

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS E INGENIERÍA
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



Protocolo de enrutamiento para redes móviles Ad hoc

T E S I S

**que para obtener el grado de
MAESTRO EN INGENIERÍA**

**PRESENTA
Ulisses Castro Gallegos**

**Director de tesis:
Dr. Luis Enrique Palafox Maestre**

**Co-Director de tesis:
Dr. César Ortega Corral**

TIJUANA, B. C.

Enero de 2016

RESUMEN de la Tesis de Ulisses Castro Gallegos, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN INGENIERIA. Tijuana, Baja California, México. Enero de 2016.

“Protocolo de enrutamiento para redes móviles Ad hoc”

Resumen aprobado por:

Luis Enrique Palafox Maestre
Director de tesis

Resumen

Se presenta el estudio enfocado en protocolos de enrutamiento para redes móviles inalámbricas. Se muestra una introducción a las redes de comunicación inalámbricas existentes para dispositivos móviles, así como una descripción de protocolos de enrutamiento utilizados en *MANET*. Se presentan ideas generales de las herramientas necesarias para la simulación de protocolos existentes, planteando un protocolo para futura implementación en un dispositivo móvil de telefonía celular basado en el sistema operativo de código abierto *Android*.

Asimismo, se presenta un protocolo de enrutamiento modificado, para minimizar el tiempo de búsqueda de usuarios disponibles y transmisión de la información; tomando como base el protocolo AODV para uso comparativo de las simulaciones, utilizando la plataforma de simulaciones OPNET.

El esquema del protocolo de enrutamiento propuesto para sistemas *MANET* se ubica en la capa de red del modelo de referencia OSI, que puede ser desarrollado en la capa de aplicación.

Los resultados plasman la idea general de una opción para enriquecer algún protocolo existente o crear un protocolo nuevo enfocado a sistemas móviles como teléfonos celulares.

Se presenta una idea de aplicaciones posibles, desarrollos actuales e implementaciones de protocolos de enrutamiento para sistemas *MANET*.

Las propuestas presentadas en este trabajo, reducen el tiempo en el descubrimiento de las rutas y como consecuencia, se disminuye el tiempo en la transmisión de la información. Se presentan diferentes opciones que utilizan recursos utilizados en teléfonos inteligentes como lo son acelerómetro, GPS y brújula. Al utilizar estos recursos se pueden mejorar los protocolos de enrutamiento. Se presentan ideas que pueden ser implementadas en protocolos existentes para mejorar y hacer más eficiente la transferencia de información, específicamente para ser utilizados en teléfonos inteligentes. El enfoque principal de las propuestas presentadas son, para ser

utilizadas en estos dispositivos, ya que la mayoría de las propuestas actuales son para ser utilizados en computadoras en las cuales no se cuenta con los mismos recursos, además de que estos dispositivos son mayormente utilizados hoy en día.

Se utiliza la plataforma de simulación de Opnet para comprobar escenarios en donde se puede verificar que al utilizar algunas de las propuestas presentadas, se disminuye el tiempo en la transmisión de información.

ABSTRACT of the thesis, presented by Ulisses Castro Gallegos in order to obtain the MASTER IN ENGINEERING. Tijuana, Baja California, México. January of 2016.

“Routing protocol for mobile Ad hoc networks”

Approved by:

Luis Enrique Palafox Maestre
Thesis Advisor

Abstract body

A study focused on routing protocols for wireless mobile networks is presented. An introduction to the existing wireless communication networks for mobile devices, and a description of routing protocols used in MANET is displayed. General ideas of the necessary tools for the simulation of existing protocols are presented, proposing a new protocol for future implementation in a mobile cellular based on an open source operating system like the Android Phones.

A modified routing protocol is presented to minimize search time of available users and the transmission of information; based on the AODV protocol for comparative use of simulations, the OPNET Platform was used.

The routing protocol scheme proposed for MANET systems is located in the network layer of the OSI reference model, which may be developed in the application layer.

The results reflected the general idea of an option to enrich an existing protocol or create a new protocol focused on mobile systems such as cell phones.

An idea of possible applications, current developments and implementations of routing protocols for MANET systems is presented.

The proposals presented in this work, reduce time in discovering routes and as a result, the time is decreased in the transmission of information. Different options that use resources used in smartphones such as accelerometer, GPS and compass are presented. By using these resources routing protocols can be improved. Ideas that can be implemented in existing protocols to improve and streamline the transfer of information, specifically for use in smartphones are presented. The main focus of the proposals are to be used in these devices, since most of the current proposals are to be used in computers which do not have the same resources, and these devices are mostly used today.

Platform Opnet simulation is used to test scenarios in which you can verify that by using some of the proposals submitted, the time is decreased in the transmission of information.

DEDICATORIA

A Luciano Castro Camacho
Inocenta Gallegos Salazar
Fátima Denisse Estrada Álvarez.
Ian Uriel Castro Estrada

AGRADECIMIENTOS

A mi Familia.
A Universidad Autónoma de Baja California.
A Luis E. Palafox, Cesar Ortega, Eduardo Álvarez, Jaime Esqueda.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	8
CONTENIDO	9
INDICE DE FIGURAS.....	11
INDICE DE TABLAS	12
I. INTRODUCCION	13
I.1 Introducción General	13
I.2 Antecedentes	15
I.3 Planteamiento del Problema	17
I.4 Objetivos	18
I.4.1 Objetivo General	18
I.4.2 Objetivos Específicos.....	19
I.5 Justificación	19
I.6 Organización del Trabajo	21
I.7 Descripción del Proyecto	22
II. Marco Teórico.....	28
II.1 Clasificación de Redes Inalámbricas por su Cobertura	28
II.1.1 Redes Inalámbricas de Corto Alcance.....	28
II.1.2 Redes WPAN	29
II.1.3 Redes WLAN	30
II.1.4 Redes WMAN.....	31
II.1.5 Redes WWAN.....	31
II.2 Dispositivos de Red Inalámbrica	32
II.2.1 Adaptador de Red.....	32
II.2.2 Puntos de Acceso	33
II.2.3 Características de las Antenas	34
II.3 Modos de Operación de Redes Inalámbricas	35
II.3.1 Basadas en Infraestructura.....	35
De Usuario a Usuario	36
II.3.2 Redes Inalámbricas Multisalto	36
II.3.3 Redes Móviles Ad hoc (MANET).....	36
II.3.4 Redes Inalámbricas de Malla (WMN).....	36
II.3.5 Redes de Sensores Inalámbricos (WSN).....	37
II.4 Estándar IEEE 802.11 para Redes Inalámbricas	37
II.4.1 IEEE 802.11s <i>Wireless Mesh Networking</i>	37
II.5 Voz Sobre WIFI (VoWIFI)	39
II.5.1 Requerimientos para VoWIFI.....	40
II.5.2 Variación (<i>Jitter</i>).....	41
II.5.3 Pérdida de Paquetes (<i>Packet Drops</i>)	41
II.5.4 Ahorro de Energía (<i>Power Saving</i>)	41
II.5.5 Rango de Operación (<i>Range of Operation</i>).....	42
II.5.6 Itinerancia (<i>Roaming</i>).....	42

II.6	Redes Ad hoc	42
II.7	Modos de Operación de las Redes Inalámbricas	45
II.7.1	Modo BSS (Infraestructura)	46
II.7.2	Modo IBSS (Ad hoc).....	46
II.8	Redes Móviles Ad hoc (MANET)	47
II.9	Internet Engineering Task Force (IETF)	47
II.9.1	Descripción de los Grupos de Trabajo en MANET	47
II.9.2	Borradores de Internet Activos.....	48
II.9.3	Petición de Comentarios (<i>Request for comments “RFC”</i>)	49
II.10	Problemas al Utilizar TCP en Redes MANET	49
II.11	Características a Mejorar TCP para Redes MANET.	50
II.12	Descubrimiento de Rutas en Redes Ad hoc	51
II.12.1	Elementos de Enrutamiento en las Redes MANET:	53
II.12.2	Clasificación de los Protocolos de Enrutamiento para Redes Móviles Ad hoc.....	54
II.12.3	Parámetros para Mejorar el Descubrimiento de Rutas.	57
II.12.4	Protocolos de Enrutamiento Proactivos (Manejado por Tablas).....	59
II.12.5	Protocolos de Enrutamiento Reactivos	66
II.12.6	Protocolos de Enrutamiento Híbrido.....	68
III.	Desarrollo	70
III.1	Introducción	71
III.2	Descripción de Propuesta	72
III.2.1	Descubrimiento de Rutas	74
III.2.2	Diagrama de Flujo de Protocolo Propuesto	77
III.2.3	Obtención de Ruta Destino	78
III.2.4	Camino de Retorno	80
III.2.5	Basada en Cuadrantes	81
III.2.6	Basada en Medición de Potencia	83
III.2.7	Configuración de Simulaciones	85
III.2.8	Análisis de AODV en una Red Pequeña.	93
III.2.9	Propuestas para AODV	104
III.2.10	Observaciones y análisis de resultados.	111
III.2.11	Análisis AODV y Propuesta	111
III.2.12	Escenario y comparaciones.....	115
IV.	Conclusiones y Trabajo Futuro	118
IV.1	Conclusiones	118
IV.2	Trabajos Actuales	120
IV.2.1	Grupos de Trabajo Activos e Implementaciones	120
IV.3	Trabajos Futuros	123
V.	APENDICE A.	124

INDICE DE FIGURAS

Figura I.1. Ejemplos de Topologías de Redes.	24
Figura I.2. Conexión Típica Entre Dispositivos Ad hoc.	25
Figura I.3. Movimiento de un nodo en una red Ad hoc.	25
Figura I.4. Movimientos de Nodos en una Red Ad hoc.	26
Figura I.5. Red Ad hoc tipo Malla.	26
Figura II.1. Redes Inalámbricas de Corto Alcance.	29
Figura II.2. Red Móvil Ad hoc.	44
Figura II.3. Ilustración del cambio en la ruta de A hacia E, debido al movimiento de C.	51
Figura II.4. Clasificación y ejemplos de Protocolos de Enrutamiento en Redes Ad hoc.	56
Figura III.1. Red de Nodos Móviles.	75
Figura III.2. Diagrama de Flujo de Descubrimiento de Rutas.	78
Figura III.3. Obtención de Ruta Destino.	80
Figura III.4. Camino de Retorno.	80
Figura III.5. Descubrimiento de rutas basado en cuadrantes.	82
Figura III.6. Identificación de la potencia del enlace.	83
Figura III.7. Resultado de las métricas para OPNET.	86
Figura III.8. Topología de la RED que se simula.	87
Figura III.9. Atributos para Nodo TX.	88
Figura III.10. Atributos para Nodo TX (Generación de Tráfico).	89
Figura III.11. Atributos para los nodos intermedios.	90
Figura III.12. Atributos para nodo RX.	91
Figura III.13. Parámetros de Simulación.	92
Figura III.14. Número de saltos y tiempo de descubrimiento de la ruta desde el nodo TX hacia el nodo RX.	93
Figura III.15. Número de saltos y tiempo para 10 min. de simulación.	94
Figura III.16. Tráfico recibido y enviado para TX.	95
Figura III.17. Número de saltos y tamaño de tabla para nodos intermedios.	96
Figura III.18. Tráfico recibido y enviado para nodos intermedios.	98
Figura III.19. RERR y RREQ para nodos intermedios.	99
Figura III.20. Número de saltos y tamaño de tabla para RX.	100
Figura III.21. RREP enviados de y hacia RX.	101
Figura III.22. Tráfico enviado de TX y Recibido por RX.	102
Figura III.23. Tráfico recibido por nodos intermedios.	103
Figura III.24. Propuesta de red AODV.	104
Figura III.25. Mediciones tomadas del tráfico a través del nodo Node74.	105
Figura III.26. Mediciones Globales de AODV.	107
Figura III.27. Direcccionamiento forzado (basada en cuadrantes).	109
Figura III.28. Numero de saltos y tiempo de descubrimiento.	110
Figura III.29. Escenario Propuesto.	112
Figura III.30. Rutas Disponibles.	113
Figura III.31. Enrutamiento direccionado.	114
Figura III.32. Escenario para simulación.	115
Figura III.33. Escenario en OPNET.	116
Figura III.34. Tráfico recibido por los nodos A, E y M.	116
Figura III.35. Tráfico recibido para A, E y M (Direccionado).	118
Figura V.1. Paleta de objetos para redes MANET.	125
Figura V.2. Ícono representativo del nodo móvil MANET.	125
Figura V.3. Arquitectura del nodo “manet_station_adv”.	126
Figura V.4. Atributos del nodo “manet_station_adv”.	127
Figura V.5. Ícono de Opnet del nodo Servidor WLAN.	129
Figura V.6. Arquitectura del nodo “wlan_server_adv”.	129
Figura V.7. Atributos del nodo “manet_station_adv”.	130

Figura V.8. Ícono Opnet del nodo Estación de Trabajo WLAN.	132
Figura V.9. Imagen de identificación del nodo Definición de Aplicaciones	134
Figura V.10. Ícono, Configuración de Movilidad.	134
Figura V.11. Ícono, Configuración de Perfiles.	135
Figura V.12. Ícono, Configuración de grupos RX	135
Figura V.13. Ícono, Configuración de Tareas.	136

INDICE DE TABLAS

Tabla III.1. Lista de vecinos para los nodos	81
Tabla III.2. Potencia existente en los enlaces	84
Tabla III.3. Caminos existentes del nodo A hacia el nodo E	84
Tabla III.4. Potencias.....	85

I. INTRODUCCION

I.1 Introducción General

En la actualidad los teléfonos celulares son dispositivos móviles que juegan un papel central en la vida diaria ya que son utilizados, no sólo para comunicación de voz, sino también para compartir información (imágenes, video, correo electrónico y datos) a través de una conexión a internet como lo puede ser, por medio del sistema de comunicación del proveedor de servicio de telefonía celular (Aggelou, 2009).

A través de un teléfono celular es posible la comunicación entre personas y la transferencia de información por medio inalámbrico, siendo esta la característica principal y propia debido a la portabilidad. Algunos tienen incorporadas tarjetas inalámbricas adicionales, ya sea para interactuar con otros sistemas que utilizan tecnología Bluetooth, WIFI o hasta para ser utilizados como sistemas de posicionamiento global (GPS, del inglés “*Global Positioning System*”). Bluetooth y WIFI operan en bandas de frecuencias libres, también conocidas como banda ISM (del inglés “*Industrial Scientific Medical*”) a 2.4GHz (Aggelou, 2009). La necesidad de intercambio de información, la flexibilidad de portabilidad de estos aparatos y la posibilidad de crear interfaces que trabajen en bandas de frecuencia libres, hacen que tengan gran demanda y popularidad en la población debido a que la frecuencia de operación en esta banda no es propietaria y es libre de uso.

Inicialmente las redes inalámbricas locales de uso comercial fueron implementadas a través del estándar IEEE 802.11 (WLANs, del inglés “*Wireless Local Area Networks*”) para comunicar computadoras personales e interactuar con otros sistemas, como lo son: los Asistentes Digitales Personales (PDA's, del inglés “*Personal Digital Assistants*”), y para compartir recursos entre impresoras o escáner. Conforme se avanzó en la fabricación, disminución del tamaño de los componentes semiconductores que constituyen el radio enlace y el *hardware* necesario para la comunicación inalámbrica, se logró implementar este tipo de tecnologías dentro de un teléfono celular, se aumentó la cantidad de memoria, así se pudo mejorar su rendimiento y al aumentar la velocidad del procesamiento de la información, se mejoró la administración de los recursos. Es

así como en la actualidad, la mayor parte de los teléfonos celulares tienen la capacidad de comunicarse haciendo uso de distintos y abundantes recursos para diferentes fines, aunado a esto, se incrementó la tasa de transferencia de datos en el enlace (Chandra, Dobkin, Bensky, Olexa, Lide, & Dowla, 2008).

El sistema convencional en el cual está basada la comunicación a distancia entre teléfonos celulares, está delimitado por áreas de cobertura, en las cuales la estación principal (Estación Base) se encarga de recibir y enviar la información de cada uno de los usuarios. Para lograr la comunicación entre ellos es necesaria una infraestructura física, la cual está constituida por estaciones fijas y solamente puede enlazar a los usuarios que estén dentro del límite de cobertura. Inicialmente los teléfonos celulares fueron diseñados con la finalidad de enlazar a usuarios a distancia brindando movilidad. Pero hoy en día estos mismos teléfonos pueden tener conectividad haciendo uso de las tecnologías como WIFI o Bluetooth; debido a la reducción de tamaño de los semiconductores es posible que estas dos tecnologías puedan ser incorporadas en un mismo dispositivo como los llamados teléfonos inteligentes (del inglés "*Smartphone*"). (Dahlman, Oct. 2008).

Actualmente se han desarrollado topologías de redes inalámbricas como la tipo Ad hoc, que tienen mayor flexibilidad en comparación con las redes de telefonía celular, en cuanto a creación espontánea se refiere, aunque cada una fue desarrollada para diferentes fines y funcionan de manera diferente, hoy en día al poder tener una cantidad de usuarios con teléfonos celulares inteligentes, se podría implementar un sistema similar o alternativo al de telefonía celular; por ejemplo; una red de computadoras o teléfonos inteligentes conectados entre sí, no necesita ninguna estación controladora o base para mantener la comunicación entre ellos, sino que es una red de varios usuarios o "de igual a igual" (del inglés "*Peer to Peer*"), en donde estos pueden comunicarse directamente entre sí, claro está que el punto de comparación de cobertura no se debe de tomar en cuenta. Cuando la aplicación no requiera grandes áreas de cobertura o gran cantidad de usuarios se podrá utilizar este tipo de configuración de red. Es por ello que una red móvil del tipo Ad hoc utilizando teléfonos celulares puede ser de utilidad para empresas, hospitales, búsqueda, rescate, zonas remotas o salas de conferencia. Dentro de las cuales se podría implementar este tipo de configuración, en donde no se cuenta con la red de telefonía o

simplemente para intercambio de información a corta distancia sin tener la necesidad de utilizar la infraestructura de telefonía celular y obteniendo como beneficio omitir el pago por el servicio. Por otro lado, cabe resaltar que debido a la creación espontánea de una red Ad hoc, será de fácil y rápida implementación (Chandra, Dobkin, Bensky, Olexa, Lide, & Dowla, 2008).

I.2 Antecedentes

En los teléfonos celulares inteligentes del siglo XXI, se pueden implementar sistemas de comunicación capaces de soportar aplicaciones o procesamiento complejos que anteriormente solo podían ser ejecutados en una computadora personal. Un ejemplo específico es poder conectarse a internet, transferir archivos mediante Bluetooth, leer correos electrónicos, enviar mensajes multimedia a través de un mismo teléfono celular o navegar en internet; aunado a esto, al poder tener la posibilidad de crear aplicaciones específicas para el teléfono, en donde la plataforma de desarrollo es del dominio público o de código abierto, hacen que tenga aún más demanda por los usuarios y esto enriquece la cantidad de aplicaciones que pueden ser desarrollados para el teléfono celular ya que más desarrolladores se involucran en este aspecto. En estos casos, las personas que deseen realizar aplicaciones personalizadas, lo puede hacer sin necesidad de comprar o registrarse con el fabricante para poder hacer uso de las herramientas de desarrollo, con ello permite crear aplicaciones de manera libre. Un caso es el celular lanzado por Google al mercado a principios del año 2009, el cual cuenta con WIFI, Bluetooth, GPS, soporta GSM o 3G y es de código abierto utilizando Android OS como sistema operativo basado en Linux que fue desarrollado por Google Inc.

Con un teléfono celular multipropósito o inteligente, se pueden desarrollar aplicaciones y utilizar en combinación dos o más recursos para poder hacer más eficiente su rendimiento y expandir sus posibilidades, así como lo puede ser el hacer uso del sistema convencional de telefónica celular y navegar por internet al mismo tiempo utilizando WIFI, tal y como se puede realizar en dispositivos como el mencionado anteriormente. Debido a la combinación de estos tipos de sistemas de comunicaciones y tecnologías (Telefonía Celular y WIFI), se ha logrado

aumentar el uso de estos dispositivos, ya que son un medio indispensable para el desarrollo de la economía y son base primordial de los sistemas de comunicación actuales. Es por ello que cada día son más complejos y requieren de más recursos para poder soportar las demandas de los usuarios. La comunicación a internet se logra haciendo uso de WIFI a través de un punto de acceso por medio de un proveedor local de servicio de internet o por medio del proveedor de telefonía celular.

En lo que respecta a las redes inalámbricas de área local, regularmente se utiliza una conexión punto a punto, en donde se requiere transmitir información o simplemente se desea compartir recursos en un corto alcance. Así como en una conexión entre una computadora personal y una impresora, en donde la comunicación entre la computadora y la impresora puede ser por medio inalámbrico y a su vez, hacia un punto de acceso, el cual se encargara de transferir la información hacia la red por un medio físico común, en este caso el punto de acceso se encuentra en una posición fija y la computadora se puede mover libremente siempre y cuando se encuentre dentro del área de cobertura. El problema inicia cuando el usuario se aleja del punto de acceso, rompiendo el enlace de comunicación, es por ello que han surgido diferentes tipos de topologías para redes inalámbricas, en donde los usuarios pueden tener movilidad y si se aleja lo suficiente como para perder el enlace, se buscara algún otro usuario capaz de compartir o retransmitir la información a otro usuario o al punto de acceso más cercano, a este tipo de redes móviles se les denomina MANET (*Wireless Mobile Ad hoc Networks*), las cuales se encuentran dentro de la clasificación de las redes WM2Net (*Wireless Mobile Mesh Networking*), que son Redes Móviles con topología de Malla, en donde se especifican estándares para una red auto configurable de dispositivos conectados o enlazados inalámbricamente (Ritu Chadha, 2008). Una red Ad hoc es creada por un pequeño grupo de dispositivos los cuales pueden ser móviles o fijos, en donde temporalmente participan en la red para poder transferir información entre usuarios, sin la necesidad de formar parte de una infraestructura ya definida o fija.

Por otra parte, en lo que respecta a redes de banda ancha (Telefonía Celular), estas han evolucionado considerablemente ya que hoy en día los teléfonos celulares cuentan con acceso a internet y tienen grandes capacidades de transferencia de información como lo es en una red 3G o 4G y hoy en día se exploran sistemas de comunicación como lo es LTE o WIMAX. Algunas

compañías proveedoras de telefonía móvil, ofrecen posicionamiento global basado en la estructura celular existente, sin embargo los usuarios tienen que estar en un área definida por el área de cobertura de las estaciones base del sistema de telefonía para poder tener acceso al servicio.

I.3 Planteamiento del Problema

El sistema de telefonía celular, dispone de tecnología versátil que permite desarrollo libre de aplicaciones de usuario que no se limita a sólo comunicar voz. Considerando que el costo de un servicio de telefonía es en ocasiones elevado, y aunado a esto, en situaciones de emergencias como catástrofes naturales, los sistemas o infraestructuras de telefonía celular se encuentran expuestos a poder sufrir alteraciones o daños físicos, los cuales podrían ocasionar que la estructura existente dejara de funcionar y las personas que hacen uso de él quedarían parcialmente incomunicados, aun siendo este el medio de comunicación preferente por la mayoría de las personas. Por otro lado, la infraestructura y el sistema de comunicación presentan limitantes en cuanto al radio de cobertura. En zonas rurales sería imposible poder contar con este sistema o simplemente estando fuera de una zona poblada no se cuenta con este enlace debido a las limitantes de área de cobertura. El problema de cobertura, se encuentra limitado también a un sistema como el utilizado por las computadoras con interfaz WIFI, pero en un rango de distancia menor.

Es por ello que cualquiera de estos dos sistemas de comunicación (WIFI o Red de Telefonía Celular) es expuesto en la manera en que se encuentran susceptibles a poder sufrir alteraciones debido a catástrofes naturales o daños materiales a la infraestructura existente y ambos tienen limitantes en cuanto al radio de enlace.

La principal característica de las redes móviles ad hoc (MANET, del inglés *Mobile ad hoc Networks*), es el de poder descubrir en donde se encuentran o encontraran los nodos (usuarios o dispositivos participes en la red) ya que debido a la movilidad de los mismos, no siempre se

encontraran en la misma posición y debido a ello, se desarrollan protocolos de enrutamiento específicamente para este tipo de redes, los cuales se encargan básicamente de calcular las rutas para poder transferir la información y que pueda ser enviada de un nodo fuente hacia un nodo destino en donde también puede ser enviada entre nodo y nodo hasta llegar al destinatario. En los protocolos de enrutamiento existentes para redes MANET, no se incorporan el poder hacer uso de recursos que se encuentran en teléfonos inteligentes como el uso de GPS, Acelerómetros o Brújulas, ya que la mayoría de ellos fue desarrollado para ser utilizado en computadoras, además de que puedan ser desarrollados en una plataforma de uso libre (*open source*) en donde se puedan utilizar los recursos del hardware para poder tomar decisiones como por ejemplo, ajustar la potencia de transmisión de la señal de WIFI o que el código pueda ser compartido con usuarios para que más personas se involucren en su desarrollo o mejoramiento del mismo ya que cada escenario de aplicación tendrá sus propias condiciones.

I.4 Objetivos

I.4.1 Objetivo General

Explorar la posibilidad de mejorar o desarrollar un protocolo de enrutamiento para redes móviles Ad hoc (MANET, del acrónimo en inglés “*Mobile Ad hoc Network*”), que facilite el descubrimiento de rutas de enlace dentro de una red móvil. Analizar la posibilidad de implementación en un teléfono inteligente con interfaz WIFI tal y como los teléfonos celulares inteligentes de última generación “*SmartPhone*”, como los desarrollados utilizando sistema operativo Android, ya que se pueden desarrollar aplicaciones libres. Esto con el motivo de poder implementar un protocolo existente en un *Smartphone* utilizando los recursos que no se encuentran comúnmente en una computadora portátil o personal, y/o poder modificar un protocolo actual haciendo uso de algunos de los recursos disponibles en los mismos.

Utilizar las bases de las redes tipo MANET existentes para la investigación, desarrollo del protocolo y analizar los protocolos de enrutamiento existentes para las redes MANET. Tomados

como base para la simulación e implementación de un protocolo propietario que es puesto a prueba en casos específicos. Realizar pruebas de los protocolos existentes en la plataforma de simulación y analizar si es posible agregar alguno de los recursos del teléfono mencionados en las propuestas de este trabajo, examinar si es posible implementarlas y observar los resultados para verificar que la propuesta es viable.

I.4.2 Objetivos Específicos

Investigar sobre los esquemas propuestos hasta la actualidad para protocolos de enrutamiento para redes MANET y basándose en los estudios encontrados, realizar un análisis, presentar comentarios, recomendaciones para mejorar algún protocolo existente y plantear propuestas nuevas. Demostrar y explicar el protocolo propuesto con simulaciones y comparaciones con un protocolo existente.

Realizar simulaciones del protocolo de enrutamiento propuesto en la plataforma de simulación Opnet, para analizar su rendimiento y funcionamiento. Conocer sus alcances y limitaciones; realizar las comparaciones o simulaciones tomando en cuenta las mismas condiciones o parámetros de simulación.

I.5 Justificación

Como se mencionó anteriormente, los sistemas actuales de comunicación móvil tienen limitante en cuanto a áreas de cobertura, tarifas elevadas o están expuestos a sufrir daños materiales. La oportunidad de poder tener acceso a un teléfono que puede ser programado, que cuente con conexión inalámbrica WIFI y que posea portabilidad, permite una oportunidad para poder realizar aplicaciones enfocadas a redes MANET, ya que el acceso a los recursos del teléfono como lo son: el desarrollar software y poder controlar hasta cierto punto el hardware, hace que la implementación sea mucho más modular y de menor costo.

Las redes MANET surgieron de la necesidad de comunicar dos o más dispositivos móviles, como lo puede ser por ejemplo: en un sistema de comunicación para un automóvil el cual tiene una velocidad baja y en donde se desea intercambiar información ya sea climática o transferencia de posición o información general; en campos de batalla donde se requiere un corto alcance debido a la privacidad o en lugares remotos donde solamente se requiere que un grupo de usuarios se mantengan en comunicación o donde no existe alguna otra infraestructura como lugares inhóspitos o remotos cuando se realizan exploraciones. Originalmente las redes MANET no fueron desarrolladas para que tuvieran un enfoque o aplicación en telefonía celular, debido a que anteriormente no se contaba con WIFI en estos. Con la incorporación de WIFI en un teléfono celular y la libertad de desarrollar aplicaciones, se abren posibilidad de implementar redes MANET en los mismos. Es por esto que en este trabajo se mantiene el enfoque en aplicaciones donde los usuarios son personas propietarias de un teléfono y que tienen una baja tasa de movilidad, esto con el motivo de hacerlo más fácil de explicar, simular y más cercano a la realidad. Además, los usuarios participantes se encuentran en un área pequeña, como para mantener la comunicación por un periodo de tiempo considerable, debido a su baja movilidad.

Un ejemplo típico de implementación es en un campus universitario con tasas de movimiento de 1m/s aproximadamente y donde se puede tener al menos un usuario en un radio de 10 o 15 metros, haciendo posible el enlace entre los usuarios participantes con un enlace confiable. Otros ejemplos son: en cuestiones de rescate, en donde se puede crear una línea de enlace, manteniendo a las personas comunicadas o simplemente en un salón de conferencias amplio donde se puede intercambiar información entre los usuarios.

I.6 Organización del Trabajo

Esta tesis representa el trabajo de investigación realizado en el área de comunicaciones inalámbricas específicamente enfocándonos en el funcionamiento de las redes móviles Ad hoc y sus diversas aplicaciones, así como protocolos de enrutamiento utilizados para la creación de rutas de enlace.

En el Capítulo I se presenta de manera general, una breve descripción e introducción a este trabajo, en el cual se plantea un problema y sus posibles soluciones. Se muestran objetivos generales y específicos. Se describe la justificación del por qué investigar y adentrarse en este tema. Se mencionan las posibles soluciones a los problemas planteados.

El Capítulo II, introduce las redes WIFI y su variante de movilidad en modo Ad hoc, en donde se muestran los retos de dichas redes cuando se presenta el cambio de ubicación, es por ello que se requieren diferentes tipos de protocolos de enrutamiento para evitar rupturas en los enlaces, de cierta manera estos protocolos deberán de ser capaces de predecir esta movilidad y adaptarse a los cambios en la red. Se muestra una clasificación de los protocolos de enrutamiento para redes MANET y una breve descripción del funcionamiento.

El Capítulo III, muestra la propuesta de protocolo de enrutamiento para redes MANET en el cual se describe el procedimiento para llevar a cabo el descubrimiento de las rutas y adaptaciones para poder hacerlo más eficiente y óptimo en casos específicos. Cuando la red cuenta con muchos usuarios participantes, es necesario equipar al protocolo con parámetros de medición, que ayudaran a escoger la ruta óptima, ya que se presenta un mejor enlace cuando los usuarios están más cercanos que cuando no lo están y para poder hacer un descubrimiento óptimo, se deben de tomar en cuenta estos parámetros adicionales que pueden ser medibles, como lo puede ser la ubicación de los usuarios por medio de un GPS incorporado, tal y como se explica en la propuesta de direccionamiento por cuadrantes para el descubrimiento y enlace de los datos, así como tomar en cuenta parámetros de medición de potencias para escoger la ruta óptima. Se

presentan simulaciones y graficas de la propuesta utilizando el simulador OPNET, se hacen comparaciones con uno de los protocolos de posible mayor uso como lo es AODV y se presenta una manera de poder adicionar la propuesta a este protocolo, al cual una vez incluyéndole esta propuesta presenta mejores resultados y mayor rapidez al encontrar al usuario destino.

El Capítulo IV, Muestra las conclusiones a las que se ha llegado en base a las simulaciones; se mencionan el estado del arte a nivel global por parte de instituciones o investigadores. Se mencionan las implementaciones y desarrollos existentes actuales. Se finaliza mencionando las posibles implementaciones futuras y recomendaciones por parte del autor para poder continuar con el estudio presentado.

I.7 Descripción del Proyecto

En los sistemas de comunicación para redes alambradas o cableadas existen diferentes topologías o configuraciones para poder administrar el medio de comunicación y enlazar diferentes sistemas. Un sistema de comunicación normalmente opera teniendo un concentrador central o retransmisor de la información o en casos donde se comparte el mismo medio de comunicación tal y como se muestran en la Figura I.1, algunas de ellas son del tipo bus, estrella, anillo o árbol.

La topología “*Bus*” es probablemente la más sencilla de entender y de implementar, es una simple topología en la cual todos los nodos están conectados a un solo medio en común.

Ventajas:

- Instalación y mantenimientos reducidos.
- Agregar nodos es sencillo.
- Se requiere menos cableado que otras topologías.
- Costos moderados al implementar esta topología.

Desventajas:

- Si el medio de comunicación se aísla en cualquier punto, el acceso a la red de los nodos subsecuentes se perderá.
- La transferencia de datos es lenta comparada con otras topologías por que se comparte el ancho de banda.

La topología de red “Estrella” es un tipo de topología de red de las más populares utilizada por organizaciones. En la topología de red, todos los nodos en la red están conectados a un nodo central el cual administra el manejo de la información (Karris, 2009).

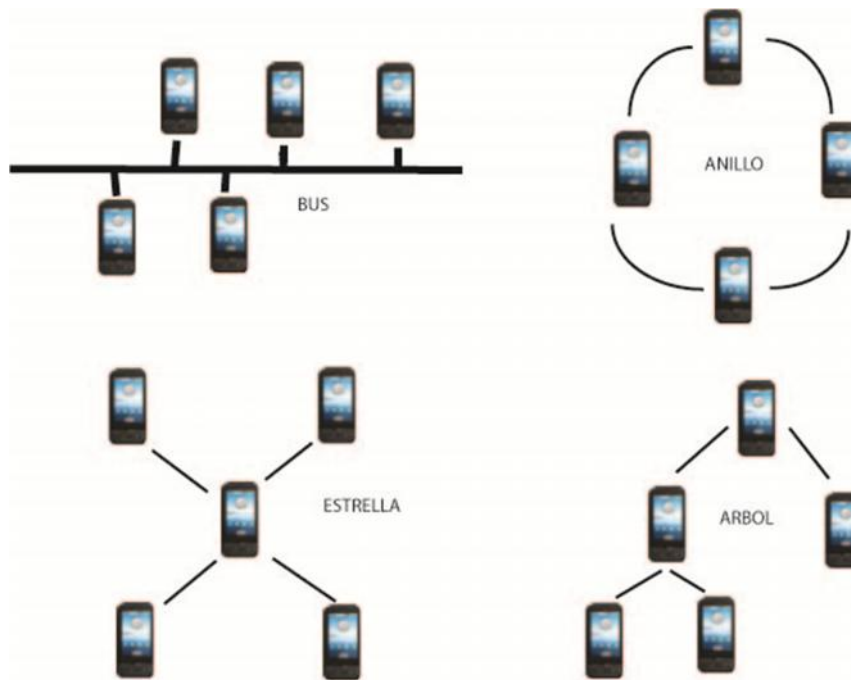


Figura I.1. Ejemplos de Topologías de Redes.

