de forma adaptable, de esta manera los Servicios se adaptan de tal manera que proporcionan un aseguramiento mínimo de ancho de banda a las aplicaciones en tiempo real como son la voz, vídeo, etc. Este protocolo permite que los datos sean entregados cuando exista un ancho de banda máximo. [28]

Estos flujos requieren control de admisión, reserva así como también mantenimiento de recursos a lo largo de todos los nodos intermedios entre el origen y el destino proporcionando Calidad de Servicio de extremo a extremo.

Algunas aplicaciones no podrán adaptarse al cambio de ancho de banda mientras que en otros casos si se adaptarán a los cambios que encuentren en el ancho de banda disponible.

INSIGNIA agrega QoS a los datos en tiempo real de manera que los nodos pueden especificar su necesidad de ancho de banda, además este protocolo puede restaurar el estado de los flujos de datos cuando la topología cambia, dentro de algunos paquetes consecutivos de IP.

Para proporcionar QoS, Insignia utiliza los siguientes recursos:

- Reservación rápida.

- Restauración rápida.
- Restauración rápida de sesión.
- Adaptabilidad.

2.5.3 MODELO FQMM (Flexible QoS Model for Manets)

Este modelo fue diseñado para las redes Ad hoc y sirve para ofrecer Calidad de Servicio a estas redes en particular. Este modelo es utilizado para redes pequeñas con máximo 50 nodos, y de topología plana, permite asignar recursos a los nodos móviles, además adapta el tráfico para poder distinguir entre el tipo de tráfico que se presenta en la red móvil.

Este modelo propone un esquema híbrido combinando IntServ (Servicios Integrados) con DiffServ (Servicios Diferenciados), disponiendo la diferenciación de Servicios por flujo de IntServ con la diferenciación de Servicios de clase de DiffServ.[28]

Así tenemos que por medio de IntServ realizará la reserva de recursos por flujo para el tráfico más importante y para el tráfico menos importante reservará los recursos por clase por medio de DiffServ.

Este modelo está diseñado para determinar y asignar los recursos a varios nodos móviles, esto es posible ya que cuenta con un mecanismo que le permite adaptarse al tráfico, para así mantener la diferencia entre el tráfico de la red, además este modelo trabaja en la capa IP cooperando con la capa MAC.

También es un modelo flexible debido principalmente a tres motivos fundamentales:

- Nodos con roles dinámicos.
- Esquema de reserva de recursos híbridos.
- Capacidad para combinar de manera flexible los distintos módulos del modelo con el fin de poder ofrecer la Calidad de Servicio deseada.

CAPITULO III

DEFINICIÓN DE INDICADORES Y ESCENARIOS PARA LA SIMULACIÓN

3 DEFINICIÓN DE INDICADORES Y ESCENARIOS PARA LA SIMULACIÓN

3.1 Indicadores

Para que el usuario pueda estar satisfecho con el Servicio que le puede ofrecer una red inalámbrica móvil (como las redes Ad hoc), se necesita evaluar la Calidad de Servicio que estas redes presentan.

Para esto se deben definir ciertos Indicadores que sirvan de apoyo para poder gestionar los problemas que puedan presentarse una vez que los usuarios se encuentren accediendo a la red Ad hoc. Para que la información que proporciona un indicador sea útil es necesario, además, que cumpla con algunas condiciones como: validez, fiabilidad, facilidad de obtención, etc. Se debe tomar en cuenta que lo importante de tener Indicadores es que cumplan con la misión de informar si se está yendo de acuerdo a lo que se consideraba era lo apropiado, es decir que la red Ad hoc está ofreciendo un Servicio de Calidad, para esto los Indicadores deben ser medidos a lo largo del tiempo para comprobar y analizar su evolución.

Existen muchos Indicadores que se pueden tomar para comprobar si la red está ofreciendo un Servicio con Calidad, en este proyecto se ha tomado las recomendaciones dadas por la ITU-T, las cuales se presentan a continuación.

3.1.1 Recomendaciones de ITU-T (Unión Internacional de Telecomunicaciones)

Existen parámetros definidos por la ITU -T como las recomendaciones Y.1540 y Y.1541, los cuales sirven para especificar y evaluar la Calidad de funcionamiento en cuanto a velocidad, seguridad de funcionamiento y disponibilidad de transferencia de paquetes en una red. Estos parámetros son los siguientes: [29][30]

- **IPTD (IP Packet Transfer Delay):** Se refiere al tiempo que se demora en pasar un paquete a través de la red, que puede ser un nodo, un enrutador o una sección de la red.
- **IPDV (IP Packet Delay Variation):** Hace referencia al tiempo esperado de llegada del paquete.
- **IPLR (IP Packet Loss Ratio):** Se refiere a la tasa de pérdida de paquetes.
- **IPER (IP Packet Error Ratio):** Se refiere a la tasa de paquetes con errores.

En la Tabla 2.1 se muestra los parámetros de Calidad de funcionamiento que determinan la Calidad de Servicio, según las clases de QoS que recomienda la ITU-T (Y.1540). [29][30]

Tabla 2.1. Parámetros Indicadores de la Calidad de funcionamiento que determinan la QoS.[29][30]

Parámetro de Calidad de funcionamiento de red.	Clases de QoS					
	Clase 0	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5 no especificada
IPTD	100 ms	400 ms	100 ms	400 ms	1 s	U
IPDV	50 ms	50 ms	U	U	U	U
IPLR	1 x	1 x	1 x	1 x	1 x	U
	10 ⁻³ (Nota 4)	10 ⁻³ (Nota 4)	10 ⁻³	10 ⁻³	10 ⁻³	
IPER	1 x 10 ⁻⁴					U

Nota: La “U” significa “no especificado” o “sin límites”, Tomado de: “Satellite Networking Principles and Protocols”

En las recomendaciones Y.1541 se especifica los valores de la Calidad de funcionamiento para cada uno de los parámetros definidos en la recomendación Y.1540, para esto se definen un número de clases de Calidad de Servicio para establecer comunicación entre usuarios y los proveedores de Servicios. [29][30]

- **Clase 0-1:** Aplicaciones en tiempo real, sensibles al retardo y de interacción alta, por ejemplo: VoIP, videoconferencia, difusión de audio.
- **Clase 2-3:** Aplicaciones de datos transaccionales interactivos, por ejemplo: navegación, señalización.
- **Clase 4:** Aplicaciones que soportan pérdidas y no hay problema con el retardo como por ejemplo: videostreaming, transferencia de archivos, etc.

Se han seleccionado estos Indicadores pues se consideran que son los que más se acoplan a este tipo de redes. Las mediciones de los Indicadores de Calidad deben ser obtenidas en las horas de mayor tráfico y dos horas después. Si el valor del indicador se encuentra dentro del rango definido significa que estamos cumpliendo con el criterio de Calidad que se ha definido y que todo se encuentra según lo previsto.

3.2. Entorno de la Simulación (Escenarios)

Para desarrollar los ensayos se utilizó el simulador NS-2 (Network Simulator), que es un software para simular redes cableadas e inalámbricas como las redes Ad hoc, esta herramienta ya tiene incorporados los protocolos de enrutamiento Ad hoc, como son AODV, DSDV, DSR; que son los que se necesita para este proyecto, además es un software de libre distribución lo que lo hace el más utilizado para simular este tipo de redes.

El protocolo CEDAR es un protocolo de enrutamiento híbrido que mantiene tablas con información local a los nodos núcleo como en los protocolos

proactivos y el descubrimiento de ruta es por demanda como en los protocolos reactivos, debido a que pertenece a otra clasificación no se lo aplicara en este proyecto, en el modelo INSIGNIA agrega Calidad de Servicio de manera que los nodos especifiquen el ancho de banda que necesitan y FQMM permite asignar los recursos a los nodos móviles para que se puedan adaptar al tráfico de la red, estos modelos no se los aplicara en el presente trabajo porque no se encuentran dentro de la clasificación de los protocolos de enrutamiento que se han tomado para este proyecto.

Se han realizado tres escenarios diferentes, en el primero tenemos 10 nodos, en el segundo 15 nodos, y en el tercero 20 nodos, estos escenarios se los realizó utilizando un script en TCL que es el lenguaje que utiliza el NS2, como ejemplo a continuación se presentan las primeras variables definidas en el primer escenario:

Definición de las variables

```
set val (chan)      Channel/WirelessChannel    ;# tipo de canal
set val (prop)      Propagation/TwoRayGround  ;# modelo de la propagación de radio
set val (netif)     Phy/WirelessPhy          ;# tipo de la interfaz de red
set val (mac)       Mac/802_11                ;# tipo MAC
set val (ifq)       Queue/DropTail/PriQueue   ;# tipo de interface queue
set val (ll)        LL                        ;# tipo de capa de enlace
set val (ant)       Antenna/OmniAntenna      ;# modelo de antena
set val (ifqlen)    50                        ;# Max paquete en ifq
set val (nn)        10                        ;# numero de nodos móviles
set val (rp)        DSDV                      ;# protocolo de enrutamiento
set val (x)         700                       ;# X dimensión de la topografía
set val (y)         700                       ;# Y dimensión de la topografía
set val (stop)      40                        ;# tiempo de fin de la simulación
```

Para el primer escenario se utilizó un total de 10 nodos y la simulación es ejecutada dentro de un lapso de tiempo de 40 seg., para todos los protocolos, esto se realiza con el objetivo de poder realizar una comparación entre ellos. En el script que se utiliza para esta simulación se ha programado para que dos nodos se comuniquen utilizando el protocolo de transporte TCP, el tráfico utilizado es transferencia de archivos (FTP). Se ha definido el canal como inalámbrico, el modelo de colas utilizado es el DropTail que corresponde a una cola simple FIFO en donde se suprimen los paquetes que sobrepasan el tamaño del buffer de la cola, el tamaño de la cola se ha limitado hasta 50 paquetes en la variable "ifqlen" para todos los protocolos, con la finalidad de que no exista dificultad con el análisis de los resultados, asimismo dentro de DropTail se ha definido la clase PriQueue que da prioridad a los paquetes que están siendo enviados por los protocolos de enrutamiento. Los protocolos de enrutamiento utilizados son AODV, DSR, y DSDV. El tipo de antena es omnidireccional. Los escenarios tienen una dimensión de 700 x 700 m.

Se establecen tres archivos en donde se va a guardar el resultado de la simulación así tenemos:

```
set tracefd [open traza4.tr w]
```

```
set windowVsTime2 [open win.tr w]
```

```
set namtrace [open dsdv.nam w]
```

- **Traza4.tr:** en éste archivo tipo texto en donde se guarda los datos que se obtienen de la simulación, a este archivo se lo conoce con el nombre de traza.
- **Dsdv.nam:** cuando se ejecuta este archivo se puede ver la simulación realizada.

Se realiza la configuración de los nodos, asignando a cada uno los datos necesarios para su funcionamiento.

```
# configuracion de los nodos
```

```
$ns node-config -AdhocRouting $val(rp) \  
                -llType $val(ll) \  
                -macType $val(mac) \  
                -
```

```
-ifqType $val(ifq) \  
-ifqLen $val(ifqlen) \  
-antType $val(ant) \  
-propType $val(prop) \  
-phyType $val(netif) \  
-channelType $val(chan) \  
-topoInstance $topo \  
-agentTrace ON \  
-routerTrace ON \  
-macTrace OFF \  
-movementTrace ON
```

```
for {set i 0} {$i < $val(nn)} {incr i} {  
    set node_($i) [$ns node]}
```

El escenario creado es como se muestra en la figura 3.1., este escenario es el resultado de la configuración realizada en el script.

