



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRIA EN TELECOMUNICACIONES**

TEMA:

**Análisis y diseño de red tipo MESH como sistema de
comunicación de emergencia en la ciudadela El Comercio en
Portoviejo**

AUTOR:

Herrera Cedeño Cristhian Javier

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
Magister en Telecomunicaciones**

TUTOR:

MSc. Luis Córdova Rivadeneira

Guayaquil, Ecuador

20 de noviembre del 2018



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRIA EN TELECOMUNICACIONES**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Herrera Cedeño Cristhian Javier**, como requerimiento para la obtención del título de **Magister en Telecomunicaciones**.

TUTOR

f. _____
MSc. Luis Córdova Rivadeneira

DIRECTOR DEL PROGRAMA

f. _____
MSc. Manuel Romero Paz

Guayaquil, 20 de noviembre del 2018



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRIA EN TELECOMUNICACIONES**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Herrera Cedeño Cristhian Javier**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Análisis y diseño de red tipo MESH como sistema de comunicación de emergencia en la ciudadela El Comercio en Portoviejo**, previo a la obtención del título de **Magister en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Guayaquil, 20 de noviembre del 2018

EL AUTOR

f. _____
Herrera Cedeño Cristhian Javier



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRIA EN TELECOMUNICACIONES**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Herrera Cedeño Cristhian Javier**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Análisis y diseño de red tipo MESH como sistema de comunicación de emergencia en la ciudadela El Comercio en Portoviejo**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 20 de noviembre del 2018

EL AUTOR:

f. _____
Herrera Cedeño Cristhian Javier

REPORTE URKUND

The screenshot shows the URKUND web interface. The browser address bar displays the URL: <https://secure.orkund.com/view/42187629-133862-499443#q1bKLVajio7VUSOTM/LTMtMTxLTMwMkgFAA==>. The page title is "URKUND". The user is identified as "Orlando Philco Asqui (orlando.philco)".

Documento: Trabajo cristhian herra FINAL.docx (D43184768)

Presentado: 2018-10-28 19:30 (-05:00)

Presentado por: orlandophilco_3@hotmail.com

Recibido: orlando.philco.ucsg@analysis.orkund.com

Mensaje: Fwd: Trabajo Ing. Herra [Mostrar el mensaje completo](#)

94% de estas 21 páginas, se componen de texto presente en 0 fuentes.

Lista de fuentes:

- Emergency Telecommunications Services (ETS) Requirements for a Single Admin...
- Fuentes alternativas:**
 - [Ataya_Final_MET2016.docx](#)
 - [Atayaya Luis_Final_MET2016.docx](#)
 - TesisFinalUrkund.pdf
- Fuentes no usadas**

14 diferencias. Reiniciar. Exportar. Compartir.

SISTEMA DE POSGRADO MAESTRIA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

Análisis y diseño de red tipo Mesh como sistema de comunicación de emergencia en la ciudad de El Comercio en Portoviejo

AUTOR: Herrera Cedeño Cristhian Javier

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magister en Telecomunicaciones

TUTOR: MSc. Luis Córdova Rivadeneira

Guayaquil, Ecuador 20 de noviembre del 2018

SISTEMA DE POSGRADO MAESTRIA EN TELECOMUNICACIONES

DEDICATORIA

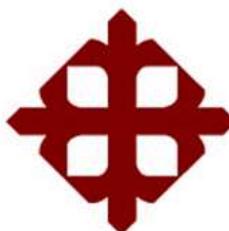
A mis padres por ser pilar fundamental en toda mi vida académica, por su apoyo constante a través del tiempo dándome la fortaleza y sabiduría para cumplir mis metas. Dedico este trabajo de manera especial a mi esposa Cecilia e hija Ema por amarme incondicionalmente y compartir conmigo la alegría de este logro alcanzado.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud a Dios por brindarme salud y fortaleza.

A mi familia por acompañarme durante esta etapa académica.

A mis catedráticos y Tutor de tesis quienes estuvieron guiándome con su experiencia y profesionalismo.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRIA EN TELECOMUNICACIONES**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____
MSc. Luis Córdova Rivadeneira
TUTOR

f. _____
MSc. Orlando Philco Asqui
REVISOR

f. _____
MSc. Celso Bohórquez Escobar
REVISORA

f. _____
MSc. Manuel Romero Paz
DIRECTOR DEL PROGRAMA

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	IX
INDICE DE FIGURAS.....	XI
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	2
1.1. Introducción	2
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Definición del problema	4
1.4. Justificación del problema a investigar	5
1.5. Metodología de la investigación.....	5
1.6. Objetivos.....	6
1.6.1. Objetivo general	6
1.6.2. Objetivos específicos	6
1.7. Hipótesis.....	7
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	8
2.1. Redes AD HOC	8
2.1.1. Características de redes AD HOC.....	8
2.1.2. Aplicaciones de redes AD HOC	9
2.1.3. Enrutamiento en redes ADHOC.....	10
2.2. Redes Mesh.....	10
2.2.1. Generalidades.....	11

2.2.2. Arquitectura de redes mesh	12
2.2.3. Protocolos de enrutamiento en redes mesh.....	13
2.3. Redes mesh en situaciones de emergencia	16
2.4. Comunicación en situaciones de emergencia.....	17
2.5. Modelos de movilidad	20
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y RESULTADOS	27
CONCLUSIONES	37
RECOMENDACIONES.....	38
BIBLIOGRAFÍA.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Esquema básico de una red MESH.	12
Figura 2.2. Esquema para descubrimiento de ruta en AODV.	15
Figura 2.3. Esquema de descubrimiento de ruta inversa en AODV.	16
Figura 2. 4. Ejemplo del modelo de movilidad RWP.	21
Figura 2.5. Ejemplo de movilidad del modelo Random Walk.	22
Figura 2.6. Ejemplo del modelo de movilidad RPGM.	24
Figura 2.7. Función exponencial Chi-cuadrado para el modelo GFMM.	25
Figura 2.8. Función exponencial Rayleigh para el modelo GFMM.	26
Figura 2.9. Función exponencial Fisher-Snedecor para el modelo GFMM. .	26
Figura 3.1. Mapa de actividades sísmicas del Ecuador.	28
Figura 3.2. Esquema de posicionamiento de nodos en la ciudadela El Comercio para la red a implementar.	29
Figura 3.3. Diagrama de topología Mesh para los nodos ubicados en la Ciudadela El Comercio.	35
Figura 3.4. Diagrama de línea para la comparativa de pérdida de paquetes por topología.	36

RESUMEN

Dentro de lo realizado en el presente proyecto de titulación, se planteó el estudio de las redes mesh para sistemas de comunicación inalámbrica en lo que respecta a situaciones de emergencia, en donde, los sistemas comunes de comunicación eventualmente puedan fallar o simplemente llegar al punto de saturarse, lo cual no permitiría la correcta transmisión entre los puntos en conflicto. Posteriormente, se definieron los fundamentos teóricos en base a los cuales se definieron los escenarios de resultados. Con esto, se procedió a realizar el diseño de la red mesh para lo que respecta a la zona de estudio (Ciudadela El Comercio – Portoviejo) para proponer una red de comunicación inalámbrica capaz de mantener un enlace con estabilidad frente a situaciones de riesgo, en donde, los sistemas comunes estén saturados o averiados. Al hacer uso del protocolo WIMESH para el simulador NS2 se pudo revisar las múltiples conexiones de la red a diferentes tasas de bit para comprobar la transferencia de datos en la frecuencia definida de 4800 MHz a 4990 MHz, y así contrastar la pérdida de paquetes en los enlaces dispuestos.

Palabras claves: *WIMESH, situaciones de emergencia, comunicación inalámbrica, redes mesh, transmisión, estabilidad.*

ABSTRACT

Within what was done in the present project of titulación, the study of mesh networks for wireless communication systems was raised in regard to emergency situations, where, common communication systems may eventually fail or simply reach the point of saturate, which would not allow the correct transmission between the points in conflict. Subsequently, the theoretical foundations were defined on the basis of which the outcome scenarios were defined. With this, we proceeded to design the mesh network for the area of study (Ciudadela El Comercio - Portoviejo) to propose a wireless communication network capable of maintaining a link with stability in situations of risk, in where, the common systems are saturated or damaged. By using the WIMESH protocol for the NS2 simulator it was possible to check the multiple connections of the network at different bit rates to check the data transfer at the defined frequency of 4800 MHz to 4990 MHz, and thus contrast the packet loss in the willing links.

Keywords: *WIMESH, emergency situations, wireless communication, mesh networks, transmission, stability.*

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En este capítulo se detallarán características esenciales del proyecto a desarrollar, así como también, los antecedentes tanto del problema a resolver como de la solución a implementar.

1.1. Introducción

De manera general, las redes inalámbricas se han convertido en fuertes herramientas de comunicación, que muy aparte de dar versatilidad a la comunicación, permiten grandes tasas de transferencia y cobertura sin necesidad de conexión alámbrica alguna. Sin embargo, este tipo de redes deben ser correctamente construidas en términos de escalabilidad, redundancia y auto conformación ya que, mediante estas características se podrá tener una red auto regenerativa que si por alguna situación ajena al funcionamiento, pierde un nodo o punto de conexión, esta información no se pierda, sino que pueda ser guardada o transmitida mediante una ruta alterna, todo esto gracias a una topología de tipo mesh o malla.

Las redes inalámbricas de tipo mesh, son en la actualidad, redes descentralizadas que evolucionaron de los sistemas WiFi para convertirse en una robusta arquitectura de red utilizada para muchas aplicaciones de alta convergencia. Las redes mesh se componen de dos elementos, como lo son los enrutadores mesh y los clientes mesh, estos, en base a la arquitectura (de infraestructura, de clientes mesh o híbridos) permiten tener diferentes características a nivel del acceso y conexión a la red.

Es importante destacar que este tipo de redes al ser de bajo costo, robustas, fáciles de desplegar y auto regenerativas representan características necesarias en situaciones de riesgo o emergencia.

A nivel de las topologías de redes inalámbricas y los estándares con los que se manejan dichas redes, se debe tener en cuenta que se basan en el protocolo IEEE 802.11.xx y el protocolo IEEE 802.16, los cuales detallan el tipo de enrutamiento y las características de transmisión para el tipo de red a diseñar.

En capítulos posteriores se detallarán tanto los fundamentos teóricos que componen este proyecto, así como también, los modelos de simulación y los resultados obtenidos en base a los protocolos que se aplicarán para poder tener una solución integra de comunicación en base al entorno escogido. Posterior a esto se evaluará el rendimiento de la red diseñada en base a estatutos de administración de red para una alta eficiencia.

1.2. Antecedentes

La topología de red tipo malla o mesh fueron introducidas en el mundo de las redes inalámbricas a partir de las redes AD HOC (red descentralizada, no depende de infraestructura preexistente como routers o puntos de acceso), ya que la topología mesh es descentralizada y mallada, por ende, permite el paso de información, ya sea esta datos, voz o video, a través de la red que al ser dinámica, redundante y escalable brinda un QoS (Quality of Service) mucho más alto frente a otras topologías.