Una de las desventajas de algunas de ellas como en la de “Anillo” o la de “Árbol”, puede ser que la ausencia de uno de los nodos hace que la comunicación hacia ciertos usuarios se deshabilite. La topología “Bus” hace que todo el ancho de banda disponible disminuya debido a que todos los usuarios comparten el mismo medio en común. Por otro lado los nodos utilizados como concentradores o repetidores de la información, al dejar de operar hacen que la red quede sin comunicación (Karris, 2009).

Las redes inalámbricas también poseen diferentes tipos de topologías en las cuales se adecuan de acuerdo al alcance o radio de transmisión capaz de ser soportado por el sistema, un ejemplo típico o conexión entre dispositivos en conexión del tipo Ad hoc (se refiere a que todos los usuarios comparten la información y funcionan como receptores pero también transmiten o retransmiten la información), en el cual tal y como se muestra en la Figura I.2, el nodo “A” se está comunicando al nodo “E” y los nodos intermedios solo retransmiten la información.

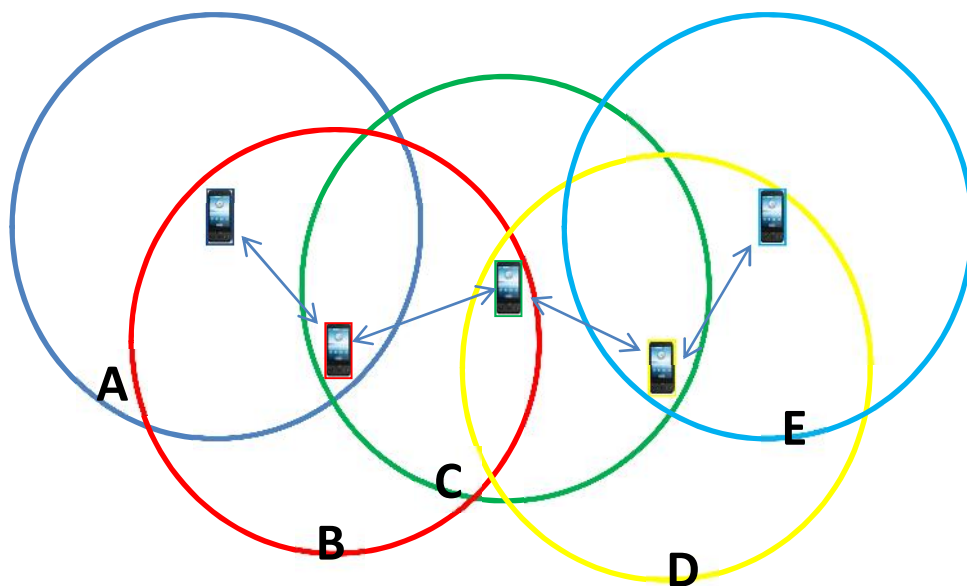


Figura I.2. Conexión Típica Entre Dispositivos Ad hoc.

Por otra parte cuando un usuario se desconecta o se aleja de su área de cobertura (Figura I.3) la conexión se pierde dejando incomunicados a los usuarios A y E tal y como al topología de “Árbol”.

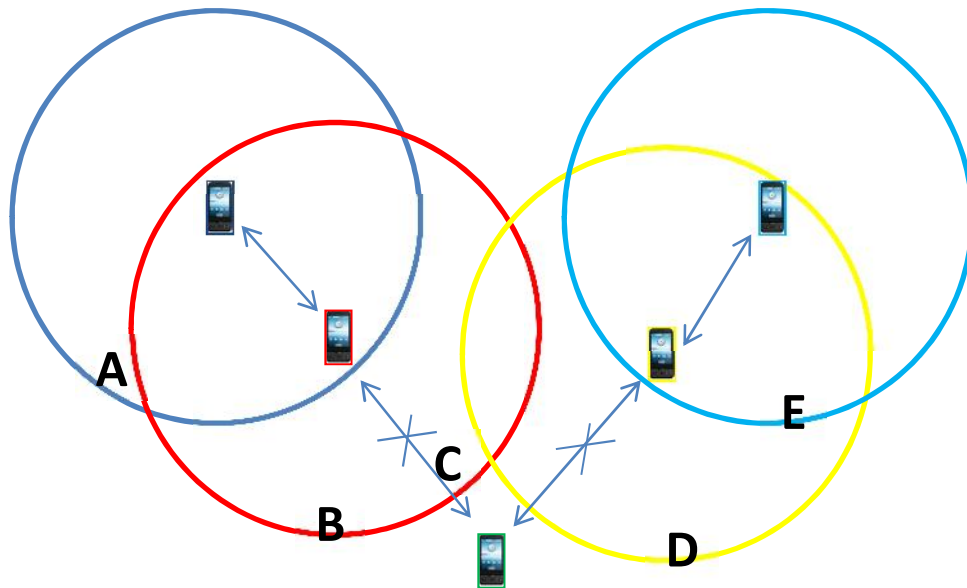


Figura I.3. Movimiento de un nodo en una red Ad hoc.

La ventaja es que las redes tipo MANET, son capaces de predecir estas discontinuidades y automáticamente buscan una ruta alterna (Protocolos de Enrutamiento), es por ello que al crear redes del tipo malla en modo Ad hoc, en donde cada nodo es libre de poder moverse sin afectar el enlace de los dispositivos restantes. En la Figura I.4, se puede observar que el nodo C (usuario C) se desplaza hacia la parte inferior de la figura, pero existe un nodo F que se está moviendo a una posición en donde los nodos B y D pueden comunicarse. Algunos algoritmos de enrutamiento son capaces de detectar estos movimientos y predecir que el nodo F se encontrará en un área de cobertura y es así como los nodos B y D pueden direccionar la información hacia F sin perder el enlace que anteriormente se tenía con el nodo C ya que será re direccionado a través de F para hacer llegar la información correctamente hacia E o cuando otro nodo está en el rango de alcance de B o D.

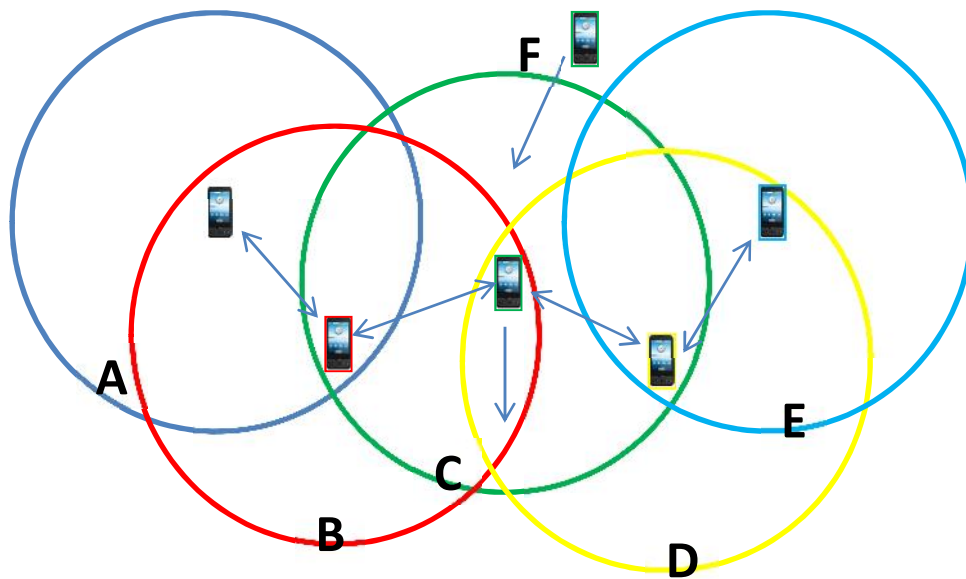


Figura I.4. Movimientos de Nodos en una Red Ad hoc.

El sistema propuesto está basado en una red tipo malla para redes Ad hoc, en la cual todos los dispositivos participantes tienen la habilidad de funcionar como receptores o como repetidores de información, de esta manera todos los usuarios son capaces de comunicarse entre sí ya que la conexión entre ellos dependerá de que tan poblada sea la red (Figura I.5).

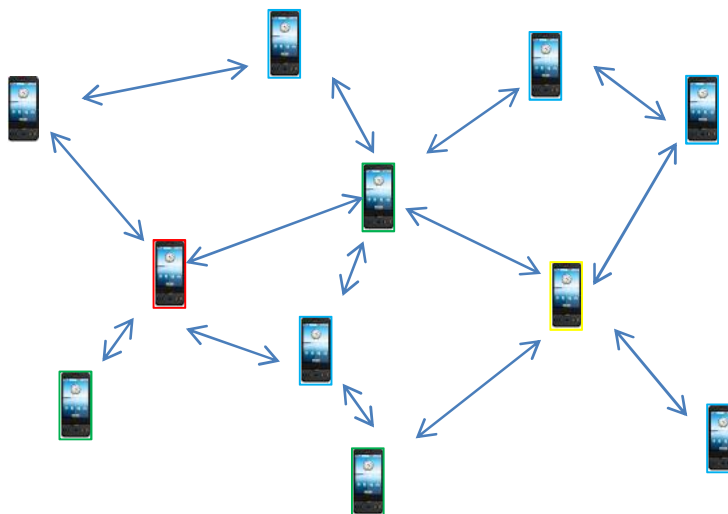


Figura I.5. Red Ad hoc tipo Malla.

Como se puede observar en la imagen anterior, las flechas indican conexión directa de nodo a nodo, en modo Ad hoc cualquier nodo puede enviar información a cualquiera que esté dentro de la malla y cuando un usuario nuevo entra en contacto con un nodo participante en la red, automáticamente tendrá alcance a cualquier nodo ya partícipe en la red.

Esta propuesta presenta un protocolo de enrutamiento para redes del tipo Ad hoc, en la cual se aplicará en redes con un alcance limitado, como lo puede ser un campus universitario, dentro de una empresa o en salas de conferencia donde la cantidad de usuarios es suficiente como para cubrir en su mayoría el área total o cada usuario tiene al menos dos usuarios cercanos para poder establecer el enlace de comunicación. El protocolo se desarrolla en la capa de Aplicación desde donde se controlará tráfico proveniente de la Capa de Red en conjunto con la pila de TCP/IP para distribuir la información sobre la red.

II. Marco Teórico

II.1 Clasificación de Redes Inalámbricas por su Cobertura

Se ha clasificado a las redes inalámbricas principalmente por su radio de alcance y el tipo de aplicación o enfoque en el que se desarrollan, la importancia de las redes inalámbricas hoy en día es de primordial entendimiento y estudio en las áreas de ingeniería electrónica o comunicaciones ya que los fabricantes de productos de consumo para hogar y oficinas se han enfocado en desarrollar productos que ofrezcan flexibilidad y movilidad, debido a ello se han creado e implementado diferentes dispositivos semiconductores los cuales facilitan la implementación de un sistema inalámbrico y es el sistema de comunicación más utilizado, para las redes inalámbricas el radio de cobertura es de principal importancia.

II.1.1 Redes Inalámbricas de Corto Alcance

Las redes inalámbricas de corto alcance están divididas en dos categorías principales (Figura II.1): Redes inalámbricas de área local (WLAN, acrónimo de “*Wireless Local Area Network*” por sus siglas en ingles) y redes inalámbricas de área personal (WPAN, acrónimo de “*Wireless Personal Area Network*” por sus siglas en ingles), donde WLAN es una extensión de las redes cableadas locales (LAN, acrónimo de “*Local Area Network*” por sus siglas en inglés) tal y como lo es Ethernet (IEEE 802.3). En donde un dispositivo WLAN puede integrarse a una LAN (Farahani, 2008).

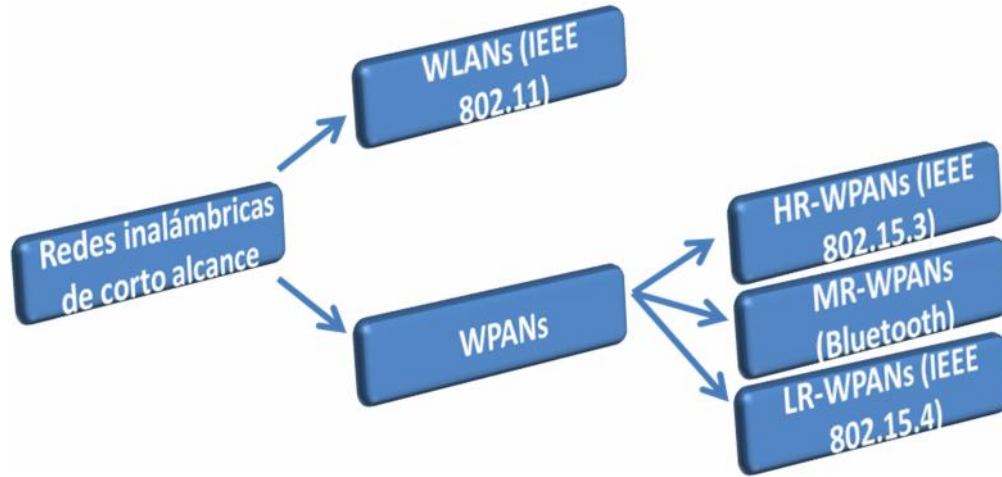


Figura II.1. Redes Inalámbricas de Corto Alcance.

II.1.2 Redes WPAN

Las redes WPAN (*Wireless Personal Area Network*) o Red Inalámbrica de Área Personal, no se han desarrollado para remplazar a las redes cableadas existentes (LAN), si no que fueron creadas para proporcionar los medios suficientes para la comunicación eficiente haciendo un bajo uso de energía, dentro de un espacio de operación personal, sin la necesidad de una infraestructura física ya existente. El espacio de operación personal (“*Personal Operation Space*”), es el área esférica de cobertura que rodea a un dispositivo inalámbrico y tiene un radio aproximado de 10m (Farahani, 2008).

Este tipo de Redes proporciona conectividad inalámbrica a varios dispositivos dentro de una zona delimitada como lo es una habitación, es por ello que son conocidas también como redes de hogar, la cual facilita el uso de múltiples dispositivos y el uso de periféricos para la interconexión de datos (impresoras, escáner, cámaras digitales, cámaras de video, teléfonos celulares) o comunicación de voz, video, distribución de música y el uso de dispositivos de vigilancia para dispositivos de mando y control (lectura de medidores o sensores, medición de temperatura, regulación de intensidad de luz). Existen varias normas que abordan el desarrollo de WPAN, es decir, IEEE 802.15 WPAN Bluetooth y por supuesto ZigBee (Ghetie, 2008).

Las WPANs están divididas en tres clases (Figura II.1). HR- WPANs (Velocidad Alta “*High-Rate*”, IEEE 802.15.3), MR- WPANs (Velocidad Media “*Medium Rate*”, Bluetooth), y LR-PANS (Velocidad Baja “*Low-Rate*”, IEEE 802.15.4). Un ejemplo de una HR-WPAM es IEEE 802.15.3 con una velocidad de datos de 11 a 55 Mbps (Mega bits por segundo), esta velocidad ayuda a aplicaciones de tiempo real, tal como la transferencia de video de una cámara a un televisor. Bluetooth, con una velocidad de 1 a 3 Mbps, es un ejemplo de una MR-LAN y puede ser utilizado en transmisión de voz de alta calidad. ZigBee, con una velocidad de datos de 250 Kbps, es clasificada como LR-WPAN (Farahani, 2008).

II.1.3 Redes WLAN

Las redes WLAN (*Wireless Local Area Network*) o Redes Inalámbricas de Área Local, se encuentran reguladas por la IEEE (del inglés “*Institute of Electrical and Electronic Engineers*”), en el estándar IEEE 802.11. el primer estándar introducido (802.11b), fue lanzado en la frecuencia de los 2.4GHz en la banda ISM (del inglés “*Industrial, Scientific and Medical*”), el 802.11b utiliza DSS (por sus siglas en inglés “*Direct-Spread Spectrum*”), como sistema de modulación, para ofrecer una velocidad de datos de hasta 11Mbps dentro de un rango de 100m, después, la IEEE introduce la banda de los 5GHz, el cual es el primer estándar que utiliza modulación OFDM (del inglés “*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*”) con una velocidad de datos de 54Mbps dentro de los 100 metros de rango (Ergen, 2009).

Las redes WLAN tienen alta presencia en la industria, hogares, oficinas, cafés de internet o aeropuertos. La contraparte Europea de las LAN es HyperLAN, estandarizada por la ETSI (del inglés, “*European Telecommunications Standard Institute*”). Existen primordialmente tres especificaciones actualmente implementadas: 802.11a, 802.11b, and 802.11g. La más popular de estas es la 802.11b, también llamada WIFI o *Wireless Ethernet*. Las WLAN operan en la banda abierta del espectro de frecuencias de 2.4 GHz, 5 GHz de hasta una distancia de 100m (Ghetie, 2008).

II.1.4 Redes WMAN

Las redes WMAN (*Wireless Metropolitan Area Network*) o Redes Inalámbricas de Área Metropolitana proporcionan un acceso directo de banda ancha en redes inalámbricas fijas para conexión de red en áreas metropolitanas. La primera tecnología WMAN fue el Servicio Local Distribuido Multipuntos (LMDS “*Local Multipoint Distributed Service*”) y el Sistema de Distribución Local Multipuntos (MMDS “*Multi-channel Multipoint Distributed Service*”), LMDS es una tecnología inalámbrica fija, utilizando antenas direccionales, trabajando en el espectro de las microondas de los 28-40 GHz. Es requerido un acceso de línea de vista entre los transmisores y receptores debido a su longitud de onda, es sensible a condiciones ambientales como la lluvia. MMDS es una tecnología inalámbrica fija alterna para banda ancha local, no requiere estrictamente una línea de vista libre entre los transmisores y receptores debido a que trabaja en los 2.1-2.7 GHz. En la cima de las tecnologías WMAN, se encuentra WiMAX (*Wireless Metropolitan Area Exchange*), UMB (*Ultra-high Mobile Broadband*) y LTE (*Long Term Evolution*). Son un acceso directo como alternativa para las comunicaciones inalámbricas (Ghetie, 2008).

II.1.5 Redes WWAN

Las redes WWAN (*Wireless Wide Area Network*) o Redes Inalámbricas de Área Extensa, son un tipo de redes que provee conexión directa a la red para grandes áreas, las WWAN's son una amplia familia como las redes de telefonía celular con varias generaciones (1G, 2G, 3G), con varias tecnologías móviles y servicios implementados (AMPS, GSM, CDMA, GPRS y UMTS). Soportan servicios de voz y datos que llegan a tener velocidades de transmisión de datos de hasta 2Mbps. Las redes de telefonía celular utilizan bases fijas con una propagación horizontal de la señal. Las redes satelitales están dentro de esta clasificación ya que proporcionan una cobertura global pero utilizan transmisión terrestre hacia un satélite y del satélite a tierra. En este tipo de comunicaciones la velocidad de transmisión de los datos es de hasta 64Mbps. Los satélites se

encuentran posicionados a una altura de 35,000 km. Este tipo de enlaces se caracteriza por el retardo en la comunicación (tiempo de subida y bajada) (Ghetie, 2008).

II.2 Dispositivos de Red Inalámbrica

Las redes WIFI están constituidas por un transmisor y un receptor, que son utilizados en una red para realizar el enlace, existen dos dispositivos principales que se encargan de transmitir y recibir los datos, estos son llamados adaptadores de red y puntos de acceso. Un adaptador de red está conectado a una computadora o algún otro dispositivo como lo puede ser una impresora, esto para el intercambio de datos hacia una red inalámbrica, estas son las tarjetas que se insertan en una computadora para poder tener enlace a la red. Un punto de acceso es la estación base para una red, son conocidos como “*Access Points*” o “*Routers*”, y comúnmente es un puente entre la red inalámbrica y una red cableada tradicional. (Ross, 2008).

II.2.1 Adaptador de Red

Los adaptadores de red WIFI puede tener varias formas físicas tal como:

- “*Plug-in PC Card*”, que se ajusta a las entrada de PCMCIA (del inglés “*Personal Computer Memory Card International Association*”), en la mayoría de las computadoras personales.
- Adaptadores de red interna, en las tarjetas PCI que caben dentro de una computadora de escritorio.
- Adaptadores Externos USB.
- Adaptadores inalámbricos internos para computadoras portátiles (*Laptops*).
- Plug-in adaptadores para PDA y otros dispositivos de mano.

II.2.2 Puntos de Acceso

Los puntos de acceso o “*Access Point*”, son a menudo combinados con otras funciones de red. Es muy posible encontrar un punto de acceso del tipo “*stand-alone*” que sólo se conecta a una LAN cableada mediante un cable de datos, pero existen otras opciones. Las configuraciones de los puntos de acceso común incluyen:

- Simples estaciones base con un enlace a un puerto de Ethernet para la conexión a una red LAN.
- Estaciones base que incluyen un *switch*, *hub* o *router* con uno o más puertos Ethernet con cable, junto con el punto de acceso inalámbrico.
- Enrutadores de banda ancha que ofrecen un puente entre un módem de cable (“*Cable modem*”) o un Puerto DSL (“*DSL Port*”) y el punto de acceso inalámbrico.
- Los puntos de acceso de software que utilicen uno de los adaptadores de interfaz de red inalámbrica en su ordenador como estación base.

El diseño físico de los puntos de acceso varía de un fabricante a otro. Algunos parecen dispositivos industriales que estaban escondidos a la vista, en el suelo o montados en una pared poco visible, pero otras (especialmente las orientadas al mercado de la red en hogares) han mejorado su diseño como formas que parecen haber sido diseñados para la parte superior de una mesa de café o, más probablemente, junto a un equipo de escritorio. Algunos tienen antenas internas, otros tienen una forma vertical, y otros tienen conectores para antenas externas (que puede o no puede ser suministrado con el fabricante). Independientemente de su tamaño y forma, cada punto de acceso incluye un radio que envía, recibe mensajes y datos entre las estaciones de la red y un puerto Ethernet que se conecta a una red cableada (Ross, 2008).

II.2.3 Características de las Antenas

Las antenas externas vienen en muchas formas y tamaños. Cuando se selecciona una antena, se debe considerar el patrón de cobertura, la ganancia, factor de forma. Existen diferentes diseños de antenas ya sean incluidas en el circuito impreso o externas.

II.2.3.1 Patrón de Cobertura

La hoja de especificaciones para cada antena incluye un diagrama que muestra la forma del patrón de cobertura. En general, el patrón será o bien omnidireccional (una antena que emite o recibe igualmente bien en todas las direcciones), direccional (con la fuerte de radiación o recepción en una sola dirección), o figura de ocho (con fuerte cobertura hacia la parte delantera y trasera de la antena y de cobertura débil hacia los costados) la más común utilizada en WIFI es omnidireccional (360 grados).

Los listados de catálogos y folletos de antenas direccionales, por lo general incluyen un ángulo de apertura, ancho de haz, o la captura de superficie expresada en grados. El ángulo de apertura es la sección de un círculo que contiene la cobertura de la máxima potencia de la antena o la sensibilidad. Por ejemplo, si una antena tiene un ángulo de apertura de 45 grados, la máxima cobertura y sensibilidad se extiende hacia afuera desde la parte delantera de la antena en un ángulo de 45 grados.

La mayoría de los fabricantes indican el ancho del haz en más de un plano. Esto puede ser de suma importancia cuando se está planeando colocar la antena en un punto como lo puede ser en una pared, techo, o una torre y se quiere intercambiar datos con los nodos de la red sobre el terreno (Ross, 2008).

II.2.3.2 Ganancia

La ganancia de una antena es la relación entre la potencia de transmisión o sensibilidad de recepción con respecto a una antena dipolo estándar o una isotrópica. La ganancia se expresa normalmente como dBi (decibels sobre una antena isotrópica). Una antena con un valor alto dBi tiene más ganancia que uno con un valor inferior.

O también puede ser definida como la razón de la intensidad de radiación en cualquier dirección a la radiación de intensidad que sería obtenida si la potencia aceptada por la antena fuera radiada de manera isotrópica y se expresa de la siguiente manera.

$$G = 4 \pi \frac{\text{intensidad de radiacion}}{\text{potencia total de entrada}}$$

Hay a menudo una disyuntiva entre el ancho de haz de la antena y su ganancia. Esto se debe a que en una antena con un ángulo de abertura estrecha se centra la misma cantidad de energía (o sensibilidad) en un área más pequeña (Ross, 2008).

II.3 Modos de Operación de Redes Inalámbricas

Las redes inalámbricas se pueden clasificar en varias categorías, como puede ser el tipo de infraestructura utilizada, por su rango de cobertura, por el modo de operación o por el tipo de topología utilizada.

II.3.1 Basadas en Infraestructura

Los dispositivos se comunican hacia un Punto de Acceso, también son llamadas Redes Inalámbricas Locales o todas aquellas que sean administradas por un controlador central.

De Usuario a Usuario

Cualquier dispositivo puede comunicarse entre sí, siempre y cuando este dentro del rango de alcance, también es llamado Red de Área Personal (PAN) o Redes Ad hoc que también son llamadas redes multisalto.

II.3.2 Redes Inalámbricas Multisalto

Los nodos intermedios pueden re-enviar la información recibida que va dirigida hacia otro usuario participante en la red. Se requiere que la información pase de usuario a usuario para asegurar el enlace y transmisión de la información, sirve para extender la cobertura de una red existente. Este tipo de redes ofrece mayor escalabilidad, adaptabilidad y es fácil la implementación para la expansión de la red, estas pueden contener nodos fijos en su mayoría.

II.3.3 Redes Móviles Ad hoc (MANET)

Es un conjunto de estaciones móviles y es principalmente basada en nodos repetidores, en la cual la topología de red cambia constantemente y es aplicada en diferentes escenarios como lo puede ser: Aplicaciones militares (combate), desastres naturales, emergencias médicas, navegación virtual y comunicación a distancia. Estas redes comúnmente contienen nodos movibles, los cuales se encuentran en diferentes posiciones continuamente.

II.3.4 Redes Inalámbricas de Malla (WMN)

Las WMN (*Wireless Mesh Network*) son una combinación de redes basadas en infraestructura y de usuario a usuario, ya que está constituida por nodos móviles y nodos estáticos. Sus aplicaciones se encuentran en sistemas inteligentes de transporte, seguridad pública, acceso público a internet, acceso residencial de banda ancha y educación a distancia.

II.3.5 Redes de Sensores Inalámbricos (WSN)

Las WSN (*Wireless Sensor Networks*) inicialmente fueron desarrolladas para nodos estáticos, la cual está conformada por un conjunto de pequeños nodos comúnmente referidos como “motes”, generalmente es una topología estática, es una opción barata para monitorear terrenos inaccesibles u inhóspitos, tienen aplicaciones médicas, plantas nucleares o químicas, monitoreo ambiental, monitoreo oceanográfico y en campos de batalla.

II.4 Estándar IEEE 802.11 para Redes Inalámbricas

El estándar IEEE 802.11 define el uso de las capas físicas y enlace de datos del modelo OSI, especificando sus normas de funcionamiento en una red inalámbrica. En 1985 los Estados Unidos y la FCC (“*U.S. Federal Communications Commission*”), emitió unas nuevas regulaciones que habilita que las comunicaciones sin licencia utilizaran varias bandas, incluyendo la banda 2.4 GHz, que anteriormente estaba reservada para equipos industriales de emisiones no deseadas (Chandra, Dobkin, Bensky, Olexa, Lide, & Dowla, 2008) . Existen varias versiones pero las más utilizadas en los equipos de uso comercial son 802.11b, 802.11g y 802.11n.

II.4.1 IEEE 802.11s *Wireless Mesh Networking*

El propósito de este proyecto (802.11s), es estandarizar los protocolos para un sistema de redes inalámbricas basados en los estándares IEEE 802.11(Lide, 2007). La arquitectura propuesta

para este sistema es una red tipo malla que es conectada inalámbricamente utilizando protocolos 802.11. Los nodos en la red descubrirán a nodos vecinos en forma dinámica y los protocolos de enrutamiento serán mejorados para mejorar la eficiencia de los paquetes. Las redes 802.11 serán auto configurables (Chandra, Dobkin, Bensky, Olexa, Lide, & Dowla, 2008).

Hay cuatro aspectos que se abordan en el estándar 802.11s: Topología, enrutamiento, Asignación de Canal y la Red de entorno (*BackHauling*). Esta topología analiza el descubrimiento de nodos en una red de malla y la clasificación jerárquica entre los nodos, en donde algunos funcionan solo como usuarios, otros se encargan de concentrar y distribuir el tráfico dentro de la red y otros se encargan de funcionar como puertas de enlace (Gateway) para interactuar con otro tipo de redes como las cableadas. Los paquetes contienen información sobre la ruta, direccionamiento y utilizan algoritmos que facilitan la selección de la ruta más óptima. El protocolo HWMP (*Hybrid Wireless Mesh Protocol*) fue adoptado como el algoritmo obligatorio inspirado por el protocolo AODV (*Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing*), publicado en la IETF en el RFC 3561. Algunos algoritmos alternativos también son considerados. La asignación de canal es realizado utilizando enlaces sencillos o duales, haciendo uso de las bandas de frecuencias libres en los rangos de 2.4 GHz y 5.8 GHz, *Backhauling* trata las conexiones de redes inalámbricas de malla con el mundo externo, utilizando nodos Gateway o portales conectados a redes cableadas (Ghetie, 2008).

El estándar IEEE 802.11 define las funciones de la parte física y el control de acceso al medio (MAC) necesarios para interconectar los puntos de acceso para administrar a los clientes en la red haciendo uso de difusiones únicas o *multicast*. Un *Mesh Point* (MP) puede actuar como Access Point o una estación móvil, el cual provee funciones de re- envío parcial o total. Un nodo MP procesa el descubrimiento de los vecinos y selecciona el canal a utilizar para poder comunicarse con otros nodos utilizando canales bidireccionales. Las estaciones móviles o dispositivos de usuario final son tradicionalmente estaciones sin capacidades de malla. Estos dispositivos serán conectados de forma alamburada a puntos de accesos de la malla (*Mesh Acces Point* “MAP”), el estándar también define un portal *Mesh* (MPP), que interconecta múltiples WLAN del tipo malla. El MPP puede también tener la función de entrada o salida a una red cableada. Cada red tipo

mallas es identificadas por una identificación de malla (*Mesh ID*) el cual es equivalente al SSID (*Service Set Identifier*)(Zhang, 2009).

El coordinador con función de acceso al medio (*Medium-Access Coordinator Function* “MCF”) es una sub capa MAC el cual es desarrollado en la parte superior de la capa física para proveer servicios de malla. El MCF es responsable de garantizar la configuración de la malla y la administración y la seguridad de la red basándose en el estándar 802.11i (Zhang, 2009).

Para poder construir una red *mesh* o agregar un nuevo nodo a una red existente se requiere algunos procedimientos, cómo lo es el descubrimiento de vecinos, calidad del enlace y la selección del canal (Wu & Tseng, 2007).

II.5 Voz Sobre WIFI (VoWIFI)

El crecimiento de las redes inalámbricas basadas en la familia de estándares IEEE 802.11 ha sido una de las historias de crecimiento más exitosas en la industria de la tecnología en la última década.

Inicialmente las redes inalámbricas WLAN (*Wireless LANs*) o como ahora comúnmente se les conoce WIFI, surgieron como una alternativa de remplazo a las conexiones alambradas comunes (LAN). Pero debido al crecimiento de sus capacidades como altas tasas de transferencia (*Data Rates*), mejoras en la calidad del servicio (QoS “*Quality of Service*”) y funciones como ahorro de energía; se ha logrado que rápidamente hoy sean parte integral de una gran variedad de dispositivos electrónicos, incluyendo teléfonos, dispositivos de juego, reproductores de música, sensores y otros dispositivos de consumo; aunado a esto, una de las aplicaciones de mayor crecimiento ha sido la transmisión de voz sobre las redes inalámbricas.

Normalmente para poder transmitir voz a través de una conexión a internet es usando algún servicio de VoIP (*Voice over IP*), utilizando algún medio de comunicación con acceso a internet, como lo puede ser una computadora o un teléfono celular con conexión a internet ya sea mediante WIFI o utilizando los servicios de banda ancha del proveedor del servicio.

Normalmente se utiliza un micrófono y alguna interfaz de usuario a través de algún navegador de internet, en el cual se requiere una cuenta de usuario el cual habilitará al usuario para poder hacer uso del servicio; estos servicios son proporcionados por compañías las cuales ofrecen tarifas para comunicaciones de voz sobre IP como lo puede ser SKYPE (SKYPE, 2010) o VONAGE (VONAGE, 2010), siendo estos algunos de los más conocidos; actualmente dos de los cuales están obteniendo mayor uso son Google Voice de Google y la ahora más reciente compra de Google GIZMO5 (Google, 2010).

La mayoría de los servicios de VoIP utilizan el protocolo de iniciación de sesión (SIP, *Session Initiation Protocol*) en donde se especifica el control a internet de llamadas telefónicas y otros servicios multimedia. SIP es compatible con HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) que controla la red mundial (WWW, “*World Wide Web*”). Un teléfono VoIP deberá de soportar SIP o podrá conectarse a una computadora o *router* que soporte SIP (Ross, 2008). Normalmente los costos de llamadas de un teléfono VoIP son mucho más baratas que al utilizar una línea tradicional ya sea de casa o de celular (Farwell, 2008).

La alianza WIFI, tomando conciencia del potencial significativo de transmitir voz sobre WIFI (VoWIFI “*Voice over WIFI*”), ha emitido un programa de certificación denominado Voz-Personal (*Voice-Personal*), en el cual se estipulan los requerimientos a seguir para la implementación de ello.

II.5.1 Requerimientos para VoWIFI

La voz es tradicionalmente transmitida con una latencia fija, está orientada a conexión y es transmitida a través de un medio con una baja tasa de error.

Latencia (*Latency*): una comunicación interactiva de dos vías como lo es la voz, requiere que el medio introduzca una latencia de paquetes limitada. La comunicación debe de permitir un tiempo de palabra para una conversación cara a cara. Generalmente el límite aceptado de latencia en una red VoWIFI es de 50ms.

II.5.2 Variación (*Jitter*)

Esta es la variación del tiempo de llegada de los paquetes. Aunque a cargo de un “Buffer” en el extremo del receptor. La red por sí solo no puede estar exenta de esto.