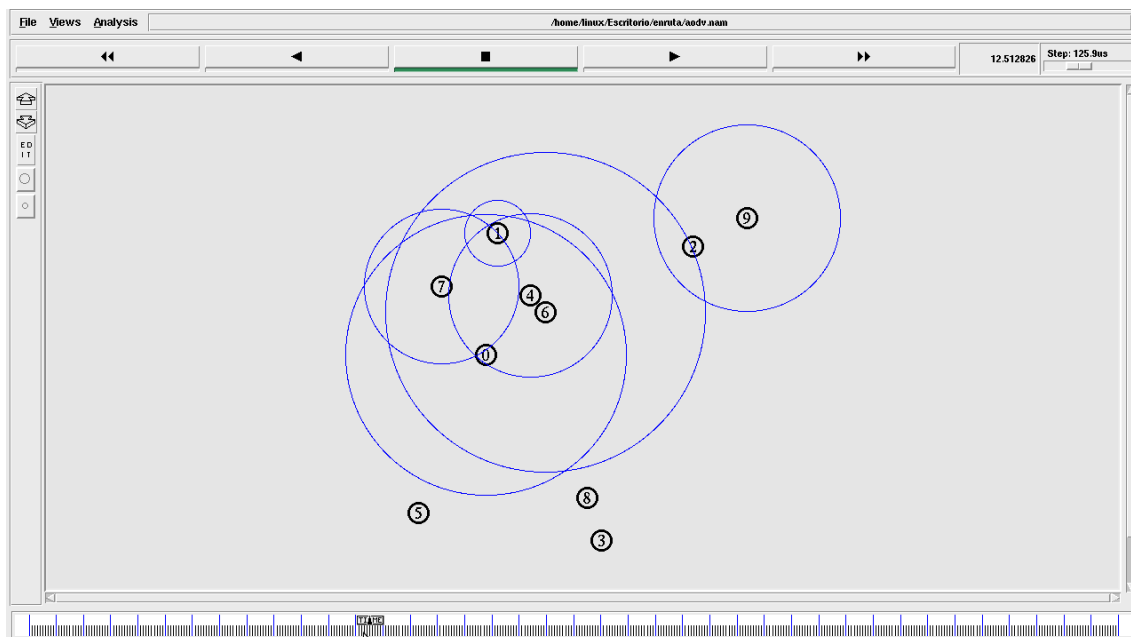


Figura 3.1. Escenario 1 (10 nodos)

Por ser una red móvil la comunicación entre estos nodos se realiza a través de nodos intermedios, y en otros momentos la comunicación no se podrá realizar debido a la distancia en la que se encuentra el nodo origen del destino, lo que no le permitirá encontrar una ruta hacia él.

En la figura 3.1 podemos observar los 10 nodos reconociendo a los nodos vecinos al inicio de la simulación. Los nodos principales son los nodos 2 y 5 que son los nodos que estarán en comunicación durante la simulación.

Los nodos se empiezan a mover en orden, es decir primero se mueve el nodo 0, el nodo 1, el nodo 2, etc., los nodos 2 y 5 cuando encuentran una ruta empiezan el intercambio de los datos en el segundo 30 con el protocolo AODV y en el segundo 21 con el protocolo DSR a través de los nodos 1, 6 y 4 ya que estos nodos durante su recorrido se colocan en una posición cerca de los nodos principales, estos nodos vienen a ser los nodos intermedios durante la comunicación. Además se ha definido para la simulación que los nodos origen y destino establezcan comunicación en el primer segundo, en el cual el nodo 2 empieza a enviar paquetes FTP al nodo 5.

Al igual que en el escenario anterior, para los escenarios con el número de 15 y 20 nodos respectivamente se han definido las mismas variables, con los mismos valores, el cambio se realizó en la variable (ifqlen) a la que se le asignaron los 15 y 20 nodos, el tiempo de ejecución para el escenario con los 15 nodos es de 50 seg., y para los 20 nodos se determino un tiempo de 60 seg.

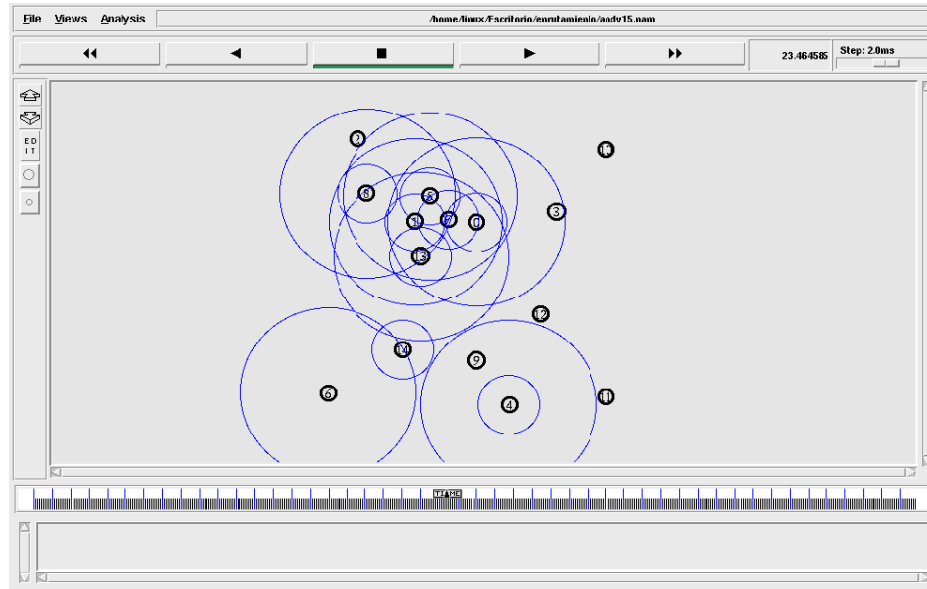


Figura 3. 2 Escenario 2 (15 nodos)

Como muestra la figura 3.2., el escenario de esta red Ad hoc consta de 15 nodos, los nodos entre los cuales se va a realizar la comunicación son el nodo 2 y el nodo 11, así mismo se han hecho pruebas con los tres protocolos AODV, DSR, y DSDV, los resultados serán presentados más adelante.

Como muestra el escenario los nodos cada vez que pierden comunicación realizan un reconocimiento de la red y de los nodos vecinos, para poder seguir enviando los datos hacia el nodo que realiza la solicitud de envío de información.

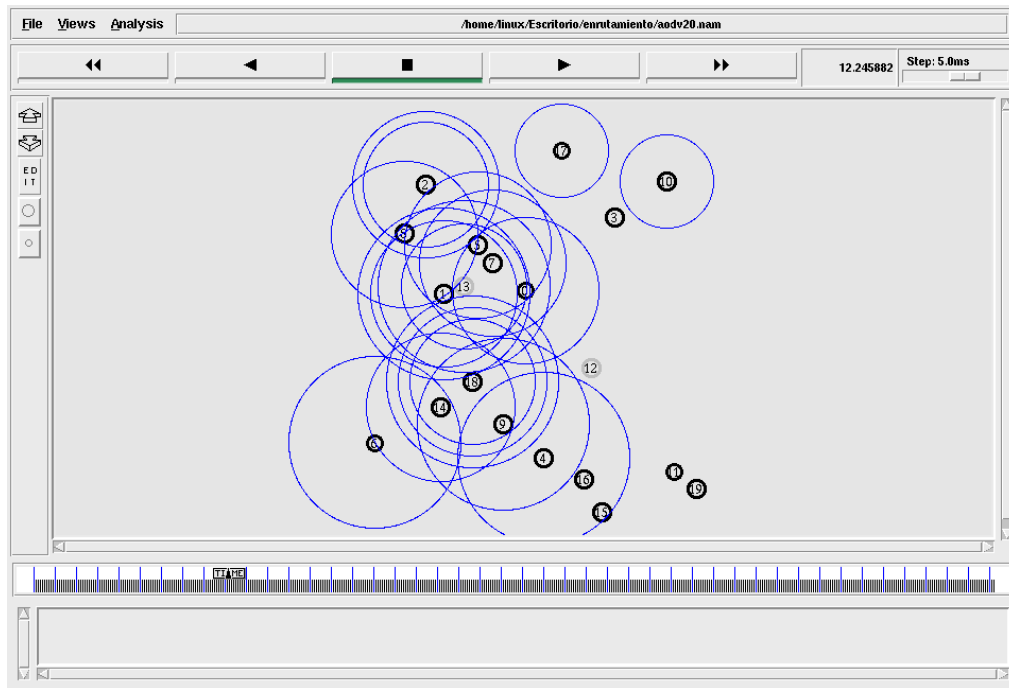


Figura 3.3. Escenario 3. (20 nodos)

Como muestra en la figura 3.3., el escenario consta de 20 nodos, en este escenario los nodos entre los cuales se va a realizar la transmisión de los datos son el nodo 2 y el nodo 16, al igual que en los escenarios anteriores se aplicaron los tres protocolos AODV, DSR, y DSDV. La comunicación entre los nodos origen y destino se realiza al primer segundo de iniciada la simulación, en ese tiempo se empiezan a enviar los diferentes paquetes entre el nodo origen y nodo destino.

3.2 Obtención de Información

Al ejecutar el archivo .nam se obtiene un archivo de trazo con la extensión .tr, que contiene los datos devueltos por la simulación, de este archivo se puede extraer la información para generar los resultados siguientes con todos los protocolos.

Como ejemplo de una línea de salida de trazo tenemos la siguiente:

```
r 8.375208707 _8_ AGT --- 2997 cbr 210 [a2 1 4 800] ----- 0 [0.6.0.01.0.2.3 27
4194306] [2946] 1 0
```

- El primer campo puede contener los valores de r (recibido), s (enviado), f (reenviado), y D (descartado).
- El segundo campo es el tiempo en segundos.
- El tercer campo es el número de nodo.
- El cuarto campo es MAC lo que indica que el paquete corresponde a la capa MAC, y AGT indica que el paquete corresponde a la capa de transporte.
- Después de algunos guiones se observa el número de secuencia global del paquete (este no es el número de secuencia de TCP).
- El siguiente campo contiene información del tipo de paquete; ejemplo, tcp, udp, cbr, ack, etc.
- El siguiente campo es el tamaño del paquete en bytes.
- Los cuatro números en el corchete contiene información de la capa mac. El primer número hexa-decimal (a2) especifica el tiempo esperado en segundos para enviar este paquete de datos sobre el canal inalámbrico. El segundo número (1) indica la identidad mac del nodo que envió y el tercer número (4) indica la identidad del nodo que recibe. El cuarto número (800) especifica que el tipo mac es del tipo ETHERTYPE_IP.
- El siguiente número en corchetes contiene las direcciones IP de fuente y destino y el tiempo de vida "TTL" (*Time To Live*) del paquete.
- El tercer corchete contiene información referente al número de secuencia del paquete TCP.

CAPITULO IV

SIMULACION Y RESULTADOS

4 SIMULACION Y RESULTADOS

4.1 Obtención de Resultados en los tres Escenarios.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas con los protocolos DSR, AODV y DSDV en los distintos escenarios:

4.1.1 Escenario I: Calidad de Servicio con 10 nodos.

- **Paquetes Perdidos:** en las Tablas 4.1 y 4.2 se muestra los resultados obtenidos de los paquetes perdidos entre los tres protocolos AODV, DSR, DSDV.

Tabla 4.1. Paquetes perdidos de los protocolos DSR, AODV, DSDV.

Nodo origen (2) Nodo destino (5)	DSR	AODV	DSDV
Paquetes generados	699	412	168
Paquetes enviados	699	412	167
Paquetes perdidos	10	12	1
Paquetes recibidos	689	400	192

Tabla 4.2. Paquetes perdidos de los protocolos DSR, AODV, DSDV

Nodo origen (5) Nodo destino (2)	DSR	AODV	DSDV
Paquetes generados	690	401	180
Paquetes enviados	690	401	176
Paquetes perdidos	13	8	4
Paquetes recibidos	677	393	167

Como observamos en la Tabla 4.1, y en la Tabla 4.2 la mayoría de los paquetes han sido transmitidos en todos los protocolos. Todos los paquetes generados por DSR han sido enviados, los paquetes perdidos son menos cuando el nodo origen envía los paquetes al destino. Con el protocolo AODV, los paquetes generados por el origen han sido enviados, los paquetes perdidos durante la comunicación es menor cuando el nodo destino está respondiendo al nodo origen, el hecho que AODV inyecte menos paquetes se debe a que cuando se rompe un enlace, recibe un RERR y baja la tasa de envío hasta que no descubre una nueva ruta que sea válida. Así mismo todos los paquetes generados por DSDV han sido enviados, la diferencia radica que en los paquetes recibidos por los dos nodos es mayor debido a que reciben varios mensajes de control de los nodos vecinos que son tomados en cuenta para el conteo de los paquetes.

- **Retardo:** En la Tabla 4.3 se presentan los datos obtenidos en los tres protocolos:

Tabla 4.3. Retardo de los protocolos DSR, AODV, DSDV.