Las redes mesh aparecieron junto con las primeras redes AD HOC inalámbricas, las cuales sin un tipo particular de nodo (con alguna característica especial) permitían que cada nodo pueda enrutar y gestionar el tráfico entre el resto de los nodos de la red, es decir, se suprimió la necesidad de un dispositivo enrutador o AP (Access Point). Este tipo de redes AD HOC fueron desarrolladas por DARPA (Agencia de Investigación de Proyectos Avanzados de Defensa).

Posteriormente en el desarrollo de estas redes, se necesitaba hacer que los nodos pudieran moverse, aparecer y desaparecer, es aquí donde nacen las MANET (Mobile AD HOC Network) que, formando una malla enrutable, asemejaban la forma de una capa de enlace de datos.

Los nodos de las redes MANET eran dispositivos conectados inalámbricamente que tenían características de autoconfiguración y movilidad, ya que al estar asentados en plataformas móviles tenían más libertad en lo que respecta a conexión y enlace constante con los nodos que se añadían o se conectaban luego de estar inactivos.

Es importante resaltar el hecho de que los dispositivos de una MANET tienen la característica de desplazarse de forma independiente en cualquier dirección, por lo cual, se cuentan con un cambio dinámico de las condiciones de enlace con los otros dispositivos de la red. Por otra parte, cada nodo o elemento de la MANET está desacoplado del tráfico de información por lo que, entre sus funciones más importantes realiza misiones de enrutamiento.

Finalmente, sin dejar de ser importante, a nivel de la ciudad en donde se pretende desplegar el proyecto, se tiene como antecedente el terremoto del pasado 16 de abril del 2016 de 7.8 grados en la escala de Richter. Este desastre natural afectó a muchas ciudades, pero sin duda alguna Portoviejo fue una de las más devastadas por este flagelo, al punto de que todo medio de comunicación colapso, tanto operadoras móviles como fijas se vieron afectadas llegando a estar inhabilitadas por varios días.

Es por esto por lo que en el presente proyecto se pretende diseñar y simular una red de comunicación tipo mesh que sirva de enlace de contingencia en este tipo de situaciones de desastre.

1.3. Definición del problema

A partir de lo ya descrito en secciones previas, se ha destacado el problema principal a resolver, el cual se centra en: la carencia de un sistema de comunicación eficiente en situaciones de riesgo, ya que durante tales eventos estos sistemas se saturan e incluso quedan fuera de servicio varios días después de que estas tragedias ocurren.

Por lo expuesto se plantea proveer un sistema alternativo de comunicación eficiente durante situaciones de riesgo o catástrofes naturales, ya que actualmente se cuenta con un sistema troncalizado de comunicación, por ende, mediante el presente proyecto se plantea el diseño de un sistema de comunicación capaz de ayudar y servir de back-up al sistema principal para mejorar y mantener siempre comunicado a los entes que manejan este tipo de situaciones de alto riesgo.

1.4. Justificación del problema a investigar

En base a la sección 1.3 se pretende realizar el diseño y simulación de un sistema de comunicación inalámbrico capaz de proveer a la ciudad de Portoviejo de un conjunto de puntos o nodos capaces de compartir información de vital importancia durante una catástrofe o situación de emergencia.

Se justifica el presente proyecto en base a la carencia de este tipo de sistemas a nivel nacional y como este tipo de procesos de comunicación podrían salvaguardar la integridad física de toda una ciudad solo manteniendo un constante monitoreo y comunicación con el nodo principal, el cual, a su vez, transmitirá la información relevante a las áreas pertinentes.

1.5. Metodología de la investigación

La investigación en desarrollo establece el uso de una metodología teórica-empírica ya que se hace uso de métodos de investigación tanto teóricos como experimentales.

Partiendo de la hipótesis que dicho sistema de comunicación establece más fiabilidad en caso de alguna catástrofe natural, se detallará la forma en la que se llevará a cabo el proceso de análisis y diseño de la red de comunicación inalámbrica con topología mesh para un sistema de emergencia en la ciudad de Portoviejo.

En el presente trabajo de investigación se hará uso del método análisis-síntesis ya que se van a estudiar elementos de red (protocolos de enrutamiento, arquitecturas de red y topologías) de forma individual para luego integrarlos y evaluarlos de manera de síntesis como indica el método. Adicional a esto, se hará uso del método experimental el cual parte de observaciones y plantea pruebas de simulación para la red tipo mesh que permitan llegar a una conclusión con respecto a la hipótesis.

Una vez definidos los parámetros teóricos y modelos de enrutamiento, así como también de los dispositivos de comunicación ya que se harán pruebas a nivel de la topología de red para en base a la geografía de la zona proponer la mejor forma de topología que provea estabilidad, escalabilidad y eficiencia para la transmisión de la información.

Una vez definidos estos parámetros se realizarán pruebas con el modelo final de red escogido y diseñado específicamente para cumplir con los objetivos de esta investigación. Se analizarán los datos de transmisión y recepción de información y la latencia que estos pudieran llegar a tener en caso de falla de alguno de los nodos de la red.

1.6. Objetivos

Los objetivos que se plantean en este trabajo de investigación son los siguientes:

1.6.1. Objetivo general

Analizar y diseñar una red tipo mesh como sistema de comunicación de emergencia para desastres naturales utilizando enrutamientos eficaces capaces de proveer eficiencia, estabilidad y escalabilidad en la transmisión de información en la ciudadela El Comercio de la ciudad de Portoviejo.

1.6.2. Objetivos específicos

1. Recopilar información sobre el sistema de comunicación actual en la ciudad de Portoviejo, para tener conocimiento de sus ventajas y desventajas, que permitan elaborar el diseño óptimo para el sistema de comunicación en caso de riesgos que sirva como alternativa en casos de emergencia.
2. Diseñar para la ciudadela El Comercio en la ciudad de Portoviejo, una red tipo mesh, que permita crear un sistema rescindible y fiable

de comunicación, ofreciendo estabilidad cuando ocurra alguna emergencia o desastre natural.

3. Diseñar una red tipo mesh capaz de brindar comunicación en la Ciudadela El Comercio en la ciudad de Portoviejo de tal forma que permita mejorar la comunicación de esta zona cuando ocurra alguna emergencia o desastre natural.
4. Proyectar un sistema de comunicación inalámbrico capaz de proveer eficiencia en la transmisión de la información y que ésta tenga la mayor fiabilidad posible.
5. Aplicar métodos de enrutamiento eficaces para evitar saturación del sistema de comunicación a diseñar y a su vez proveer estabilidad y escalabilidad en los diferentes nodos de la red.

1.7. Hipótesis

El análisis y diseño de una red tipo mesh como sistema de comunicación para emergencia en eventos de desastres naturales utilizando enrutamientos eficaces, permitirá lograr una eficiencia, estabilidad y escalabilidad en la transmisión de la información en la ciudadela El Comercio de la ciudad de Portoviejo.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se hará una reseña de todos los conocimientos teóricos que servirán de preámbulo para poder diseñar y analizar el funcionamiento de las redes con topología mesh y a su vez, poder determinar en base a las características del sistema, las mejores condiciones de operabilidad en cuanto a enrutamiento, tasa de transferencia y estabilidad.

2.1. Redes AD HOC

Las redes AD HOC son un tipo de red inalámbrica descentralizada que no depende de una infraestructura prescrita como routers o AP's sino que cada nodo que las conforma participan del enrutamiento de los paquetes de información a través del reenvío de datos hacia los otros nodos, de tal forma que la determinación de estos nodos hacia la data se realiza de manera dinámica sobre la conectividad que tenga la red, esto gracias a que el enrutamiento de las redes AD HOC, aparte del método clásico hacen uso del flooding para el reenvío de datos. (Mohapatra & Krishnamurthy, 2005)

De forma general, una red de tipo AD HOC hace referencia al conjunto de redes que poseen nodos que tienen el mismo estado dentro de la red y tienen completa libertad de asociarse con otro dispositivo de la red AD HOC que se encuentre en el rango del enlace. El modo de operación de este tipo de redes es el mismo que las redes inalámbricas, IEEE 802.11. (Mohapatra & Krishnamurthy, 2005)

2.1.1. Características de redes AD HOC

A continuación, se detallarán las características más representativas de las redes ad hoc y como a través de éstas, se tiene un mejor rendimiento en un enlace de comunicación (Al Agha, 2006).

- **Nodos móviles:** Se dice que los dispositivos de las redes ad hoc pueden cambiar de posición de forma libre, ya que, se comunican entre el resto de los nodos de manera inalámbrica.
- **Topología variable:** Implica que, a nivel de los nodos, estos pueden desplazarse y formar nuevos enlaces con otros nodos dentro de su misma área.
- **Cambios de ruta:** Dado que los nodos son móviles, se pueden romper ciertos enlaces y por ende se variará la ruta hacia desde un origen a un determinado destino.
- **Autonomía limitada:** En función de la portabilidad de los dispositivos, estos tienen un tiempo de uso limitado debido al uso de baterías.
- **Limitaciones de enlace inalámbrico:** Estos enlaces tienen como característica ser de ancho de banda reducido y ser más susceptibles a errores que los enlaces fijos, además de que por la duración de la batería tienen un alcance limitado. Esto será compensado con el funcionamiento proactivo de los repetidores en los nodos de la red.
- **Falta de infraestructura:** Las redes ad hoc son descentralizadas, es decir, no poseen una infraestructura fija ya que los dispositivos pueden desenvolverse en trabajos de host o de router en cualquier instante, según lo amerite la red.

2.1.2. Aplicaciones de redes AD HOC

De forma general las redes ad hoc de acuerdo con la aplicación para que se la utilice tiene la siguiente clasificación:

- MANETS
- Redes inalámbricas mesh
- Redes de sensores

Importante destacar que, a nivel de este tipo de redes, la transferencia de datos vía Bluetooth es una de las conocidas. Por otra parte, las redes MANET también son implementadas y usadas en sistemas en donde por factores económicos o falta de tiempo, la construcción de una infraestructura es difícil de realizar. Este tipo de redes tienen un amplio campo de trabajo en operaciones militares y operaciones de rescate en situaciones de riesgo o emergencia como terremotos, incendios, huracanes, etc. (Casierra, 2013)

2.1.3. Enrutamiento en redes ADHOC.

Dado que las redes ad hoc tienen características algo anticuadas por su antigüedad al ser uno de los primeros tipos de red existentes, cuentan con un ancho de banda limitado y constantes caídas de enlace hacen que los protocolos de enrutamiento tradicionales no den una buena respuesta durante la comunicación en la red, aún más cuando la cantidad de dispositivos es elevada.