II.5.3 Pérdida de Paquetes (*Packet Drops*)

Los protocolos empleados para llevar paquetes de voz no proporcionan un mecanismo para retransmitir paquetes perdidos en la transmisión. De hecho, incluso si lo hicieran, esto no sería efectivo hacerlo ya que al re enviar un paquete violaría los requerimientos de latencia. El protocolo WIFI (WLAN) provee envíos de paquetes a nivel MAC y este mecanismo le ayuda a corregir los paquetes de errores que se pueden encontrar, aun teniendo un canal de transmisión en buenas condiciones. Los dispositivos VoWIFI podrían limitar la perdida de paquetes en un porcentaje pequeño cuando las condiciones del canal son buenas.

II.5.4 Ahorro de Energía (*Power Saving*)

Un dispositivo inalámbrico sería utilizado en realidad solo una parte del tiempo, por ejemplo podría ser utilizado de una a dos horas al día. Sin embargo, se espera que estos dispositivos estén siempre listos para ser utilizados por el usuario en cualquier instante.

Las especificaciones originales del estándar 802.11 indican que se puede estar en modo de reposo “*Sleep Mode*” y despertar ocasionalmente el dispositivo (en este caso el radio

inalámbrico) para verificar si existen paquetes pendientes. Pero este ahorro de energía no ayuda para las llamadas de voz, en donde el arribo de paquetes es cada 20 o 30 ms.

II.5.5 Rango de Operación (*Range of Operation*)

La voz requiere solo una pequeña fracción del ancho de banda esto hace que sea posible utilizarla sobre una red WIFI, pero requiere fiabilidad independientemente de la ubicación.

La implementación inalámbrica de usuario, requiere que en la capa física este obligada a manejar las trayectorias múltiples y en escenarios de interferencia producidos en las esquinas y algunos lugares remotos de oficinas u hogares.

II.5.6 Itinerancia (*Roaming*)

Un usuario VoWIFI en una gran oficina, con facilidad podía alejarse más allá del rango de su punto de acceso mientras realiza una llamada. Aunque las empresas están equipadas con puntos de acceso suficientes a fin de ofrecer conectividad WIFI en todo el edificio, cuando se cambia de un punto de acceso a otro, se debe hacer con la suficiente rapidez para mantener la conexión de voz intacta para el usuario (Venkatesh & Reddy, 2008).

II.6 Redes Ad hoc

Una red móvil Ad hoc, como la que se muestra en la Figura II.2, es una conexión entre terminales que comparten datos digitales sin la utilización de una infraestructura fija, equipados con transceptores inalámbricos (“*Wireless Transeivers*”) que pueden comunicarse entre sí. La comunicación es gestionada por la transmisión de tramas de datos a través de un canal

inalámbrico común. La ausencia de cualquier infraestructura fija, como una serie de estaciones base, hace que las redes Ad hoc sean radicalmente diferentes de otros sistemas de redes inalámbricos LAN como los estructurados para utilizar un punto de acceso el cual gestiona el tráfico en la red.

Típicamente existen configuraciones generales para redes las cuales se pueden clasificar en dos:

1. Redes Basadas en Infraestructura.

- Redes fijas y Puertas de Enlace (*Gateway*) cableados.
- Puentes (*Bridges*) para estas redes son conocidas como estaciones base.

2. Redes Móviles sin Infraestructura (Ad hoc Networks).

- Enrutadores no fijos.
- Todos los nodos pueden moverse y ser conectados dinámicamente de una manera arbitraria.
- Cada nodo tiene la función como enrutador. Encuentra y mantiene las rutas a otros nodos.

La comunicación desde un dispositivo móvil en una red con infraestructura fija, como una red celular, siempre se mantiene en comunicación con la estación base, en contraste una terminal móvil (nodo) en una red Ad hoc puede comunicarse directamente con otro nodo que se encuentra dentro de su rango de transmisión, como se muestra en la Figura II.2. Con el fin de transmitir a un nodo que se encuentra fuera de su área de radio, los datos se transmiten en una secuencia por los nodos intermedios que realizan un almacenamiento y reenvío de datos (Principio de transmisión “*multisaltos*”). Todos los nodos en una red Ad hoc son requeridos para transmitir la información de otros nodos. Por lo tanto, en ocasiones este tipo de redes es también llamado red inalámbrica multisaltos (*multihop*).

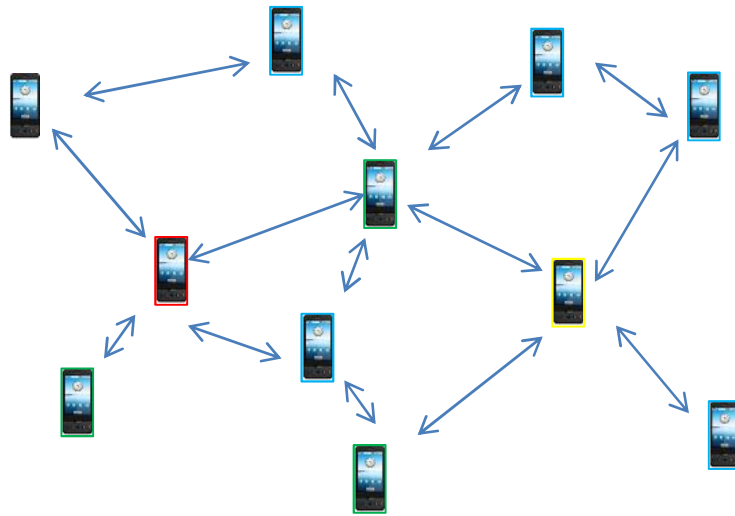


Figura II.2. Red Móvil Ad hoc.

Dado que en una red Ad hoc no se requieren estaciones base fijas, las redes Ad hoc pueden ser creadas en el momento, sin la necesidad de realizar una planificación anticipada o la construcción de una costosa infraestructura de red. Por lo tanto, estas redes son ideales para aplicaciones en las que dicha infraestructura no está disponible o es poco confiable. Las aplicaciones típicas incluyen las redes de comunicaciones militares en campos de batalla, en operaciones de rescate de emergencia, operaciones submarinas, la vigilancia ambiental, y la exploración espacial.

Debido a su calidad de adaptación para la implementación y de relativamente bajo costo de aplicación, las redes Ad hoc también se utilizan en lugares donde son más baratos que sus similares redes estructuradas. Ejemplos de estas aplicaciones consisten en una red de computadoras portátiles en las salas de conferencias, la red de equipos electrónicos digitales y aparatos (por ejemplo, vídeo, televisión, computadoras, impresoras, radios) para formar una red de área local, las redes de robots móviles y juguetes inalámbricos. Recientemente, ha habido un

interés creciente de la utilización de las redes de sensores inalámbricos, para llevar a cabo la implementación de sistemas de vigilancia no tripulados y seguimiento de operaciones de rastreo.

El diseño de redes Ad hoc se enfrenta a muchos retos únicos. La mayoría de estos surgen debido a dos razones principales. La primera es que todos los nodos en una red Ad hoc, incluyendo la fuente de los nodos (origen), los destinos correspondientes, así como los nodos de enrutamiento de reenvío de datos entre ellos, pueden ser móviles. Así como el rango de transmisión es limitado, la conexión inalámbrica entre un par de nodos vecinos se rompe tan pronto como se mueven fuera de su rango de alcance. Por lo tanto, la topología de red se define por el conjunto de enlaces de comunicación física en la red (las conexiones inalámbricas entre todos los pares de nodos que se puede comunicar directamente entre sí). Esto implica que el camino multisaltos para cualquier par dado de la fuente y los nodos destino también cambian con el tiempo. La movilidad también hace que la imprevisibilidad afecte a la calidad de una conexión inalámbrica existente entre los vecinos. Una segunda razón que hace que el diseño de redes Ad hoc sea complicada, es la falta de control centralizado. Todas las funciones de red, tales como la determinación de la topología de la red, de acceso múltiple y el enrutamiento de datos a través del camino más apropiado de las rutas multisaltos, deben realizarse de forma distribuida. Estas tareas son particularmente un reto debido ancho de banda limitado disponible en el canal inalámbrico.

II.7 Modos de Operación de las Redes Inalámbricas

Existen dos formas diferentes de configurar dispositivos *wireless* 802.11. El modo de operación no depende de la topología de la red, por ejemplo, un enlace punto a punto comúnmente se opera en modo ad hoc y comúnmente cuando nos conectamos en nuestros hogares mediante un punto de acceso es mediante el modo de infraestructura donde nuestro punto de acceso es parte de una red donde es configurada por el proveedor del servicio. Por otra parte el modo de operación puede ser visualizado como el modo en el que la tarjeta inalámbrica puede ser operada.

II.7.1 Modo BSS (Infraestructura)

En Modo BSS (del inglés “*Basic Service Set*”), los nodos se conectan inalámbricamente a un punto de acceso. A este modo se le denomina comúnmente infraestructura y es el más utilizado. En este tipo de configuraciones, se conectan determinado número de puntos de acceso a una red cableada existente y a su vez los nodos móviles se conectan inalámbricamente a los puntos de acceso. Cada red inalámbrica posee su nombre propio como identificador, a este nombre se le denomina SSID (del inglés “*Service Set Identifier*”).

Cuando un cliente inalámbrico desea conectarse a la red, este buscara el nombre del SSID y deberá de utilizar ese identificador para poder conectarse al mismo y así poder tener acceso a la red. Se pueden encontrar más detalles en el estándar IEEE 802.11, en donde se define el protocolo que se utiliza para realizar este tipo de conexión. Un cliente, puede asociarse con una determinada red inalámbrica, especificando el SSID de la red.

II.7.2 Modo IBSS (Ad hoc)

El modo IBSS (del inglés “*Independent Basic Service Set*”) o conjunto de servicio básico independiente, es también conocido como modo Ad hoc, este facilita las conexiones punto a punto. En donde se pueden encontrar realmente dos modos de operación Ad hoc. Uno es el modo IBSS, también conocido como modo Ad hoc y el segundo tipo se denomina modo Ad hoc de demostración. Este es el modo de funcionamiento antiguo, anterior al estándar 802.11.

En el modo ad hoc los nodos pueden moverse libremente y no dependen de un concentrador central, en donde cada uno de los nodos puede actuar como concentrador o como nodo repetidor.

Es en este modo en donde este trabajo se enfoca, ya que el trabajo está enfocado a teléfonos inteligentes en donde cada uno de los nodos es móvil y no dependerán de un punto de acceso fijo para poder comunicarse entre sí, una de las principales áreas de investigación en este tipo de modos es el poder tener un buen conocimiento de las rutas de enlace ya que debido a que los nodos están en movimiento el enlace o el camino por el que tiene que recorrer cada paquete enviado no siempre es el mismo.

II.8 Redes Móviles Ad hoc (MANET)

Las redes MANET forman parte de las redes inalámbricas de malla WMN (“*Wireless Mesh Networks*”), utiliza los mismos conceptos básicos, pero enfatizan en diferentes aspectos. Las redes MANET emergieron de un ambiente académico y se enfocan a dispositivos de usuario final, movilidad y capacidades Ad hoc. En contraste a esto, las WMNs surgen de una necesidad de negocio y se enfoca principalmente en dispositivos estáticos, comúnmente dispositivos estructurados, capacidad de red y por supuesto por aplicaciones prácticas. De cualquier manera no existe una barrera estricta entre MANET y WMNs.

II.9 Internet Engineering Task Force (IETF)

La meta del IETF (<http://www.ietf.org>) es hacer que el internet funcione de la manera mejor posible, produciendo alta calidad, documentos técnicos relevantes que influyen la manera en que la gente diseña y administra el internet. En los grupos de trabajo se organiza y estandarizan los protocolos que serán utilizados en internet (The Internet Engineering Task Force (IETF)).

II.9.1 Descripción de los Grupos de Trabajo en MANET

El propósito del grupo de trabajo MANET es estandarizar el protocolo de enrutamiento IP para darle una funcionalidad adecuada en aplicaciones de ruteo en redes inalámbricas, tanto en aplicaciones de topologías estáticas o dinámicas, las cuales incrementan debido al movimiento de los nodos u otros factores.

Las técnicas son destinadas a ser relativamente ligeras por naturaleza, adecuadas para diferente hardware y entornos inalámbricos, los escenarios en donde las redes MANET se despliegan en los bordes de una infraestructura IP. Infraestructuras de Redes de Malla híbridas (por ejemplo, una mezcla de *routers* fijos y móviles), también deben de ser soportados por las aplicaciones y características de administración de una MANET.

Basados en investigaciones previas y experimentos, en protocolos reactivos y proactivos, el grupo de trabajo se basa en estas dos características.

-Reactive MANET Protocol (RMP).

-Proactive MANET Protocol (PMP).

II.9.2 Borradores de Internet Activos

Los borradores de internet o internet *draft*, son documentos en los cuales se está trabajando y a cargo de los grupos de trabajo de la IETF, en la cual son distribuidos para su análisis y contribución de los miembros, no tienen un carácter formal y están sujetos a cambios o eliminación en cualquier momento y de ninguna manera deberá de ser citado en documentos oficiales, a continuación se mencionan algunos borradores.

- *Dynamic MANET On-demand (DYMO) Routing.*
- *Definition of Managed Objects for the DYMO Manet Routing Protocol.*
- *Mobile Ad Hoc Network (MANET) Neighborhood Discovery Protocol (NHDP).*
- *Definition of Managed Objects for the Neighborhood Discovery Protocol.*

- *Definition of Managed Objects for the MANET Optimized Link State Routing Protocol version 2.*
- *Simplified Multicast Forwarding.*
- *Definition of Managed Objects for the Manet Simplified Multicast Framework Relay Set Process.*

II.9.3 Petición de Comentarios (*Request for comments “RFC”*)

Los “*request for comments*” (petición de comentarios), son una serie de notas o memorándums, publicados por el IETF, en donde describen métodos, problemas o innovación aplicables a cómo funciona internet, a continuación se mencionan algunos RFC’s.

- *Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations*
- *Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing*
- *Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)*
- *Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF)*
- *The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4*
- *Jitter Considerations in Mobile Ad Hoc Networks (MANETs)*
- *Generalized Mobile Ad Hoc Network (MANET) Packet/Message Format*
- *Representing Multi-Value Time in Mobile Ad Hoc Networks (MANETs)*
- *IANA Allocations for Mobile Ad Hoc Network (MANET) Protocols*

II.10 Problemas al Utilizar TCP en Redes MANET

Por su esencia, las redes MANET tienen un comportamiento diferente al enfoque de las redes cableadas, como lo es la movilidad de cada uno de los nodos participantes, es por ello que al tratar de utilizar TCP en las redes MANET nos lleva a poder tener más problemas que los que normalmente no se tienen en redes cableadas.

- **Movilidad:** La movilidad de los nodos ocasiona que las rutas cambien y ocasionen discontinuidad o desconexión, lo cual ocasiona una baja estabilidad en las rutas.
- **Alto error de bits:** El uso de los canales inalámbricos es vulnerable a errores producidos por las condiciones ambientales, obstáculos e interferencia.
- **Impredecibles y Variación:** La naturaleza de variación en el tiempo de los canales inalámbricos ocasiona tener una calidad baja, lo cual provoca substancial dificultad al medir y estimar un apropiado límite de tiempo.
- **Contención:** El uso de canales inalámbricos compartidos, limita la habilidad de un nodo para enviar paquetes, los nodos de una red inalámbrica local, compiten por los canales, debido a esto el ancho de banda obtenido por un nodo, depende de la disponibilidad de los vecinos.

II.11 Características a Mejorar TCP para Redes MANET.

Algunas propuestas han surgido para poder mejorar y adecuar el TCP para redes MANET, entre las cuales se encuentran:

- Estimar la disponibilidad del ancho de banda.
- Determinar errores de rutas y errores inalámbricos de conexión.
- Reducir la contención de paquetes.
- Detectar retransmisión de datos innecesarios.
- Explorar las capacidades de almacenamiento.

II.12 Descubrimiento de Rutas en Redes Ad hoc

Los movimientos de los nodos de una red móvil Ad hoc ocasionan que los nodos cambien de posición dentro y fuera del rango de los otros. Como resultado, hay una continua creación y ruptura de los enlaces en la red, haciendo que la conectividad de la red (topología), varíe dinámicamente con el tiempo.

Dado que la red se basa en las transmisiones multisaltos para la comunicación, esto impone un importante desafío en la capa de red para determinar la ruta multisaltos sobre la cual los paquetes de datos pueden ser transmitidos entre un determinado par de nodos fuente y destino. La Figura II.3 muestra como el movimiento de un solo nodo (C) cambia la topología de la red, haciendo que la ruta existente entre A y E (es decir, A-C-E), sea inutilizable. La red necesita evaluar los cambios en la topología provocados por este movimiento y establecer una nueva ruta de la A hacia E (como la A-D-C-E).

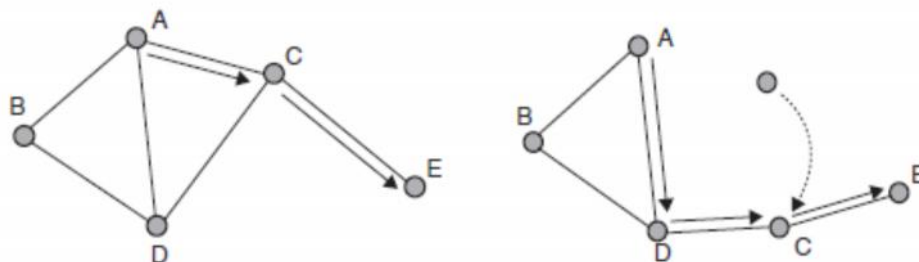


Figura II.3. Ilustración del cambio en la ruta de A hacia E, debido al movimiento de C.

Debido a la naturaleza de variar su ubicación en el tiempo , la topología de las redes móviles Ad hoc, las técnicas tradicionales de enrutamiento, el camino más corto (“*shortest-path*”) y los protocolos de estado de enlace (“*link-state*”) que se utilizan en las redes fijas (“*fixed networks*”), no pueden aplicarse directamente a las redes Ad hoc. Una cualidad fundamental de los protocolos de enrutamiento para redes Ad hoc es que deben adaptarse de forma dinámica a las variaciones de la topología. Esto se implementa mediante la elaboración de técnicas para la eficiencia del seguimiento de los cambios en la topología de red y volver a descubrir nuevas rutas cuando se rompen las antiguas. Debido a que las redes Ad hoc son sin infraestructura, estas operaciones se realizan de forma distribuida con la cooperación colectiva de todos los nodos de la red. Algunas de las cualidades deseables de protocolos de enrutamiento dinámico para redes Ad hoc son:

- **De Enrutamiento General:** El seguimiento de las modificaciones de la topología de la red exige el intercambio de paquetes de control entre los nodos móviles.
- **Paquetes de Control:** Estos paquetes de control deben llevar varios tipos de información, tales como las identificaciones de los nodos, las listas de los nodos vecinos, las mediciones de la distancia, y así sucesivamente, lo cual consumirá un ancho de banda adicional para la transmisión. La utilización del ancho de banda de canal inalámbrico sería un lujo que no se puede dar, es conveniente que el protocolo de enrutamiento reduzca al mínimo el número y tamaño de los paquetes de control para el seguimiento de las variaciones de la red.
- **Puntualidad:** La ruptura de los enlaces se produce en momentos aleatorios, es difícil predecir cuándo una ruta existente expirará. La puntualidad de la adaptación del protocolo de enrutamiento es crucial. Una ruta rota causa la interrupción en una comunicación permanente hasta que una nueva ruta sea establecida. A menudo, la nueva ruta puede ser redescubierta en gran medida muy tarde, lo que crea problemas en el cambio de ruta de los paquetes que ya se

habían transferido a lo largo de la ruta y no pudo ser entregado a su destino. Idealmente, una nueva ruta debe ser determinada antes de que la ya existente se ha roto, lo cual no puede ser posible. Alternativamente, una nueva ruta debe establecerse lo antes posible con un mínimo retardo.

- **Ruta de Acceso Optima:** uso limitado para utilización del ruteado, los protocolos de enrutamiento para redes móviles Ad hoc, están más enfocados a evitar las interrupciones de la comunicación entre los nodos fuente y destino en lugar de la optimización de las rutas. Por lo tanto, con el fin de evitar la transmisión excesiva de paquetes de control, la red puede ser autorizada a operar con rutas óptimas (que no son necesariamente el más corto) hasta que se rompen. Sin embargo, un buen protocolo de enrutamiento debe minimizar gastos generales, así como la longitud de camino. En caso contrario, dará lugar a retrasos en la transmisión excesiva y el desperdicio de energía.

- **Libertad de Lazo:** Dado que las rutas se mantienen en forma distribuida, la posibilidad de tener lazos (rutas en forma de anillos o rutas cíclicas) dentro de una ruta es una grave preocupación. El protocolo de enrutamiento debe incorporar las características especiales para que las rutas se mantengan libres de lazos.

II.12.1 Elementos de Enrutamiento en las Redes MANET:

Las principales funciones que realizan los protocolos de enrutamiento es el de encontrar el enlace entre los nodos que se desean comunicar, debido a que algunos de los nodos pueden estar en movimiento o cambiar la topología de la red, los principales elementos en los que se deben de enfocar es en los siguientes:

1. Realizar el descubrimiento de nodos.
2. Descubrimiento de la frontera límites de la red.
3. Calculo del total de rutas.
4. Manejo de las direcciones.

Los parámetros más importantes a tomarse en cuenta para medir el comportamiento de una red se muestran a continuación:

- Trafico enviado y recibido.
- Tiempo requerido para descubrir la ruta.
- Número total de solicitudes de rutas enviadas.
- Número total de solicitudes de rutas recibidas.
- Control de tráfico recibido y enviado.
- Datos de tráfico recibido y enviado.
- Intentos de retransmisión.
- Potencia promedio.
- Rendimiento (*throughput*).

II.12.2 Clasificación de los Protocolos de Enrutamiento para Redes Móviles Ad hoc

Las características más deseadas para los protocolos de enrutamiento en redes móviles Ad hoc son las siguientes:

- El protocolo deberá adaptarse rápidamente a los cambios de la topología.
- El protocolo deberá de proveer un ruteo libre de ciclos anidados.
- El protocolo deberá de proveer múltiples rutas desde un origen hacia un destino y este deberá de resolver problemas de congestión.

- El protocolo deberá de tener un control de mensajes mínimo debido a los cambios en la información de la ruta cuando este suceda.
- El protocolo deberá de habilitar un establecimiento rápido para las rutas a ser utilizadas y que funcionen antes de que ya no existan.

En general podemos clasificar las rutas en dos categorías: Protocolos Adaptativos y No Adaptativos.

Adaptativos: Los cambios en la topología de la red son adaptados por la estrategia de enrutamiento que se empleé.

No Adaptativos: La ruta es realizada por tablas de enrutamiento fijas. Para las redes Ad hoc, solamente los adaptativos son los que funcionan adecuadamente.

En la Figura II.4 se muestra una clasificación en general de algunos protocolos de enrutamiento para redes MANET basándose en diferentes características.

II.12.2.2 Protocolos Pro-Activos (Manejado por tablas)

1. Las rutas se calculan antes de que se requieran.
2. Tratan de mantener o enviar información de las rutas a todos los nodos en cualquier tiempo para mantener actualizadas las rutas en todo momento.
3. Las actualizaciones de las tablas se hacen de dos formas:
 - a) Manejo de Eventos (solamente si un cambio es detectado).
 - b) Periódicamente.

II.12.2.3 Protocolos Híbridos

Mantienen las características de los proactivos y reactivos cada vez que sea necesario y es una combinación de los protocolos mencionados con anterioridad, su principal característica es que puede utilizar cierta propiedad de cada uno en diferentes circunstancias.

Algunas de las características adicionales al descubrimiento de rutas óptimas que pueden ser utilizados en los protocolos Reactivos, Proactivos o híbridos para ayudar a mejorar el desempeño se describen a continuación.

II.12.3 Parámetros para Mejorar el Descubrimiento de Rutas.

Algunas funciones adicionales con las que los protocolos pueden mejorar el descubrimiento de rutas es delegando responsabilidades específicas a algunos nodos, es decir, no todos los nodos se encargan de las mismas funciones y algunos pueden encargarse de realizar aplicaciones específicas como lo son:

Vector-Distancia (*Distance-Vector*)

- Calcula la distancia entre todos los nodos.

- Intercambia la información solo con los nodos vecinos.

Enlace-Estado (*Link-State*)

- Mide la distancia solamente de los nodos vecinos.
- Intercambia la información con todos los nodos.

Agrupado (*Clustered*)

- Agrupación de cabecera (*Cluster Head*).
 - a) Responsable de la creación de grupos.
 - b) Crea grupos con jerarquía y administra la jerarquía en los grupos.

Nodos de Puerta de enlace (*Gateway-Node*)

- a) Responsable de la comunicación entre grupos.
- b) Puede ocasionar cuellos de botella.

Enrutamiento Geográfico / Basado en Posición / Basado en Dirección

- No crean tablas de enrutamiento.
- La información es enviada en dirección del nodo destino.
- No utiliza recursos para actualizar rutas actualizadas, Pero:
 - a) Requiere posicionamiento.
 - b) Determinación de la posición vía:
 - Proceso interno o Servicio Externo.

II.12.4 Protocolos de Enrutamiento Proactivos (Manejado por Tablas)

Un protocolo de enrutamiento es proactivo en el sentido de que los nodos calculan todos los caminos posibles hacia los nodos destinos, independientemente si se utilizaran todos los caminos encontrados o no. De tal manera que cuando la información tiene que ser transmitida hacia un nodo destino, la ruta ya fue previamente descubierta. Como es el caso de las redes alambradas, cada nodo mantiene una tabla de enrutamiento. Hay Tablas de enrutamiento que por lo general contienen una lista de direcciones para todos los destinos posibles, los nodos del siguiente salto, y el número de saltos para llegar a cada nodo destino. La tabla de enrutamiento se construye utilizando estados de enlace o algoritmos de vector distancia (Aggelou, 2009)

II.12.4.1 Propiedades de los Protocolos Proactivos:

La principal ventaja de los protocolos de enrutamiento dinámico es que, cuando una aplicación necesita iniciar un envío de datos, la información de enrutamiento está disponible de inmediato, eliminando así los retrasos ocasionados por la adquisición de las rutas. De hecho, esto puede ser útil en varios casos, como en aplicaciones interactivas.

Aunque este enfoque puede asegurar las rutas con una calidad alta, como en una topología con infraestructura fija. De hecho, los protocolos de cada nodo activo requieren de gran tamaño de memoria para almacenar la información de enrutamiento y poder distribuirla hacia toda la red.

La constante de propagación de enrutamiento de tráfico incurre sustancialmente en el consumo de energía. Teniendo en cuenta que el ancho de banda y la energía de la batería son los recursos más escasos en los dispositivos móviles, los sistemas puramente proactivos, no puede ser la solución adecuada para un entorno móvil inalámbrico con un gran número de nodos.

Además, dado que los regímenes proactivos dependen de la difusión periódica y que necesitan algún tiempo para converger antes de que una se lleve a cabo. En caso contrario la convergencia es probablemente insignificante en una red cableada estática, donde la topología no está cambiando con tanta frecuencia. En una red inalámbrica móvil, por el contrario, cuando se espera que la topología deba ser muy dinámica, esta vez en la convergencia se van a perder a una gran cantidad de paquetes antes de que una ruta válida se detecte (Aggelou, 2009).

II.12.4.2 *Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV)*

El protocolo DSDV (Perkins, 1994) es una variante del método de enrutamiento vector distancia, en el cual los nodos móviles cooperan entre sí para formar una red Ad hoc, DSDV está basado en RIP (*Routing Information Protocol*). DSDV requiere que cada nodo en la red mantenga una lista completa de las distancias para alcanzar a cada nodo en la red. En DSDV, cada nodo utiliza un número secuencial, el cual es un contador que solamente puede ser incrementado por ese nodo. Cada nodo incrementa su número secuencial cada vez que envía un mensaje de actualización y este número secuencial único, identifica el mensaje de actualización enviado por el nodo particular. La información de ruteo es propagada utilizando *broadcast* o dispersando los mensajes periódicamente o esperando algún cambio en la topología.

DSDV utiliza solamente enlaces bi-direccionales para el descubrimiento de la ruta, porque está basado en vector distancia.

En DSDV, los nodos no insertan información en la tabla de rutas enviadas de otros vecinos, al menos que el nodo este seguro de que otro nodo puede escuchar sus avisos o anuncios.

En DSDV cada nodo mantiene una tabla de ruteo y anuncia su información a cada uno de sus vecinos periódicamente o inmediatamente después de haber un cambio en la topología.

El paquete de datos de rutas es enviado periódicamente y contiene un nuevo número secuencial y la siguiente información:

1. La dirección destino.
2. El número de saltos requeridos para alcanzar el destino.
3. El número de secuencia destino recibido, independientemente del destinatario.

El protocolo DSDV es un protocolo de vector distancia que incorpora extensiones para su funcionamiento adecuado para MANETs. Cada nodo mantiene una tabla de enrutamiento con una entrada de ruta para cada destino en el que se registra la ruta o camino más corto (en función del número de saltos). Para evitar ciclos de enrutamiento o bucles, se utiliza un número de secuencia de destino. Un nodo incrementa su número de secuencia cada vez que se produce un cambio en su vecindario. Cuando se les da una posibilidad de elegir entre rutas alternativas para el mismo destino, un nodo siempre selecciona la ruta con el mayor número de secuencia de destino. Esto garantiza la utilización de la ruta con la información más reciente (Boukerche, 2009).

El protocolo DSDV está basado el algoritmo clásico de Bellman-Ford (Deepankar Medhi, 2007) con adaptaciones específicas para las redes móviles. El algoritmo Bellman-Ford utiliza el enfoque del vector distancia, en donde cada nodo mantiene la tabla de rutas que registra “el próximo salto” para cada destino en donde se utilizara para utilizar la ruta más corta y la distancia mínima (número de saltos). Siempre que se produzca un cambio en la distancia mínima, la información es reportado a los nodos vecinos y las tablas se actualizan según sea necesario.

Para hacer este algoritmo adecuado para las redes móviles ad hoc, DSDV ha añadido un número de secuencia con cada entrada de una nueva distancia, para indicar una actualización reciente para esa entrada nueva. Un número de secuencia se origina en el nodo destino y se incrementa en cada nodo que envía una actualización a sus vecinos. Por lo tanto, una actualización de la tabla de enrutamiento más reciente para el mismo destino, tendrá un número de secuencia más grande. Actualizaciones de la tabla de enrutamiento son periódicamente distribuidas a través de la red, con cada nodo actualizando sus entradas de la tabla de

enrutamiento, basado en el número correspondiente a la última secuencia de entrada. Si dos actualizaciones para el mismo destino tienen números idénticos de secuencia, pero de diferentes distancias, la distancia más corta se registra. La adición de números de secuencia elimina la posibilidad de bucles de larga duración y también el problema del "conteo a infinito", donde toma un gran número de mensajes de actualización para asegurarse de que un nodo no es alcanzable (Chandra, Dobkin, Bensky, Olexa, Lide, & Dowla, 2008).

II.12.4.3 *Optimized Link State Routing (OLSR)*

Es parte de los protocolos proactivos el cual disminuye la inundación de información hacia toda red, utilizando nodos intermediarios llamados MRP (del inglés “*Multi Point Relay*”), los cuales se encargan de seccionar la red en pequeñas áreas las cuales están conformadas por nodos móviles y un nodo MRP. Este hará las peticiones hacia otros nodos en la red y a sus nodos participantes en su pequeña red, esto ayudara a que los nodos no transmitan información a otros nodos que no son participes del nodo MRP asignado y cuando una solicitud de descubrimiento se realice, solo se hará en el área cubierta por cada uno de los nodos MRP y así no se inundara toda la red. OLSR (Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)) reduce el costo de distribuir la información de dos maneras.

- Utiliza *multi-point relay* (MRP), que reduce anuncios redundantes durante la operación del inundado. Esta es la clave de este protocolo.

- Cada nodo solo envía el estado de los nodos únicamente en su estado de *relay*.

OLSR es bueno para redes grandes y densas, es una adaptación del convencional ruteo de enlace de estado (*link-state*), en donde cada nodo trata de mantener información de la topología de la red. Cada nodo determina el costo del enlace hacia cada uno de los nodos vecinos anunciando mensajes de “Hola” periódicamente. Siempre que hay un cambio en los costos del

enlace, el nodo transmite esta información a los demás nodos. En el algoritmo clásico de enlace de estados, esto se hace inundando toda la red con mensajes de actualización que contiene los costos del enlace. Esto se puede utilizar para aplicar algoritmos de caminos cortos.

OLSR optimiza el protocolo de estado de enlaces reduciendo el tamaño de los paquetes de actualización enviados durante las transmisiones, mediante la inclusión de sólo un subconjunto de vecinos. Estos son los enlaces a un conjunto selecto de vecinos conocidos como los enlaces multipunto (MPR).

En lugar de que cada vecino difunda los paquetes de actualización enviados por un nodo, sólo los nodos MPR pueden participar en la difusión de estos paquetes. Esto minimiza el tráfico de paquetes de control mediante inundaciones de datos sobre la red (*flooding*). Sin embargo, el ahorro de ancho de banda logrado por esto, tiene la consecuencia de propagar información incompleta sobre la topología de la red. Las actualizaciones pueden ser solo realizadas por los nodos MPR y no los conjuntos de todos los vecinos de los nodos de radiodifusión. Por lo tanto, un algoritmo del camino más corto basado en topología, generará las rutas que contienen al nodo MPR. Cuando la red es densa, es decir, cuando cada nodo tiene muchos vecinos, OLSR trabajará eficientemente, debido a la reducción del tráfico en el control de las actualizaciones de la red (Chandra, Dobkin, Bensky, Olexa, Lide, & Dowla, 2008).

OLSR optimiza el estado de los enlaces, ya que reduce el tamaño de la información enviada en cada mensaje y también reduce la sobrecarga de control total, reduciendo al mínimo el número de retransmisiones, inundando completamente la red de una manera eficiente.

El objetivo de utilizar los MRP's, es para reducir las transmisiones de la misma región. Cada nodo selecciona un conjunto de vecinos de un-salto (*one-hop*) los cuales son llamados MRP's para el nodo. Los vecinos del nodo que no son MPR's, procesan los paquetes pero no reenvían los paquetes de tal manera que solamente los MPR's retransmiten los paquetes y el nodo retransmite cualquiera de los mensajes difundidos hacia estos nodos MPRs.

Se debe seleccionar al conjunto de nodos MRP de manera eficiente para asegurar que su área de distribución cubra todos los vecinos en dos saltos. Este conjunto también debe ser el mínimo establecido para emitir el mínimo número de paquetes. El conjunto de nodos MRP de un nodo N debe ser tal que cada dos saltos de vecinos de N tenga una doble direccionalidad con el conjunto de nodos N en el MRP.

