UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones

DISEÑO DE UNA RED MALLADA INALÁMBRICA PARA PROVEER DE CONECTIVIDAD A UNA ZONA POPULAR URBANA SIN INFRAESTRUCTURA.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO DE TELECOMUNICACIONES

REALIZADO POR Tomas Hernández Ramírez

Kevin Nichols Anaya

Tutor Ing. Wilfredo Torres

FECHA 17 de febrero de 2010

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones

DISEÑO DE UNA RED MALLADA INALÁMBRICA PARA PROVEER DE CONECTIVIDAD A UNA ZONA POPULAR URBANA SIN INFRAESTRUCTURA.

REALIZADO POR	Tomas Hernández Ramírez
	Kevin Nichols Anaya
Tutor	Ing. Wilfredo Torres
FECHA	17 de febrero de 2010

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones

DISEÑO DE UNA RED MALLADA INALÁMBRICA PARA PROVEER DE CONECTIVIDAD A UNA ZONA POPULAR URBANA SIN INFRAESTRUCTURA.

Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado 20 Veinte (Mención Honorífica)

JURADO EXAMINADOR

Firma: _____ Firma: _____ Firma: _____

Nombre: Wilfredo Torres Nombre: Luis Barroso Nombre: Miguel Sabal

REALIZADO POR	Tomas Hernández Ramírez
	Kevin Nichols Anaya
Tutor	Ing. Wilfredo Torres
FECHA	17 de febrero de 2010

Agradecimientos

Le damos gracias a Dios por permitirnos culminar este proyecto y terminar estos cinco años y medio con vida.

A nuestros padres y familiares por su apoyo incondicional.

A nuestras respectivas novias por soportar la eterna excusa de: "No puedo ir porque tengo que hacer tesis".

A nuestros amigos por las eternas discusiones y por su bondad para compartir la información, especialmente a Toto Aguerrevere, Carla Carolina Caraballo, Shirlye Mendoza, Lali Bermúdez, Arianna Dale y muchos otros.

Este Trabajo Especial de Grado jamás pudo realizarse sin el apoyo incondicional de la Alcaldía de Sucre y le damos las gracias especialmente a Federico Ortega, Ángel Alvarado, Comisario Eduardo González, Inspector Jefe Freddy Arboleda y el Sub Inspector Douglas Fajardo.

Finalmente, le damos las gracias a nuestro tutor, Wilfredo Torres, que fue un guía fundamental para la realización de este proyecto, a las Profesoras Mildred Zerpa y Lourdes Ortiz, y al PhD Augusto "Población" Nichols por todos su consejos.

"For those about to rock...we salute you"
AC/DC

DISEÑO DE UNA RED MALLADA INALÁMBRICA PARA PROVEER DE CONECTIVIDAD A UNA ZONA POPULAR URBANA SIN INFRAESTRUCTURA.

Br. Kevin Nichols Anaya
veknichols@gmail.com
Br. Tomas Hernández Ramírez
tomashernandezr@gmail.com

Resumen

Considerando que la carencia de infraestructura tecnológica en la parroquia de Petare, Caracas, y la exclusión socio-económica en el área generan como consecuencia un déficit en los servicios básicos y una ausencia de los operadores tradicionales, este proyecto pretende diseñar basándose en la tecnología Mesh, una red mallada inalámbrica en una zona popular urbana sin infraestructura. Para ello se evaluaron los diversos estándares de redes inalámbricas existentes en el mercado, se consideraron las necesidades de los servicios de comunicaciones en la zona y se realizaron pruebas a baja escala para evaluar el comportamiento de la red. El proceso metodológico que permitió el alcance de los objetivos planteados, comprendieron la documentación teórica, un levantamiento de información de la zona ubicando las edificaciones más importantes en ella, el diseño de un modelo de red mallada inalámbrica considerando los requisitos de la zona y la realización de una propuesta técnico-económica mediante la evaluación de Wi-Fi, WiMAX y Mesh, permitió el alcance de los objetivos planteados. Entre los resultados más relevantes de este trabajo se tiene la posibilidad de interconectar *router*s que no tengan un línea de vista clara, el aumento de cobertura de los nodos al operar en la frecuencia de 2.4 GHz, la reducción del ancho de banda según los saltos que realice un paquete y el incremento de robustez de la red mediante la redundancia de rutas y el uso del protocolo *Optimized Link State Routing Protocol* (OLSR). De lo descrito se concluye que la tecnología *Mesh* se muestra muy interesante para proveer conectividad a la parroquia de Petare y se recomienda equipar a las escuelas de la zona con salas de computación, utilizar antenas directivas para la interconexión de los nodos cuya función es retransmitir la señal así como fomentar proyectos tecnológicos orientados a la reducción de la exclusión social.

Palabras claves: tecnología *Mesh*, Wi-Fi, WiMAX, OLSR

Índice General

Índice General ..... *vi*

Índice de Tablas ..... *viii*

Índice de Figuras ..... *ix*

Introducción *1*

Capítulo I Planteamiento del Proyecto *3*

I.1 Planteamiento del Problema **3**

I.2 Objetivos **4**

I.2.1 Objetivos General 4

I.2.2 Objetivos Específicos 5

I.3 Justificación **5**

I.4 Alcance y Limitaciones **6**

Capítulo II Marco Teórico *7*

II.1 Antecedentes **7**

II.1.1 Dharamsala, India 7

II.1.2 Mpumalanga, Suráfrica 8

II.1.3 Jerez, España 9

II.2 Redes de Área metropolitana **10**

II.3 Arquitectura de una red mallada inalámbrica **10**

II.4 Características de una red *Mesh* **13**

II.5 Factores que definen el desempeño de una WMN **14**

II.6 *Wireless Fidelity* (Wi-Fi) **14**

II.7 *World Wide Interoperability for Microwave Access* (WIMAX) **15**

II.8 Comparación entre Wi-Fi y WIMAX **17**

II.9 Universal Mobile Telecommucations Service **18**

II.10 Protocolos de Enrutamiento *Ad-hoc* **20**

II.10.1 Ad hoc On Demand Distance Vector (AODV) 21

II.10.2 *Optimized Link State Routing Protocol* (OLSR) 23

II.11 Comparación entre AODV y OLSR **26**

II.12 Seguridad **28**

II.13 Calidad de Servicio **29**

Capítulo III Metodología *32*

III.1 Proceso de Documentación **33**

III.2 Levantamiento de Información de la Zona **33**

III.3 Diseño del Modelo **33**

III.4 Evaluación de Alternativas y Análisis de los Resultados **34**

Capítulo IV Desarrollo *35*

IV.1 Proceso de Documentación **35**

IV.2 Levantamiento de Información **36**

IV.2.1 Reuniones con la Alcaldía de Sucre 36

IV.2.2 Análisis de la información obtenida por la Alcaldía 37

IV.3 Diseño del Modelo **37**

IV.3.1 Población 38

IV.3.2 Clima 38

IV.3.3 Vías de acceso 39

IV.3.4 Posible zona de despliegue 39

IV.3.5 Infraestructura Física y Técnica 39

IV.3.6 Zona Definitiva de Despliegue 40

IV.3.7 Manejo de *Routers* 42

IV.3.8 Trabajo de Campo 51

IV.4 Diseño de prototipo para pruebas **56**

IV.4.1 Alcance de la interfaz inalámbrica (WLAN) 57

IV.4.2 Pruebas de Ancho de Banda 59

IV.4.3 Pruebas de Calidad de Servicio 62

Capítulo V Análisis de Resultados *64*

V.1 Documentación **64**

V.2 Levantamiento de Información **65**

V.3 Diseño del modelo **67**

V.3.2 Diseño de prototipo para pruebas 70

V.3.3 Diseño Lógico de la Red 75

V.3.4 Arquitectura lógica de la red 78

V.4 Propuesta Técnico Económica **79**

Capítulo VI Conclusiones y Recomendaciones *86*

Capítulo VII Bibliografía *90*

Capítulo VIII Glosario de Acrónimos y Términos *94*

Capítulo IX Apéndice *98*

IX.1 Fotos de los puntos visitados en el Trabajo de campo **98**

Índice de Tablas

TABLA 1 ESTÁNDARES 802.11 15
TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DE *WIMAX* 16
TABLA 3 COMPARACIÓN ENTRE *WI-FI* Y *WIMAX* 17
TABLA 4. CARACTERÍSTICAS DE UMTS 18
TABLA 5. COMPONENTES DE LA RED UMTS 19
TABLA 6 COMPARACIÓN ENTRE AODV Y OLSR 26
TABLA 7 MECANISMOS DE SEGURIDAD 28
TABLA 8. FACTORES DE SEGURIDAD EN WMN 29
TABLA 9. SERVICIOS QOS *INTESERV* Y *DIFFSERV* 31
TABLA 10. POBLACIÓN MUNICIPIO SUCRE 38
TABLA 11. POBLACIÓN DE LAS ZONAS DEFINITIVAS DE DESPLIEGUE 40
TABLA 12. ESCUELAS DE LA ZONA DE DESPLIEGUE 41
TABLA 13. AMBULATORIOS Y PATRIMONIOS CULTURALES PERTENECIENTES A LA ZONA EN ESTUDIO 42
TABLA 14. CARACTERÍSTICAS *MESHNODE* II 43
TABLA 15. DETALLES DEL *MESHNODE* II 44
TABLA 16. INFORMACIÓN OBTENIDA EN EL TRABAJO DE CAMPO 52
TABLA 17. CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DEL *BACKBONE* EN RADIO MOBILE 55
TABLA 18. CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DE LOS ENLACES DE ACCESO EN RADIO MOBILE 68
TABLA 19. PROPUESTA DE DIRECCIONAMIENTO IP 76
TABLA 20. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS TECNOLOGÍAS 81
TABLA 21. CARACTERÍSTICAS CUALITATIVAS DE LAS TECNOLOGÍAS 82
TABLA 22. MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS 83
TABLA 23. PONDERACIÓN TÉCNICA DE LAS TECNOLOGÍAS 83
TABLA 24. PONDERACIÓN CUALITATIVA DE LAS TECNOLOGÍAS 84

Índice de Figuras

FIGURA 1. WMN INFRAESTRUCTURA 11
FIGURA 2. WMN CLIENTE 12
FIGURA 3. WMN HIBRIDO 12
FIGURA 4. ARQUITECTURA DE UMTS 20
FIGURA 5 RREQ NODOA - NODO J Y RREP NODO J- NODO A 22
FIGURA 6 ELECCIÓN DE NODOS MPR 23
FIGURA 7 INTERCAMBIO DE MENSAJES HELLO 24
FIGURA 8. PROCESO TÍPICO DE INUNDACIÓN EN LA RED 25
FIGURA 9 INUNDACIÓN POR LA RED MEDIANTE MPR 25
FIGURA 10. ESQUEMA METODOLÓGICO 32
FIGURA 11. ZONA DE DESPLIEGUE DE LA RED 41
FIGURA 12 *MESHNODE* II DE SAXNET 43
FIGURA 13. NODO CON INTERFAZ UMTS 45
FIGURA 14. INTERFAZ GRÁFICA *MESHNODE* II 46
FIGURA 15. ACCESO AL *MESHNODE* II VÍA SSH 46
FIGURA 16. MENÚ INTERFAZ GRAFICA 47
FIGURA 17. CONFIGURACIÓN WLAN 1 47
FIGURA 18. ESQUEMA DE CONFIGURACIÓN DE LOS NODOS 48
FIGURA 19. COMANDO PING 49
FIGURA 20 COMANDO *ROUTE –N* 49
FIGURA 21. CONFIGURACIÓN UMTS 51
FIGURA 22. POSIBLE UBICACIÓN DE LOS NODOS 54
FIGURA 23. LÍNEA DE VISTA DE LOS NODOS 55
FIGURA 24. DISTANCIA CRÍTICA ENTRE DOS NODOS 57
FIGURA 25. NODO EN DESPLAZAMIENTO 58
FIGURA 26. PÉRDIDA DE CONECTIVIDAD Y SELECCIÓN DE NUEVA RUTA 58
FIGURA 27. CONEXIÓN UN SOLO NODO 59
FIGURA 28. RESULTADO *IPERF* UN SOLO NODO 60

FIGURA 29. CONEXIÓN DOS NODOS 60
FIGURA 30. RESULTADO *IPERF* DOS NODOS 61
FIGURA 31. CONEXIÓN TRES NODOS 61
FIGURA 32. RESULTADO *IPERF* TRES NODOS 62
FIGURA 33. COMANDOS PARA IMPLEMENTAR QOS 62
FIGURA 34. DIAGRAMA DE PRUEBAS DE QOS 63
FIGURA 35. MAPA DE ZONA DE DESPLIEGUE 66
FIGURA 36. COBERTURA DE LOS NODOS 2.4GHZ 69
FIGURA 37. CANALES WI-FI 72
FIGURA 38. GRÁFICO DE ANCHO DE BANDA SEGÚN CANTIDAD DE SALTOS 73
FIGURA 39. DISEÑO DE LA RED CON PUNTOS DE REPETICIÓN 74
FIGURA 40. ARQUITECTURA LÓGICA DE LA RED DISEÑADA 79
FIGURA 41. U.E JESÚS AROCHA (S1) 98
FIGURA 42. COLEGIO DULCE NOMBRE DE JESÚS (S2) 98
FIGURA 43. PLAZA BOLÍVAR, MUNICIPIO SUCRE (S3) 99
FIGURA 44. CALLEJÓN, BARRIO AGRICULTURA (S4: PUNTO DE REPETICIÓN) 99
FIGURA 45. TERMINAL EL ESFUERZO (S5: PUNTO DE REPETICIÓN) 100
FIGURA 46. U.E ABAJO CADENAS (S7) 101
FIGURA 47. CASA DE LOS NIÑOS LUISA CÁCERES DE ARISMENDI (S8) 101
FIGURA 48. U.E CONSUELO NAVAS TOVAR (S9) 102
FIGURA 49. BIBLIOTECA LA URBINA (S10) 102
FIGURA 50. U.E. JOSÉ MANUEL NÚÑEZ (S11) 103
FIGURA 51. U.E MANUEL AGUIRRE (S12) 103
FIGURA 52. CONSULTORIO POPULAR (S13) 104
FIGURA 53. CASA DE LA CULTURA JOSÉ FÉLIX RIVAS (S14) 104
FIGURA 54. E.M. COROMOTO (S15) 105
FIGURA 55. AMBULATORIO MUNICIPAL (S15) 105
FIGURA 56. RAFAEL NAPOLEÓN BAUTE (S16) 106
FIGURA 57. U.E SIMÓN BOLÍVAR (S17) 106

Introducción

El presente Trabajo Especial de Grado consiste en el diseño de una red inalámbrica para proveer de conectividad a una zona popular urbana sin infraestructura de acceso. Este surge con el fin de proponer una solución para la implementación de la red específicamente en la parroquia de Petare en el Municipio Sucre.

Debido al auge de Internet en la última década, consolidándose como el principal medio de comunicación a nivel mundial, la demanda del servicio ha requerido que se desarrollen nuevas tecnologías para satisfacer las necesidades de todos los usuarios. Es por ello que surgen tecnologías que muestran mejoras tanto en hardware y software como lo son la redes malladas inalámbricas (*Wireless Mesh Networks, WMN)*. Estas redes presentan un buen desempeño en zonas topográficamente accidentadas. En particular, la zona a estudiar no sólo presenta irregularidades en su relieve sino que también presenta una exclusión socio-económica notable que, en conjunto, generan como consecuencia un déficit en los servicios básicos, poca accesibilidad a la zona, alta densidad de población en espacios reducidos y una carencia de infraestructura de las operadoras telefónicas tradicionales.

Para diseñar adecuadamente la red fue necesario investigar sobre las distintas tecnologías existentes que pueden ofrecer este servicio, los diferentes protocolos de enrutamiento, los aspectos de seguridad y de calidad de servicio en la red. De la misma manera fue necesario realizar un trabajo de campo, pruebas a baja escala con los routers y realizar simulaciones para verificar el alcance y la línea de vista de los nodos.

El Trabajo Especial de Grado posee la siguiente estructura:

- **Capítulo I**: Planteamiento del Proyecto. Se plantea el problema que existe en la zona de estudio y la razón por la cual surge el proyecto. Se establecen los objetivos del proyecto así como también los límites y alcance del mismo.

- **Capítulo II**: Marco Teórico. Es la investigación teórica del proyecto la cual profundiza en los antecedentes de la tecnología Mesh, su arquitectura, protocolos de enrutamiento, aspectos de seguridad, calidad de servicio y otras tecnologías existentes.
- **Capítulo III**: Metodología. Se explica brevemente las cuatro etapas del proyecto incluyendo los pasos necesarios para cumplir los objetivos.
- **Capítulo IV**: Desarrollo. Describe detalladamente las actividades realizadas en el proceso de documentación, levantamiento de información, diseño del modelo y el diseño de prototipo para prueba.
- **Capítulo V**: Análisis de Resultados. Se explican los resultados obtenidos en el desarrollo, los detalles del trabajo de campo y se desarrolla la propuesta técnico-económica
- **Capítulo VI** Conclusiones y Recomendaciones. Se presentan la viabilidad del proyecto y puntos más importantes de la investigación. Sugerencia para la posible implementación del proyecto.
- **Capítulo VII**: Bibliografía. Soporte teórico del Trabajo Especial de Grado.
- **Capítulo VIII** Glosario de Acrónimos y Términos. Definición de acrónimos utilizados a lo largo de la investigación.
- **Capítulo IX**: Apéndice. Fotos de los puntos visitados en el trabajo de campo.

Capítulo I

Planteamiento del Proyecto

En el siguiente capítulo se describirá el problema a tratar en esta investigación, el objetivo general, los objetivos específicos, la justificación, alcance y limitaciones

I.1 Planteamiento del Problema

Desde el día en que los usuarios comenzaron a tener acceso a redes de datos de alta velocidad, como lo es Internet, éstos se vieron obligados a depender de medios cableados para formar parte de la misma y de esta manera poder conectar sus computadores a dichas redes. Sin embargo, la gran demanda del servicio, la necesidad de estar conectados continuamente, la obligación del usuario de estar en continuo movimiento y lo bajos costos de los equipos, han sido factores fundamentales para la justificación de la aparición de redes inalámbricas.

En los últimos años Internet se ha consolidado como el principal medio de comunicación tanto a nivel nacional como internacional. Debido a este gran auge, la necesidad del mejoramiento de las capacidades de las redes inalámbricas existentes se ha convertido en una tarea prioritaria para los ingenieros. Por esta razón, estas redes han ido evolucionando a ritmo muy acelerado mejorando sus servicios en el hardware y software. Un ejemplo concreto de esta evolución son las redes malladas inalámbricas (*Wireless Mesh Networks, WMN*).

Estas redes presentan un buen desempeño, a diferencia de otras topologías, en zonas topográficamente accidentadas. En particular, la zona a estudiar no sólo presenta irregularidades en su relieve sino que también presenta una exclusión socio-económica notable que, en conjunto, generan como consecuencia un déficit en los servicios básicos, poca accesibilidad en sus vías y alta densidad de población en espacios reducidos. A su vez, se puede observar una carencia de infraestructura de

los operadores tradicionales, como lo es por ejemplo una red cableada telefónica convencional.

Las WMN ofrecen además una serie de beneficios que se adaptan eficientemente a las zonas urbanas de bajos recursos, como es el caso concreto de la parroquia de Petare en el Municipio Sucre, lo cual hace esta topología de especial interés para este trabajo de grado. Entre los beneficios más relevantes tenemos que estas redes no requieren de la implementación de grandes infraestructuras debido a la utilización del canal inalámbrico y a una topología mallada/ multisalto con uno o varios nodos actuando de pasarelas (*gateways*) a redes con infraestructura, como lo pueden ser redes cableadas, redes de celulares, etc.

De la misma manera, estas redes también se caracterizan por ser robustas ante posibles fallos de nodos intermedios, debido a la configuración de topologías redundantes (mallada o parcialmente mallada) y el funcionamiento con protocolos de enrutamiento dinámico *ad-hoc*. A su vez, estas redes brindan un rango de cobertura mayor a los sistemas inalámbricos anteriores (WIMAX, WI-FI, etc.), sin afectar la capacidad de los canales, y también proveen una inter-conectividad entre los usuarios sin poseer una línea de vista clara.

I.2 Objetivos

A continuación se desarrollará el objetivo general de la investigación, así como también los objetivos específicos que ampliarán a lo largo del trabajo de investigación.

I.2.1 Objetivos General

- Diseñar y Evaluar una red mallada inalámbrica (W*ireless Mesh Network,* WMN) para proveer de conectividad a una zona popular urbana sin infraestructura.

I.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar un estudio acerca de las redes malladas inalámbricas (WMN - W*ireless Mesh Networks*-) haciendo énfasis en las redes de área metropolitana.
- Evaluar los diferentes estándares de redes inalámbricas de banda ancha disponibles en el mercado, y su aplicabilidad en un despliegue de WMN en la zona de Petare.
- Evaluar los diferentes protocolos de enrutamiento *ad-hoc* subyacentes en las WMN, tomando en cuenta aspectos de seguridad y calidad de servicio (*Quality of Service* – QoS).
- Investigar e identificar las necesidades de los servicios de comunicaciones de voz y datos que se presentan en la zona de Petare.
- Diseñar una WMN de banda ancha que apoye los servicios investigados, tomando en cuenta aspectos particulares tales como: dimensionamiento, seguridad (física y de comunicaciones) e infraestructura necesaria.
- Diseñar un prototipo a baja escala, junto con un protocolo de pruebas, para evaluar detalladamente el desempeño de la red y los protocolos subyacentes en cuanto a QoS y seguridad de comunicaciones.
- Realizar una propuesta técnico-económica que incluya detalles técnicos y los costos asociados a la solución.
- Analizar la propuesta de WMN diseñada respecto de otras soluciones alternativas, para concluir si la solución con la WMN resulta la más adecuada técnica y económicamente para la zona en estudio.

I.3 Justificación

La exclusión tecnológica que presentan las zonas populares en Venezuela, así como también el déficit de los servicios básicos hace de la tecnología de las redes malladas inalámbricas una potencial solución para estos problemas. De esta manera se busca promover el desarrollo de proyectos de políticas públicas a través de esta tecnología,

propiciando a su vez las condiciones necesarias para grandes avances culturales y sociales del sector estudiado.

I.4 Alcance y Limitaciones

Este trabajo de grado incluye principalmente el diseño de una WMN para cubrir satisfactoriamente el área a estudiar, en nuestro caso la Parroquia de Petare. El diseño de la red dependió fundamentalmente del estudio del flujo de tráfico y la densidad de población estimada para el sector.

El desarrollo de este trabajo especial de grado confronta limitaciones importantes. Principalmente, debido a los escasos recursos económicos presentados y por razones de tiempo, se imposibilita la implementación de la red a diseñarse, es por ello que el diseño de red se evaluará en un prototipo de baja escala. Por otra parte se utilizarán herramientas de software libre, para la evaluación de mecanismos y protocolos concretos de la red, haciendo énfasis en aspectos de funcionamiento, conectividad, QoS y seguridad de comunicaciones.

Finalmente, el modelo que se presenta en este trabajo de grado se adapta parcialmente a la parroquia de Petare, debido al poco desarrollo de los detalles físicos y urbanos del sector popular estudiado.

Capítulo II

Marco Teórico

Este capítulo comprende las bases teóricas que servirán de soporte a la investigación realizada en la elaboración de este Trabajo Especial de Grado. El mismo constará de una descripción de redes de área metropolitana debido a que las características de la zona de estudio se enmarcan dentro de este tipo de redes, su arquitectura, y los factores que influyen en su desempeño. Luego se realizará un análisis de Wi-Fi y WIMAX con sus respectivas características y ventajas, ya que son los estándares con los cuales se está implementando la tecnología *Mesh*. Posteriormente, se estudiarán los protocolos de enrutamiento AODV y OLSR, debido que son los responsables de desempeño de la red. Finalmente, se tomarán en consideración los factores de seguridad y calidad de servicio, ya que son aspectos importantes para el desempeño de una red mallada inalámbrica.

II.1 Antecedentes

El uso de la tecnología para proveer de conectividad a distintas ciudades en el mundo cada vez es mayor. Tanto las grandes ciudades en países desarrollados como las pequeñas ciudades en países con un alto grado de pobreza, han sido testigos de los beneficios que se pueden obtener al conectar un territorio con Wi-Fi. A continuación desarrollaremos tres casos en estudios que si bien son distintos entre sí, nos han servido de guía para enfocar este trabajo especial de grado.

II.1.1 Dharamsala, India

La Red Comunitaria Mallada Inalámbrica *Dharamsala* (*Dharamsala Wireless-Mesh Community Network)* se inició en Febrero del 2005 cuando el estado dejó de regular el uso de Wi-Fi al aire libre. El proyecto tuvo un crecimiento muy rápido, teniendo para finales de Febrero del mismo año una conexión entre 8 campus universitarios.

Se realizaron una serie de pruebas durante los meses de Febrero y Marzo donde se comprobó que la tecnología que mejor se adapta para el relieve montañoso fue la tecnología *Mesh*, ya que las redes convencionales de punto a multipunto no podían superar las limitantes impuestas por no poseer línea de vista. De la misma manera, quedó demostrado como la topología de una red *Mesh* aumenta el área de cobertura y como la misma es esencial en lugares donde la electricidad no llega con frecuencia.

El *backbone* de esta red tiene más de 30 nodos, todos los cuales comparten un mismo canal de radiofrecuencia. El servicio de internet por banda ancha se ofrece a todos los usuarios con una velocidad de transmisión de subida (*upstream)* total de 6Mbps. Todos los servicios siguen funcionando de manera óptima a pesar de que la red cuenta con más de 2000 computadoras conectadas. Sin embargo ya los ingenieros se encuentran haciendo pruebas con *routers* que funcionan con multi-canales para resolver el problema de la escalabilidad de la red.

Los *routers* utilizados son fabricados localmente y se conocen como *Himalayan-Mesh*-Router. Estos *routers* son colocados en los diferentes puntos, y se diferencian entre en si por las ganancias de las antenas utilizadas. Las antenas más frecuentes son: de 8 - 11dBi Omni-direccionales, 12 - 24d Bi direccionales y según el caso, se utilizan antenas sectoriales. (Airjaldi, 2005)

II.1.2 Mpumalanga, Suráfrica

El proyecto que se está llevando a cabo en Peebles Valley, Mpumalanga desde 2005 es uno de los diez proyectos que ejecuta *First Mile First Inch* (FMFI), quienes son financiados a su vez por el *International Development Research Centre* (IDRC). FMFI demuestra a través de esta iniciativa como la conexión a internet puede ser administrada y mantenida colectivamente por una comunidad.

En uno de los lados del valle Peebles se encuentra la tribu Masoyi donde residen 220.000 habitantes de escasos recursos y donde se estima que un tercio de la población está infectada con el virus VIH-positivo. En esa zona se encuentra una

Clínica la cual es dirigida por una organización no gubernamental quien paga directamente por conexión a internet por satélite y por las llamadas telefónicas a un ambulatorio ubicado a menos de 5 kilómetros. Del otro lado del valle viven unos hacendados quienes pagan individualmente por los mismos servicios anteriormente mencionados.

Después de un año de planificación, pruebas y uso de la tecnología *Mesh*, el resultado del proyecto fue muy positivo ya que pudo brindarle conectividad a una zona de bajos recursos y con muy poca infraestructura. Los usuarios experimentaron un ancho de banda (*throughput)* promedio de 2324 Kbps entre sí, sin embargo se encontraron con una reducción considerable en la velocidad de transmisión de bajada (*downlink*) de 256 Kbps y de 64 Kbps en velocidad de transmisión de subida (*Uplink*).