En base a esto, para las redes ad hoc se hace uso del método de Clustering (algoritmo de agrupamiento de vectores en base a un criterio preestablecido) para que la red utilice un método híbrido de enrutamiento haciendo uso de clusters (agrupación de nodos), en donde cada clúster (que posee varios nodos) hace el cálculo de las rutas en función de cómo las necesite y dicha información entre clusters la comparten para colocarla en la tabla de enrutamiento las cuales se calculan periódicamente. Es importante destacar que al hacer uso del Clustering se puede construir una red ad hoc con topología eficiente y estable que permita distribuir adecuadamente el ancho de banda y así proveer un mejor y mayor flujo de información. (Cano, Fernández, & Martínez, 2005)

2.2. Redes Mesh

Las redes inalámbricas Mesh, redes de malla inalámbrica o redes acopladas son redes en las que se mezclan dos tipos de topologías, red o

infraestructura en la cual se dispone de un elemento de coordinación central o punto de acceso en donde cada cliente se conecta a través de un enlace inalámbrico y red ad-hoc conocida como punto a punto, donde los clientes inalámbricos se conectan directo entre sí sin necesidad de un punto de coordinación central.

2.2.1. Generalidades

Las redes mesh se conforman de dos tipos de topologías las cuales son la topología ad hoc y la topología infraestructura, como tal las redes mesh o malladas permiten que los dispositivos que, a pesar de estar fuera del área de cobertura de los AP, dichos dispositivos se unan a la red. Es importante resaltar el hecho de que esta forma de conexión de los dispositivos incluso aplica para las tarjetas de red que estén conectadas directa o indirectamente a los AP y de igual forma estas tarjetas pueden comunicarse, independientemente del AP al que están conectadas, es decir, la información o paquetes de información pueden viajar a través de los dispositivos o tarjetas de red hasta llegar al destino deseado (Hossain & Leung, 2008).

Este tipo de redes tienen como función principal resolver los problemas de comunicación en áreas con una densa población, es decir, tanto la interferencia del espacio libre como la necesidad de convergencia de todas las estaciones de usuario con la estación base, lo que a su vez tiene como ventaja el hecho de que dichas estaciones pueden transmitir a una baja potencia, incrementando la velocidad de transmisión en la comunicación y así mejorar y proveer una comunicación de calidad en diferentes puntos de conexión (Hossain & Leung, 2008).

En la figura 2.1 se observa un ejemplo básico de red mesh y el tipo de convergencia que ofrece al permitir comunicación entre todos los nodos aun cuando no se encuentren conectados directamente, ofreciendo enrutamiento a cualquier par fuente-destino para transmitir la información deseada.

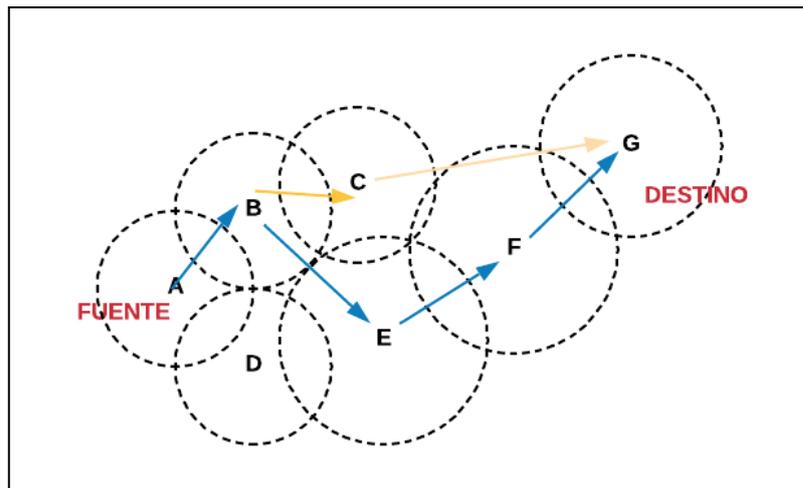


Figura 2.1. Esquema básico de una red MESH.

Fuente: Elaborada por el autor

Los nodos dentro de la red mesh pueden tener un grado variable de conexión, ya que, existen nodos que tienen conexión con muchos otros y hay otros nodos extremos que solo tienen una conexión con otro nodo, lo que no hace que pierdan su principal característica, la de convergencia con capacidad de actualización y optimización dinámica de los enlaces entre nodos. (Alonso, 2008)

2.2.2. Arquitectura de redes mesh

Se mencionó en secciones anteriores, las redes mesh vienen de una transición de redes ad hoc en diferentes generaciones, es por eso por lo que en base al desarrollo que han presentado se identifican 3 tipos de arquitecturas básicas de redes mesh, arquitectura tipo router mesh, arquitectura de host mesh y arquitectura híbrida router/host. (Chan Kim, Song, & Young Lee, 2007)

Arquitectura router: Este tipo de arquitectura, cuenta con nodos fijos los cuales aparte de enrutar los paquetes permiten un control en la transferencia de los mismos en los múltiples saltos que estos puedan tener

y así permitir una correcta interacción de los host mesh con otros tipos de redes. (DeMartino, 2003)

Arquitectura host: Este tipo de arquitectura contiene nodos ligeramente superiores a los de las redes ad hoc, pero no son tan robustos como los nodos router (hardware y software). Tienen como cualidad permitir la comunicación punto a punto en la red mesh y ser nodos móviles. (DeMartino, 2003)

Arquitectura router/host: Este tipo de arquitectura cuenta con nodos router y nodos host, en donde los nodos host pueden comunicarse con otros nodos host dentro de la red mesh o interactuar con otras redes gracias a los nodos router los cuales les permiten dicha intercomunicación. (Zhao-wen, Sui-li, & Wu, 2009)

En base a las arquitecturas descritas, se puede establecer una clara ventaja en el uso de la arquitectura mixta (enrutador/cliente) ya que ofrece mejores características de enrutamiento e interconectividad entre todos los nodos de la red mesh y a un nivel superior con otras redes a través de los nodos router, lo que a su vez permite un correcto manejo del tráfico y una adecuada construcción de la tabla de enrutamiento, considerando que existe un nodo maestro dentro de dicha red mesh. (Bruno, Conti, & Gregori, 2005).

2.2.3. Protocolos de enrutamiento en redes mesh

Los protocolos de enrutamiento dentro de la red mesh permiten manejar adecuadamente los canales de transmisión y recepción, las rutas que siguen los paquetes en un enlace, el comportamiento de la red, el descubrimiento de los nodos en la red, el descubrimiento del borde o límite de la red, así como también el manejo de los recursos de IP y de la red troncal hacia redes externas como internet. En base a esto se destacan a continuación los protocolos más utilizados en redes mesh (Rabbi, Rahman, & Uddin, 2007).

Protocolo OLSR (Optimized Link State Protocol): Este protocolo también conocido como protocolo de estado de enlace optimizado se caracteriza por ser un método de enrutamiento proactivo (actualización constante de tablas de enrutamiento), el cual mediante mensaje de broadcast entre los nodos permite la correcta identificación de los elementos que conforman la red mesh, lo que genera tráfico adicional en la misma, pero asegura una constante actualización de la tabla de enrutamiento.

Protocolo HSLs (Hazy Link State Link State Protocol): El protocolo de estado de enlace vistoso como también se lo conoce, es un protocolo de red mesh inalámbrico desarrollado por Fundación CUWiN el cual tiene como característica principal la de permitir que los equipos terminales de una red mesh que se comunican a través de radio digital, puedan reenviar mensajes a equipos terminales fuera del alcance directo por radio. Este protocolo usa enrutamiento proactivo y reactivo para minimizar lo más posible las actualizaciones de la red y la tabla de enrutamiento. (Dimitriadis, Koltsidas, & Pavlidou, 2005).

Protocolo MMRP (Mobile Mesh Routing Protocol): El protocolo de enrutamiento de malla móvil como también se lo conoce, es basado en el principio de las WMNs (Wireless Mesh Networks), las cuales de forma general proveen tecnología multi salto para una mejor comunicación entre los nodos que conforman la red, enviando entre si los paquetes de información. La diferencia radica en que al ser una red de malla móvil permite garantizar la conectividad de dicho usuario sin mayores complicaciones, dándole transferencias rápidas de información sin necesidad de broadcast en la red. Este protocolo mantiene los arboles de enrutamiento entre los hosts y las gateways de la red mesh, lo que repercute en un mejor manejo del flujo de datos en la red, eliminando así, la sobrecarga que pudiera producirse por el mantenimiento de las rutas en la tabla de enrutamiento (Jun & Sichitiu, 2006).

Protocolo OSPF (Open Shortest Path First): Este protocolo de enrutamiento del primer camino más corto como también se lo conoce, se

basa en un orden jerárquico de pasarela interior (IGP – Interior Gateway Protocol) que hace uso del algoritmo de Dijkstra para poder determinar la ruta optima entre dos puntos cualquiera (origen-destino). Hace uso de mensaje de estado de enlace y el costo de cada ruta como métrica para poder determinar la ruta más corta entre el origen y destino deseado lo que tiene como ventaja adicional el adiconamiento de nuevos elementos en la tabla de enrutamiento solo cuando se agrega un nuevo nodo ya que cada nodo registra sus adyacencias y no es necesario que los mensajes de reconocimiento se envíen constantemente como broadcast. (Tadimety, 2015).

Protocolo AODV (Ad-Hoc On Demand Distance Vector): El protocolo de vector de distancia ad-hoc bajo demanda por sus siglas en español es un protocolo de enrutamiento que permite a ciertos nodos encontrar y mantener rutas hacia otros nodos dentro de la red, ya que, al ser un protocolo reactivo, permite que las rutas dentro de la tabla se establezcan solo cuando son requeridas (cuando se necesite establecer una comunicación origen-destino), en donde se determinará la ruta a seguir en base al vector de distancia (para calcular la ruta). Este protocolo permite comunicación unicast y de broadcast.

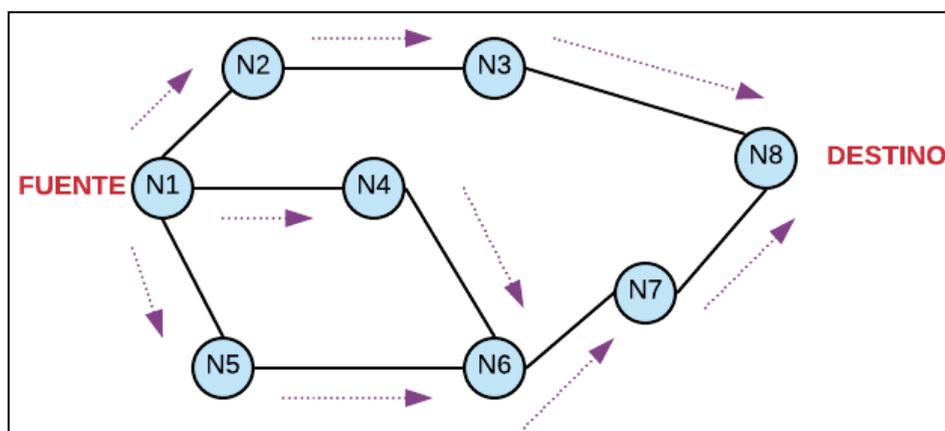


Figura 2.2. Esquema para descubrimiento de ruta en AODV.
Fuente: (Deng, Li, & Agrawal, 2002).