Estos enlaces bidireccionales se pueden determinar mediante el uso de paquetes “HELLO” periódicos que contienen información sobre todos los vecinos y su estado de enlace. Por lo tanto, una ruta es una secuencia de saltos desde el origen al destino a través de MRP’s dentro de la red. La fuente no conoce las rutas completas sólo información del siguiente salto que transmitirá los mensajes (Boukerche, 2009).

OLSR es muy adecuado para redes de telefonía móvil grandes y densas, debido a que la optimización se logra utilizando los MPR’s, funciona bien en este contexto. Cuanto más grande y más densa es la red, la optimización se puede lograr más en comparación con el algoritmo de estado de los vínculos clásicos. OLSR utiliza enrutamiento salto por salto, es decir, cada nodo utiliza su información local para direccionar los paquetes. OLSR está bien adaptado para las redes, donde el tráfico es aleatorio y esporádico entre un conjunto más amplio de los nodos, en lugar de ser casi exclusivamente entre un pequeño conjunto específico de nodos. Como un protocolo proactivo, OLSR también es adecuado para escenarios en los que la comunicación de pares cambian con el tiempo: no hay control de tráfico adicional que se genere en esta situación porque las rutas se mantienen para todos los destinos conocidos en todo momento (Subir, T G, & Puttamadappa, 2008).

II.12.4.4 *Wireless Routing Protocol WRP*

WRP (Shree & Aceves) es uno de los primeros trabajos desarrollados para los algoritmos de enrutamiento y es similar al algoritmo distribuido de Bellman-Ford. Es un protocolo manejado por tablas donde las tablas de enrutamiento se mantienen por todos los nodos. La tabla de

enrutamiento contiene una entrada para cada destino con información del siguiente salto y el costo de la métrica. La ruta se elige seleccionando un nodo vecino que reduciría al mínimo el costo de la ruta. Los costos del enlace también son definidos y mantenidos en tablas separadas.

Para mantener las tablas de enrutamiento, paquetes de actualización son enviados frecuentemente, estos son enviados a todos los vecinos de un nodo y contienen todas las rutas conocidas por el nodo. Como su nombre lo indica, estos son solo mensajes de actualización y por lo tanto solo los cambios recientes en las rutas son enviados y no la tabla de enrutamiento. Para mantener los mensajes actualizados, los paquetes “*HELLO*” se envían en periodos, solo si hay otros mensajes de actualización (Boukerche, 2009).

Al utilizar WRP, cada nodo mantiene una tabla de distancias, una tabla de enrutamiento, una tabla de costo de enlace y una lista de mensajes de retransmisión (MRL) (Stefano, Marco, Siliva, & Stojmenovic, 2004). Una tabla en la entrada de enrutamiento contiene la distancia a un nodo destino, el predecesor y el sucesor a lo largo de las rutas de acceso al destino, una etiqueta para identificar su estado (es decir, si es un camino sencillo, un bucle o si es válido). Almacenando al predecesor y al sucesor en la tabla de enrutamiento, ayuda a detectar rutas cíclicas y evita problemas de contar hasta el infinito, que es el principal defecto del algoritmo de enrutamiento vector-distancia. La entrada contiene el costo del enlace de conexión con el vecino, el número de interrupciones debido a un mensaje de error sin que sea recibido por el vecino (Subir, T G, & Puttamadappa, 2008).

MRL es utilizado para almacenar la identificación de los nodos que no han reconocido una actualización de rutas. Después de un tiempo de espera, las actualizaciones de la ruta se transmiten. Además, WRP se basa en la transmisión de mensajes HELLO para detectar la conectividad con los vecinos en caso de no recibir mensajes de actualización de rutas en un intervalo de tiempo determinado (Llyas, 2003).

WRP es un protocolo de vector distancia optimizado para redes Ad hoc, los algoritmos de esta clase utiliza el siguiente salto y la información del segundo salto al último para corregir el

problema de contar hasta el infinito; esta información es suficiente para determinar el camino más corto a nivel local (Prasant & KRishnamurthy, 2005).

II.12.4.5 *Problemas en los Protocolos Proactivos*

La principal característica de los protocolos de enrutamiento proactivos o dinámicos, es que las actualizaciones se envían periódicamente, independientemente si son necesitados o no. Otra característica es que utilizan tablas. Estas dos propiedades causan serios problemas para ser tomados en cuenta cuando el enrutamiento dinámico es implementado en redes grandes o amplias. Sin embargo, estos protocolos funcionan bien en redes de mucho tráfico y alta movilidad, ya que tratan de mantener fresca la información del enrutamiento en forma continua (Chandra, Dobkin, Bensky, Olexa, Lide, & Dowla, 2008).

II.12.5 *Protocolos de Enrutamiento Reactivos*

Los protocolos reactivos están diseñados para minimizar la sobrecarga de información. En lugar de seguir los cambios en la topología, mantienen actualizadas las rutas más cortas hacia todos los destinos, estos protocolos determinan las rutas solo cuando son requeridas. Normalmente estos protocolos realizan operaciones de descubrimientos de rutas entre el origen y el destino, esto cuando la fuente desea enviar un paquete de datos y la ruta hacia el destino no se conoce. Mientras una ruta esta activa, los protocolos reactivos solo realizan operaciones de mantenimiento y realizan un nuevo descubrimiento de ruta solo cuando el enlace deja de existir. La ventaja de esta operación Bajo-Demanda (*On-Demand*) es que usualmente tiene mucho menos sobrecarga en comparación con los protocolos proactivos. Sin embargo tiene la desventaja de que un descubrimiento de ruta implica inundar toda la red con paquetes de consulta. Las inundaciones son un desperdicio, el cual es requerido constantemente cuando la movilidad es alta o cuando existe un gran número de enlaces fuente-destino. Por otra parte al descubrimiento de las rutas se suma la latencia de la entrega de paquetes, de tal manera que la fuente tiene que esperar hasta que

una ruta se determine antes de que pueda transmitir el paquete. A pesar de los inconvenientes, estos protocolos Bajo-Demanda reciben más atención que los protocolos proactivos, debido a que su bajo consumo de ancho de banda los hace más escalables (Chandra, Dobkin, Bensky, Olexa, Lide, & Dowla, 2008).

II.12.5.1 *Dynamic Source Routing (DSR)*

DSR es un protocolo proactivo que utiliza un concepto llamado “*Source Routing*”, en este esquema cada nodo mantiene una caché donde se enumeran las rutas completas hacia los destinos conocidos. Los nodos fuente incluyen las rutas conocidas a seguir en los paquetes de datos (Amitava, Somprakash, & Debashis, 2003). Las rutas son descubiertas Bajo-Demanda por un proceso conocido como “Descubrimiento de Rutas” (*Route Discovery*). Cuando un nodo no tiene en su caché información sobre el destino, inicia un descubrimiento de rutas anunciando un mensaje de solicitud “*Request*” o “*Query*”. El paquete de solicitud contiene la identidad de la fuente y del destino. Cualquier nodo que reciba un paquete de solicitud, analiza primero si en su caché de rutas se tiene en la lista a este nodo destino. Si conoce tal destino, el nodo agrega su identidad en la cabecera del paquete de solicitud y lo retransmite. Eventualmente el paquete de solicitud inundará toda la red, propagándose por todos los nodos, siguiendo todos los caminos posibles. Cuando un paquete de solicitud llega al nodo destino, o a cualquier nodo que conoce la ruta hacia este destino, un paquete de respuesta (*Replay*) es enviado hacia el origen siguiendo la misma ruta que recorrió el paquete “*Request*” pero en dirección inversa. Esto se realiza simplemente copiando la identidad de la secuencia de nodos obtenida de la cabecera del paquete “*Request*”. El paquete “*Request*” contiene la ruta completa hacia el destino, que se almacena en la caché de rutas del nodo fuente. Cuando una ruta deja de existir, el nodo envía un paquete de “*Error*” indicando que un nuevo descubrimiento de ruta debe de realizarse y a su vez todas las rutas anteriores a este nodo destino se eliminarán de la caché de rutas (Chandra, Dobkin, Bensky, Olexa, Lide, & Dowla, 2008).

II.12.5.2 *Ad hoc On-Demand Distance-Vector Routing (AODV)*

AODV se puede describir como una extensión del protocolo de enrutamiento DSDV. Al igual que DSDV Cada nodo mantiene tablas de enrutamiento que contienen el siguiente salto y los números de secuencias correspondientes a cada destino. Sin embargo las rutas se crean Bajo-Demanda. Con el fin de mantener fresca la información de los enlaces, AODV mantiene un temporizador que indica cuándo fue la última vez que una ruta se actualizó. Una actualización de un dato de enrutamiento en la tabla caducará después de un tiempo predeterminado.

Cuando un nodo necesita una ruta hacia algún destino, anuncia un paquete “*Request*” en donde se incluye la última secuencia conocida para ese destino. El paquete es re-enviado por todos los nodos que no tienen una ruta fresca (determinada por el número de secuencia) hacia el nodo destino. Mientras que re envían el paquete, cada nodo almacena el salto anterior capturado por el paquete proveniente del nodo fuente, así cada nodo obtendrá información fresca de la ruta desde el nodo fuente hacia cada nodo que re-envíe el paquete “*Request*”. (Chandra, Dobkin, Bensky, Olexa, Lide, & Dowla, 2008).

II.12.5.3 *Problemas en los Protocolos de Enrutamiento Reactivo*

Dado que los protocolos de enrutamiento reactivo sólo inician descubrimientos de rutas cuando se requieren, estos protocolos son comparativamente más eficientes cuando existen menos enlaces o en condiciones de baja movilidad. Además, solamente cuando existen pocos nodos manteniendo comunicación, las funciones de enrutamiento solo se encargan de mantener las rutas de los nodos que se encuentran activos. Debido a sus beneficios, estos protocolos han recibido más atención que los protocolos proactivos. (Chandra, Dobkin, Bensky, Olexa, Lide, & Dowla, 2008).

II.12.6 *Protocolos de Enrutamiento Híbrido*

El enfoque de utilizar protocolos de enrutamiento híbrido a menudo es con el fin de mantener un equilibrio mejorado entre la capacidad de adaptación ante las diversas condiciones de la red y los procesos involucrados al encontrar rutas.

Estos protocolos utilizan la combinación de los principios utilizados en protocolos proactivos y reactivos, cada uno utilizado en condiciones diferentes. Por ejemplo: un protocolo de enrutamiento híbrido puede dividir la red en secciones o áreas y aplicar actualizaciones proactivas de rutas en áreas específicas realizando actualizaciones reactivas de rutas con un sólo nodo de cada área. También en forma inversa con actualizaciones reactivas dentro de áreas y proactivas entre un nodo de cada área (Chandra, Dobkin, Bensky, Olexa, Lide, & Dowla, 2008).

II.12.6.1 Zone Routing Protocol (ZRP)

ZRP divide la red en zonas o grupo de nodos, los nodos dentro de cada zona mantienen información de las rutas entre ellos utilizando algoritmos proactivos como los protocolos de vector-distancia o enlace-estado. Por lo tanto todos los nodos mantienen actualizadas las tablas de las rutas dentro de esta zona, la cual es conocida también como “intrazona”. Cada zona es identificada por un grupo de nodos que se encuentran en la periferia que se encuentran ubicados en los límites de cada zona para poder comunicarse con las zonas adyacentes.

II.12.6.2 Landmark Ad hoc Routing Protocol (LANMAR)

LANMAR está diseñado para redes Ad hoc que tienen las características de movilidad en grupos, al igual que un grupo de soldados se mueven juntas en un campo de batalla. Un nodo es punto de referencia elegido en cada subred, similar al FSR. La diferencia clave entre el LANMAR y el protocolo FSR es que la tabla de rutas de LANMAR sólo consta de los nodos dentro del grupo (área delimitada), mientras que FSR contiene los nodos de la red entera en su tabla de enrutamiento (Boukerche, 2009). Cada grupo de forma dinámica identifica a un nodo

específico dentro del grupo para ser un nodo *landmark*. Un protocolo de enrutamiento proactivo de estado de enlace es utilizado para mantener la información de las rutas dentro del grupo y un algoritmo de vector distancia es utilizado de igual manera para intercambiar información entre los nodos coordinadores. Por lo tanto cada nodo posee información detallada de la topología de todos los nodos dentro del grupo, la distancia y la información del vector de ruta entre todos los nodos *landmark*.

La información de las rutas no es guardada por los nodos no-coordinadores pertenecientes a otros grupos, los paquetes a ser enviados a otros grupos, serán enviados al nodo coordinador correspondiente.

Cuando un paquete será enviado a un nodo dentro de este grupo, la información no se envía a través del nodo coordinador, sino que es enviada directamente al nodo destinatario.

Este esquema reduce el tamaño de las tablas de enrutamiento, así como la sobrecarga del tráfico formando una ruta de dos niveles jerárquicos. Por lo tanto, se espera que sea más escalable que los protocolos llamados de enrutamiento plano “*Flat Routing Protocols*”(Chandra, Dobkin, Bensky, Olexa, Lide, & Dowla, 2008).

III. Desarrollo

III.1 Introducción

Los escenarios en los cuales principalmente se enfoca esta tesis, es en aquellos en donde se requiera una movilidad baja (1 m/s) y en donde la transferencia de información no necesariamente tiene que ser validada, un ejemplo puede ser la transmisión de voz, en la cual por lapsos cortos el usuario destino no identificará tiempos en los cuales la transmisión puede ser interrumpida, ello debido a que el oído humano no es capaz de identificar plenamente interrupciones de alrededor de los 400 ms de acuerdo a la norma G.114 de la ITU (*International Telecommunication Union*), es por ello que un protocolo reactivo es adecuado, dado que el descubrimiento de las rutas podrá realizarse en un lapso corto y el escenario de la aplicación será específicamente en áreas donde la cobertura (o la población) estará concentrada en un rango de 100 a 200 metros.

Los escenarios plasmados solo se muestran y se enfocan en los puntos a resaltar en la investigación. Los diagramas mostrados solo se presentan como ejemplos gráficos y no necesariamente representan la manera en que se implementaran en la vida real. En las simulaciones no se toman en cuenta algunos otros parámetros o configuraciones de las mismas que no se mencionen en la investigación.

Comúnmente los protocolos desarrollados hasta la fecha, se enfocan en aplicaciones de comunicaciones de datos, donde se requiere una alta confiabilidad de entrega de paquetes y muchos de ellos, son tomados como un hecho, que podrán encontrar rutas a redes externas como lo puede ser, hacia el Internet. En este trabajo, esto no es una prioridad, ya que se trata de escenarios de comunicación de cobertura reducida, y la información a transmitir será mayormente voz o video en vivo, de un usuario a otro.

III.2 Descripción de Propuesta

Generalmente los protocolos propuestos, al iniciar un descubrimiento de las rutas, el nodo que inicia la búsqueda ya conoce “teóricamente” la dirección del nodo al cual se quiere comunicar, esto llevará a que si el usuario no existe el destino será inalcanzable. En nuestro caso, cuando se inicia la red y conforme se van agregando usuarios a la red estos cumplirán con la siguiente secuencia de eventos:

1. El nodo que desee participar en la red, primeramente anunciará su presencia y los nodos participantes retransmitirán el mensaje, el cual llegará a todos los nodos y cuando este alcance a los más distantes, estos retransmitirán el mensaje en el cual se incluirán todos los nodos participantes en los saltos, así el usuario recién llegado a la red podrá conocer cada uno de los participantes en la red. Esto se hace con la finalidad de conocer a qué nodos se puede comunicar debido a que la mayoría de los protocolos existentes, al iniciar el descubrimiento “asumen” que el nodo destino existe aun cuando se desconoce su presencia.
2. Cuando el nodo desee transmitir una trama (información), este iniciará el descubrimiento de la ruta y debido a que anteriormente ya tenía conocimiento que el destino existía en el momento que se anunció por primera vez, este tiene más certeza de que el nodo realmente existe y es aquí en donde se encontrará la ruta más óptima para el envío de paquetes.
3. Una vez encontrada la ruta óptima. el nodo iniciara la transmisión de la información y cada cierto periodo de tiempo iniciara este descubrimiento para asegurar que la ruta de enlace todavía exista.

4. Cuando un nodo cambie de posición (se asume que el dispositivo posee Acelerómetro y GPS), este anunciará a la red que ha cambiado de posición y si un nodo que tenía una transmisión con dicho nodo, obligará a hacer un descubrimiento nuevo y así se asegurará que la ruta de enlace este fresca y sea confiable.
5. No se requiere verificación de entrega de paquetes porque esta propuesta está basada para aplicaciones de voz y es por ello que realizan descubrimiento cada 2 segundos o menos de ser necesario.
6. Una vez descubierta la ruta, la transmisión puede implementar un esquema como los que se describen en este documento, para mejorar la transmisión y no interferir en otras.

III.2.1 Descubrimiento de Rutas

En la Figura III.1, se muestra una pequeña red como ejemplo base para explicar en este escenario en específico, como se llevaría a cabo el descubrimiento de las rutas, en la cual existen 5 nodos, en el donde se ilustran las conexiones entre líneas y el radio de cobertura representado por círculos de colores y a continuación se muestran los pasos a seguir para llevar a cabo un enlace desde el nodo A hacia el nodo E. esto se puede referenciar con las figuras III.1 o III.2.

Se presenta este escenario como parte básica de una red en donde se cuenta con un enlace de uno a uno (nodo A y B) en donde uno de ellos (Nodo B) tiene como a 2 nodos (B, C y D) en donde se encuentran dentro de su área de cobertura. La manera de poder visualizar el flujo de información desde el nodo A hacia el Nodo E es tomando dos diferentes caminos, desde A hacia B, C y E, otro desde A, B, D y E. en donde la información se encuentra con un punto en donde puede tomar dos Caminos (Nodo B) y en donde proviniendo de dos caminos se junta en uno solo (nodo E) es por ello que se muestra este escenario como parte base de entendimiento en las rutas posibles.

La simbología o nombre de paquetes enviados PK es solamente para identificar al paquete, el número que contiene después de “PK” (PK1) sirve para identificar la secuencia de paquetes enviados y la letra de los nodos no representa alguna dirección IP, es solo para diferenciar a los nodos, todo esto para que sea más sencillo de entender.

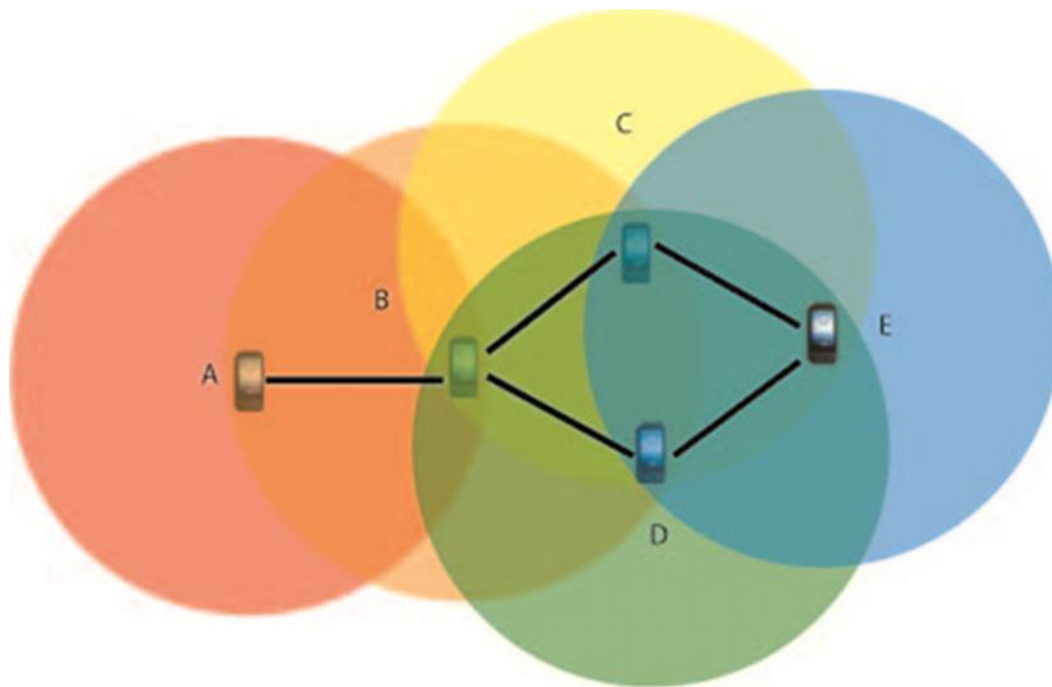


Figura III.1. Red de Nodos Móviles

Paso 1- El nodo “A” se anuncia en la red y envía un paquete de solicitud de enlace a sus nodos vecinos (PK1A), en donde el nodo “B” recibe este paquete (PK1A). Los nodos C, D y E, no son partícipes hasta este momento.

Paso 2- El nodo “B” al conocer que A está solicitando una ruta (Descubrimiento), retransmite el paquete y le agrega su “nombre” (PK1AB), el cual es recibido por el nodo A, C y D. En este momento si el nodo A recibe su mensaje original (PK1A) adicionado con un nombre de algún nodo, en este caso agrega a su lista de Vecinos al nodo “B”, y a su vez este mensaje es desechado por el nodo A, en este momento A conoce que su vecino es B. a su vez los nodos C y D reciben el mensaje proveniente de B (PK1AB), el nodo E no es participe aun. Los nodos C y D agregan a B como nodo Vecino.

Paso 3A- El nodo C retransmite el mensaje proveniente de B, agregándole su nombre (PK1ABC), el cual es escuchado por el nodo B y E, en donde el nodo B al recibir el paquete que el emitió con un nombre adicional, el ahora ya conoce que el nodo C es su nodo vecino y a su vez el nodo E agrega a C como nodo vecino.

Paso 3B- A su vez el nodo D retransmite el mensaje proveniente de B, y de igual manera que el nodo C, el nodo D retransmite el mensaje y en esta ocasión el nodo B también reconoce a D como nodo Vecino y el nodo E como vecino al nodo D.

Paso 4- El nodo E retransmite el mensaje y de igual manera es recibido por los nodos C y D en donde cada uno recibirá dos mensajes, ya que la ruta a través de C y la ruta de D serán retransmitidas (PK1ABCE y PK1ABDE). Cuando el nodo D recibe el paquete PK1ABCE, agregará a C como nodo vecino, y cuando recibe el paquete PK1ABDE este sabrá que la solicitud de ruta proviene del nodo A y en el cual su nombre ya está incluido en la trama, por lo tanto lo descartará. El nodo D al haber recibido previamente un paquete del nodo E, compara las dos tramas y escoge la de menor cantidad de saltos, los saltos los calcula con la cantidad de nodos agregados en la trama, en este caso, la trama “PK1ABC” contiene a los nodos A, B y C la cual indica que son dos saltos para poder llegar de A hacia C. En el caso de la trama PK1ABDE serían tres saltos. Entonces si existe un nodo con menor cantidad de saltos, este descartará al de mayor número de saltos y al final de cuenta ya no retransmitirá ninguna trama, así se asegura de no tener ciclos anidados en la búsqueda de rutas.

Paso 5 – Después de un periodo de tiempo cuando el nodo E no recibe respuesta de algún vecino nuevo es aquí donde él crea un mensaje de fin de ruta (PK1ABCEF y PK1ABDEF) porque recibió dos peticiones de caminos diferentes. El nodo E envía ambos mensajes siguiendo el mismo criterio hasta llegar al nodo A, el cual de ahora en adelante sabrá que solo existen dos rutas posibles. Cuando el nodo que recibe el mensaje que viene acompañado del indicador de fin (letra “F” al final) y no viene su nombre, este lo descartará inmediatamente.

III.2.2 Diagrama de Flujo de Protocolo Propuesto

En la Figura III.2 se muestra el flujo de los paquetes, las flechas indican los enlaces entre nodos e indican los mensajes de descubrimiento. Después de haber llegado al nodo “E”, se espera un tiempo identificado como “TIME”. En el cual, después de este periodo de tiempo, el paquete hará su retorno hasta llegar al nodo origen.

En este diagrama de flujo se muestran identificados los paquetes enviados y los paquetes rechazados por los nodos (marcados con una “X”). A su vez también se muestra el camino recorrido por los paquetes después de haber llegado a los límites de la red, esto con la finalidad de conocer el tamaño de la red y la cantidad de usuarios partícipes en la misma.

Este diagrama no muestra la manera real de implementar un algoritmo en un protocolo real, solo se muestra para familiarizar al lector con un escenario base para entendimiento del mismo, los paquetes pueden contener información adicional como lo puede ser la ubicación, la potencia recibida o la dirección de movilidad del nodo participante.

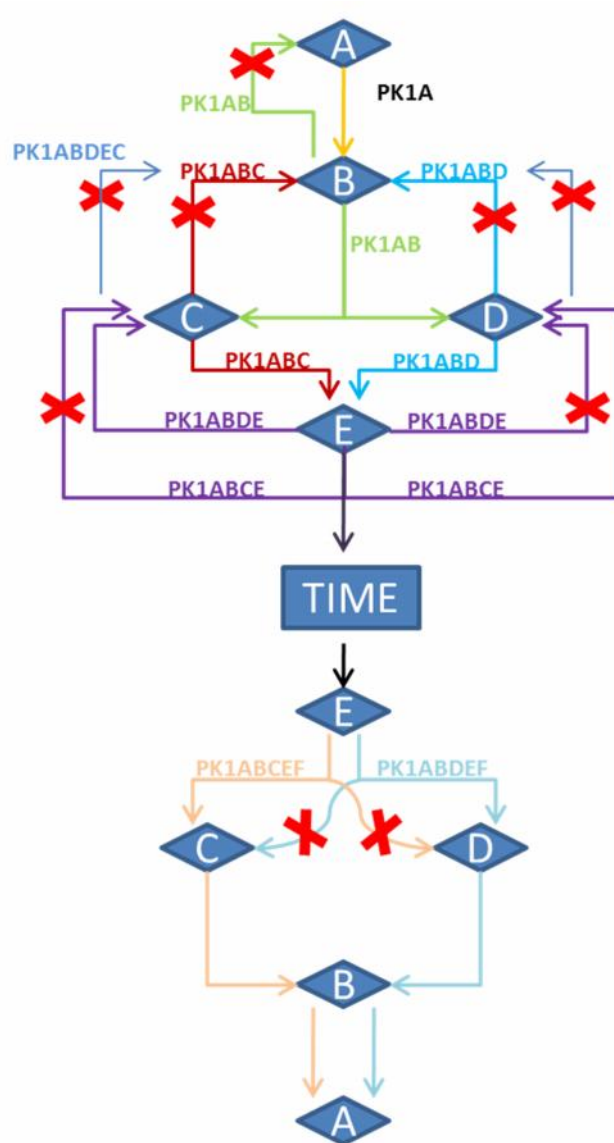


Figura III.2. Diagrama de Flujo de Descubrimiento de Rutas

III.2.3 Obtención de Ruta Destino

Como se mencionó anteriormente al incluir la secuencia del paquete “PK1” y el origen, en este caso el nodo “A” y al agregar el nombre de cada nodo al que ha hecho repetición de la petición, se evita que se repitan peticiones o que se anide la búsqueda, como en el caso cuando el nodo B anuncia la petición PK1AB la cual escuchará el nodo “A”, este hará caso omiso y

descartará la petición ya que su nombre se encuentra dentro de la trama, de igual manera cuando el nodo “B” escucha la petición proveniente de C (PK1ABC) tal y como se ilustra en la Figura III.3.

Otro aspecto importante a recalcar es cuando el nodo final es alcanzado o en este caso el nodo “E” envía de regreso el paquete “PK1ABCE” y es escuchado por C, éste agregará a “E” como nodo vecino y cuando el nodo “E” transmita el paquete proveniente de la ruta sobre “D” (PK1ABDE), el nodo “E” al recibir su propio paquete (PK1ABCE) se descartará así como a los nodos anteriores ya que sus peticiones estarán anidadas, previniendo la creación de rutas anidadas. De otra manera, si la primera petición provenía de “D”, este una vez que obtenga su respuesta (PK1ABCE), automáticamente borrará la ruta proveniente de “D” (Figura III.3).

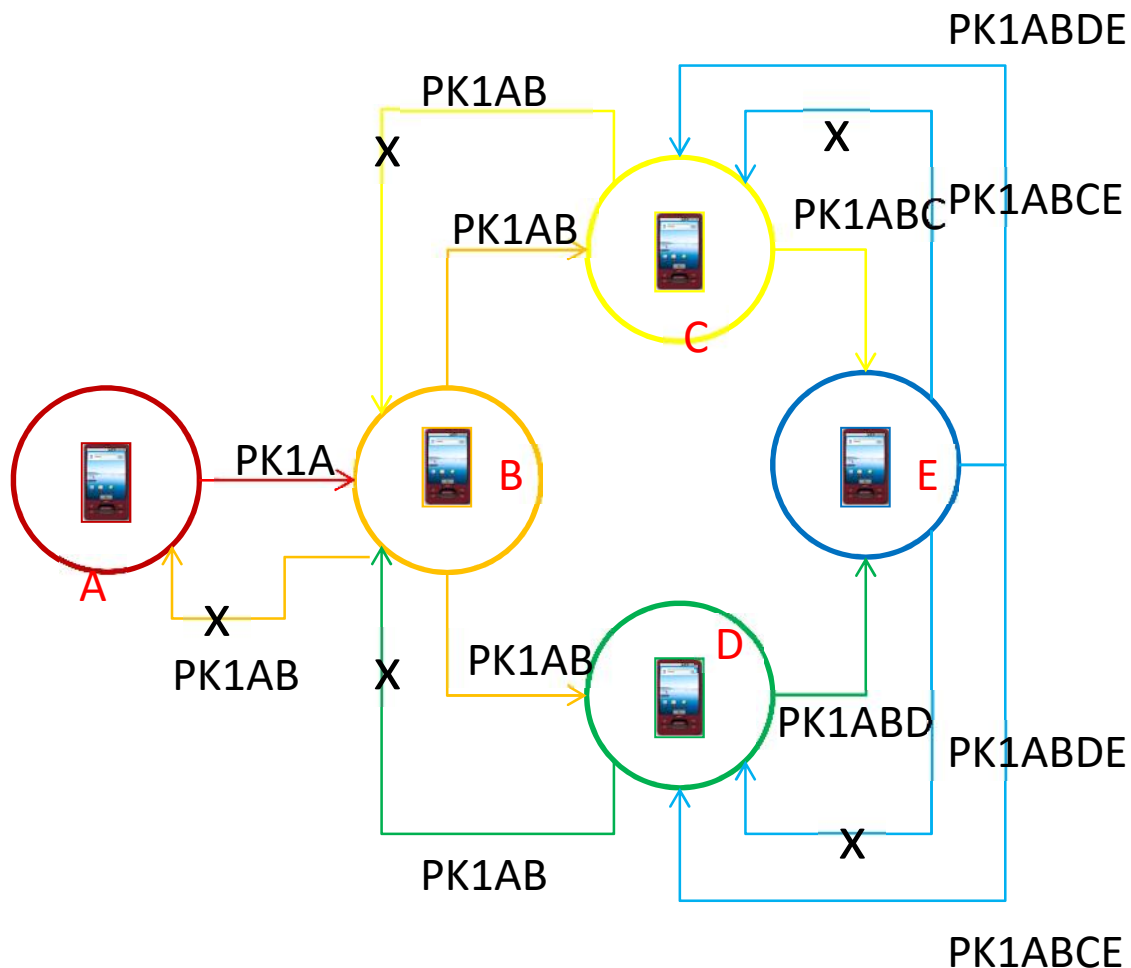


Figura III.3. Obtención de Ruta Destino

III.2.4 Camino de Retorno

Como se introdujo anteriormente al camino de retorno, una vez esperado un periodo de tiempo determinado el nodo “E” no recibirá respuesta de algún nodo vecino y los únicos dos caminos encontrados hasta este momento (PK1ABCE y PK1ABDE) serán transmitidos.

Cuando el paquete lo recibe el nodo “C” éste verificará que incluya su nombre, y una vez verificado con éxito procederá a retransmitir el paquete y de igual manera lo hará el nodo “B” hasta llegar a “A”. Cuando el paquete PK1ABCE lo recibe el nodo “D” este al verificar que su nombre no está incluido en la trama de nombres descartará el mensaje y solo aceptará el paquete originado por el (PK1ABDE). Es así como se evita que se aniden los caminos y al incluir la trama de todos los nodos involucrados se asegura que el paquete que viaja de regreso pase solamente por cada uno de los nodos involucrados en ese camino descubierto (Figura III.4).

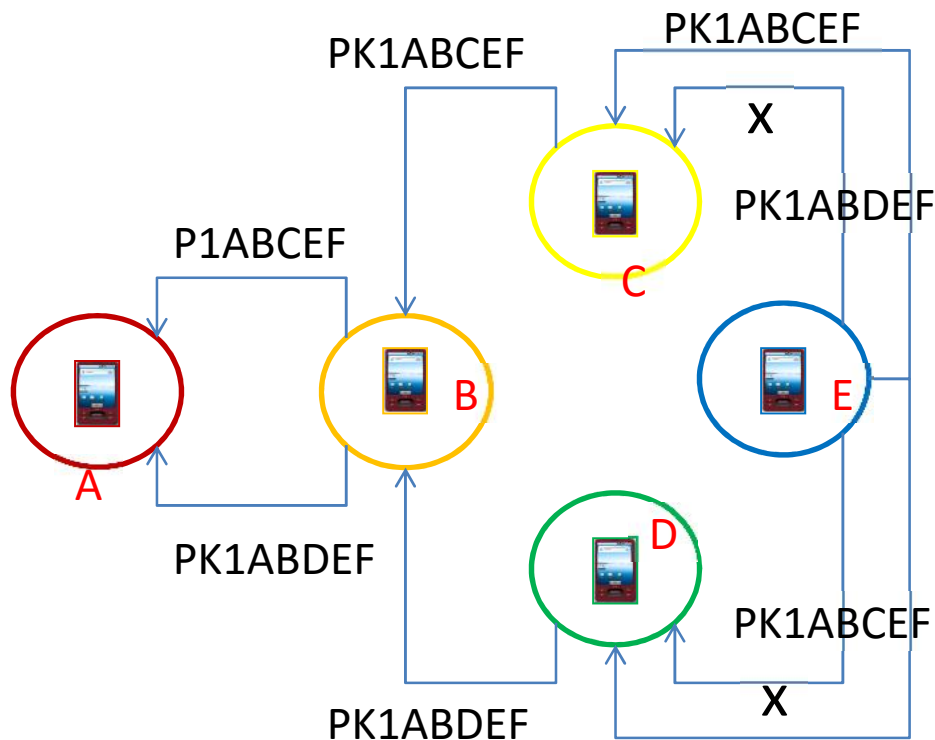


Figura III.4. Camino de Retorno

Una vez llegado el paquete de retorno cada uno de los nodos conocerá a sus vecinos y podrá mantener una lista de los usuarios más cercanos tal y como se muestra en la Tabla III.1.