Finalmente los líderes del proyecto demostraron como se puede concretar una iniciativa con un alto impacto en la comunidad que no requiere necesariamente de un alto gasto económico. (First Mile First Inch, 2008)

II.1.3 Jerez, España

En la actualidad en la localidad de Jerez, España, como parte del proyecto Jerez 2.0, el ayuntamiento ha puesto en marcha una red Wi-Fi mallada que proporciona cobertura tanto a las dependencias municipales como al centro urbano de la ciudad. El proyecto se llevó a cabo con una inversión de 250.000 euros a cuatro años, en donde la red está preparada para soportar hasta 100 puntos de acceso, basándose en la tecnología Wi-Fi *Mesh* de CISCO. Hasta el mes de mayo de 2009 se habían instalado 26 puntos de acceso Marca Aironet modelo 1522 para exteriores y 23 Aironet 1131 para interiores. El proyecto está siendo desarrollado por el integrador andaluz Libera Network, bajo la gestión de la empresa municipal Jesytel y la colaboración del proveedor local Arconet para el acceso público a Internet

Wifijerez contaba con aproximadamente 1300 usurarios registrados a tan solo tres meses de haberse iniciado el proyecto. Este ofrecía conectividad *wireless* tanto a los ciudadanos y turistas de la ciudad como a 22 dependencias municipales.

Esta nueva red por los momentos sólo ofrece acceso internet, pero posee toda la capacidad para en un futuro ofrecer una serie de servicios administrativos y de seguridad, como serían la gestión de multas y video vigilancia. Como servicio público, la red *wireless* proporciona acceso ilimitado a las páginas web municipales a través del portal www.wifijerez.net. (Network World, 2009)

II.2 Redes de Área metropolitana

Una red de área metropolitana (*Metropolitan Area Network* o MAN), es una red de banda ancha que puede dar cobertura en un área geográfica extensa, aproximadamente 50km. Una MAN tiene la capacidad de integración de múltiples servicios mediante la transmisión de datos, voz y vídeo, sobre medios de transmisión tales como fibra óptica, par trenzado e inalámbricos. A su vez, permite la interconexión de varias redes de área local (*Local Area Networks o* LAN), y su diseño no requiere mucho estudio debido a que carece de elementos de conmutación. (Akyildiz & Wang, 2005)

En la actualidad las MAN inalámbricas están siendo implementadas por sus bajos costos y gran cobertura, basándose en los estándares de WI-FI y WIMAX.

II.3 Arquitectura de una red mallada inalámbrica

Una WMN (*Wireless Mesh Networks*) está conformada por dos tipos de nodos: los *router Mesh* y los clientes *Mesh.* Más allá de las funciones de la puerta de enlace (*Gateway)* y repetidor que tiene un *router* inalámbrico, una *router Mesh* inalámbrico posee funciones adicionales específicas para una red *Mesh.* Para mejorar la flexibilidad de una red *Mesh*, un *router Mesh* está equipado con distintas interfaces inalámbricas basadas en diferentes tecnologías inalámbricas; en comparación a un *router* inalámbrico convencional, un *router Mesh* tiene la capacidad de alcanzar la

misma cobertura con una potencia de transmisión menor a través de una comunicación multi-saltos. La arquitectura de una WMN puede clasificarse en tres grupos según la funcionalidad de sus nodos.

a) WMN Infraestructura / eje principal, el cual puede ser construido utilizando distintos tipos de tecnologías complementando los del estándar IEEE 802.11. Cuando un *router Mesh* funciona como *Gateway* este puede ser conectado a Internet y es conocido como "*Infrastructure Meshing*" (*ver* Figura 1). Este nodo suministra el eje principal para clientes convencionales, así como también permite la integración de una WMN con una red inalámbrica existente en la zona.

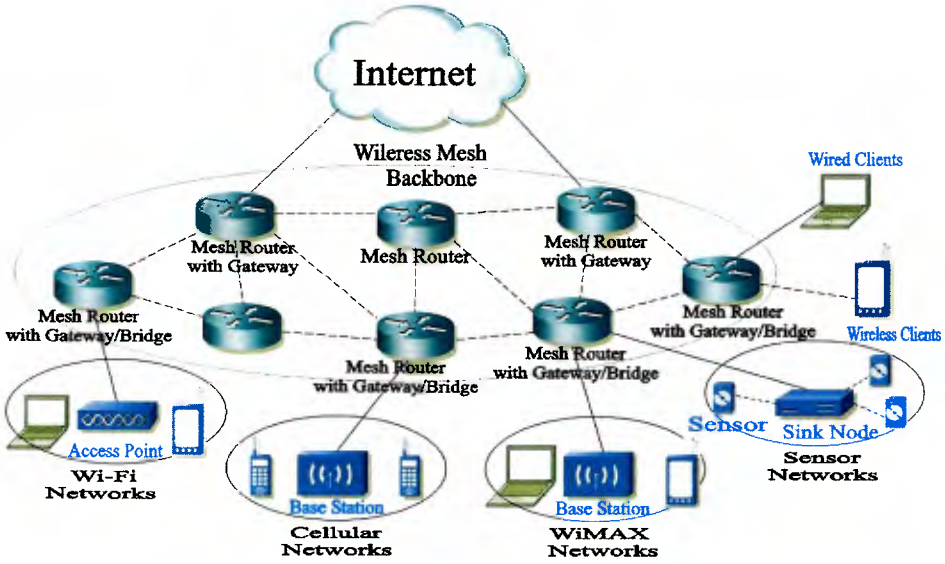

Figura 1. WMN Infraestructura
Fuente: (Paradellls Aspas, 2007)

b) WMN Cliente / sin infraestructura, suministra una red punto a punto entre los equipos de los clientes; en este tipo de arquitectura, los "nodos clientes" constituyen una red que desempeña funciones tanto de enrutamiento como de configuración, permitiendo funciones terminales para los clientes. (*Ver* Figura 2)

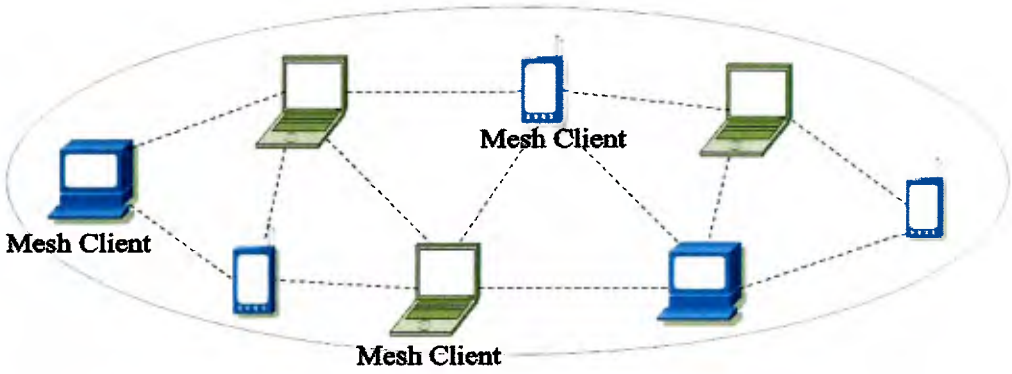

Figura 2. WMN Cliente
Fuente: (Paradellls Aspas, 2007)

c) WMN Hibrido, esta arquitectura es la combinación de una WMN de infraestructura con una WMN de Clientes. Los clientes *Mesh* pueden tener acceso a la red a través de los *router Mesh* o utilizando otro cliente como plataforma. (*Ver* Figura 3) Mientras la infraestructura proporciona conectividad a otras redes tales como Internet, Wi-fi y WiMAX, la capacidad propia de los clientes de enrutar, mejora la conectividad y la cobertura dentro de la WMN. (Akyildiz & Wang, 2005) (Acuna Martínez & Roncallo Kel, 2007) (Aggélou, 2009)

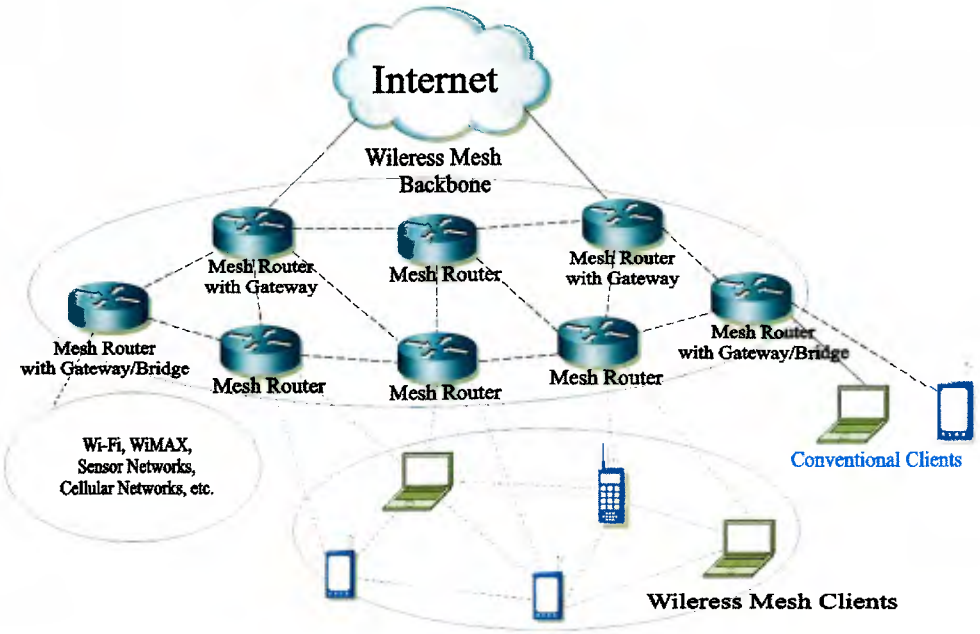

Figura 3. WMN Hibrido
Fuente: (Paradellls Aspas, 2007)

II.4 Características de una red *Mesh*

Una WMN permite extender el rango de cobertura que posee una red inalámbrica actual sin sacrificar la capacidad de los canales. A su vez, permite suministrar conectividad entre los usuarios sin poseer línea de vista directa. Una red WMN tiene la capacidad de autoconfiguración, auto recuperación y autoformación; esta características mejoran de forma exponencial el desempeño de la red y a su vez facilita el crecimiento gradual de la misma. Una WMN diseñada con la tecnología IEEE 802.11 tiene que ser compatible con los distintos estándares de la misma (*ver* Tabla 1) para así ser capaz de soportar un cliente *Mesh* y un cliente convencional. Por último, la movilidad de los nodos en una WMN depende fundamentalmente de su naturaleza; los *router Mesh* tiene un movilidad muy limitada, sin embargo, los clientes *Mesh* pueden estar tanto móviles como fijos y siguen disfrutando de los beneficios de la red.

Una red WMN presenta ventajas sobre las redes inalámbricas anteriores ya que puede soportar aplicaciones nuevas, las cuales se pueden presentar en escenarios diferentes. Uno de esos escenarios es el llamado redes de banda ancha caseras. Estas redes permiten solventar problemas como la cobertura de zonas oscuras, las cuales no poseen acceso a Internet agregando *Mesh routers* y ajustando su potencia.

Otro escenario se encuentra en el mundo laboral, específicamente el de empresas. Las redes de empresas se basan en interconectar departamentos que permiten sustituir redes basadas en el estándar IEEE 802.11 y lograr la interconectividad entre las mismas sin necesidad de un medio cableado. Finalmente, el último escenario es el de nuestro mayor interés y trata sobre las redes de área metropolitana (MAN). Las redes *Mesh* en este escenario proporcionan la mayor cantidad de beneficios ya que los nodos pertenecientes a una WMN proporcionan una tasa de transmisión muchos mayor a las redes celulares. Las redes *Mesh* aplicadas en MAN facilitan a las zonas

subdesarrolladas la posibilidad de formar parte de redes de banda ancha a un costo mucho menor que fibra ópticas o cable. (Akyildiz & Wang, 2005) (Aggélou, 2009)

II.5 Factores que definen el desempeño de una WMN

El desarrollo de componentes de radio frecuencia y la aparición de antenas inteligentes ha permitido aumentar la capacidad y flexibilidad de redes inalámbricas. Sin embargo, el crecimiento gradual de la red es necesario para mantener un desempeño eficiente de la misma. A dicho fenómeno se le conoce como escalabilidad de la red. La conectividad *Mesh* permite la utilización de protocolos de transporte ya existentes los cuales pueden mejorar significativamente el desempeño de las *redes Mesh.*

Las WMN consideran parámetros como son el promedio de los retrasos de los paquetes, la pérdida de paquetes y el desempeño de las métricas de transporte los cuales son tomados en cuenta por los protocolos de comunicación, para garantizar la calidad de servicio de la red.

De la misma manera permiten la interconexión con redes inalámbricas anteriores, colocando una serie de *Mesh routers* que permitan la inter operación. A este fenómeno se le conoce como compatibilidad e inter-operabilidad. (Ruiz Lopez & Olivera, 2006)

II.6 Wireless Fidelity (Wi-Fi)

Wi-Fi es el nombre por el cual se conoce a la tecnología 802.11. Existen diferentes tipo de Wi-Fi basados en la tecnología 802.11, que se diferencia principalmente en la banda de frecuencia en la operan y en la velocidad de transmisión que permiten. En la Tabla 1, se muestran lo diferentes estándares de 802.11 y su principales características.

Tabla 1 Estándares 802.11
Fuente: Elaboración Propia, referencia (Mendillo, 2009)

Nombre del Estándar	Características
802.11**a**	Octubre 1999. Opera en la banda de 5GHz, teóricamente puede alcanzar velocidades entre 54 y 108MB, opera bajo una frecuencia gratuita y presenta poca interferencia
802.11**b**	Octubre 1999. Opera en la banda de 2.4GHz, su tasa de transmisión puede llegar a 11MB, utliza el metodo de Acceso CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance)*
802.11c	Define las características que necesitan los Acess Point(AP), para actuar como puentes. Actualmente se implementa en algunos productos
802.11d	Se utiliza principalmente en aquellos países donde existan restricciones sobre el uso de la frecuencia del protocolo 802.11
802.11**e**	Actúa como organizador de la comunicación, ya que permite el envío de video y voz sobre ir. Introduce la calidad de servicio en la comunicación entre el AP y las estaciones.
802.11**f**	Permite el *Inter Access Point Protocol,* el cual hace el posible el roaming entre diferentes redes.
802.11**g**	Junio 2003. Permite la comunicación en la banda 2.4GHz, utiliza OFDM (Modulación Ortogonal por División de Frecuencia), velocidad promedio de transmisión 22Mbps
802.11**h**	Permite la asignación dinámica de canales y la coexistencia de este con el HyperLAN. Tiene la capacidad de definir el Transmit Power Control (TPC), según el cual la potencia de transmisión se adapta a la distancia a la que se encuentra el usuario de la comunicación
802.11**i**	Define la encriptación y autentificación para mejorar WEP, mejora la seguridad de las comunicaciones mediante el uso del *Temporal Key Integrity Protocol* (TKIP).
802.11**j**	Estándar que permite la interoperabilidad entre el IEEE, el ETSI HyperLAN2, ARIB e HISWANa
802.11**m**	Estándar propuesto para el mantenimiento de las redes inalámbricas
802.11**n**	Enero 2004. Permite el uso simultáneo de las bandas 2.4 y 5.4GHz, en teoría tiene la capacidad de ofrecer velocidades cercanas a los 600MB. Se espera mejoras notables en cuanto a la cobertura por la introducción de la tecnología MIMO (*Multiple Imput - Multiple Output).*
802.11**s**	Esta estándar se empezó a desarrollar en septiembre del 2003 como un grupo de estudio de la IEEE 802.11. Es una adaptación d esta tecnología para redes *Mesh*, definiendo como los dispositivos inalámbricos pueden interconectarse para crear una red WLAN *Mesh.*

II.7 World Wide Interoperability for Microwave Access (WIMAX)

WIMAX está basado en la tecnología IEEE 802.16; su nombre fue creado por el *WIMAX Forum,* se que se formó en junio del 2001 para promover la

interoperabilidad del estándar. (Intel Corporation, 2009). WIMAX es una solución inalámbrica de banda ancha que ofrece distintos servicios con mucha flexibilidad y potencial en los mismos. Algunas de las características más notables se pueden apreciar en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de WIMAX
Fuente: Elaboración Propia, referencia (Andrews, Ghosh, & Muhamed, 2007)

WIMAX	Características
Soporta altos picos de data:	Los picos pueden llegar tan altos como 74 Mbps cuando se está operando con un espectro de 20 MHz de ancho. Sin embargo, típicamente cuando se utiliza un espectro de 10MHz de ancho utilizando división de tiempo doble (TDD) , los picos son de aproximadamente 25Mbps y 6.7 Mbps para el *downlink* y el *uplink* respectivamente
Modulación adaptativa y codificación (AMC):	WIMAX soporta un número de modulaciones y permite que el esquema cambie por usuario y por cuadro según las condiciones del canal que se esté utilizando. AMC es un mecanismo efectivo para optimizar el *throughput* en un canal donde varía el tiempo.
Soporta TDD y División de Frecuencia Doble (FDD)	IEEE 802.16-2004 y la IEEE 802.16e-200 soportan TDD y FDD. TDD es sugerida en su mayoría debido a su flexibilidad en escoger tasa de la data en *uplink* y en el *downlink* y la poca complejidad del diseño de los transmisores.
Seguridad Robusta	WIMAX soporta una encriptación fuerte, utilizando el estándar avanzado de encriptación AES, y tiene una privacidad robusta en cuando al manejo de su protocolo. El sistema también ofrece un autentificación flexible basada en el protocolo de autentificación extensible EAP el cual permite verificar una seria de credenciales
Soporta calidad de servicio	La capa MAC de WIMAX tiene una arquitectura orientada a la conexión que está diseñada para soportar distintas aplicaciones, incluyendo servicios de voz y multimedia. De la misma manera WIMAX está diseñada para soportar un número grande de usuarios con conexiones múltiples, y con una calidad de servicio garantizada por usuario.
Capa Física de WIMAX	La capa física de WIMAX está basada en OFDM ya que permite enviar datos a altas velocidades, video, y tener comunicaciones multimedia con muchos sistemas de banda ancha comerciales como lo son DSL, Wifi, *Digital Video Broadcast*, entre otros. OFDM goza de ciertas ventajas que lo hacen muy accesible como método de transmisión de alta velocidad, como lo son: la reducción de la complejidad computacional, el amplio uso de la frecuencia, su robustez contra la interferencia y su adaptación para las demodulaciones coherentes
Capa MAC	Sirve de interfaz entre las capas altas de transporte y la capa física. Toma los paquetes de las capas superiores, los cuales se denominan Unidad de Servicios de data MAC (MSDU), y los organiza en el protocolo de unidades de data (MPSU) para su transmisión en el aire.

II.8 Comparación entre Wi-Fi y WIMAX

En la Tabla 3, se presenta una comparación directa entre las ventajas y desventajas que ofrecen cada unas de las tecnologías en estudio para la implementación de una red mallada inalámbrica sin infraestructura.

Tabla 3 Comparación entre Wi-Fi y WiMAX
Fuente: Elaboración Propia, referencia (Andrews, Ghosh, & Muhamed, 2007) (Gast, 2005)

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Wi-Fi	*Utiliza una banda de frecuencia no licenciada *Interoperabilidad entre todos los equipos de fabricación internacional *Bajo Costos de Implementación *Permite un gran movilidad *Costo Dispositivos entre $50 - $1500 *Se adapta mejor en países de escasos recursos y vías de desarrollo	*Poca Cobertura (máx. 100m) *Interferencia con equipos domésticos (microondas, teléfonos inalámbricos, etc.) *Ancho de banda reducido *Requiere línea de vista.
WiMAX	*Ofrece una cobertura de aprox. 50km. *Aumenta el Ancho de Banda de manera considerable. *Capacidad de controlar los distintos recursos que se le ofrece a cada cliente *Calidad de Servicio *Posee una Capa MAC muy flexible que maneja distintos tipo de tráfico. *Ofrece sistemas de seguridad robustos	*La banda en la que opera tiene que ser pedida al estado *Altos costos de implementación *Costo de Radio Base entre $5000 -$25000 *Interoperabilidad limitada entre los diferentes fabricantes de dispositivos. *Certificación del WIMAX fórum

Finalmente, se presume que WiMAX presenta todas las características técnicas para tener un desempeño óptimo en redes inalámbricas para zonas sin infraestructura. Sin embargo, los bajos costos de los equipos y la facilidad de implementación de WI-FI, hacen de esta última tecnología la más adecuada y rentable para el desarrollo de redes inalámbricas en zonas de escasos recursos. (Simó, 2007) (Kwang-Cheng & De Marca, 2008)

II.9 Universal Mobile Telecommucations Service

"UMTS es miembro de la familia global IMT 2000 del sistema de comunicaciones móviles de tercera generación de UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), tras GSM y GPRS (primera y segunda generación respectivamente). Adicionalmente, López, J.M. (2006) especifica que UMTS es la tercera generación de telefonía móvil. UMTS trata de extender las actuales tecnologías móviles proporcionando más capacidad, más servicios y una red mejor. En UMTS se integran todos los servicios ofrecidos por las distintas tecnologías y redes actuales (GSM, DECT, RDSI, etc.) dotando a los usuarios de terminales multimodo y multibanda." (Chirino Herrera, 2009, p. 25). En la Tabla 4 se presentan las características más importantes de esta tecnología.

Tabla 4. Características de UMTS
Fuente: Elaboración Propia, referencia (UMTS Forum, 2008)

UMTS	Características
Movilidad y Compatibilidad	UMTS ha sido creado como un sistema global. Dispositivos capaces de funcionar también por sistemas de Segunda Generación (2G) extenderán aún más el alcance de muchos servicios UMTS. Con estos dispositivos, un abonado tendrá la posibilidad de usar el roaming desde una red privada hacia una red pública, luego a una red una red de 2G, y luego a una red satelital, con una interrupción mínima de la comunicación.
Acceso rápido	UMTS rebasa a los sistemas móviles de segunda generación (2G) por su potencial para soportar velocidades de transmisión de datos de hasta 2Mbit/. Esta capacidad sumada al soporte inherente del Protocolo de Internet (IP), se complementan para proporcionar servicios multimedia interactivos y nuevas aplicaciones de banda ancha, tales como servicios de video telefonía y video conferencia.
Transmisión de paquetes de datos y velocidad de transferencia de datos	La mayoría de los sistemas celulares utilizan tecnología de conmutación de circuitos para la transferencia de datos. UMTS integra la transmisión de datos en paquetes y por circuitos de conmutación de alta velocidad a los beneficios de conectividad virtual a la red en todo momento y Formas de facturación alternativas por ejemplo, pago por byte, por sesión, tarifa plana, entre otros.
Facilidad de uso y costes bajos	La alta demanda de servicios más útiles, terminales más simples y una buena relación precio calidad, ha hecho que UMTS proporcione como tecnología emergente tarifas competitivas, amplia gama de de terminales a precios accesibles para el mercado masivo, servicios para satisfacerlas necesidades y preferencias de los usuarios

La tecnología UMTS presenta variantes considerables con respecto a las generaciones anteriores. Su arquitectura consiste en:

-Red de acceso radio, conocida dentro de la tecnología UMTS como Acceso Universal Radioeléctrico Terrestre (UTRAN), la cual fue diseñada para obtener velocidades superiores a las tecnologías anteriores y es la encargada de proporcionar la interconexión entre el núcleo de la red y los terminales móviles. La UTRAN está compuesta por varios Subsistemas de Redes de Radio (RNS) que son el modo de comunicaciones de UMTS. Las funciones principales de un RNS son la administración de los recursos así como también la transmisión y recepción de un conjunto de celdas. Dichas celdas están compuestas por un Controlador de Red de Radio (RNC) que él es responsable de todo el control de los recursos lógicos de una Estación Base Transmisora (BTS) y dependiendo del caso por uno o varios Nodos B, que son los elementos que corresponden a las BTS. (*Ver* Figura 4)

-"Núcleo de Red: incorpora funciones de transporte y de inteligencia. Las primeras soportan el transporte de la información de tráfico y señalización, incluida la conmutación. El encaminamiento reside en las funciones de inteligencia, que comprenden prestaciones como la lógica y el control de ciertos servicios ofrecidos a través de una serie de interfaces bien definidas; también incluyen la gestión de la movilidad. A través del núcleo de Red, el UMTS se conecta con otras redes de telecomunicaciones, de forma que resulte posible la comunicación no sólo entre usuarios móviles UMTS, sino también con los que se encuentran conectados a otras redes."(Nogues, 2007)

Otros de los componentes importantes de la red UMTS se describen en la Tabla 5.

Tabla 5. Componentes de la Red UMTS
Fuente: (Nogues, 2007)

Componentes	Características
Dominio de circuitos	Está basado en la conmutación de circuitos, de la red troncal de GSM, con señalización SS7 para comunicación entre nodos, gestiona el tráfico de voz y datos en modo circuito.

Dominio de paquetes	Basado en la conmutación de paquetes, para transmisión de información, estructurado en protocolo IP
SGSN	Es el encargado del establecimiento, mantenimiento y liberación de las sesiones IP
GGSN	Es el nodo pasarela con redes externas en dominio de paquetes. Tiene información del nodo SGSN a través del cual el móvil para enlutar la información recibida del exterior
GMSC	Al recibir una llamada externa, consulta el registro y la encamina al MSC del abonado.
MSC	Proporciona conmutación de llamadas, administración de movilidad y Servicios de GSM para los teléfonos móviles dentro de su área de servicio
HLR	Base de datos de los registros de usuarios locales
VLR	Base de datos de los registros de usuarios procedentes de otros nodos.
AUC y EIR	Centro de Autentificación y Registro de Móviles, ofrece seguridad entre el móvil y la red e identifica los terminales móviles.

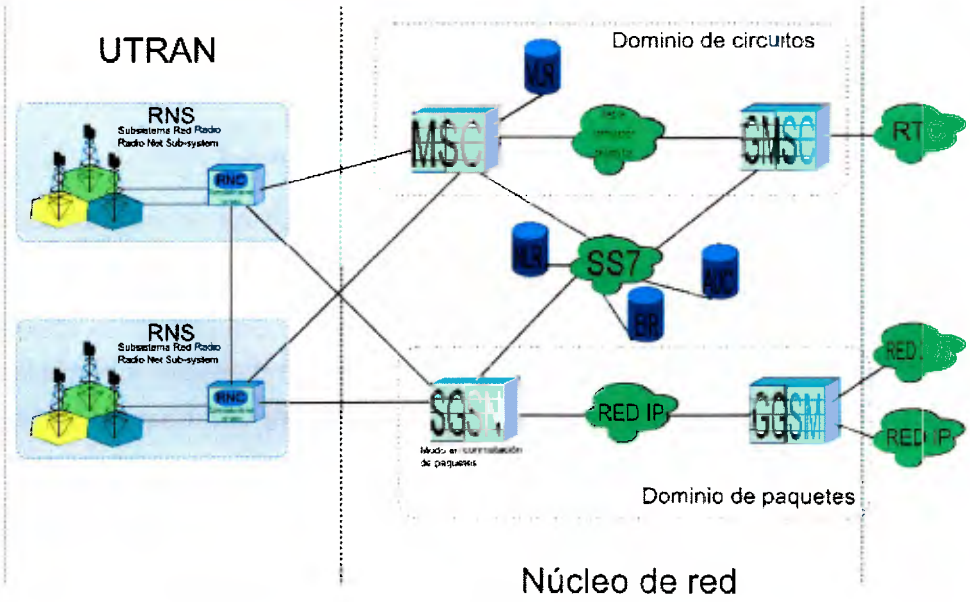

Figura 4. Arquitectura de UMTS
Fuente: (Nogues, 2007)

II.10 *Protocolos de Enrutamiento Ad-hoc*

Se implementan en redes de área local o redes de dimensiones menores, especialmente aquellas con conexiones inalámbricas o con conexiones temporales.