En las figuras 2.2 y 2.3 se detalla la forma de comunicación y de enrutamiento mediante el protocolo AODV en donde para el descubrimiento de la ruta se buscan todos los caminos posibles del origen al destino (broadcast) y en la ruta inversa (especie de acuse de recibo) ya conoce el camino óptimo y es por esa ruta por la cual envía la información.

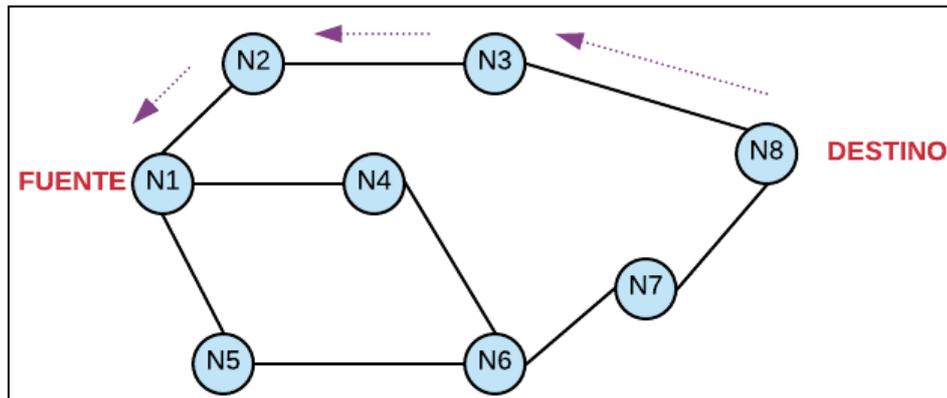


Figura 2.3. Esquema de descubrimiento de ruta inversa en AODV.
Fuente: (Deng, Li, & Agrawal, 2002)

2.3. Redes mesh en situaciones de emergencia

La tecnología siempre busca permitir mejorar y asegurar la calidad de vida de las personas y es por eso por lo que constantemente busca soluciones a los problemas que se presentan de forma recurrente en una población, tanto en el ámbito laboral como el de la seguridad, sector en el cual se ahondará para mostrar que tipo de soluciones se tienen para hacer frente a situaciones de riesgo por catástrofes naturales, de manera particular en la comunicación que se requiere en dichas situaciones.

Uno de los usos más importantes para las redes mesh hasta la presente fecha es "The Serval Project" (Nueva Zelanda) el cual básicamente es un sistema de telecomunicaciones capaz de proveer comunicación entre dispositivos celulares fuera del rango de la torre de telefonía móvil a la que pertenezca, a través de la aplicación Serval y Serval Mesh, las cuales a su vez dentro de los beneficios que ofrecen se citan los siguientes (Tobal, 2015):

Comunicación en cualquier momento y en cualquier lugar: Esto hace referencia a que la mayoría de teléfonos móviles dejan de funcionar cuando se encuentran fuera de la infraestructura de red de la operadora a la que pertenecen, con el sistema Serval mesh esto cambia radicalmente ya que se forma una red nueva e improvisada compuesta solo de los teléfonos celulares que cuenten con dicho sistema, haciendo que en la superficie en donde no haya cobertura se pueda tener una comunicación autónoma y rentable para las áreas remotas o en el caso particular de este estudio, zonas en donde por alguna catástrofe natural las formas de comunicación vigentes dejen de funcionar. (Abassi, 2013).

Comunicación privada: Mediante este sistema mesh integrado en la aplicación móvil se ofrece seguridad en la comunicación entre todos los usuarios de la misma, ya sean amigos, familiares o los proveedores de servicios. Se hace uso de una encriptación de 256 bits ECC de extremo a extremo tanto para las llamadas como para los mensajes de texto. (Abassi, 2013).

Comunicación con otras personas: El sistema serval mesh permite como ya se mencionó anteriormente una comunicación permanente entre las personas que posean la aplicación sin importar las condiciones (normales o de emergencia) en las que se encuentren a su alrededor. (Abassi, 2013).

2.4. Comunicación en situaciones de emergencia

Dentro de lo que respecta a los mecanismos de acción y respuesta frente a situaciones de riesgo, desastres naturales o flagelos en general, existen actualmente las ETS (Emergency Telecommunication Services – Servicios de Telecomunicaciones de Emergencia) las cuales permiten integrar sistemas de telefonía convencional, redes móviles públicas, servicios integrados de red tanto a nivel nacional como internacional, dando todas las facilidades y la seguridad necesarias para superar los impases que se puedan presentar como terremotos, atentados terroristas, tsunamis, entre otros. (Folts, 2002).

Entonces, en base a lo ya descrito, la importancia y utilidad en sí de las ETS es poder direccionar adecuadamente los recursos de la red, tanto en tráfico como correcta autenticación de los usuarios que pertenecen a la ETS y así poder generar una correcta comunicación durante las emergencias que se puedan presentar. (Carlberg, 2006).

Si bien es cierto que cada país a nivel mundial busca e intenta desarrollar constantemente nuevos mecanismos de comunicación, eficientes y de bajo costo para poder cubrir las necesidades que se presentan en catástrofes o emergencias nacionales, es por eso que la FEMA (Federal Emergency Management Agency) en base a su experiencia en el área de las situaciones de emergencia indica tener identificadas las características más importantes con las que debe contar un sistema de comunicación de emergencia, los cuales se los citará a continuación:

- Una dispersión rápida de la red
- Escalabilidad
- Robustez
- Bajo costo
- Seguridad
- Portabilidad
- Alto rendimiento

Todas estas características permitirán reducir tiempos de instalación y despliegue de la red mediante procesos sencillos que a su vez generen escalabilidad en la red y la misma sea robusta en términos de operatividad y funcionalidad. Necesariamente debe ser portable por cuanto al ser en poco tiempo instalada, hará uso mínimo de recurso e infraestructura haciendo más llevadera la operación del personal encargado. Por consiguiente, se resaltan la seguridad y el bajo costo que puede aportar este tipo de sistemas de comunicación ya que la información que se maneja

(mayoritariamente de entidades de gobierno nacionales e internacionales y fuerzas armadas) debe ser correctamente direccionada para evitar filtraciones de información o pérdida de información valiosa durante estados de emergencia. (Ansari, y otros, 2008)

De manera local, en Ecuador se tienen sistemas de comunicación integrados que permiten mejorar la capacidad de respuesta ante situaciones de riesgo, ya sea por causa natural o antrópica, en donde van de la mano, el Ministerio de Salud Pública como ente de cuidado a los ciudadanos, la Secretaría de Gestión de Riesgos y el Sistema ECU911 como entes reguladores y de aplicación respectivamente. Dentro de los sistemas implementados actualmente no se tiene mucho conocimiento técnico ya que la información técnica no es pública en las páginas webs oficiales de las entidades antes mencionadas.

De manera superficial se puede detallar que a nivel de comunicación en situaciones de riesgo se manejan mayoritariamente comunicaciones inalámbricas ya sea mediante enlaces de radio, enlaces celulares o de Radio sobre IP. Este tipo de sistemas de comunicación son manejados, desarrollados e implementados por el ECU911 el cual a nivel nacional tiene desplegado sistemas de vigilancia y monitoreo constante de diferentes factores, como sistemas ojos de águila para vigilancia, integración con el instituto Geofísico para alertas sísmicas, volcánicas o movimientos en masa y finalmente para alertas de tsunamis o inundaciones se trabaja en conjunto con el INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología).

Dentro de lo ya mencionado y de lo que se entiende, los sistemas de alerta y gestión de riesgos en el Ecuador buscan ir a la par con los avances en la tecnología y poder implementar de manera paulatina las mejoras que ofrezca la tecnología a nivel de comunicación, tanto para los enlaces principales a nivel nacional como los enlaces de respaldo por si ocurre alguna catástrofe y así mantener siempre comunicación con las zonas vulnerables durante el flagelo.

2.5. Modelos de movilidad

Como ya se ha mencionado las redes ad hoc son redes sin infraestructura, es decir, los nodos no se encuentran fijos en un solo punto, sino que pueden estar en constante movimiento y construir una red con los nodos que tenga alrededor, los mismos que tienen la adaptabilidad a diferentes escenarios.

Esa movilidad de nodos requiere de un algoritmo o modelo que en base a un conjunto de reglas (definición de sentido, dirección, velocidad, combinaciones) permita tener una aproximación lo más real posible tanto de los nodos como de la red, todo esto con el fin de poder probar nuevos protocolos de red (Saummet, 2005).

Dentro de los modelos más empleados se detallan los siguientes:

Modelo Random Waypoint (RWP)

El modelo RWP hace referencia a un sistema aleatorio de movilidad para usuarios de dispositivos móviles (nodos) y cómo los parámetros velocidad, posición y aceleración cambian en función del tiempo. Este modelo es el que más se emplea para probar protocolos de enrutamiento en redes ad hoc móviles por su uso sencillo y gran disponibilidad. Con respecto a su funcionamiento, los nodos se mueven de forma aleatoria en zigzag siguiendo un punto de referencia, pero sin restricciones, es decir, el destino, la velocidad y la aceleración se escogen de forma aleatoria e independiente del resto de nodos de red tal como se muestra en la figura 2.4 para una red con un punto de partida P_1 y de este se mueve de forma aleatoria al siguiente nodo P_{n+1} con parámetros aleatorios (velocidad, dirección y aceleración) (Bettstetter, Resta, & Santi, 2003).

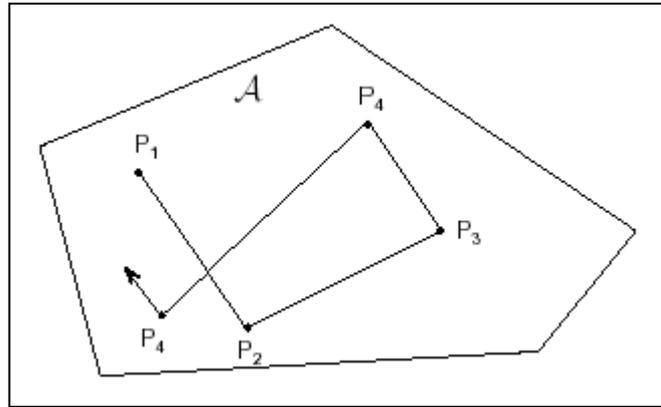


Figura 2. 4. Ejemplo del modelo de movilidad RWP.
Fuente: (Hyytiä, 2010)

Modelo Random Walk

El modelo de movilidad de camino aleatorio en donde un nodo móvil puede desplazarse desde su ubicación actual a una nueva escogiendo aleatoriamente la velocidad y la dirección para realizar dicho desplazamiento. Este modelo no tiene memoria, es decir que no tiene registros de las posiciones ni las velocidades pasadas una vez se ha desplazado. Los nodos móviles dentro de la red se mueven libremente de forma aleatoria pero cuando alguno de ellos se acerca a los bordes del área de simulación el nodo rebota con el mismo ángulo de incidencia para continuar el movimiento en una nueva dirección, mientras que, cuando existe algún cambio en la velocidad o la dirección del nodo el movimiento va a ser restringido en un área pequeña dentro de toda la zona de simulación (Chiang & Shenoy, 2001).