	DSR	AODV	DSDV
Retardo Mínimo (seg.) Origen (2) Destino (5)	0.19671577	0.004172531	0.00437253
Retardo Máximo (seg.) Origen (5) Destino (2)	0.01702281	0.02771811	0.31811298
Retardo Medio	0.2712578158	0.2113661915	0.13656665

Como se presenta en la Tabla 4.3 el retardo obtenido con el protocolo DSR oscila entre los 0.017 a 0.196 seg. Se puede observar que el retardo es mayor cuando el nodo origen empieza a enviar. Como el nodo 2 es el primero en transmitir, debe encontrar primero una ruta que llegue al destino, así consulta su memoria caché para encontrar la ruta si no la encuentra entonces empezará

el descubrimiento de la misma, y esto le toma tiempo al nodo, al contrario el nodo destino envía rápidamente la respuesta pues ya conoce la ruta para llegar al origen.

El retardo con el protocolo AODV a diferencia del protocolo anterior es mucho menor cuando el nodo origen envía como se muestra en la Tabla 4.3, esto se debe a que este protocolo no mantiene rutas que no utiliza, lo que lo hace más eficiente a la hora de enviar paquetes pues solo mantiene rutas con los nodos con los que desea comunicarse, lo que permite que no se congestione la red.

En DSDV el retardo que se presenta es menor cuando el destino está respondiendo al origen, al contrario cuando el origen está enviando es mayor en comparación con el retardo de los otros protocolos, el retardo medio que se observar es menor que AODV y DSR gracias a sus números de secuencia que le permiten encontrar al destino rápidamente, los cuales siempre se están actualizando.

- **Canal Eficaz:** En la Tabla 4.4 se presenta los datos obtenidos con los tres protocolos con respecto al canal eficaz.

Tabla 4.4. Canal eficaz de los tres protocolos DSR, AODV, DSDV.

	DSR	AODV	DSDV
Nodo Origen (2)	50 -85 paquetes por seg.	35-45 paquetes por seg.	2-5 paquetes por seg.
Nodo Destino (5)	50-85 paquetes por seg.	35-45 paquetes por seg.	2-5 paquetes por seg.

El Canal Eficaz como muestra la Tabla 4.4 en DSR a los 22seg., de simulación aproximadamente empieza el nodo origen a recibir la mayor cantidad de datos, es a partir de este tiempo que se logra establecer

comunicación con el destino; la cantidad de datos recibidos se encuentra alrededor de 50 y 85 paquetes por segundo, durante el resto de la simulación.

El protocolo AODV empieza a recibir datos a los 30seg., lo que indica que para establecer comunicación se toma más tiempo que DSR ya sea de forma directa o indirecta, es decir directamente entre origen y destino, o a través de nodos intermedios, los datos recibidos se encuentran entre 35 y 45 paquetes por segundo.

DSDV establece conexión al segundo 24, el nodo origen solo recibe entre uno y dos paquetes en los primeros segundos de simulación, pero a partir de los 25seg., empieza a haber un incremento en la recepción de paquetes por el nodo origen hasta los 30 seg., a partir del cual se presenta un decremento en el envío de paquetes, a partir de los 37seg., se vuelve a enviar paquetes hasta las 43seg., se incrementó el tiempo para este protocolo debido a que durante los 40 segundos no llega a realizar una conexión estable lo que significa que no alcanza a enviar toda la información durante todo el tiempo de simulación, esto puede deberse a que mientras descubre rutas actualizadas se encuentra enviando muchos mensajes de control lo que congestiona la red, y no le permite utilizar todo el ancho de banda para enviar la información necesaria entre los nodos en comunicación.

- **Indicadores**

Dentro de los Indicadores o parámetros dados por la ITU-T se tiene que la clase de QoS de nuestra red Ad hoc en los tres escenarios pertenece a la clase 4 que es transferencia de archivos, a continuación se presenta los resultados en el primer escenario:

Tabla 4.5. Indicadores para DSR, AODV, DSDV

Clase QoS (4)	DSR	AODV	DSDV
IPTD (1s)	0.01702281	8.02771811	0.31811298
IPDV (U)	0.271257815	0.2113661915	0.13656665
IPLR (1×10^{-3})	21.43%	2.91%	2.22%

Como se muestra en la Tabla 4.5 los Indicadores nos presentan el nivel de Calidad que presentan los tres protocolos según los Indicadores dados por la ITU-T, en el primer parámetro IPTD encontramos que en AODV el retardo que presenta es mayor a 1 seg por lo que no cumple con la primera condición de Calidad, DSR presenta el menor retardo de los tres protocolos en el primer escenario, con el segundo parámetro IPDV el tiempo esperado de llegada del paquete no está especificado de modo que se puede concluir que los tres protocolos se encuentran dentro del rango del parámetro, con IPLR que es la tasa de pérdida de paquetes podemos observar que DSR es el que presenta mayor porcentaje de pérdida de paquetes, así mismo ningún protocolo se encuentra dentro del rango especificado por la ITU-T.

4.1.2 Escenario II: Calidad de Servicio con 15 nodos.

- **Paquetes Perdidos:** en las Tablas 4.6 y 4.7 se presenta los resultados obtenidos en la simulación del segundo escenario.

Tabla 4.6. Paquetes perdidos de los protocolos DSR, AODV, DSDV.

Nodo origen (2)	DSR	AODV	DSDV
Nodo destino (11)			
Paquetes generados	2659	1445	16
Paquetes enviados	2657	1359	11

Paquetes perdidos	2	86	5
Paquetes recibidos	5271	1502	44

Tabla 4.7. Paquetes perdidos de los protocolos DSR, AODV, DSDV.

Nodo origen (11)	DSR	AODV	DSDV
Nodo destino (2)			
Paquetes generados	2567	1449	12
Paquetes enviados	2637	1396	11
Paquetes perdidos	20	53	1
Paquetes recibidos	5309	1414	44

Como observamos en las Tablas 4.6 y 4.7 los paquetes perdidos durante la transmisión de los datos han sido muy pocos, el protocolo AODV durante el envío de datos ha perdido más paquetes que DSR y DSDV, esto se debe a que AODV cuando un nodo se mueve la topología de la red cambia por lo que debe reiniciar la búsqueda del camino hacia el destino, si existen paquetes enviándose serán desechados para enviar mensajes RERR como aviso a los demás nodos para que deshabiliten las rutas hacia el nodo que se ha movido y se encuentra inaccesible hasta que las rutas se actualicen. Con el protocolo DSR los paquetes perdidos son mayor cuando el nodo destino está respondiendo, en cambio con AODV la pérdida de paquetes es mayor cuando el nodo origen está enviando los datos, los paquetes recibidos en los tres protocolos tienen un valor mayor debido a que no solo reciben los datos del origen sino también la información de los nodos vecinos, que envían información sobre el cambio en la topología de la red lo que congestiona la misma.

- **Retardo:** En la Tabla 4.8 se muestra el retardo que presentan los tres protocolos en el segundo escenario.

Tabla 4.8. Retardo de los protocolos DSR, AODV, DSDV.

	DSR	AODV	DSDV
Retardo Mínimo (seg.) Origen (11) Destino (2)	0.001986219	0.002006236	0.003129273
Retardo Máximo (seg.) Origen (2) Destino (11)	0.716036153	1.028478645	0.5049643875
Retardo Medio	0.1786674329	0.21994868246	0.2142010385

En la Tabla 4.8 podemos ver que el retardo en DSR es menor que AODV y DSDV esto se debe a que cuando el protocolo DSR se inicia, intercambia rápidamente mensajes con el resto de los nodos de la red para conocer la topología de la red, en caso contrario AODV necesita descubrir primero donde están, en cambio mantiene una tabla de enrutamiento actualizada lo que le permite consultar rápidamente las rutas actuales y enviar los datos.

- **Canal Eficaz:** En la Tabla 4.9 se enseña los datos obtenidos con los tres protocolos.

Tabla 4.9. Canal eficaz de los tres protocolos DSR, AODV, DSDV.

	DSR	AODV	DSDV
Nodo Origen (2)	55-165 paquetes por seg.	15-81 paquetes por seg.	0-5 paquetes por seg.
Nodo Destino (11)	55-165 paquetes por seg.	15-81 paquetes por seg.	0-5 paquetes por seg.

El canal eficaz como muestra la Tabla 4.9 el protocolo DSR logra enviar de 55 a 165 paquetes por segundo debido a que tiene las rutas almacenadas en su caché la cual consulta para enviar los paquetes al destino, ya que es el origen quien lo establece, el destino no necesita buscar la ruta pues transmite los paquetes por el mismo camino por donde llegaron. AODV envía menos paquetes debido a que debe enviar mensajes de reconocimiento de rutas lo que congestiona la red y debe esperar a que el canal esté disponible después de que ha encontrado la ruta hacia el destino. El protocolo DSDV envía muy pocos paquetes debido que los nodos requieren enviar muchos mensajes para mantener su tabla de enrutamiento actualizada lo que no le permite enviar suficiente información pues la red siempre esta congestionada con mensajes de control.

- **Indicadores**

Tabla 4.10. Indicadores para DSR, AODV, DSDV

Clase QoS (4)	DSR	AODV	DSDV
IPTD (1s)	0.716036153	1.028478645	0.5049643875
IPDV (U)	0.1786674329	0.21994868246	0.2142010385
IPLR (1×10^{-3})	0.0752%	6.328%	45.45%

En la Tabla 4.10 se observa los datos para los Indicadores dados por la ITU-T en el segundo escenario, en este caso con el primer indicador IPTD los protocolos DSR y DSDV presentan un menor retardo con respecto a AODV, con el segundo parámetro IPDV los tres protocolos se mantienen dentro del rango pues este no está especificado, con IPLR solo DSR se mantiene cerca del rango especificado para este indicador a diferencia de los otros dos protocolos.

4.1.3 Escenario III. Calidad de Servicio con 20 nodos.

- **Paquetes Perdidos:** en las Tablas 4.11 y 4.12 se presenta los resultados obtenidos en la simulación con el tercer escenario.

Tabla 4.11. Paquetes perdidos de los protocolos DSR, AODV, DSDV.

Nodo origen (2) Nodo destino (16)	DSR	AODV	DSDV
Paquetes generados	4790	1651	16
Paquetes enviados	4784	1597	12
Paquetes perdidos	6	54	4
Paquetes recibidos	9579	1642	63

Tabla 4.12. Paquetes perdidos de los protocolos DSR, AODV, DSDV.

Nodo origen (16) Nodo destino (2)	DSR	AODV	DSDV
Paquetes generados	4803	1634	13
Paquetes enviados	4791	1553	13
Paquetes perdidos	12	81	0
Paquetes recibidos	9565	1875	105

En las Tablas 4,11 y 4.12 se observa que el número de paquetes ha incrementado en los tres protocolos, así mismo como en los escenarios anteriores el protocolo AODV pierde más paquetes que los otros dos protocolos, el protocolo DSR en el primer escenario pierde más paquetes cuando el destino está enviando al origen pero a medida que el número de nodos incrementa la perdida de paquetes disminuye en cambio en AODV aumenta debido a que debe calcular más rutas.

En DSDV la pérdida de paquetes es cero debido a que la tabla de enrutamiento siempre esta actualizada por lo tanto siempre llegan los datos a su destino pero en un número menor con relación a los otros dos protocolos. En los paquetes recibidos en los tres protocolos constan todos los paquetes enviados por todos los nodos durante la simulación.

- **Retardo:** En la Tabla 4.13. se muestra el retardo que presentan los tres protocolos en el segundo escenario.

Tabla 4.13. Retardo de los protocolos DSR, AODV, DSDV.

	DSR	AODV	DSDV
Retardo Mínimo (seg.) Origen (16) Destino (2)	0.0019848	0.004572596	0.007301804
Retardo Máximo (seg.) Origen (2) Destino (16)	0.24500997	1.178737853	0.007301804
Retardo Medio	0.122810995	0.240859946	0.007301804

Como se indica en la Tabla 4.13 el retardo es mayor en DSDV debido a que existe más nodos en la red, y la topología cambia rápidamente por esto debe enviar más mensajes de control para actualizar su tabla de enrutamiento lo que disminuye su velocidad de respuesta cuando el nodo origen y el nodo destino envían mensajes, lo mismo sucede con AODV el retardo sigue aumentando cuando el número de nodos aumenta, en cambio en DSR el retardo va disminuyendo cuando existen más nodos en la red, esto se debe a que no usa mensajes periódicos lo que disminuye la sobrecarga en la red y mantiene varios caminos hacia el destino, lo que lo vuelve más eficiente a la hora de encontrar rutas disponibles al destino.

- **Canal Eficaz:** En la Tabla 4.14 se enseña los datos obtenidos con los tres protocolos con respecto.

Tabla 4.14. Canal eficaz de los tres protocolos DSR, AODV, DSDV.