Estas redes se caracterizan por poseer miembros los cuales permanecen en ellas únicamente durante la duración de la comunicación, como lo son equipos móviles y computadoras portátiles. (Hekmat, 2006)

II.10.1 Ad hoc On Demand Distance Vector (AODV)

Es un protocolo de enrutamiento diseñado para redes móviles *ad-hoc*. AODV es capaz de enrrutar tanto *unicast* como *multicast*. Este protocolo se caracteriza por ser un algoritmo por subscripción; esto quiere decir que es capaz de diseñar rutas a nodos a discreción del nodo fuente. Mantiene las rutas tanto tiempo como sean necesarias y adicionalmente, construye árboles los cuales conectan los miembros de los grupos *multicast*. Dichos árboles se conforman por los miembros de los grupos y los nodos necesarios para conectarse entre los miembros. AODV se caracteriza por realizar en un tiempo aleatorio el refrescamiento de sus rutas, no presenta lazo, muestra un arranque automático, y se adapta a grandes números de nodos móviles. (Perkins, Belding-Royer, & Das, 2003) (Sklyarenko)

II.10.1.1 Resumen de Funcionamiento

AODV construye sus rutas utilizando *route request / route reply* (RREQ /RREP) en ciclos de preguntas. Al nodo fuente requerir de una ruta, un destino el cual no posee una ruta previa, la fuente envía un paquete de petición de ruta a través de toda la red. Los nodos que reciben este paquete actualizan su información de rutas y crean apuntadores hacia el nodo fuente en sus tablas de enrutamiento. (*Ver* Figura 5) (Torres, 2006)

II.10.1.2 Mensajes de control

Petición de Ruta (*Routing Request –RREQ*), cuando una ruta no está disponible para un destino, un paquete RREQ inunda toda la red. La identificación de petición se incrementa cada vez que el nodo fuente envía un nuevo paquete RREQ, de tal manera que la dirección fuente y la identificación de petición se identifiquen como un paquete único. Cuando se recibe un RREQ, cada nodo verifica los campos

mencionados anteriormente; si el nodo recibe un paquete en donde los parámetros coinciden con un paquete enviado anteriormente, el nuevo paquete es descartado; de lo contrario el RREQ sería reenviado a toda la red (*broadcast*), o respondido (*unicast*) por el nodo que lo recibió, mediante un paquete de respuesta (*Route Reply- RREP*).

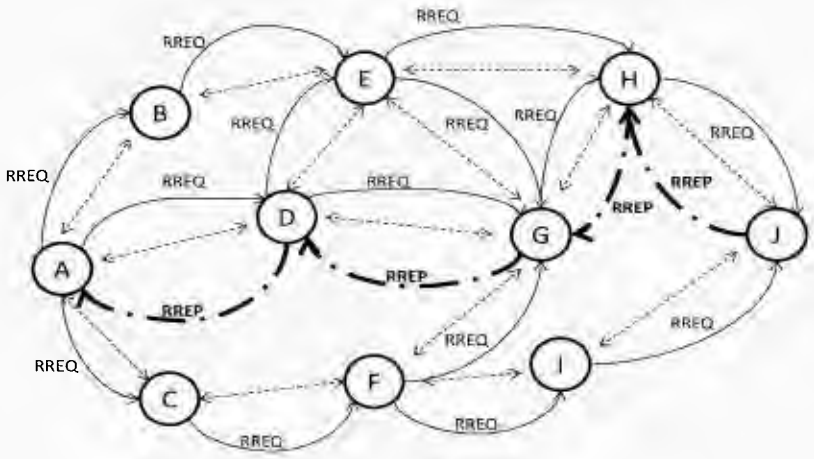

Figura 5 RREQ NodoA - Nodo J y RREP Nodo J- Nodo A
Fuente: elaboración propia, referencia (JUN, 2007)

Cada transmisión de un RREQ posee un tiempo de vida (*time to live - TTL*), que especifica cuantas veces el mensaje puede ser retransmitido. Este valor es predefinido en el momento de la primera transmisión.

Paquete de error (*Route Error- RERR*), todo los nodos son capaces de monitorear a sus vecinos. Cuando un nodo en una ruta activa se pierde, se genera un paquete RERR, que notifica a los demás nodos la pérdida de este enlace.

Los mensajes HELLO determinan la conectividad local del nodo. Son capaces de reducir el tiempo de respuesta para una petición de ruta y nunca serán retransmitidos ya que su TTL es igual a uno. (Perkins, Belding-Royer, & Das, 2003)

II.10.2 Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)

Es un protocolo pensado para MANETs (*Mobile Ad hoc Networks*) cuyo estándar es el RFC 3626.

> "Este protocolo se basa en tablas de enrutado. Una de sus características más importantes es que es proactivo, lo que quiere decir que cada nodo dispone en cada momento de toda la información del estado y disposición de los nodos de la red. Esto conlleva a una velocidad de enrutado mayor, además de la ventaja de conocer todos los nodos e IPs de la red. Por otro lado, también aporta algunos inconvenientes como por ejemplo el hecho de que los nodos requieran un gran uso de memoria, además de ocupar la red con paquetes de información de enrutado. De esta manera el factor escalabilidad queda un poco en duda debido a que mientras más nodos compongan una red, mayor memoria e información de enrutado se deberá transmitir por esta." (Clausen & Jacquet, 2003, p. 2)

Una de la características más importantes de OLSR es el uso de un MPR (*Multipoint relay*), que son aquellos nodos que optimizan el número de mensajes de actualización por la red. A su vez, por su compatibilidad e independencia a la hora de ser implementado, lo hace más atractivo y versátil para su despliegue. Este proceso se puede entender gráficamente en la Figura 6 en donde los MPR son representados como "M" y los nodos "N" son aquellos que se encuentran a dos saltos del nodo inicial

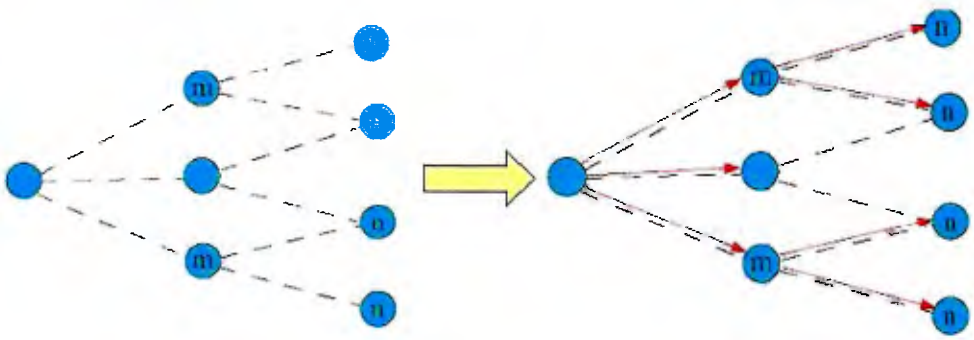

Figura 6 Elección de nodos MPR
Fuente: (Ruiz Lopez & Olivera, 2006, p. 67)

II.10.2.1 Resumen de Funcionamiento

Los mensajes HELLO son retransmitido de manera *broadcast* a vecinos que se encuentran a un salto, con un TTL=1 para que no vuelvan a ser reenviados. Cuando el segundo *host* envía el mensaje HELLO al primer *host*, este actualiza el estado del segundo *host* en la tabla de enrutamiento como una ruta asimétrica. A su vez, al primer *host* enviar el mensaje HELLO e incluir que posee una ruta asimétrica al segundo *host*, este realiza la actualización en la tabla de enrutamiento como una ruta simétrica, como se muestra en la Figura 7. Al final ambos *hosts* conocen el estado de su vecino y que la ruta correspondiente es bidireccional. (Torres, 2006) (Ruiz López & Olivera, 2006)

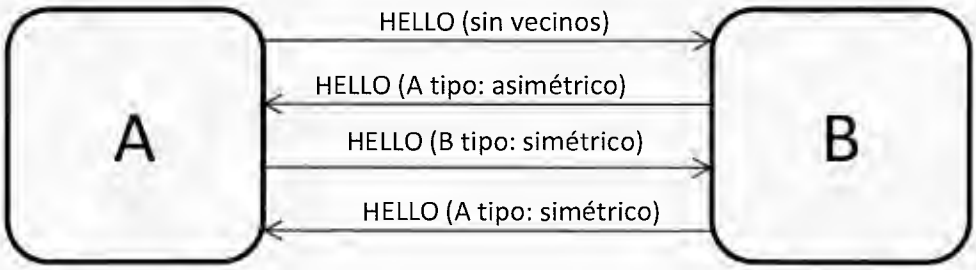

Figura 7 Intercambio de Mensajes HELLO
Fuente: Elaboración Propia, referencia (Ruiz López & Olivera, 2006, p. 66)

Los MPR son la base de la estructura en la cual se fundamenta el éxito del protocolo, ya que reduce el intercambio de información. En vez de realizar una inundación por toda la red, como se muestra en la Figura 8, OLSR utiliza los MPR para reducir los números de *hosts* que realizan el *broadcast* de los mensajes de control (*ver* Figura 9). Los MPR son los únicos que pueden retransmitir lo mensajes de control a través de la red, por lo contrario todos aquellos nodos que no sean MPR solo recibirán y procesaran la información mas no la retransmitirán. Cada *host* tiene que poseer la información de la simetría de los vecinos que se encuentran a uno o dos saltos, para poder así calcular el MPR óptimo. El objetivo del algoritmo de selección de los MPR, es seleccionar el mínimo número de vecinos que se

encuentran a un salto, para de esta manera cubrir todos los vecinos que se encuentran a dos saltos. A su vez, cada *host* tiene el Selector de MPR el cual indica los *host* que fueron seleccionados para actuar con esta propiedad. (Clausen & Jacquet, 2003)

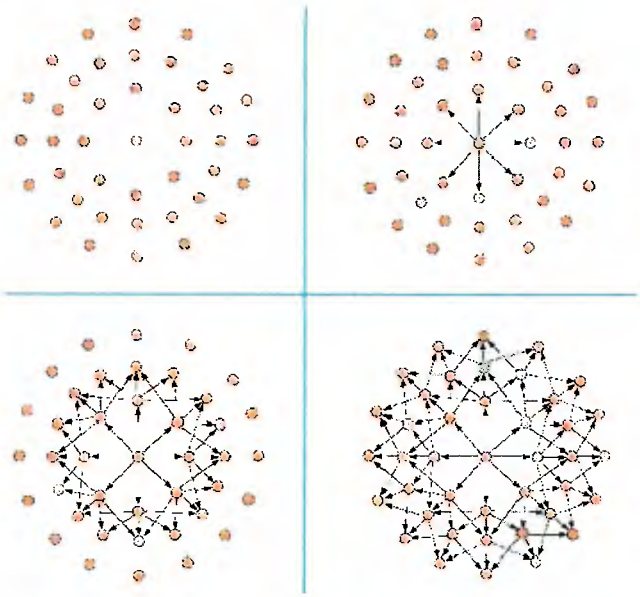

Figura 8. Proceso típico de inundación en la red
Fuente: (Ruiz López & Olivera, 2006, p. 67)

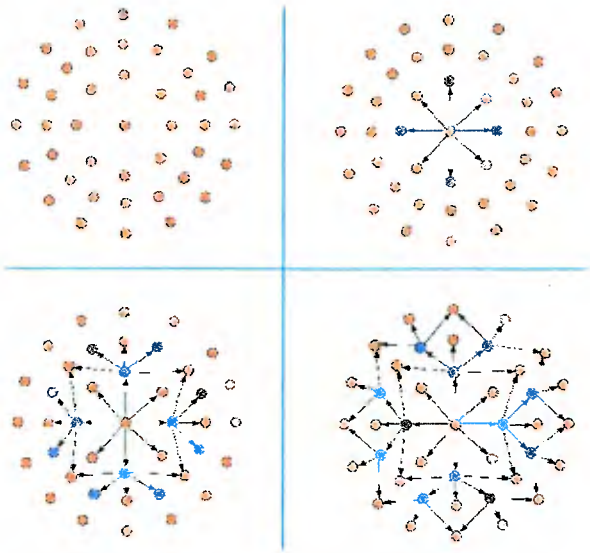

Figura 9 Inundación por la red mediante MPR
Fuente: (Ruiz López & Olivera, 2006, p. 68)

II.10.2.2 Mensaje de Control

OLSR posee un formato único para todos los mensajes manteniendo la compatibilidad con versiones anteriores. Los paquetes pueden llevar más de un mensaje, lo cuales incluyen un campo de numero de secuencia. Esta información permite a todos los nodos conocer las rutas más actualizadas. Los paquetes son encapsulados en UDP y dirigidos al puerto 698. Los tres tipos de mensaje son los siguientes,

- Mensajes HELLO: Realizan las funciones de descubrimiento de nodos, de detección de estado de enlaces y de señalización y elección de MPRs.

- Mensajes TC (*Topology Control*): Realizan la función de declaración de la topología de la red. Cada nodo guarda información de la topología de la red para poder realizar cálculos de tablas de encaminamiento.

-Mensajes MID (*Multiple Interface Declaration*): Realizan la función de descubrimiento de la presencia de múltiples interfaces en un nodo. Los mensajes MID son trasmitidos a toda la red por los MPRs. (Clausen & Jacquet, 2003)

II.11 Comparación entre AODV y OLSR

En la Tabla 6, se presenta una comparación directa entre las ventajas y desventajas que ofrecen cada uno de los protocolos de enrutamiento en estudio para la implementación de una red mallada inalámbrica sin infraestructura.

Tabla 6 Comparación entre AODV y OLSR
Fuente: elaboración propia, referencia (Huhtonen, 2004) (Perkins, Belding-Royer, & Das, 2003) (Clausen & Jacquet, 2003)

Protocolo de Enrutamiento	Ventajas	Desventajas
AODV	*No es necesario un sistema de administración central para el control del proceso de enrutamiento. *Es reactivo, tiende a reducir los mensajes de control de tráfico, para	*Posee poca información de enrutamiento *La información de la rutas está limitado a la fuente de cualquier paquete que se quiera reenviar

	disminuir la latencia en la búsqueda de rutas. *Reacciona rápidamente a cambios de topología en la red, y solo actualiza los nodos afectados por los cambios. *Ahorra espacio de almacenamiento y de energía. *Los mensajes de control HELLO, poseen un rango limitado de saltos para no causar congestión en la red	*Por ser reactivo, depende del descubrimiento constante de nuevas rutas, lo cual, si ocurre de manera descontrolada podría ocasionar gran congestión *Al poseer rutas muy largas se hacen más vulnerables y requieren de un control de mantenimiento más alto. *Es vulnerable a cualquier tipo de ataque por estar basado en la cooperación de todos los nodos. *Si no existe la cooperación entre los nodos no se puede descubrir rutas y por ende no existe el intercambio de información *No posee ningún mecanismo de seguridad.
OLSR	*No necesita de un sistema central para administrar el proceso de enrutamiento. *Suministra la información de enrutamiento a todos los nodos que participan en la red. *Actualiza en un tiempo determinado por el usuario, la información de la topología a través de toda la red, permitiendo mejorar la utilización del ancho de banda. *Sus características de mensajes de control le permiten una mayor compatibilidad con redes *ad-hoc,* que poseen cambios rápidos de rutas y de destinos *Por su simplicidad, es fácil de integrar en sistemas operativos existentes sin la necesidad de modificar la cabecera de los mensajes IP. *Es de gran utilidad en aplicaciones que no permiten retardos. *Se adapta a redes densas, en donde la mayoría de la comunicaciones se centran en un gran número de nodos *Logra reducir la cantidad de información de sobrecarga (*overhead*) al minimizar la cantidad de mensajes de control que se difunden en la MANETs.	* Como cualquier protocolo proactivo, existe una congestión de la red inherente debido a la difusión periódica de mensajes de control *Requiere de mucho tiempo para generar las tablas de rutas y de muy poco para perderlas.

Los protocolos proactivos como lo es el caso de OLSR, tienen una mayor eficiencia a la hora del enrutamiento que los protocolos reactivos, como lo es el caso de AODV, especialmente en redes con mucho tráfico. Debido a que las actualizaciones se producen de manera periódica y el descubrimiento de nuevas rutas no se producen, los protocolos proactivos requieren de un ancho de banda más grande y un mayor número de recursos que lo protocolos reactivos.

La gran ventaja de OLSR, es que conoce inmediatamente el estado del enlace y es posible extender la calidad de servicio para que los nodos puedan de antemano conocer el estado de la ruta. Esta cualidad es imposible de materializarse en AODV debido a la reactividad el protocolo. (Huhtonen, 2004)

II.12 Seguridad

Las redes inalámbricas en la actualidad son vulnerables, debido a que utilizan un medio de transmisión abierto, como lo es el canal de radio. La información que viaja a través del medio, puede ser captada y descifrada, por cualquier persona que tenga un nivel de conocimiento superior sobre dichas redes. Por lo tanto, es necesario el desarrollo de un mecanismo de seguridad que brinden los siguientes servicios que se describen en la Tabla 7.

Tabla 7 Mecanismos de Seguridad
Fuente: Elaboración Propia, referencia (Torres, 2006)

Privacidad o Confidencialidad	Se provee principalmente mediante el cifrado de los datos que no deberían poder ver atacantes intermedios
Autenticación	Consiste en verificar si la transmisión realizada por el nodo origen es fiable. Este mecanismo debe ser aplicado en distintos niveles como: autenticación mutua entre clientes y red, y entre los diferentes nodos que componen la infraestructura de la misma red: *routers*, *gateways*, servidores, etc.
Integridad	Consiste en proteger la información de todo nodo que se encuentre corrupto o puedan estar manipulados por terceras personas, donde tengan la capacidad accesar a la información y puedan ver, modificar o eliminar datos importantes de una comunicación. Ante esto, surgen alternativas de verificación de paquetes utilizando técnicas como las firmas digitales.

En la actualidad no se le ha prestado la atención suficiente a la seguridad en las Redes *Mesh* Inalámbricas (WMN), en consecuencia, no existen soluciones concretas para resolver el problema. Sin embargo, uniendo las ideas generales de servicios de seguridad y las características de las Redes *Mesh* Inalámbricas podemos identificar diversos puntos los cuales deben ser verificados para garantizar la seguridad en este medio, como se puede observar en la Tabla 8.

Tabla 8. Factores de Seguridad en WMN
Fuente: Elaboración Propia, referencia (Torres, 2006)

Servicios básicos de seguridad	Detecta puntos de acceso corruptos. Para las WMN basada en la tecnología 802.11, este problema se puede resolver aplicando método de WI-FI tradicional. Entre ellos tenemos el filtrado por MAC, las rede cerradas, los portales cautivos y cifrados en WEP y WPA.
Estrategia distribuida	Evita centralizar toda la seguridad de la red en un solo punto
Protocolo de encaminamiento seguro	La red tiene que ser robusta ante ataques de nodos maliciosos ya que el encaminamiento es una de las actividades más importantes de las redes multisalto.
Consumo de energía	Debido a la movilidad de los nodos las baterías son vitales para su funcionamiento. De tal manera que aquellos mecanismos con mucha señalización no son recomendados, ya que disminuyen el tiempo de vida de las baterías.
Seguridad entre *routers MESH*	Por ser una tecnología de vanguardia dentro de las redes inalámbricas, el funcionamiento de los *routers MESH* es distinto al de los *routers* tradicionales. Por la tanto, la seguridad 802.11 en modo ad-hoc, el cifrado AES y la seguridad a nivel de red IPsec, se presentan como alternativas para implementar como solución al problema.
Seguridad física y monitorización	Los *routers MESH* se despliegan por lo general en zonas rurales y en las calles de la cuidad. Careciendo se una seguridad física definida, es necesario reforzar los mismo con mecanismo de monitorización que permitan la actuación del operador ante el fallo del nodo.

II.13 Calidad de Servicio

"El término *Calidad de Servicio* (*Quality of Service -QoS*) (citado en el modelo OSI hace un poco más de veinte años) se refiere básicamente a la posibilidad de control y soporte de parte de los operadores, de parámetros de los servicios de comunicaciones como las tasas de transmisión (*throughput* o "ancho de banda"), retardos del tráfico,

variabilidad del retardo (*jitter*) y las tasas de pérdidas de tráfico" (Torres, 2006, p. 44)

Las Redes *MESH* Inalámbricas 802.11 basadas en IP, se ven afectadas por una serie de factores adicionales como lo son la propagación en el canal radio, la problemática de los métodos de acceso al medio, la diferenciación del tráfico a nivel de red y la modificación de protocolos de transporte.

Para garantizar la compatibilidad entre los mecanismos de calidad de servicio y las redes de dinámicas y multisalto, es necesario que los protocolos de enrutamiento realicen cálculos precisos para la selección de las rutas.

La *Internet Engineering Task Force* (IETF) ha desarrollado propuesta que han permitido clasificar el tráfico a nivel de red, para redes IP cableadas. Para ser aplicadas en redes inalámbricas multisalto es necesario validar su uso y observar el efecto que tiene sobre la variabilidad del canal. Las propuestas presentadas son las que se describen en la Tabla 9.

Tabla 9. Servicios QoS *Inteserv* y *Diffserv*
Fuente: Elaboración Propia, referencia (Torres, 2006)

Servicios Integrados (*IntServ*)	"Orientado a flujos y basados en la reserva de recursos mediante la señalización previa a una comunicación; La cuestión de diseño principal se centra en *cómo compartir la capacidad disponible en momentos de congestión* y mejorar el método de entrega con el *mejor esfuerzo* empleado originalmente para la transmisión de datos en Internet. En IntServ cada paquete IP puede asociarse a un flujo, definido como una corriente discernible de paquetes provenientes de un determinado usuario y que requieren la misma calidad de servicio. La identificación del flujo normalmente se realiza mediante las direcciones IP de origen y destino, números de puerto y tipo de protocolo." (Torres, 2006, p. 47)
Servicios Diferenciados *(Diffserv)*	"Orientado a paquetes y basados en la clasificación local en cada router intermedio de acuerdo a la información disponible en las cabeceras. IntServ tiene ciertas desventajas debido mayormente la complejidad de señalización requerida para la admisión y mantenimiento de flujos de comunicación. Esto puede traer problemas de escalabilidad en redes de grandes dimensiones. Como una alternativa a este problema el IETF propone una estrategia más distribuida para la implementación de QoS en redes IP, llamada Arquitectura de Servicios Diferenciados (DiffServ, RFC 2475). Con DiffServ se pretende obtener una herramienta simple, fácil de implementar y de bajo coste para la aplicación de estrategias de diferenciación del tráfico." (Torres, 2006, p. 49)

Capítulo III

Metodología

En el desarrollo de cualquier proyecto es fundamental seleccionar una metodología que se ajuste a las necesidades del mismo, para así obtener los resultados más adecuados que permitan alcanzar los objetivos planteados. En este Trabajo Especial Grado las fases metodológicas son las siguientes: Realizar un proceso de documentación teórico, llevar a cabo un levantamiento de información de la zona en estudio, diseñar una WMN implementando la tecnología *Mesh* que satisfaga las necesidades de la zona y evaluar las distintas tecnologías posibles para realizar un análisis de resultados. En la Figura 10 se ilustran las diferentes fases de la metodología antes indicada.

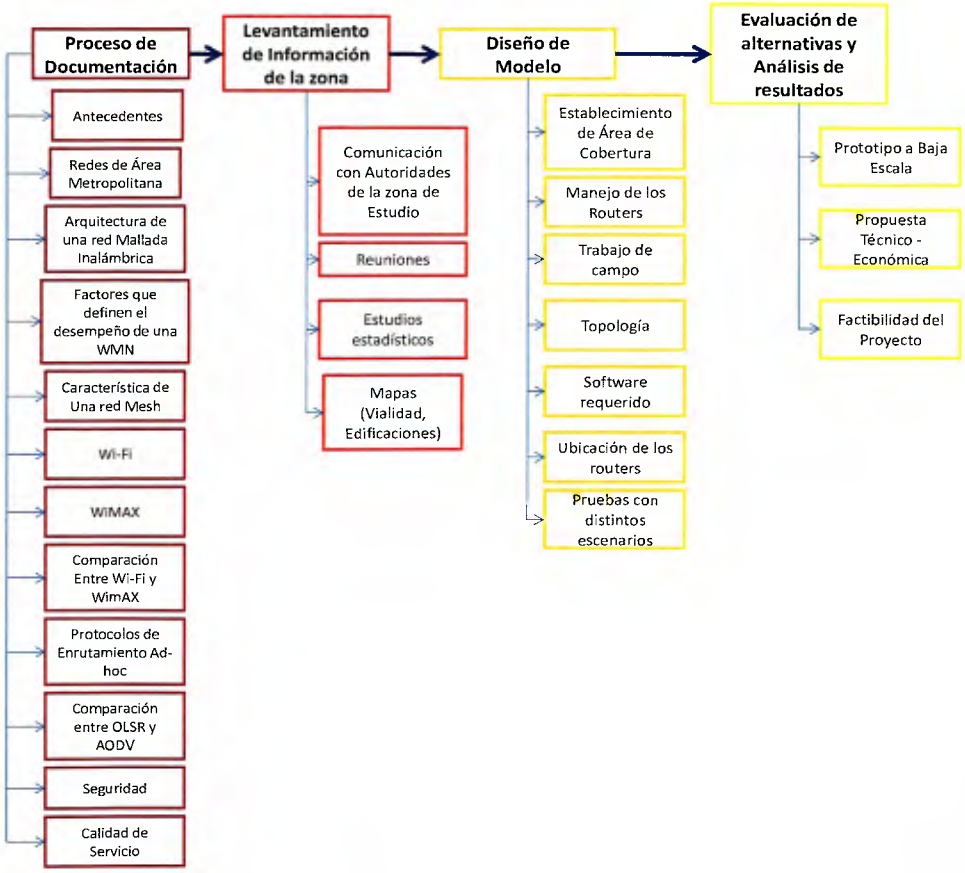

Figura 10. Esquema Metodológico
Fuente: Elaboración Propia

III.1 Proceso de Documentación

La investigación teórica se divide en dos grandes etapas basadas en un análisis bibliográfico y en instrumentos tales como entrevistas y cuestionarios. La primera etapa permite recopilar información relevante de distintos casos en estudio en el mundo, cuya características geográficas se asemejen a zonas en estudio. De la misma manera, es necesario indagar sobre las distintas tecnologías de redes inalámbricas, en la actualidad empleadas en el mercado mundial. La segunda etapa debe profundizar en los distintos aspectos técnicos de la tecnología seleccionada. En ella se debe realizar un análisis en el cual se definen los distintos protocolos de enrutamiento que sean compatibles con la tecnología en uso. Seguidamente, se realizará un estudio de los diferentes estándares que permiten el despliegue de las redes inalámbricas. Finalmente, se estudiarán las características más relevantes de la calidad de servicio y seguridad de una red inalámbrica.

III.2 Levantamiento de Información de la Zona

Al finalizar el estudio teórico, es necesario establecer una comunicación directa con las autoridades de la zona de estudio, tales como alcaldías, gobernaciones y ONG's. Para conseguir datos veraces y precisos, es necesario solicitar a las autoridades estudios estadísticos de la zona, necesidades básicas de la misma, mapas cartográficos en donde se vean especificadas la vialidad y edificaciones importantes. Se recomienda sostener reuniones periódicas con las personas responsables de ejecutar nuevos proyectos para tener un seguimiento actualizado del desarrollo. La obtención de este material va a permitir una visión más prudente y exacta sobre la infraestructura de la red que se pretende desplegar.

III.3 Diseño del Modelo

La actividad más importante en esta fase es definir el área de despliegue de la red, tomando en cuenta las edificaciones más importantes que puedan utilizar este servicio y los factores que pueden influir en el desempeño de la red. Los colegios, ambulatorios y espacios culturales existentes en el área deberían ser el eje en cual se

base la red. También es necesario utilizar programas que permitan definir una ubicación física aproximada de los nodos con los cuales se va a desplegar la red. Algunas de las herramientas más conocidas para realizar estas actividades son: *Radio Mobile*, *Google Earth* y *MapInfo,* entre otras. La ubicación de los nodos va a facilitar la escogencia de la topología a través de la cual funcionaria la red. Luego, se debe iniciar un estudio de las características, funcionamiento e instalación de los *routers* que se piensan utilizar. Por último, se deben realizar pruebas de funcionamiento en donde se tomen en consideración escenarios que se pueden presentar en una red mallada inalámbrica bajo las condiciones específicas del proyecto.