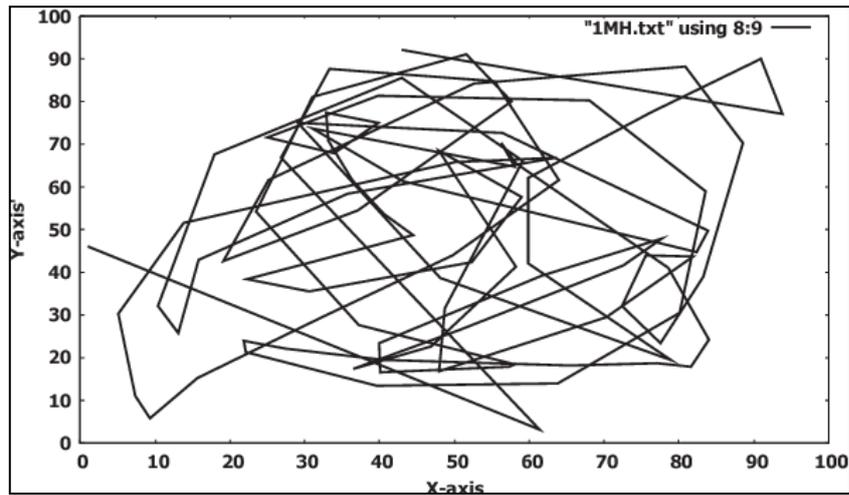


Figura 2.5. Ejemplo de movilidad del modelo Random Walk.
Fuente: (Chiang & Shenoy, 2001)

En la Figura 2.5 se muestra como los nodos van desplazándose aleatoriamente dentro de la zona de simulación, pero si llegan al borde de la misma, rebotan con el mismo ángulo de incidencia en otra dirección, manteniéndose así, constantemente dentro de la zona de trabajo.

Modelo de grupo con punto de referencia (RPGM)

Este modelo se basa en grupos de nodos en donde cada uno de ellos tiene un líder (centro lógico) el cual decidirá a qué velocidad y dirección se moverán los nodos. En este sistema de movilidad se tiene un vector de movimiento como referencia de movimiento en los nodos, es decir, todos los nodos de la red hacen referencia hacia el pivote o centro lógico para moverse de un tiempo t a un tiempo $t+1$ con lo cual, posterior al movimiento se actualiza la posición. El modelo RPGM hace uso de las siguientes ecuaciones (Alshanyour & Baroudi, 2008):

$$|\vec{V}_m| = |\vec{V}_{ld}| + rand(\cdot) \times SDR \times max_s \quad (2.1)$$

$$|\vec{\theta}_m| = |\vec{\theta}_{ld}| + rand(\cdot) \times ADR \times max_a \quad (2.2)$$

En donde:

\vec{V}_m : Vector de magnitud de velocidad del miembro de la red.

\vec{V}_{lid} : Vector de magnitud de velocidad del líder de la red.

$\vec{\theta}_m$: Vector de magnitud del ángulo del miembro de la red.

$\vec{\theta}_{lid}$: Vector de magnitud del ángulo del líder de la red.

SDR: Radio de desviación de velocidad.

ADR: Radio de desviación del ángulo.

max_s : Valor máximo de velocidad dentro de la red.

max_a : Valor de ángulo máximo dentro de la red.

En las ecuaciones (2.1) y (2.2) se detalla tanto el vector velocidad como el vector dirección de los nodos dentro de la red. Los valores SDR (Speed Deviation Ratio) y ADR (Angle Deviation Ratio) son usados para poder controlar la velocidad tanto en magnitud como en dirección de los miembros del grupo con respecto al líder dentro de la red, estos valores se encuentran entre 0 y 1 ($0 \leq \text{SDR}, \text{ADR} \leq 1$). Se recalca que dado que todos los movimientos de los nodos (miembros) son decididos por el líder, en base al modelo de movilidad que se describe, el patrón de movilidad a generarse se espera tenga una alta dependencia espacial cuando los valores de SDR y ADR sean pequeños (Zhou, Xu, & Gerla, 2004).

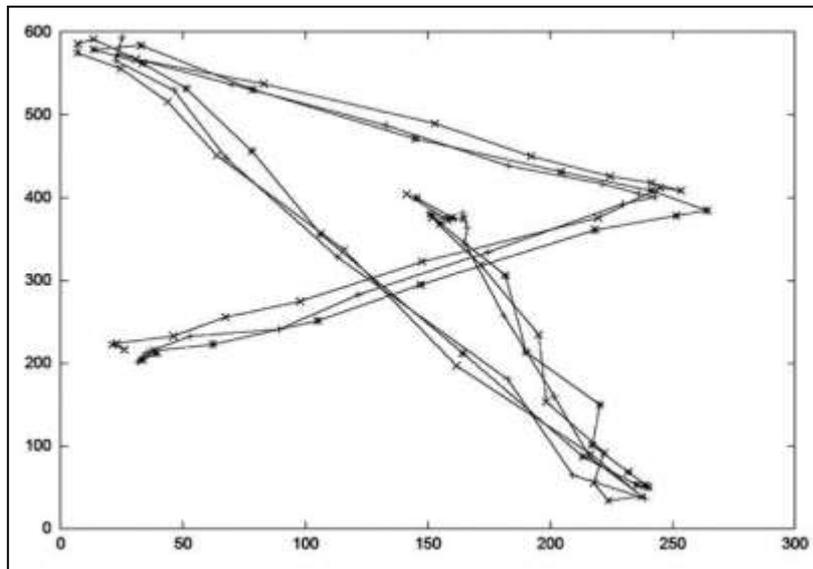


Figura 2.6. Ejemplo del modelo de movilidad RPGM.
Fuente: (Zhou, Xu, & Gerla, 2004)

En la Figura 2.6 se muestra el concepto del modelo de movilidad descrito anteriormente y como los nodos (miembros) de la red definen su posición en base a un nodo líder, haciendo que sigan un cierto patrón con respecto al punto de base o pivote.

Modelo de movilidad de fuerza de grupo (GFMM)

El modelo de movilidad de fuerza de grupo tiene funcionalidades similares a las del modelo RPGM en términos de uso de parámetros grupales, pero ahora se tiene en cuenta las colisiones y los posibles obstáculos durante el movimiento de los nodos en su camino hacia el destino. Este modelo adicionalmente incorpora dos tipos de grupos, los dispersos y los compactos, es decir, miembros a distancias de 5 [m] a 15 [m] o mayores a 15 [m] y miembros a distancias menores a 5 [m] respectivamente. El modelo GFMM tiene diferentes enfoques de función de repulsión, diferenciados únicamente por el tipo de función exponencial (decrece cuando los nodos se separan del grupo) y la fuerza de atracción con la cual se pretende explicarlo, a continuación, se detallan los más representativos (Gowrishankar, Sarkar, & Basavaraju, 2009).

$$\bar{f}_y = A_{ij} \left[\frac{\bar{r}_i - \bar{r}_j}{dy} \right] \cdot [ExpPDF(x, \mu) - chi2PDF(x, \mu)] \quad (2.3)$$

$$\bar{f}_y = A_{ij} \left[\frac{\bar{r}_i - \bar{r}_j}{dy} \right] \cdot [ExpPDF(x, \mu) - RayleighPDF(x, B)] \quad (2.4)$$

$$\bar{f}_y = A_{ij} \left[\frac{\bar{r}_i - \bar{r}_j}{dy} \right] \cdot [ExpPDF(x, \mu) - FPDF(x, v_1, v_2)] \quad (2.5)$$

Las ecuaciones (2.3), (2.4) y (2.5) detallan los modelos de fuerza Chi-cuadrado, Rayleigh y Fisher-Snedecor respectivamente en donde:

A_{ij}: Constante del modelo.

B: Parámetro constante de la prueba de Rayleigh.

v₁, v₂: Los grados de libertad de la prueba de Fisher, enteros positivos (Williams & Huang, 2006).

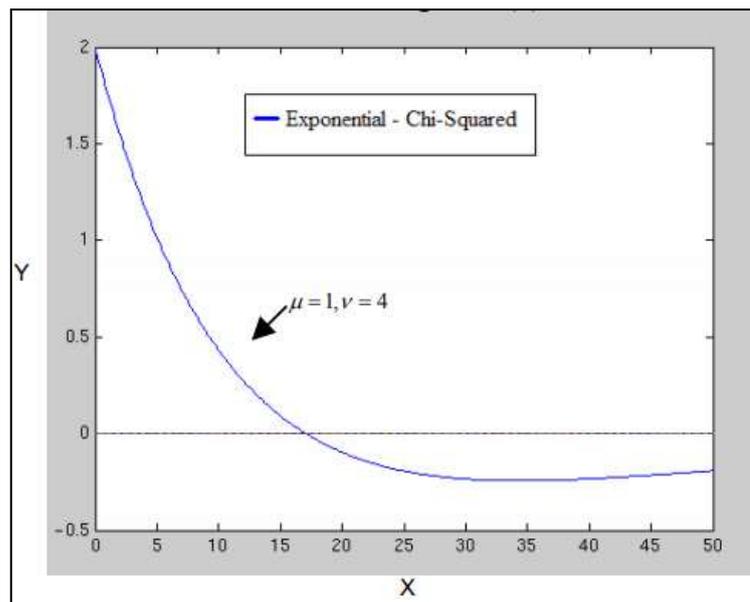


Figura 2.7. Función exponencial Chi-cuadrado para el modelo GFMM.
Fuente: (Williams & Huang, 2006)

En la Figura 2.7 se muestra un ejemplo de simulación para la función exponencial del modelo de fuerza de grupo Chi-cuadrado.