Tabla III.1. Lista de vecinos para los nodos

Nodo	Vecino
A	B
B	A,C,D
C	B,E
D	B,E
E	C,D

III.2.5 Basada en Cuadrantes

Cuando existen varias posibilidades y donde la calidad del enlace no se sacrifica, se puede direccionar el descubrimiento basándonos en la ubicación de los nodos. Por ejemplo, en el caso que se ha analizado, las rutas a escoger serían DBEJ y DFEJ para la red mostrada en la Figura III.5; así se utilizará sólo un cuadrante y los nodos restantes pueden participar en otro enlace.

A continuación se muestra las rutas disponibles (más cortas) del nodo D hacia el nodo J

- **DBEJ**
- **DFEJ**
- **DFIJ**
- **DHFEJ**
- **DHIJ**

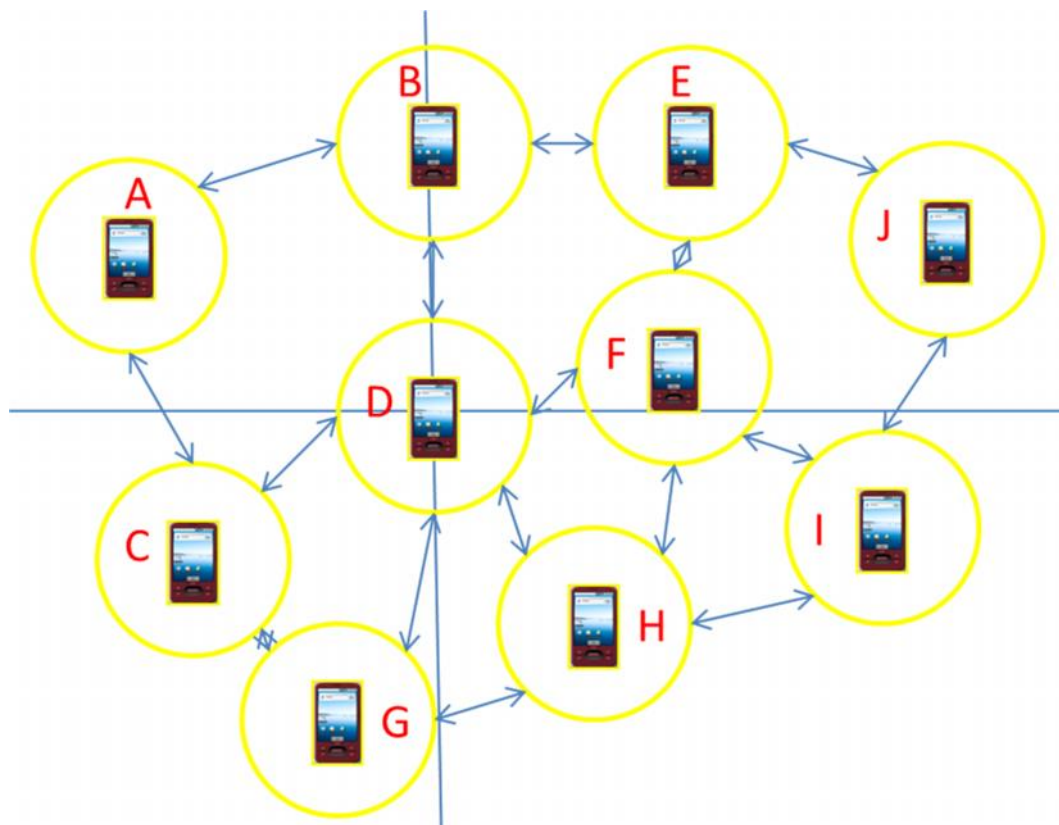


Figura III.5. Descubrimiento de rutas basado en cuadrantes

Tener un dispositivo que sea capaz de compartir su ubicación ayudará cuando el nodo origen desee comunicarse con un nodo destino, el nodo origen, este segmenta la red en cuatro cuadrantes en donde él, será ubicado en el centro de los cuadrantes y al hacer el cálculo podrá predecir hacia donde se hará la inundación en caso de que se pierda una ruta y así no se inundará toda la red, al haber realizado la inundación direccionada y no encontrar al nodo destino este podrá ahora inundar toda la red para así asegurarse que el nodo no se encuentra en la red. De esta manera cuando se desee enviar un paquete nuevo no se utilice toda la red y se haga un descubrimiento direccionado para confirmar que la ruta todavía existe.

III.2.6 Basada en Medición de Potencia

Tomando en cuenta el escenario anterior se asigna un identificador a cada enlace (m,n,o,p y q), como se muestra en la Figura III.6, esto servirá para identificar cada nodo y poder analizar los saltos. También se considera la potencia de recepción para tomar decisiones sobre las rutas y evitar enlaces que requieran mayor potencia, o a su vez si el dispositivo es capaz de controlar la potencia de transmisión y ajustarse, aportaría ventajas debido a que los dispositivos móviles cuentan con energía limitada por la capacidad de sus baterías.

La medición de potencia se muestra de manera general en donde se toma como base el mismo escenario anterior para mostrar dos posibles rutas en donde cada uno de los nodos puede medir la potencia de recepción en la cual el nodo fuente tomara decisiones de la potencia promedio tomando en cuenta el número de saltos mínimos posibles para la toma de decisiones, es decir si la cantidad de saltos es menor en una ruta pero la potencia es menor que en una cantidad de saltos mayor, el software desarrollado podrá tomar otros parámetros como la cantidad de energía disponible en los dispositivos, en el caso donde la energía disponible es mayor, este podrá tomar como ruta optima la más larga en el caso donde el enlace sea más confiable o en donde los nodos no se encuentren con una mayor movilidad.

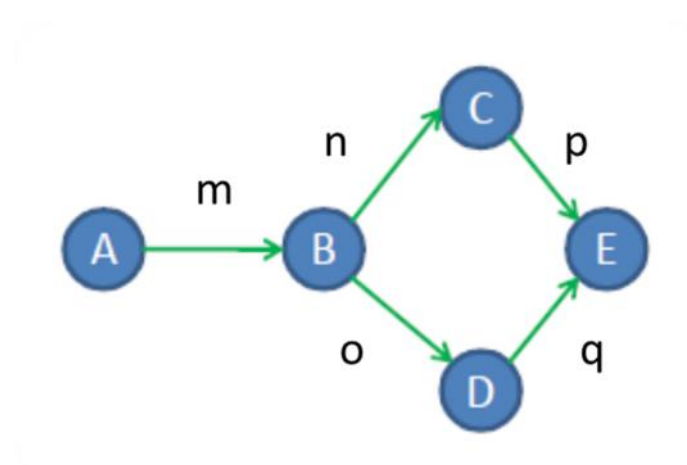


Figura III.6. Identificación de la potencia del enlace.

En la Tabla III.2 se muestra el enlace y su identificador de potencia, esto para poder hacer cálculos matemáticos.

Tabla III.2. Potencia existente en los enlaces

Enlace	Potencia
A-B	m
B-C	n
B-D	o
C-E	p
D-E	q

Como ya se observó, solamente existen dos rutas posibles para los nodos A y E, al poder hacer la sumatoria de cada una de las tramas se puede obtener un promedio del total de la energía necesitada o potencia requerida. En la Tabla III.3 se muestra el resultado de la suma de las potencias con relación a sus enlaces de las dos rutas posibles.

Tabla III.3. Caminos existentes del nodo A hacia el nodo E

Caminos posibles	Suma de potencias
A-B-C-E	m+n+p
A-B-D-E	m+o+q

Si la suma de potencias de recepción de cada camino posible, cuando el número de saltos es igual, la ruta recomendada será la de mayor promedio, en una escala del cero al 100. En la Tabla III.4 se muestra un ejemplo donde la primera ruta conformada por “m, n y p” suma un total de 290 el cual nos da un promedio de 96.666 y en la segunda ruta un total de 90 como promedio, si se analiza los enlaces de la primer ruta en la cual se tienen dos enlaces a máxima potencia (100) dará como resultado un mayor promedio. Cuando se analizan rutas con un número mayor de enlaces, se recomienda participar a la menor cantidad de saltos equivalentes entre diferentes rutas con la misma cantidad de saltos para tener una mejor estimación ya que si la ruta contiene

muchos enlaces y puede contener un enlace con muy baja potencia esta no podría ser significativa en la operación y se podría seleccionar una ruta en la cual se podría tener un enlace débil el cual podría llevar a tener una pobre comunicación o interrupción del enlace.

Tabla III.4. Potencias

m=90,n=100,p=100	PTp=290/3=96.666
m=90,o=90,q=90	PTp=270/3=90

Cuando la cantidad de saltos es diferente y si la potencia promedio de la ruta es mayor al 50% se tomará la de menor cantidad de saltos.

III.2.7 Configuración de Simulaciones

Las simulaciones presentadas no toman en cuenta algún otro parámetro que no se mencione y solo plasma la idea general de los escenarios propuestos a fin. Es decir, los escenarios propuestos y configuraciones se enfocan solamente en plasmar los requerimientos mínimos necesarios para la validación de los escenarios y propuestas plasmados y no pretenden generalizar en diferentes circunstancias que se puedan presentar en la vida real. Es por ello que como parte medular de los protocolos de enrutamiento para MANET en donde la parte importante es el de descubrir las rutas, no se toman en cuenta condiciones que no se mencionen en la configuración de las simulaciones.

Se utiliza OPNET para simular y comparar el protocolo propuesto. Conocer sobre el tipo de mediciones y resultados que se pueden obtener de las simulaciones es muy importante tener el panorama amplio y predecir el comportamiento de la red bajo diferentes escenarios o circunstancias. En la Figura III.7 se muestra el tipo de información que puede ser obtenida como

resultado de la simulación, que muestra el tráfico recibido, el número de saltos, paquetes descartados, etc. Se pueden observar las métricas que se obtienen al simular las redes MANET.

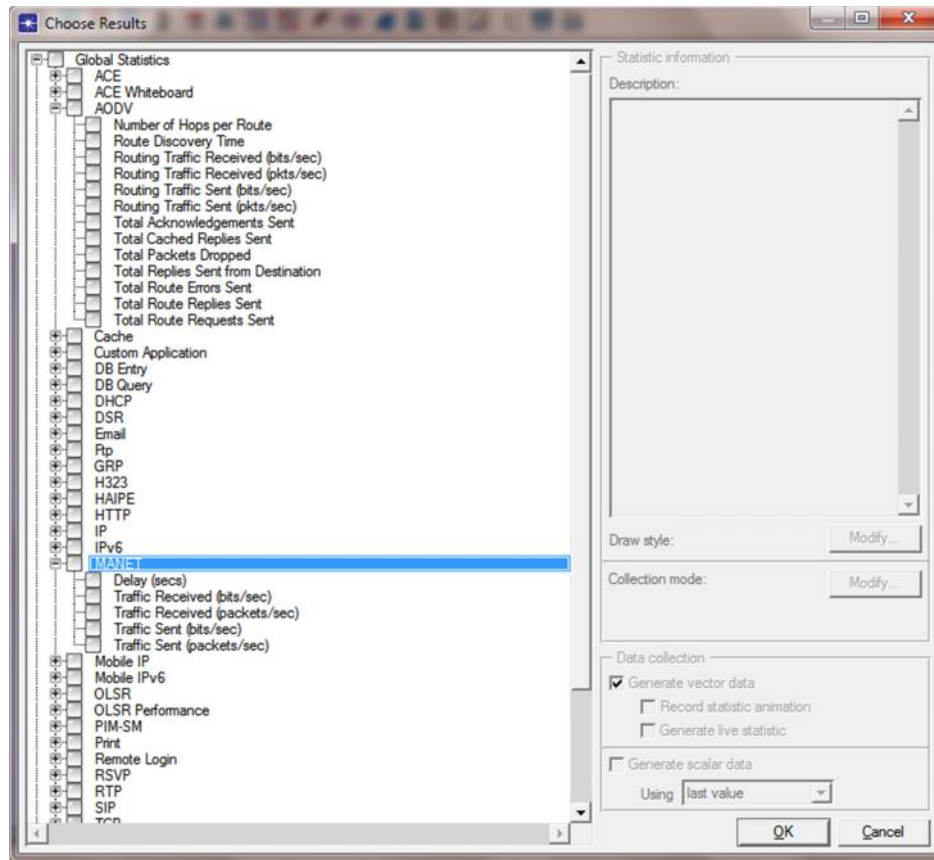


Figura III.7. Resultado de las métricas para OPNET.

III.2.7.1 Análisis de Tráfico AODV

En la Figura III.8 se muestra el planteamiento de una red compuesta por cinco nodos representados por un transmisor o “Nodo TX”, un receptor o “Nodo RX”, y tres nodos intermedios. La topología mostrada sirve para analizar el comportamiento de los paquetes enviados, el número de saltos, paquetes perdidos, tiempo de respuesta para el descubrimiento de las rutas y para comparar el número de paquetes que recibe cada uno de los nodos participantes en la red. En este caso se seleccionó que todos los nodos fueran “*manet_station_adv*”, debido a que solo se especificará el envío de paquetes para una red MANET.

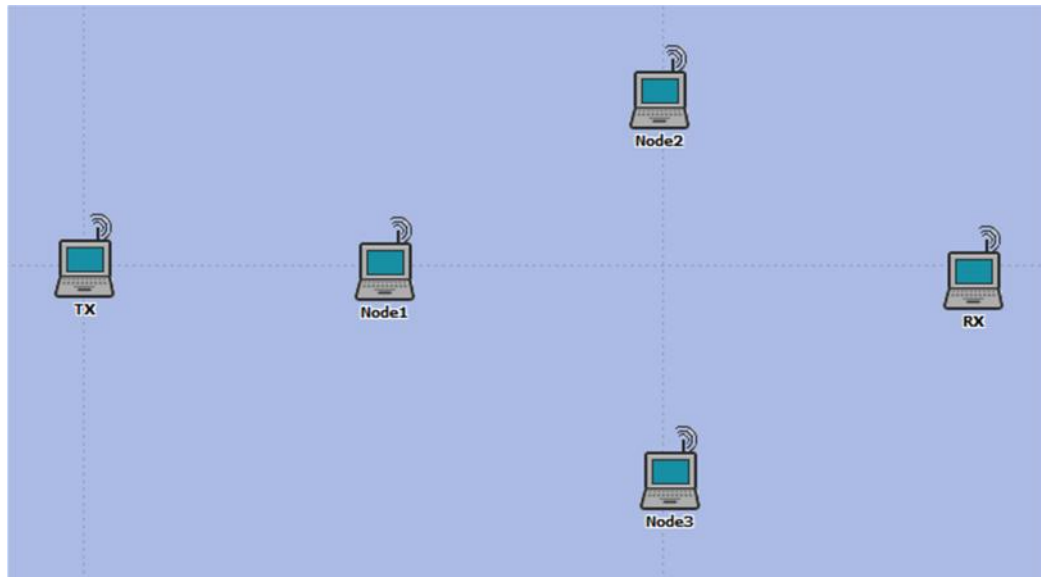


Figura III.8. Topología de la RED que se simula.

III.2.7.2 *Configuración para Nodo Transmisor*

En los atributos de nodo, se muestran los parámetros de funcionalidad del nodo (Figura III.9); es decir, es aquí donde se especifica su función y qué tipo de aplicaciones o protocolos utilizará el nodo al momento de la simulación, como se puede observar el nodo TX especifica que no tienen movilidad ya que en la trayectoria indica “*NONE*”, aunado a esto se especifica que el protocolo de enrutamiento será AODV, otra característica importante es la asignación de la dirección IP definida como 10.1.1.1.

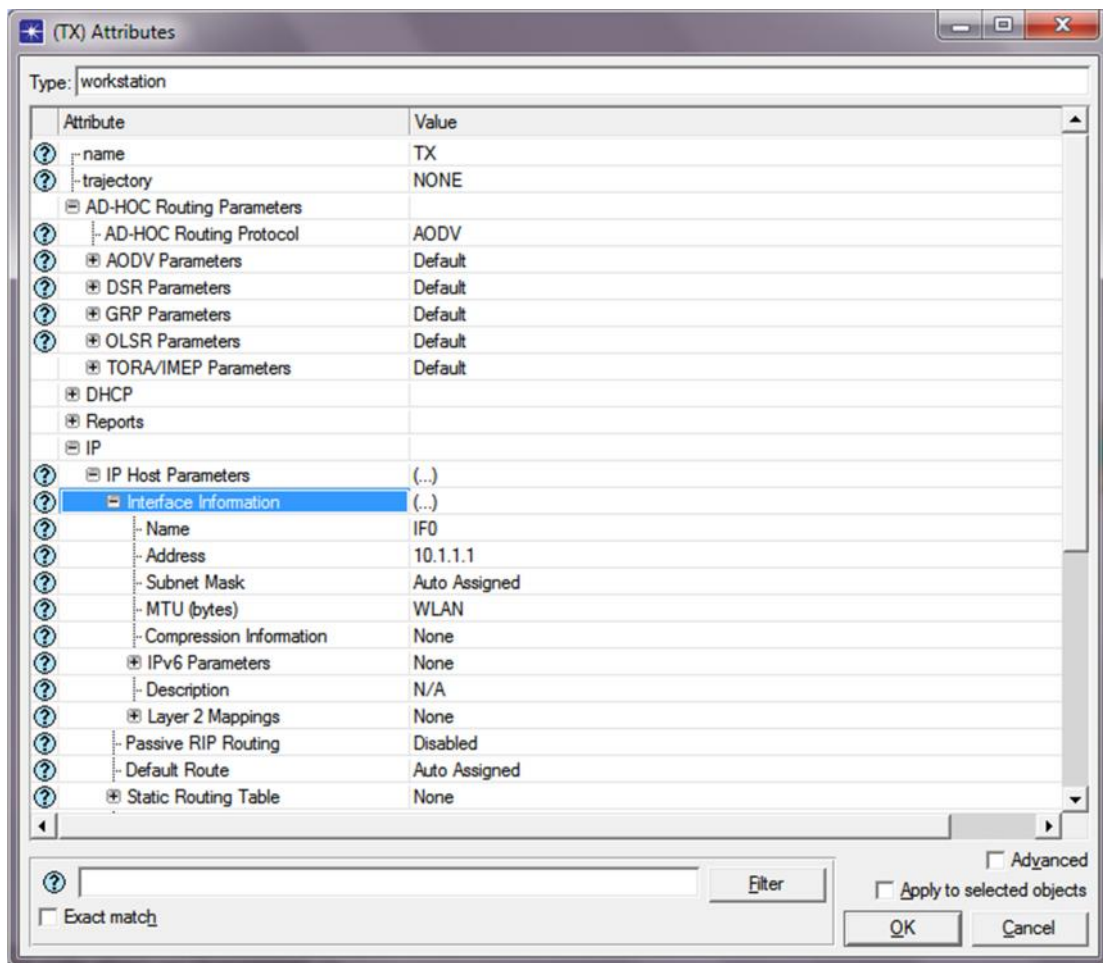


Figura III.9. Atributos para Nodo TX.

Por otra parte, la generación de paquetes se especifica en la sección “*MANET Traffic Generation Parameters*”, esto implica que el paquete se iniciará su propagación después de 100 segundos después de iniciar la simulación, o sea que el intervalo de envío del paquete será de 100 segundos y el tamaño del paquete de 1024 bits (Figura III.10). También se especifica la dirección IP destino 10.1.1.2 del nodo RX

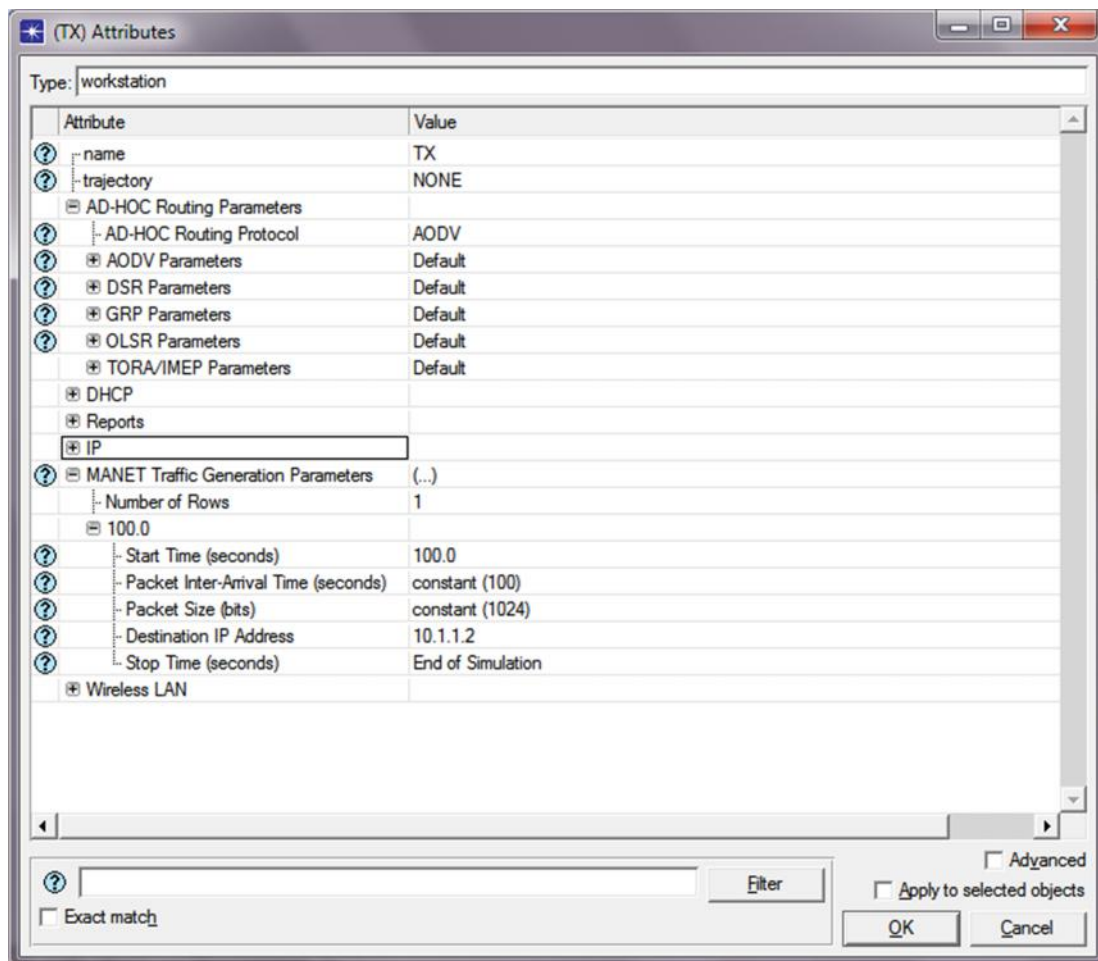


Figura III.10. Atributos para Nodo TX (Generación de Tráfico).

III.2.7.3 Parámetros para Nodos Intermedios

Para los nodos intermedios solo se especificó el uso del protocolo AODV, en cambio en los nodos estáticos no se crearan paquetes por sí mismos, esto quiere decir que solamente retransmitirán la información que reciban (Figura III.11).

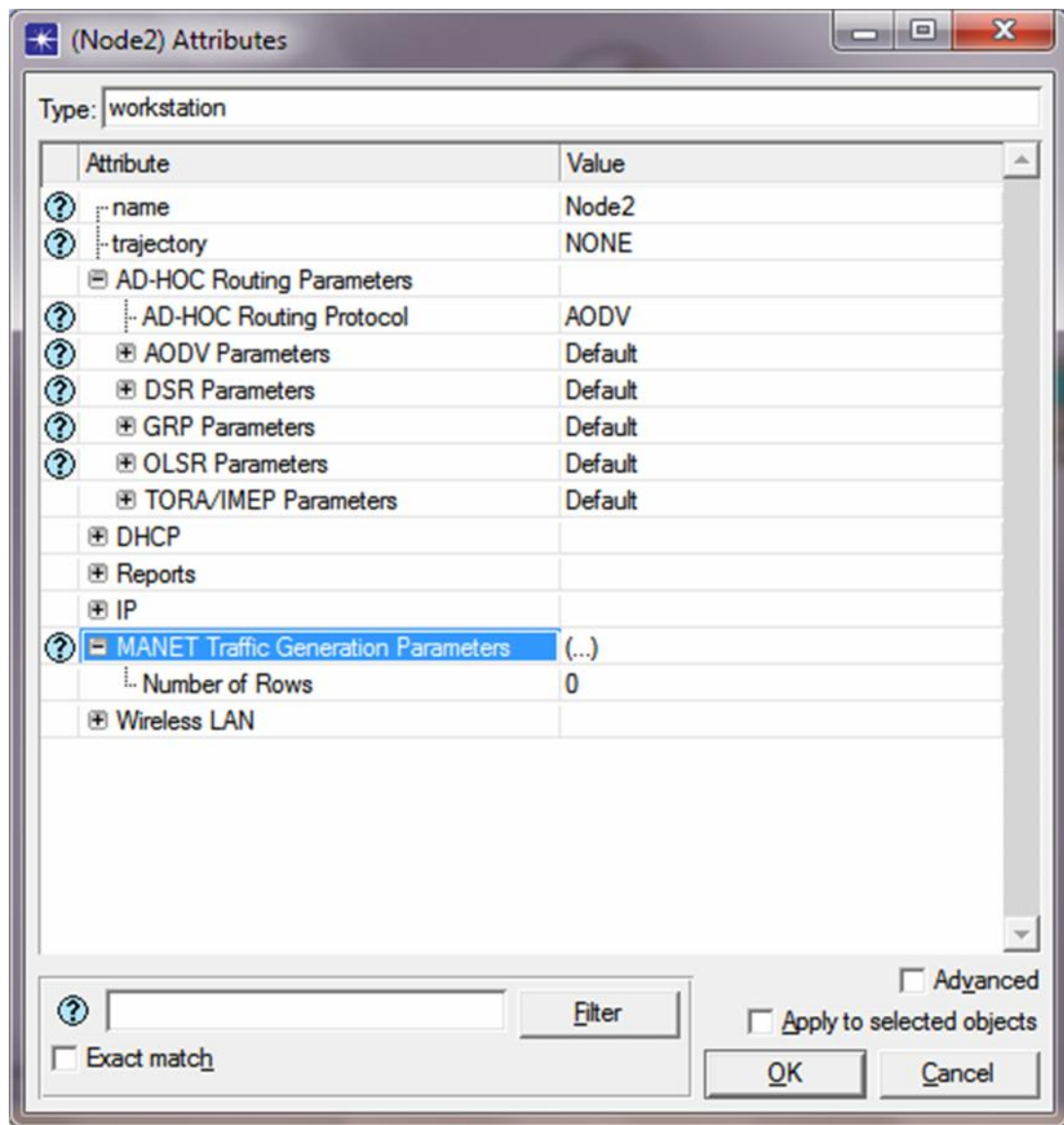


Figura III.11. Atributos para los nodos intermedios

III.2.7.4 Parámetros para Nodo Receptor

De igual manera que el nodo TX, para el nodo receptor RX se especifican los parámetros de dirección IP y el uso del protocolo AODV, pero no generarán tráfico sólo esperarán recibir

información del nodo TX, dado que solo el nodo TX generará paquetes cuyo destino es el nodo RX (Figura III.12).

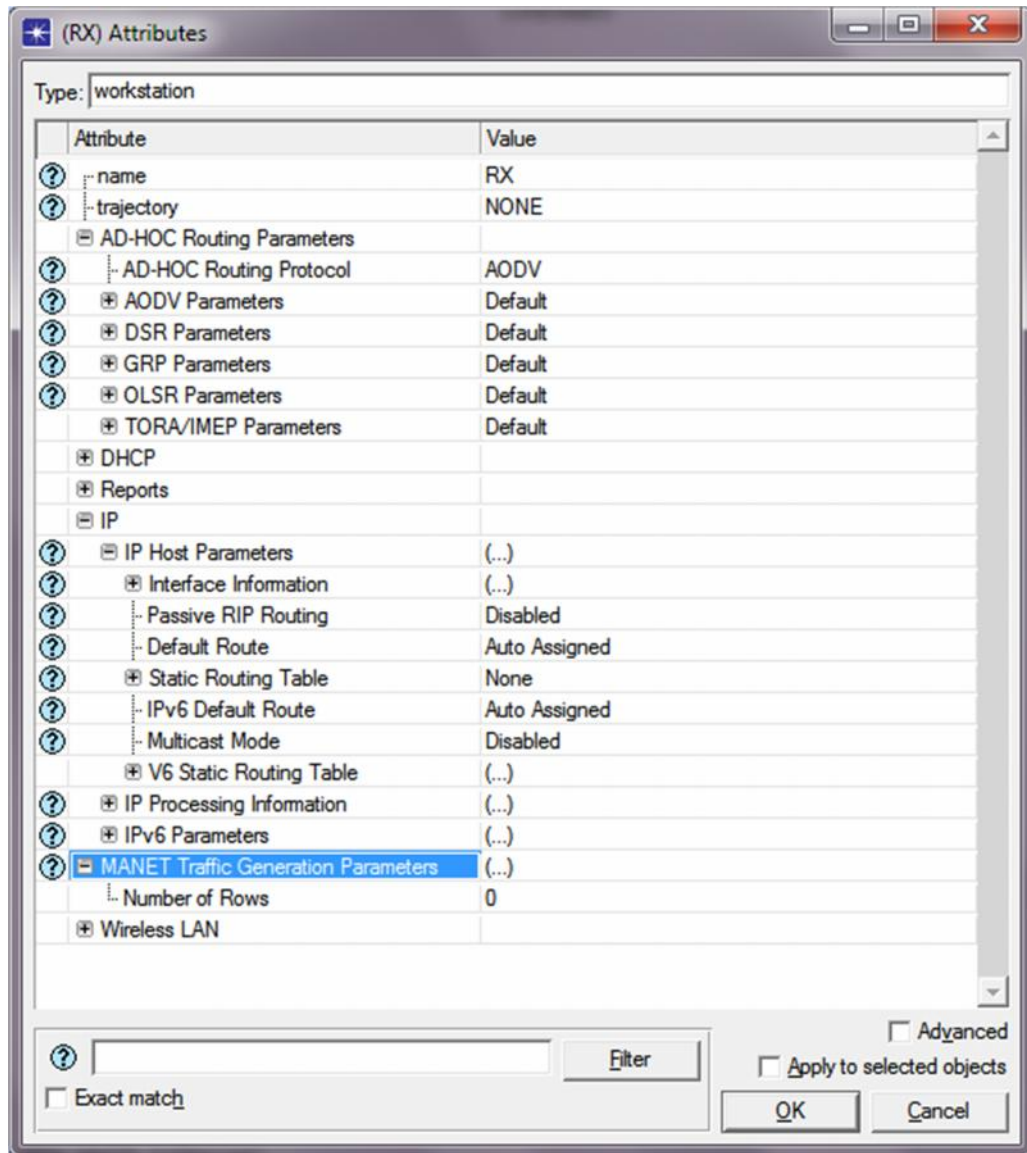


Figura III.12. Atributos para nodo RX.

III.2.7.5 Parámetros de Simulación

En este trabajo se estableció un intervalo corrido de simulación de 1 hora, Figura III.13, tiempo suficiente para analizar el comportamiento de esta red simple.

Las principales características a medir serán: (i) la cantidad de saltos realizados y (ii) el tiempo que tarda en descubrir las rutas. Se utiliza el protocolo AODV. El direccionamiento de los paquetes se hace por medio de la asignación de direcciones IP a cada uno de los nodos.

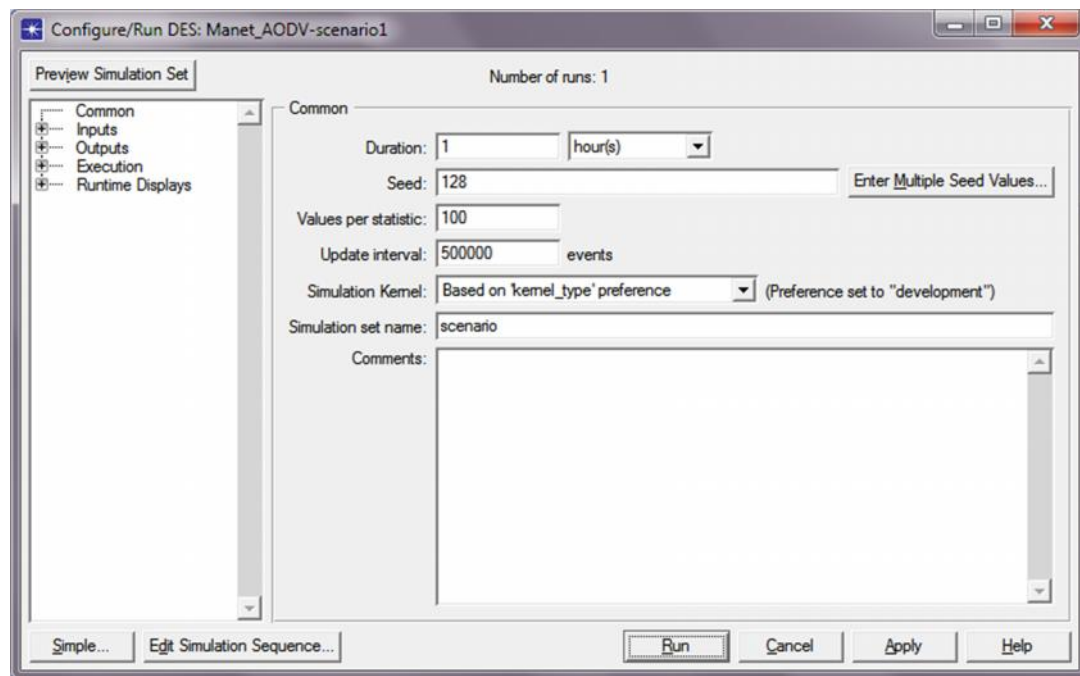


Figura III.13. Parámetros de Simulación

A continuación en la Figura III.14 se muestra el número de saltos por cada paquete enviado al nodo TX y el tiempo de descubrimiento de la ruta. En este escenario se puede ver que existen dos paquetes para los cuales el protocolo tarda un poco más de medio segundo para descubrir la ruta y se verifica que el número de saltos asociados a este enlace es de dos.