III.4 Evaluación de Alternativas y Análisis de los Resultados

Después de realizar las primeras pruebas de funcionamiento con los nodos, se debe diseñar un prototipo a baja escala que permita evaluar el desempeño de la red, los protocolos subyacentes en cuanto a calidad de servicio y la seguridad de las comunicaciones, el tráfico cursado, entre otros. Seguidamente se debe realizar una propuesta técnico-económica la cual incluya los detalles técnicos y los costos asociados a la solución propuesta para la zona en estudio. Tras evaluar el desempeño de la tecnología en la zona estudiada y comparar la propuesta diseñada con otras soluciones alternativas, se pretende determinar la viabilidad y la factibilidad del proyecto.

Capítulo IV

Desarrollo

En el presente capítulo se describen las actividades realizadas a lo largo de este Trabajo Especial de Grado a fin de cumplir con las fases metodológicas previstas.

IV.1 Proceso de Documentación

El proceso de documentación consistió en investigar inicialmente aquellos casos en estudio en los cuales se había desarrollado una red que brindara conectividad a una población a través de la tecnología *Mesh*. Dichos antecedentes presentaban una gran importancia ya que demostraban los distintos enfoques para alcanzar el mismo objetivo. De tal manera que se centró la investigación en la búsqueda y estudio de casos que presenten características similares a la zona en estudio, quedando de esta manera como referencia para este trabajo especial de grado los casos de las redes *Mesh* en Mpumalanga-Suráfrica, Dharamsala-India y Jerez-España.

Seguidamente se realizó el estudio de las redes *Mesh* en áreas metropolitanas, profundizando en las características de las mismas y en aquellos factores que influyen en su desempeño. El entendimiento teórico de la tecnología *Mesh* es vital para un diseño apropiado de una red que pretenda usar dicha tecnología, de tal manera que en esta etapa se investigó sobre los beneficios y limitaciones de esta tecnología así como también de las fortalezas de la arquitectura de una red *Mesh* en zonas sin una infraestructura desarrollada.

El estudio prosiguió analizando y comparando brevemente los estándares 802.11 y 802.16, ya que estos fueron los utilizados para desarrollar redes de alta velocidad en los casos en estudio. Se desarrolló en esta etapa los distintos estándares que conforman la tecnología de Wi-Fi y WiMAX, mencionando las características técnicas de los mismos, para así determinar cuál de ellos se adaptaría mejor al momento de realizar las pruebas con los *routers* a baja escala.

Posteriormente se realizó un estudio detallado de los protocolos de enrutamiento AODV y OLSR. La selección del protocolo va a definir en gran medida el funcionamiento adecuado, rápido y eficiente de la red diseñada. Es por ello que se le dedicó una sección extensa a los mismos en el marco teórico, donde se resalta el funcionamiento de los protocolos, los mensajes de control y una comparación entre ambos.

Finalmente, la etapa de documentación concluye haciendo énfasis en los aspectos de la seguridad en la red y las características más relevantes en calidad de servicio. Ambos factores se tomarán en cuenta en el diseño de la red.

IV.2 Levantamiento de Información

La siguiente fase del desarrollo del tema estuvo comprendida por sub fases que permitieron la recopilación de aquellos datos de campo que no fueron cubiertos en el marco teórico. Dichas sub fases son:

IV.2.1 Reuniones con la Alcaldía de Sucre

La primera reunión sostenida con la Alcaldía de Sucre se realizó en Enero del 2009 con Federico Ortega, Coordinador General de la Alcaldía de Sucre, para presentarle el proyecto y verificar el interés de dicha Alcaldía en apoyar el mismo a través de suministro de información que no está disponible para el público. Debido al compromiso asumido por ambas partes, se decidió fijar una segunda reunión donde estaría presente Ángel Alvarado, Jefe de la Oficina de Análisis Estratégico de la Alcaldía de Sucre, para profundizar en los aspectos técnicos del proyecto y comenzar a obtener la información necesaria para desarrollar el trabajo especial grado.

En la segunda reunión, se explicó el alcance del proyecto y se especificó la información que necesitaríamos de la Alcaldía. Posteriormente se fijaron reuniones de seguimiento para garantizar el cumplimiento del proyecto y se nos entregó diversos estudios estadísticos realizado por la Alcaldía así como también varios

mapas tanto en físico como digital, lo que facilitó enormemente la visualización para el diseño de la red.

Finalmente, en Diciembre del 2009 se sostuvo una reunión con el Luis Comella, Director General de la Alcaldía de Sucre, y con Gladys González, Directora de Tecnología de la Alcaldia, en la cual se detallaron las distintas etapas del proyecto y las posibles aplicaciones que podría tener la red. Se obtuvo una respuesta positiva nuevamente por parte de la Alcaldía, ratificando su compromiso con el proyecto, y se pautó el apoyo de la Policía de Sucre para el trabajo de campo.

IV.2.2 Análisis de la información obtenida por la Alcaldía

Después de las distintas reuniones sostenidas, se procedió a analizar el material que fue entregado. En primera instancia, se analizó la distribución de la población por los distintos sectores, para así escoger una posible zona para el diseño de la red. Seguidamente se tomaron en consideración la ubicación de edificaciones importantes existentes, como los son las escuelas municipales y gubernamentales, las casas culturales, ambulatorios municipales y espacios deportivos, entre otros. Luego se investigó sobre la penetración de los servicios básicos y área de cobertura de los distintos operadores de servicios móviles y de internet inalámbrico, para tener una mejor idea de la realidad que se vive en la zona y tener una perspectiva más acertada en el momento de realizar el trabajo de campo.

IV.3 Diseño del Modelo

Actualmente no existe una metodología estándar para diseñar una red con tecnología *Mesh*; sin embargo, a través de la investigación teórica pudimos encontrar diversas iniciativas interesantes en los distintos casos de estudio. (Berthilson & Escudero Pascual, 2007). La metodología planteada fue una recopilación de las distintas iniciativas y del análisis obtenido de la investigación teórica realizada. En ese sentido, el primer paso de la metodología fue considerar las condiciones del municipio Sucre para así tener una mejor idea sobre la viabilidad del proyecto. Los

puntos que se evaluaron en el primer paso fueron: la población, las condiciones climatológicas, el tipo de terreno y el acceso en las vías de transporte. Así se definió una posible zona de despliegue.

IV.3.1 Población

El Municipio Sucre tiene una población total estimada de 687.284 personas, según el Censo General de Población y Vivienda que se realizó en el año 2001. La población tiene las características económicas como se presentan en la Tabla 10. A pesar de presentarse el censo con cifras oficiales en cuanto a la cantidad de población, la antigüedad del mismo ha llevado a la Alcaldía de Sucre a realizar estimaciones sobre la población actual. Una de las estimaciones es producto de evaluar la cantidad de basura producida por sus habitantes y según ese indicador, la población aproximada para el cierre del año 2009 es de 1.600.000 habitantes.

Tabla 10. Población Municipio Sucre
Fuente: (Sucre, 2009)

Población	No pobres	Pobres	Pobres no extremos	Pobres extremos
Total	Total	Total	Total	Total
687.284 =100%	403.394 = 73,97%	141.945 = 20,65%	112.752 = 16,40%	29.193 = 4,24%

IV.3.2 Clima

Las condiciones climatológicas del municipio Sucre son aquellas que posee la ciudad de Caracas, pues forma parte de ella. "El clima de Caracas es cálido de tipo intertropical de montaña, con precipitaciones que varían entre los 900 y 1300 mm anuales, en la propia ciudad, y hasta los 2000 mm en algunas partes de la Cordillera. La temperatura media anual es de de 23,5 °C" (Wikipedia, 2009). Las condiciones del clima se tienen que tomar en cuenta ya que existen equipos que son sensibles a los cambios drásticos de temperatura. En el caso de Caracas esta condición no afecta el proyecto ya que la temperatura máxima aproximada en de 32 °C y la mínima es de 13 °C.

IV.3.3 Vías de acceso

Según Federico Ortega, Coordinador General de la Alcaldía Sucre, el acceso de las vías de transporte del municipio varía según la zona. Específicamente en la Parroquia de Petare existe el acceso a las vías de transporte. Sin embargo, se destaca que debido a que es una zona montañosa y accidentada, estas vías suelen ser muy estrechas, de tal manera que esto es un aspecto importante a tomar en consideración para las futuras aplicaciones.

IV.3.4 Posible zona de despliegue

Seguidamente se definió una posible zona de despliegue la cual estaría comprendida por las siguientes zonas del municipio: Casco Histórico, Petare Norte I-II, José Félix Ribas I-II-III-IV y Barrio Unión I-II. Dicha decisión fue tomada debido a la gran cantidad de edificaciones importantes que se encuentran en ellas. Sin embargo, está sujeta a posibles cambios según el acceso que se tengan a las mismas.

Se puede apreciar en la Figura 11 la delimitación física de la zona a través del programa *Google Earth* que sirvió para tener una perspectiva de la zona en estudio.

IV.3.5 Infraestructura Física y Técnica

El segundo paso de la metodología fue identificar la infraestructura física y técnica existente en dicha zona, específicamente el despliegue de tecnologías que se encuentran presentes, puntos de energía, existencia de torres o mástiles importantes, entre otros. En la segunda reunión sostenida con Federico Ortega, se verificó que los puntos de energía no son una limitante en la Parroquia de Petare pues los mástiles y postes de iluminación se encuentran desplegados con frecuencia a lo largo del mismo. De la misma manera, Gladys González, Directora de Tecnología de la Alcaldía, recalcó que en la Parroquia de Petare no se encuentra ningún despliegue oficial de la tecnología Wi-Fi, sin embargo nos informó que se está desarrollando un proyecto con la Compañía MovilMax para colocar un *Customer Premises Equipment* (CPE) de WiMAX en la Plaza Miranda. Dicho proyecto no presenta ningún riesgo

para el objetivo planteado en el presente Trabajo Especial de Grado, ya que ambas tecnologías son compatibles. Al CPE estar conectado a WiMAX, este puede ser la vía de acceso a internet del *gateway* de la red en diseño, de tal manera que lejos de ser un riesgo para la red se convierte en un beneficio para desempeño de la misma.

IV.3.6 Zona Definitiva de Despliegue

El tercer paso en el diseño del modelo fue definir definitivamente una zona de despliegue en la cual la ubicación de los nodos que formarían el *backbone* de la red seria una ubicación de fácil acceso y con puntos de energía existente. La posible zona de despliegue estuvo sujeta a cambios ya que se sostuvo reuniones posteriores al levantamiento de la infraestructura técnica del municipio con la Directora de Tecnología, Gladys González, la cual recomendó reducir la zona de despliegue prevista a la siguiente: Casco Histórico, Petare Norte I y José Félix Ribas I-II-III-IV. Su recomendación se basó en el fácil acceso que se tiene a la nueva zona pautada y a la concentración de escuelas municipales y estadales que se encuentran en la misma. La población está distribuida en esas zonas, según el Censo General de Población y Vivienda que se realizó en el año 200, como se describen en la Tabla 11.

Tabla 11. Población de las Zonas Definitivas de Despliegue
Fuente: (Sucre, 2009)

Parroquia	Zona	Población
Petare	Petare Norte I	10.337
Petare	José Félix Ribas I	7.459
Petare	José Félix Ribas II	10.973
Petare	José Félix Ribas III	14.061
Petare	José Félix Ribas IV	5.925

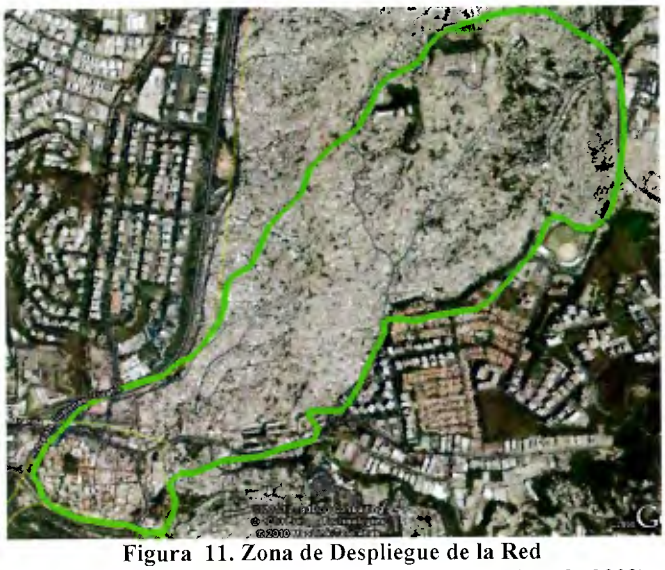

Figura 11. Zona de Despliegue de la Red
Fuente: Elaboración Propia, referencia (Google Earth, 2009)

Como ya se indicó, la zona en estudio cuenta con una gran cantidad de escuelas municipales y estadales, así como también un número significativo de ambulatorios y patrimonios culturales. De tal manera que, en principio, estas edificaciones pueden ser el punto de partida teórico para el *backbone* de la red. Las escuelas que pertenecen a la zona en estudio son las que se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Escuelas de la Zona de Despliegue
Fuente: (Sucre, 2009)

Parroquia	Zona	Lugar	Nombre	Tipo
Petare	Petare Norte I	Barrio 12 de octubre	Abajo Cadenas	Municipales
Petare	Petare Norte I	Barrio San José	Dr. Pastor Oropeza	Municipales
Petare	José Félix Ribas I	Barrio La Carlota	Escuela Municipal Coromoto	Municipales
Petare	José Félix Ribas IV	Las Vegas de Petare	Escuela Simón Bolívar	Municipales
Petare	José Félix Ribas IV	Las Vegas de Petare	Escuela Sagrado Corazón de Jesús	Municipales
Petare	Petare Norte I	Barrio El Esfuerzo	CEIE Doña Clara Mendoza D.	Estadales
Petare	Petare Norte I	Barrio San José	EBE Estado Barinas	Estadales
Petare	Petare Norte I	Barrio San José	UEE Dr. José María Núñez Ponte	Estadales
Petare	Petare Norte I	Barrio Agricultura	EBE Armando Reverón	Estadales
Petare	Petare Norte I	Barrio 1ro de Noviembre	Armando Reverón	Estadales
Petare	Petare Norte I	Barrio 24 de Julio	EBA Consuelo Navas Tovar (Adultos)	Estadales
Petare	Petare Norte I	Barrio Agricultura	Escuela Bolivariana Barrio Guaicaipuro	Estadales
Petare	José Félix Ribas I	Zona 2	CEIN Aquiles Nazoa	Estadales
Petare	José Félix Ribas I	Zona 4	CEIN Rosal Fondur	Estadales
Petare	José Félix Ribas I	Zona 2	UEN Rafael Napoleón Baute	Estadales
Petare	José Félix Ribas II	Zona 6	PEEB José Félix Ribas	Estadales
Petare	José Félix Ribas II	Zona 6	PEEB Luz de la Esperanza I	Estadales
Petare	José Félix Ribas II	Zona 6	UEN Ana Soto	Estadales
Petare	Petare V	Casco Colonial	UEP Colegio Martín Tovar y Tovar II	Privadas
Petare	Petare V	Casco Colonial	UEA Julio Garmendia	Privadas
Petare	Petare V	Casco Colonial	UEP Julio Garmendia	Privadas
Petare	Petare V	Casco Colonial	CEIP Eulalia Buroz	Privadas
Petare	Petare V	Casco Colonial	CEIP Maestro Juan de Dios Guanche	Privadas

De la misma manera, en la Tabla 13 se muestran los ambulatorios y patrimonios culturales pertenecientes a la zona en estudio.

Tabla 13. Ambulatorios y Patrimonios Culturales pertenecientes a la zona en estudio
Fuente: (Sucre, 2009)

Parroquia	Zona	Lugar	Nombre	Tipo
Petare	Petare Norte II	Barrio Bolívar	Florencia de Blanco	Ambulatorio
Petare	José Félix Ribas II	Zona 5	José Félix Ribas Zona 5	Ambulatorio
Petare	José Félix Ribas III	Zona 10	Don Pedro del Corral	Ambulatorio
Petare	José Félix Ribas IV	Las Vegas de Petare	Las Vegas	Ambulatorio
Petare	Petare V	Casco Colonial	Dr. Oscar Fiorillo	Ambulatorio
Petare	Petare V	Casco Colonial	Dulce Nombre de Jesús	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Edificio La Paz	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Casa de Luisa T. Hurtado de Ramires	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Casa parroquial	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Casa Vieja	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Casa de Leonarda de Sandoval	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Casa municipal	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Casa de los León	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Biblioteca Misia Ana de Infante	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Callejón Z	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Fundación José A. Lamas	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Casa en que vivió Jermán Ubaldo Lira	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Escuela de formación popular	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Casa de la cultura Jermán Ubaldo Lira	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Iglesia Dulce Nombre de Jesús	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Bar sorpresa	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Calle Madeleine	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Fundación Bigott	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Plaza Sagrado Corazón de Jesús	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Centro de Historia Regional de Petare	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Escuela de teatro Porfirio Rodríguez	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Fundación José A. Lamas	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Oficina técnica de patrimonio	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Teatro César Rengifo	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Museo de arte popular Bárbaro Rivas	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Antonio José de Sucre	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Francisco de Miranda	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Coral Aleluya	Patrimonio Cultural
Petare	Petare V	Casco Colonial	Casa del Dr. Bolet	Patrimonio Cultural
Petare	José Félix Ribas III	Zona 9	Fundación Calidad e Imagen	Patrimonio Cultural

IV.3.7 Manejo de *Routers*

El cuarto paso en la metodología utilizada para diseñar la red, fue la familiarización con los *routers* a través de los cuales se realizaron las pruebas con el prototipo de baja escala. Para el diseño de una red mallada de área metropolitana existe una amplia gama de proveedores de dispositivos que pueden realizar satisfactoriamente

el trabajo. En el caso de este Trabajo Especial de Grado y a través de la Universidad Católica Andrés Bello, se adquirieron cuatro nodos marca *SAXNET* modelos *MeshNode II* (*ver* Figura 12). Los cuatro nodos poseen dos interfaces inalámbricas (WLAN1 Y WLAN2), cada una con un par de antenas para aplicar la técnica de diversidad en radiofrecuencia. La alimentación de los nodos se realiza mediante *Power Over Ethernet* (POE); poseen un puerto Ethernet y un transformador de 110V.

Figura 12 *MeshNode* II de Saxnet
Fuente: (Saxnet, 2009)

Los nodos *MeshNode* II poseen diversas características técnicas que se pueden apreciar en la Tabla 14 y en la

Tabla 15. De la misma manera, la fácil manipulación que tienen los nodos permite las modificaciones de diferentes parámetros en la interfaces disponibles.

Tabla 14. Características *MeshNode* II
Fuente: Elaboración Propia, referencia (Saxnet, 2009)

Características del MeshNode II	
WLAN	Hasta 2 módulos
Capacidad de Transmisión	100 mW or 400 mW
Temperatura de operación	Desde -20°C a 50°C
Estándar	802.11 a/b/g, depende de los módulos
Ethernet	1 or 2; 10 / 100 MBit
Memoria RAM	128 MB
Memoria CF	Puede ser 512 MB / 1 GB / 4 GB

Tabla 15. Detalles del *MeshNode* II
Fuente: Elaboración Propia, referencia (Saxnet, 2009)

Detalles del meshnode II	
Sistema Operativo	Debian GNU Linux 2.6er Kernel
Procesador	AMD Geode LX x86
Field work	IP67
WLAN Estándares	802.11 a/b/c/g/i/f
Seguridad	WPA2 (AES), WEP 64/128/156, 802.1x, Firewall, MAC Filter, HTTPS, Port Forward
Administración	Web GUI, root access over SSH2, SNMP V3 (read), Network Management System
Servicios	PPPoE (DSL & 3G) , DHCP server, SSH, HTTP, DynDNS
Herramientas GUI	ARP Ping, IPerf, Netstat, Port Scan, Ping, Route, WLAN Scanner, Traceroute
Modos de Operación	Meshing Layer 2, Bridging, Adhoc, Accesspoint, Client
Temperatura	Desde -20°C a 50°C
Humedad	99% (excluyendo la fuente de poder)
Protección	El nodo esta cubierto con una carcasa de plástico con fibra de vidrio
Fuente de Poder	8-18V directo
Interfaz	LAN
Certificado	CE, FCC, EN 301489-17, EN 60950-1:2006, ISO 9001:2000
Garantía	2 años
Conectores de Antena	N tipo hembra
Dimensiones	Alto x ancho x profundidad: 215 x 280 x 58 mm (8.2 x 11 x 2.2 pulgadas)
Peso	2 kg
Opcional	Rango de frecuencia desde 700 MHz a 6 GHz, software personalizado, MultiSSID, VLAN, QoS

Existe una diferencia entre uno de los nodo y los otros tres que se adquirieron para el montaje del prototipo. Uno de ellos posee una interfaz UMTS, como se observa en la Figura 13. Se considera UMTS de gran importancia para la configuración de *gateways* en la red ya que la zona de estudio no posee una penetración adecuada de los operadores tradicionales y ésta se puede utilizar como alternativa para la salida a Internet de la red.

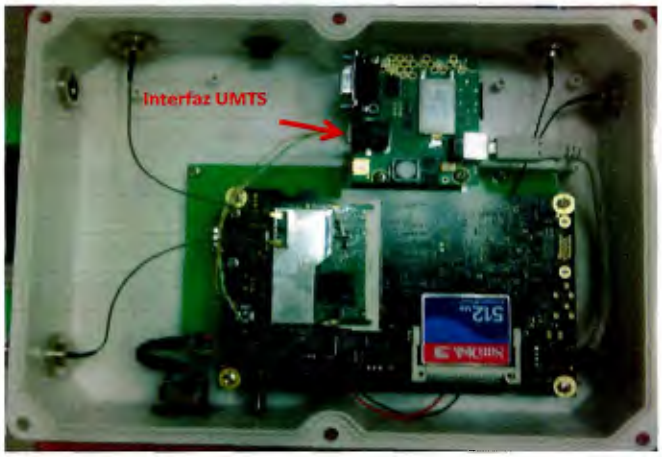

Figura 13. Nodo con Interfaz UMTS
Fuente: Elaboración Propia

IV.3.7.1 Configuración de los Routers

Para el manejo de los nodos se requirió una configuración de todas sus interfaces, para así lograr que se comunicaran entre ellos. Esta configuración se realizó a través de una computadora con sistema operativo Linux y de una interfaz gráfica que proporcionan los dispositivos en uso. Por defecto, los nodos poseen una dirección IP de la familia 192.168.0.1. (*Ver* Figura 14). Al ser conectados por primera vez vía un puerto *Ethernet,* fue necesario la asignación de una dirección IP de la misma familia. Luego se configuró las claves de acceso mediante la interfaz gráfica y mediante SSH (*Secure Shell),* (*ver* Figura 15). "SSH es un protocolo que facilita las comunicaciones seguras entre dos sistemas usando una arquitectura cliente/servidor y que permite a los usuarios conectarse a un host remotamente. A diferencia de otros protocolos de comunicación remota, tales como FTP o Telnet, SSH encripta la sesión de conexión, haciendo imposible que alguien pueda obtener contraseñas no encriptadas" (Massachusetts Institute of Technology, 2005, p. Capitulo 20)

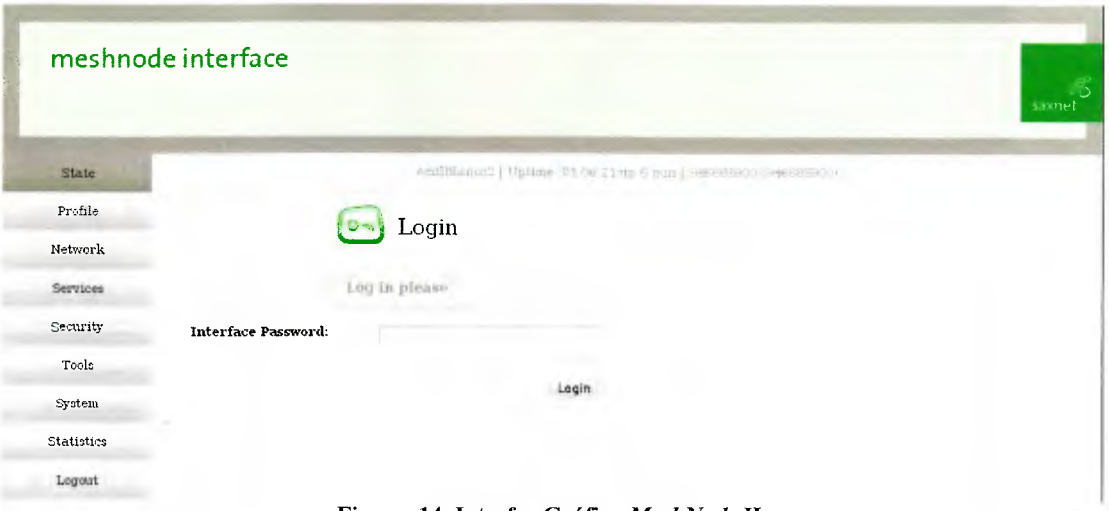

Figura 14. Interfaz Gráfica *MeshNode* II
Fuente: (Saxnet, 2009)

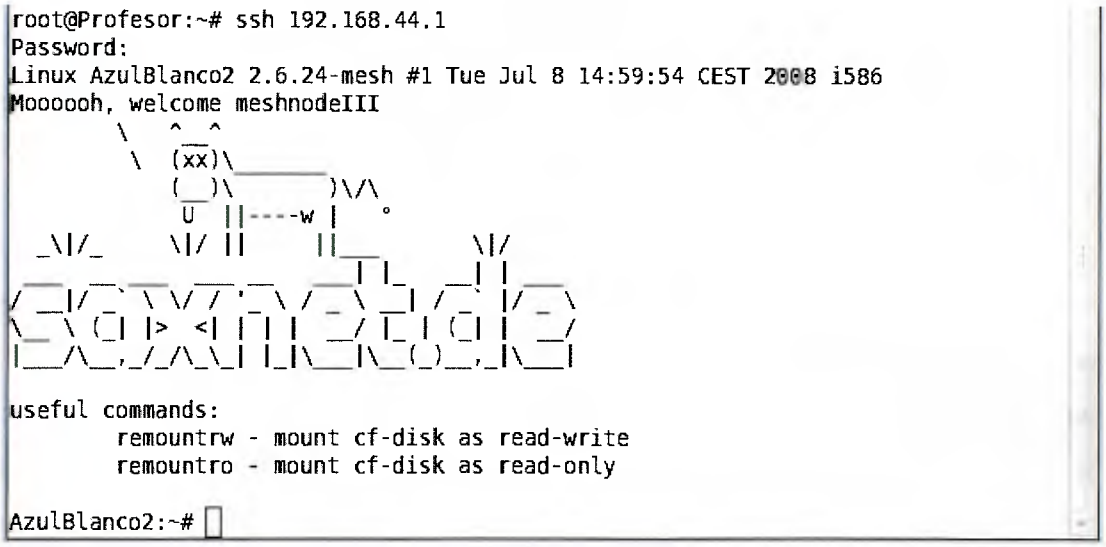

Figura 15. Acceso al *MeshNode* II vía SSH
Fuente: (Saxnet, 2009)

Luego de la configuración de las claves de acceso, se inició la configuración a cada una de las interfaces WLAN1, WLAN2 y Ethernet, como se muestra en la Figura 16 y en la Figura 17. A cada una de éstas se le asignó un nombre (*ESSID – Extended Service Set IDentifier*), dirección IP, máscara, modo de funcionamiento, ya sea *Access Point* o modo *Ad-hoc*, tipo de estándar 802.11a/b/g, canal en donde va a transmitir, potencia de transmisión, diversidad de las antenas, entre muchos otras características.