	DSR	AODV	DSDV
Nodo Origen (2)	155-165 paquetes por seg.	20-60 paquetes por seg.	0-5 paquetes por seg.
Nodo Destino (16)	155-165 paquetes por seg.	20-60 paquetes por seg.	0-5 paquetes por seg.

En la Tabla 4.14 se muestran los valores del canal eficaz para cada protocolo, podemos observar que DSR envía mas paquetes por segundo que AODV y DSDV, como DSR descubre la rutas más rápidamente entonces puede enviar más datos ya que el canal no se congestiona. En AODV ha disminuido el número de paquetes enviados pues tarda más en encontrar una ruta hacia el destino, en DSDV al igual que en los escenarios anteriores el número de paquetes enviados por segundo no ha cambiado, así mismo se debe a que envía más paquetes a la red para poder actualizar su Tabla de enrutamiento lo que congestiona la red.

- **Indicadores**

Tabla 4.15 Indicadores para DSR, AODV, DSDV.

Clase QoS (4)	DSR	AODV	DSDV
IPTD (1s)	0.24500997	1.178737853	0.007301804
IPDV (U)	0.122810995	0.240859946	0.007301804
IPLR (1x10 ⁻³)	0.125%	3.3813%	33.3%

En la Tabla 4.15 se presentan los Indicadores para DSR, AODV, DSDV en el tercer escenario, con el primer indicador IPTD tenemos que DSR y DSDV son

los que se encuentran dentro del rango permitido de 1 seg, en el segundo indicador IPDV como no se encuentra especificado podemos hacer constar que los tres protocolos se encuentran dentro de los límites permitidos para este indicador, con IPLR el menor porcentaje lo presenta DSR aunque no cumple con el valor del indicador para la Calidad de funcionamiento.

4.2 Comparación de los resultados obtenidos con los protocolos AODV, DSR y DSDV

La Calidad de Servicio es muy importante en las aplicaciones de tiempo real sobre las redes inalámbricas móviles, porque estas aplicaciones son las más usadas por el usuario final, como video, voz, transmisión de datos, etc., para brindar Calidad de Servicio acorde a estos eventos se necesita que el protocolo de enrutamiento esté orientado a ella, así tenemos que actualmente se requiere modificar los protocolos de enrutamiento para las redes Ad hoc para poder agregar QoS a los mismos, pues actualmente ninguno de ellos posee una Calidad de Servicio total, es decir que no tienen completamente implementado esta característica en su funcionamiento.

Por esta razón se realizó diferentes simulaciones con los protocolos de enrutamiento de las redes Ad hoc propuestos para realizar este trabajo como son los protocolos proactivos y reactivos, para verificar que tan efectivo es su trabajo en el supuesto caso que se necesite implementar estos protocolos en la vida real, como observamos en los resultados obtenidos los protocolos de enrutamiento tanto reactivos como proactivos presentan una Calidad de Servicio promedio con respecto a la Calidad de Servicio presentada por los protocolos para redes cableadas, el problema radica en la movilidad de los nodos pues esto provoca que cambie la topología de la red y las rutas para llegar al destino, lo que induce a una congestión de la red por intercambio de paquetes entre los nodos para actualizar la tabla de rutas para poder encontrar el camino más corto hacia su destino.

La Calidad de Servicio es una condición que no debe faltar cuando se ofrece un Servicio, en lo que respecta a los protocolos de las redes Ad hoc aún existe mucho camino por recorrer en este campo para lograr implementar esta característica en su trabajo de enrutamiento. Esta implementación requiere de mucha exploración por lo que se trata de una nueva rama de las redes inalámbricas, y es una gran área para realizar trabajos de investigación que permitan a los protocolos de enrutamiento de las redes Ad hoc presentar Calidad de Servicio en el descubrimiento de rutas.

4.3 Comparación de protocolos

A continuación se presenta una comparación entre los protocolos de las redes Ad hoc que se tomaron para el presente trabajo en los diferentes escenarios.

4.3.1 Escenario I:

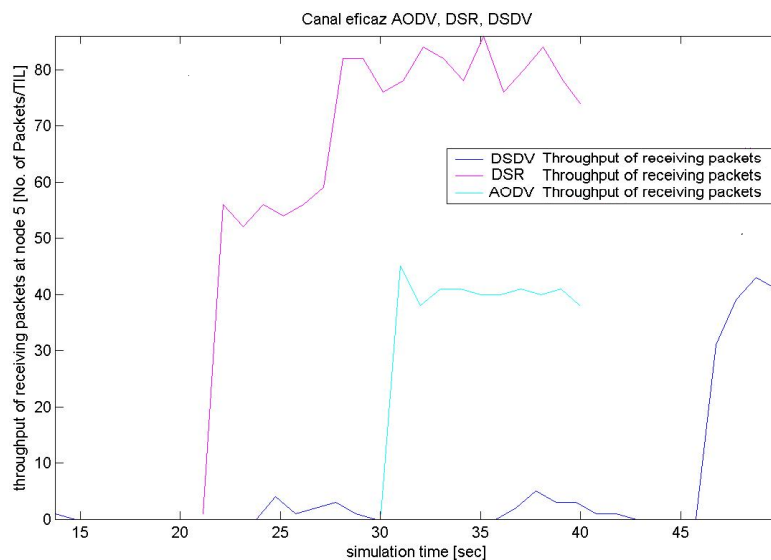


Figura 4.1 Canal Eficaz de AODV, DSR, DSDV.

- Como se muestra en la Figura 4.1, se observa la gráfica del Canal Eficaz de AODV, DSR y DSDV; así tenemos que al empezar la simulación el nodo destino empieza a recibir datos a los 22 segundos con el protocolo DSR, el nodo recibe el máximo de paquetes en el segundo 35 y empieza a recibir menos paquetes en el segundo 39 antes de terminar la simulación, la entrega de paquetes empieza cuando el nodo que envía encuentra una

ruta hacia el destino, pero debido a que los nodos se encuentran en movimiento los paquetes que se envían se empiezan a perder, pero al encontrar de nuevo otra ruta empieza a llegar nuevamente los paquetes al destino como se observa en el segundo 27, y así sucesivamente; mientras que con el protocolo AODV los paquetes se empiezan a recibir a los 30 segundos debido a que se demora en aprender las rutas de su red; llega a su punto máximo en el segundo 38, se puede observar en la gráfica que cuando encuentra un ruta estable empieza el nodo origen a recibir sin que se pierda mucha información hasta que termina la simulación lo que no sucede con DSR.

- DSDV presenta un bajo desempeño, pues solo alcanza el nodo origen a enviar un máximo de cerca de 5 paquetes hasta las 40 seg de la simulación, se puede decir que debido a la movilidad de los nodos no puede encontrar una buena ruta que sea estable para hacer conexión entre los nodos en comunicación, puede deberse a que inunda la red con mensajes de control lo que no le permite enviar los paquetes de datos; al segundo 47 llega a enviar un máximo de 40 paquetes; se aumento el tiempo de simulación a 50 seg para este protocolo debido a que con los 40 seg no encontraba rutas para hacer contacto con el nodo destino lo que no le permitía enviar suficientes paquetes al destino, aún así observamos que DSR presenta un mejor desempeño, aunque se demora en encontrar un ruta, envía gran cantidad de paquetes a su destino.
- DSR no necesita realizar cambios periódicos de mensajes "Hello" entre vecinos para comprobar la conectividad, lo que permite a los nodos entrar en un estado de "sleep" para conservar su energía y el ancho de banda.
- DSR se lo puede utilizar tanto en enlaces unidireccionales como en enlaces bidireccionales.

- AODV posee temporizadores que permiten que las rutas más antiguas que no se han utilizado expiren, en DSR existe esta característica en las últimas versiones.
- Se obtiene mejores resultados con el Canal Eficaz y el retardo en DSDV para redes pequeñas con menor movilidad, en cambio en redes más grandes con mayor movilidad AODV presenta mejor desempeño que DSR debido a que la cabecera en DSR crecerá por la información adicional que los paquetes transportaran en la ruta hacia el destino lo que consumirá mucho ancho de banda.
- Al utilizar encaminamiento basado en el origen aumenta la señalización en la red pero DSR también funciona bien a distintas velocidades de movimiento de los nodos. Aunque AODV se desempeña igual de bien que DSR, debe realizar muchos procedimientos para descubrir rutas a altas movilidades de los nodos y también aumenta la señalización.
- DSDV inunda la red con mensajes de control, de forma que la red se congestiona lo que limita la duración de las baterías.
- Con AODV los nodos solo mantienen rutas hacia nodos activos. DSDV mantiene números de secuencia para cada ruta lo que permite elegir la mejor ruta.
- Aunque no cambie la topología de la red, las rutas que no se utilicen se eliminan en AODV, en cambio DSDV utiliza actualizaciones conducidas por evento para reaccionar ante fallos en los enlaces y así tener rutas siempre actualizadas.

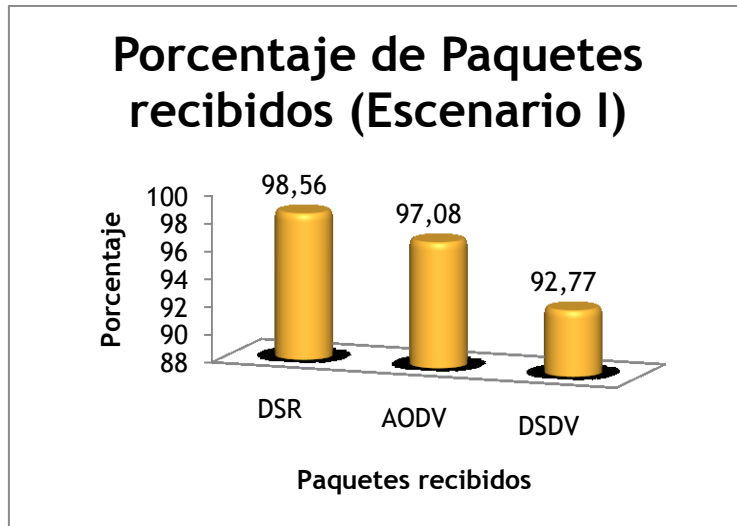


Figura4.2 Porcentaje de paquetes recibidos en los tres protocolos

- En la figura 4.2 se muestra la gráfica del porcentaje de paquetes recibidos por el nodo destino con los tres protocolos, se observa que DSR tiene un porcentaje cerca del 99% de entrega de paquetes por el nodo origen, así mismo AODV presenta un porcentaje de 97.08%, el protocolo DSDV presenta un buen porcentaje en la entrega de paquetes, a pesar de todos los mensajes de control enviados por este protocolo.

4.3.2 Escenario II

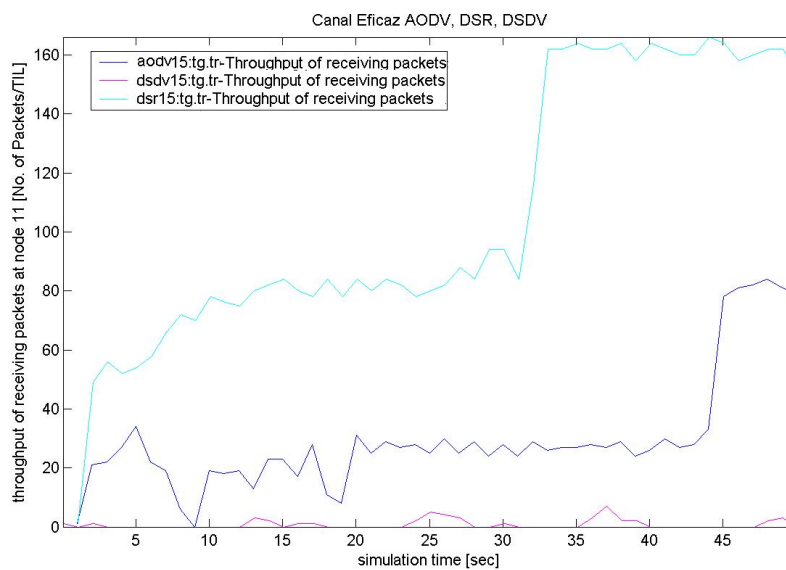


Figura 4.3 Canal Eficaz de AODV, DSR, DSDV.