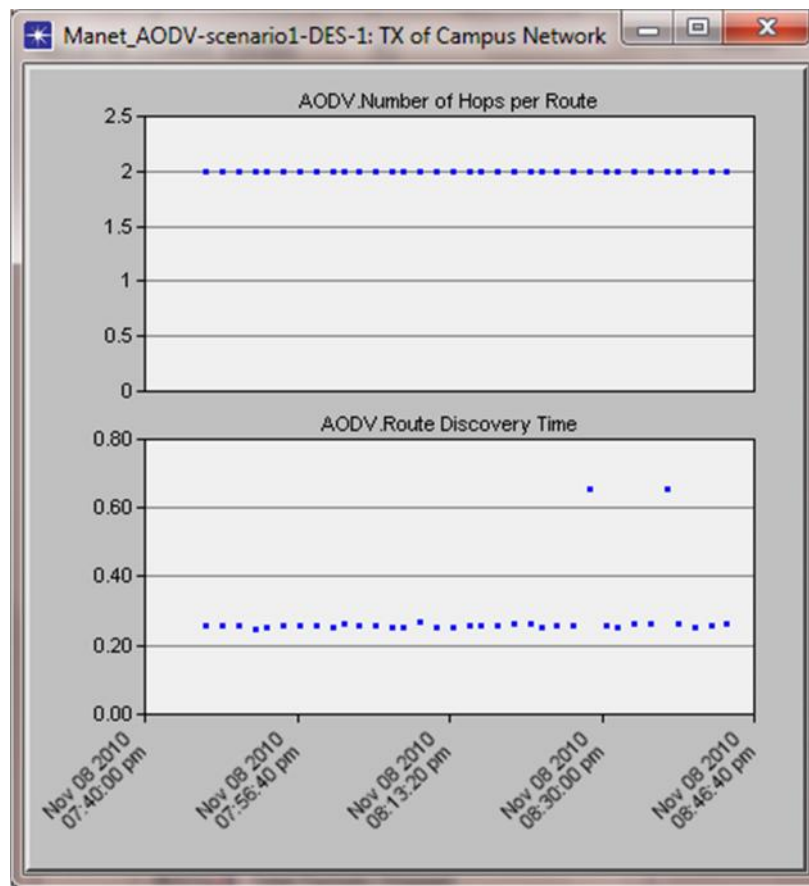


Figura III.14. Número de saltos y tiempo de descubrimiento de la ruta desde el nodo TX hacia el nodo RX.

III.2.8 Análisis de AODV en una Red Pequeña.

En la siguiente simulación se especifica la utilización del protocolo AODV pero con un tiempo menor a la simulación anterior.

Para poder apreciar mejor el envío de paquetes, se especificó un tiempo de simulación de 10 minutos (Figura III.15) tiempo suficiente para permitir la comparación de paquetes transferidos, se utiliza la misma estructura de nodos que en la figura III.8. Igualmente que la

simulación anterior se observa que el número de saltos y el tiempo de descubrimiento se mantienen estables.

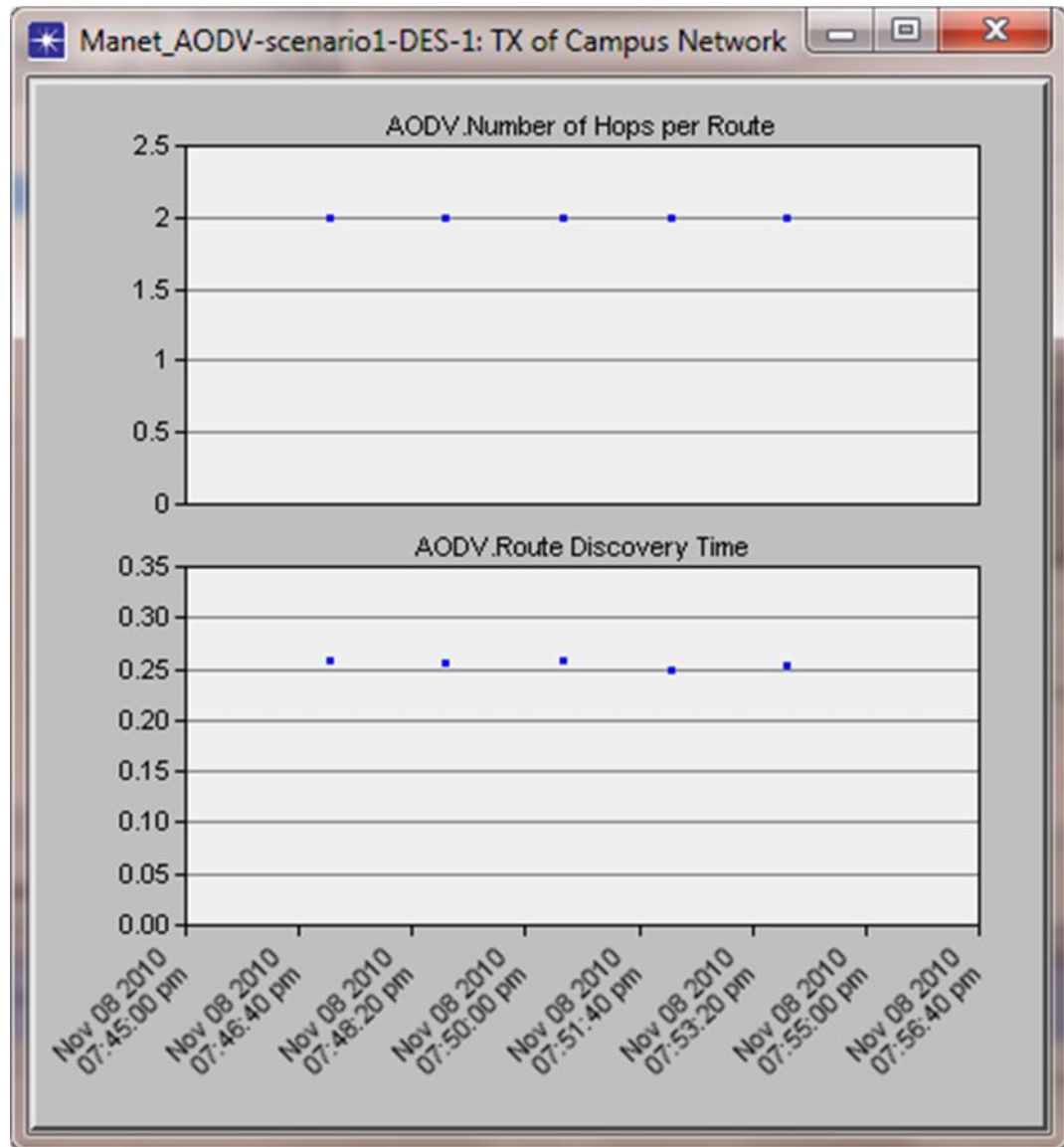


Figura III.15. Número de saltos y tiempo para 10 min. de simulación

Al analizar y comparar los paquetes recibidos del nodo TX (Figura III.16), se observa que es similar al número de paquetes enviados, esto debido a que el nodo vecino (Node1) al recibir la información proveniente de TX y al no ser el nodo destino (IP 10.1.1.2), este retransmitirá la

información y es por ello que al estar el TX en el rango de alcance, escuchará y recibirá toda la información proveniente del Node1 aun cuando éste descarte alguna información.

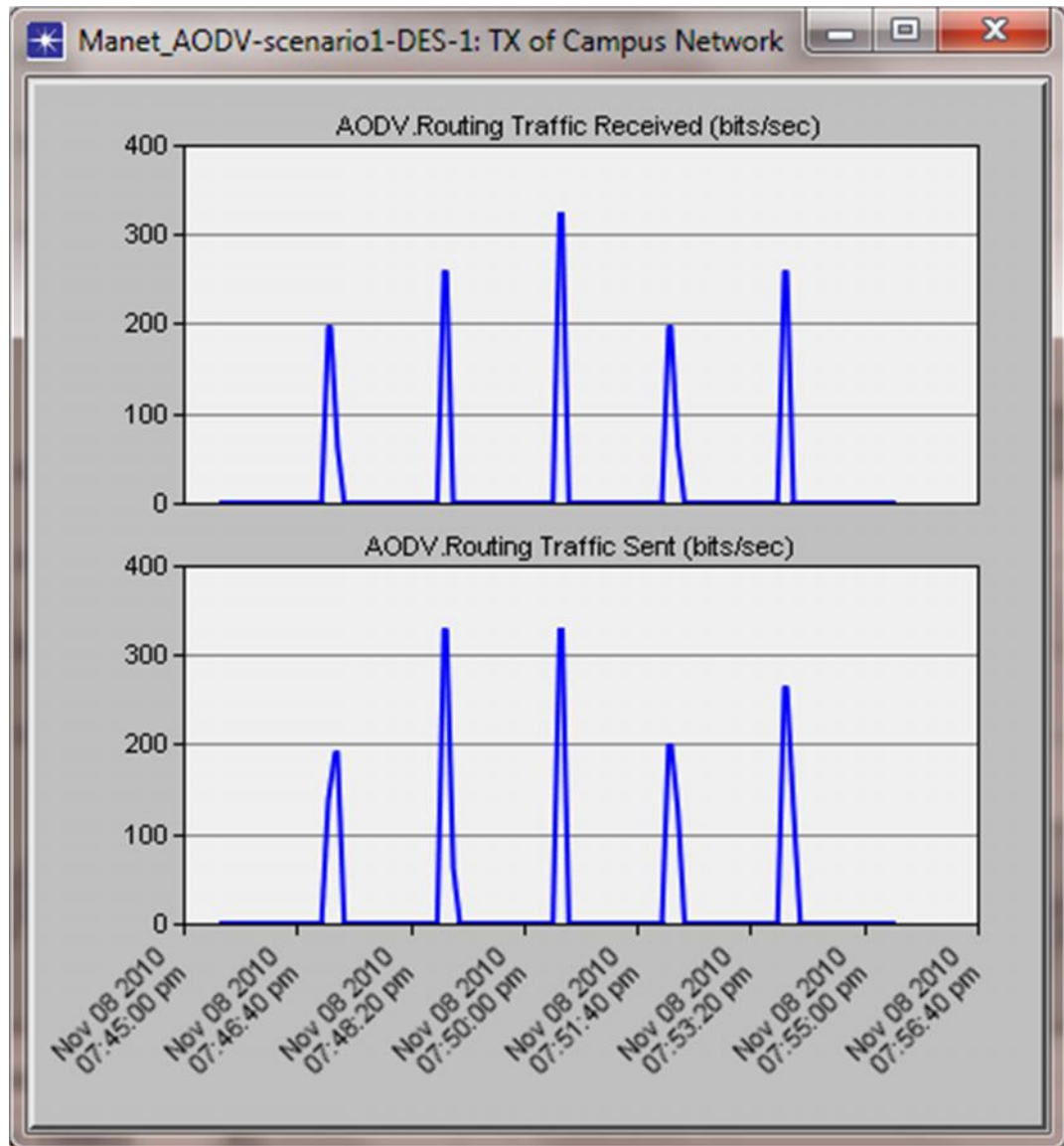


Figura III.16. Tráfico recibido y enviado para TX.

Analizando los nodos intermedios (Figura III.17) se observa el número de saltos requeridos para la entrega de la información y el tamaño de la tabla de rutas. Tal y como se especifica en el protocolo, cada nodo guardará información relevante de los nodos vecinos y rutas previamente descubiertas. También se observa que la mayor cantidad de nodos en la tabla de

enrutamiento es igual al número de nodos participantes en la red menos uno, esto sería $n-1$ si n es igual al número de nodos participantes en la red.



Figura III.17. Número de saltos y tamaño de tabla para nodos intermedios

Para el caso de los nodos intermedios, el tráfico a través del nodo Node1 en la Figura III.18 se observa que al igual el nodo TX al estar cerca de un nodo que transmita o re-transmita información perjudica o mantiene ocupados a los nodos vecinos. Es decir, el nodo está recibiendo más información de la que realmente está transmitiendo, de aquí se puede concluir que en una transmisión los nodos intermedios son los que se mantendrán más ocupados y por ende los que consumirán más energía.

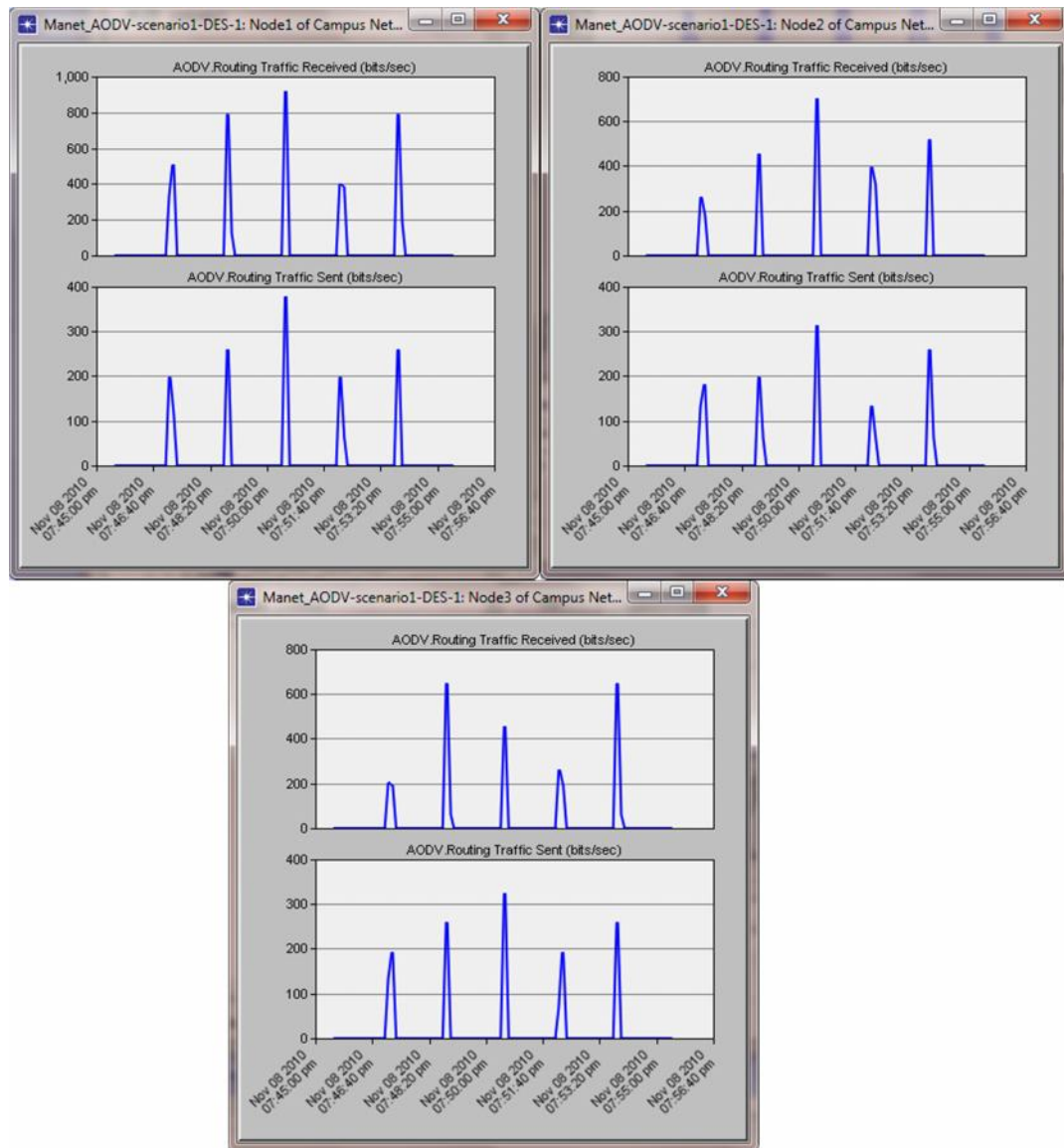


Figura III.18. Tráfico recibido y enviado para nodos intermedios

Otra métrica observable en Opnet es el número de errores de ruta generados en el transcurso de la simulación y las solicitudes de descubrimiento de ruta RREQ que recibe el nodo, esto se muestra en la Figura III.19. Se puede decir que para cada transmisión realizada por TX el nodo Node1 recibe la petición de ruta sin problemas. El nodo Node3 no presentó errores.

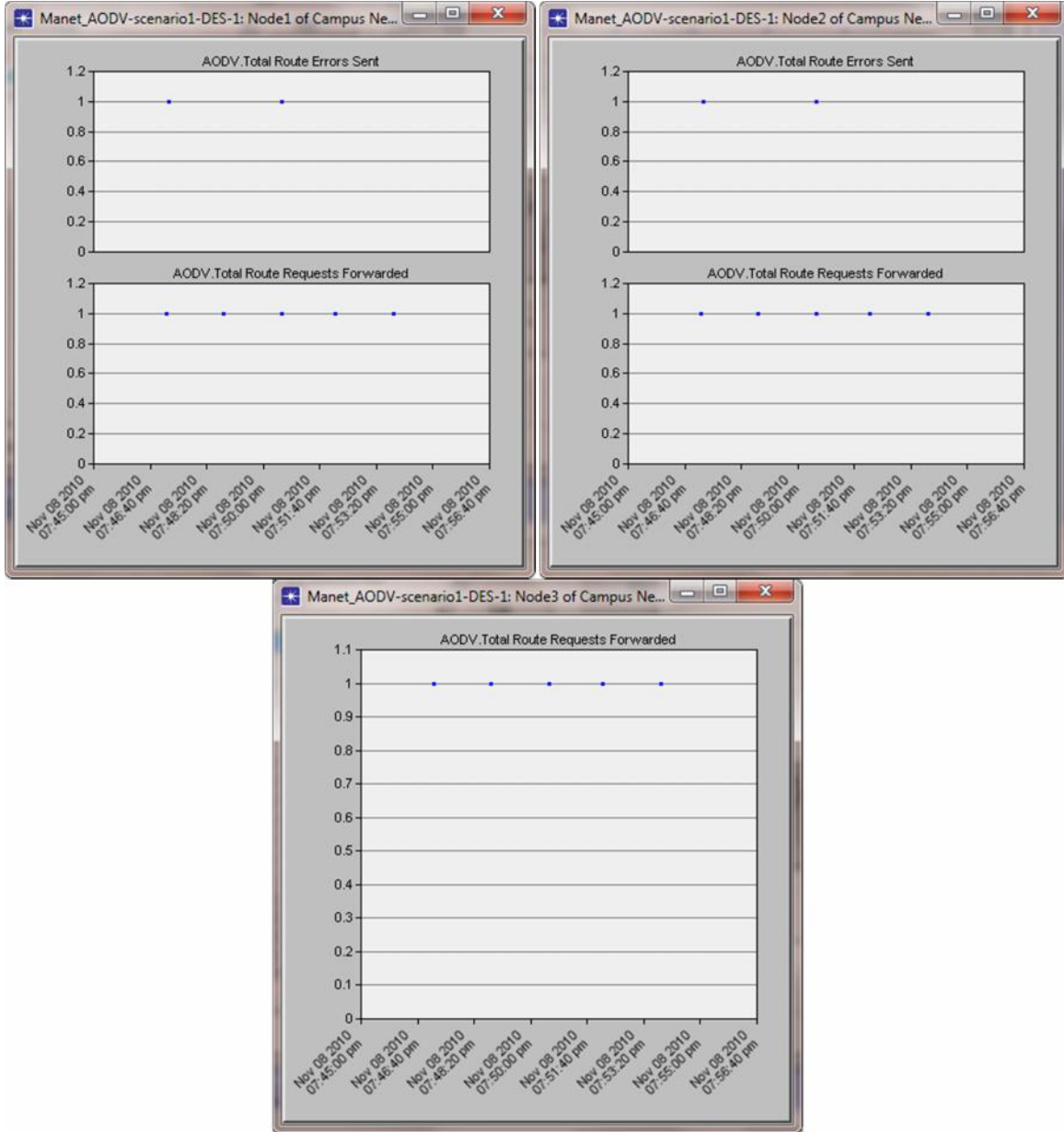


Figura III.19. RERR y RREQ para nodos intermedios

Al igual que en los casos anteriores, en la Figura III.20 se observa el comportamiento de los saltos necesarios para llegar al destino y el tamaño de la Tabla de Rutas.

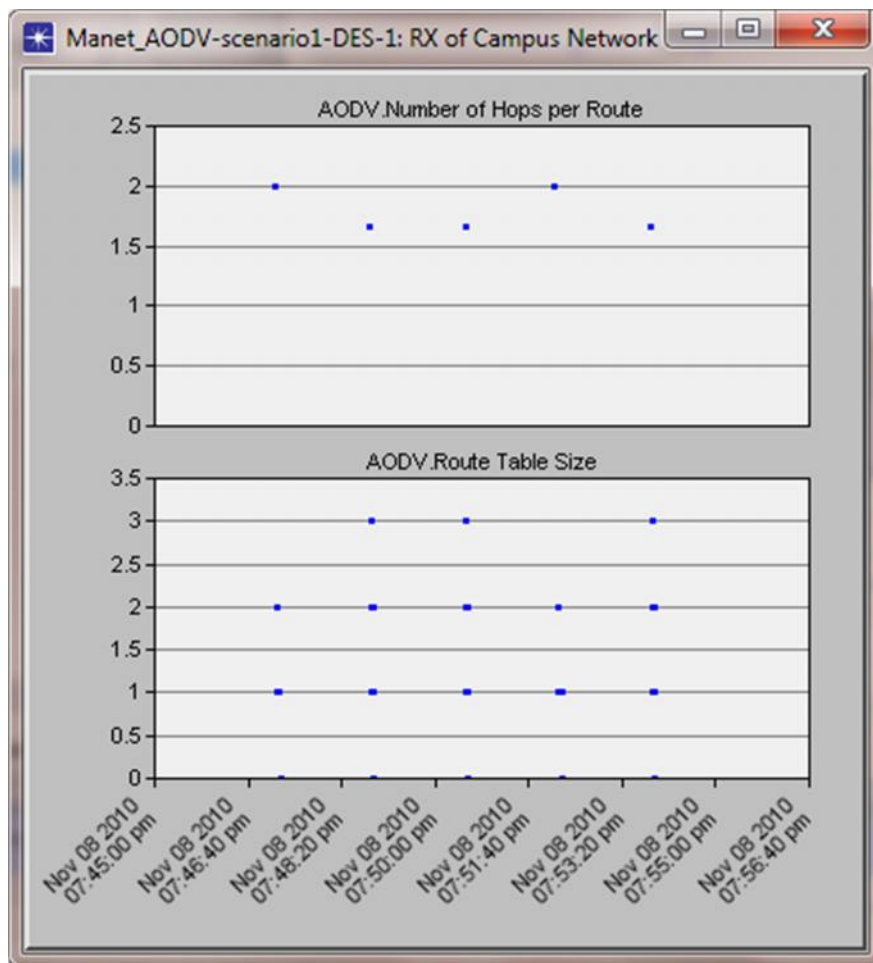


Figura III.20. Número de saltos y tamaño de tabla para RX

El nodo RX es el único en la red que podrá responder con un mensaje RREP ya que los mensajes fueron enviados a él, en la Figura III.21, se puede observar que todas las transmisiones de solicitud de ruta fueran respondidas.

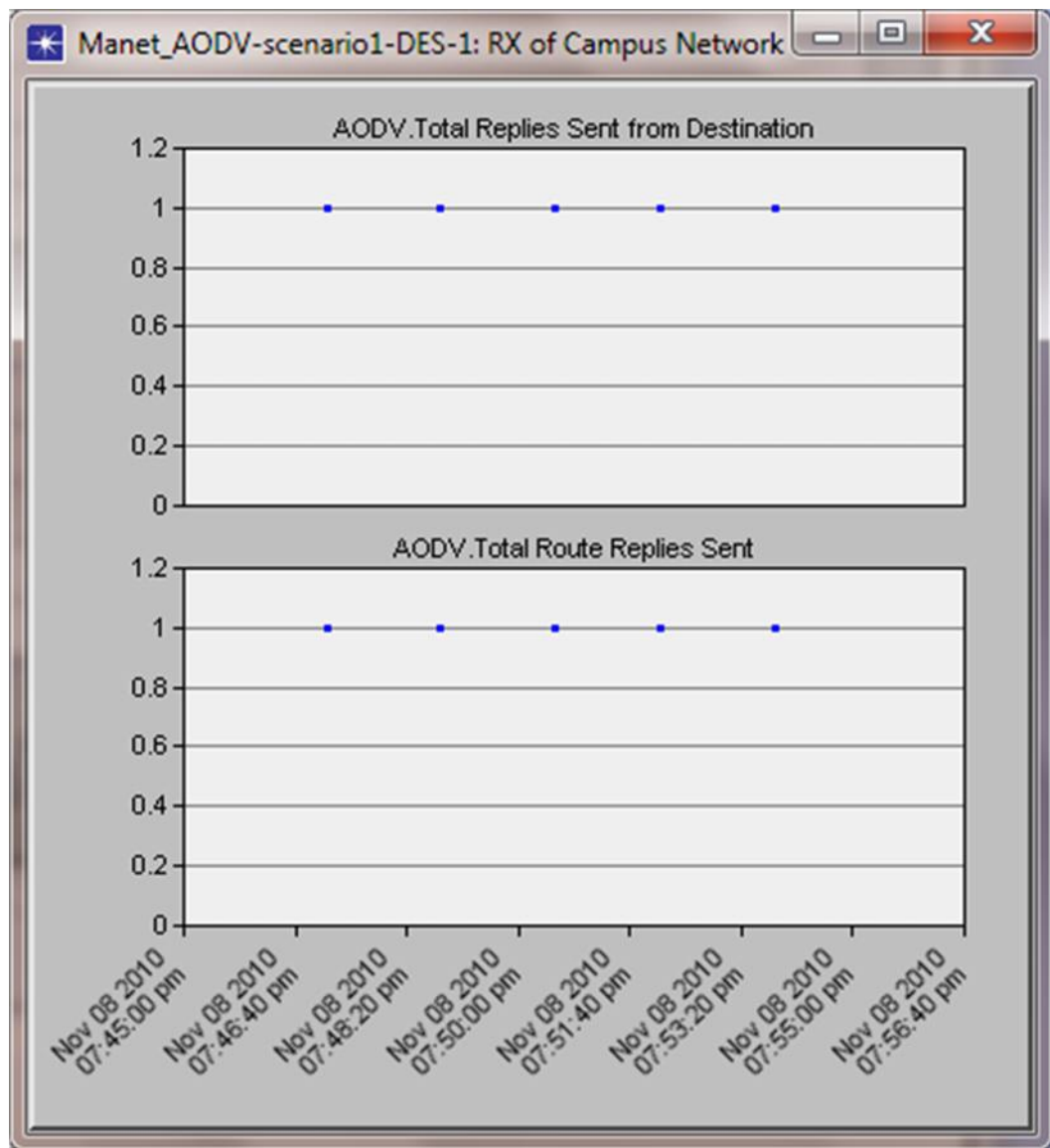


Figura III.21. RREP enviados de y hacia RX

En la Figura III.22 se aprecia que parte de la información enviada por el nodo TX es recibida por el nodo RX ya que la gráfica superior de la misma Figura, muestra los paquetes recibidos y se ve que es mayor en cada uno de los envíos.

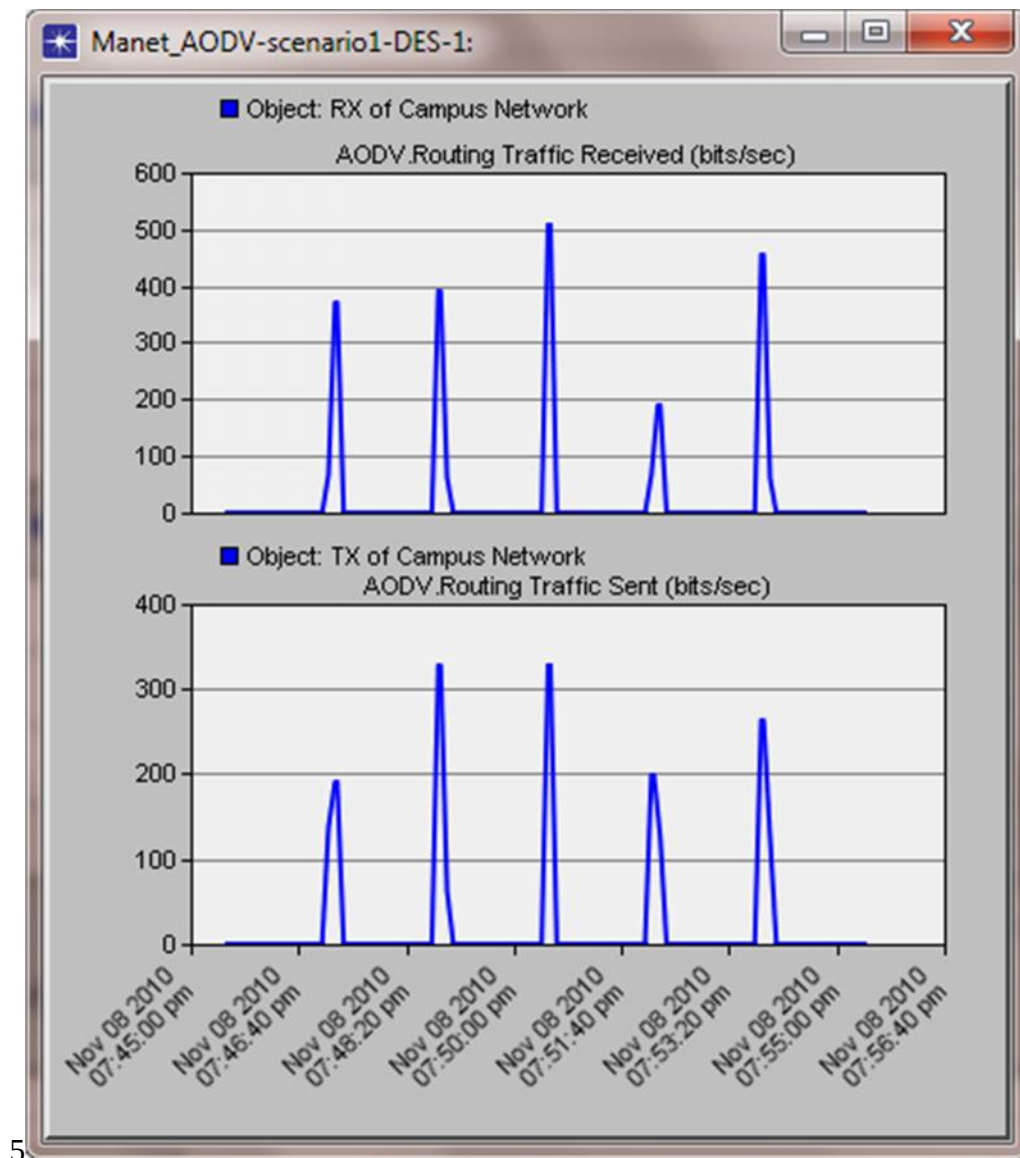


Figura III.22. Tráfico enviado de TX y Recibido por RX

Para verificar que los nodos intermedios están recibiendo información se puede comparar la gráfica anterior con la Figura III.23 y se verifica que si se cumple con la mayor cantidad de información recibida, en esta gráfica los nodos Node2 y Node3 muestran menos paquetes recibidos debido a que en algunas ocasiones la información fue transmitida por el camino que conforman TX-Node1-Node2-RX y por otra parte TX-Node1-Node3-RX.

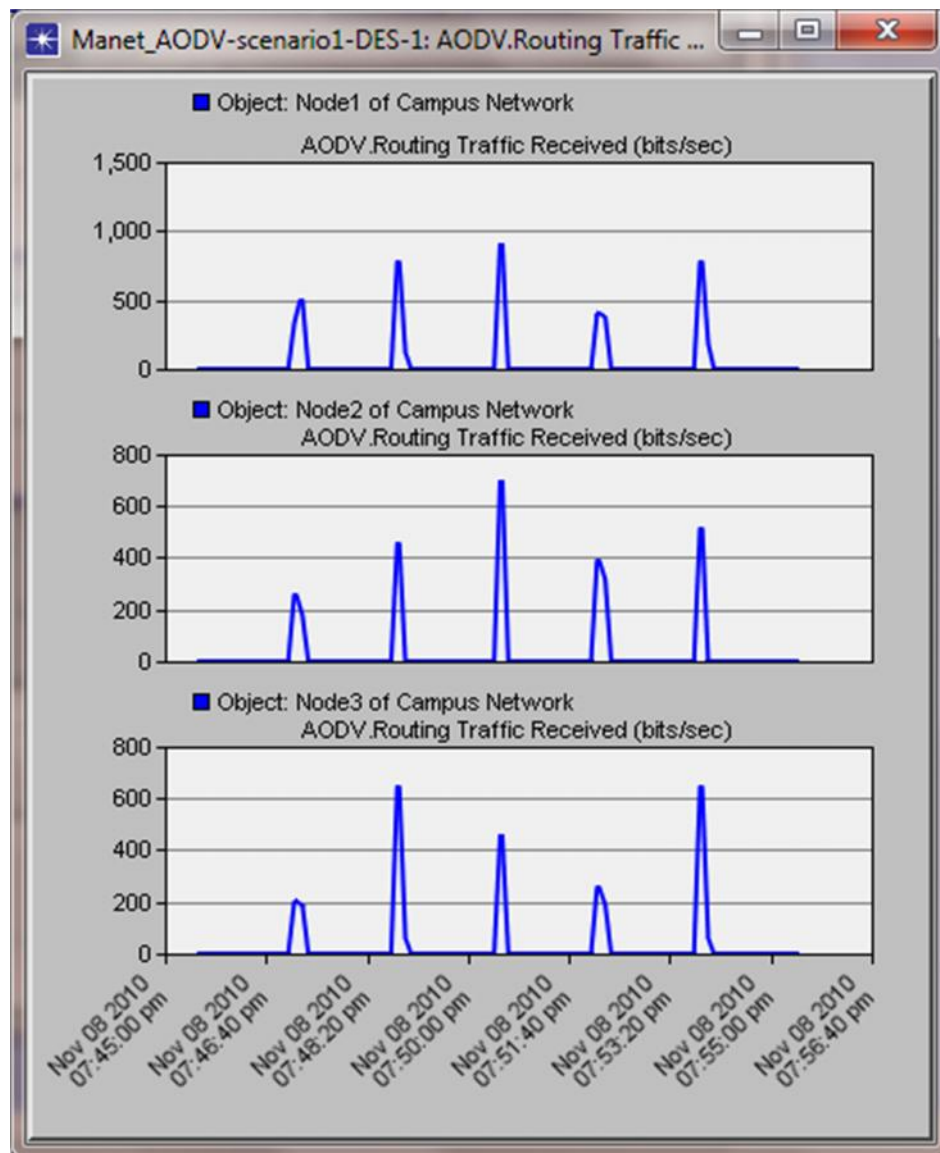


Figura III.23. Tráfico recibido por nodos intermedios

III.2.9 Propuestas para AODV

El descubrimiento de rutas bajo demanda es la característica principal de las redes MANET, en el siguiente planteamiento se presenta un escenario en el cual solo dos nodos fueron configurados para mantener la comunicación entre los mismos. Se analiza qué tanto puede afectar a los nodos intermedios presentes en la red, aun cuando estos no sean los nodos transmisores o receptores del enlace que se desea.