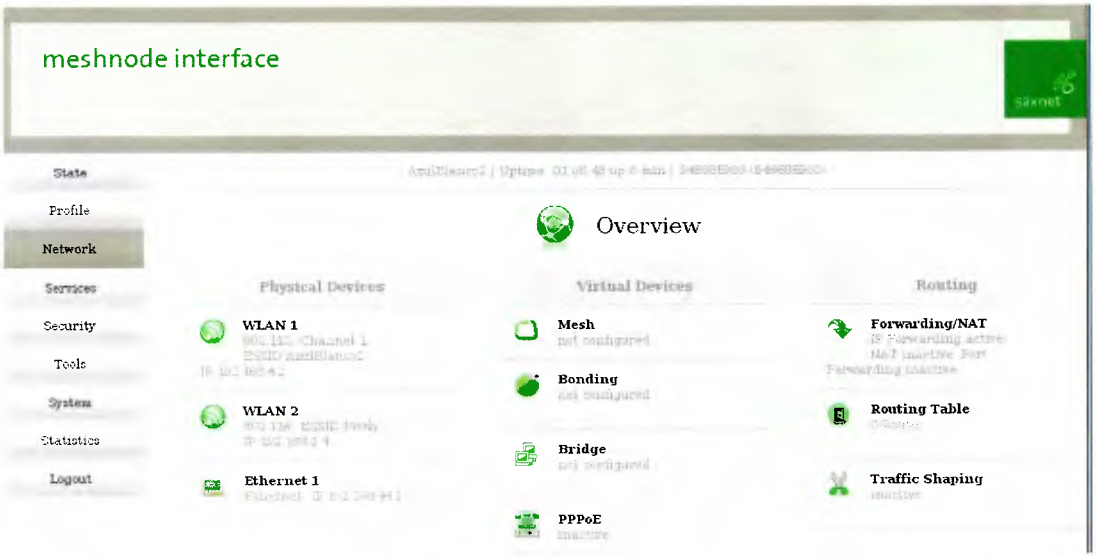

Figura 16. Menú Interfaz Grafica
Fuente: (Saxnet, 2009)

Figura 17. Configuración WLAN 1
Fuente: (Saxnet, 2009)

En la Figura 18, se muestra el nombre, la configuración de las direcciones IP de las tres interfaces que posee cada nodo, y el *Gateway* a internet.

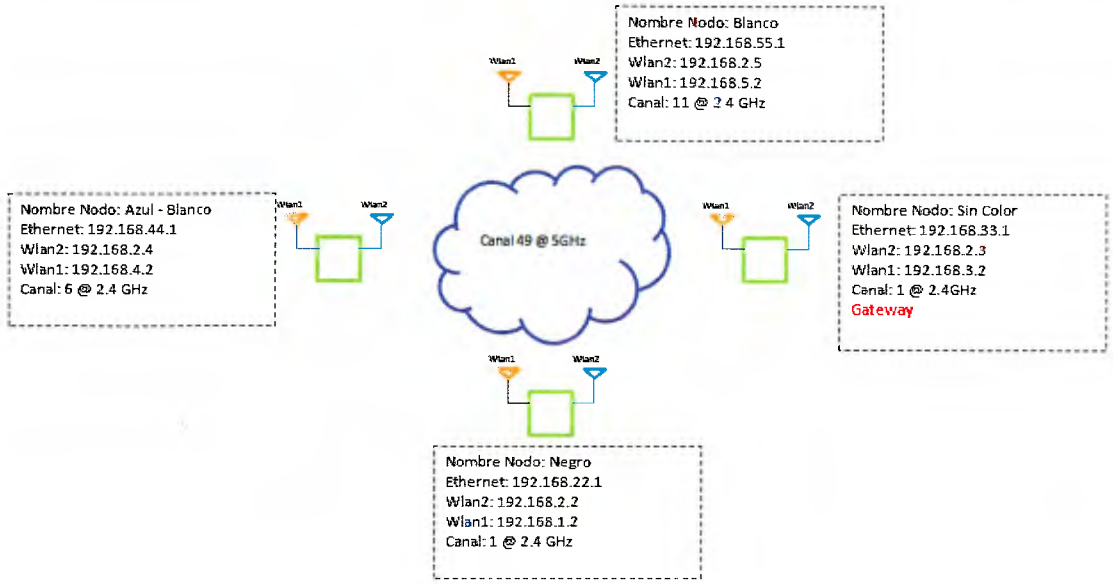

Figura 18. Esquema de Configuración de los Nodos
Fuente: Elaboración Propia

IV.3.7.2 Configuración OLSR

El protocolo de enrutamiento OLSR, para ser configurado, se requirió acceder al nodo vía SSH. Ya dentro del nodo se modificó un archivo, mediante el uso de la herramienta de edición de texto de Linux llamada *nano*, el cual se ubicaba en */etc/olsrd/olsrd.conf.* En dicho archivo se debe especificar la interfaz por la cual se van a transmitir lo paquetes de control y también se deben modificar en el campo HNA4, en donde se especifican las redes que el nodo quiere o debe reportar y a su vez determinar si el nodo va a funcionar como *gateway* de la red. Este procedimiento se realizó en todos los nodos tomando en consideración las redes que cada uno debe reportar como lo son WLAN1y WLAN 2 como se especifican en la Figura 18. Para inicializar estos cambios fue necesario el reinicio del protocolo de enrutamiento a través del comando */etc/init.d/olsrd restart.*

Unas de las herramientas más utilizadas que verifica que la comunicación entre dos o más nodos se esté realizando de forma correcta, dentro del protocolo de enrutamiento, es el comando *PING.* Este comando realiza el envío de una serie de paquetes con un tamaño especificado al nodo destino esperando recibir un ACK (*acknowlegde*), con el TTL (*Time To Live*) y el tiempo en que el paquete es enviado

desde origen y regresa al mismo (RTT: *Round Trip Time*), como se observa en la Figura 19.

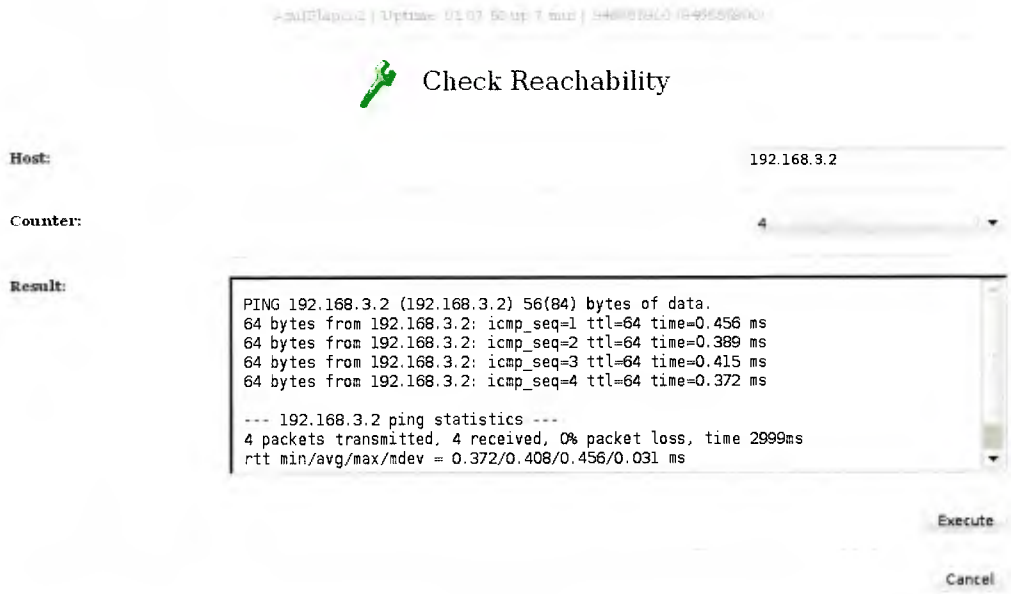

Figura 19. Comando Ping
Fuente: (Saxnet, 2009)

Una vez que OLSR se encuentre activo, una de las maneras para verificar que todos los nodos de la red estén reportando sus rutas, es acceder por separado a cada uno de ellos y ejecutar el comando *route –n*, el cual informa de todas la rutas que ese instante está viendo dicho nodo, es decir, todas las rutas que estén reportando los demás nodos. (*Ver* Figura 20)

```
AzulBlanco2:~# route -n
Kernel IP routing table
Destination     Gateway         Genmask         Flags Metric Ref    Use Iface
192.168.2.3     0.0.0.0         255.255.255.255 UH    2      0        0 ath0
192.168.2.2     0.0.0.0         255.255.255.255 UH    2      0        0 ath0
192.168.2.5     0.0.0.0         255.255.255.255 UH    2      0        0 ath0
192.168.55.0    192.168.2.5     255.255.255.0   UG    2      0        0 ath0
192.168.5.0     192.168.2.5     255.255.255.0   UG    2      0        0 ath0
192.168.4.0     0.0.0.0         255.255.255.0   U     0      0        0 ath1
192.168.3.0     192.168.2.3     255.255.255.0   UG    2      0        0 ath0
192.168.2.0     0.0.0.0         255.255.255.0   U     0      0        0 ath0
192.168.1.0     192.168.2.2     255.255.255.0   UG    2      0        0 ath0
192.168.33.0    192.168.2.3     255.255.255.0   UG    2      0        0 ath0
192.168.44.0    0.0.0.0         255.255.255.0   U     0      0        0 eth0
192.168.11.0    192.168.2.2     255.255.255.0   UG    2      0        0 ath0
0.0.0.0         192.168.2.3     0.0.0.0         UG    2      0        0 ath0
AzulBlanco2:~#
```

Figura 20 Comando *Route –n*
Fuente: (Saxnet, 2009)

IV.3.7.3 Configuración Nodo Gateway y UMTS

El nodo SinColor, como se muestra en la Figura 18, es el que será configurado como *gateway*, ya que posee una interfaz UMTS. A diferencia de los otros nodos, es importante la configuración de éste como *gateway*, ya que se deben programar algunos parámetros diferentes. Por ejemplo, en el archivo de reporte de redes, es necesario agregar la dirección IP 0.0.0.0, debido a que de esta manera los otros nodos sabrán que él es la salida a Internet. A su vez, fue necesario la activación del - Traducción de Dirección de Red (*Network Address Translation - NAT*), para lograr la navegación en Internet. Por último, fue necesario modificar en los otros nodos el archivo llamado */etc/resolv.conf,* en los cuales se asignó las direcciones IP de los servidores de nombres (DNS) que proveen el servicio a internet.

En el caso de UMTS, el nodo SinColor, fue necesario la configuración de varios parámetros tales como el *Access Point Name* (APN), el cual es el nombre del proveedor del servicio de datos a través de la red telefónica (*ver* Figura 21). A su vez, se requirió la activación del Protocolo Punto a Punto sobre Ethernet *(Point-to-Point Protocol over Ethernet - PPPoE*), tanto en la interfaz UMTS y como en el NAT. Una vez configurados estos parámetros, fue necesario la verificación de la conexión a través de una *laptop* conectada a la interfaz WLAN1, verificando el funcionamiento del Protocolo Configuración Dinámica de Servidor *(Dynamic Host Configuration Protocol - DHCP)* y realizar un PING a cualquier dirección de Internet.

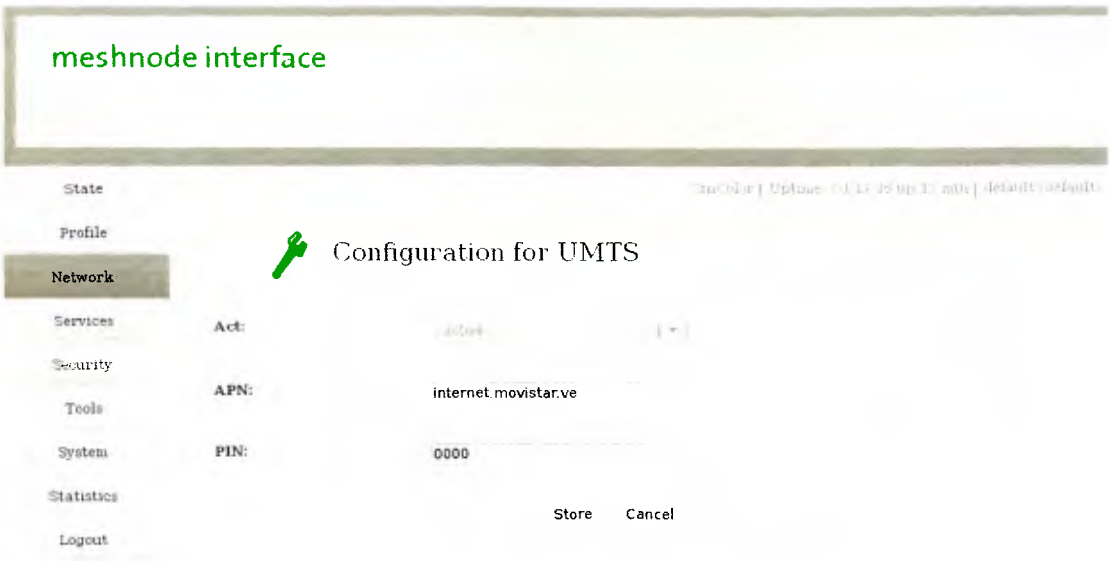

Figura 21. Configuración UMTS
Fuente: (Saxnet, 2009)

IV.3.8 Trabajo de Campo

Seguidamente, ya teniendo la zona definida y el conocimiento del manejo de los *routers*, se procedió a realizar la primera etapa del trabajo de campo, la cual consistió en visitar la zona en estudio para fijar a través de un GPS la posible ubicación de los nodos en el *backbone*. Para dicha visita se contó con la colaboración de la Policía de Sucre, específicamente del Inspector Jefe Freddy Arboleda y el Sub Inspector Douglas Fajardo, quienes nos acompañaron en su Unidad Móvil 4-304 a transitar por la zona. Se realizaron dos visitas que nos permitieron tomar la información necesaria para la ubicación de los nodos. La información que se recolectó a través de un cuestionario y el uso del GPS, fue la siguiente: coordenadas de cada uno de los puntos, fotos del lugar, altitud, nombre de la localidad y la existencia de computadoras en el mismo. Por motivos de seguridad y del difícil acceso a varias escuelas municipales y estadales, no se pudo visitar físicamente la totalidad de ellas. Sin embargo, a continuación se presenta los puntos tomados, como se pueden observar en la Tabla 16.

Tabla 16. Información obtenida en el Trabajo de Campo
Fuente: Elaboración Propia

Localidad	(S1) UE Jesús Arocha	Localidad	(S2) Dulce Nombre de Jesús
Coordenada	10°28'38.57"N 66°48'23.27"W	Coordenada	10°28'37.80"N 66°48'34.20"W
Altitud	768 Metros	Altitud	784 Metros
Foto	1-2	Foto	3-4
Acceso a Computadoras	N/A	Acceso a Computadoras	N/A
Localidad	(S3) Plaza Simón Bolívar	Localidad	(S4) Callejón Barrio Agricultura
Coordenada	10°28'38.30"N 66°48'31.70"W	Coordenada	10°28'44.00"N 66°48'22.20"W
Altitud	793 Metros	Altitud	811 Metros
Foto	5-6	Foto	N/A
Acceso a Computadoras	N/A	Acceso a Computadoras	N/A
Localidad	(S5) Terminal El Esfuerzo	Localidad	(S6) Ambulatorio 12 de Oct.
Coordenada	10°28'49.20"N 66°48'18.3"W	Coordenada	10°29'5.70"N 66°48'9.20"W
Altitud	821 Metros	Altitud	832 Metros
Foto	7	Foto	8-9
Acceso a Computadoras	N/A	Acceso a Computadoras	N/A
Localidad	(S7) UE Abajo Cadenas	Localidad	(S8) Casa Niños Luisa C.Arismendi
Coordenada	10°29'3.10"N 66°48'8.00"W	Coordenada	10°29'22.60"N 66°48'9.30"W
Altitud	848 Metros	Altitud	856 Metros
Foto	10-11	Foto	12
Acceso a Computadoras	Si. Poseen 10 Computadoras	Acceso a Computadoras	N/A
Localidad	(S9) UE Consuelo Navas Tovar	Localidad	(S10) Biblioteca La Urbina
Coordenada	10°29'25.20"N 66°48'10.10"W	Coordenada	10°29'30.77"N 66°48'4.73"W
Altitud	860 Metros	Altitud	879 Metros
Foto	13	Foto	14
Acceso a Computadoras	Si. Poseen 20 Computadoras	Acceso a Computadoras	N/A
Localidad	(S11) UE José Manuel Núñez	Localidad	(S12) Escuela Manuel Aguirre
Coordenada	10°29'30.70"N 66°48'2.40"W	Coordenada	10°29'32.90"N 66°47'33.40"W
Altitud	890 Metros	Altitud	968 Metros
Foto	16-17	Foto	18
Acceso a Computadoras	Si. Poseen 15 Computadoras	Acceso a Computadoras	Si. Posee 15 Computadoras
Localidad	(S13) Ambulatorio Popular	Localidad	(S14) Casa la Cultura
Coordenada	10°29'31.30"N 66°47'49.00"W	Coordenada	10°29'17.50"N 66°47'53.00"W
Altitud	927 Metros	Altitud	896 Metros
Foto	19-20	Foto	21-22
Acceso a Computadoras	N/A	Acceso a Computadoras	N/A
Localidad	(S15) Escuela M.Coromoto	Localidad	(S16) UE Rafael Napoleón Baute
Coordenada	10°28'58.70"N 66°47'49.40"W	Coordenada	10°28'52.10"N 66°47'51.10"W
Altitud	868 Metros	Altitud	863 Metros
Foto	23-24-25	Foto	26
Acceso a Computadoras	Si. Poseen 12 Computadoras	Acceso a Computadoras	Si. Posee 20 Computadoras
Localidad	(S17) UE Simón Bolívar		
Coordenada	10°28'40.80"N 66°48'1.60"W		
Altitud	854 Metros		
Foto	27-28		
Acceso a Computadoras	N/A		

Las fotos de los respectivos puntos visitados se puede observar en el Fotos de los puntos visitados en el Trabajo de campo. En esta etapa se utilizaron dos herramientas que permitieron visualizar la posible ubicación de los nodos y la línea de vista que tenia cada uno de ellos. A través del programa *Google Earth* se puede observar en la Figura 22 la posible ubicación de los nodos.

Figura 22. Posible Ubicación de los Nodos
Fuente: Elaboración Propia, referencia (Google Earth, 2009)

Una vez ubicados geográficamente los nodos con sus respectivas coordenadas, se procedió a ubicar los mismos en la herramienta de *Radio Mobile,* lo cual permitió verificar las respectivas líneas de vista que posee cada nodo. Las líneas de color verde en la Figura 23, muestran la existencia de una línea de vista continua entre dos puntos y sin perdidas mayores a 3 dB, debido a que no se presenta ningún tipo de obstáculo en su trayectoria. La configuración de los parámetros técnicos de cada unos de los nodos que conforman el *backbone* de la red, va a influir directamente en

el desempeño que tendrán los mismos. Dicha configuración se puede observar la Tabla 17.

Tabla 17. Configuración de Parámetros del *backbone* en *Radio Mobile*
Fuente: elaboración Propia, referencia(Radio Mobile 8.9.9, 2007)

Parámetros de Configuración	
Frecuencia Min (MHz)	2400
Frecuencia Max (MHz)	2490
Polarización	vertical
Perdida por espacio Libre (%)	40
Clima	Marítimo Subtropical
Potencia de Transmisión (dBm)	18
Sensibilidad Receptor (dBm)	-107
Tipo de Antena (en Mesh)	Omnidireccional
Ganancia Antena (dBi)	8
Altura Antena sobre superficie (m)	10

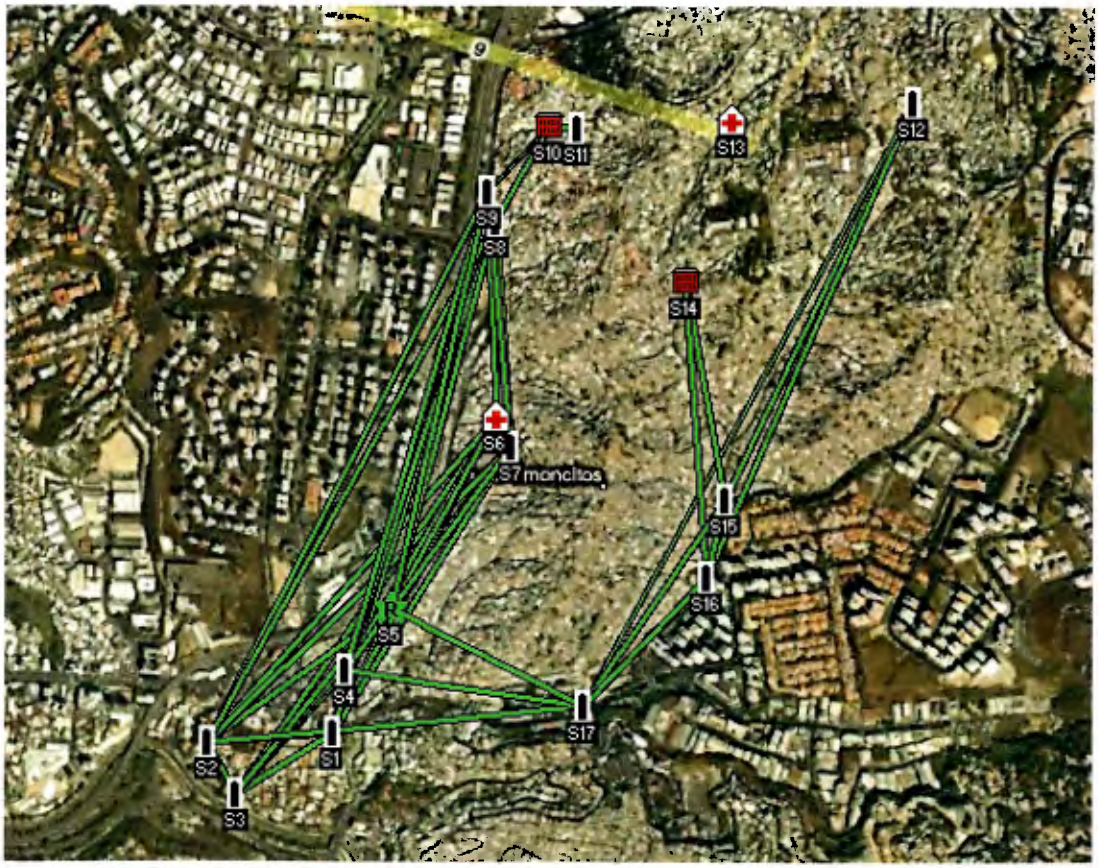

Figura 23. Línea de Vista de los nodos
Fuente: Elaboración Propia, referencia (Radio Mobile 8.9.9, 2007)

IV.3.8.1 *Backbone* Modo *Ad-hoc*

La configuración de los nodos del *backbone* de la red se realizó en modo *Ad-hoc* ya que de esta manera se le brinda más dinamismo a la red, sin la necesidad de tener una infraestructura rígida. El modo *Ad-hoc* permite a los usuarios formar espontáneamente una red inalámbrica de área local (WLAN) en aquellos lugares donde no se encuentren puntos de acceso para proveer conectividad. De la misma, manera este modo es útil para los organismos de seguridad ciudadana ya que al ocurrir una eventualidad, se requieren repuestas rápidas y efectivas, de los cuales carecen por lo general las redes cableadas en lugares de difícil acceso.

Las redes *Mesh* en modo *Ad-hoc* aumentan la autonomía de la red y permiten la existencia de nuevas rutas entre nodos. Se caracterizan a su vez por su fácil y rápida instalación, a diferencia de las redes inalámbricas en modo infraestructura. De la misma manera se presenta como una alternativa interesante por sus bajos costos, al no tener la necesidad de instalar una gran cantidad de puntos de acceso. (Hekmat, 2006)

Debido a que no se presenta una distribución homogénea del ancho de banda de una red en modo *Ad-hoc,* el acceso a aplicaciones tales como Internet puede verse comprometido cuando existe una gran cantidad de usuarios en este modo. La administración de la red en modo *Ad-hoc* se presenta como una tarea compleja debido a la inexistencia de un dispositivo central que controle la misma, sin embargo, se deben realizar unas configuraciones previas al despliegue para evitar la duplicación de direcciones IP y mejorar el rendimiento de la red. (*Ver* Figura 2)

IV.4 Diseño de prototipo para pruebas

Luego de tener un mayor conocimiento del funcionamiento de los *routers* se procedió a realizar las pruebas necesarias para definir el prototipo a baja escala. Las pruebas consistieron en verificar el alcance teórico de los *routers*, su desempeño en las bandas no licenciadas de 2.4 GHz y 5 GHz, el ancho de banda máximo según la

cantidad de saltos que realiza el paquete para llegar a su destino y el comportamiento de la red con la QoS activado.

IV.4.1 Alcance de la interfaz inalámbrica (WLAN)

El primer escenario para comprobar el alcance de la interfaz inalámbrica WLAN2, la cual permite la comunicación entre los nodos *Mesh*, se realizó en la Universidad Católica Andrés Bello, específicamente en el Edificio de Módulos, en el piso tres. La prueba consistió en el despliegue de dos nodos a lo largo del pasillo para observar su alcance práctico máximo e identificar la distancia crítica a la cual se comenzaba a tener una pérdida de paquetes considerables. Este primer escenario se desarrolló tanto en la banda de 5 GHz en el canal 36 (Centrado en 5.18 GHz) como en la banda de 2.4 GHz en el canal 1 (Centrado en 2.412 Ghz). Se tomó como distancia crítica aquella en donde se genera una pérdida de paquetes superior al 10% del total de los paquetes enviados.

Para ello se ubicó una *laptop* en el inicio del pasillo de Modulo 1 y se conectó vía *Ethernet* al nodo A. Dicho nodo se configuró como *Gateway* y el objetivo del resto de los nodos, en todos los escenarios, era conectarse al *Gateway* siempre y cuando la distancia lo permitiese. La *laptop* realizó *PING* a través de la interfaz gráfica del nodo A, a la interfaz WLAN2 del nodo B, el cual se encontraba en continuo movimiento a lo largo del pasillo anteriormente mencionado (Figura 24). Finalmente se obtuvo una distancia crítica de aproximadamente 190 metros en la banda de 5GHz y de 470 metros en la banda de 2.4 GHz.

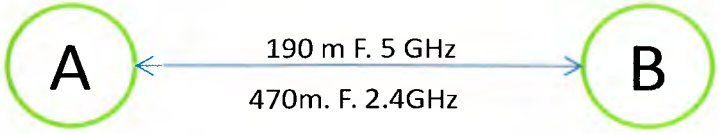

Figura 24. Distancia Crítica entre dos Nodos
Fuente: Elaboración Propia

Conociendo la distancia crítica del alcance de los nodos, se prosiguió a desarrollar un segundo escenario, el cual busca verificar el funcionamiento del protocolo de

enrutamiento OLSR. Para ello se encendió un nodo C, el cual realizó el mismo desplazamiento que el nodo B. (*Ver* Figura 25)

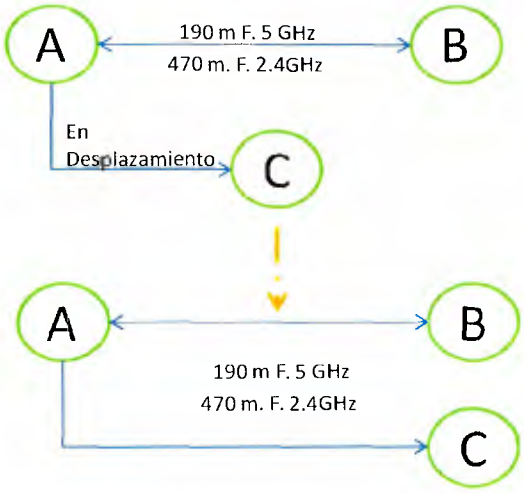

Figura 25. Nodo en Desplazamiento
Fuente: Elaboración Propia

Al sobrepasar la distancia crítica y perder la conectividad con el nodo A, el cual es el *Gateway* de la red y por tal motivo debe existir una conexión permanente entre él y lo demás nodos, se observó el funcionamiento del protocolo OLSR, ya que éste permitió la conexión del nodoC-nodoA mediante el nodo B. (*Ver* Figura 26).