- En la figura 4.3 se muestra el canal eficaz en los tres protocolos con el segundo escenario. En la primera figura se observa que AODV empieza a enviar datos desde los primeros segundos, a los 5 seg. transmite alrededor de 28 paquetes, pero al mismo tiempo la topología de la red cambia y su tasa de envío de paquetes disminuye hasta que encuentra nuevas rutas, a partir de los 10 seg. empieza a enviar entre 5 y 30 paquetes después de este tiempo se mantiene entre 20 y 30 paquetes hasta los 44 seg. que es cuando la red se estabiliza y empieza a enviar los datos de forma constante hasta que termina la simulación con un total de un máximo de 80 paquetes. En la gráfica 4.3 observamos como DSR empieza a enviar los paquetes desde el inicio de la simulación, hasta los 5 seg. ha transmitido casi 25 paquetes, después de este tiempo DSR empieza a incrementar el número de paquetes enviados al destino, hasta los 35 seg. se ha mantenido entre 25 y 45 paquetes, a partir de este tiempo la red se estabiliza y empieza a enviar más paquetes al destino hasta llegar a un total de 81 paquetes, esto se debe a que DSR encuentra rutas alternas al destino más rápido que AODV. En DSDV en cambio se observa que a partir del inicio de la simulación llega a enviar un solo paquete, y deja de transmitir hasta los 12 seg. que es cuando vuelve a enviar 2 paquetes hasta los 15 seg., vuelve a enviar 2 paquetes más a los 25 seg. y así sucesivamente hasta que termina el tiempo de simulación, DSDV presenta un bajo desempeño, pues solo alcanza el nodo origen a enviar menos de 2 paquetes en el mejor de los casos, se puede decir que debido a la movilidad de los nodos no puede encontrar una buena ruta que sea estable para hacer conexión entre los nodos en comunicación en ningún momento de la simulación, puede deberse a que inunda la red con mensajes de control lo que no le permite enviar los paquetes de datos.
- DSDV se lo puede utilizar en redes que tengan una movilidad media siempre y cuando los nodos mantengan una buena comunicación.

- DSR envía paquetes RREQ por inundación, lo que hace que pueda llegar a todos los nodos de la red. Esto produce que muchos RREP se generen como respuesta lo que resultaría muy costoso.

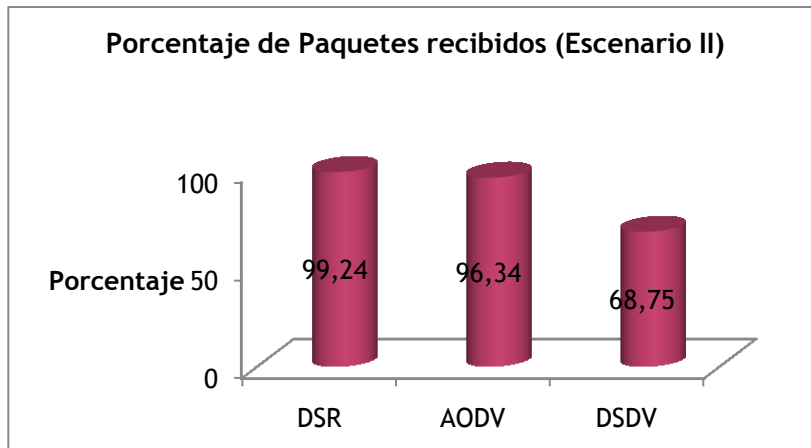


Figura 4.4 Porcentaje de paquetes recibidos en los tres protocolos

- En la figura 4.4 se presenta los datos de los paquetes recibidos por los tres protocolos, podemos observar que al igual que el escenario anterior existe un porcentaje de paquetes recibidos en DSR mayor que AODV y DSDV, es notable que este protocolo tiene un porcentaje de envío y recepción de paquetes considerable, y funciona mejor en redes grandes.

4.3.3 Escenario III

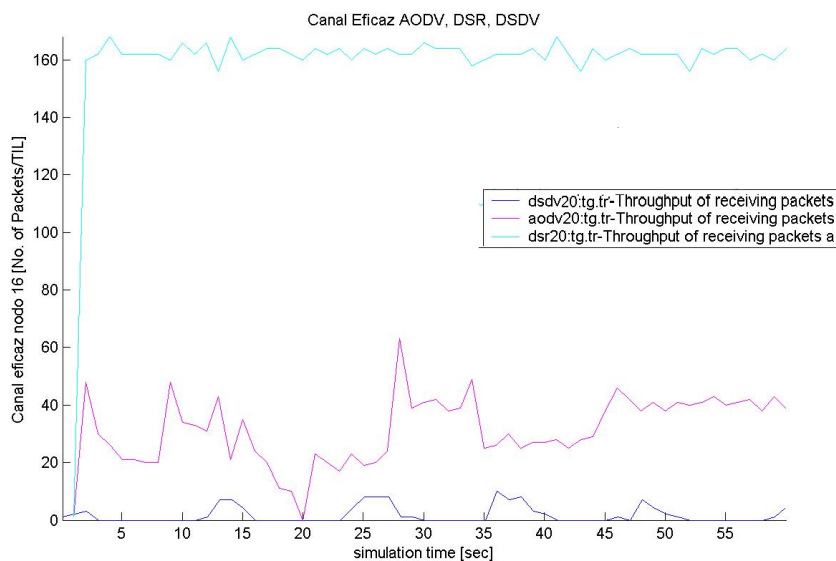


Figura 4.5 Canal Eficaz de AODV, DSR y DSDV.

- En la gráfica 4.5 se presenta el canal eficaz de AODV, DSR, y DSDV en el tercer escenario. En la figura se observa que AODV envía en el primer segundo cerca de 50 paquetes, después empieza a disminuir hasta 20 paquetes esto se debe a que la topología de la red cambia y debe volver a actualizar las rutas hacia los nodos, este envío de paquetes se mantiene constante hasta casi los 10 seg. después vuelve a enviar de nuevo alrededor de 50 paquetes, a los 15 seg. empieza nuevamente a disminuir el envío de paquetes hasta los 20 seg. que es cuando vuelve a enviar nuevamente, a los 27 seg. llega a su punto máximo y transmite cerca de 60 paquetes, después de este tiempo vuelve a bajar la transmisión de los paquetes y se queda constante entre 25 y 25 paquetes por segundo hasta que concluye la simulación. En la gráfica siguiente se observa que DSR en el primer segundo empieza a enviar los paquetes y llega a un total de casi 80 paquetes por segundo, esta transmisión se mantiene constante durante toda la simulación, DSR llega a transmitir entre 79 y 85 paquetes por segundo lo que indica que en redes más grande es mucho más eficiente que AODV y DSDV. En cambio DSDV al igual que en los escenarios anteriores no llega a enviar más de 2 paquetes durante toda la simulación lo que lo hace un protocolo ineficiente tanto para redes pequeñas como para redes más grandes.
- El principal problema de DSDV se presenta en el tiempo que necesita para dirigirse hacia un destino debido a que las rutas solo se pueden volver a utilizar después de cierto tiempo de haber realizado la difusión periódica para actualizar las Tablas de enrutamiento de los nodos, y esto se vuelve inaceptable en una red móvil Ad hoc, donde la topología es dinámica, además las difusiones periódicas agregan gastos indirectos a la red.

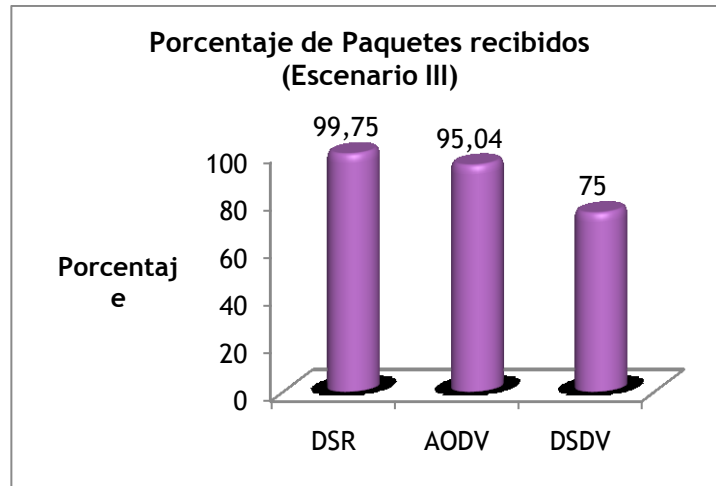


Figura 4.6 Porcentaje de paquetes recibidos en los tres protocolos

- En el gráfico 4.6 tenemos el porcentaje de paquetes recibidos con los tres protocolos en el tercer escenario, podemos observar que el protocolo DSDV tiene un porcentaje superior de recepción de paquetes, pero se debe tomar en cuenta que los datos recibidos no solo son los datos que envía el nodo origen sino también los nodos vecinos cuando se actualiza las rutas de la red. Así mismo DSR sigue teniendo un alto porcentaje de paquetes recibidos.

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

CONCLUSIONES

A continuación se presentan las principales conclusiones obtenidas durante el desarrollo de este proyecto.

- Las diferentes aplicaciones multimedia necesitan que la red deba ofrecer Calidad de Servicio (QoS) al usuario. Como se sabe en las redes fijas este problema está prácticamente resuelto, pero las características específicas que presentan las redes Ad hoc hacen necesario que se realicen más estudios para poder agregar Calidad de Servicio a este tipo de redes, principalmente por la topología dinámica y los escasos recursos que presentan los nodos como: limitado ancho de banda, energía, entre otros, hacen que la provisión de QoS sea lo más ligera posible en la carga de procesamiento (CPU), así como en los recursos de red.
- Después de realizar el presente trabajo de investigación y simulación, hemos obtenido un análisis del rendimiento de los protocolos aplicados a los escenarios respecto a tres métricas como son: pérdida de paquetes, retardo, y Canal Efectivo. Entre los protocolos analizados el que presenta una pérdida de paquetes menor es DSR, el protocolo DSDV debido a que no existe una buena comunicación entre los nodos no presenta un buen desempeño en la entrega de paquetes.
- En el primer escenario se observa que solo DSR cumple con el primer parámetro de Calidad dado por la ITU-T, esto puede deberse a la topología de la red y la manera en que se ubican los nodos durante la simulación, con el segundo parámetro los tres protocolos no presentan diferencia pues este indicador no está especificado, con respecto al tercer indicador ninguno de los tres cumple con el rango dado, esto puede deberse a la movilidad de los nodos lo que resulta difícil para encontrar una ruta estable hacia el destino.

- Además en el segundo escenario el protocolo que cumple con los tres Indicadores es DSR, pues es el que se acerca más al rango especificado para los Indicadores dados por la ITU-T para la Calidad de funcionamiento de una red.
- En el tercer escenario el protocolo que más se acerca a los Indicadores dados por la ITU-T es DSR esto se debe a que este protocolo funciona mejor en redes grandes.
- El retardo mínimo es menor en DSR, lo que indica hasta el momento que después de analizar la pérdida de paquetes y el retardo el protocolo DSR es el que presenta mayor Calidad en su enrutamiento cuando la red es mayor, pues la tasa de paquetes perdidos al destino es menor que AODV y DSDV, y el retardo que presenta en la comunicación del origen con el destino en su punto máximo y mínimo sigue siendo menor en AODV, en redes de menor número de nodos AODV presenta un mejor desempeño en las tres métricas.
- Así mismo observamos en las gráficas 4.1, 4.3, y 4.5 que DSR presenta un mejor Canal Eficaz y un mayor porcentaje de entrega de los paquetes por lo que se puede concluir que el protocolo DSR presenta una Calidad de Servicio que puede satisfacer a los clientes que utilicen aplicaciones en tiempo real para este tipo de redes.
- Actualmente existen diferentes propuestas de Calidad de Servicio que han surgido del propio grupo de IETF, sin embargo ninguna presenta características especiales con respecto a los demás; por lo que tenemos que los protocolos reactivos son una gran alternativa para implementar en las redes Ad hoc, debido al ahorro que realizan de los recursos de la red. En el presente trabajo de investigación los protocolos AODV y DSR han presentado mejores características en las tres métricas analizadas lo que permite concluir que tienen mejor Calidad de Servicio en el

enrutamiento, por lo que resultan ser unos protocolos con los cuales se puede trabajar mucho mejor en este tipo de redes.