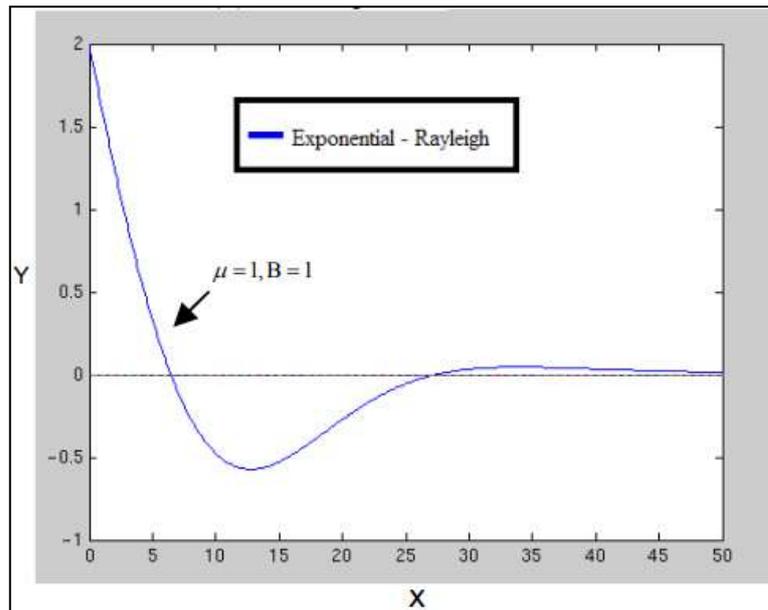


Figura 2.8. Función exponencial Rayleigh para el modelo GFMM.
Fuente: (Williams & Huang, 2006)

En la Figura 2.8 se muestra un ejemplo de simulación para la función exponencial del modelo de fuerza de grupo Rayleigh.

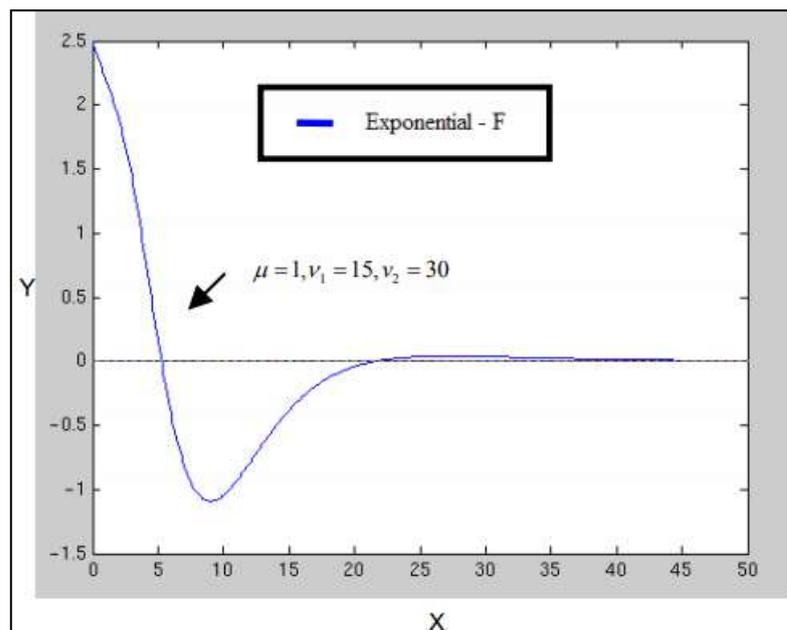


Figura 2.9. Función exponencial Fisher-Snedecor para el modelo GFMM.
Fuente: (Williams & Huang, 2006)

En la Figura 2.9 se muestra un ejemplo de simulación para la función exponencial del modelo de fuerza de grupo Fisher-Snedecor.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y RESULTADOS

En esta sección se detallará la solución planteada para la ciudadela El Comercio en la ciudad de Portoviejo en lo que respecta al sistema de comunicación de emergencia planteado. En base a lo descrito en capítulos anteriores, la solución a plantear permitirá tener una arquitectura de red inalámbrica capaz de proveer y mantener comunicado el sector si un flagelo llega a ocurrir, se considera para el diseño de la red, la densidad poblacional (considerada como alta) de la zona y los puntos en donde por cuestión de las edificaciones la comunicación o el estado del enlace pueda verse afectado (ITU, 2016).

Se plantea una solución en la que se propone el uso de frecuencias en la banda de los 4800 MHz a 4990 MHz con un ancho de banda de 1 a 20 MHz para la red inalámbrica a diseñar con lo que se podrá tener un sistema de comunicación redundante y escalable durante o después de un flagelo de gran magnitud. Es importante considerar el hecho de que, al usar la banda de frecuencia antes descrita, se aprovecha al máximo las características de una red mesh por lo que con dicha topología se planteará el diseño de la red en la ciudadela El Comercio (ITU, 2016).

Por otra parte, en base a lo que se conoce en actividades sísmicas para la ciudad de Portoviejo, la región costa del Ecuador es muy susceptible a actividades sísmicas que pueden causar desastres en las ciudades que comprenden dicha zona.

En la Figura 3.1 se describen las zonas sísmicas de mayor actividad (en rojo) a la de menor actividad (verde), en base a lo cual, se confirma que la ciudad y zona escogida para el presente estudio, se encuentra en rojo, por lo cual el peligro de actividades sísmicas relevantes es más alto comparado con otras ciudades y regiones.

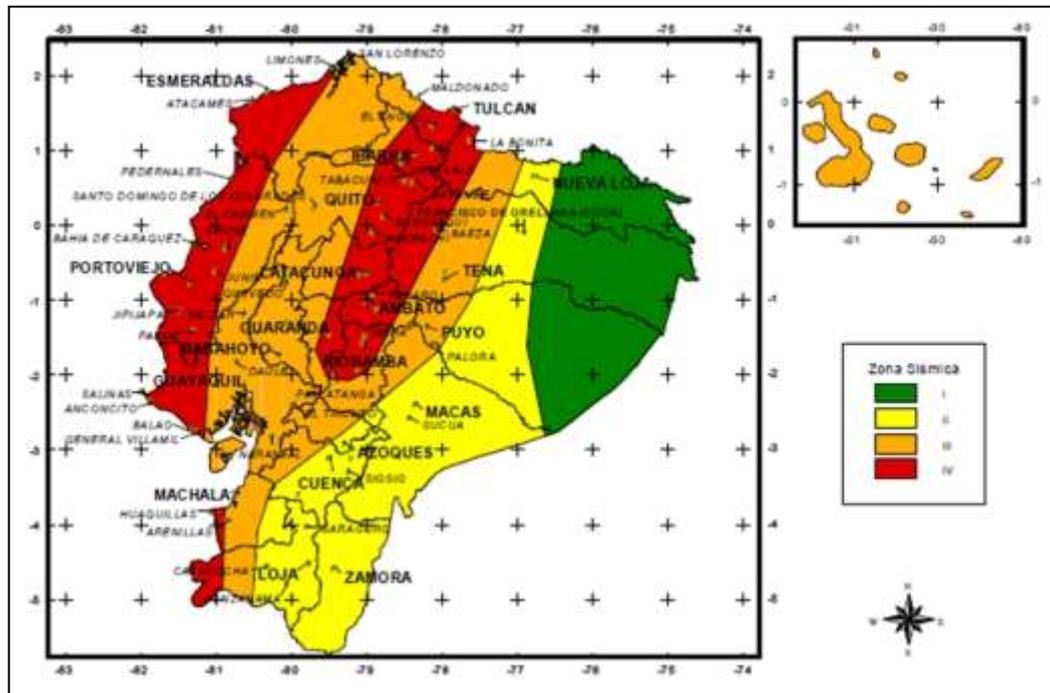


Figura 3.1. Mapa de actividades sísmicas del Ecuador.
Fuente: (Cisneros, 2011)

Una vez descrito el escenario, se propone hacer uso de 6 nodos dentro de la ciudadela para construir la red mesh y que esta tenga redundancia en la transmisión de información. Junto con esto en base a la resolución de la ITU ya antes referenciada, se tendrán tasas de velocidad y flujo de información fiables para el enlace que se desea conseguir en situaciones de emergencia.

La ciudadela El Comercio dispone de un perímetro de 1181 m (304mx305m) en los cuales se han dispuesto 6 nodos en configuración mallada con el fin de dar redundancia al sistema de comunicación de emergencia que se desea diseñar. Se hará uso de NS2 para simular el entorno descrito y poder confirmar la viabilidad de las rutas creadas y de la información que es enviada en estos enlaces para los nodos de la red.

En la Figura 3.2 se muestra la disposición de los nodos a utilizar para la red mesh en la ciudadela El Comercio, estos nodos tendrán redundancia entre sí para garantizar la conexión y comunicación en todo momento aun cuando en alguno de los nodos exista pérdida del enlace.



Figura 3.2. Esquema de posicionamiento de nodos en la ciudadela El Comercio para la red a implementar.
Fuente: Elaborada por el autor

Una vez definido esto, se detallarán las características de la solución diseñada y simulada en el simulador NS2 en su versión 2.35, trabajada en Ubuntu. Se hace uso de este simulador ya que para el protocolo IEEE 802.16 para la modalidad mesh, se tienen dos esquemas de programación, centralizado y distribuido.

Con el modo centralizado los nodos son ordenados en una topología tipo árbol, en la cual la estación base (BS – Base Station) es la raíz del árbol, la cual programa el ancho de banda de todos los enlaces de una forma centralizada (fácil control pero esta configuración causa una sobrecarga en la señalización de la red), por otra parte, con una programación distribuida todos los nodos tendrán la potestad de tomar sus decisiones de manera local, con esto, se garantiza que los datos se transmitan libres de colisiones dentro de cualquier arreglo de nodos vecino (Cicconetti, Akyildiz, & Lenzini, 2009).

En base a lo ya descrito, a continuación, se detalla el script base para mantener la comunicación de la red mesh en los nodos dispuestos para la ciudadela El Comercio, en base a dicho script se analizarán las condiciones dispuestas usando el estándar IEEE 802.16 con el fin de dejar delimitado

el escenario de configuración para lo que se desea implementar. Se configura a continuación los nodos n0 y n5 como nodos fijos y los nodos n1, n2, n3 y n4 como nodos móviles.

```
#####  
#   Simulation parameters setup  
#####  
set val(stop) 15.0 ;# time of simulation end  
  
#####  
#   Initialization  
#####  
#Create a ns simulator  
set ns [new Simulator]  
  
#Define different colors for data flows  
$ns color 1 Blue  
$ns color 2 Red  
$ns color 3 Yellow  
$ns color 4 Green  
  
#Open the NS trace file  
set tracefile [open out.tr w]  
$ns trace-all $tracefile  
  
#Open the NAM trace file  
set namfile [open out.nam w]  
$ns namtrace-all $namfile  
  
#####  
#   Nodes Definition  
#####  
#Create 6 nodes  
set n0 [$ns node]  
set n1 [$ns node]
```

```

set n2 [$ns node]
set n3 [$ns node]
set n4 [$ns node]
set n5 [$ns node]

$n0 color red
$n1 color green
$n2 color black
$n3 color magenta
$n4 color yellow
$n5 color brown

#=====
#           Links Definition
#=====
#Createlinks between nodes

$ns duplex-link $n0 $n2 20.0Mb 10ms DropTail
$ns queue-limit $n0 $n2 10

$ns duplex-link $n1 $n2 20.0Mb 10ms DropTail
$ns queue-limit $n1 $n2 10

$ns duplex-link $n0 $n3 20.0Mb 10ms DropTail
$ns queue-limit $n0 $n3 10

$ns duplex-link $n1 $n4 20.0Mb 10ms DropTail
$ns queue-limit $n1 $n4 10

$ns duplex-link $n5 $n2 20.0Mb 10ms DropTail
$ns queue-limit $n5 $n2 10

$ns duplex-link $n3 $n5 20.0Mb 10ms DropTail
$ns queue-limit $n3 $n5 10

$ns duplex-link $n4 $n5 20.0Mb 10ms DropTail
$ns queue-limit $n4 $n5 10

$ns duplex-link $n5 $n0 20.0Mb 10ms DropTail
$ns queue-limit $n5 $n0 10

$ns duplex-link $n5 $n1 20.0Mb 10ms DropTail