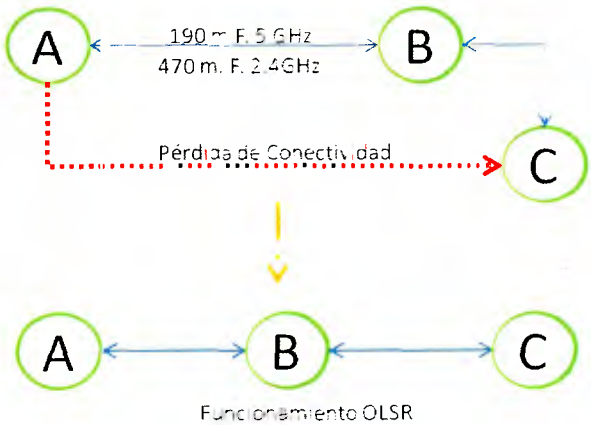

Figura 26. Pérdida de Conectividad y Selección de Nueva Ruta
Fuente: Elaboración Propia

IV.4.2 Pruebas de Ancho de Banda

Las pruebas para comprobar el Ancho de Banda se realizaron en el Laboratorio de Telemática de la Universidad Católica Andrés Bello. Las mismas consistieron en enviar un flujo de datos apoyándose en el comando *Iperf* para así observar el comportamiento del ancho de banda según los distintos escenarios desarrollados.

El primer escenario consistió en conectar dos *laptops* a un mismo nodo A. (*Ver* Figura 27). El comando *Iperf* es un generador de trafico que permite evaluar la capacidad de canales TCP/IP en el cual una de las *laptops* es configurada como servidor y la otra como cliente. Habiendo definido un intervalo de tiempo de 60 segundos para el envío de paquetes, con intervalos de reporte cada 5 segundos, se prosiguió a ejecutar el comando. Los resultados arrojados se pueden observar en la Figura 28, que demuestran una tasa de *bits* promedio 9,70 Mbps utilizando el canal 11 como punto de acceso (AP) de la banda de frecuencia de 2.4 GHz y representa la capacidad de enrutamiento de un *router Mesh* en un escenario aislado.

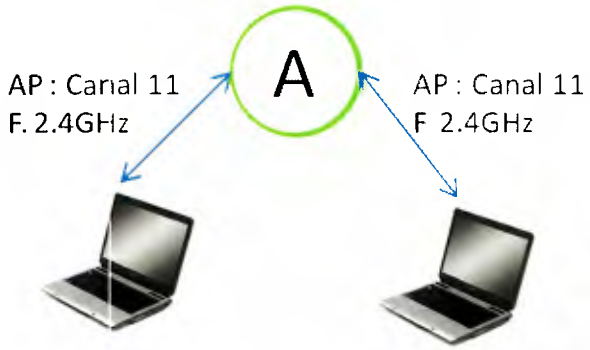

Figura 27. Conexión un solo Nodo
Fuente: Elaboración Propia

```
C:\>iperf -s -p 5060 -i 5 -f m
------------------------------------------------------------
Server listening on TCP port 5060
TCP window size: 0.01 MByte (default)
------------------------------------------------------------
OpenSCManager failed - Access is denied. (0x5)
[136] local 192.168.3.5 port 5060 connected with 192.168.3.6 port 49160
[ ID] Interval       Transfer     Bandwidth
[136]  0.0- 5.0 sec  4.86 MBytes  8.15 Mbits/sec
[136]  5.0-10.0 sec  5.93 MBytes  9.95 Mbits/sec
[136] 10.0-15.0 sec  5.82 MBytes  9.76 Mbits/sec
[136] 15.0-20.0 sec  6.05 MBytes  10.1 Mbits/sec
[136] 20.0-25.0 sec  5.46 MBytes  9.16 Mbits/sec
[136] 25.0-30.0 sec  5.80 MBytes  9.73 Mbits/sec
[136] 30.0-35.0 sec  6.54 MBytes  11.0 Mbits/sec
[136] 35.0-40.0 sec  6.24 MBytes  10.5 Mbits/sec
[136] 40.0-45.0 sec  6.02 MBytes  10.1 Mbits/sec
[136] 45.0-50.0 sec  4.72 MBytes  7.92 Mbits/sec
[136] 50.0-55.0 sec  5.80 MBytes  9.74 Mbits/sec
[136] 55.0-60.0 sec  6.15 MBytes  10.3 Mbits/sec
[136]  0.0-60.0 sec  69.4 MBytes  9.70 Mbits/sec
```

Figura 28. Resultado *Iperf* un solo Nodo
Fuente: Elaboración Propia

El segundo escenario consistió en conectar dos *laptops* mediante el uso de dos nodos enrutadores a través del canal 1 en la banda de 2.4 GHz (*backbone*), para la transferencia de paquetes que realizan un salto entre los nodos. (*Ver* Figura 29). Dicha prueba fue necesaria para corroborar la reducción del ancho banda que mostraba la investigación teórica. Los resultados arrojados se pueden observar en la Figura 30, obteniendo un reducción del 40% en el ancho de banda promedio, a una tasa transmision disponible de 5.86 Mbps.

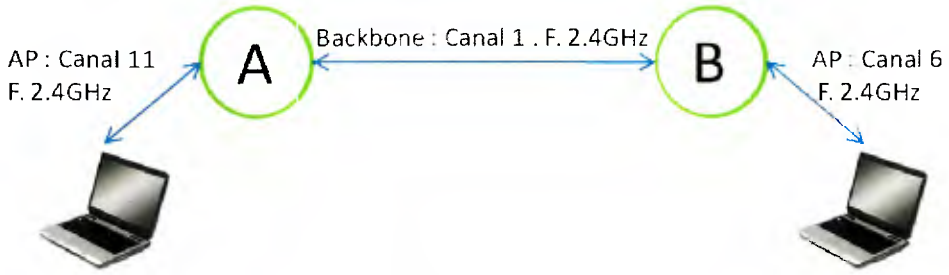

Figura 29. Conexión Dos Nodos
Fuente: Elaboración Propia

```
C:\>iperf -s -p 5060 -i 5 -f m
------------------------------------------------------------
Server listening on TCP port 5060
TCP window size: 0.01 MByte (default)
------------------------------------------------------------
OpenSCManager failed - Access is denied. (0x5)
[136] local 192.168.3.5 port 5060 connected with 192.168.5.8 port 49166
[ ID] Interval       Transfer     Bandwidth
[136]  0.0- 5.0 sec  3.91 MBytes  6.57 Mbits/sec
[136]  5.0-10.0 sec  2.09 MBytes  3.50 Mbits/sec
[136] 10.0-15.0 sec  2.88 MBytes  4.84 Mbits/sec
[136] 15.0-20.0 sec  3.72 MBytes  6.24 Mbits/sec
[136] 20.0-25.0 sec  3.74 MBytes  6.28 Mbits/sec
[136] 25.0-30.0 sec  3.45 MBytes  5.78 Mbits/sec
[136] 30.0-35.0 sec  3.83 MBytes  6.42 Mbits/sec
[136] 35.0-40.0 sec  3.55 MBytes  5.95 Mbits/sec
[136] 40.0-45.0 sec  3.80 MBytes  6.38 Mbits/sec
[136] 45.0-50.0 sec  3.59 MBytes  6.03 Mbits/sec
[136] 50.0-55.0 sec  3.70 MBytes  6.21 Mbits/sec
[136] 55.0-60.0 sec  3.66 MBytes  6.13 Mbits/sec
[136]  0.0-60.0 sec  41.9 MBytes  5.86 Mbits/sec
```

Figura 30. Resultado *Iperf* Dos Nodos
Fuente: Elaboración Propia

Por último, se realizó el tercer escenario que consistió en conectar dos *laptops* mediante el uso de tres nodos para la transferencia de paquetes realizando dos saltos entre los nodos. (*Ver* Figura 31). De la misma manera, se espera verificar la reducción en el ancho de banda. Los resultados arrojados se pueden observar en la Figura 32, donde se verifica la reducción en un 26% del ancho de banda, a un tasa promedio de transmisión de 4.38 Mbps.

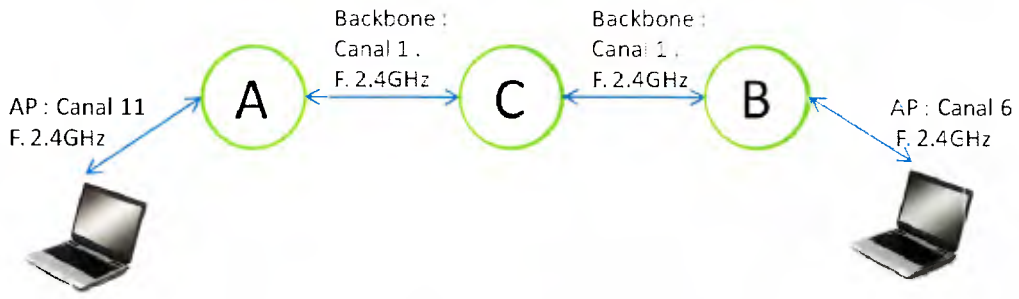

Figura 31. Conexión Tres Nodos
Fuente: Elaboración Propia

```
C:\>iperf -s -p 5060 -i 5 -f m
------------------------------------------------------------
Server listening on TCP port 5060
TCP window size: 0.01 MByte (default)
------------------------------------------------------------
                failed - Access is denied. (0x5)
[136] local 192.168.3.5 port 5060 connected with 192.168.1.7 port 49169
[ ID] Interval       Transfer     Bandwidth
[136]  0.0- 5.0 sec  2.61 MBytes  4.38 Mbits/sec
[136]  5.0-10.0 sec  2.33 MBytes  3.91 Mbits/sec
[136] 10.0-15.0 sec  2.63 MBytes  4.42 Mbits/sec
[136] 15.0-20.0 sec  2.72 MBytes  4.56 Mbits/sec
[136] 20.0-25.0 sec  2.52 MBytes  4.23 Mbits/sec
[136] 25.0-30.0 sec  2.45 MBytes  4.10 Mbits/sec
[136] 30.0-35.0 sec  2.53 MBytes  4.25 Mbits/sec
[136] 35.0-40.0 sec  2.68 MBytes  4.50 Mbits/sec
[136] 40.0-45.0 sec  2.66 MBytes  4.46 Mbits/sec
[136] 45.0-50.0 sec  2.77 MBytes  4.64 Mbits/sec
[136] 50.0-55.0 sec  2.70 MBytes  4.54 Mbits/sec
[136] 55.0-60.0 sec  2.72 MBytes  4.56 Mbits/sec
[136]  0.0-60.0 sec  31.3 MBytes  4.38 Mbits/sec
```

Figura 32. Resultado *Iperf* Tres Nodos
Fuente: Elaboración Propia

IV.4.3 Pruebas de Calidad de Servicio

Para evaluar la QoS en el prototipo del diseño se realizaron unas pruebas sencillas que consistieron en la modificación del Tipo de Servicio (*Type of Service - TOS*). Esto permitió fijar prioridades en cuanto a los paquetes marcados y generar sus respectivas colas en la interfaz de salida. Posteriormente, dentro de las clases se especifican el ancho de banda correspondiente a cada uno de los servicios y finalmente se crearon los filtros para el marcado de las clases. (*Ver* Figura 33)

```
#Borrado de colas existentes
tc qdisc del dev ath0 root

#Borrado de la tabla Mangle
iptables -F -t mangle

#Marcado de paquetes
iptables -t mangle -A PREROUTING -i ath1 -p udp --dport 698 -j TOS --set-tos 0x10
iptables -t mangle -A PREROUTING -i ath1 -s 192.168.1.26 -j TOS --set-tos 0x08

#Creación de la cola raiz
tc qdisc add dev ath0 root handle 1: htb default 30

#Creación de clases
tc class add dev ath0 parent 1: classid 1:1 htb rate 3000kbit
tc class add dev ath0 parent 1:1 classid 1:10 htb rate 100kbit ceil 100kbit prio 0
tc class add dev ath0 parent 1:1 classid 1:20 htb rate 3000kbit ceil 3000kbit prio 1
tc class add dev ath0 parent 1:1 classid 1:30 htb rate 25kbit ceil 2000kbit prio 2

#Creación de filtros
tc filter add dev ath0 parent 1:0 protocol ip prio 10 u32 match ip tos 0x10 0xff flowid 1:10
tc filter add dev ath0 parent 1:0 protocol ip prio 10 u32 match ip tos 0x08 0xff flowid 1:20
tc filter add dev ath0 parent 1:0 protocol ip prio 10 u32 match ip tos 0x00 0xff flowid 1:30
```

Figura 33. Comandos para Implementar QoS
Fuente: Elaboración Propia

Para comprobar la priorización del tráfico se realizaron dos pruebas que consistieron en la simulación de un flujo de datos, utilizando el comando *Iperf*, con su respectivo ancho de banda y otra prueba simulando una aplicación con un ancho de anda distinto al anterior. En cada prueba se generó un tráfico de fondo que ocupaba un ancho de banda de 3000 Kbps. Las pruebas se llevaron a cabo con la implementación de los tres nodos como se muestra en la Figura 34 .Finalmente se ejecutaron los comandos de QoS para observar el comportamiento del canal sin calidad de servicio y con calidad de servicio.

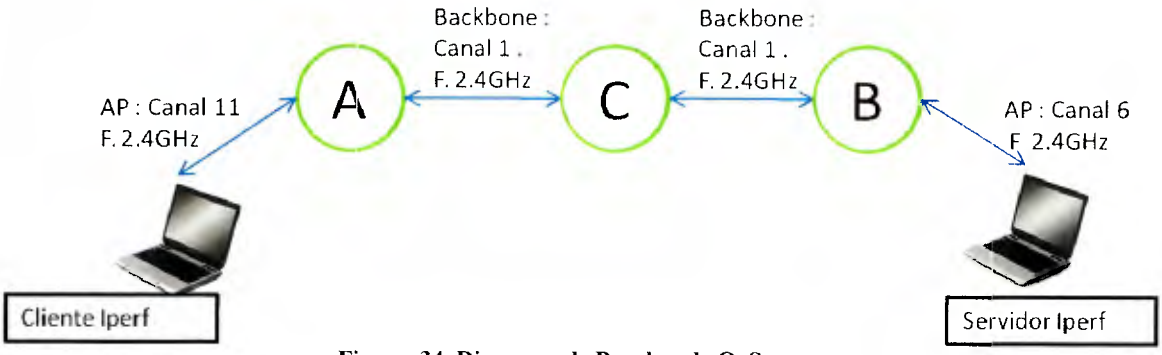

Figura 34. Diagrama de Pruebas de QoS
Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos de la prueba de calidad de servicio serán presentados en el Capitulo V.

Capítulo V

Análisis de Resultados

En este capítulo se presenta el análisis de cada una de las etapas del esquema metodológico de este trabajo especial de grado. En la fase de documentación se hará énfasis en la información que proviene de los antecedentes, así como también en la importancia que tiene la tecnología *Mesh* a nivel mundial. Seguidamente, en la fase del levantamiento de información se desarrollará la investigación que se realizó con el personal de la Alcaldía de Sucre. Posteriormente, en la etapa del diseño del modelo, se explicarán las decisiones tomadas en cuanto a la zona de despliegue, la infraestructura física y técnica existente en el Municipio, la configuración de los *routers* y las características del trabajo de campo. Finalmente, se hará énfasis en el desarrollo del prototipo a baja escala, los obstáculos que se presentaron y el beneficio de la tecnología *Mesh* frente a otras tecnologías existentes.

V.1 Documentación

La tecnología *Mesh* es cada día más atractiva para los usuarios, específicamente para las instituciones gubernamentales, debido a los grandes beneficios que presenta, tales como la autoconfiguración de a rutas, su esquema de multisalto y su funcionamiento con protocolo de enrutamiento dinámico *Ad-hoc* (Motorola, 2009). Esto se evidenció de la misma manera en los distintos casos de estudio que se presentaron en el marco teórico. El caso de Dharamsala, es especialmente interesante ya que a pesar de las condiciones de pobreza y poca infraestructura que tiene dicho País, han logrado desplegar una red *Mesh* con una alta cantidad de usuarios. Se destaca sin embargo que su éxito se ha logrado de una manera rápida , dado que empresas de India han promovido y apoyado el desarrollo esta tecnología.

Existen muchas ciudades en el mundo que hoy en día están brindando servicios de conectividad inalámbrica a sus habitantes debido a la gran cantidad de aplicaciones que se pueden ofrecer desarrollando esta tecnología. En Murcia, España, la empresa

NEOMEDIA ha estado desarrollando un proyecto de redes *Mesh* desde el 2005 que ha permitido que la ciudad goce de servicios como video vigilancia, cámaras para el control de tráfico, telemetría, entre otros. (*Baquia Knowledge Center,* 2005). De la misma manera, en la ciudad de Urbana, EEUU, se ha desarrollado un proyecto junto a la Fundación CUWIN, el cual ha sido muy bien recibido por sus habitantes ya que les ha permitido crecer en sus comercios debido a la interconexión de los locales. (*Community Wireless Solutions*, 2005) Ésto es una muestra del impacto que tienen las políticas públicas basadas en tecnología.

La investigación teórica por su parte sirvió para aclarar y afianzar muchos de los conocimientos obtenidos a lo largo de la carrera. Uno de los puntos que fue indispensable entender a cabalidad fue el protocolo de enrutamiento de OLSR. Los antecedentes indicaban que dicho protocolo se desempeñaba mejor en redes *Mesh* debido a que es un protocolo proactivo. Esta hipótesis se pudo verificar en la investigación teórica del mismo y en la comparación con el protocolo AODV. (Ver Tabla 6). Finalmente se pudo comprobar dicha hipótesis ya que el fabricante SAXNET de los nodos *MeshNode* II tiene dicho protocolo como configuración de fábrica para realizar el enrutamiento de los paquetes en las redes malladas.

V.2 Levantamiento de Información

Para el desarrollo de un proyecto con las características de este trabajo especial de grado en una institución gubernamental en Venezuela, es necesario contar con el apoyo de la misma. Durante las reuniones de seguimiento se ratificó dicho apoyo y se obtuvo acceso a la información del Municipio y de proyectos similares que se están llevando a cabo.

Uno de los obstáculos más importantes que se tuvo en el momento que se realizó el levantamiento de información del Municipio, fue la falta de información actualizada con respecto a estudios estadísticos referentes a población, servicios básicos, cantidad de alumnos por escuelas, tecnología existente, entre otros. Un ejemplo de ello es el estudio de la población, el cual tiene como referencia oficial el Censo

efectuado en el 2001, sin embargo, según estimaciones de la Alcaldía, esas referencias no concuerdan con las cifras de la actualidad.

Otra de las dificultades que se presentó fue el estudio de los mapas para seleccionar la zona de despliegue y escoger la posible ubicación de los nodos del *backbone* de la red. Dicha dificultad consistió en la discrepancia entre los mapas proporcionados por la Alcaldía y la realidad física de la zona. En ese sentido la Alcaldía mostraba en sus documentos escuelas y otras edificaciones importantes que no se encontraban gráficamente en el mapa suministrado. No obstante, las herramientas facilitadas por la Alcaldía sirvieron de guía para la definición de la zona de despliegue y la selección de la topología de la red. (*Ver* Figura 35)

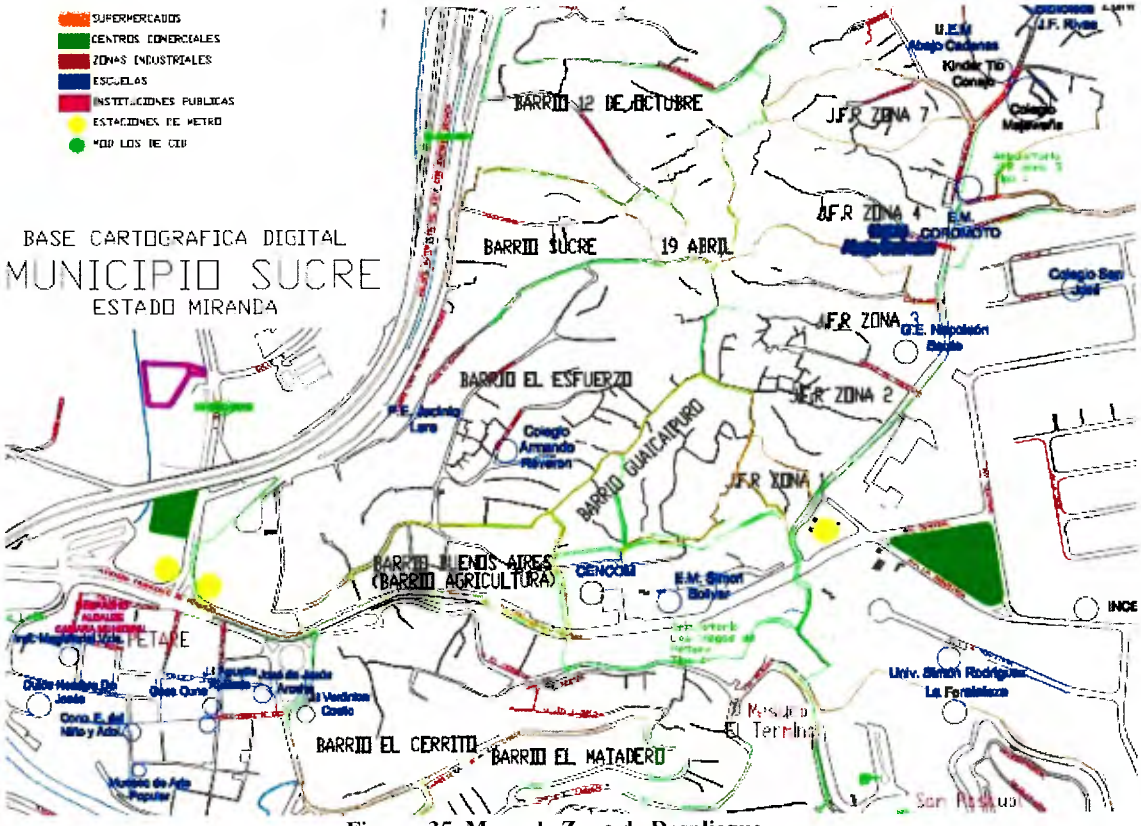

Figura 35. Mapa de Zona de Despliegue
Fuente: (Sucre, Base Cartográfica y Digital del Municipio Sucre EDO. Miranda, 2008)

Finalmente, debido a la diferencia entre los datos teóricos de la Alcaldía y la realidad presentada en la zona, el Coordinador General de la Alcaldía de Sucre, Federico

Ortega, nos propuso que el despliegue de la red se realizara en una primera instancia sobre las escuelas y edificaciones más importantes de la zona seleccionada. Dicha consideración se evaluó y se decidió corroborarla en el trabajo de campo.

V.3 Diseño del modelo

Esta etapa de la metodología se tomó en consideración los datos obtenidos en el levantamiento de información que hacían referencia a las características del Municipio. Una vez analizada la información suministrada por la Alcaldía en cuanto a la infraestructura física/técnica de la zona de despliegue y a su vez haber realizado el trabajo de campo, se obtuvo un enfoque más preciso de la realidad del Municipio.

Durante la visita a la zona de despliegue con el apoyo de la Policía de Sucre no se pudo tener acceso a todas las escuelas que se tenían pautadas. Varias escuelas no se pudieron ubicar físicamente, sin embargo, hubo otras que a pesar de conocer su ubicación física, no fue posible visitarlas por motivos de seguridad. A pesar de que no todas las escuelas fueron visitadas, sí se evaluaron otras edificaciones importantes encontradas en el recorrido, como los son ambulatorios y bibliotecas. Éstas fueron añadidas como puntos de referencia en la topología de la red.

La misma incertidumbre sobre la cantidad exacta de la población se presentó también sobre la infraestructura técnica existente en la zona. La mayoría de las escuelas no se encuentran equipadas técnicamente con los equipos necesarios para aprovechar este proyecto. No obstante, el Coordinador General de la Alcaldía, Federico Ortega, nos informó que está dentro de los proyectos del presente año equipar con una sala de computación al menos cuatros escuelas municipales.

Las recomendaciones realizadas por la Directora de Tecnología del Municipio Sucre en cuanto a la zona definitiva de despliegue, la situación económica que presentan distintas zonas del Municipio y el estado de pobreza de muchos de sus habitantes, hacen que el desarrollo de este proyecto sea complejo para ser aprovechado por toda la población en general. Se destaca además que la zona definitiva de despliegue

posee calles muy estrechas en las cuales se encuentran muchos comercios informales. Debido a estas consideraciones y a la precaria infraestructura técnica de la zona, se decidió diseñar la red principalmente para ser aprovechada por las escuelas y otras edificaciones importantes.

La característica de escalabilidad de una red *Mesh* sitúa a esta tecnología como una de las más atractivas en estos escenarios. A pesar de que no todas las escuelas tienen actualmente una plataforma tecnológica adecuada, la incorporación de un nuevo punto de acceso a la red no presenta ninguna alteración en su diseño inicial. De tal manera que el diseño final de la red quedó reducido a una red piloto de las escuelas visitadas con la posibilidad de incorporar periódicamente nuevas instituciones o escuelas que aumenten el tamaño de la red desplegada.

La ubicación final de los nodos del *backbone* coincide con la mayoría de los puntos tomados como referencia en la visita a la zona. A través del programa de *Radio Mobile* se configuraron los siguientes parámetros para simular la cobertura de los AP de la red. (*Ver* Tabla 18)

Tabla 18. Configuración de Parámetros de los enlaces de Acceso en Radio Mobile
Fuente: Elaboración Propia, referencia (Radio Mobile 8.9.9, 2007)

Parámetros de Configuración	
Frecuencia Min (MHz)	2400
Frecuencia Max (MHz)	2490
Polarización	vertical
Perdida por espacio Libre (%)	40
Clima	Marítimo Subtropical
Potencia de Transmisión (dBm)	18
Sensibilidad Receptor (dBm)	-107
Tipo de Antena (en acceso)	Omnidireccional
Ganancia Antena (dBi)	8
Altura Antena sobre superficie (m)	10

Luego de configurar los parámetros en *Radio Mobile* se procedió a ejecutar la simulación, la cual muestra Figura 36, donde se señala en color rojo la cobertura que tendría cada nodo. Aunque la red está orientada hacia edificaciones importantes,

este escenario se presenta como favorable ya que los habitantes de las zonas cercanas que posean algún dispositivo con interfaz inalámbrica también podrían disfrutar de los beneficios y aplicaciones de la red.