CONCLUSIÓN GENERAL

- Para poder realizar estas simulaciones ha sido necesario realizar un estudio de las redes Ad hoc y de cada protocolo: DSR, AODV, y DSDV. Las redes Ad hoc son redes que se forman por el conjunto de nodos móviles a través de medios inalámbricos, no necesita de infraestructura y tampoco necesita de gestión, para realizar la comunicación los nodos funcionan como enrutadores ya que no necesita de Administración, los nodos deciden las rutas por donde enviaran los datos. Estas redes tienen sus propios protocolos de enrutamiento que se adaptan a sus necesidades como topología dinámica, energía limitada, ancho de banda variable, etc. Existen varias propuestas para proporcionar enrutamiento a las redes Ad hoc, como son los protocolos proactivos que mantienen Tablas de enrutamiento actualizadas, los protocolos reactivos solo mantienen las rutas que le son solicitadas, no conserva rutas a todos los nodos como los protocolos proactivos, y los protocolos híbridos que poseen las características de los proactivos y reactivos. Con la utilización de varios escenarios se ha podido observar como los resultados cambian a medida que se aumentan los nodos en la red en cada protocolo, puesto que cada uno reacciona de manera diferente al cambio en la topología de la red. AODV se comporta mejor en el primer escenario en donde la red se estabiliza en menos tiempo que en los otros dos escenarios y en consecuencia pierde menos paquetes. En el escenario dos y tres, se observa que el desempeño de DSR va mejorando a medida que se aumentan los nodos, y aunque AODV empieza a perder más paquetes aun su desempeño sigue siendo mejor, lo que no ocurre con DSDV. Con los datos obtenidos resulta más

recomendable utilizar el protocolo de enrutamiento DSR en redes grandes, y en redes medianas el protocolo de enrutamiento AODV.

TRABAJO FUTURO

- Las redes Ad hoc son en la actualidad un campo muy amplio, el cual todavía puede ser explotado no solo en Calidad de Servicio sino también en seguridad, nuevos protocolos etc., por lo tanto se presenta las siguientes propuestas:
 - ✓ Realizar la Adaptación de Calidad de Servicio a un protocolo de enrutamiento ya existente para las redes Ad hoc.
 - ✓ Realizar investigaciones en la que se pueda aplicar los mecanismos de DiffServ o IntServ en los protocolos de las redes Ad hoc para evaluar el soporte en la Calidad de Servicio que pueden ofrecer estos mecanismos en este tipo de redes.
 - ✓ Realizar investigaciones sobre los protocolos de enrutamiento híbridos y la Calidad de Servicio que presentan con la conexión a Internet.

ANEXOS

ANEXO A

Anexo A.1. SIMULADOR NS-2

El simulador Ns-2, es el simulador de redes Open Source más utilizado actualmente, que simula a nivel de paquete y disponible en múltiples plataformas. Ofrece ayuda tanto en la investigación como en propósitos docentes.

Este simulador se creó en 1989 como sucesor del simulador REAL Network Simulator. El código fuente de este simulador se lo puede encontrar en la página web <http://www.isi.edu/nsnam/ns>, así como también tutoriales, foros, etc.

Este simulador permite realizar trabajos tanto en redes cableadas como en redes inalámbricas locales o vía satélite, con protocolos en la capa de aplicación como: ftp, cbr, http, etc.; protocolos de la capa de transporte como TCP, UDP, etc.; protocolos de la capa de enlace como: MAC (CSMA/CA), así mismo permite una comunicación unicast, multicast, Además permite la utilización de diferentes algoritmos para planificar colas como: DRR (Deficit Round Robin), FIFO (Fist In First On), FQ (Encolamiento Justo), SFQ (Encolamiento Estocástico Justo).

Algunos trabajos que se puede realizar con este simulador son:

- Simular protocolos de redes y estructuras de todo tipo como: satélite, Wireless, cableadas, etc.
- Desarrollar nuevos tipos de protocolos y algoritmos y demostrar su correcto funcionamiento.
- Realizar comparaciones entre protocolos en cuanto a su trabajo y prestaciones.

Anexo A.2. Instalación

Para realizar la instalación se debe bajar el paquete completo, el cual contiene todas las versiones de las librerías que se necesita para funcionar. Este simulador trabaja tanto en Windows como en Linux, pero su funcionamiento resulto mejor en Linux (Ubuntu), por lo que su instalación se lo realizó en este sistema operativo.

Una vez bajado el paquete se lo debe descomprimir:

- `$tar xvzf ns-allinone-2.33.tar.gz`
- Se crea una directorio llamado ns-allinone-2.33 en el cual encontraremos un archivo "install" el mismo que se debe ejecutar para compilar e instalar el simulador.
- `./install`
- Después se debe editar el PATH para agregar las librerías necesarias, para realizar esto se ejecuta en la terminal la siguiente instrucción.
- `gedit ~/.bashrc`
- Y agregamos las siguientes líneas en el archivo.

```
# LD_LIBRARY_PATH
OTCL_LIB=~/.ns-allinone-2.33/otcl-1.13
NS2_LIB=~/.ns-allinone-2.33/lib
X11_LIB=/usr/X11R6/lib
USR_LOCAL_LIB=/usr/local/lib
export
LD_LIBRARY_PATH=$LD_LIBRARY_PATH:$OTCL_LIB:$NS2_LIB:$X11_LIB:$USR_LOCAL_
LIB
```

```
# TCL_LIBRARY
TCL_LIB=~/.ns-allinone-2.33/tcl8.4.18/library
USR_LIB=/usr/lib
export TCL_LIBRARY=$TCL_LIB:$USR_LIB
```

```
# PATH
XGRAPH=~/.ns-allinone-2.33/bin:~/.ns-allinone-2.33/tcl8.4.18/unix:~/.ns-allinone-
2.33/tk8.4.18/unix
NS=~/.ns-allinone-2.33/ns-2.33/
NAM=~/.ns-allinone-2.33/nam-1.13/
export PATH=$PATH:$XGRAPH:$NS:$NAM
```

- Para actualizar el archivo se debe ejecutar en la terminal la siguiente instrucción:
- Source ~/.bashrc
- Ahora se debe validar la instalación con la siguiente instrucción en la terminal:
- Cd ns-2.33
- ./validate

Una vez realizado estos pasos ya estamos listos para empezar a trabajar con el simulador.

Anexo A.3. Simulación en Ns2

El simulador consta de dos tipos de lenguajes como son OTcl versión extendida de Tcl en el cual el usuario efectúa las especificaciones del escenario que desea simular, es decir se especifica la topología de la red y el tipo de conexión entre los nodos, y el lenguaje C++ en el cual se encuentra implementado los protocolos, y por último como resultado se obtiene datos en trazas que se la puede visualizar en la herramienta NAM del ns2.

Anexo A.3.1. NAM (Network Animator)

Esta herramienta permite visualizar de forma gráfica las simulaciones realizadas. Para ejecutar esta herramienta se debe escribir la siguiente instrucción en la línea de comandos:

- `$ ns nombre_archivo.tcl`

El NAM posee las siguientes opciones:

- Avance normal.
- Retroceso rápido.

- Avance rápido.
- Stop (para parar la simulación).
- Tiempo (indica el tiempo en el que se encuentra la simulación).
- Zoom (aumentar o disminuir la simulación).
- Tamaño de los nodos.
- Indicador de tiempo (el tiempo transcurrido de la simulación).

Anexo A.3.2. Xgraph

Es una herramienta en la cual se puede generar gráficos bidimensionales, se puede también renombrar los ejes, Además permite grabar los gráficos como ficheros postscript. Se ejecuta mediante la instrucción que se debe digitar en la terminal:

- `$ xgraph nombre_fichero.tr`

Ventajas

- Es una herramienta muy flexible que permite hacer simulaciones de acuerdo al estado del arte.
- Contiene varios tipos de protocolos, los cuales pueden ser modificados según las necesidades del trabajo que se esté realizando
- Es el software de simulación más utilizado actualmente.

Desventajas

- Poca documentación en español.
- API incompleta.
- Algunos protocolos deben ser modificados para su implementación.

Anexo A.4. Script utilizado para los escenarios.

Para realizar la simulación como ya se explicó anteriormente se utilizó el mismo tipo de escenario para los tres protocolos, por lo que en el script usado solo se modificó el protocolo en la variable (rp) que corresponde al protocolo que se usará durante la simulación, así tenemos que el script usado es el siguiente:

```
# Definición de las variables

set val(chan)      Channel/WirelessChannel    ;# tipo de canal
set val(prop)      Propagation/TwoRayGround  ;# modelo de la propagación de rAdio
set val(netif)     Phy/WirelessPhy          ;# tipo de la interfaz de red
set val(mac)       Mac/802_11               ;# tipo MAC
set val(ifq)       Queue/DropTail/PriQueue   ;# tipo de interface queue
set val(ll)        LL                       ;# tipo de capa de enlace
set val(ant)       Antenna/OmniAntenna      ;# modelo de antena
set val(ifqlen)    50                       ;# max paquete en ifq
set val(nn)        10                       ;# numero de nodos móviles
set val(rp)        AODV                     ;# protocolo de enrutamiento
set val(x)         700                      ;# X dimensión de la topografía
set val(y)         700                      ;# Y dimensión de la topografía
set val(stop)      40                       ;# tiempo de fin de la simulación

set ns [new Simulator]

$ns color 0 Blue

$ns color 1 Red

#set n(0) [$ns node]

#$ns node_0 color "Red"

#set n(1) [$ns node]

#$n(1) color "Blue"
```

```
set tracefd [open traza2.tr w]

set windowVsTime2 [open win.tr w]

set namtrace [open aodv.nam w]

$ns trace-all $tracefd

$ns namtrace-all-wireless $namtrace $val(x) $val(y)

# se crea la topografia

set topo [new Topography]

$topo load_flatgrid $val(x) $val(y)

create-god $val(nn)

#

# Se crea nn nodos moviles [$val(nn)] y se le añAde el canal

#

# configuracion de los nodos

$ns node-config -AdhocRouting $val(rp) \
    -llType $val(ll) \
    -macType $val(mac) \
    -ifqType $val(ifq) \
    -ifqLen $val(ifqlen) \
    -antType $val(ant) \
    -propType $val(prop) \
    -phyType $val(netif) \
    -channelType $val(chan) \
    -topoInstance $topo \
    -agentTrace ON \
    -routerTrace ON \
    -macTrace OFF \
```

-movementTrace ON

```
for {set i 0} {$i < $val(mn)} {incr i} {  
    set node_($i) [$ns node]  
}
```

Posicion inicial de los nodos moviles

\$node_(0) set X_ 238.0

\$node_(0) set Y_ 477.0

\$node_(0) set Z_ 0.0

\$node_(1) set X_ 93.0

\$node_(1) set Y_ 632.0

\$node_(1) set Z_ 0.0

\$node_(2) set X_ 496.0

\$node_(2) set Y_ 438.0

\$node_(2) set Z_ 0.0

\$node_(3) set X_ 431.0

\$node_(3) set Y_ 64.0

\$node_(3) set Z_ 0.0

\$node_(4) set X_ 245.0

\$node_(4) set Y_ 524.0

\$node_(4) set Z_ 0.0

\$node_(5) set X_ 27.0

\$node_(5) set Y_ 72.0

\$node_(5) set Z_ 0.0

\$node_(6) set X_ 292.0

\$node_(6) set Y_ 458.0

\$node_(6) set Z_ 0.0

\$node_(7) set X_ 136.0

\$node_(7) set Y_ 538.0

\$node_(7) set Z_ 0.0

\$node_(8) set X_ 312.0

\$node_(8) set Y_ 164.0

\$node_(8) set Z_ 0.0

\$node_(9) set X_ 610.0

\$node_(9) set Y_ 605.0

\$node_(9) set Z_ 0.0

Generacion de movimientos

\$ns at 1.000000000000 "\$node_(0) setdest 88.0 127.0 8.0"

\$ns at 2.000000000000 "\$node_(1) setdest 337.0 530.0 13.0"

\$ns at 3.000000000000 "\$node_(2) setdest 530.0 619.0 13.0"

\$ns at 4.000000000000 "\$node_(3) setdest 161.0 287.0 8.0"

\$ns at 5.000000000000 "\$node_(4) setdest 473.0 147.0 7.0"

\$ns at 6.000000000000 "\$node_(5) setdest 242.0 309.0 16.0"

\$ns at 7.000000000000 "\$node_(6) setdest 543.0 112.0 0.0"

\$ns at 8.000000000000 "\$node_(7) setdest 123.0 355.0 9.0"

\$ns at 9.000000000000 "\$node_(8) setdest 660.0 229.0 13.0"

\$ns at 10.000000000000 "\$node_(9) setdest 4.0 352.0 3.0"

Conexión de TCP entre node_(2) and node_(5)

set tcp [new Agent/TCP/Newreno]

\$tcp set class_ 2

set sink [new Agent/TCPSink]

```

$ns attach-agent $node_(2) $tcp
$ns attach-agent $node_(5) $sink
$ns connect $tcp $sink
set ftp [new Application/FTP]
$ftp attach-agent $tcp
$ns at 1.0 "$ftp start"

# Tamaño de la ventana
proc plotWindow {tcpSource file} {
  global ns
  set time 0.01
  set now [$ns now]
  set cwnd [$tcpSource set cwnd_]
  puts $file "$now $cwnd"
  $ns at [expr $now+$time] "plotWindow $tcpSource $file" }
$ns at 150.1 "plotWindow $tcp $windowVsTime2"

# Se dice a los nodos cuando la simulación termina
for {set i 0} {$i < $val(nn)} { incr i } {
  $ns at $val(stop) "$node_($i) reset";
}

# Fin de nam y de la simulación
$ns at $val(stop) "$ns nam-end-wireless $val(stop)"
$ns at $val(stop) "stop"
$ns at 40.01 "puts \"end simulation\" ; $ns halt"
proc stop {} {
  global ns tracefd namtrace
  $ns flush-trace
  close $tracefd
  close $namtrace
}

```



```

exec nam aodv.nam &

exit 0
}

$ns run
    
```

Anexo A.5. ESCENARIOS

Los escenarios con cada uno de los protocolos se presentan a continuación:

- Escenario I: Calidad de Servicio con 10 nodos.