Al igual que en las simulaciones anteriores se asigna como protocolo AODV, las direcciones por medio de direcciones IP y se asigna una movilidad de 1 m /s a cada uno de los nodos.

En la Figura III.24 se muestra el tamaño de la red integrada por 99 nodos, y se ubican los nodos RX y TX encerrados en un círculo.

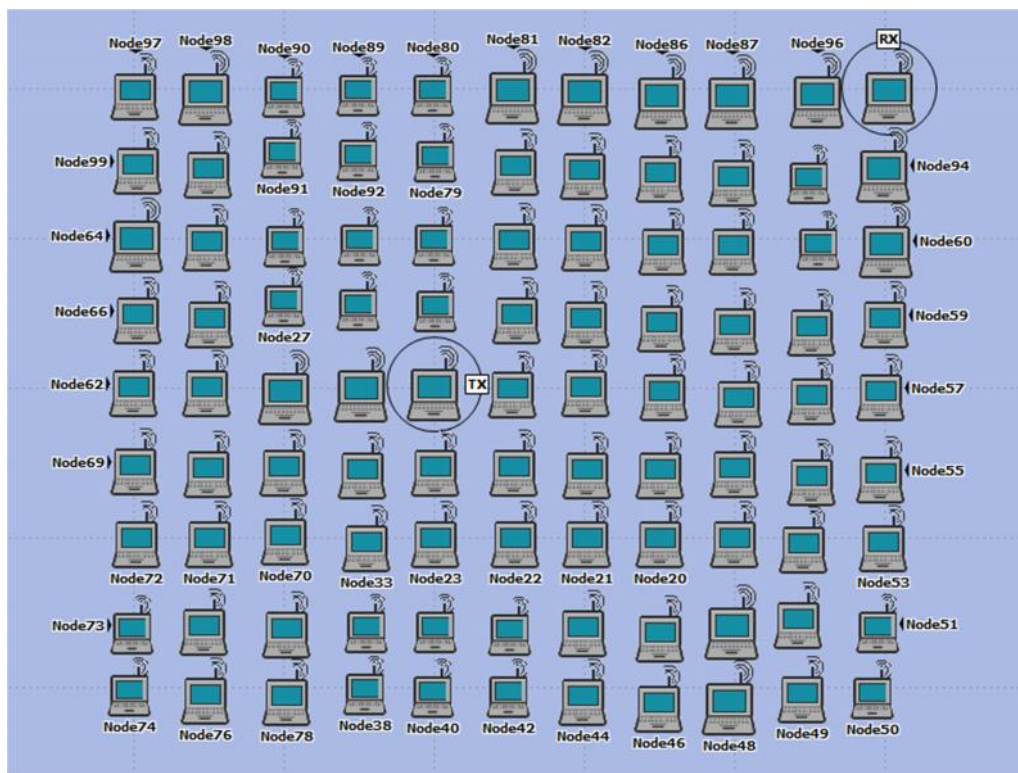


Figura III.24. Propuesta de red AODV.

Para cuestiones de análisis considérese al nodo Node74, de la Figura III.24, que se encuentra en la posición opuesta al nodo RX, esto para ver el comportamiento a los RREQ que genera TX. Nótese que aun cuando este nodo no es participe en la ruta o en la transmisión en sí, este nodo se encuentra ocupado cada vez que se hace una petición o que también está recibiendo información (Figura III.25).

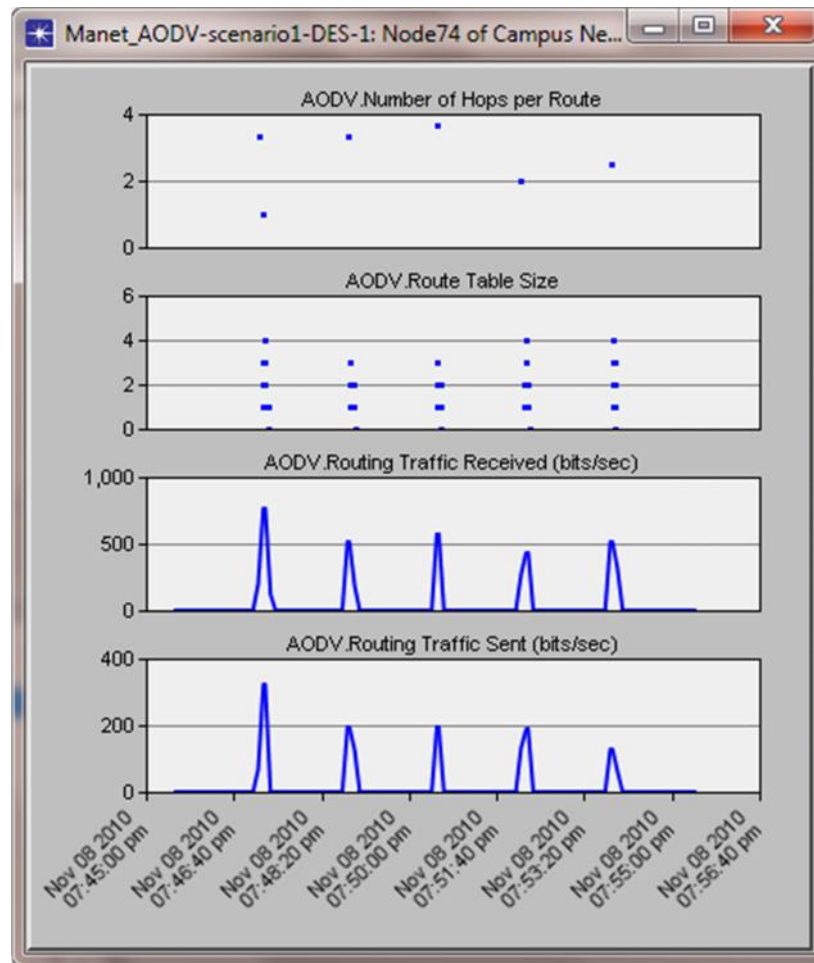


Figura III.25. Mediciones tomadas del tráfico a través del nodo Node74.

Los resultados muestran que aun cuando el nodo 74 (node74) no se encuentra directamente entre un enlace directo visual entre los nodos RX y TX, este también se ocupa en recibir y responder paquetes en el descubrimiento de las rutas.

Es por ello que al poder implementar un direccionamiento orientado o basado en la ubicación de los nodos participantes y los nodos intermedios se puede eliminar esta carga que representa para los nodos que no son los nodos destinos.

De manera global y al analizar el comportamiento del protocolo, se pueden generalizar los parámetros de medición y así caracterizar el comportamiento del protocolo, tal y como se muestra en la Figura III.26 donde se observa que el número de saltos promedio es igual a 2 y existen tiempos de descubrimientos de las rutas de 2 o 4 segundos, también se muestra un comparativo de la cantidad de información enviada y recibida.

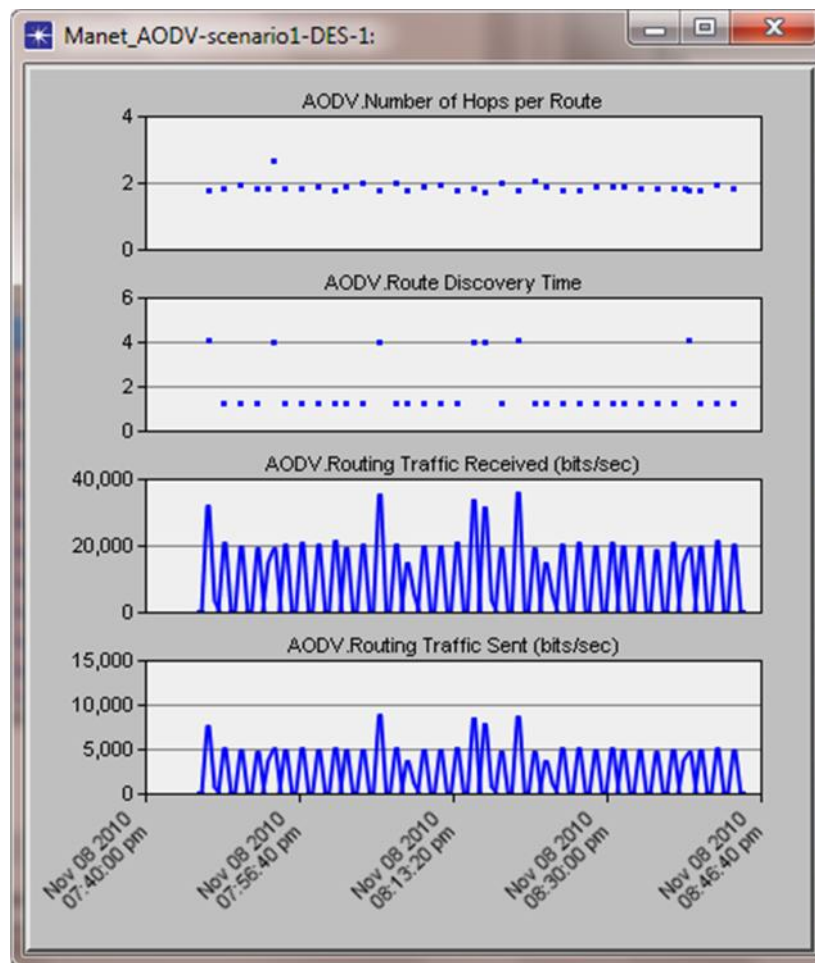


Figura III.26. Mediciones Globales de AODV

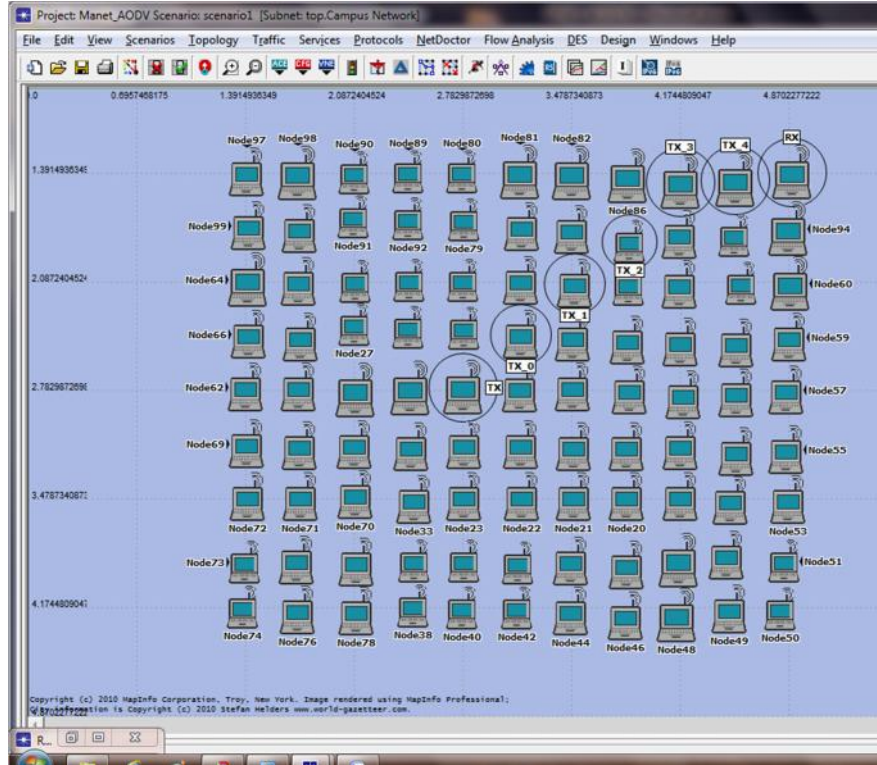
III.2.9.1 Asignación de direcciones a nodos

En el siguiente escenario de la Figura III.27 los nodos participantes que se muestran encerrados en círculos se configuraron para enviar un paquete después de 100 segundos solo una vez, y solamente al nodo siguiente hasta llegar al nodo RX, esto es para simular que los nodos ya conocen previamente al nodo vecino. Esto es de tal manera que a cada nodo se le asigna una dirección IP conocida y cuando un nodo desea enviar información, la envía específicamente

direccionando hacia el nodo destino más cercano, por ejemplo, en nodo TX le envía la información al nodo TX_0 indicando en la trama que esta información solamente va dirigida al nodo TX_0 y una vez recibida por este nodo, la trama no será retransmitida por que ya llevo al usuario destino.

El direccionamiento de los paquetes se hace tomando en cuenta que el nodo TX ya sabe de antemano en qué dirección se encuentra el nodo destino, en este escenario se puede observar que el nodo TX se encuentra centrado en la red, esto con motivo de poder particional la red en cuatro cuadrantes y analizar el comportamiento de los nodos distantes. Tomando en cuenta que se puede hacer uso de un GPS en cada uno de los nodos participantes, estos comparten su ubicación con cada uno de los nodos participes en la red, como el nodo TX conoce hacia donde puede enviar la información, este direccionara el paquete a cada uno de los nodos que se hallan escogido previamente.

En nuestro caso, así como la propuesta mencionada anteriormente la cual es basada en cuadrantes y al haber analizado la ubicación de cada uno de los nodos, se asume que el nodo RX ya tomó la decisión de cuál sería una de las rutas más optimas, en nuestro caso se escoge a los nodos más cercanos en dirección hacia el nodo destino. El direccionamiento se realiza con direcciones IP y al nodo origen se le especifica que envíe el paquete al nodo adjunto de la ruta presentada, el siguiente nodo es configurado para solo recibir y retransmitir la información del nodo TX y que sea re enviado al siguiente nodo en dirección del nodo RX.



Globalmente el comportamiento de la red se reduce drásticamente al forzar la comunicación entre nodo y nodo, agregando la dirección específica a cada uno de los nodos y cada nodo adyacente enviará solo al nodo subsecuente y así reducir el descubrimiento de las rutas. Al agregar el direccionamiento forzado (indicando cual es la dirección de cada nodo participante en la trama) a las tramas de retorno, se puede enviar el paquete incluyendo únicamente a cada uno de los nodos que se desea sean partícipes en la transmisión y los nodos no partícipes no retransmitirán la trama y por lo tanto no se inundara la red. En la Figura III.28 se muestra que el tiempo de descubrimiento de las rutas se reduce significativamente, cuando se implementa un escaneo y direccionamiento de las rutas o nodos seleccionados.

También se puede observar que tomando en cuenta el tamaño de la red y al verificar que nodos distantes no se encuentran ocupados en recibir o retransmitir paquetes se puede observar que por lo menos $\frac{1}{4}$ parte del tamaño de la red queda libre para poder participar en otro enlace y en general se puede concluir que la potencia total utilizada por la red se reduce en por lo menos $\frac{1}{4}$ parte.

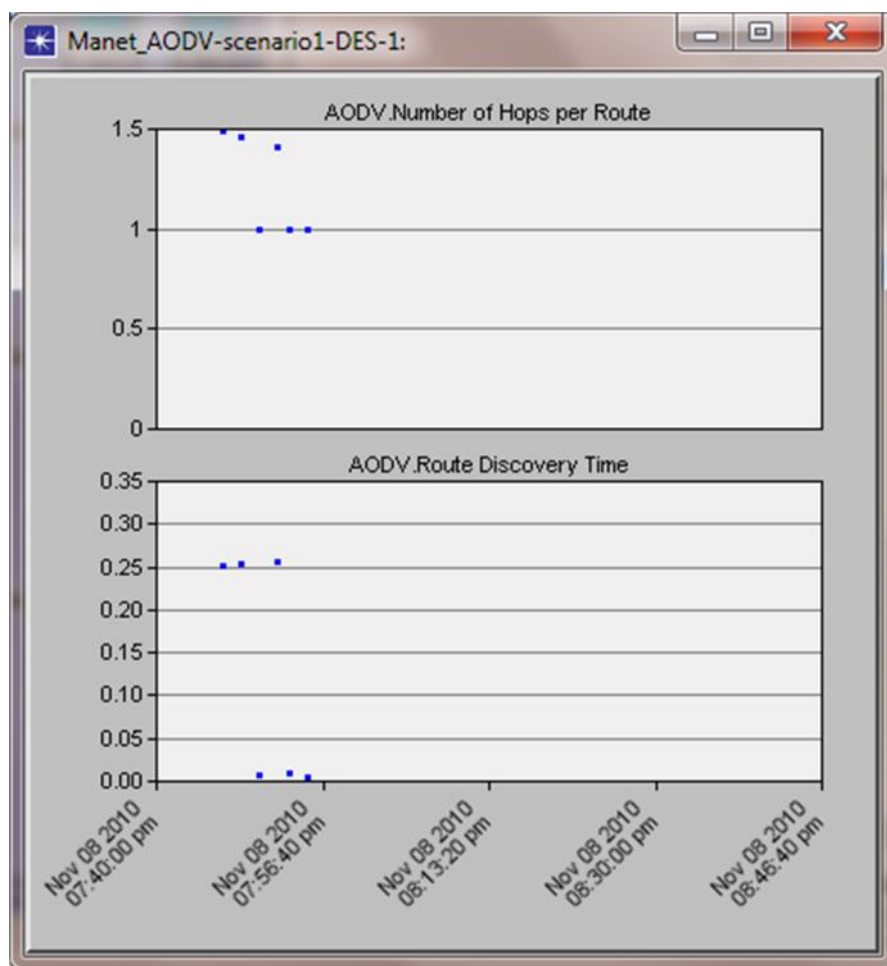


Figura III.28. Numero de saltos y tiempo de descubrimiento

III.2.10 Observaciones y análisis de resultados.

1.- Se comprobó que al implementar un direccionamiento forzado, tal y como se muestra en la sección anterior, se pueden excluir los nodos que no son partícipes de la red.

2.- En AODV, cuando se está realizando el descubrimiento de las rutas, en el paquete RREQ solo se especifica el nodo origen y el nodo destino, así como el número de saltos necesarios para llegar al destino. Cabe mencionar que conforme se avanza en el descubrimiento de las rutas y se anexa la dirección de cada nodo intermedio que participa para formar la ruta, esto ayuda a que cuando se regrese la información por medio de RREP el nodo origen conozca el camino exacto para llegar destino.

III.2.11 Análisis AODV y Propuesta

En la propuesta presentada en el capítulo anterior, en donde se plantea un esquema que agrega las direcciones de los nodos participantes en el descubrimiento de las rutas y tomando en cuenta el escenario que se presentó para explicar el funcionamiento del protocolo propuesto tal y como se observa en la Figura III.29 se toma como base para el escenario de simulación.

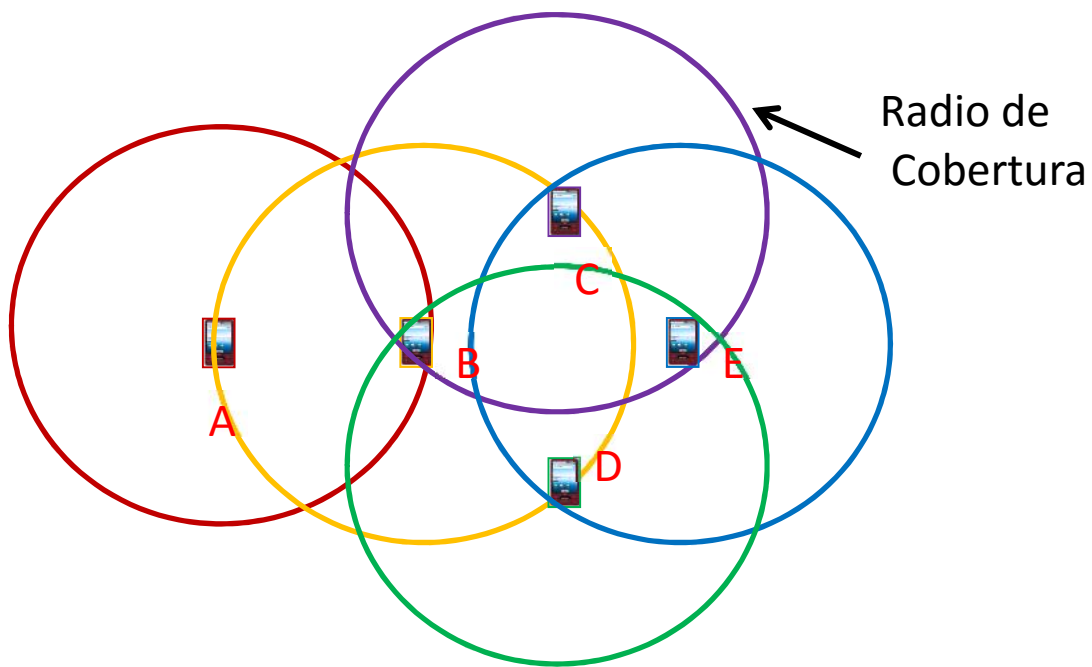


Figura III.29. Escenario Propuesto

Considérese el ejemplo de la red que se muestra en la Figura III.30, donde se observa que para comunicar al nodo “A” con el nodo “Z” existen tres caminos posibles, uno de ellos es la ruta desde A, pasando por L, V y W. Otro camino posible es desde el nodo A, pasando por F, M, Q, U y W. Por último, el camino por L, Q y W.

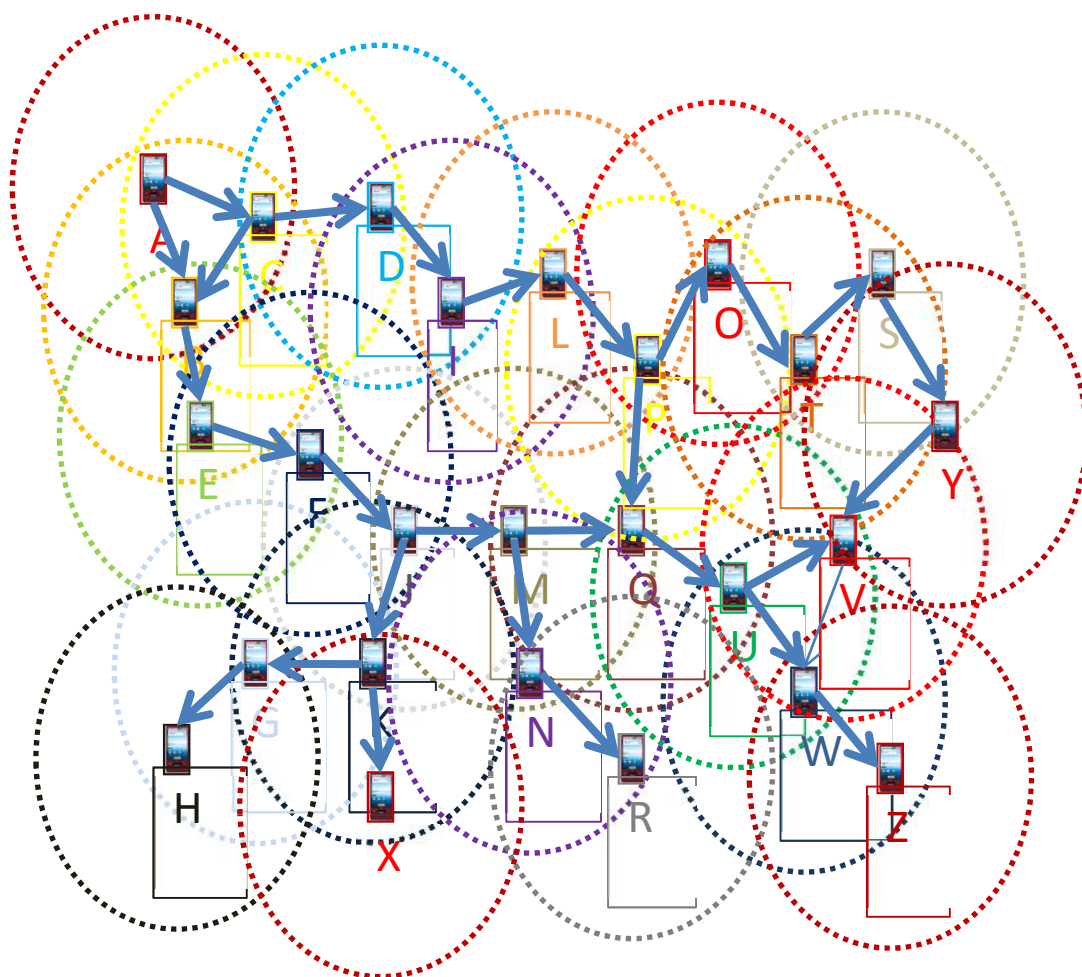
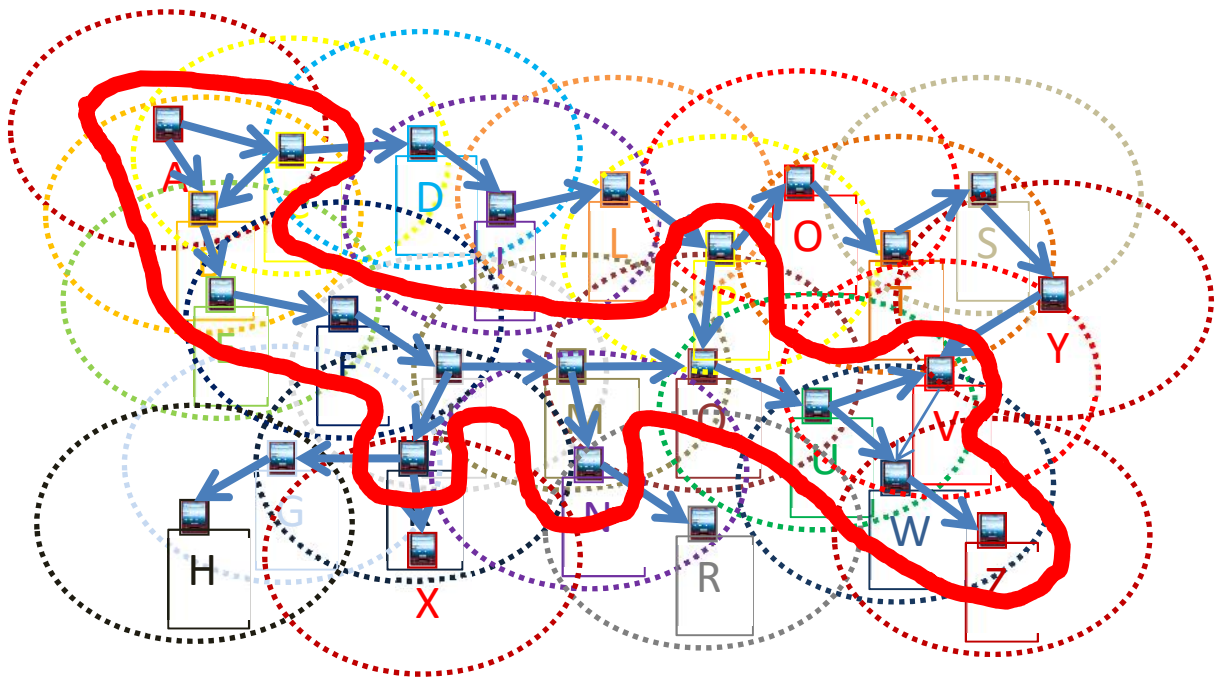


Figura III.30. Rutas Disponibles

En la imagen de la Figura III.31, al escoger el nodo A la segunda ruta posible indicada anteriormente, se indican los nodos encerrados por la línea gruesa, los cuales serán partícipes en el siguiente descubrimiento o en el envío de la información y solamente ellos debido a que el direccionamiento es de nodo a nodo, esto se lleva de la siguiente manera:

Después de recibir el RREP con la dirección de los nodos involucrados en todo el trayecto, el nodo A indicará que el paquete es enviado específicamente hacia B en primera instancia.

Los nodos N y K se encuentran encerrados en la línea debido a que son nodos que están expuestos en la línea de cobertura del nodo adjunto y por ende estarán recibiendo paquetes debido al radio de cobertura.



Tomando en cuenta el escenario mostrado en la Figura III.32, en la cual el nodo F transmite un paquete de información dirigido hacia el nodo A y las rutas disponibles de F hacia A serían: Las rutas compuestas por E,C, y B, y la ruta compuesta por E, D y B. Al utilizar AODV como protocolo de descubrimiento, encontraremos que todos los nodos recibirán información debido a las peticiones de descubrimiento y así todos los nodos partícipes en la red aun cuando no

sean participantes directamente para la transmisión como lo son los nodos G, H, J, K y L; por ejemplo, estos desperdiciarán tiempo debido a que permanecerán ocupados en hacer las transmisiones y tratar de encontrar una ruta valida hacia A debido a la inundación de AODV.

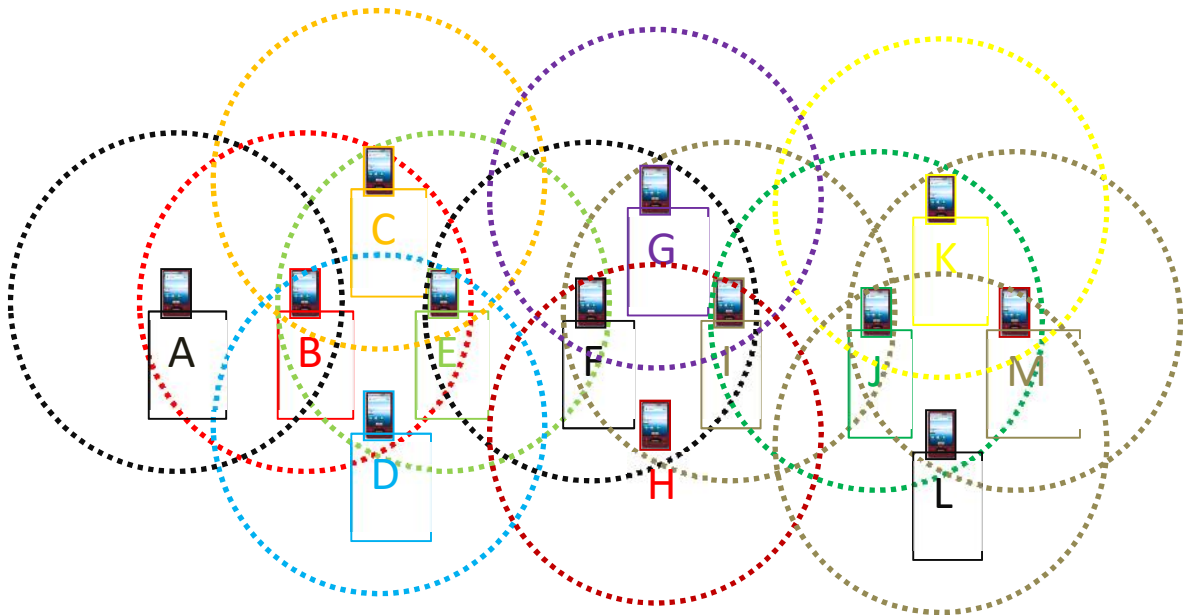


Figura III.32. Escenario para simulación

III.2.12 Escenario y comparaciones

Para comprobar lo que ya se mencionó, se muestra en la siguiente imagen un escenario de OPNET en donde el nodo F transmite un paquete hacia el nodo A utilizando AODV (Figura III.33).

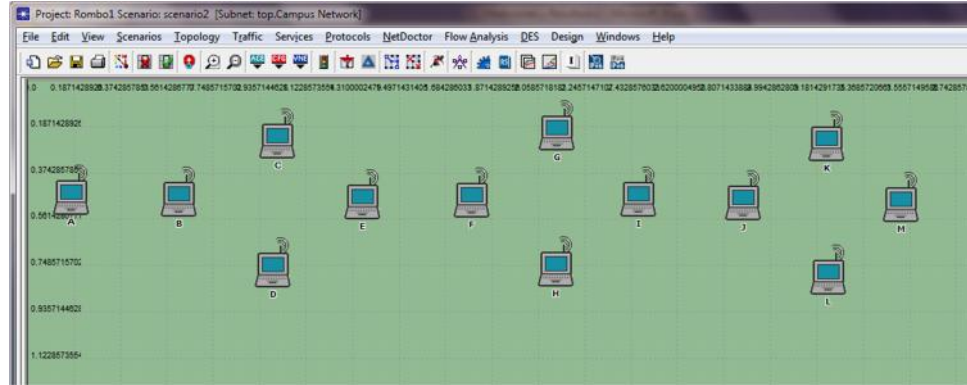


Figura III.33. Escenario en OPNET

Los resultados de la simulación muestran que durante el descubrimiento los nodos se mantienen ocupados al recibir y retransmitir información sobre el descubrimiento de las rutas y el tráfico generado. Es así como en la imagen de la Figura III.34 se muestran los paquetes recibidos por los nodos A, E y M.

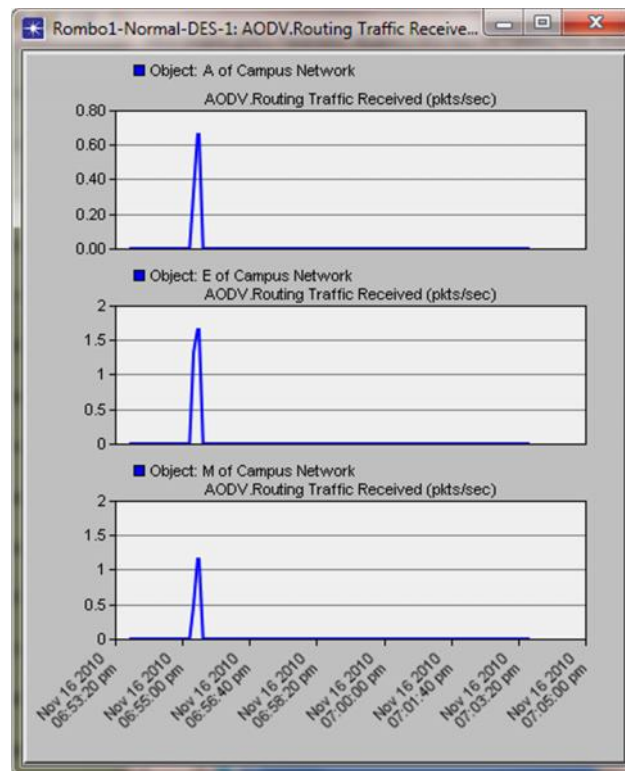


Figura III.34. Tráfico recibido por los nodos A, E y M.