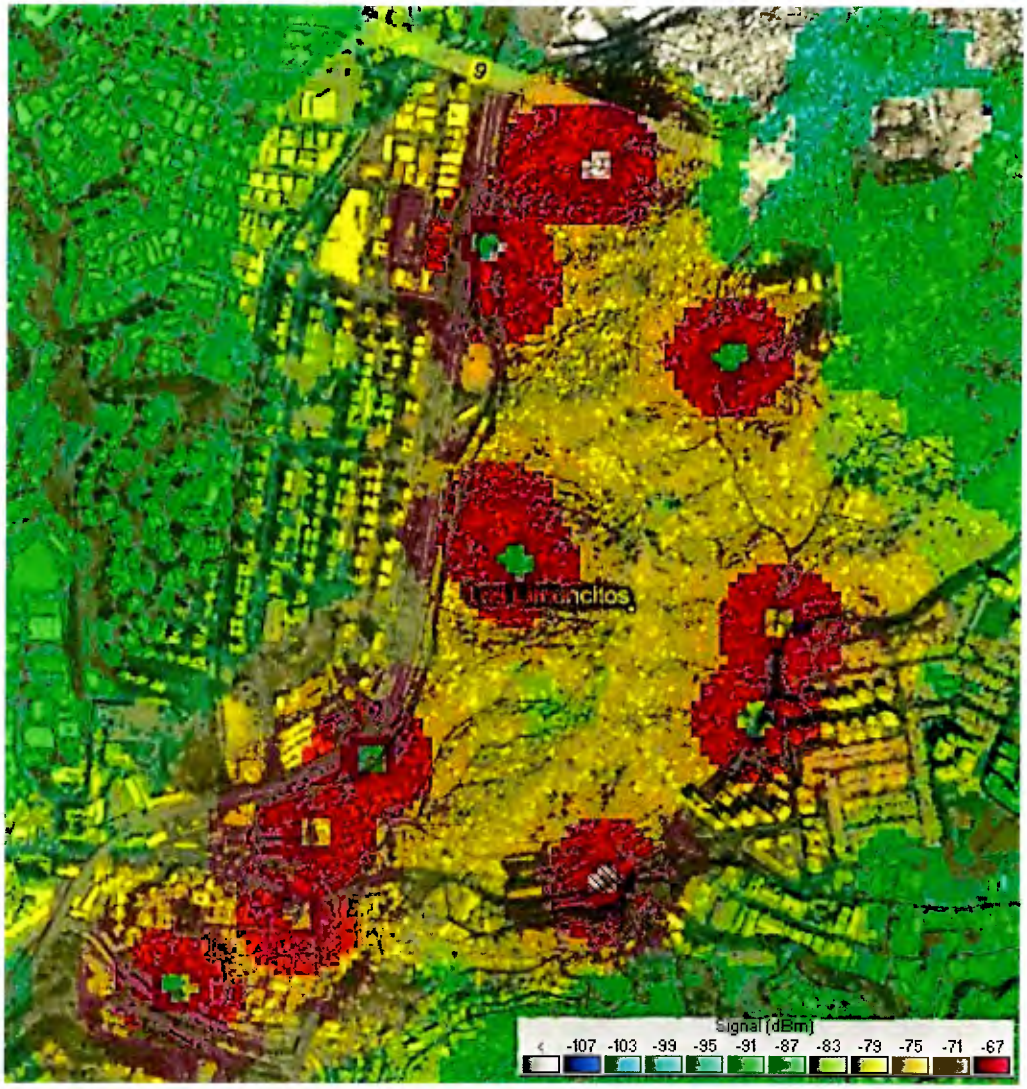

Figura 36. Cobertura de los nodos 2.4GHz
Fuente: (Radio Mobile 8.9.9, 2007)

V.3.1.1 Puntos de acceso en modo Infraestructura

A diferencia del *backbone* de la red que se configuró en modo Ad-hoc, los puntos de acceso de la red se configuraron en modo Infraestructura (*Ver* Figura 1). De esta

manera se mantiene una jerarquía en la red y una asignación de funciones claras para sus dispositivos. Por lo general, en este modo los *Access Points* se desempeñan como servidores para darles servicios de conexión a los clientes de la red

V.3.2 Diseño de prototipo para pruebas

Al mismo tiempo que se realizó el diseño de la red se manipularon y configuraron los nodos para efectuar las pruebas sobre un prototipo. Unas de las ventajas que proporcionan los nodos *MeshNode II* es la fácil configuración de ciertos parámetros. En efecto, a diferencia de otros dispositivos cerrados y rígidos, la manipulación de estos dispositivos es completa, ya que no restringe el acceso a ningún tipo de archivos de configuración; el usuario está en la capacidad de cambiar cualquier parámetro que influya de manera positiva o negativa en el desempeño de los nodos, como por ejemplo la asignación de direcciones IP a cualquier interfaz, la potencia de transmisión, diversidad de las antenas, entre otros. Sin embargo, una de las limitantes más importantes es la incapacidad de agregar otros protocolos de enrutamiento. No obstante, los resultados de la investigación teórica demostraron que dicha limitante no iba a tener mayor transcendencia en el Trabajo Especial de Grado ya que OLSR (el protocolo de enrutamiento soportado en los nodos) se mostraba como principal alternativa en los distintos casos de estudios analizados.

Durante el manejo de los nodos, se presenció uno de los mayores problemas que puede afectar una red inalámbrica, como es el eventual mal funcionamiento de uno de los nodos que la conforman. Uno de los *routers MeshNode II*, en específico el que poseía como ESSID Azul-Blanco (*ver* Figura 18), presentó una falla de fábrica que caracterizaba al nodo por quedarse "congelado" sin ningún tipo de respuesta. Se buscaron diferentes soluciones al problema como la actualización del *software*, el cual fue suministrado por los fabricantes, pero no se logró ninguna mejoría. El descarte absoluto del nodo que presentaba fallas afectó directamente las pruebas que se iban a realizar. Es por ello que se reestructuró el despliegue de los nodos en la

prueba de baja escala que estaba previsto a cuatro nodos, para pasar definitivamente a realizar la prueba con tres nodos.

Finalmente, se pudo observar cómo los nodos *Meshnode II* poseen antenas omnidireccionales con una ganancia de 8 dBi. Dicha característica se presenta como una fortaleza al funcionar la interfaz inalámbrica como *Access Point*; sin embargo, se presenta como una debilidad cuando la interfaz inalámbrica deba realizar la interconexión punto a punto con otros nodos (como es el caso del enlace de *backbone* en el diseño planteado), debido a que no se aprovecha la totalidad de potencia radiada en una misma dirección.

La manipulación de los *routers* dieron pie a las pruebas realizadas en la Universidad Católica Andrés Bello. Dichas pruebas permitieron confirmar muchos de los conocimientos teóricos obtenidos durante la carrera y la investigación inicial de este Trabajo Especial de Grado. Al realizar la primera prueba que consistía en determinar la distancia crítica del alcance de los nodos tanto en 2.4 GHz y 5GHz, se pudo comprobar que la banda de 2.4 GHZ tiene mayor alcance que la de 5 GHz debido a que su longitud de onda es mayor, confirmando así que a mayor frecuencia se obtiene menos distancia de cobertura. (Hacker Friendly, 2008)

A todos los nodos se le deben configurar ambas interfaces inalámbricas para su debido funcionamiento. El canal que se utilizó para la interconexión entre los nodos (enlaces de *backbone* en WLAN2) en la banda de 2.4 GHZ fue el canal 1 centrado en 2.412 GHz. La selección de este canal evitará fijar repetidoras innecesarias así como también permitirá un ahorro considerable en el despliegue de los nodos. Ambas consecuencias son producto de las características de la banda de frecuencias de 2.4 GHz. De la misma manera se debe configurar la interfaz WLAN1 que funciona como *Access Point* en los canales 1, 6 y 11de la banda 2.4 GHz Esto va a permitir la optimización del ancho de banda disponible ya que evitará la interferencia entre los nodos que se encuentran cercanos entre sí y que se solapen sus área de cobertura. La Figura 37 muestra la configuración de los canales para evitar su interferencia.

Figura 37. Canales Wi-Fi
Fuente: Elaboración Propia, referencia (Mendillo, 2009)

Durante las pruebas sobre el prototipo se pudo observar tanto el comportamiento del ancho de banda según los saltos que realiza el paquete de origen a destino como la aplicación de *QoS* en la red. En a las pruebas realizadas para comprobar el funcionamiento de la calidad de servicio, se observó que al enviar tres flujos de paquetes sin ningún tipo de prioridad se producía un congestionamiento en el ancho de banda producto de la contienda de cada aplicación por obtener el ancho de banda requerido. Sin embargo, este fenómeno se puede solucionar priorizando los flujos de datos con diferentes clases. En el diseño de la red se le asignó la máxima clase a los mensajes de control del protocolo de enrutamiento, ya que de esto dependía la actualización constante de las rutas.

En los tres escenarios realizados para medir el ancho de banda se verificó que el mismo se reduce cuando un paquete realiza mayor cantidad de saltos para llegar a su destino (*ver* Figura 38). Dicho fenómeno trae como consecuencia congestionamiento en la red, retardo excesivo en aplicaciones de tiempo real (Ejemplo: Video Vigilancia) y el posible colapso de la red debido al mal funcionamiento del protocolo de enrutamiento por la falta de información sobre las rutas. (Hacker Friendly, 2008).

Dada la reducción de ancho de banda en la red por la cantidad de saltos que realiza un paquete, la ubicación de un solo *gateway* en la Plaza Bolívar (S3) se presenta como el peor caso posible, ya que un paquete necesitaría realizar hasta seis saltos para llegar al *gateway*. La cantidad saltos va influir directamente en la capacidad de

la red para soportar las aplicaciones anteriormente mencionadas. Es por ellos que se pretende ubicar un segundo *gateway* en Biblioteca La Urbina (S10), para mejorar el caso anterior a un máximo de cuatro saltos entre un nodo y el *gateway*.

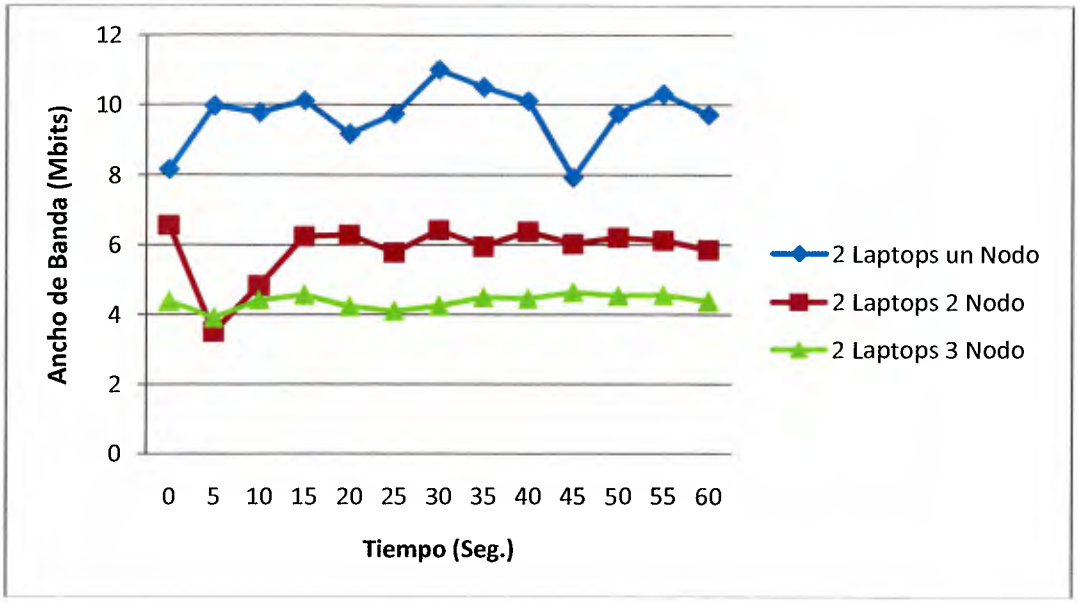

Figura 38. Gráfico de Ancho de Banda según Cantidad de Saltos
Fuente: Elaboración Propia

En la prueba que se realizó para determinar el alcance de la WLAN de los nodos se pudo observar que en la banda de 5 GHz se puede llegar a tener un alcance aproximado de 190 metros y en la banda de 2.4 GHz se puede llegar a tener un alcance aproximado de 470 metros. Este conocimiento es fundamental ya que va a permitir determinar la ubicación de puntos de repetición en el diseño de la red. (Hacker Friendly, 2008). Los puntos de repetición estarán ubicados en la ruta entre dos nodos que se encuentren a una distancia entre sí superior a la distancia crítica de la banda en la cual funciona la red. También será necesario fijar un nodo como punto de repetición en aquellos escenarios donde se presente una sola ruta disponible entre dos nodos. Dicha acción desarrollará el concepto y los beneficios de una red *Mesh*. De la misma manera, será necesario ubicar puntos de repetición entre aquellos nodos cuyas rutas no posean una línea de vista clara. Dadas las características geográficas de la zona en estudio, la ubicación de los puntos de

repetición por falta de línea de vista será una acción que determinará el buen funcionamiento de la red. En la Figura 39 se observa la ubicación de los nodos repetidores (S5, S18, S19, S20, S21) generando como consecuencia mayor cantidad de rutas a diferentes destinos y aumentándose de esta manera la robustez de la red. También se observan las líneas de vista en color verde entre todos los nodos, los cuales fueron configurados como se describe en la Tabla 17.

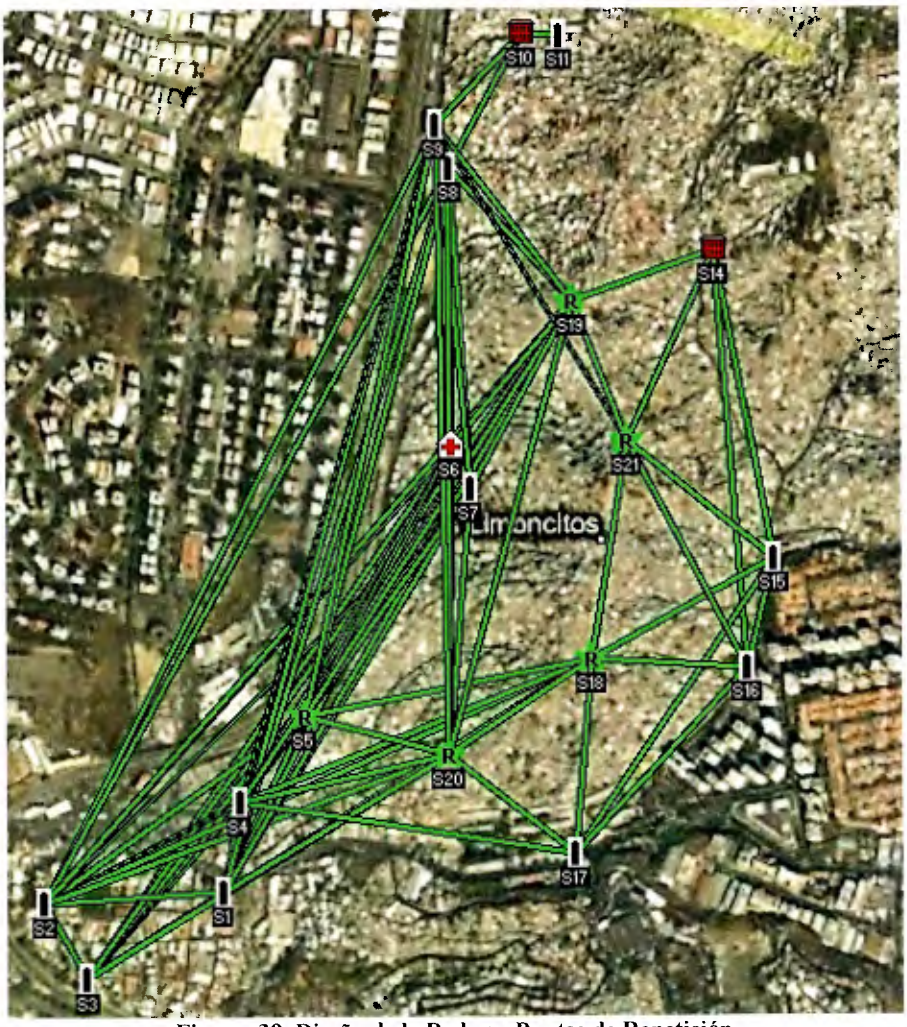

Figura 39. Diseño de la Red con Puntos de Repetición
Fuente: Elaboración Propia, referencia (Radio Mobile 8.9.9, 2007)

Al diseñar la red se debe decidir qué tipo de aplicaciones se quiere desarrollar en ella. En caso de querer servicio de Internet será necesario configurar al menos uno de los nodos de la red como *gateway*. El riesgo de tener un solo nodo en la red

configurado como *gateway,* es que de no funcionar adecuadamente el mismo se perdería en su totalidad los beneficios de esta aplicación.

La Directora de Tecnología, Gladys González, informó en una de las reuniones sostenidas, la existencia en Plaza Miranda en el Municipio Sucre de un CPE de WIMAX el cual brinda acceso a Internet. Dicho dispositivo pudiese funcionar sin ningún tipo de inconveniente como salida a Internet vía *Ethernet*. De la misma manera se puede configurar un nodo en La Biblioteca La Urbina ubicada en el punto S10 (ver

Tabla 16) para acceder a Internet, ya que en dicho espacio se ofrece actualmente este servicio. En el caso de no ser posible obtener la salida a Internet a través de los escenarios anteriores, se puede añadir más de un nodo que éste equipado con la interfaz UMTS para así proveer de conectividad Internet al resto de la red.

V.3.3 Diseño Lógico de la Red

Para la realización del diseño lógico de la red se llevaron a cabo diversas reglas nemotécnicas en lo que respecta la configuración de los nodos. Todos aquellos enlaces del *backbone* se les asignó una dirección IP de la familia 192.168.2.0, en la cual, cada nodo fue identificado con el número asignado en su ESSID (Por ejemplo el Nodo S4, posee la dirección IP del *backbone* 192.168.2.4).

Para los puntos de acceso se realizó algo similar, cada nodo tendría una dirección IP de la familia 192.168.0.0. De la misma manera fue identificado con su número asignado en el ESSID y el rango de direcciones disponibles para asignar a los clientes (Por ejemplo, el nodo S5 posee la dirección IP de AP 192.168.5.0). Existe una excepción con la configuración del nodo S2 ya que la dirección IP del *backbone* coincide con la dirección IP del *Access Point*. Por esta razón, la nueva dirección IP para el punto de acceso de este nodo es la 192.168.22.0. En la Tabla 19 se pueden observar todos los campos que fueron configurados para cada nodo de la red.

Tabla 19. Propuesta de Direccionamiento IP
Fuente: Elaboración Propia

Nombre del Nodo (ESSID)	S1	Nombre del Nodo (ESSID)	S2
Coordenada	10°28'38.57"N 66°48'23.27"W	Coordenada	10°28'37.80"N 66°48'34.20"W
IP WLAN2 Mesh	192.168.2.1	IP WLAN2 Mesh	192.168.2.2
Canal Mesh	1 : (2.412 GHz)	Canal Mesh	1 : (2.412 GHz)
IP WLAN1 AP	192.168.1.0	IP WLAN1 AP	192.168.22.0
Canal AP	6 : (2.437 GHz)	Canal AP	11 : (2.462 GHz)
Nombre del Nodo (ESSID)	S3	Nombre del Nodo (ESSID)	S4
Coordenada	10°28'38.30"N 66°48'31.70"W	Coordenada	10°28'44.00"N 66°48'22.20"W
IP WLAN2 Mesh	192.168.2.3	IP WLAN2 Mesh	192.168.2.4
Canal Mesh	1 : (2.412 GHz)	Canal Mesh	1 : (2.412 GHz)
IP WLAN1 AP	192.168.3.0	IP WLAN1 AP	192.168.4.0
Canal AP	1 : (2.412 GHz)	Canal AP	6 : (2.437 GHz)
Nombre del Nodo (ESSID)	S5	Nombre del Nodo (ESSID)	S6.
Coordenada	10°28'49.20"N 66°48'18.3"W	Coordenada	10°29'5.70"N 66°48'9.20"W
IP WLAN2 Mesh	192.168.2.5	IP WLAN2 Mesh	192.168.2.6
Canal Mesh	1 : (2.412 GHz)	Canal Mesh	1 : (2.412 GHz)
IP WLAN1 AP	192.168.5.0	IP WLAN1 AP	192.168.6.0
Canal AP	11 : (2.462 GHz)	Canal AP	1 : (2.412 GHz)
Nombre del Nodo (ESSID)	S7	Nombre del Nodo (ESSID)	S9
Coordenada	10°29'3.10"N 66°48'8.00"W	Coordenada	10°29'25.20"N 66°48'10.10"W
IP WLAN2 Mesh	192.168.2.7	IP WLAN2 Mesh	192.168.2.9
Canal Mesh	1 : (2.412 GHz)	Canal Mesh	1 : (2.412 GHz)
IP WLAN1 AP	192.168.7.0	IP WLAN1 AP	192.168.9.0
Canal AP	6 : (2.437 GHz)	Canal AP	11 : (2.462 GHz)
Nombre del Nodo (ESSID)	S10	Nombre del Nodo (ESSID)	S14
Coordenada	10°29'30.77"N 66°48'4.73"W	Coordenada	10°29'17.50"N 66°47'53.00"W
IP WLAN2 Mesh	192.168.2.10	IP WLAN2 Mesh	192.168.2.14
Canal Mesh	1 : (2.412 GHz)	Canal Mesh	1 : (2.412 GHz)
IP WLAN1 AP	192.168.10.0	IP WLAN1 AP	192.168.14.0
Canal AP	1 : (2.412GHz)	Canal AP	6 : (2.437 GHz)
Nombre del Nodo (ESSID)	S15	Nombre del Nodo (ESSID)	S16
Coordenada	10°28'58.70"N 66°47'49.40"W	Coordenada	10°28'52.10"N 66°47'51.10"W
IP WLAN2 Mesh	192.168.2.15	IP WLAN2 Mesh	192.168.2.16
Canal Mesh	1 : (2.412 GHz)	Canal Mesh	1 : (2.412 GHz)
IP WLAN1 AP	192.168.15.0	IP WLAN1 AP	192.168.16.0
Canal AP	11 : (2.462 GHz)	Canal AP	1 : (2.412 GHz)
Nombre del Nodo (ESSID)	S17	Nombre del Nodo (ESSID)	S18
Coordenada	10°28'40.80"N 66°48'1.60"W	Coordenada	10°28'52.7"N 66°48'0.6"W
IP WLAN2 Mesh	192.168.2.17	IP WLAN2 Mesh	192.168.2.18
Canal Mesh	1 : (2.412 GHz)	Canal Mesh	1 : (2.412 GHz)
IP WLAN1 AP	192.168.17.0	IP WLAN1 AP	N/A
Canal AP	6 : (2.437 GHz)	Canal AP	N/A
Nombre del Nodo (ESSID)	S19	Nombre del Nodo (ESSID)	S20
Coordenada	10°28'45"N 66°48'1.8"W	Coordenada	10°28'46.9"N 66°48'9.4"W
IP WLAN2 Mesh	192.168.2.19	IP WLAN2 Mesh	192.168.2.20
Canal Mesh	1 : (2.412GHz)	Canal Mesh	1 : (2.412GHz)
IP WLAN1 AP	N/A	IP WLAN1 AP	N/A
Canal AP	N/A	Canal AP	N/A
Nombre del Nodo (ESSID)	S21		
Coordenada	10°29'5.9"N 66°47'58.4"W		
IP WLAN2 Mesh	192.168.2.21		
Canal Mesh	1 : (2.412GHz)		
IP WLAN1 AP	N/A		
Canal AP	N/A		

V.3.4 Arquitectura lógica de la red

La arquitectura lógica de la red es la llamada modo WMN Híbrido y representa la combinación de una WMN de infraestructura con una WMN de Clientes. Los clientes *Mesh* en este caso pueden tener acceso a la red a través de los *router Mesh* o utilizando otro cliente como plataforma. Esta arquitectura se seleccionó ya que la infraestructura jerarquizada proporciona conectividad a otras redes tales como Internet, Wi-fi, WiMAX y la capacidad propia de los clientes de enrutar mejora la conectividad y la cobertura dentro de la WMN en la zona de estudio.

En la Figura 40 se puede apreciar la arquitectura lógica de la red a través de un esquema realizado con la herramienta MICROSOFT VISIO. Esta figura se basa en el despliegue de la red con sus repetidores según se demostró gráficamente con la herramienta *Radio Mobile,* en la Figura 39. Los *routers* con el borde rojo desempeñarán funciones de *gateway* y se ubicaron en sus respectivas posiciones por la existencia de puntos cableados con salida a Internet de diferentes proveedores en los mismos. De la misma manera, su ubicación es estratégica ya que disminuye la cantidad de saltos que los paquetes tienen que realizar para llegar al *gateway.* Sin embargo, existe la posibilidad de ofrecer salida a Internet mediante UMTS en cualquier nodo de la red que posea dicha interfaz, considerando que las velocidades de transmisión disminuirán considerablemente. Los *routers* con el borde amarillo se desempeñarán como repetidores ya que su única función es aumentar la robustez de la red y retransmitir la señal recibida.

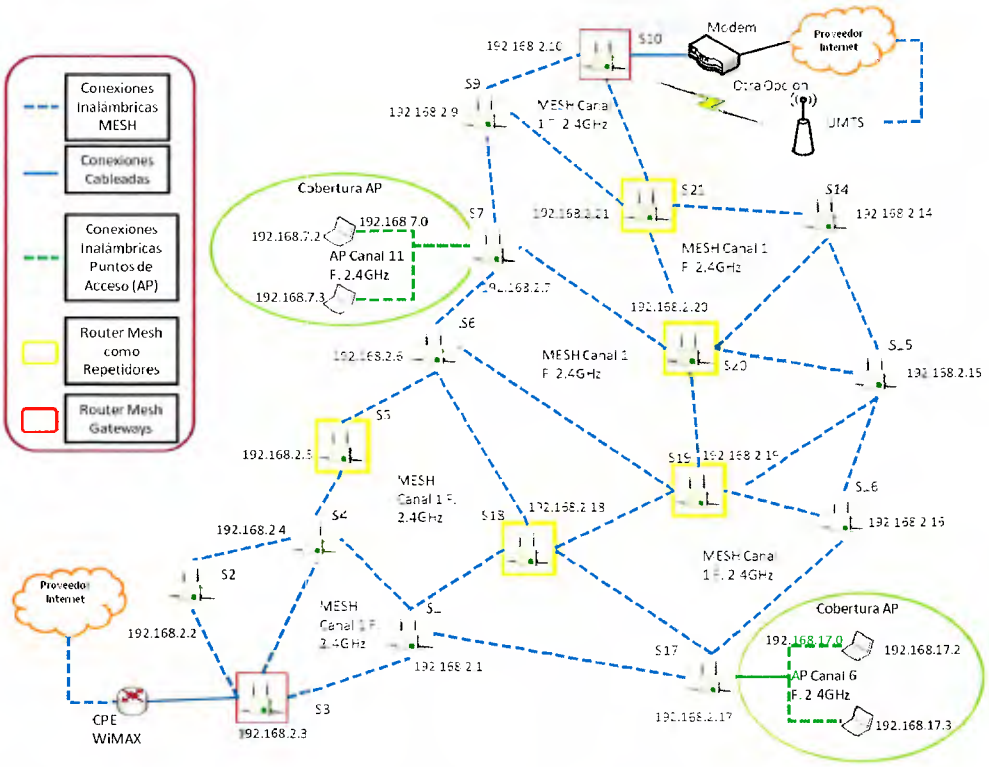

Figura 40. Arquitectura Lógica de la Red Diseñada
Fuente: Elaboración Propia

V.4 Propuesta Técnico Económica

Para el cumplimiento de uno de los objetivos específicos del Trabajo Especial de Grado, se decidió desarrollar una propuesta técnico económica en la cual se compara las características más relevantes de las tres tecnologías, como lo son Wi-Fi, WiMAX y *Mesh*, que pueden servir como soporte para el despliegue de una red inalámbrica en una zona sin infraestructura.

En la Tabla 20 y en la Tabla 21 se especifican, según el criterio del diseñador, aquellas características técnicas que determinan el buen funcionamiento de la red. De la misma manera, se evalúan los distintos factores que afectan directamente el desarrollo del proyecto, pero no necesariamente el desempeño de la red. Las características técnicas que se evaluaron fueron las siguientes:

-**Frecuencia**: se verificó la banda en la que opera cada tecnología y la permisología de ese espectro en Venezuela. A este criterio se le asignó una ponderación del 30%, debido a los beneficios que se obtiene al trabajar en una banda no licenciada.

-**Cobertura**: se evaluó el alcance teórico de funcionamiento de las tecnologías. Se le asignó una ponderación del 30%, ya que determina la cantidad de equipos necesarios para el despliegue de la red.

-**Ancho de Banda**: se entiende como la cantidad de información que puede ser transmitida en la red. Ponderación de 15%, debido a que el consumo total del mismo, afecta el buen funcionamiento de la red.

-**Línea de vista**: característica necesaria para la interconexión de nodos inalámbricos. Ponderación de 10%, ya que es una de las características que afecta en ciertos casos la cantidad de equipos para el despliegue de la red.

-**Calidad de Servicio**: controla los parámetros de servicios de las comunicaciones. Ponderación 15%, ya que permite la priorización de datos tráfico según sus características.