Figura A1- Escenario I AODV, DSR, DSDV.

- Escenario II: Calidad de Servicio con 10 nodos.

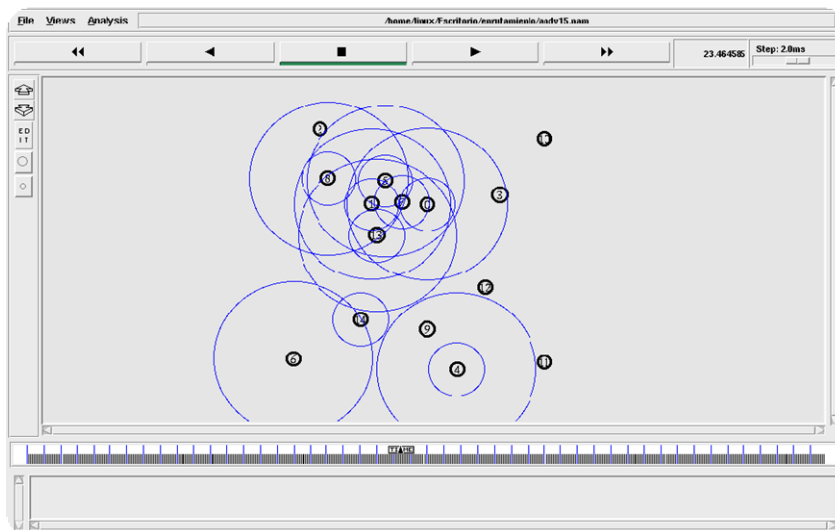


Figura A2- Escenario II AODV, DSR, DSDV.

- Escenario III: Calidad de Servicio con 20 nodos.

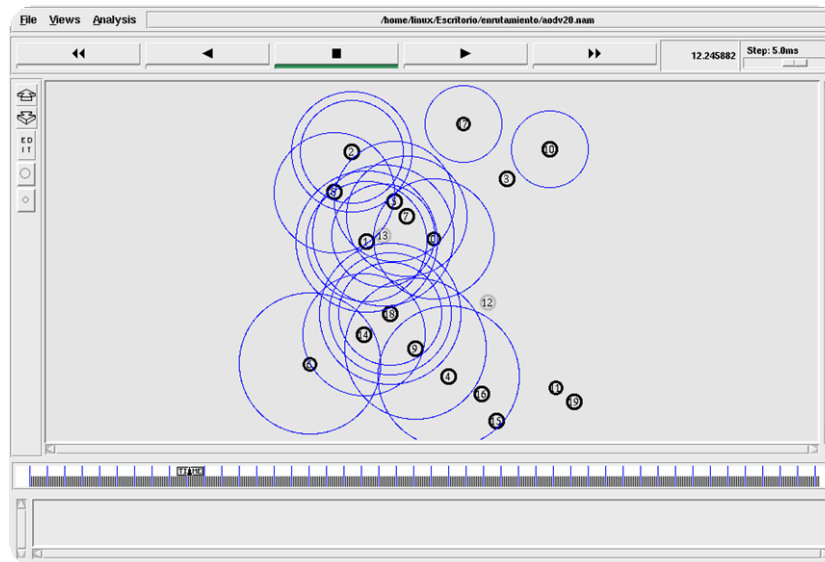


Figura A3- Escenario III AODV, DSR, DSDV.

ANEXO B

Anexo B.1. Resultados Obtenidos con el Simulador NS2

A continuación se presenta las trazas obtenidas con cada una de las simulaciones:

- Archivo traza2.tr o traza con los resultados obtenidos de la simulación con el protocolo AODV en el primer escenario.

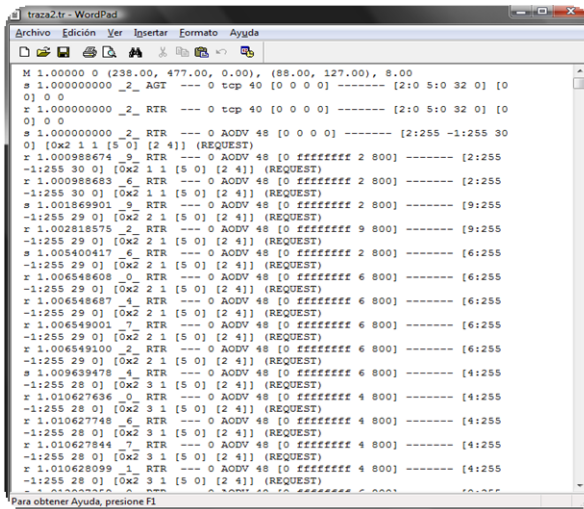


Figura B1- Traza obtenida de la simulación con el protocolo AODV en el primer escenario.

- Archivo aodv15.tr o traza obtenida con los resultados de la simulación con el protocolo AODV, en el segundo escenario.

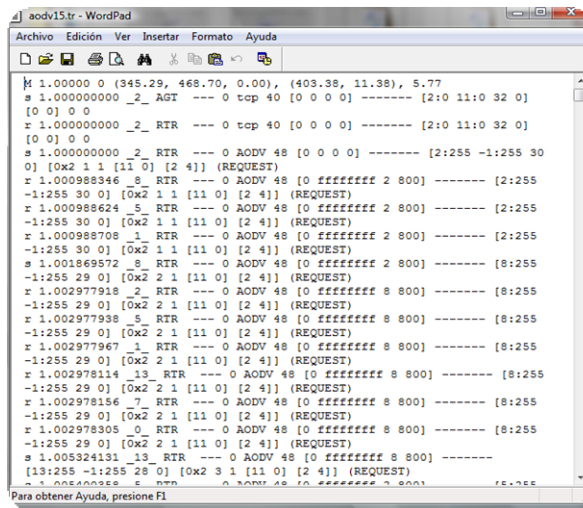


Figura B2- Traza con los resultados de la simulación con el protocolo AODV en segundo escenario.

- Archivo aadv20.tr o traza obtenida con los resultados de la simulación con el protocolo AODV en el tercer escenario.

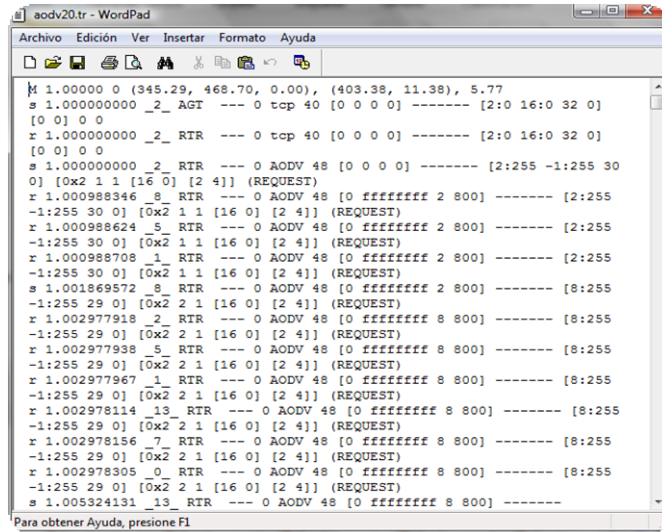


Figura B3- Traza obtenida de la simulación con el protocolo AODV en el tercer escenario.

Para poder analizar estos datos se ha utilizado el software Packet Analyzer, para esto se debe convertir estos archivo .tr en archivos con la extensión *nombreakchivo_tg.tr*, para esto se utiliza el *trconvert.exe*; el cual realiza el cambio de archivos, a continuación se presenta la conversión de cada uno de los archivos:

- Conversión del archivo traza2.tr del protocolo AODV.

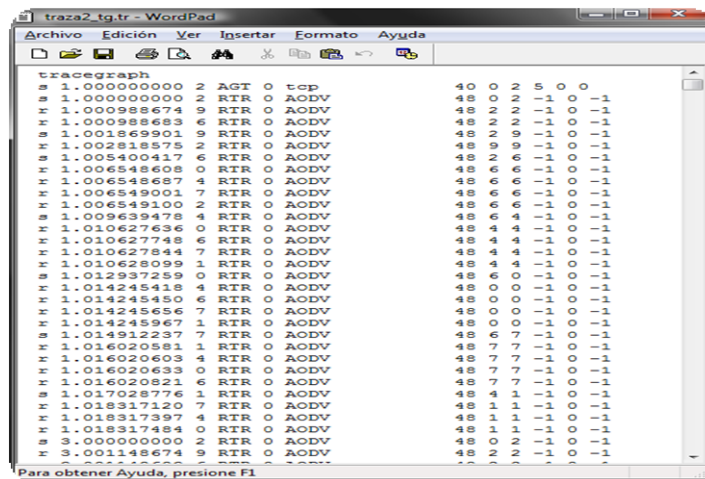


Figura B4- Archivo convertido de la traza del protocolo AODV.

- Conversión del archivo aodv15.tr del protocolo DSR.

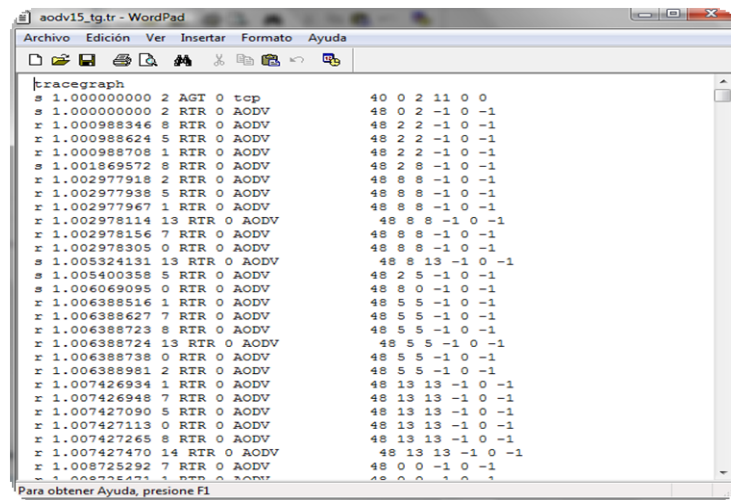


Figura B5- Archivo convertido de la traza del protocolo AODV.

- Conversión del archivo aodv20.tr del protocolo AODV, del primer escenario.

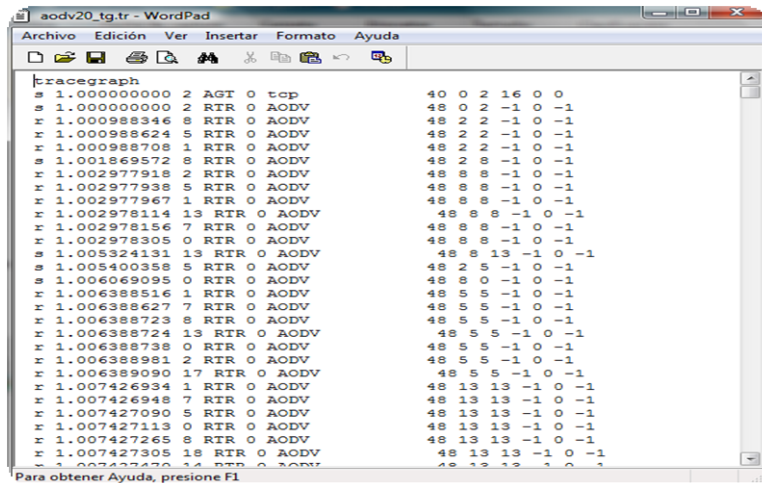


Figura B6- Archivo convertido de la traza del protocolo AODV.