Cambiando la configuración en la manera que el AODV funciona regularmente, se escogió el mismo escenario donde el nodo F transmite información hacia el nodo A con la particularidad de que inicialmente el nodo F no tendrá en primera instancia al nodo A; sino que el nodo al que enviará la información será hacia el nodo E, el cual es el nodo más próximo en la trayectoria para poder llegar hacia A. En segunda instancia el nodo E enviará la información hacia el nodo C, y a su vez el nodo C enviará la información a B y por último el nodo B se encargará de enviar la información al nodo destino A. Esto obliga a que cada nodo tenga direccionamiento directo hacia sus los adyacentes y participante en la ruta desde F hacia A. De esta manera se observa el comportamiento de AODV al iniciar el descubrimiento, y cada vez que el número de saltos incremente y se mantenga información de todos los nodos por los cuales esta ruta será válida para un enlace, lo anterior con la intención de mantener actualizada la lista de todos los nodos participantes en la ruta, similar a la propuesta de esta tesis.

En la Figura III.35 se presenta la cantidad de paquetes recibidos por los nodos A, E y M, de igual manera que la simulación anterior. Se puede observar que el nodo M no recibe paquetes, debido a que el nodo F direccionó la información al nodo E, que se encuentra en el rango de transmisión y por lo que se difundirá el descubrimiento de las rutas a nodos distantes, ya que se especificó el destino dentro de su rango de alcance y por tal motivo no se inundará toda la red.

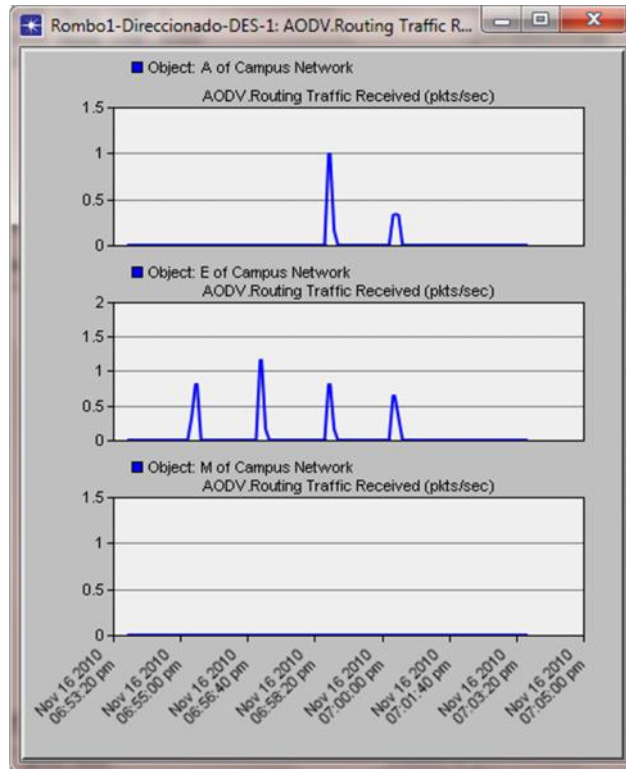


Figura III.35. Tráfico recibido para A, E y M (Direccionado).

IV. Conclusiones y Trabajo Futuro

IV.1 Conclusiones

El grupo de trabajo se enfoca principalmente en dos protocolos, cada uno perteneciente a los dos modos de operación y manejo de la información los cuales comprenden a los protocolos proactivos y reactivos, siendo DYMO por el lado de los Reactivos y OLSRv2 de los Proactivos.

La propuesta principal es la de poder hacer uso de GPS para obtener la ubicación de los nodos participantes, también haciendo uso del acelerómetro, se puede predecir la movilidad de los nodos, con estos dos parámetros se pueden modificar o realizar nuevos protocolos en los cuales se pueda predecir la ubicación de los nodos y también se puede realizar un descubrimiento de

rutas más optimas ya que así como se presenta la propuesta por cuadrantes, se puede reducir en $\frac{1}{4}$ parte la cantidad de nodos participes tanto en el descubrimiento de las rutas así como también en la transmisión de la información, además de que la $\frac{3}{4}$ parte de la red se puede ocupar de otro descubrimiento o comunicación, además se puede concluir que la energía utilizada en la red se reduce en una $\frac{3}{4}$ parte ya que los nodos participantes solo se encontraran en un cuadrante.

Las simulaciones realizadas muestran que al utilizar un direccionamiento directo (basado en cuadrantes) en la ruta de enlace se reduce la cantidad de información que se presenta en la red, es un ejemplo de cómo se pueden mejorar los protocolos de enrutamiento y se muestran opciones de cómo podrían ser mejorados los protocolos.

Ya que la parte medular de los protocolos de enrutamiento es el descubrimiento de las rutas y a su vez, el mantener en enlace o poder predecir la movilidad. Al poder hacer uso de los recursos mencionados se acierta en estos objetivos.

En este trabajo se muestran posibles aplicaciones de protocolos de enrutamiento para dispositivos móviles como “*smartphones*” en donde estos dispositivos cuentan con GPS, Brújula WIFI y acelerómetro a diferencia del enfoque común para dispositivos utilizados en redes convencionales. La mayoría de los protocolos fue enfocada a la estructura de las redes actuales en las cuales comúnmente no se incluye este tipo de dispositivos, es por ello que se muestran opciones para mejorar los protocolos de enrutamiento como lo es, por ejemplo, haciendo uso de GPS.

IV.2 Trabajos Actuales

Existe una variedad de trabajos de investigación y desarrollo de protocolos de enrutamiento para redes MANET. Debido a la demanda de internet y la utilización de dispositivos móviles ha hecho que se enfoque en protocolos de enrutamiento para redes MANET ya que los estándares actuales de internet como lo son TCP/IP fueron principalmente enfocados a para redes cableadas y debido a la movilidad y utilización de un medio inalámbrico hace que sea necesario la investigación en estandarización e implementación de estándares y protocolos para este nuevo tipo de redes.

Uno de los avances más notables en la implementación de este tipo de redes es el proyecto Serval (<http://www.servalproject.org/>) para Smartphone con Android.

Existen principalmente plataformas de simulación las cuales ya se incluyen algunos protocolos de enrutamiento para redes MANET.

NetSim: Incluye librerías de protocolos de código abierto y contiene ejemplos de publicaciones de la IEEE, se pueden simular redes MANET, Wi-Max, CDMA y GSM. Incluye el protocolo DSR (IETF RFC 4278). Página del desarrollador <http://tetcos.com/>.

OMNeT++: Utiliza la interface de usuario de Eclipse (<http://www.eclipse.org/>). Ofrece una gran variedad de protocolos e incluye diferentes tipos de redes y simulaciones para las diferentes etapas del modelo de referencia OSI. En el caso de las redes MANET se utiliza el Framework “INETMANET” el cual posee los modelos para los protocolos OLSR, DSR, DSDV, DYMO y AODV.

IV.2.1 Grupos de Trabajo Activos e Implementaciones

El propósito de los grupos de trabajo ietf.org es estandarizar el protocolo de enrutamiento IP y mejorar su funcionalidad adecuada para aplicaciones inalámbricas de topologías estáticas y dinámicas debido a movimientos de los nodos u otros factores.

El grupo de trabajo se enfoca principalmente en dos protocolos, cada uno perteneciente a los dos modos de operación y manejo de la información los cuales comprenden a los protocolos proactivos y reactivos, siendo DYMO por el lado de los Reactivos y OLSRv2 de los Proactivos.

IV.2.1.1 Implementaciones DYMO

El grupo de trabajo se enfoca principalmente en dos protocolos, cada uno perteneciente a los dos modos de operación y manejo de la información los cuales comprenden a los protocolos proactivos y reactivos, siendo DYMO por el lado de los Reactivos y OLSRv2 de los Proactivos.

IV.2.1.2 Implementaciones OLSR

- Aplicación desarrollada por Hipercom e INRIA, la aplicación actual es totalmente compatible con RFC3626 y soporta IPv4 e IPv6 para plataforma Linux y Windows, la aplicación actual puede simularse en NS2.

Página actual de desarrollo “<http://hipercom.inria.fr/OOLSR/>”

- Aplicación desarrollada por QOLSR utilizando OPNET como plataforma de simulación, el principal objetivo es incluir métricas de capacidad, “Jitter”, costo, pérdida y probabilidad en las consideraciones en los protocolos de enrutamiento con un particular interés en los protocolos enfocados en la capa MAC

Página actual de desarrollo “<http://qolsr.lri.fr/>”

- Aplicación desarrollada por el Laboratorio de búsqueda naval de Washington (U.S. Naval Research Laboratory), basada principalmente en el protocolo de enrutamiento de enlace-estado OLSR adicionándole algunas funciones como lo son: soporte para IPv6, implementación para Windows, MacOS, Linux, y algunos sistemas embebidos como PDA’s. La implementación es desarrollada utilizando “Protolib”.

Página actual de desarrollo “<http://cs.itd.nrl.navy.mil/>”

IV.2.1.3 Enlaces internet de Implementaciones de Protocolos

AODV

http://w3.antd.nist.gov/wctg/aodv_kernel/
<http://www.aodv.org/>
<http://members.shaw.ca/aodv6-sfu/>
<http://tcs.legacy.ics.tkk.fi/~anttit/manet/aodv/>
<http://www.hynet.umd.edu/research/maodv/MAODV-UMD.html>

SIMULADOR AODV

<http://sourceforge.net/projects/aodvsimulator/>

OLSR

Nokia 770, iPhone , Mac OS X, Debian Linux binaries, Ubuntu Linux i386 32 bit, Windows 2k/XP/Vista, Android
<http://hipercom.inria.fr/olsr/>

AWDS

<http://awds.berlios.de/>

BABEL

<http://www.pps.jussieu.fr/~jch/software/babel/>

Open802.11s

<http://www.open80211s.org/index.html>

DYMO

<http://sourceforge.net/projects/nist-dymo/>

NRL

<http://cs.itd.nrl.navy.mil/work/smf/index.php>

BATMAN

<http://www.open-mesh.org/>

DSR

<http://www.cs.cmu.edu/~dmaltz/dsr.html>
<http://www.monarch.cs.rice.edu/dsr-impl.html>
<http://piconet.sourceforge.net/thesis/main.html>

IV.3 Trabajos Futuros

Uno de los principales objetivos a futuro es de poder implementar una MANET en dispositivos móviles. Existen trabajos relacionados con el enfoque principal hacia estos dispositivos debido a su portabilidad y existen diferentes aplicaciones posibles y debido a la gran variedad de protocolos de enrutamiento y aplicaciones en diferentes escenarios es primordial el entendimiento de los protocolos de enrutamiento para poder implementarse en un dispositivo móvil dependiendo de los escenarios en donde se desee implementar.

La amplia gama de sistemas de desarrollo y el gran número de desarrolladores de aplicaciones para estos dispositivos como los que utilizan Android, hacen que el conocimiento del funcionamiento y el libre acceso a recursos para desarrollo de aplicaciones hagan de ellos una herramienta que no se puede dejar de tomar en cuenta cuando se desea desarrollar un protocolo de enrutamiento para redes MANET, la posibilidad de seccionar el código del programa fuente y

poder compartir la funcionalidad de diferentes aplicaciones pueden hacer posible el enriquecimiento y expansión de funcionalidad del mismo.

Una opción para poder tener un mayor rendimiento y eficiencia del protocolo es poder implementarlo en la capa de RED debido a que algunas aplicaciones se han desarrollado en la capa de aplicación.

Hoy en día las redes de sensores es también un campo en el cual se podrían desarrollar ya que los nodos en estos sistemas podrían requerir movilidad.

Las principales ventajas al desarrollar este tipo de redes en teléfonos inteligentes es que se puede hacer uso de los recursos del teléfono como del GPS para obtener un mapa en donde se pueda ubicar a cada uno de los usuarios. Además de ello se puede hacer uso del acelerómetro interno para medir velocidad o aceleración del usuario y así poder predecir su destino o para cuando se esté acercando o alejando a un radio de alcance del nodo más cercano, además de poder utilizar la brújula interna, ya sea que se encuentre incluido en el circuito integrado del acelerómetro u externo.

V. APENDICE A.

Opnet presenta una herramienta avanzada para simulación sobre redes de computadoras y sistemas de comunicación, cuenta con una interfaz de usuario amigable que facilita configurar la red que desea diseñar y cuenta con menús para cada capa del modelo. En este caso el uso de Opnet se enfoca en simular redes MANET, para lo cual Opnet dispone de modelos predefinidos que funcionan de acuerdo al protocolo genérico. En la Figura V.1 se muestran los modelos predefinidos por Opnet de redes MANET, en los cuales están incluidos los modelos de los dispositivos que se pueden utilizar, esto se encuentra en el menú “*Object Palette Tree*” de Opnet.

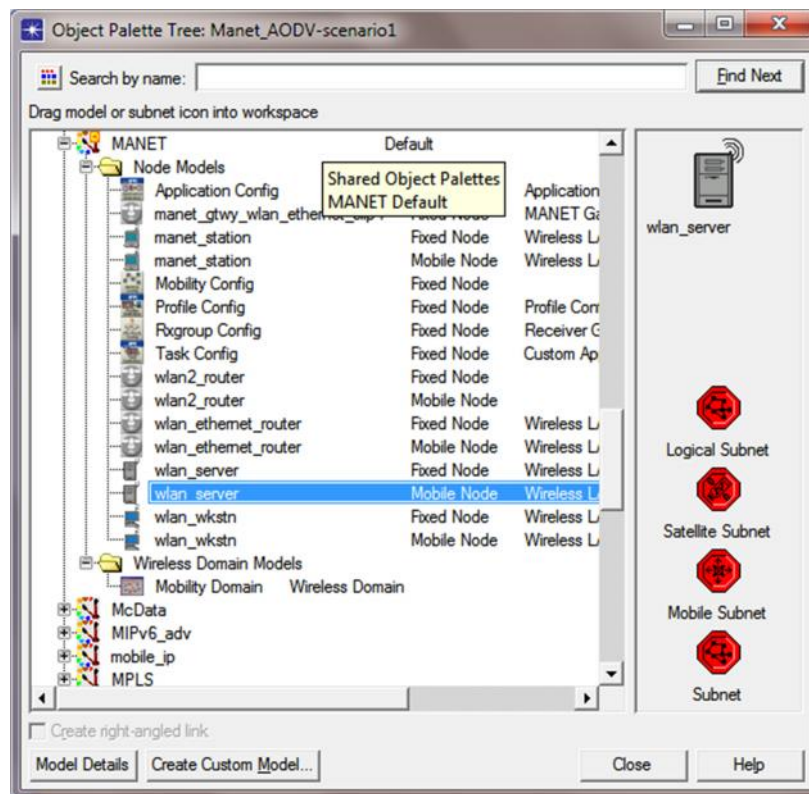


Figura V.1. Paleta de objetos para redes MANET

Cada modelo tiene sus características y funciones en una red, asimismo en Opnet se cuenta con diferentes objetos cuyas características principales se presentan a continuación.

V.1.1.1 *Nodo Móvil Estación MANET (Mobil Node “manet_station_adv”)*



Figura V.2. Ícono representativo del nodo móvil MANET.

V.1.1.2 *Arquitectura del nodo “manet_station_adv”:*

En la arquitectura del nodo se muestran las interconexiones de las etapas del sistema de comunicación basadas en el modelo OSI. Este nodo se utiliza primordialmente para generar paquetes MANET.

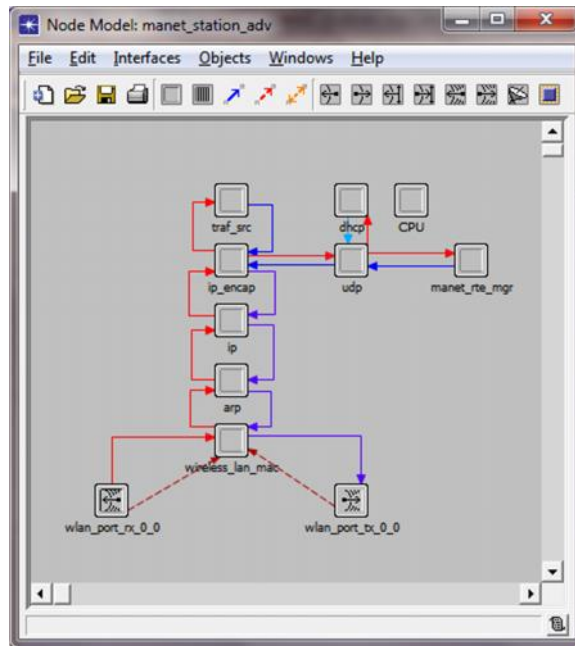


Figura V.3. Arquitectura del nodo “*manet_station_adv*”

Se pueden configurar los atributos de cada nodo para que realicen las operaciones o tareas requeridas, en este caso los nodos responderán al protocolo MANET, aunado a esto los parámetros de comunicación pueden ajustarse a las condiciones que se desean simular, incluyendo la potencia de transmisión.

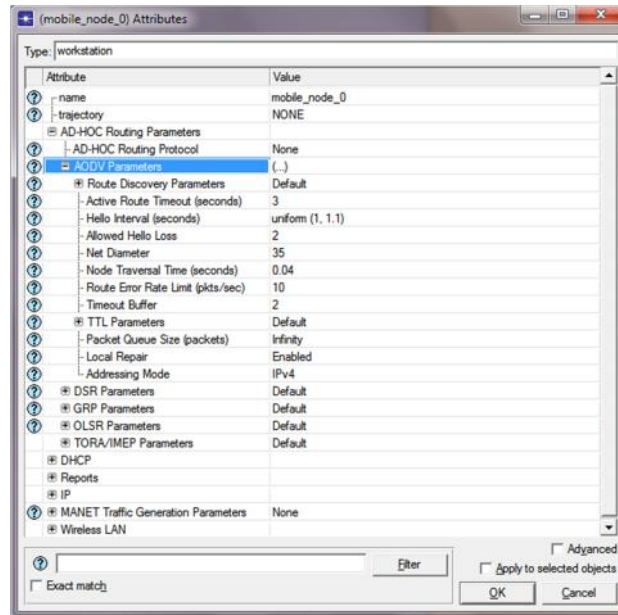


Figura V.4. Atributos del nodo “manet_station_adv”

V.1.1.3 Funciones Generales del Nodo “manet_station_adv”:

El modelo del nodo “manet_station_adv” representa un generador de paquetes primarios, los cuales son transmitidos sobre IP y WLAN.

Protocolos:

IP, IEEE 802.11

Interconexiones:

Cualquiera de las siguientes

- 1) 1 conexión WLAN a 1 Mbps,
- 2) 1 conexión WLAN a 2 Mbps,
- 3) 1 conexión WLAN a 5.5 Mbps,
- 4) 1 conexión WLAN a 11 Mbps

Atributos:

Parámetros de Generación de tráfico MANET ("*MANET Traffic Generation Parameters*"): Atributo para especificar la tasa a la cual el paquete será generado.

Tasa de Re-envío de IP ("*IP Forwarding Rate*"): Especifica la tasa (en Paquetes/Segundo) a la cual el nodo procesará las decisiones de ruta para el arribo de paquetes y transferirlos a los nodos subsecuentes.

Función Puerta de enlace de IP ("*IP Gateway Function*"): Especifica cuando una dirección local IP está actuando como Puerta de enlace.

V.1.1.4 *Nodo Servidor WLAN (WLAN Server "wlan_server_adv")*



Figura V.5. Ícono de Opnet del nodo Servidor WLAN.

V.1.1.5 *Arquitectura del nodo “wlan_server_adv”:*

El nodo *wlan_server_adv* tiene la función de servidor, por lo que es capaz de hospedar aplicaciones utilizando TCP/IP o UDP/IP, como lo pueden ser aplicaciones de internet. Así mismo, se puede observar en la Figura V.6 las siete capas del modelo de referencia OSI.

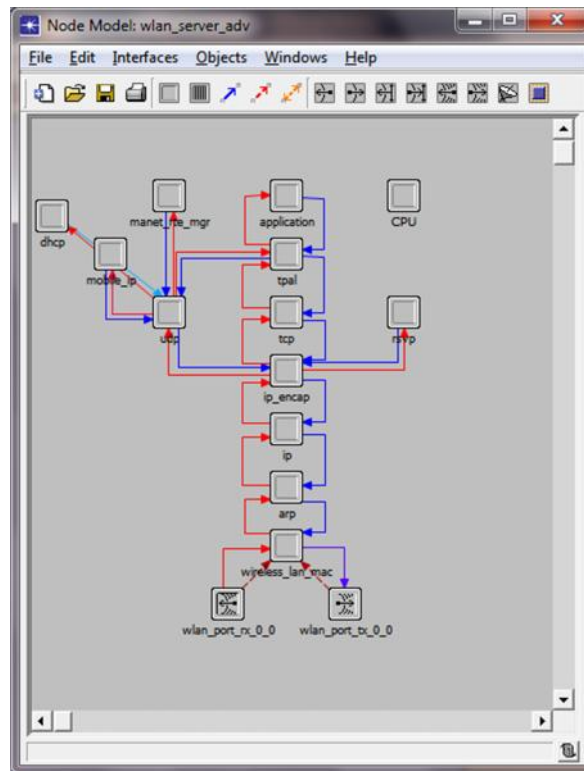


Figura V.6. Arquitectura del nodo “wlan_server_adv”:

Al igual que el nodo anterior, el nodo *manet_station_adv* en los atributos se configuran en general el tipo de protocolo de enrutamiento así como los demás parámetros de la simulación,

aunado a esto existe una opción para definir las aplicaciones pertinentes. En este caso se puede definir que cada nodo pueda reconocer diferentes aplicaciones, como tráfico de Voz o Datos, definiendo el tipo de Protocolo sea TCP o UDP.

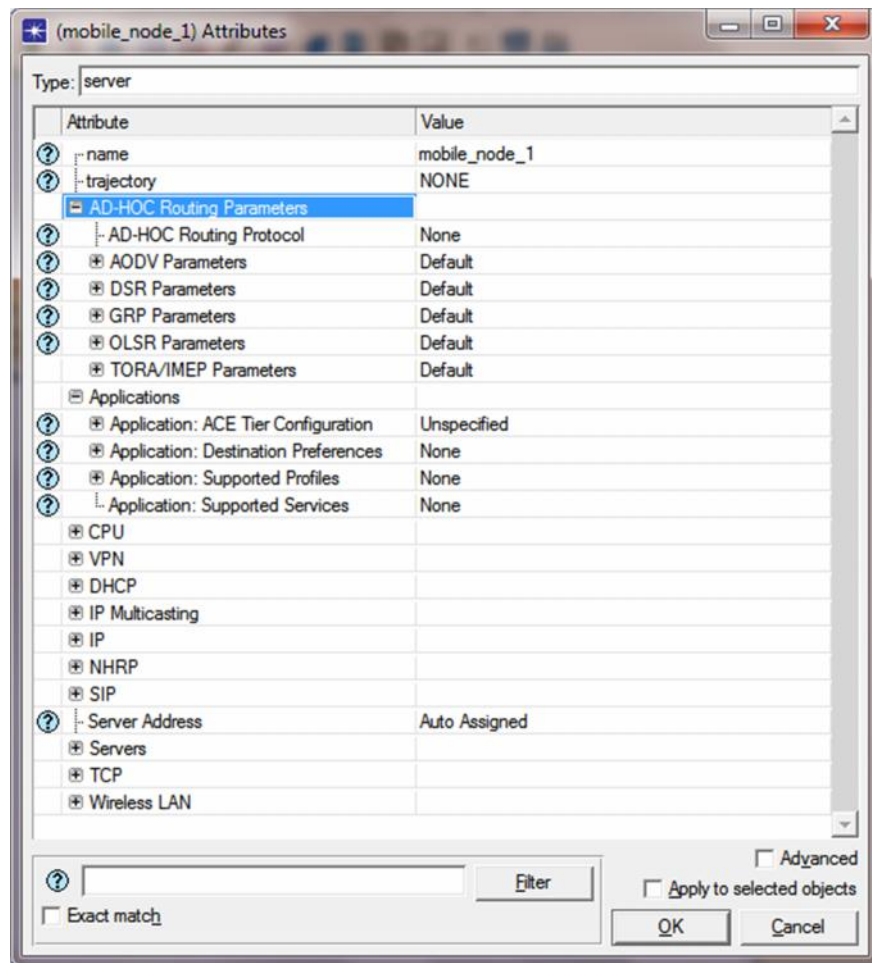


Figura V.7. Atributos del nodo “manet_station_adv”

V.1.1.6 Funciones Generales del Nodo “wlan_server_adv”:

El modelo del nodo “*wlan_server_adv*” representa un servidor con aplicaciones que corren sobre TCP/IP y UDP/IP.

Este nodo soporta conexiones subyacentes del estándar 802.11a 1 Mbps o 2 Mbps

La velocidad de operación es determinada por la tasa del enlace.

Protocolos:

RIP, UDP, IP, TCP, IEEE802.11, OSPF

Interconexiones:

1) 1 conexión WLAN a 1, 2, 5.5, y 11 Mbps

Atributos:

Tabla de configuraciones del Servidor “*Server Configuration Table*”: Este atributo se utiliza para especificar el tipo de aplicaciones que el nodo está ejecutando como servidor.

Dirección de Transporte “*Transport Address*”: Este atributo se utiliza para especificar la dirección del nodo

También cuenta con “*IP Forwarding Rate*” y “*IP Gateway Function*” similar al nodo anterior.

Modo de Proceso de RIP (*Routing Internet Protocol*) “*RIP Process Mode*”: Especifica cuando un proceso RIP está en silencio o activo.

Los procesos silenciosos RIP no envían ninguna actualización de la ruta, solo reciben. Todos los procesos RIP en una estación de trabajo deben de ser procesos silenciosos RIP.

Información de la conexión TCP, "*TCP Connection Information*": Especifica información de diagnóstico acerca de la conexión TCP para este nodo y se desplegará al final de la simulación.

Tamaño máximo del segmento TCP "*TCP Maximum Segment Size*": Determina el tamaño del segmento enviado mediante TCP. Este valor debe especificar el mayor tamaño del segmento con el cual la red puede operar.

Capacidad de almacenamiento recibido TCP "*TCP Receive Buffer Capacity*": Especifica el tamaño del almacenador que se utiliza para mantener la información recibida antes de que sea re-enviada a la aplicación.

V.1.1.7 Nodo Estación de Trabajo WLAN "wlan_wkstn_adv"

En la Figura V.8 se muestra el ícono del nodo Estación de Trabajo WLAN, presenta las mismas características que el anterior pero con la diferencia de que las aplicaciones son en un entorno de Cliente- Servidor.



Figura V.8. Ícono Opnet del nodo Estación de Trabajo WLAN.

V.1.1.8 Funciones Generales del nodo:

El modelo del nodo “*wlan_wkstn_adv*” representa una estación de trabajo que ejecuta aplicaciones cliente-Servidor sobre TCP/IP y UDP/IP.

Esta estación de trabajo requiere un periodo de tiempo fijo para direccionar cada paquete, que se determina por el atributo de “Tasa de re-envío IP”.

Protocolos:

RIP, UDP, IP, TCP, IEEE 802.11, OSPF

Interconexiones:

Cualquiera de las siguientes

- 1) 1 conexión WLAN a 1 Mbps,
- 2) 1 conexión WLAN a 2 Mbps,
- 3) 1 conexión WLAN a 5.5 Mbps,
- 4) 1 conexión WLAN a 11 Mbps

Atributos:

Aplicaciones personalidades a Cliente, aplicaciones de bases de datos, cliente de correo electrónico, cliente FTP, cliente de acceso remoto, cliente para video conferencia.

V.1.1.9 Definición de las Aplicaciones

En la Figura V.9 se muestra el ícono de la definición de las aplicaciones.

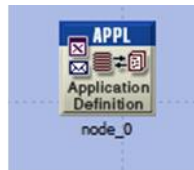


Figura V.9. Imagen de identificación del nodo Definición de Aplicaciones

Las aplicaciones pueden ser variadas, por ejemplo: si se selecciona "*Web Browsing (Heavy HTTP 1.1)*", implica una aplicación web. Además de servicios de Internet, también se puede especificar la generación de tráfico de voz.

V.1.1.10 Configuración de Movilidad

En la Figura V.10 se presenta el ícono Opnet para especificar la configuración de movilidad y se permite especificar el patrón de movimiento de los nodos requerido en la simulación, se puede personalizar para que cada cierto un grupo de usuarios siga diferentes patrones.

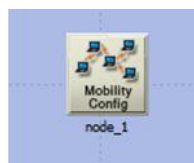


Figura V.10. Ícono, Configuración de Movilidad.

V.1.1.11 Configuración de Perfiles

La Figura V.11 muestra el ícono para crear perfiles de usuarios. Estos perfiles pueden contener una o más aplicaciones y pueden crearse uno o más perfiles. Dependiendo del entorno de red se pueden crear grupos de perfiles de usuario de acuerdo a las aplicaciones requeridas y al ancho de banda requerido. Por ejemplo, en una oficina puede haber un grupo de ingenieros utilizando la red para transferencia de información de dibujos o diseños mecánicos, por otro lado las secretarias navegando en Internet, etc. De esta manera se puede crear un perfil para cada grupo de usuarios.

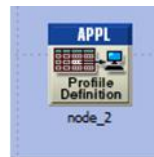


Figura V.11. Ícono, Configuración de Perfiles.

V.1.1.12 Configuración de grupos RX

En la Figura V.12 se presenta el ícono que permite configurar grupos de nodos receptores. Se utiliza cuando se desean configurar las características de comunicación en tres dos nodos. Se relaciona con las propiedades que presentaría un dispositivo real, como lo puede ser el canal de transmisión que se esté utilizando, o el rango de alcance, o pérdida del enlace. Esto tiene ventajas ya que en la simulación se puede reducir el tiempo de procesamiento ya que se eliminarían los receptores que no concuerden o cuando la señal es muy pobre.

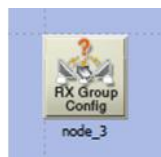


Figura V.12. Ícono, Configuración de grupos RX

V.1.1.13 Configuración de Tareas

Puede ser utilizado En la Figura V.13 se muestra el ícono mediante el cual se configuran las tareas a realizar. Se utiliza para definir o crear tareas que caracterizan las aplicaciones personalizadas, y se usan para crear los perfiles de los nodos.

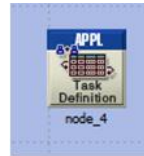


Figura V.13. Ícono, Configuración de Tareas.

Bibliografia

- Aggelou, G. (2009). *Wireless Mesh Networking*. McGraw-Hill.
- Amitava, M., Somprakash, B., & Debashis, S. (2003). *Location Management and Routing in Mobile Wireless Networks*. Artech House.
- Boukerche, A. (2009). *Algorithms and Protocols for Wireless and Mobile Ad Hoc Networks*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Camp, J. D., & Knightly, E. W. (n.d.). The IEEE 802.11s Extended Service Set Mesh Networking Standard. 6.
- Chandra, P., Dobkin, D., Bensky, A., Olexa, R., Lide, D., & Dowla, F. (2008). *Wireless Networking*. Elsevier Inc.
- Dahlman, E. (Oct. 2008). *3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband (2nd Edition)*. Great Britain: Academic Press.
- Deepankar Medhi, K. R. (2007). *Network Routing (Algorithms, Protocols, and Architectures)*. Elsevier Inc.
- Dynamic MANET On-demand (DYMO) Routing*. (n.d.). Retrieved from <http://www.ietf.org/id/draft-ietf-manet-dymo-19.txt>
- Edwards, J., & Bramante, R. (2009). *Networking Self-Teaching Guide*. Indianapolis, Indiana: Wiley Publishing, Inc.
- Ergen, M. (2009). *Mobile Broadband Including WiMAX and LTE*. Springer.
- Farahani, S. (2008). *ZigBee Wireless Networks and Transceivers*. 30 Corporate Drive, Suite 400, Burlington, MA 01803, USA: Elsevier Ltd.
- Farwell, J. (2008, Junio). Pick Up The Phone. *Smart Computing*, pp. 62-64.
- Ghetie, J. (2008). *Fixed-Mobile Wireless Networks Convergence (Technologies, Solutions, Services)*. The Edinburgh Building, Cambridge: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.
- Google. (2010, Marzo 28). *Gizmo5 Has Been Acquired by Google*. Retrieved Marzo 28, 2010, from gizmo5: <http://www.google.com/gizmo5/>
- Karris, S. T. (2009). *Networks Design and Management, Second Edition*. Orchard Publications.
- Lide, P. C. (2007). *Wi-Fi Telephony (Changes and Solutions for Voice over WLANs)*. Elsevier Inc.
- Llyas, M. (2003). *The Handbook of Ad Hoc Wireless Networks*. CRC Press LLC.
- Mobile Ad-hoc Networks (MANET)*. (n.d.). Retrieved from [http://datatracker.ietf.org/wg/manet/charter/Optimized Link State Routing Protocol \(OLSR\)](http://datatracker.ietf.org/wg/manet/charter/Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)). (n.d.). Retrieved from <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc3626.txt>
- Perkins, C. E. (1994). Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers,". *Proceedings of the ACM SIGCOMM 1994 Conference*, (p. 11).
- Prasant, M., & KRishnamurthy, S. (2005). *Ad Hoc Networks Technologies And Protocols*. BOSTON: SPRINGER SCIENCE; BUSINESS MEDIA INC.
- Request For Comments (RFC)*. (n.d.). Retrieved from <http://www.ietf.org/rfc.html>
- Ritu Chadha, L. K. (2008). *Policy-Driven Mobile Ad hoc Network Management*. John Wiley & Sons, Inc.
- Ross, J. (2008). *The Book of Wireless, 2nd Edition*. No Starch Press, Inc.
- Shree, M., & Aceves, J. G. (n.d.). An Efficient Routing Protocol for Wireless Networks. *Baltzer Journals*, 27.
- SKYPE. (2010, Mayo). *SKYPE*. Retrieved from SKYPE: <http://www.skype.com/intl/en-us/home>
- Stefano, B., Marco, C., Siliva, G., & Stojmenovic, I. (2004). *Mobile Ad Hoc Networking*. IEEE PRESS; JOHN WILEY & SONS, INC.
- Subir, K. S., T G, B., & Puttamadappa, C. (2008). *Ad Hoc Mobile Wireless Networks*. Boca Raton, FL: Auerbach Publications.
- The Internet Engineering Task Force (IETF)*. (n.d.). Retrieved 2010, from <http://www.ietf.org/>
- Venkatesh, N., & Reddy, P. I. (2008, Septiembre). Voice-over-Wi-Fi implementation with Single Stream 802.11n. *Portable Design*, pp. 16-21.
- VONAGE. (2010). Retrieved from <http://www.vonage.com/>
- Wu, S.-L., & Tseng, Y.-C. (2007). *Wireless Ad Hoc Networking*. AUERBACH PUBLICATIONS.
- Zhang, Y. (2009). *Security in Wireless Mesh Networks*. Boca Raton, FL: CRC Press.