Tabla 20. Características Técnicas de las Tecnologías
Fuente: Elaboración Propia, referencia (Gast, 2005), (Intel Corporation, 2009), (Akyildiz & Wang, 2005)

Características	Wi-Fi	WiMAX	Mesh
Frecuencia	Opera en bandas no licenciadas de 5 GHz y 2.4 GHz	Opera en bandas licenciadas de 2.5 GHz y 3.5 GHz	Opera en bandas no licenciadas de 5 GHz y 2.4 GHz
Cobertura	Máximo 100 metros	Aproximada de 50 Kilómetros	Aproximado de 470 metros Metros en AP
Ancho de Banda	Se deteriora considerablemente si se aleja del AP	Amplio. Puede ser aumentado si se utiliza MIMO y beamforming.	Se deteriora considerablemente por el numero de saltos
Línea de Vista	Requiere de línea de vista para realizar una conexión punto a punto	No requiere de línea de vista	No requiere de línea de vista para realizar una conexión punto a punto gracias a que esta basado en redes inalámbricas multisalto y el protocolo de enrutamiento
QoS	Es reducida ya que depende del estándar utilizado y del dispositivo que provee el servicio	Capacidad de controlar los distintos recursos que se le ofrece a cada cliente	Capacidad de soportar calidad de servicio mediante el protocolo de enrutamiento y la asignación de clases para prioritizar los datos

De la misma manera, se evaluaron algunos factores cualitativos que afectan el desarrollo del proyecto, como lo son:

-**Disponibilidad de equipos en Venezuela**: facilidad de encontrar proveedores que distribuyan esta tecnología en el país. Ponderación 10%, la carencia de proveedores en el país obligará a buscar proveedores internacionales.

-**Costo por Unidad**: gama de precio de distintos dispositivos. Ponderación 20%, los altos costos de los dispositivos afecta directamente la factibilidad del proyecto.

-**Compatibilidad**: capacidad de los dispositivos de interactuar con otras tecnologías. Ponderación 20%, la interoperabilidad de los equipos reduce los costos porque se pueden aprovechar las tecnologías previas implementadas en la zona.

-**Escalabilidad**: capacidad de crecimiento de la red. Ponderación 25%, es de gran importancia ya que permite la incorporación de nuevos nodos a la red.

-**Robustez**: aumenta la fiabilidad de la red mediante la redundancia de rutas. Ponderación 15%, dicha redundancia reduce la perdida de paquetes dentro de la red y permite la llegada a los nodos por múltiples rutas.

-**Seguridad**: mecanismos que protegen la vulnerabilidad de la red. Ponderación 10%, controla el acceso a los recursos que ofrece la red.

Tabla 21. Características Cualitativas de las Tecnologías
Fuente: Elaboración Propia, referencia (Hacker Friendly, 2008)

Características	Wi-Fi	WiMAX	Mesh
Disponibilidad de equipos en Venezuela	Alta. Gran penetración en el mercado de redes inalámbricas y su facilidad de despliegue	Baja. Poca interoperabilidad y altos costos	Media. Escasez de equipos disponibles en el país
Costo por Unidad	Dispositivos entre $50 - $1500	Radio Base entre $5000 - $25000	Dispositivos entre $200 - $5000
Compatibilidad	Alta. La gran mayoría de los equipos disponibles en el mercado poseen esta interfaz	Baja. Para asegurar la interconexión entre dispositivos deben estar certificados por el WiMAX Fórum	Alta. Compatibilidad e interoperabilidad con redes inalámbricas existentes (WiMAX, Zig-bee, celular)
Escalabilidad	Mínima. Requiere línea de vista	Media. Su gran cobertura soporta un numero considerable de usuarios	Permite el crecimiento gradual de la red. Decrece el throughput considerablemente si se realizan mas de 4 saltos
Robustez	Baja. No soporta grandes cantidades de usuarios por competencia de los usuarios para acceder al medio	Media. El buen funcionamiento la red depende exclusivamente de la Radio base	Soportas red ad-hoc. Capacidad de autoconfiguración y autodepuración
Seguridad	No existen soluciones concretas pero se utilizan mecanismos de seguridad tradicionales	WIMAX soporta una encriptación fuerte, utilizando el estándar avanzado de encriptación AES, y tiene una privacidad robusta en cuando al manejo de su protocolo.	No existen soluciones concretas pero se utilizan mecanismos de seguridad tradicionales

Luego, en la Tabla 23 y en la Tabla 24 se les asignó una ponderación, según el diseñador, a los criterios previamente evaluados, en donde la suma de los mismos determina el desempeño de cada tecnología en la zona de estudio. Para ello se estableció un método el cual asigna un porcentaje de la ponderación de cada criterio

a la tecnología según el desempeño de la misma. Dicho método de evaluación fue recomendado por la M.Sc Mildred Zerpa y por PhD Augusto Nichols, profesores de la Universidad Simón Bolívar y Universidad Central de Venezuela respectivamente. (*Ver* Tabla 22).

Tabla 22. Método de Evaluación de las Tecnologías
Fuente: Elaboración Propia

Grado de Desempeño				
Excelente	Muy Bueno	Normal	Medio	Bajo
100	75	50	25	0

(*) Porcentaje del Valor Relativo

Tabla 23. Ponderación Técnica de las Tecnologías
Fuente: Elaboración Propia

Caracteristicas	Valor Relativo	Wi-Fi	WiMAX	Mesh
Frecuencia	30%	22.5	7.5	22.5
Cobertura	30%	7.5	30	15
Ancho de Banda	15%	7.5	11.25	7.5
Linea de Vista	10%	2.5	7.5	7.5
QoS	15%	3.75	11.25	7.5
Total	100%	43.75	67.5	60

Tabla 24. Ponderación Cualitativa de las Tecnologías
Fuente: Elaboración Propia

Caracteristicas	Valor Relativo	Wi-Fi	WiMAX	Mesh
Disponibilidad de equipos en Venezuela	10%	10	2.5	0
Costo por Unidad	20%	20	5	15
Compatibilidad	20%	15	5	20
Escalabilidad	25%	6.25	12.5	25
Robustez	15%	1.875	3.75	11.25
Seguridad	10%	2.5	7.5	2.5
Total	100%	55.625	36.25	73.75

En la Tabla 23 se puede apreciar como WiMAX se perfila como la tecnología con mejor desempeño de las tres analizadas a nivel técnico. Sin embargo, una de sus grandes limitantes es la frecuencia en la que opera, ya que particularmente la banda 3.5 GHz es licenciada en Venezuela y por lo tanto es controlada por la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL). En consecuencia la utilización de dicha banda requiere de trámites previos. Por otra parte la tecnología *Mesh* tiene grandes ventajas como lo es su operación en frecuencias no licenciadas y la posibilidad al igual que WIMAX de trabajar sin una línea de vista clara. Wi-Fi a su vez posee dos limitantes técnicas lo cual hacen de esta tecnología una opción pobre para desarrollar este tipo de proyecto, la primera limitante es la incapacidad de funcionar adecuadamente sin una línea de vista clara y la segunda es el poco soporte que le puede ofrecer a la calidad de servicios en sus redes. Finalmente a pesar de que la tecnología *Mesh* no se presenta como líder en la evaluación de los criterios, su valoración final de 60 puntos en la Tabla 23 la ubica entre el rango de Normal a Muy Bueno.

En la Tabla 24 se evaluaron aquellos aspectos cualitativos que más que afectar el desempeño de la red, pueden afectar el desarrollo del proyecto. La tecnología

WiMAX en esta oportunidad se presenta como la tecnología más débil debido al elevado costos de las radio bases y la poca compatibilidad que tiene esa tecnología con los dispositivos finales existentes hoy en día en el mercado. Wi-Fi por su parte posee limitantes importantes, particularmente en la robustez de la red y en la escalabilidad de la misma. Sin embargo, se aprecia cómo los bajos costos de los equipos y su alta compatibilidad con los dispositivos existentes en el mercado hacen de esta tecnología una posible opción en distintos escenarios para desplegar una red. Finalmente, se observa como la tecnología *Mesh* a pesar de no tener la disponibilidad inmediata de los equipos en Venezuela, limitante sin duda a considerar, se desempeña de manera excelente en la compatibilidad con distintos dispositivos y la escalabilidad de la red. De la misma manera, posee una robustez fuerte debido a la redundancia de las rutas, que son las que generan el efecto de malla en la red.

El análisis técnico económico realizado permitió observar cómo la tecnología *Mesh* es la opción más indicada para desplegar una red en una zona popular urbana sin infraestructura. Sus características técnicas ofrecen también el soporte a distintas aplicaciones de mucho interés para el Municipio Sucre como lo son video vigilancia, programas educativos con alto impacto social, telemedicina, entre otros. A su vez, son redes que se caracterizan por poseer una fácil instalación y fácil mantenimiento, aspectos que son esenciales a considerar cuando se piensa en la ejecución del proyecto. Es por ello que, dados los resultados obtenidos tanto en las pruebas de campo como en el análisis técnico-económico, se concluye que la tecnología *Mesh* se adapta adecuadamente a las necesidades de la zona en estudio y constituye la propuesta definitiva, objeto de este Trabajo Especial de Grado.

Capítulo VI

Conclusiones y Recomendaciones

La culminación de cada una de las etapas en el Trabajo Especial de Grado ha permitido unificar los conocimientos teóricos adquiridos en la investigación con los conocimientos prácticos obtenidos en el diseño de prototipo para pruebas y el trabajo de campo. La evaluación de las distintas tecnologías, específicamente en una zona popular urbana sin infraestructura, ha demostrado que el despliegue de una red mallada inalámbrica (*Wireless Mesh Networks*-WMN) es una alternativa técnica y económicamente factible para proveer de conectividad a la misma.

La tecnología *Mesh* se presenta como la mejor opción para desarrollar este proyecto debido sus características técnicas y a la capacidad de adaptarse a los requerimientos y exigencias de este Trabajo Especial de Grado. Su auge en los mercados internacionales ha permitido la continua evolución e investigación de la misma, garantizando a los proveedores la posibilidad de ofrecer dispositivos y soluciones a problemas cotidianos bajo esquemas de redes *Mesh*. De la misma manera, permite desarrollar distintas aplicaciones en el ámbito gubernamental como lo son redes inalámbricas en zonas culturales; en el ámbito de seguridad permite desarrollar sistemas de video-vigilancia y en el ámbito empresarial es muy común utilizar esta tecnología para aplicar la telefonía VoIP.

El esquema de multisalto que utilizan las redes *Mesh* proporciona beneficios interesantes como lo es un incremento considerable en la robustez de la red debido a la redundancia de rutas hacia un mismo destino. De igual modo, permite la interconexión de nodos sin poseer una línea de vista clara, gracias a sus protocolos de enrutamiento; de esta manera, reduce esta limitante tan común en otras tecnologías. La posibilidad de cubrir una zona específica, en donde la gran mayoría de la potencia radiada se concentre en la zona de interés, permite el diseño de micro celdas para optimizar el número de *routers* desplegados. Dichas características son

esenciales para el despliegue de la red en la zona de Petare ya que ésta se caracteriza por tener un territorio topográficamente accidentado con calles muy estrechas y poca accesibilidad a las mismas.

Debido a la realidad socio-económica del Municipio Sucre, al inicio del proyecto se hizo énfasis en encontrar la tecnología más apropiada para la implementación y ejecución del proyecto. La capacidad de auto configurar sus rutas en el momento de haber una falla, la fácil instalación de la red inalámbrica y el poco mantenimiento que necesitan las mismas, son sin duda factores que ratifican a la tecnología *Mesh* como las más adecuada para la realización de este proyecto.

La arquitectura seleccionada para la red diseñada se conoce bajo el nombre de WMN Híbrida ya que es la combinación de una WMN de infraestructura con una WMN de clientes. Esta arquitectura resulta bien interesante ya que el modo *Ad-hoc,* que es el modo utilizado por el *backbone* de la red, le proporciona a la misma tanto dinamismo como autonomía, características que diferencian a la tecnología *Mesh* de las otras existentes en el mercado.

La ubicación de los nodos que funcionan como *gateways* se realizó tomando en consideración la existencia de puntos de acceso cableados a Internet de distintos proveedores (WiMAX y CANTV) para reducir la probabilidad de fallo de la red y evitar comprometer la conectividad a Internet de la misma. UMTS es recomendable en aquellos lugares de difícil acceso que no estén presentes las alternativas anteriores y en los cuales exista una buena cobertura de esta tecnología. Se destaca que la velocidad de transmisión de UMTS en comparación con la velocidad de redes cableadas es considerablemente inferior, por consiguiente, en estos casos, se deben implementar aplicaciones que requieran poco ancho de banda.

El desempeño de los nodos *MeshNode II* en el prototipo para pruebas fue satisfactorio, ya que permiten una fácil manipulación de todas sus interfaces y poseen a su vez una interfaz gráfica amigable. El funcionamiento de OLSR en el

prototipo para pruebas fue satisfactorio ya que se generó de manera rápida y coherente el reporte de las rutas, haciendo imperceptible el cambio o pérdida de rutas en el momento de encontrarse un nodo en desplazamiento. La coexistencia de dos bandas de frecuencia, 2.4 GHz y 5 GHz, permitió el desarrollo de distintos escenarios y la comparación objetiva del desempeño de las mismas, principalmente en cuanto a su alcance. En ese sentido, se resalta la amplia cobertura ofrecida por estos nodos en la banda de 2.4 GHz sin la necesidad de tener una línea de vista clara. La configuración de los nodos *MeshNode II* en la frecuencia de 2.4 GHz con el protocolo de enrutamiento OLSR, se considera la configuración más adecuada para la implementación de este proyecto.

El desarrollo de la propuesta técnico-económica sirvió en gran medida para comparar objetivamente las tecnologías *Mesh*, Wi-Fi y WiMAX. Sin embargo, las ventajas que ofrece *Mesh* van más allá de su fortaleza técnica y cualitativa, ya que existen hoy por hoy iniciativas a nivel mundial basadas en *Mesh* que están orientadas a disminuir la exclusión social utilizando tecnología innovadora. Este es el caso del proyecto "*One Laptop per Child*" el cual pretende otorgarles una computadora portátil a los niños entre seis y doce años, para fortalecer su educación y familiarizarlos con la tecnología(*One Laptop Per Child*, 2002). La ejecución de dicho proyecto es una de las metas en la gestión actual por el Alcalde del Municipio Sucre, y puede hacerse posible gracias al despliegue de la red *Mesh* en el Municipio. La red puede servir de plataforma para proveer de conectividad y de internet a aquellos niños que posean las computadoras otorgadas por el proyecto. Dicha aplicación es una muestra de los proyectos que son posibles, utilizando adecuadamente la tecnología y constituye un indicador para las posibilidades que abre este Trabajo Especial de Grado en otros escenarios.

De la misma manera, la implementación de un proyecto similar en las favelas de Santa Marta en Rio Janeiro, Brasil, ha demostrado los avances que puede tener una localidad a nivel educativo gracias al uso de redes inalámbricas. Es por ello que la ejecución de este Trabajo Especial de Grado, tiene como una de sus metas integrar a

niños y jóvenes al mundo tecnológico para desarrollar plenamente su potencial como futuros profesionales.

Una vez culminado el Trabajo Especial de Grado se recomiendan ciertas acciones para implementar el proyecto efectivamente. En tal sentido, se recomienda equipar lo antes posible a la mayor cantidad de escuelas y espacios culturales que se encuentren en la zona de estudio con salas de computación, para así lograr un crecimiento proporcional de la red y un aprovechamiento considerable de la misma. Una vez aprobado la implementación del proyecto es recomendable llevar a cabo pruebas piloto en la zona de despliegue, en donde se corran diferentes aplicaciones que sean de interés para determinar el comportamiento de la misma en cuanto al ancho de banda, cobertura real, potencia de transmisión, entre otros.

Otra recomendación técnica importante la constituye el uso de antenas directivas para la interconexión de los nodos cuya función es retransmitir la señal. Esto permite un mejor aprovechamiento de la señal y un mayor alcance que aquellos nodos que se interconectan a través de antenas omnidireccionales.

Adicionalmente, se recomienda a la Alcaldía de Sucre continuar con la actualización de los datos estadísticos del Municipio y la digitalización de los mapas, para ubicar de manera precisa las edificaciones más importantes. Dichas herramientas permiten el diseño organizado de la red, evitan la pérdida de tiempo innecesario en las pruebas de campo y facilita el crecimiento proyectado de la misma.

Finalmente se recomienda a la Alcaldía de Sucre realizar alianzas con empresas privadas y operadoras de teléfonos con el objetivo de buscar el apoyo necesario para el desarrollo de proyectos tecnológicos y fomentar iniciativas que estén orientadas a reducir la exclusión social mediante el uso de la tecnología.

Capítulo VII

Bibliografía

Acuna Martinez, D., & Roncallo Kel, R. (2007). *Redes Inalambricas Enmalladas Metropolitanas.*

Aggélou, G. (2009). *Wireless Mesh Networks.* McGraw-Hill.

Airjaldi. (2005). *AirJaldi.* Retrieved octubre 18, 2009, from The Dharamsala Community Wireless Mesh Network: http://drupal.airjaldi.com/node/56

Akyildiz, I., & Wang, X. (2005). A Survey: On Wireless Mesh Networks. *Communication Magazine IEEE , 43* (9), 23-30.

Andrews, J., Ghosh, A., & Muhamed, R. (2007). Fundamental of WIMAX. Massachusetts: Prentice Hall.

Baquia Knowledge Center. (2005). *Baquia.* Retrieved enero 15, 2010, from Actualidad: http://www.baquia.com/actualidad/entrevistas/noticia/10313/neomedia-pioneros-del-wifi-mesh-en-espana

Berthilson, L., & Escudero Pascual, A. (2007). *Unidad 07: Prospección de Sitio.*

Blake, S., Black, D., & Wang, W. (1998). *An arquitecture for Differentiated Services RFC 2475.*

Chirino Herrera, I. (2009). *Desarrollo de una nueva plataforma de Facturación de Datos para telefonía móvil Postpago de una empresa de telecomunicaciones.* Facultad de Ciencias. Caracas: Universidad Central de Venezuela.

Clark, D., Shenker, S., & Braden, R. (1994). *Integrated Services in the Internet Arquitecture RFC 1633.*

Clausen, T., & Jacquet, P. (2003). *RFC Optimized Link State Routing Protocol.* Proyect Hipercom, INRIA.

Community Wireless Solutions. (2005). *CUWIN.* Retrieved enero 14, 2010, from Proyects: http://www.cuwin.net/projects/urbana

Coronado, M., & Garcia, E. (n.d.). *Recercat*. Retrieved febrero 3, 2009, from 2. http://www.recercat.net/handle/2072/5658?mode=simple&submit_simple=Muestra+el+registro+sencillo

Ferrer Riera, J. (2005). *Mobility in TCP/IP Networks.* Barcelona: Universitat Politecnica de Catalunya.

First Mile First Inch. (2008, Abril 18). *First Mile First Inch.* Retrieved Octubre 18, 2009, from Mpumalanga Mesh Proyect Overview: http://www.fmfi.org.sa

Gast, M. (2005). 802.11 Wireless Networks The Definitive Guide. Sebastopol, California.

Google Earth. (2009, Noviembre). Foto Posible Zona de Estudio. *5.1.3533.1731* .

Hacker Friendly. (2008). *Redes Inalámbricas en Paises en Desarrollo.* Hacker Friendly.

Hekmat, R. (2006). *Ad-Hoc Networks: Fundamentals Properties and Network Topologies.* Dordrecht: Springer.

Huhtonen, A. (2004). *Comparing AODV and OLSR Routing Protocols.* Helsinki University of Technology, Telecommunication Software and Multimedia Laboratory, Helsinki.

Intel Corporation. (2009). *WIMAX for Education.*

JUN, T. (2007). *www.soi.wide.ad.jp*. Retrieved Noviembre 29, 2009, from www.soi.wide.ad.jp/class/20060035/slides/04/index_48.html: www.soi.wide.ad.jp/class/20060035/slides/04/index_48.html

Kwang-Cheng, C., & De Marca, J. (2008). *Mobile WIMAX.* West Sussex, Inglaterra: IEEE.

Massachusetts Institute of Technology. (2005). *Red Hat Enterprise Linux 4*. Retrieved enero 14, 2010, from Manual de referencia: http://web.mit.edu/rhel-doc/4/RH-DOCS/rhel-rg-es-4/ch-ssh.html

Mendillo, V. (2009, Mayo). Tecnologia Wifi. Caracas, Caracas, Venezuela.

Motorola. (2009). *Red Mesh de Área Extendida AP 7181.*

Network World. (2009, Mayo). *Network World.* Retrieved Octubre 18, 2009, from Red Wireless Mallada de Jerez de la frontera:

http://www.networkworld.es/Red-wireless-mallada-de-Jerez-de-la-Frontera/seccion-usuarios/articulo-195636

Nogues, J. (2007). *Cossio*. Recuperado el 12 de enero de 2010, de Alumnos Curso 2007 - 2008: http://www.cossio.net/alumnos/curso_2007_2008/javier_nogues/practicas/t12/t12.htm#

One *Laptop* Per Child. (2002). *One Laptop Per Child*. Retrieved enero 10, 2010, from http://*laptop*.org/en/vision/mission/index.shtml

Paradellls Aspas, J. (2007). Las posibilidades de las redes multisalto. *V Jornadas de Ingenieria en Telecomunicaciones UCAB.* Caracas.

Perkins, C., Belding-Royer, E., & Das, S. (2003). *RFC Ad-Hoc On Demand Distance Vector.* San Barbara: Nokia Research Center, University of California.

Radio Mobile 8.9.9. (2007). Foto Posible Ubicacion de los nodos con linea de vista.

Roger, B. (2007). *Tecnologias Inalambricas para el desarrollo de latinoamerica y el Caribe*. Recuperado el 13 de mayo de 2009, de www.wilac.net/tricalcar

Ruiz Lopez, L., & Olivera, M. (2006). *Redes Mesh Basadas en Puntos de Acceso Inteligentes 802.11 Open Source.* Barcelona: Universitat Politecnica de Catalunya.

Saxnet. (2009). *saxnet*. Retrieved enero 13, 2010, from Products Meshnode II: http://saxnet.de/index.php/englisch/products/hardware/meshnode-ii

Saxnet. (2009). *saxnet.de.* Retrieved Octubre 15, 2002, from Meshnode II: www.saxnet.de

Simó, J. (2007). *Modelado y Optimizacion de IEEE 802.11 para su aplicacion para el despliegue de redes extensas en zonas rurales aisladas en paises en desarrollo.* Universidad Politecnica de Madrid, Departamento de Ingeniría de Sistemas Telemáticos, Madrid.

Sklyarenko, G. *AODV Routing Protocol.* Berlin: Freie Universitat Berlin.

Sucre, A. d. (2008). *Base Cartografica y Digital del Municipio Sucre EDO. Miranda.* Caracas: Alcaldia de Sucre.

Sucre, A. d. (2009). *Informacion Estadistica del Municipio Sucre.* Caracas: Oficina de Analisis Estrategico.

Sucre, A. d. (2009). *Zonas Del Municipio Sucre.* Caracas: ALcaldia de Sucre.

Torres, W. (2006). *Implementación y Evaluación de Mecanismos de Seguridad y QoS en una red MESH inalámbrica IEEE 802.11 conectada a Internet mediante UMTS.* Barcelona: Universitat Politecnica de Catalunya.

UMTS Forum. (2008). *UMTS Forum.* Retrieved enero 19, 2010, from Tecnologia: UMTS Forum

Wikipedia. (2009). *Wikipedia.* Retrieved Enero 19, 2010, from Caracas: http://es.wikipedia.org/wiki/Caracas#Clima

Capítulo VIII

Glosario de Acrónimos y Términos

A		
	ACK	Acknowledge
	AES	Advanced Encryption Standard
	AODV	Ad-Hoc on Demand Distance Vector
	AP	Access Point
	APN	Access Point Name
	ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
	AUC	Centro de Autentificación en UMTS
B		
	BTS	Estación de Base Transmisora
C		
	CPE	Customer Premises Equipment
	CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance
	CUWIN	Community Wireless Network
D		
	DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
	Diffserv	Servicios Diferenciados
	DSL	Digital Subscriber Line
E		
	ESSID	Extended Service Set Identifier
	ETSI	European Telecommunications Standards Institute
F		
	FDD	Frequency Division Duplex
	FMFI	First Mile First Inch
	FTP	File Transfer Protocol
G		
	GGSN	Gateway GPRS Support Node

GMSC	Gateway Mobile Switching Centre
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global Satellite Mobile

H

HLR	Home Location Register

I

IDRC	International Development Research Centre
IEEE	Institute of Electric and Electronic Engineering
IETF	Internet Engineering Task Force
Intserv	Servicios Integrados
IP	Internet Protocol\

L

LAN	Local Area Network

M

MAC	Media Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MANET	Mobile Ad-Hoc Network
MID	Multiple Interface Declaration
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MPR	Multiple Point Relay
MPSU	Mac Protocol Service Unit
MSC	Mobile Switching Centre
MSDU	Mac Services Data Unit

N

NAT	Network Address Translation

O

OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexion
OLSR	Optimized Link State Routing Protocol

P

POE	Power over Ethernet

PPPoE	Point to Point Protocol over Ethernet
Q	
QoS	Quality of Service
R	
RERR	Route Error
RNC	Controlador de Red de Radio
RNS	Subsistemas de Redes de Radio
RREP	Route Request
RREQ	Route Request
S	
SGSN	Serving GPRS Support Node
SSH	Secure Shell
T	
TC	Topology Control
TDD	Time Division Duplex
TKIP	Temporal Key Integrity Protocol
TOS	Type Of Service
TPC	Transmit Power Control
TTL	Time To Live
U	
UDP	User Datagram Protocol
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UMTS	Universal Mobile Telecommunication Service
UTRAN	Acceso Universal Radioeléctrico Terrestre
V	
VLR	Visitor Location Register
W	
WEP	Wired Equivalent Privacy
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WiMAX	Wireless interoperability Microwave Access

WLAN	Wireless Local Area Network
WMN	Wireless Mesh Network
WPA	Wi-Fi Protected Access

#

2G	Segunda de Generación de Telefonía Móvil

Capítulo IX

Apéndice

IX.1 Fotos de los puntos visitados en el Trabajo de campo

Figura 41. U.E Jesús Arocha (S1)
Fuente: Elaboración Propia

Figura 42. Colegio Dulce Nombre de Jesús (S2)
Fuente: Elaboración Propia

Figura 43. Plaza Bolívar, Municipio Sucre (S3)
Fuente: Elaboración Propia

Figura 44. Callejón, Barrio Agricultura (S4: Punto de Repetición)
Fuente: Elaboración Propia

Figura 45. Terminal el Esfuerzo (S5: Punto de Repetición)
Fuente: Elaboración Propia

Ambulatorio 12 de Octubre (S6)
Fuente: Elaboración Propia

Figura 46. U.E Abajo Cadenas (S7)
Fuente: Elaboración Propia

Figura 47. Casa de los Niños Luisa Cáceres de Arismendi (S8)
Fuente: Elaboración Propia

Figura 48. U.E Consuelo Navas Tovar (S9)
Fuente: Elaboración Propia

Figura 49. Biblioteca la Urbina (S10)
Fuente: Elaboración Propia

Figura 50. U.E. José Manuel Núñez (S11)
Fuente: Elaboración Propia

Figura 51. U.E Manuel Aguirre (S12)
Fuente: Elaboración Propia

Figura 52. Consultorio Popular (S13)
Fuente: Elaboración Propia

Figura 53. Casa de la Cultura José Félix Rivas (S14)
Fuente: Elaboración Propia

Figura 54. E.M. Coromoto (S15)
Fuente: Elaboración Propia

Figura 55. Ambulatorio Municipal (S15)
Fuente: Elaboración Propia

Figura 56. Rafael Napoleón Baute (S16)
Fuente: Elaboración Propia

Figura 57. U.E Simón Bolívar (S17)
Fuente: Elaboración Propia