```

```

$ns queue-limit $n5 $n1 10
$ns duplex-link $n4 $n0 20.0Mb 10ms DropTail
$ns queue-limit $n4 $n0 10
$ns duplex-link $n2 $n3 20.0Mb 10ms DropTail
$ns queue-limit $n2 $n3 10
$ns duplex-link $n2 $n4 20.0Mb 10ms DropTail
$ns queue-limit $n2 $n4 10
$ns duplex-link $n0 $n1 20.0Mb 10ms DropTail
$ns queue-limit $n0 $n1 10
$ns duplex-link $n3 $n4 20.0Mb 10ms DropTail
$ns queue-limit $n3 $n4 10
$ns duplex-link $n3 $n1 20.0Mb 10ms DropTail
$ns queue-limit $n3 $n1 10

```

```

#=====

```

```

#           Agents Definition

```

```

#=====

```

```

#Setup a UDP connection
set udp1 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $n0 $udp1
set null1 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $n3 $null1
$ns connect $udp1 $null1
$udp1 set packetSize_ 1500
$udp1 set fid_ 1

```

```

#Setup a UDP connection
set udp2 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $n1 $udp2
set null2 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $n4 $null2
$ns connect $udp2 $null2
$udp2 set packetSize_ 1500
$udp2 set fid_ 2

```

```

#Setup a UDP connection
set udp3 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $n2 $udp3
set null3 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $n1 $null3
$ns connect $udp3 $null3
$udp3 set packetSize_ 2500
$udp3 set fid_ 3

#Setup a UDP connection
set udp4 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $n0 $udp4
set null4 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $n5 $null4
$ns connect $udp4 $null4
$udp4 set packetSize_ 3700
$udp4 set fid_ 4

#=====
#           Applications Definition
#=====

#Setup a CBR Application over UDP connection
set cbr0 [new Application/Traffic/CBR]
$cbr0 attach-agent $udp1
$cbr0 set packetSize_ 1500
$cbr0 set rate_ 1.0Mb
$cbr0 set random_ null
$ns at 1.0 "$cbr0 start"
$ns at 6.0 "$cbr0 stop"

#Setup a CBR Application over UDP connection
set cbr1 [new Application/Traffic/CBR]
$cbr1 attach-agent $udp2
$cbr1 set packetSize_ 1500

```

```

$cbr1 set rate_ 1.0Mb
$cbr1 set random_ null
$ns at 2.0 "$cbr1 start"
$ns at 8.0 "$cbr1 stop"

#Setup a CBR Application over UDP connection
set cbr2 [new Application/Traffic/CBR]
$cbr2 attach-agent $udp3
$cbr2 set packetSize_ 1900
$cbr2 set rate_ 1.2Mb
$cbr2 set random_ null
$ns at 1.0 "$cbr2 start"
$ns at 9.0 "$cbr2 stop"

#Setup a CBR Application over UDP connection
set cbr3 [new Application/Traffic/CBR]
$cbr3 attach-agent $udp4
$cbr3 set packetSize_ 1800
$cbr3 set rate_ 2.1Mb
$cbr3 set random_ null
$ns at 2.5 "$cbr3 start"
$ns at 10.0 "$cbr3 stop"

#=====
#      Termination
#=====
#Define a 'finish' procedure
proc finish {} {
    global ns tracefile namfile
    $ns flush-trace
    close $tracefile
    close $namfile
    exec nam out.nam &
    exit 0
}

```

```

}
$ns at $val(stop) "$ns nam-end-wireless $val(stop)"
$ns at $val(stop) "finish"
$ns at $val(stop) "puts \"done\" ; $ns halt"
$ns run

```

En el código antes descrito se definen los 6 nodos de la red, a través de los cuales se utilizarán tráficos de tasa de bit constante (CBR – Constant Bit Rate) con diferentes tiempos de enlace y diferentes tamaños de paquetes para simular escenarios de comunicación dentro de la ciudadela El Comercio. En base a esto se muestra la siguiente topología en la figura 3.3 de los diferentes agentes de tráfico UDP entre los nodos dispuestos de la red y como estos se intercomunican simulando enlaces de emergencia con información relevante en cada punto de la zona de estudio.

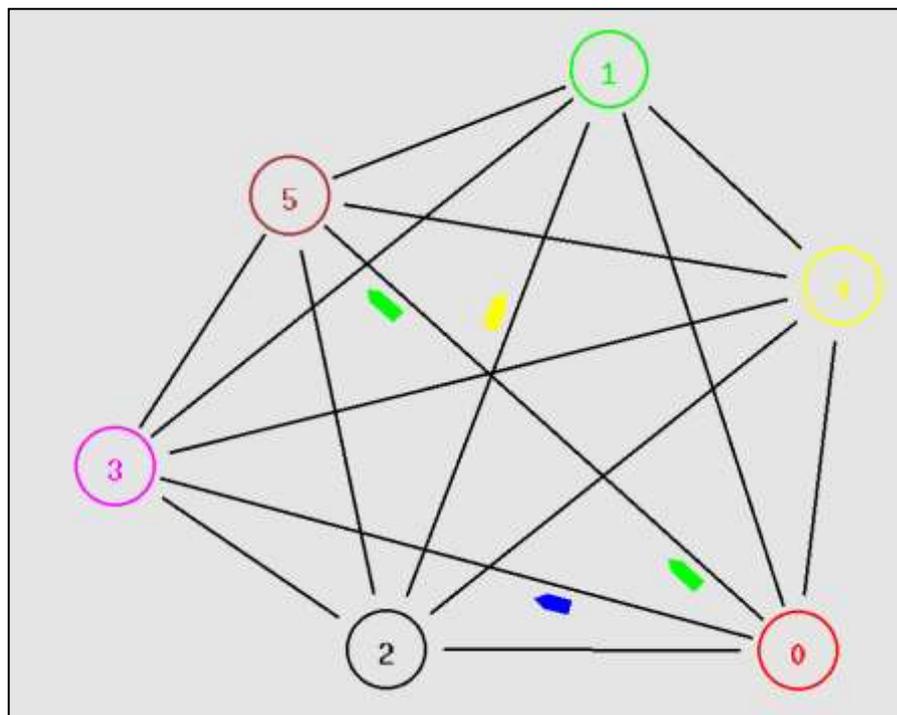


Figura 3.3. Diagrama de topología Mesh para los nodos ubicados en la Ciudadela El Comercio.

Fuente: Elaborada por el autor

En la Figura 3.4 se hace referencia a la cantidad de pérdida de paquetes en un análisis de tráfico CBR, tanto en la red mesh como en la red tipo anillo

bajo las mismas condiciones de tamaño de paquete, ancho de banda y tiempo de duración del enlace.

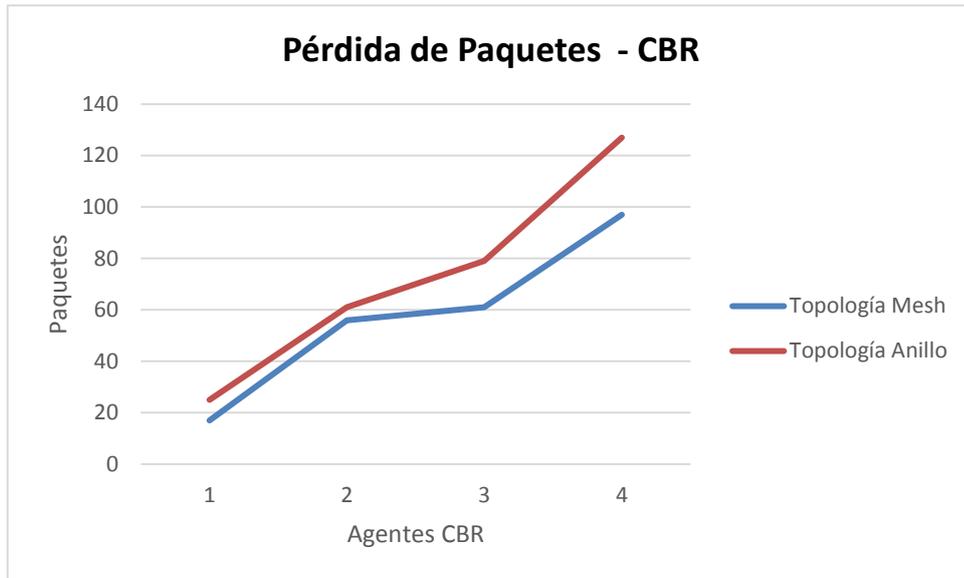


Figura 3.4. Diagrama de línea para la comparativa de pérdida de paquetes por topología.
Fuente: Elaborada por el autor

CONCLUSIONES

Una vez culminado el análisis de resultados propuestos con NS2 se puede concluir lo siguiente:

El uso de topologías de red tipo mesh asegura la comunicación ininterrumpida de todos los miembros de la red, aun cuando alguno de los nodos falle o sea desconectado, la red podrá mantenerse convergente, aunque con un procesamiento de información considerable.

Tanto para tráfico UDP o TCP, las redes tipo mesh frente a redes tipo anillo, tipo árbol o tipo estrella, ofrecen una tasa de pérdida de paquetes reducida, lo que hace que esta topología prevalezca al momento de ocurrir situaciones de emergencia que comprometan los nodos, total o parcialmente.

Las consideraciones de red, tanto de ancho de banda, tasa de transferencia, tamaño de paquetes, tipo de cola, retraso de propagación y el tipo del enlace se las realizó en base a las características propias de cada topología, lo que permitió analizar la velocidad y eficiencia de transmisión en cada una, generando como principal resultado tasas de velocidad y rendimiento que contrastan en función de la pérdida de paquetes.

Finalmente se pudo concluir que en base al estándar IEEE 802.16, el uso de frecuencias exentas de licencia para operaciones de comunicación cuenta con mecanismos adecuados y útiles al momento de manejar la información. Por otra parte, este estándar permitió una gestión adecuada de la base de datos de la información que se maneja en cada uno de los nodos, ya sean estos, fijos o móviles.

RECOMENDACIONES

Dentro del contexto del proyecto y simulación de las topologías de red, se realizan las siguientes recomendaciones:

Al manejar software o hardware en base a estándares IEEE es importante contar con el conocimiento previo de las características de estándar y como éste se integra con las características básicas de Networking, a nivel de protocolo y parámetros del enlace de comunicación.