Una vez convertidos estos archivos procedemos a analizar los datos con el Packet Analyzer, así tenemos los datos que se muestran a continuación, para cada protocolo.

- Información obtenida por el Packet Analyzer para el protocolo AODV en el primer escenario.

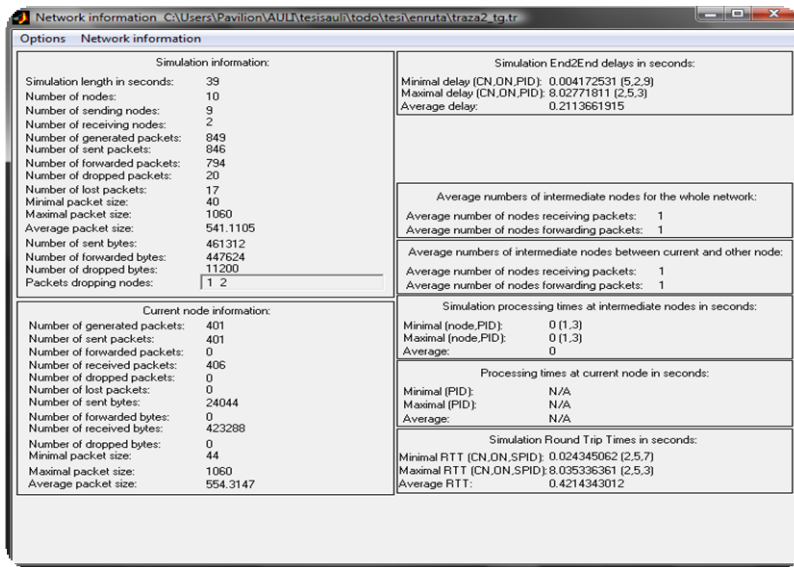


Figura B7- Información de la simulación con el protocolo AODV.

- Información obtenida por el Packet Analyzer para el protocolo AODV en el segundo escenario.

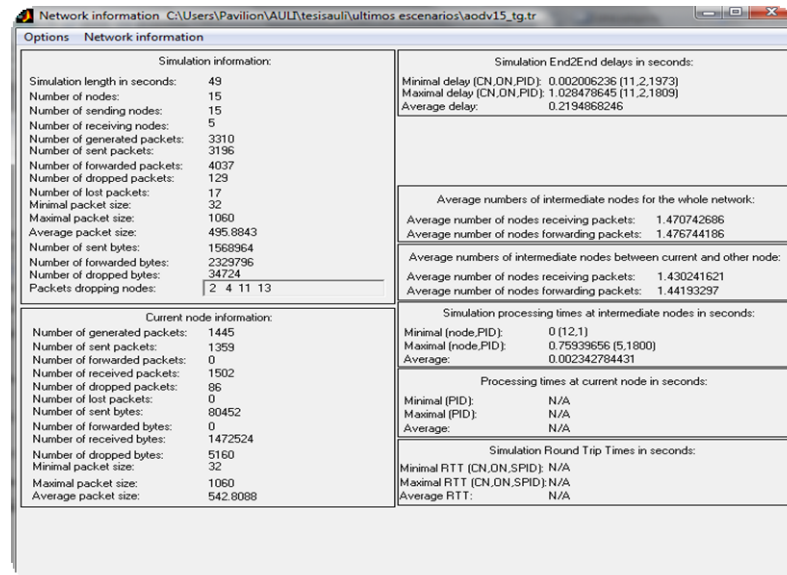


Figura B8 - Información de la simulación con el protocolo AODV.

- Información obtenida por el Packet Analyzer para el protocolo AODV en el tercer escenario.

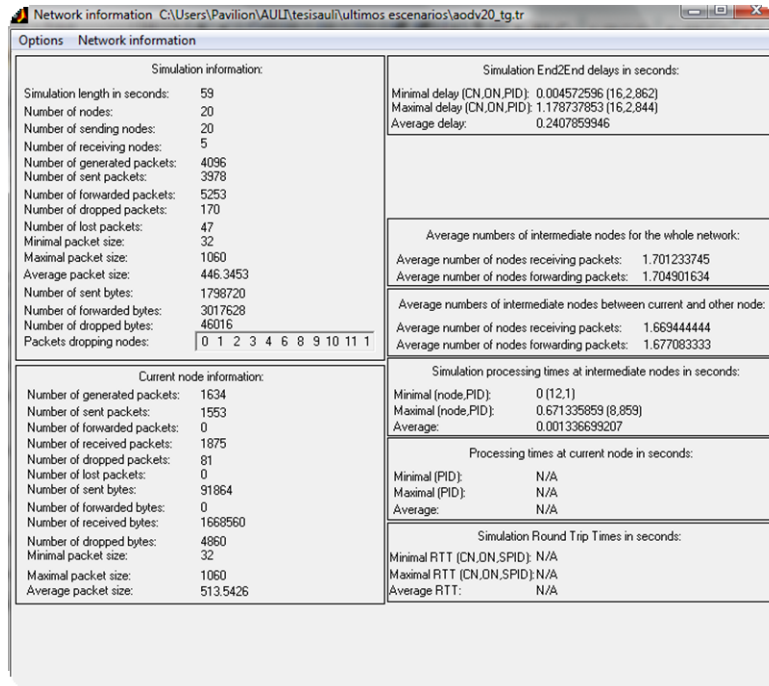


Figura B9 - Información de la simulación con el protocolo AODV.

Con la información obtenida de por cada protocolo mediante la simulación y gracias al análisis de los datos por medio del Packet Analyzer se pudo desarrollar el presente trabajo de investigación.

ANEXO C:

Anexo C.1. GLOSARIO

- **QoS:** *Quality of Service*
- **IETF:** *Internet Engineering Task Force*
- **AODV:** *Ad hoc On Demand Distance Vector Routing*
- **DSR:** *Dynamic Source Routing*
- **DSDV:** *Destination-Sequenced Distance Vector*
- **CEDAR:** *Core Extraction Distributed Ad-hoc Routing*
- **INSIGNIA:** *IP-based QoS framework for Mobile Ad-hoc Networks*
- **FQMM:** *Flexible QoS Model for Mobile Ad-hoc Networks*
- **ITU-T:** *Unión Internacional de Telecomunicaciones*
- **IPTD:** *IP Packet Transfer Delay*
- **IPVD:** *IP Packet Delay Variation*
- **IPLR:** *IP Packet Loss Ratio*
- **IPER:** *IP Packet Error Ratio*
- **NS-2:** *Network Simulator*

Anexo C.2. BIBLIOGRAFIA

[1] A. L. González-Sánchez, L. A. Villaseñor-González, O. Peñaloza-Mejía, *Soporte de macro movilidad para redes Ad hoc usando IPv6 y el protocolo de enrutamiento OLSR*, Octubre 2008.

[2] *Universidad Rey Juan Carlos, Departamento de Sistemas Telemáticos y Computación, Encaminamiento en Redes Ad-Hoc*, Noviembre 2007.

[3] John Jairo Padilla Aguilar, *Tesis Doctoral Contribución al soporte de Calidad del Servicio en Redes Móviles*, 2007.

[4] Francisco Javier Ros Muñoz, *Evaluación de Propuestas de Interconexión a Internet para Redes Móviles Ad hoc Híbridas*, Diciembre 2004.

[5] Maximiliano A. Eschoyez, Matías Freytes, Javier Blanco, *Laboratorio de Comunicaciones Digitales del Departamento de Ingeniería Electrónica, Universidad Nacional de Córdoba, Redes Ad hoc Móviles de Múltiples Saltos: Simulación y Estudio*, Marzo 2007.J.

[6] Dr. Luis Armando Villaseñor González, *Macro-Movilidad IP para redes Móviles Ad hoc (Manets)*, Congreso Internacional de Tecnologías de Información 2007 Universidad Autónoma de Yucatán Mayo 2007, Presentacion-TI07.ppt.

[7] Juan Vera del Campo, *Multicasting en Manets*, 30 de junio de 2006, <http://globus.upc.es/~juanvvc/downloadAds/files/SIP-juanvi.pdf>[8]

[8] Javier Díaz, Mauricio Demasi, Matías Robles, Germán Vodopivec, *Movilidad en IPv6*, Octubre 2008.

[9] Francisco Javier Ros Muñoz, *Evaluación de Propuestas de Interconexión a Internet para Redes Móviles Ad hoc Híbridas*, Diciembre 2004.

[10] Héctor Julian-Bertomeu, *Evaluación de los parámetros de QoS en entornos de Movilidad IP*, Julio 2005.

[11] Carlos Jesús Bernardos Cano, *Universidad Carlos III de Madrid PFC “Estudio de soluciones de movilidad en redes de cuarta generación”*, Marzo 2003.

[12] María Canales, José Ramón Gállego, Ángela Hernández-Solana, Antonio Valdovinos, *Grupo de Tecnologías de las Comunicaciones Universidad de Zaragoza, Encaminamiento con Calidad de Servicio para Redes Móviles Ad-Hoc*.

[13] Magnus Frodigh, Per Johansson y Peter Larsson, *Formación de redes inalámbricas Ad hoc El arte de la formación de redes sin red*.

[14] Gerson Rodríguez de los Santos López, David Larrabeiti López, Isaac Seoane Pujol, *Soporte Multitrayecto en red Ad-hoc basada en una propuesta de extensión de AODV*.

[15] Iván Lequerica Roca, *Universidad del País Vasco (UPV-EHU), Comunicaciones en el entorno del automóvil*.

[16] Maximiliano A. Eschoyez, *Laboratorio de Comunicaciones Digitales, Enrutamiento en Redes Inalámbricas de Múltiples Saltos, Facultad Ciencias Exactas, Físicas y Naturales Universidad Nacional de Córdoba*.

[17] Andrés Gómez Márquez, *Protocolos de Enrutamiento Para la Capa de Red en Arquitecturas de Redes de Datos, Dpto. Informática. Universidad Cooperativa de Colombia*.

[18] J.J. Vinagre, A.G. Marqués y A.J. Caamaño, *Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, Ponencia, Las Redes Ad-Hoc Inalámbricas y sus Límites, Madrid*.

[19] *Juan José Vinagre Díaz, Tesis Doctoral, Teoría del Encaminamiento en Redes Ad hoc Inalámbricas, Dpto. de Teoría de la señal y Comunicaciones Universidad Carlos III de Madrid, Julio de 2007.*

[20] *A. Triviño Cabrera, E. Casilari Pérez, A. Ariza-Quintana, Implementación de Protocolos en el Network Simulator (NS-2) Departamento de Tecnología Electrónica, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación, Universidad de Málaga*

[21] *Jesús Martín Hermosín, Antonio Pascual Iserte, Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones Universidad Politécnica de Catalunya, Técnicas de Encaminamiento en redes Ad hoc basados en criterios de potencia y batería.*

[22] *Marcos Martínez, Judith Vaqué, Redes Ciudadanas Libres, Universidad Politécnica de Mataró, Comunidades Wireless.*

[23] *Ana Belén Corral Ignoto, Universidad Politécnica de Cartagena, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación, Diseño e Implementación de un entorno de simulación para redes de sensores inalámbricos.*

[24] *Ola Westin, Swedish Institute of Computer Science TCP Performance in Wireless Mobile Multi-hop Ad hoc Networks, 4th December 2003.*

[25] *Pablo Moleiro Naval, Universidad Técnica de Catalunya, Diseño y Evaluación de un Protocolo de Descubrimiento de Gateways para redes Ad hoc Interconectadas a Redes Fijas.*

[26] *Josep Canales Pallares, Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones, especializada en Telemática Universidad Politécnica de Catalunya, Redes Ad hoc entre vehículos.*

[27] *Roberto Subiela Durá, Antonio León Fernández, Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Comunicaciones, Simulación de Protocolos de Encaminamiento en Redes Móviles Ad hoc con Ns-2.*

[28] *Kui Wu, Janelle Harms, University of Alberta, Computing Science Department, QoS Support in Mobile Ad hoc Networks.*

[29] *Mario Marchese, QoS over Heterogeneous Networks, Department of Communications, Computer and System Science University of Genoa, Italy, 2007.*

[30] *Zhili Zun, Satellite Network, Principles and Protocols, University of Surrey, UK, 2005.*