Al hacer uso del software NS2 es importante tomar en cuenta que dicha versión se encuentre correctamente instalada en la distribución de Linux a utilizar y que esta a su vez, cuente con las herramientas gráficas para las topologías a diseñar (NAM).

Finalmente se recomienda analizar adecuadamente los archivos de salida de la simulación, los cuales contienen los datos de paquetes, enlaces y tipo de agentes de tráfico; esta información permitirá, una vez exportada a Excel, entender de mejor manera el comportamiento de la red que se simule de acuerdo a los parámetros iniciales configurados.

BIBLIOGRAFÍA

- Abassi, L. (2013). *Serval: Reclaim your phone*. Retrieved from The Serval Project: <http://www.servalproject.org/>
- Al Agha, K. (2006). Ad-Hoc Networking. *IFIP 19th World Computer Congress, TC-6, IFIP Interactive Conference on Ad-Hoc Networking, August 20–25, 2006, Santiago, Chile* (págs. 71-82). Santiago: Springer, Boston, MA. doi:<https://doi.org/10.1007/978-0-387-34738-7>
- Alonso, V. (2008). *Las redes inalámbricas MESH*. Obtenido de El blog del informático: <http://blog-del-linformatico.blogspot.com/2008/11/las-redes-inalambricas-mesh.html>
- Alshanyour, A., & Baroudi, U. (2008). Random and realistic mobility models impact on the performance of bypass-AODV routing protocol. *2008 1st IFIP Wireless Days*. Dubai: IEEE. doi:10.1109/WD.2008.4812840
- Ansari, N., Zhang, C., Rojas-Cessa, R., Sakarindr, P., Hou, E., & De, S. (2008). Networking for critical conditions. *IEEE Wireless Communications*, 15(2). doi:10.1109/MWC.2008.4492980
- Bettstetter, C., Resta, G., & Santi, P. (2003). The node distribution of the random waypoint mobility model for wireless ad hoc networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2(3), 257-269. doi:10.1109/TMC.2003.1233531
- Bruno, R., Conti, M., & Gregori, E. (2005). Mesh networks: commodity multihop ad hoc networks. *IEEE Communications Magazine*, 43(3), págs. 123-131. doi:10.1109/MCOM.2005.1404606
- Cano, R., Fernández, D., & Martínez, M. (2005). *E-prints Complutense*. Obtenido de Estudio de las necesidades en las redes Ad Hoc y creación de un protocolo de enrutamiento:

http://eprints.ucm.es/8858/1/Microsoft_Word_-_Memoria_SSII_final.pdf

Carlberg, K. (2006). *Emergency Telecommunications Services (ETS) Requirements for a Single Administrative Domain*. Obtenido de RFC 4375: <https://tools.ietf.org/html/rfc4375>

Casierra, K. (2013). *Red Ad Hoc Móvil: Características y Aplicaciones Principales*. Obtenido de <http://karolcasierra.blogspot.com/2013/04/red-ad-hoc-movil-caracteristicas-y.html>

Chan Kim, B., Song, H., & Young Lee, J. (2007). IEEE 802.11-based Wireless Mesh Network Testbed. *Mobile and Wireless Communications Summit, 2007. 16th IST*. Budapest: IEEE. doi:10.1109/ISTMWC.2007.4299195

Chiang, K.-H., & Shenoy, N. (2001). A random walk mobility model for location management in wireless networks. *12th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. PIMRC 2001. Proceedings (Cat. No.01TH8598), 2*.

Cicconetti, C., Akyildiz, I., & Lenzini, L. (2009). WiMsh: A Simple and Efficient Tool for Simulating IEEE 802.16 Wireless Mesh Networks in ns-2. *SIMUTools*.

Cisneros, D. (2011). *Portal de Noticias USFQ*. Obtenido de Nuevo Código Ecuatoriano de la Construcción CEC-2011 incluirá propuesta USFQ: <https://noticias.usfq.edu.ec/2011/01/nuevo-codigo-ecuadoriano-de-la.html>

DeMartino, K. (2003). An architecture for a seamless mesh network. *Fourth International Workshop on Design of Reliable Communication Networks, 2003. (DRCN 2003). Proceedings*. Banff: IEEE.

Deng, H., Li, W., & Agrawal, D. (2002). Routing security in wireless ad hoc networks. *40(10)*, 70-75. doi:10.1109/MCOM.2002.1039859

- Dimitriadis, G., Koltsidas, G., & Pavlidou, F. (2005). On the Performance of the HSLR Routing Protocol for Mobile Ad hoc Networks. *Wireless Personal Communications*, 35(3), 241-253.
- Folts, H. (2002). Standards initiatives for Emergency Telecommunications Service (ETS). *IEEE Communications Magazine*, 40(7), 102-107. doi:10.1109/MCOM.2002.1018014
- Gowrishankar, S., Sarkar, S., & Basavaraju, T. (2009). Simulation Based Performance Comparison of Community Model, GFMM, RPGM, Manhattan Model and RWP-SS Mobility Models in MANET. *2009 First International Conference on Networks & Communications*. Chennai: IEEE. doi:10.1109/NetCoM.2009.31
- Hossain, E., & Leung, K. (2008). *Wireless Mesh Networks: Architectures and Protocols*. Springer, Boston, MA. doi:https://doi.org/10.1007/978-0-387-68839-8
- Hyytiä, E. (2010). *Esa Hyytiä, D.Sc. (Tech.)*. Obtenido de Random Waypoint Model: <https://notendur.hi.is/esa/java.html>
- ITU. (2016). *Unión Internacional de Telecomunicaciones*. Obtenido de Sector de Radiocomunicaciones (UIT-R): <https://www.itu.int/oth/R0A0600001A/es>
- Jun, J., & Sichitiu, M. (2006). MRP: Wireless Mesh Networks Routing Protocol. *Department of Electrical and Computer Engineering*, 1-5.
- Mohapatra, P., & Krishnamurthy, S. V. (2005). *Ad Hoc Networks : Technologies and Protocols*. California: Springer.
- Rabbi, F., Rahman, T., & Uddin, A. (2007). An Efficient Wireless Mesh Network: A New Architecture. *2006 International Conference on Communication Technology*. Guilin: IEEE. doi:10.1109/ICCT.2006.341857
- Saummet, M. (2005). Simulación de redes ad hoc y evaluación de parámetros bajo cuatro modelos de movilidad. *Revista de Tecnología*, 4(2).

- Tadimety, P. R. (2015). *OSPF: A Network Routing Protocol*. Berkeley: Apress, Berkeley, CA. doi:<https://doi.org/10.1007/978-1-4842-1410-7>
- Tobal, J. (2015). *Javier Tobal*. Retrieved from Redes MESH: The Serval project: <http://www.javiertobal.com/redes-mesh-serval-projec/>
- Williams, S., & Huang, D. (2006). A Group Force Mobility Model. *9th Communications and Networking Simulation Symposium, CNS 2006, Part of the 2006 Spring Simulation Multiconference, SpringSim 2006 - Huntsville, AL, United States* (págs. 2-7). Huntsville: Arizona State University.
- Zhao-wen, H., Sui-li, F., & Wu, Y. (2009). Efficient scheduling for WiMAX Mesh network, with multiple egress. *2009 International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery*. Zhangjijie: IEEE.
- Zhou, B., Xu, K., & Gerla, M. (2004). Group and swarm mobility models for ad hoc network scenarios using virtual tracks. *Military Communications Conference, 2004. MILCOM 2004. 2004 IEEE*. Monterey: IEEE. doi:10.1109/MILCOM.2004.1493283

GLOSARIO DE TERMINOS

ADR	Angle Deviation Ratio
AODV	AdHoc On Demand Distance Vector
AP	Access Point
CBR	Constant Bit Rate
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
ETS	Emergency Telecommunication Services
FEMA	Federal Emergency Management Agency
GFMM	Group Force Mobility Model
HSLs	Hazy Link State Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
MANET	Mobile Adhoc Network
MMRP	Mobile Mesh Routing Protocol
NS2	Network Simulator 2
OLSR	Optimized Link State Protocol
OSPF	Open Shortest Path First
QoS	Quality of Service
RPGM	Reference Point Group Model
RWP	Random WayPoint
SDR	Speed Deviation Ratio



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Herrera Cedeño Cristhian Javier**, con C.C: # **1311628273** autor/a del trabajo de titulación: **Análisis y diseño de red tipo mesh como sistema de comunicación de emergencia en la ciudadela El Comercio en Portoviejo**, previo a la obtención del título de **Magister en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

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

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

Guayaquil, **20 de noviembre del 2018**

f. _____

Nombre: **Herrera Cedeño Cristhian Javier**

C.C: **1311628273**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA		
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN		
TEMA Y SUBTEMA:	Análisis y diseño de red tipo mesh como sistema de comunicación de emergencia en la ciudadela El Comercio en Portoviejo.	
AUTOR(ES)	Herrera Cedeño Cristhian Javier	
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	MSc. Orlando Philco Asqui; MSc. Celso Bohórquez Escobar / MSc. Luis Córdova Rivadeneira	
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil	
FACULTAD:	Sistema de Posgrado	
CARRERA:	Maestría en Telecomunicaciones	
TÍTULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones	
FECHA DE PUBLICACIÓN:	20 de noviembre de 2018	No. DE PÁGINAS: 42
ÁREAS TEMÁTICAS:	Redes AD HOC, redes Mesh, modelos de movilidad, actividades sísmicas	
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	WIMESH, situaciones de emergencia, comunicación inalámbrica, redes mesh, transmisión, estabilidad	
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>Dentro de lo realizado en el presente proyecto de titulación, se planteó el estudio de las redes mesh para sistemas de comunicación inalámbrica en lo que respecta a situaciones de emergencia, en donde, los sistemas comunes de comunicación eventualmente puedan fallar o simplemente llegar al punto de saturarse, lo cual no permitiría la correcta transmisión entre los puntos en conflicto. Posteriormente, se definieron los fundamentos teóricos en base a los cuales se definieron los escenarios de resultados. Con esto, se procedió a realizar el diseño de la red mesh para lo que respecta a la zona de estudio (Ciudadela El Comercio – Portoviejo) para proponer una red de comunicación inalámbrica capaz de mantener un enlace con estabilidad frente a situaciones de riesgo, en donde, los sistemas comunes estén saturados o averiados. Al hacer uso del protocolo WIMESH para el simulador NS2 se pudo revisar las múltiples conexiones de la red a diferentes tasas de bit para comprobar la transferencia de datos en la frecuencia definida de 4800 MHz a 4990 MHz, y así contrastar la pérdida de paquetes en los enlaces dispuestos.</p>	
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0984314245	E-mail: critian_87@hotmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: MSc. Manuel Romero Paz	
	Teléfono: 0994606932	
	E-mail: manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):		
Nº. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		